

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

**Материалы XVII Всероссийской
научно–технической конференции**

Самара
Самарский государственный технический университет
2018

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

**Материалы XVII Всероссийской
научно–технической конференции**

25 – 28 октября 2018 г.

Самара
Самарский государственный технический университет
2018

Печатается по решению ученого совета СамГТУ, (протокол №9 от 31.03.2017 г.)

УДК 621.002(06)

ББК3Ч21я4

В 932

В 932 Высокие технологии в машиностроении: материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции / Отв. редактор *А.Ф. Денисенко*. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2018. – 169 с.: ил.

ISBN 978-5-7964-2144-4

Сборник содержит материалы участников XVII Всероссийской научно-технической конференции 2018 г. по следующим основным направлениям: прогрессивные технологические процессы в машиностроении, проектирование и эксплуатация инструмента и оборудования для прогрессивных технологий, перспективные процессы модификации и упрочнения поверхностного слоя, компьютерные технологии в машиностроении, материаловедение и металлургия в современном машиностроении, метрология и метрологическое обеспечение в машиностроении.

Материалы предоставлены сотрудниками высших учебных заведений и промышленных предприятий России.

Предназначен для научных сотрудников, инженерно-технических работников, аспирантов и студентов старших курсов машиностроительных специальностей.

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук А.Ф. Денисенко (отв. редактор),

д-р техн. наук В.Г. Шуваев,

О.А. Младенцева (отв. секретарь)

канд. техн. наук А.Б. Бейлин,

канд. техн. наук Н.Д. Папшева,

канд. техн. наук В.Г. Круцило.

УДК 621.002(06)

ББК3Ч21я4

В 932

ISBN 978-5-7964-2144-4

© Авторы, 2018
© Самарский государственный
технический университет, 2018

СЕКЦИЯ 1. ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.9.06:658.512

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ ЭТАПОМ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК В ПОЗИЦИОННЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ

Береснев Ю.Л., к.т.н., доцент

Самарский государственный технический университет

Предлагается способ комплексного управления ходом технологического процесса на этапе установки заготовок в позиционных приспособлениях обрабатывающих и сборочных станков.

С точки зрения автоматизации технологических процессов является целесообразным дальнейшее развитие этапа, связанного с интеграцией операций механической обработки и сборки. Этому способствуют определенные успехи в автоматизации сборочных процессов.

Задача комплексного управления ходом технологического процесса реализуется на этапе установки объекта производства в позиционных станочных приспособлениях, статической настройки режущего или сборочного инструмента, динамической настройки технологической системы в виде управления малыми упругими перемещениями ее элементов [1]. В сфере автоматизированного производства доминирующее значение приобретают вопросы стабилизации характеристик точности деталей, поступающих с обрабатывающих производственных систем на позиции сборки.

Решать эти задачи призваны, в том числе, и автоматизированные системы управления точностью установки объектов производства в позиционных приспособлениях металлообрабатывающего и сборочного оборудования.

Исследование механизма образования погрешности установки заготовок в позиционных приспособлениях в условиях спутникового и без спутникового их транспортирования позволило представить многообразие возмущающих факторов в виде четырех групп. Это: систематически действующие факторы, к числу которых относятся неточность изготовления, монтажа и настройки станка и элементов позиционного приспособления; случайно действующие – неточность изготовления и установки спутника, адаптера, заготовки; малые пространственные перемещения, вызванные контактными деформациями; малые пространственные перемещения из-за собственных деформаций элементов технологической системы. Совокупное действие этих факторов формирует результирующее поле рассеяния точности пространственного положения заготовки в координатной системе станка, что приводит к появлению недопустимо широкого поля рассеяния линейных и угловых параметров точности готовых деталей.

Компенсация погрешностей линейных параметров на этапе установки может решаться путем внесения соответствующих изменений в значения координат исходной точки (начала относительных координатных перемещений инструмента) на основе информации о фактическом линейном положении заготовок.

Кроме того, в системах ЧПУ имеется возможность ввода коррекции на положение инструмента для компенсации его изнашивания и упругого деформирования технологической системы. Корректирующие переключатели (блоки коррекции) выбираются программой обработки либо на всю зону обработки одним инструментом, либо на отдельные поверхности. Блоки коррекции не назначаются на сверла, развертки и другой мерный инструмент.

Управление точностью угловых параметров положения заготовок подобным способом

не предоставляется возможным из-за отсутствия управляемых по программе координат относительного поворота. В соответствии с этим разработан алгоритм управления ходом процесса установки и требования к механической части исполнительных механизмов управляющих систем. Алгоритм управления зависит от обоснованного выбора принципа управления [2]. Использование принципа «компенсации» заключается в управлении процессом установки в зависимости от результатов измерения (прямого или косвенного) на входе технологической системы факторов, вызывающих появление определенных составляющих отклонений углового положения технологических баз заготовки относительно неподвижных баз станка и соответственно отклонений углового положения вновь обработанных поверхностей относительно технологических баз.

Недостатками использования этого принципа в данном случае являются: значительное число возмущающих факторов, требующих измерения их фактических значений; необходимость высокой точности измерения значений составляющих факторов и точных данных об операторе их преобразования технологической системой; изменчивость во времени собственных характеристик технологической системы, что приводит к погрешностям компенсации, то есть к снижению надежности системы.

Эти недостатки отсутствуют при использовании принципа «обратной связи», который предполагает непосредственное измерение углового отклонения в положении технологических баз от заданного значения и управление ими в зависимости от регистрируемого отклонения. Недостатком использования данного принципа является то, что управление осуществляется с минимальным запозданием в сравнении с первым принципом. Предлагаемый алгоритм управления точностью установки разработан с использованием принципа «обратной связи» [3].

Для реализации предлагаемого алгоритма разработана принципиальная конструкция механической части системы управления точностью установки заготовок. Содержание требований к автоматизированной системе управления точностью установки сводится к тому, что функциональные возможности системы должны обеспечивать доведение управляемых по программе координат относительного поворота до трех; измерительное устройство должно определять фактическое положение технологических баз в системе координат позиционного приспособления; следует предусмотреть на заготовке подготовку специальных участков (квазитехнологических баз) для свободного подхода щупа измерительного устройства. Эти участки взамен фактически закрытых технологических баз заготовки будут служить для определения фактического пространственного углового положения заготовки в координатной системе позиционного приспособления.

Использование предлагаемого подхода к процессу управления установкой заготовки позволит стабилизировать точность выходных угловых параметров деталей, снизить требования к точности технологической оснастки, снизить стоимость изготовления, сборки, регулировки и настройки оснастки для механической обработки и последующих сборочных операций, сократить трудоемкость производственного процесса.

Список использованных источников

1. Соломенцев Ю.М., Митрофанов В.Г., Протопопов С.П. и др. Адаптивное управление технологическими процессами. М.: Машиностроение, 1980 – 536 с.
2. Невельсон М.С. Автоматизированное управление точностью обработки на металлорежущих станках. Л.: Машиностроение. Ленинградское отд., 1982 – 215 с.
3. Береснев Ю.Л., Образцов Ю.В. Пути повышения точности механической обработки в ГПС// Автоматизация и современные технологии. – 1992, №1 – С. 4-6.

РАЗРАБОТКА КАВИТАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МОЙКИ ДЕТАЛЕЙ

Громаковский Д.Г., д.т.н., профессор; Шигин С.В., вед. научн. сотрудник

Самарский государственный технический университет

Рассмотрен опыт использования низкочастотной кавитации в технологии мойки деталей машин и приборов.

В современном машиностроении [1...7] и др. для обеспечения высокой производительности и качества мойки деталей широко применяют ультразвук (10...40 кГц), создающий кавитацию, ударные волны, высокие локальные температуру и давление в моющей жидкости.

При контакте с поверхностями давление и температура в микропузырьках достигают (по опубликованным данным) до 100 мПа и 10000 °С. При схлопывании в моющей жидкости распространяется сферическая ударная волна, раздвигая соседние молекулы. При раздвижении на расстояние до удвоенной длины волн между пузырьками возникает напряжение – P [1]: $P \approx 2\sigma/R$, где σ - поверхностное натяжение; R – радиус пузырька. У воды $P \sim 1000$ мПа [2]. При кавитации также происходит интенсивное расширение зародышей пузырьков до критического размера [3], а внутреннее давление, например, для частоты 1 кГц достигает составляет порядка 10^5 Па [4...5] и др.

На рис. 1 приведено фото ультразвуковой ванны фирмы Leifltd (Германия) для очистки внутренних поверхностей труб, на установке (рис. 2) фирмы СРЗ (Турин) использована схема очистки поверхностей под действием распыляемых струй.

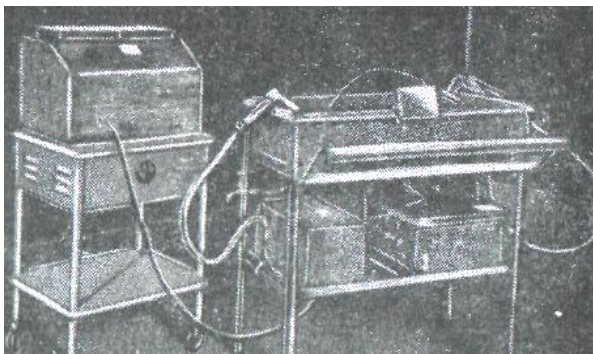


Рис. 1.
Установка
фирмы
Leifltd для
ультразву-
ковой очи-
стки внут-
ренних
поверхно-
стей труб

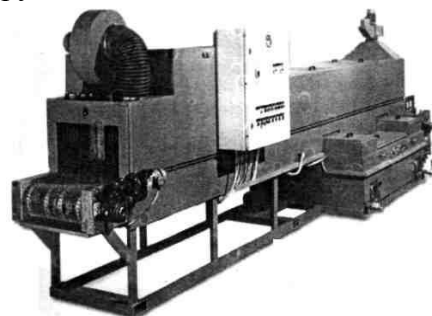


Рис. 2. Фотография туннельной
установки фирмы СРЗ

Во многих моечных машинах для возбуждения моющей жидкости широко используются магнитофрикционный привод, характеристики которого приведены в таблице. Механизмы образования кавитации иллюстрирует рис. 3, 6, 8. Однако, использование высокочастотного возбуждения не создает необходимую интенсивность кавитации, производительность и качество мойки.

В СамГТУ разработан ряд эффективных кавитационных моечных установок, работающих в диапазоне низких частот - 10 ... 100 Гц. На конструкцию кавитационных установок получены

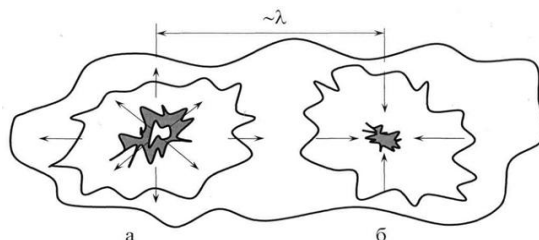


Рис. 3. Интерпретация низко-
частотной кавитации

патенты РФ № 1734886 от 27.06.88 г. и № 2024336 от 24.06.91 г. и др. Устройство установок и характеристики режима их пульсации приведены на рис. 4...8. На рис. 6а приведена схема кавитационной форсунки, а на рис. 8 блока кавитационных форсунок для мойки баков ракет-носителей. Установлено, что наилучшее качество отмывки внутренних поверхностей труб имеет место при резонансных колебаниях, а в нагреве моющей жидкости и использовании моющих добавок нет необходимости.

Технические характеристики магнитофрикционных приводных установок

Тип	Емкость ванны, Л	Рабочая частота, кГц	Выходная мощность генератора, Вт	Размеры моющей камеры (длина × ширина × глубина), мм	Масса, кг
УЗВ -50 ЭК	50	27±1,65	2500	400х400х350	50
УЗВ -100 ЭП	100	27±1,65	5000	850х400х350	80
УЗВ -200 ЭК	200	27±1,65	10000	700х700х500	120
УЗВ -200 ВК	200	27±1,65	10000	1700х400х350	150

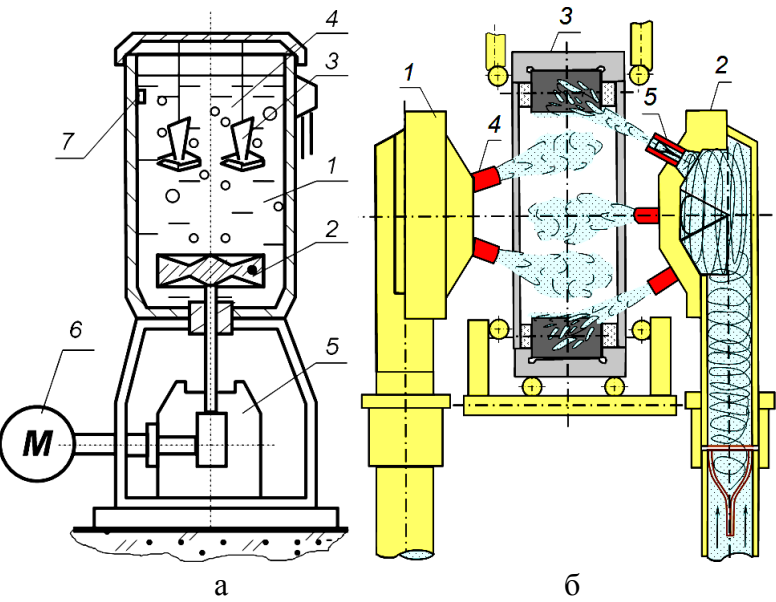


Рис. 4. Варианты разработанных установок: а – схема установки для промывки деталей при погружении в кавитирующую жидкость; б – схема устройства для промывки крупногабаритных подшипников: 1, 2 – струйно-кавитационные головки; 3 – промываемый подшипник; 4 – сопла; 5 – кавитатор

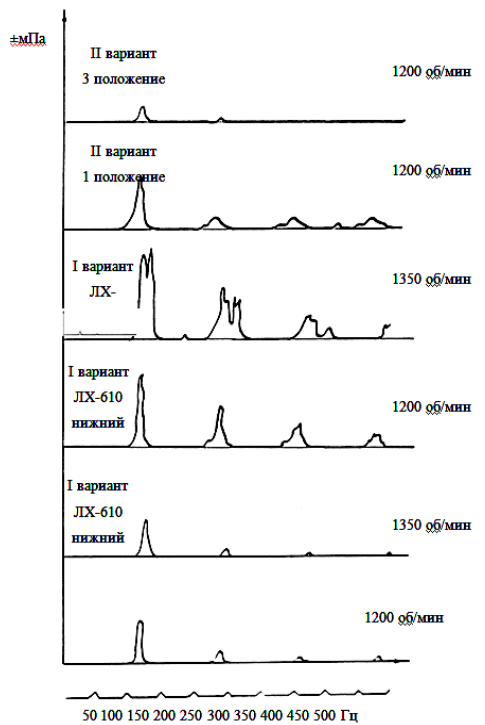


Рис. 5. Спектрограммы пульсации давления при различных вариантах испытаний

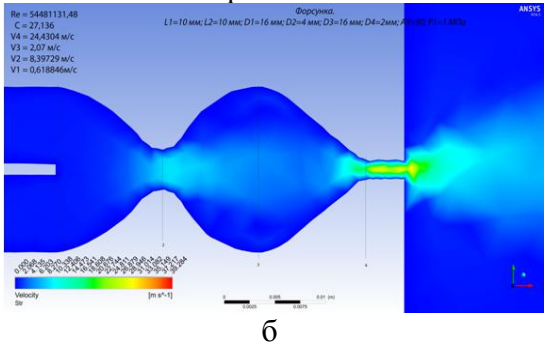
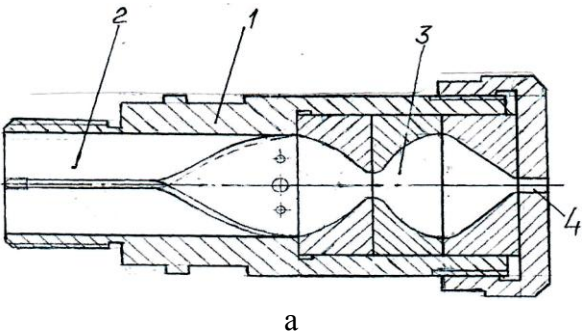


Рис. 6. Схема кавитационной форсунки (-а) и распределение потока моющей жидкости (-б): 1 - корпус; 2 - камера завихрения струи; 3 - камера Лавая; 4 – сопло; б – оценка полей потока моющей жидкости

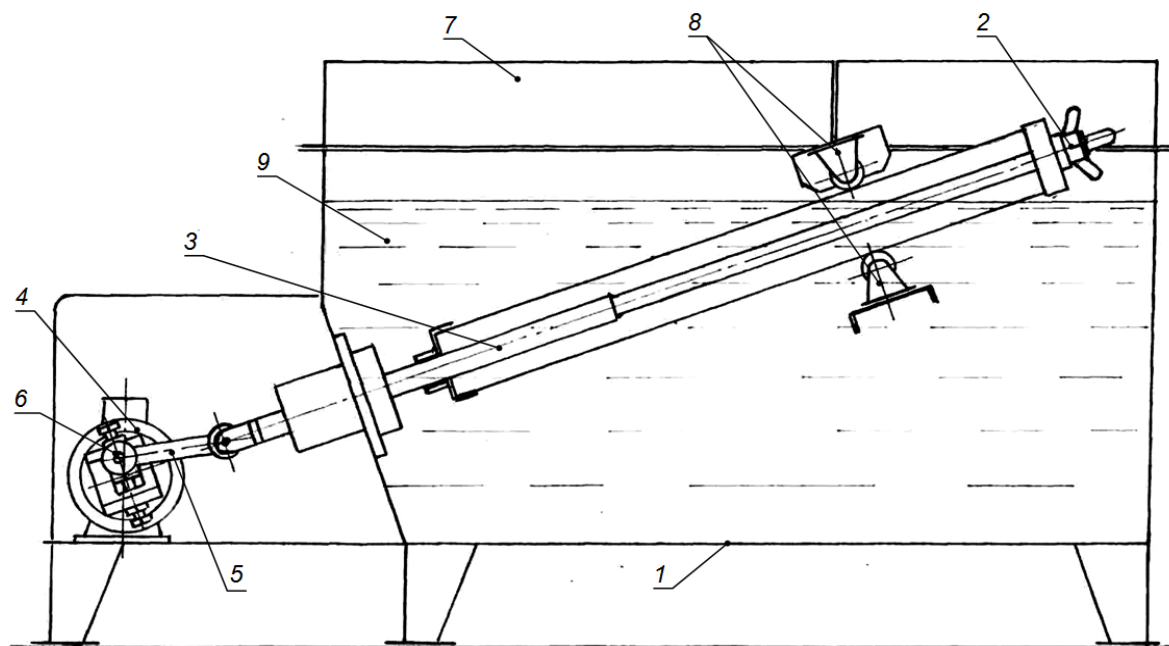


Рис. 7. Установка для кавитационной мойки внутренних поверхностей труб:
1 – корпус ванны; 2 – блок установки промываемой трубы; 3 – шток вибропривода; 4 – вибропривод; 5 - кривошипно-шатунный механизм; 6 – ось кривошипа; 7 - крышка ванны; 8 - направляющие; 9 - моечная жидкость

После внедрения на АО «Авиаагрегат» холдинга «Технодинамика» установка обеспечивает промывку и просушку 12 труб в час.

Опыт разработки кавитационных установок подтвердил возможность не только повышения производительности, но и качества мойки деталей от всех возможных видов загрязнений.

Список использованных источников

1. Шутилов В.А. Основы физики ультразвука. – Ленинград: Изд. Ленинградского университета, 1980. – 280 с.
2. Neppiras E.A. Acoustic cavitation // Phys. Repts. – 1980. V.61, N 3. – С. 129-166.
3. Филин Г. Физика акустической кавитации в жидкостях//Физическая акустика. Под редакцией У. Мезона. – М.: Мир, 1967. Т.1. – С. 7-138.
4. Перник А.Д. Проблемы кавитации. – Ленинград: Судостроение. 1966. – 439 с.
5. Сиротюк М.Г. Экспериментальные исследования ультразвуковой кавитации // Мощные ультразвуковые колебания. Под ред. Л.Д. Розенберга. - М.: Наука, 1968. Ч.5. - С. 118-220.
6. Патент РФ № 1734886. Фролов К.В., Кузнецов Н.Д., Ганиев Р.Ф., Громаковский Д.Г., Паламарчук Э.М., Борткевич СВ. Устройство для очистки деталей. Оpubл. 23.05.1992. № 19. Зарегистрирован в ГРИ 27.01.1993.
7. Патент РФ № 2287739. Гонченко Б.В., Громаковский Д.Г., Ковшов А.Г., Меньшов А.П., Мохонько В.П., Приказчиков В. А., Шигин С.В. Форсунка. Оpubл. 20.11.06. № 32.

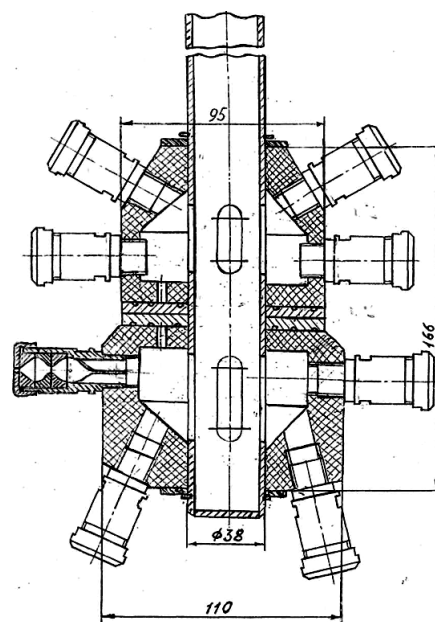


Рис. 8. Блок струйнокавитационных форсунок для мойки баков ракет-носителей

ОЦЕНКА ДЕФОРМАЦИЙ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ ПОСЛЕ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОСТАТОЧНЫМ НАПРЯЖЕНИЯМ

Дмитриев В.А., к.т.н., доцент

Самарский государственный технический университет

Изложен подход к выбору режимов упрочняющей обработки мало жестких кольцевых деталей на основе оценки их деформаций, обусловленных формированием технологических остаточных напряжений.

Процесс упрочнения поверхностно-пластическим деформированием (ППД) кольцевых деталей сопровождается деформациями, которые приводят к изменению зазоров и посадочных натягов, при этом нарушается характер распределения нагрузки в опоре в целом, что снижает ее долговечность (рис. 1-2). Причем, интенсификация процесса упрочнения, сопровождающаяся увеличением интегральной величины остаточных напряжений, приводит к росту искажений формы колец.

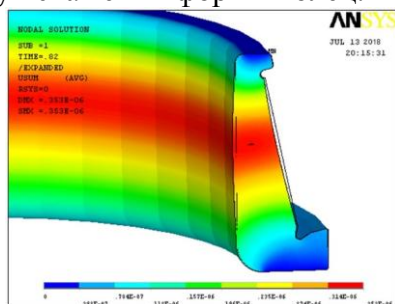


Рис.1. Искажение формы кольца после шлифования дорожки качения - корсетность

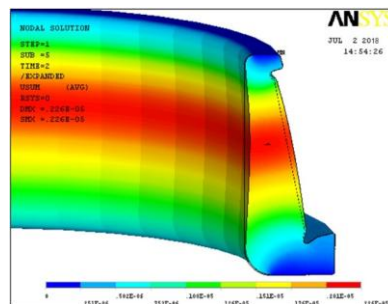


Рис.2. Искажение формы кольца после обкатывания дорожки качения шаром -бочкообразность

В табл.1 приведены значения параметров микрогеометрии колец и интегральные величины технологических остаточных напряжений после упрочняющей обработки указанными способами.

Таблица 1

Параметры микрогеометрии и интегральные величины технологических остаточных напряжений в кольцах 32205/02 после исследуемых методов обработки

Способ обработки	Параметры микрогеометрии, мкм					Искажение формы сечения Δ , мкм	Интегральные величины остаточных напряжений	
	$R_{\max}$	R_z	R_a	$H_{\text{волн}}$	$H_{\text{огран}}$		$\int_0^a (\sigma_\theta - \mu \sigma_z) d\zeta$, Н/мм	$\int_0^a \sigma_s d\zeta$, Н/мм
Суперфиниш	0,8	0,62	0,08	0,18	0,20	≤ 1	-5,0	-6,85
Обработка микрошариками при $p = 0,4$ МПа	3,0	2,8	0,3	0,30	0,50	2,5...4	-48,0	-68
Обкатывание шаром при $p_{\text{ср}} = 2900$ МПа	0,85	0,7	0,1	0,20	0,70	6,5...7	-70,0	-119

Методика оценки деформаций кольцевых деталей [1, 2], проявляющихся в изменении диаметра ΔD , повороте φ и искажению формы поперечных сечений Δ (рис. 3), позволяет по

известным интегральным величинам технологических остаточных напряжений $p_{\theta_s} = -\int_0^a (\sigma_{\theta} - \mu\sigma_s) d\zeta$ и $p_s = -\int_0^a \sigma_s d\zeta$ рассчитать возможные изменения размеров и формы деталей; здесь $(\sigma_{\theta} - \mu\sigma_s)$ – компонента напряжений, снимаемых при электрополировании кольца; σ_{θ} , σ_s – соответственно окружные и осевые остаточные напряжения; μ – коэффициент Пуассона; ζ – текущая координата по толщине упрочненного слоя; знак минус соответствует сжимающим остаточным напряжениям.

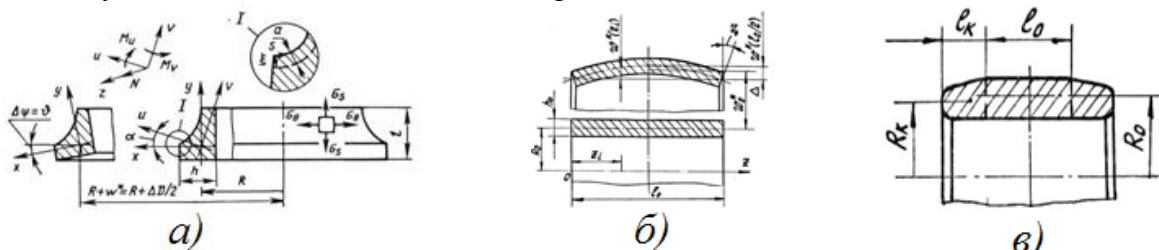


Рис.3. Схема деформаций:

а)- узких колец с недеформируемым сечением; б)- коротких оболочек; в)- комбинированных колец

Однако часто режимы упрочнения выбирают без учета указанных деформаций по исходной твердости материала с целью получения минимальной шероховатости или максимального наклепа обрабатываемой поверхности. Анализ технических требований на изготовление колец позволил определить основные параметры качества поверхности и точности обработки, которые необходимо обеспечить при применении упрочняющей технологии: $R_a \leq 0,32$ мкм; волнистость дорожки качения – не более 0,5 мкм; погрешность формы вдоль образующей: корсетность не допускается, бочкообразность $\Delta \leq 5$ мкм.

Для колец с произвольным поперечным сечением выражение интегральной характеристики допускаемых остаточных напряжений в явной форме получить нельзя, так как для различных способов обработки соотношение между σ_{θ} и σ_s различно. Задача упрощается, если в результате обработки выполняется условие $\sigma_{\theta} \approx \sigma_s$ (например, для дробеударных способов обработки). Используя методику [2], найдем деформации кольца Δ_1 , обусловленные действием единичной интегральной величины остаточных напряжений $\int_0^a \sigma_{\theta} d\zeta = \int_0^a \sigma_s d\zeta = -1$. Тогда искомая интегральная величина допускаемых остаточных напряжений $[p_s]$ будет во столько раз больше единицы, во сколько раз допускаемая погрешность формы $[\Delta]$ больше Δ_1 , то есть

$$[p_s] = -1 \frac{[\Delta]}{\Delta_1}. \quad (1)$$

Связь режимов дробеструйного упрочнения с интегральной характеристикой остаточных напряжений выразим линейным уравнением регрессии $Y = \lg p_s = b_0 X_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3$, используя встроенные статистические функции программы MS Excel. В табл.2 приведены результаты статистического оценивания линейного уравнения регрессии и его коэффициентов. Искомое уравнение в кодированных переменных показывает вклад каждого параметра в формирование уравнения регрессии: наибольший вклад в формирование функции отклика Y оказывает давление на выходе сопла эжектора. Переходя к натуральным переменным и потенцируя, получим окончательно

$$p_s = 96 \cdot p^{1,19} \cdot d^{0,065} \cdot t^{0,23}, \quad (2)$$

где p – давление воздуха на выходе сопла-эжектора, МПа; d – диаметр дроби, мм; t – длительность упрочнения поверхности дорожки качения, с.

Параметры оценки уравнения регрессии

b_i	0,0701	0,0447	0,2369	1,4145
σ	0,008	0,008	0,008	0,008
R^2	0,996	0,02	#Н/Д	#Н/Д
$F_{расч}$	358,72	4,00	#Н/Д	#Н/Д
SS	0,504407	0,001875	#Н/Д	#Н/Д
Искомое уравнение: $Y=1,415+0,237 \cdot X_1+0,045 \cdot X_2+0,07 \cdot X_3$				
$t_i = b_i/\sigma_i$	9,16	5,84	30,95	184,80
$TDIST = \beta$	0,00079	0,00428	0,00001	0,00000
$1-\beta$	0,99921	0,99572	0,99999	1,00000

Для обеспечения равномерного упрочнения и шероховатости обработанной поверхности $R_a \leq 0,32$ мкм на основе экспериментов следует принять $d = 0,1$ мм; $t = 40$ с. Тогда выражение (2) запишется в виде:

$$p_s = 193,1 \cdot p^{1,19}. \quad (3)$$

Подставив равенство (3) в левую часть соотношения (1), получим связь режимов ППД с величиной допускаемой погрешности формы кольца $[\Delta]$. Тогда рабочее давление, при котором обеспечивается требуемая точность формы кольца,

$$p = \left[\frac{[\Delta]}{193,1 \cdot \Delta_1} \right]^{0,84}. \quad (4)$$

Эффективность изложенного подхода подтверждается результатами стендовых испытаний подшипников, приведенными в табл. 3. Испытания показали, что зависимость долговечности подшипников от деформаций колец имеет оптимум, по которому следует определять допускаемые деформации.

Таблица 3

Результаты стендовых испытаний подшипников 6-32205

Способ обработки дорожки качения колец	Расчетные значения деформации колец		Долговечность подшипников, % к расчетной	
	ΔD	Δ	L_{90}	L_{50}
Суперфиниш	-	$\leq 1,0$	319	421
Обработка микро-шариками при $p = 0,4$ МПа	3...3,5	2,5...3,0	413	917
Обкатывание шаром при $p_{ср} = 2900$ МПа	4,0...4,5	5,5...6,0	338	499

Таким образом, допускаемые интегральные величины технологических остаточных напряжений и режимы упрочнения следует увязывать с допускаемыми искажениями формы колец.

Список использованных источников

1. Иванов С.И., Букатый С.А. Искажение формы кольцевой детали после упрочнения поверхностным пластическим деформированием/ Вопросы прочности элементов авиационных конструкций. Межвуз. сб., Куйбышев: КуАИ, 1975. с. 75-79.
2. Букатый С.А., Дмитриев В.А., Папшев Д.Д. Влияние технологических остаточных напряжений на деформации тонкостенных кольцевых деталей/ Вестник машиностроения, 1984, №6. с. 40-44.

ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ ДЕТАЛЕЙ С НЕРАВНОМЕРНОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ

Захаров Н.Ю., аспирант; Парфенов В.А., к.т.н.; Прилуцкий В.А., д.т.н., доцент

*Самарский государственный технический университет,
АО «Авиаагрегат», г. Самара*

Рассмотрены причины образования погрешностей обработки отверстий в деталях с неравномерной жесткостью.

В машиностроении встречаются детали с отверстиями, имеющими неравномерную жесткость. При обработке отверстий таких деталей возникают погрешности формы отверстий, превосходящие допуск на изготовление деталей.

Можно назвать следующие причины образования таких погрешностей:

1. Погрешности исходной формы заготовки или после черновой обработки (рис. а). Вследствие неравномерности припуска и глубины резания возникает неравномерное отжатие инструмента за время его одного оборота. В итоге отверстие после обработки получается с отклонениями формы [1, 2];

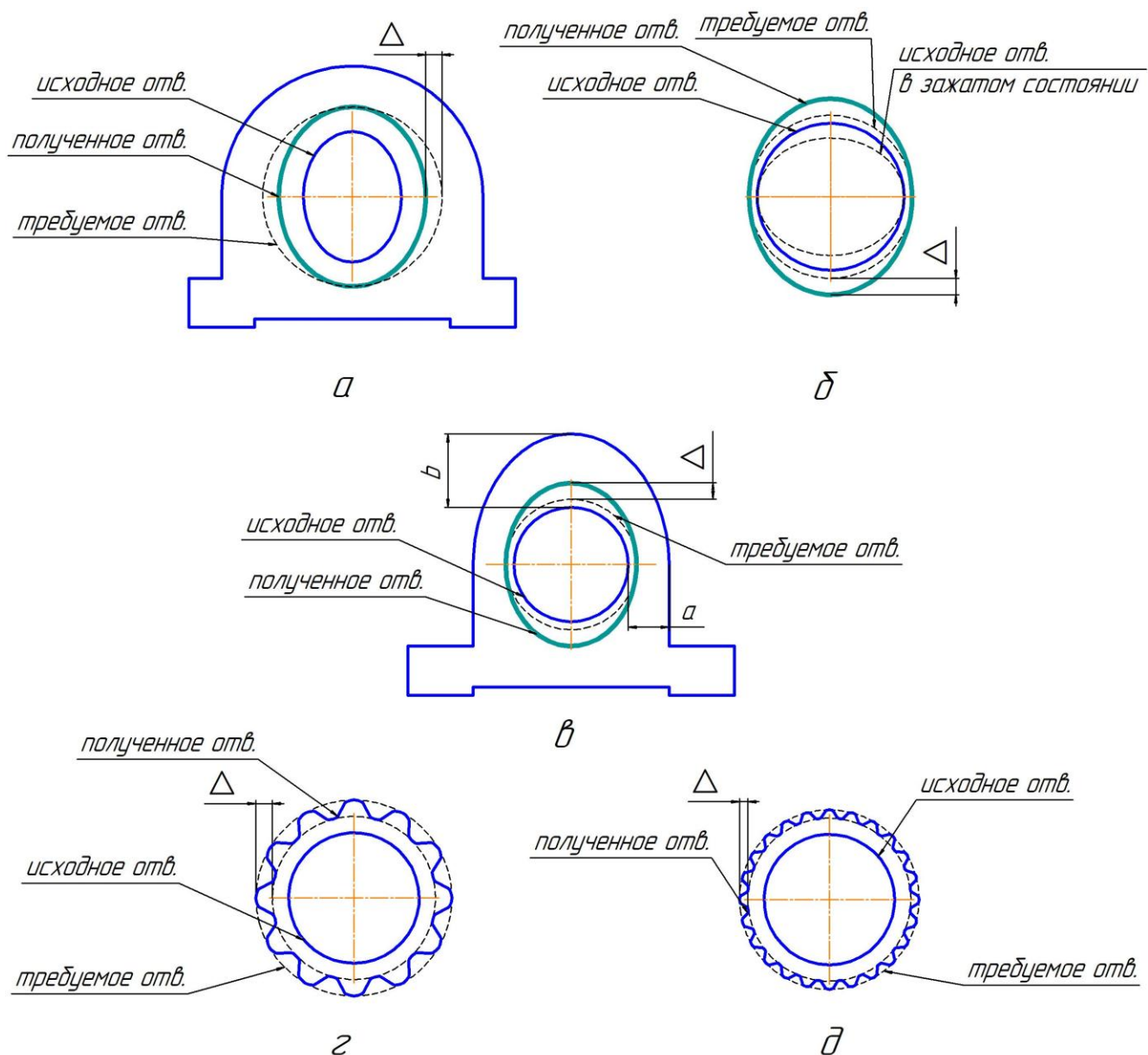
2. Некорректность схемы установки заготовки, заключающаяся в том, что под действием сил закрепления возникает деформация заготовки и ее отверстия (рис. б). После обработки отверстия в деформированном состоянии возникает отклонение от круглости после снятия сил закрепления [3];

3. Деформация заготовки вследствие резкой разницы толщины ее стенок (рис. в). В этом случае происходят неравномерные упругие деформации в процессе растачивания, и отверстие получается с отклонениями формы;

4. Погрешность обработки под действием сил неуравновешенности вращающегося инструмента, вызывающих его вынужденные колебания (рис. г). В итоге возникает периодическая погрешность, например, в виде волнистости, шаг которой зависит от частоты колебаний инструмента [4];

5. Деформация заготовки вследствие автоколебаний инструмента, при которых возникает также волнистость, шаг которой зависит от частоты собственных колебаний [4] (рис. д).

Третий случай образования погрешностей обработки является наименее изученным. Необходимость решения данной технологической проблемы становится все более актуальной с постоянно расширяющейся номенклатурой тонкостенных деталей, деталей низкой и переменной жесткости, а также с увеличением требований к массе изделия в авиационной и космической промышленности. На практике для того, чтобы уменьшить погрешности формы уменьшают силы резания путем увеличения числа проходов, что существенно увеличивает трудоемкость изготовления детали. Также нужно отметить необходимость высокой квалификации рабочего выполняющего расточные операции над деталями с переменной жесткостью, что также ведет к повышению затрат на изготовление деталей.



Список использованных источников

1. Жесткость, точность и вибрации при механической обработке [Текст]/под ред. Скрагана В.А. – Москва; Ленинград: Машгиз, [Ленинградское отделение], 1956. – 194 с.
2. Агафонов В.В. Технологическое обеспечение качества обработки с учетом жесткости станка// Контактная жесткость, износостойкость, технологическое обеспечение. Сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. Под общ. ред. А.Г. Суслова. Брянск: БГТУ, 2003. С. 236-239.
3. Машиностроение. Энциклопедия/ Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др.-М.: М38 Машиностроение. Технология изготовления деталей машин Т. III-3 / А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др.; Под общ. ред. А.Г. Суслова. 2000. 840 с, ил.
4. Прилуцкий В.А. Обеспечение точности изготовления деталей, соединений и надежности работы машин: учебное пособие / В.А. Прилуцкий. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2017. – 250с.

ФОРМИРОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ТРЕЩИН В КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛАХ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Игнатъев А.А., д.т.н., профессор; Добряков В.А., к.т.н., доцент; Виноградов М.В., д.т.н., профессор

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Представлены метод, связанный с возбуждением в свободно закрепленном коленчатом вале затухающих виброакустических колебаний ударным воздействием и математическое обоснование для формирования критерия наличия в нем трещин на основе вычисления добротности вала как динамической системы.

Работоспособность двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в значительной степени связана с техническим состоянием коленчатого вала, работающего в условиях повышенных температур, ударных и вибрационных нагрузок и являющегося достаточно сложным в изготовлении и дорогостоящим. На ряде ремонтных предприятий России осуществляется восстановление коленчатых валов ДВС, что позволяет примерно на 80% продлить их ресурс [1]. Существуют различные методы восстановления шеек коленчатых валов, которые подвержены наибольшему износу и на которых возможно возникновение трещин [1...3]. С практической точки зрения предварительной операцией перед восстановлением шеек является дефектация, направленная на выявление трещин и их размеров, в процессе которой определяется целесообразность восстановления. Среди известных методов выявления трещин в деталях машин, таких как ультразвуковой, магнито-порошковый, вихретоковый, капиллярный и других [4], представляет научный и практический интерес виброакустический (ВА) метод при импульсном воздействии [5]. Этот метод ранее был апробирован при выявлении трещин в кольцах железнодорожных подшипников [6].

Реализация метода базируется на возбуждении в свободно закрепленном коленчатом вале ВА колебаний ударным воздействием, например, стальным шариком массой 20 г. Далее затухающие ВА колебания регистрируются вибродатчиком, установленным на магнитной опоре, усиливаются виброизмерителем ВШВ-003-М2 и обрабатываются на компьютере с формированием изображения колебательного процесса и его спектра (рисунок).

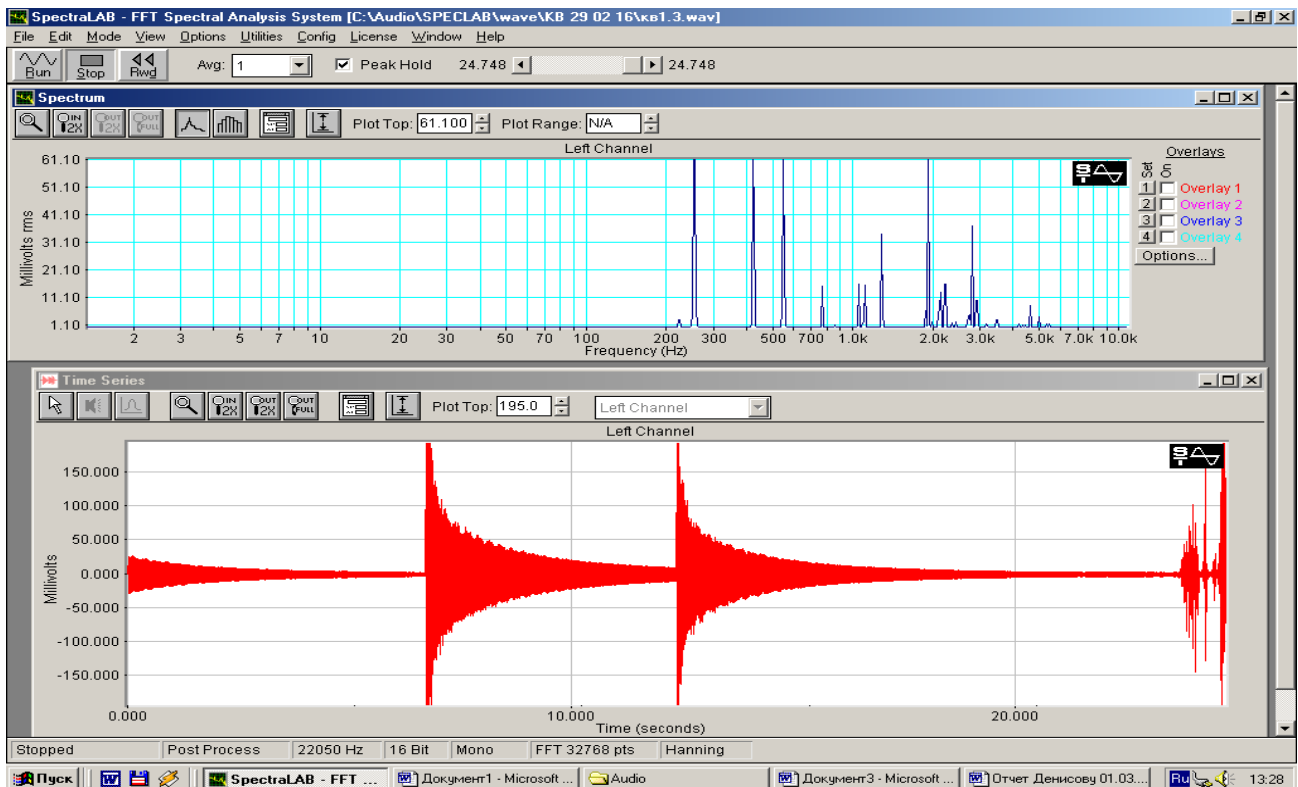
С точки зрения теории автоматического управления ударное воздействие на коленчатый вал можно рассматривать как единичное импульсное воздействие [7], так как время взаимодействия вала с шариком очень мало (порядка 10 мс) по сравнению с временем затухания колебаний (порядка нескольких десятых долей секунды). Здесь необходимо отметить, что затухающие ВА колебания в коленчатом вале являются импульсной переходной функцией (ИПФ).

Далее рассмотрим математическое обоснование для формирования оценки наличия трещины в коленчатом вале.

Коленчатый вал без трещин в первом приближении можно рассмотреть как колебательное звено с основной частотой ω_0 и передаточной функцией

$$W(p) = \frac{K}{T_o^2 p^2 + 2\zeta T_o p + 1}, \quad (1)$$

где K – коэффициент передачи; $T_o = \frac{1}{\omega_0}$, ζ – параметр затухания (коэффициент демпфирования); p – оператор Лапласа.



Колебательный процесс и его спектр в коленчатом валу

Импульсная переходная функция колебательного звена равна [7]

$$\omega(t) = \frac{K\xi}{T_o \sqrt{1-\xi^2}} e^{\frac{\xi}{T_o} t} \sin \omega t, \quad (2)$$

где $\omega = \omega_o \sqrt{1-\xi^2}$ – частота затухающих колебаний ИПФ.

Коэффициент затухания (α) ИПФ определяется соотношением

$$\alpha = \frac{\xi}{T_o}, \quad (3)$$

причем величина α может быть определена экспериментально по формуле

$$\alpha = \frac{1}{T} \ln \left(\frac{A_1}{A_2} \right), \quad (4)$$

где $T = \frac{1}{\omega}$, $\frac{A_1}{A_2}$ – отношение соседних амплитуд затухающих колебаний.

Огибающая ИПФ описывается формулой

$$A(t) = A e^{-\alpha t}. \quad (5)$$

Время затухания ИПФ t_3 определяется промежутком времени от начала процесса ($t=0$) до того момента, когда огибающая ИПФ снизится до величины $0,05 A_o$ т.е.

$$A(t_3) = 0,05 A_o. \quad (6)$$

Исходя из формул (5) и (6), имеем

$$0,05 A_o = A_o \cdot e^{-\alpha t_3}, \quad (7)$$

откуда следует

$$-\alpha t_3 = \ln 0.05 = -3.$$

Окончательно имеем

$$\alpha = \frac{3}{t_3}. \quad (8)$$

Отсюда следует, что время затухания ИПФ однозначно связано с коэффициентом затухания α .

Добротность коленчатого вала как динамической системы (ДС) в этом случае равна

$$Q = \frac{\omega_p}{2\alpha} = \frac{1}{3} \omega_p t_3, \quad (9)$$

где $\omega_p = \omega_0 \sqrt{1 - 2\zeta^2}$ – частота резонанса ДС с демпфированием.

На практике наличие трещины в коленчатом вале приводит к рассеянию энергии ВА колебаний и снижению его добротности по аналогии с кольцами подшипников [7]. Снижение добротности проявляется в уменьшении времени затухания t_3 по сравнению с валом, не имеющим трещин (рисунок). В силу того, что размер трещины влияет на величину рассеиваемой энергии, добротность коленчатого вала как ДС будет снижаться по мере увеличения размера трещины, что может быть оценено через время затухания ИПФ t_3 и частоту резонанса ω_p .

Таким образом, применение импульсного воздействия на вал с одновременной регистрацией ВА колебаний в ходе импульсной переходной функции позволяет достаточно оперативно выявить трещины в коленчатом вале, а по значению добротности оценить размер трещины. Далее решается вопрос целесообразности и возможности реализации технологии восстановления данного коленчатого вала, направленной на продление ресурса эксплуатации в ДВС.

Список использованных источников

1. Денисов А.С., Тугушев Б.Ф., Горшенина Е.Ю. Повышение долговечности коленчатых валов автотракторных двигателей в эксплуатации и при восстановлении. М.: РУСАЙНС, 2017. 300 с.
2. Булычев В.В., Зезюля В.В. Технология восстановления стальных коленчатых валов комбинированной наплавкой // Ремонт, восстановление, модернизация. 2008. № 12. С. 14-17.
3. Вопнерук А.А., Валиев Р.М., Базилевский А.А. Восстановление коленчатых валов мощных дизельных двигателей и компрессорной техники // Ремонт, восстановление, модернизация. 2011. № 7. С. 2-4.
4. Ключев В.В., Соснин Ф.Р., Ковалев А.В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник. М.: Машиностроение, 2003. 657 с.
5. Игнатьев А.А., Добряков В.А., Виноградов М.В. Критерий оценки качества коленчатых валов виброакустическим методом // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2018. С. 42-45.
6. Игнатьев А.А., Мотков А.Г., Захарченко М.Ю. Автоматизация выявления дефектов колец подшипников виброакустическим методом при импульсном воздействии. Саратов: СГТУ, 2016. 108 с.
7. Никулин Е.А. Основы теории автоматического управления. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 640 с.

СОЗДАНИЕ ПАСПОРТА ДИНАМИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА СТАНКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ В ПОДШИПНИКОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Игнатъев А.А., д.т.н., профессор; Добряков В.А., к.т.н., доцент; Игнатъев С.А., д.т.н., профессор

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

На основе результатов исследования виброакустических колебаний динамической системы шлифовальных станков разработан паспорт динамического качества станка, который заносится в базу данных экспертной системы, функционирующей в структуре системы мониторинга технологического процесса производства подшипников.

Для изготовления конкурентоспособной продукции к оборудованию подшипникового предприятия предъявляются высокие требования по качеству и надежности, которые обеспечиваются не только предприятием-изготовителем станков за счет соответствующего уровня производства, но и предприятием, на котором станки эксплуатируются, за счет квалифицированного подхода к организации их функционирования, включая восстановление станков при функциональных и параметрических отказах.

В процессе эксплуатации на точность обработки оказывает влияние большое количество внешних и внутренних факторов, что обуславливает ее снижение по сравнению с начальной точностью, оценка которой производится первоначально на предприятии-изготовителе, а затем при приемо-сдаточных испытаниях [1]. Кроме того, в той или иной форме контроль точности станков выполняются после восстановления, которое осуществляется после аварийного или планово-предупредительного ремонта, а также при обслуживании станков по реальному техническому состоянию. Последнее в большинстве случаев более выгодно предприятию с точки зрения экономических затрат, однако требует внедрения системы мониторинга технологического процесса (СМТП) [2].

Контроль и диагностирование современного оборудования выполняется по нескольким десяткам параметров, среди которых важное место отводится вибродиагностическим. При реализации виброконтроля оценивается динамическое качество станка. Оно особенно важно для шлифовальных станков, обрабатывающих кольца подшипников, так как уровень виброакустических (ВА) колебаний динамической системы (ДС) существенно влияет на овальность, гранность и волнистость поверхности качения колец, а также в ряде случаев приводит к неблагоприятному изменению структуры их поверхностного слоя, что снижает эксплуатационную надежность подшипников.

Для обеспечения эффективной работы автоматизированных станков технический персонал, обслуживающий оборудование при эксплуатации и восстановлении, должен иметь информацию индивидуально о каждом станке с момента ввода его в эксплуатацию, в которой содержатся сведения обо всех технических мероприятиях, включая данные об обрабатываемых деталях, инструменте, режимах резания, о техническом обслуживании и ремонте станка, сведения об операторах и наладчиках и т.п. Для этого целесообразно создание электронной документации станка, принцип построения и структура которой изложены в работе [3]. В СГТУ было рассмотрено создание паспорта динамического качества (ПДК) станка, в который заносятся данные об эталонных значениях ВА колебаний узлов ДС, полученные в ходе обучающего эксперимента на основе измерений на нескольких однотипных станках, и аналогичные данные, полученные в результате контрольных измерений в процессе эксплуатации (таблица).

Фрагмент паспорта динамического качества шлифовального станка

ПАСПОРТ ДИНАМИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА круглошлифовального станка SWAGL-50						
Дата контрольных испытаний				10.04.18		
Обрабатываемое кольцо				308/01		
Динамические характеристики						
Параметр	ШУ круга			ШУ детали		
	Передняя я опора	Задняя опора	Двигатель	Передняя я опора	Задняя опора	Двигатель
Частота вращения, об/мин	1800			400		
Общий уровень вибрации, отн. ед.	270	280	330	300	320	360
Вибрации на частоте вращения, отн.ед.	21	23		18	20	
Показатель колебательности	4,8					
Качество обработки дорожки качения						
Овальность, мкм				1,6		
Огранка, мкм				1,2		
Волнистость, мкм				0,5		
Шероховатость Ra, мкм				0,4		
Однородность поверхностного слоя, баллы				5		

Следует отметить, что ПДК станка заносится в базу данных экспертной системы, технической основой которой является компьютер типа Notebook. В результате сравнительной оценки текущего динамического качества станков и точности обработки с эталонными значениями и в случае их существенного снижения, обслуживающий персонал обращается к экспертной системе за рекомендациями по восстановлению точности обработки, заложенными в базу знаний на основе обобщения опыта экспертов и наладчиков станков. Указанное позволяет принимать оперативное решение по ремонтно-профилактическим работам или корректировке режима обработки.

Создание базы данных по ПДК станков в структуре СМТП обеспечивает доступ к ней пользователей различного уровня, что способствует принятию управляющего решения по повышению эффективности эксплуатации станков, а также позволяет снизить число бракованных деталей.

Список использованных источников

1. Проников А.С. Программный метод испытания металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1985. 288 с.
2. Игнатьев С.А., Горбунов В.В., Игнатьев А.А. Мониторинг технологического процесса как элемент системы управления качеством продукции. Саратов: СГТУ, 2009. 160 с.
3. Игнатьев А.А., Гаврилова А.В., Шамсадова Я.Ш. Электронный паспорт динамического качества станков // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2018. С. 45-48.

ПАКЕТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОДШИПНИКОВ

Игнатьев С.А., д.т.н., профессор; Шамсадова Я.Ш., соискатель

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Разработан пакет прикладных программ, апробированный в условиях подшипникового производства при регистрации виброакустических колебаний станков с помощью виброизмерительного комплекса на базе прибора ВШВ-003-М3 и компьютера типа ноутбук. Полученные посредством использования программ характеристики динамического качества станков достаточно эффективно применяются в системе мониторинга при ремонтно-профилактических работах и назначении режима шлифования в условиях подшипникового производства.

Колебания элементов формообразующей подсистемы шлифовального станка негативно отражаются на качестве обработанной поверхности деталей [1]. Физическое обоснование этого базируется на том, что вибрации в зоне взаимодействия абразивного круга и заготовки приводят к локальному повышению температуры и силы резания, следствием чего является неоднородность структуры и физико-механических характеристик поверхностного слоя [2, 3]. Указанное относится и к кольцам подшипников, так что в дальнейшем при эксплуатации наличие дефектов на дорожках качения снижает надежность подшипников в целом и изделий, в которых они используются.

При оценке динамического качества станков по характеристикам виброакустических (ВА) колебаний следует учитывать как детерминированные, так и стохастические компоненты колебаний, что позволяет как качественно, так и количественно выявить станки с наиболее высоким качеством, а также наиболее целесообразные режимы шлифования по установленным критериям [4].

В шлифовальных станках наиболее высокий уровень вибраций наблюдается на шпиндельных узлах (ШУ) инструмента и детали, поэтому фиксация их колебаний дает наиболее полную информацию о техническом состоянии ШУ при измерениях без резания и о процессе резания при измерениях при обработке.

Важная роль при виброизмерениях принадлежит автоматизации измерений и обработке результатов, причем существенно, чтобы при этом использовались методики, разработанные для автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) [5], составной частью которых являются пакеты прикладных программ (ППП). Они обеспечивают удобство и простоту применения для пользователей при обработке больших массивов экспериментальных данных [6], в том числе при исследовании динамики станков [7].

В нашем случае при исследовании вибраций ШУ шлифовальных станков для обработки дорожек качения колец подшипников использовался ППП, разработанный ранее на встроенном языке программирования математической системы Matlab [7], а также дополнительные программы обработки результатов измерений ВА колебаний динамической системы (ДС) станка, зарегистрированных как на холостом ходу, так и при резании.

В таблице представлены используемые в АСНИ характеристики ВА колебаний и получаемые на их основе характеристики качества ДС станка, причем предполагается, что при резании ДС возбуждается сигналом типа «белый шум».

Состав пакета прикладных программ расчета характеристик качества динамических систем станков

Программа расчета	Характеристики качества динамических систем станка
Автокорреляционные функции (АКФ)	Передаточная функция ДС при резании; наличие гармонических колебаний в ДС, обусловленных дефектами в ШУ
Спектр колебаний	Диапазон и основные частоты колебаний в ДС на холостом ходу и при резании
Интегральные оценки АКФ	Динамическое качество станка на холостом ходу и при резании
Интегральные оценки спектра	Динамическое качество станка на холостом ходу и при резании
Показатель колебательности ДС	Оценка запаса устойчивости ДС при резании и динамического качества станка

Разработанный пакет прикладных программ апробирован в условиях подшипникового производства при регистрации ВА колебаний станков виброизмерителем ВШВ-003-МЗ, а полученные характеристики динамического качества станков достаточно эффективно используются в системе мониторинга технологического процесса при ремонтно-профилактических работах и назначении режима шлифования в условиях подшипникового производства.

Список использованных источников

1. Кудинов В.А. Динамика станков. М.: Машиностроение, 1967. 360 с.
2. Кулаков Ю.М., Хрульков В.А., Дунин-Барковский И.В. Предотвращение дефектов при шлифовании. М.: Машиностроение, 1975. 144 с.
3. Игнатьев С.А., Горбунов В.В., Игнатьев А.А. Мониторинг технологического процесса как элемент системы управления качеством продукции. Саратов: СГТУ, 2009. 160 с.
4. Игнатьев А.А., Каракозова В.А., Игнатьев С.А. Стохастические методы идентификации в динамике станков. Саратов: СГТУ, 20013. 124 с.
5. Организация автоматизированной системы научных исследований и испытаний станков / А.А. Игнатьев, В.А. Добряков, Е.М. Самойлова, Я.Ш. Шамсадова // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении: сб. ст. Всерос. конф. Курск: ЮЗГУ, 2018. С. 135-137.
6. Методическое и программное обеспечение в динамике машин / М.Б. Левин, А.Б. Одуло, Д.Е. Розенберг и др. М.: Наука, 1989. 294 с.
7. Игнатьев С.А. Пакет прикладных программ для системы автоматизации исследований динамики станков // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2002. С. 89-92.

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ПОЛИРОВАЛЬНЫЕ ПАСТЫ**Младенцева О.А., ассистент***Самарский государственный технический университет**Рассматривается влияние компонентов полировальных паст на ее полирующие свойства.*

Абразивное полирование широко применяется при окончательной обработке разнообразных деталей и предназначено для уменьшения шероховатости обработанной поверхности и увеличения её зеркального отражения. По ГОСТу 23505-79 под зеркальным отражением понимается отражение без элементов рассеивания, подчиняющегося оптическим законам отражения, справедливым для зеркала. Такие требования предъявляются особенно при изготовлении плоскопараллельных концевых мер и калибров, а также при изготовлении деталей подшипников, гидро- и топливной аппаратуры и др., где в качестве окончательной операции широко применяется доводка [1 и др.].

Доводка обеспечивает высокое качество поверхности детали (шероховатость $R_a = 0,16...0,04$ мкм и менее, высокую точность размеров и формы, требуемый внешний вид).

В производстве достаточно широко применяются пасты на основе окиси хрома (известные под названием паст ГОИ) [1], имеющие в составе кроме окиси хрома (до 86%) олеиновую кислоту, стеарин (парафин), силикогель и др. Паста ГОИ не дорогая, имеет хорошие полирующие свойства, не шаржирует обрабатываемую поверхность, она часто применяется при доводке деталей из мягких материалов (цветных сплавов, незакаленных сталей и др.). После доводки поверхность имеет зеркальное отображение и хороший внешний вид. Однако, одним из недостатков паст ГОИ является низкая производительность процесса доводки и наличие окиси хрома (ОХ), которая относится к веществам 2-го класса опасности. Предельно допустимая концентрация (ПДК) ОХ в воздухе рабочей зоны должна быть не более 1 мг/м^3 .

Применение паст на основе карбида бора, кремния, алмаза, эльбора и др. улучшает условия труда, повышает производительность доводки, но увеличивает расходы, связанные со стоимостью паст. В ряде случаев такие пасты могут шаржировать поверхности деталей, что не желательно и не допустимо.

Наиболее перспективным является создание паст на основе электрокорунда белого (24А). Известны пасты на основе микропорошков (М28...М5) из 24А (70%), олеиновую кислоту (20%), парафин (9%) и керосин (1%) [1], которая повышает производительность доводки по сравнению с пастой ГОИ, но не позволяет иметь на поверхности детали зеркальное отображение.

Проведены исследования по разработке новых производительных паст, при частичной или полной замене окиси хрома на микропорошок 24А зернистостью М2П...М3П с добавлением поверхностно-активных веществ (ОП7 или ОП10) и других компонентов, для получения на поверхности деталей зеркального отражения и $R_a = 0,16...0,20$ мкм, при отсутствии отдельных рисков более 0,2 мкм. При этом должны быть сняты глубокие риски, оставленные от предыдущей обработки (шероховатость поверхности до доводки имела $R_a = 0,4...0,3$ мкм, с отдельными рисками R_z до 1,1 мкм). Доводка производилась на деталях из закаленных сталей (У10А, А75 и др.), из цветных сплавов (ЦИАМ9, латунь ЛС-59-1 и др.) войлочными кругами и полировальниками, на которые наносились исследуемые пасты, при следующих режимах: скорость 6...12 м/с и сила прижима 20...22Н. Время полирования зависит от формы детали и требований по величине R_a .

К поверхностям деталей по техническим условиям (ТУ) на их изготовление предъявлялись следующие требования: зеркальное отражение обработанной поверхности, на поверхности не допускаются риски глубиной больше заданного значения шероховатости $R_a \cong 0,25$ мкм. Детали перед полировкой имели поверхность с $R_a = 0,30 \dots 0,38$ мкм.

После обработки зеркальное отражение определялось визуальным осмотром с помощью лупы, а величина R_a и R_z измерялись профилометром - профилографом. При исследовании определялся расход паст и ее способность удерживаться на рабочей поверхности полировальника или круга. Производительность оценивалась по снятию рисок глубиной R_z , оставленных от предыдущей обработки. При частичной замене ОХ на 24А наилучшие результаты показали пасты №2 следующего состава в %: электрокорунд белый - 22...26, окись хрома - 18...22, стеарин - 46..50, остальное ОП7 (ОП10).

Пасты показали хорошую работоспособность, удерживались на рабочей поверхности полировальника, а поверхности деталей соответствовали техническим условиям.

При полной замене ОХ на 24А и Cz_2O_3 «зубной порошок» (паста №2) установлено, что оптимальное сочетание микропорошка электрокорунда (40...42%) и «зубного порошка» (9...11%) образует смесь режущих и полирующих зерен, которые позволяют иметь пасте высокую производительность, требуемое зеркальное отражение обработанной поверхности и $R_a = 0,22 \dots 0,20$ мкм.

Оптимальное сочетание связующего (стеарина) - 38...40% и поверхностно активного вещества (ОП7 или ОП10) – 8...10%, позволяет получить такую консистенцию пасты и маслянистость, при которой она хорошо удерживается на рабочей поверхности полировального инструмента, показывает хорошую работоспособность при нормальном износе. При этом на деталях получается требуемое зеркальное отражение поверхности. Таким образом в пасте №1 было уменьшено содержание вредной окиси хрома с 80% до 18...22%, т.е. в среднем в четыре раза (состав пасты см. патент [2]), при этом новая паста показала увеличение производительности при полировании в 2 и более раза, по сравнению с пастой ГОИ.

В пасте №2 полностью исключена вредная окись хрома и заменена электрокорундом белым и «зубным порошком» (состав пасты см. патент [3]), т.е. паста содержит вещества 3 и 4 класса опасности с ПДК 10 мг/м³ и более, что значительно улучшает условия труда и снижает концентрацию вредных веществ, повышает производительность в 1,5 раза по сравнению с пастой №1.

Разработанные пасты внедрены в производство и рекомендуются для применения на доводочных операциях при изготовлении разнообразных деталей из закаленных сплавов, цветных сплавов и др. материалов при высоком качестве обработки.

Список использованных источников

1. Абразивная и алмазная обработка материалов, справочник / Под ред. Резникова А.Н. М.: Машиностроение, 1997.390с.
2. Патент РФ на изобретение «Полировальная паста» RU №2034888 кл. с109G1/02.
3. Патент РФ на изобретение «Полировальная паста» RU №2055851 кл. с 09G1/02.

ВИБРОКОНТАКТНОЕ ПОЛИРОВАНИЕ ЛОПАТОК ПЕРВОЙ СТУПЕНИ ГТД

Носов Н.В., профессор

Самарский государственный технический университет

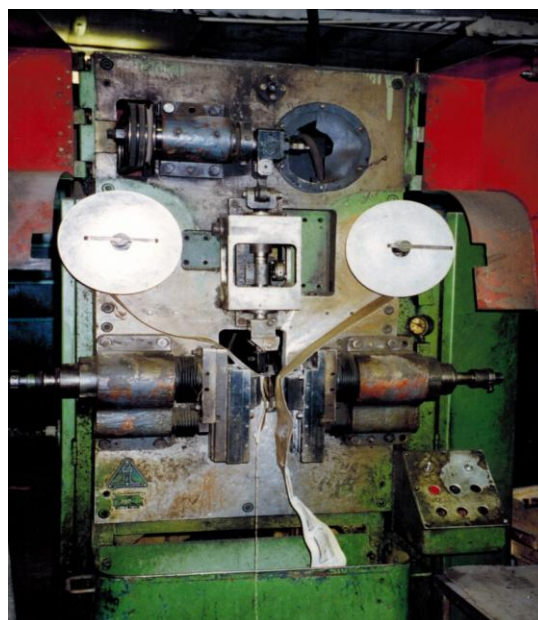
В статье приведены результаты исследования качества поверхности лопаток первой ступени газотурбинного двигателя после виброконтактного полирования. Установлено, что режимы обработки и характеристики абразивных лент влияют на параметры автокорреляционной функции. Впервые получены поля шероховатости поверхности профиля пера спинки и корыта лопаток.

Введение. Многочисленными исследованиями установлено существенное влияние структуры микрорельефа (шероховатости) поверхностей лопаток турбин на их надёжность и долговечность [1]. Соответственно, разработка и внедрение эффективных методов обработки профиля пера лопаток и контроля параметров структуры непосредственно в производственных условиях может значительно повысить производительность процесса и качество выпускаемой продукции. В настоящее время широкое применение в машиностроении находят оптические средства для оценки параметров структуры. Однако эти средства, как правило, могут использоваться только в лабораторных условиях и для выборочного контроля.

Экспериментальные исследования. Окончательная обработка профиля пера лопатки формирует требуемые параметры микрогеометрии поверхности лопаток ГТД. Внешний вид спинки и корыта лопатки приведен на рис. 1, а. В производственных условиях обработка спинки и корыта лопаток осуществлялась на виброконтактном станке ЛВП-4, представленном на рисунке 1, б.



а



б

Рис. 1. Лопатка первой ступени ГТД (-а), виброконтактный станок ЛВП-4(-б)

Рассмотрим алгоритм и метод определения структуры микрорельефа на основе U_{CP} для исследования шероховатости полированных поверхностей пера лопаток 1-й ступени газотурбинного двигателя (ГТД) [2].

Траектория рабочего движения обрабатываемой лопатки при виброконтактном полировании формируется в результате геометрического сложения взаимно-перпендикулярных колебаний от двух кривошипно-шатунных механизмов. Траектория такого движения имеет вид сетки с регулируемыми параметрами, геометрически сложна и практически неповторима. Благодаря такому движению на поверхности спинки и корыта лопатки формируется однородная поверхность. Режимы вертикальных и горизонтальных колебаний непосредственно влияют на качество поверхности, производительность обработки и динамические нагрузки, возникающие в колебательной системе.

Обычно при обработке принимают равными: частоту $20...25 \text{ с}^{-1}$, амплитуду $5...10 \text{ мм}$, что позволяет получать скорость обработки $30...120 \text{ м/мин}$.

Моделирование процесса обработки показало [3], что максимальная производительность процесса достигается при оптимальном соотношении частот $\omega_o = \omega_z / \omega_v$, где ω_z – частота горизонтальных колебаний, ω_v – частота вертикальных колебаний. Исследования проводились следующем диапазоне $1/2 \leq \omega_o \leq 1$. Приравнявая скорости вращения двух рядом стоящих фигур в интервалах: $B_1=1/2, B_2=3/5, B_3=2/3, B_4=3/4, B_5=4/5, B_6=1$, получим следующую зависимость:

$$\operatorname{tg}(\omega_o) = \frac{(\cos B_i + \cos B_{i+1}) \cdot \omega_o - (B_i \cos B_i + B_{i+1} \cos B_{i+1})}{(B_i \sin B_i + B_{i+1} \sin B_{i+1}) - (\sin B_i + \sin B_{i+1}) \omega_o}.$$

Правая часть уравнения - гипербола, левая – тангенциоида. Решая данное уравнение относительно ω_o , был получен следующий ряд оптимальных соотношений частот: 0,543, 0,617, 0,704, 0,763, 0,833, 0,917.

В нашем случае обработка лопаток 1 ступени турбины осуществлялась с $\omega_o = 0,833$ абразивными лентами в 2 перехода: 1 переход - П8 63С16ПМА и 2 переход - П8 63С6НМА. Режимы обработки: скорость полирования составила 30 м/мин , вертикальное перемещение $4-6 \text{ мм}$, горизонтальное перемещение $3-5 \text{ мм}$, цикл обработки $12-17 \text{ с}$, давление ложементов в зоне обработки составило $0,4-0,6 \text{ МПа}$.

Известно, что параметры микрогеометрии поверхности должны быть одинаковыми во всех направлениях поверхности лопатки. Примем условие, что при равных параметрах шероховатости поверхности на поверхности формируется равноостная структура и не допущена однонаправленная шероховатость [4]. Проведены экспериментальные исследования параметров микрорельефа поверхности лопаток 1 ступени ГТД, полученные после операции виброконтактного полирования спинки и корыта лопатки.

Обработка результатов эксперимента показала, что среднее значение переменной составляющей корреляционной функции, вычисленное по 30 изображениям, составило $U_{CP} = 22,1$ отн. ед. для $I_\rho = 0,21$ отн.ед., тогда $U_{CP_{\min}} = 21,89$ отн.ед., и $U_{CP_{\max}} = 22,32$ отн.ед. Идентификация параметров автокорреляционной функции и шероховатости поверхности дало следующие результаты по высотным параметрам структуры поверхности: $Ra_{\Pi} = 0,21 \text{ мкм}$, $Ra_{\min} = 0,14 \text{ мкм}$ и $Ra_{\max} = 0,27 \text{ мкм}$, что вполне согласуются со значениями Ra профиля поверхности, измеренными с помощью профилографа SJ - 201P.

Далее, было выполнено последовательное оптико-электронное сканирование всей поверхности спинки и корыта лопатки, вычисление Ra_{Π} для каждого участка и построение полей шероховатости, представленных на рис. 2.

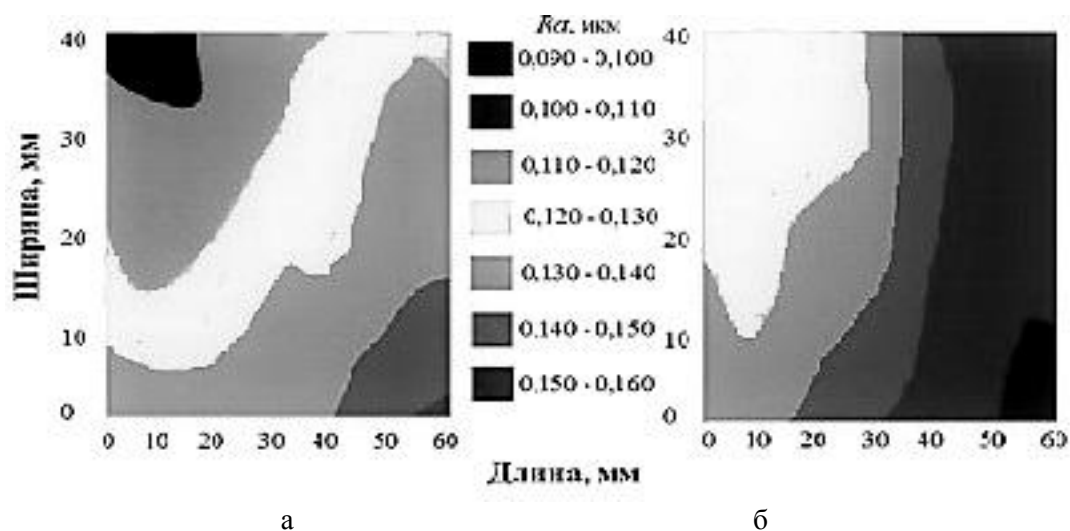


Рис. 2. Поля шероховатости поверхности лопаток 1 ступени турбины после 1 перехода:
а- корыто, б- спинка

Из приведенных данных видно, что шероховатость поверхности на спинке больше, чем на корыте на 0,15...0,2 мкм. Это связано с тем, что при обработке площадь контакта поверхности лопаток с ложементами с течением времени изменяется и давление на спинке повышается. Кроме этого, лопатки в процессе обработки совершает колебание не по плоскости, а по некоторой дуге, которая не всегда совпадает с радиусом закрутки лопатки, поэтому формирование микронеровностей в большей степени зависит от кинематики процесса виброконтактного полирования.

Выводы.

1. Установлено, что применение оптимальных соотношений частот вертикальных и горизонтальных колебаний приводит к образованию однородной структуры поверхности профиля пера лопаток.
2. Доказано, что применение оптико-электронного метода оценки качества поверхности турбинных лопаток позволяет более глубоко анализировать технологию виброконтактного полирования, строить поля шероховатости поверхности.

Список использованных источников

1. Суслов А. Г. Автоматизированное обеспечение комплексного параметра качества поверхностного слоя при механической обработке. Научные технологии в машиностроении. 2011. № 2. С. 34-39.
2. Абрамов А.Д., Никонов А.И., Носов Н.В. Способ контроля шероховатости поверхности изделия. Патент на изобретение № 2413179, G01B 11/30 (2006/01), G01N 21/93 (2006/01). Бюл. №6, 27.02.2011.
3. Носов Н.В., Китайкин В.Л. Повышение качества лопаток турбин из сплава ЖС6-9И //Техническая надёжность конструкций. – Куйбышев, 1986, с.52-53.
4. Иванов А.Ю., Леонов Д.Б. Технологические методы обеспечения качества изделий. Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2011. Вып.75. № 5.С. 111-114

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫХ ПЛАСТИН

Носов Н.В., профессор; Балакиров С.Н., аспирант; Прилуцкий Д.О., магистрант

Самарский государственный технический университет

В статье приводятся результаты разработки технологии восстановления сменных многогранных пластин. Определены расчетные геометрические параметры и качество режущей поверхности пластин, с учетом режимов и условий обработки. Восстановленные пластины прошли опытно-промышленную проверку на получистовых операциях токарной обработки шаровых кранов. Исследования показали, что стойкость восстановленных пластин на 10...20% ниже стойкости новых пластин.

Введение. Применение сменных твердосплавных пластин с креплением через центральное отверстие при обработке деталей является доминирующим направлением в обработке металлов резанием. При этом, эффективность процесса определяется ресурсом работы режущего инструмента. В связи с этим проблема увеличения стойкости сменных твердосплавных пластин является весьма важной задачей инструментального производства. Мировая практика показывает, что пластины, выпускаемые фирмами: SECO, SANDVIK, GUEHRING, DORMER и др., имеют необходимые для резания геометрические параметры и высокие физико-механические свойства. Перспективным направлением увеличения ресурса пластин является восстановление режущих свойств изношенных пластин для их повторного использования. Восстановление пластин производится двумя способами. Первый способ разрабатывался многими авторами [1] и включал переточку по задней поверхности, с последующей доводкой по передней поверхности и нанесения износостойких покрытий на переднюю и заднюю поверхности. Преимуществом этого метода является многократное использование при восстановлении изношенных сменных многогранных пластин и неизменная форма передней поверхности. Недостатком является уменьшение размеров многогранных пластин по диаметру вписанной окружности, что изменяет условия крепления пластины в корпусе инструмента и может привести к снижению надежности ее крепления. В силу этого, восстановленные пластины не могут быть использованы при обработке на станках с ЧПУ, а только на универсальных станках, это ограничивает область их применения.

Второй способ связан с восстановлением пластин по передней поверхности, которая имеет сложную форму, выполняющую функции дробления и завивания стружки при резании правой и левой режущей кромки. Аналогичную форму передней поверхности практически невозможно восстановить.

Известно, что износ и сколы вершин твердосплавных пластин происходят по задней поверхности главной и вспомогательной режущих кромок и радиусу вершины резца (рис. 1). Установлено, что вершину пластины приходится заменять, если износ по задней поверхности главной режущей кромки и радиусу закругления вершины составляет 0,3 ... 0,5 мм по высоте и 0,03 ... 0,05 мм по глубине. Это определяет период стойкости пластины.

Экспериментальные исследования. При обработке заготовок на токарных станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах неперетачиваемые пластины являются универсальными и могут работать в различных направлениях, т.к. снимают припуски с цилиндрических, плоских, фасонных, внутренних и наружных поверхностей.

Установлено, что износ неперетачиваемых пластин по передней поверхности происходит в следующей последовательности:

- в начальный период (приработки) износ связан с движением стружки по передней поверхности, приводящему к абразивному износу покрытия и образованию лунки на передней поверхности;

- в следующий период наблюдается разрушение покрытия, разрастание лунки как по площади, так и по глубине, увеличение радиуса закругления режущей кромки, образованных синергетическим эффектом (стабилизация процесса резания);

- в конце работы пластины угол резания уменьшается, образуются мелкие сколы по режущей кромке, которые сливаясь, образуют сплошную изношенную поверхность по задней поверхности инструмента. Особенно это заметно на пластинах имеющих заднюю поверхность равную нулю.

На наш взгляд наиболее перспективным является переточка пластины по передней поверхности с отрицательной фаской, со стружколомающей канавкой, с положительным передним углом [3]. В этом случае заточка пластин уменьшает размер пластины по высоте, но на надежность крепления это не сказывается. При переточке пластин по передней поверхности появляется уникальная возможность изменить параметры режущей части в соответствии с конкретными условиями обработки.

Размер припуска при заточке по передней поверхности зависит от величины износа по задней поверхности главной и вспомогательной режущих кромок.

В процессе переточки необходимо установить размеры и форму новой передней поверхности с сохранением возможности стружкодробления.

Рассчитаем геометрические размеры передней поверхности: длину, ширину, угол наклона главной режущей кромки в осевом и радиальном направлениях.

Длина переточенной главной режущей кромки $L_p = t + (1 \dots 2)$ мм, где t – глубина резания, равная припуску.

Ширина передней поверхности рассчитывалась по длине участка пластического контакта стружки по передней поверхности L_3 [2]:

$$L_3 = S_o \cdot [K_l \cdot (1 - \operatorname{tg}(\gamma)) + \sec(\lambda)],$$

где S_o – подача на оборот заготовки, мм/об, K_l – усадка стружки по длине, γ – передний угол.

После заточки передний угол при вершине пластины $\gamma = + (5 \dots 7^\circ)$, это позволяет иметь положительный передний угол на главной режущей кромке равный $3 \dots 5^\circ$ при обработке заготовок.

Практика процесса переточек показывает, что наибольшую эффективность имеют алмазные круги на бакелитовых и вулканитовых связках.

Исследования химического состава твердого сплава, выпускаемого фирмой SANDVIK показало, что марка твердого сплава близка к отечественному твердому сплаву ВК6.

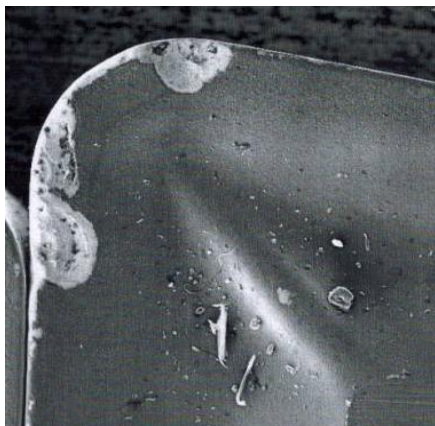


Рис. 1. Передняя поверхность изношенной сменной многогранной пластины и положение стружколома

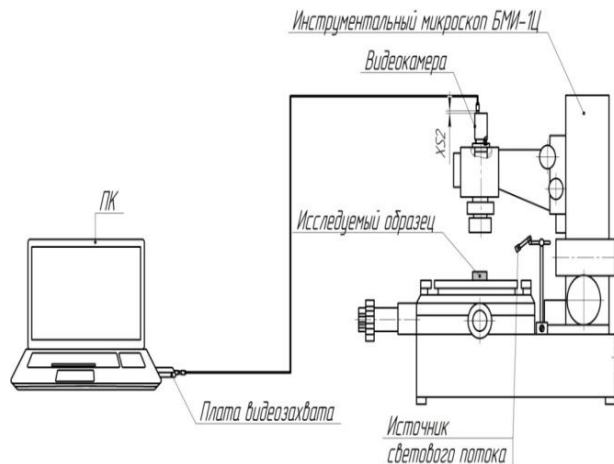


Рис. 2. Схема исследовательского комплекса

В работе разработана методика исследования шероховатости передней поверхности пластин оптико-электронным методом [3]. В исследовательский комплекс входят инструментальный микроскоп, оптико-электронные средства (рис. 2) и программное обеспечение, позволяющее обрабатывать видеоизображения исследуемых поверхностей. Проведены исследования шероховатости передней поверхности переточенных пластин с помощью исследования корреляционных параметров поверхности (амплитуды и математического ожидания автокорреляционной функции), используя оптико-электронный метод (рис. 3).

Исследованиями установлено, что амплитуда автокорреляционной функции составляет $U_{cp\ min} = 25,12$ отн. ед. и $U_{cp\ max} = 25,62$ отн. ед., что соответствует шероховатости передней поверхности пластин после переточки $Ra = 0,2 \dots 0,23$ мкм.

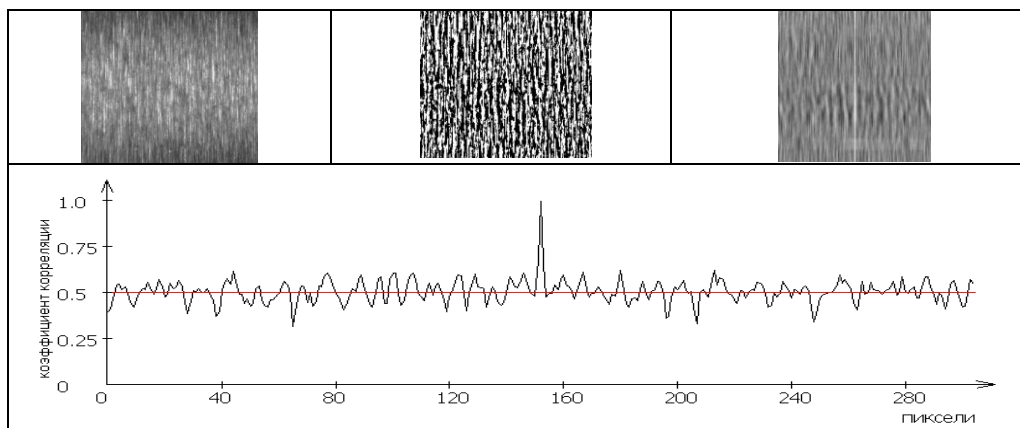


Рис.3. Полутонное изображение передней поверхности пластины, бинарное изображение участка; корреляционная поверхность; изменение коэффициента корреляции

Восстановленные неперетачиваемые пластины прошли опытно-промышленную проверку при чистовом точении шара 20", сталь 38ХМЮА на токарно-карусельном станке с ЧПУ 1А512ФЗ с режимами: $V_p = 160$ м/мин, $t = 0,5$ мм, $S_o = 0,2$ мм/об, работа с охлаждением – эмульсия. По полученным результатам рассчитывался ресурс пластины по формуле:

$$P_i = P_{ir} \cdot N \cdot (1 + i \cdot \xi),$$

где P_{ir} – стойкость одной вершины новой пластины в мин; N – количество переточенных вершин; i – число повторных переточек, ξ – коэффициент снижения стойкости ($\xi = 0,8$).

Подставим найденные значения в формулу при $P_{ir} = 20$ мин. :

$$P_i = 20 \cdot 4 \cdot (1 + 3 \cdot 0,8) = 272 \text{ мин.}$$

Таким образом, по сравнению с новой пластиной ресурс восстановленной пластины увеличился более чем в 3 раза.

Список использованных источников

1. Попова А.Ю., Радченко Д.С., Васильева Е.В.. Повышение эффективности использования современных инструментов со сменными твердосплавными пластинами за счет их вторичного ресурса/ Вестник УГАТУ, г. Уфа, 2012г., т. 16, № 4, с. 46-51
2. Скуратов Д.Л. Формообразование поверхностей деталей. Обработка материалов резанием. Ч.: учеб. пособие./ Д.Л. Скуратов, В.Н. Трусков, Т.Н. Андрбхина.-Самара: Самар. Гос. Техн. ун-т, 2011.- 175 с.: ил.
3. Абрамов А.Д., Никонов А.И., Носов Н.В. Способ контроля шероховатости поверхности изделия. Патент на изобретение № 2413179, G01B 11/30 (2006/01), G01N 21/93 (2006/01). Бюл. №6, 27.02.2011.

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ АБРАЗИВНОЙ ЛЕНТОЙ

Прилуцкий В.А., д.т.н., доцент; Сайфутдинов Д.Р., магистрант

Самарский государственный технический университет

В статье рассмотрены методы обработки поверхностей вращения абразивной лентой, используемые в технологическом процессе изготовления внутренних колец шарикоподшипников, имеющие цель получить поверхность с заранее заданными свойствами.

Абразивная обработка поверхностей вращения с помощью лент во многих случаях является нам более производительным и совершенным процессом [1].

Применительно к обработке беговой дорожки внутренних колец шарикоподшипников, возможно следующее разделение методов: 1) со скоростью инструмента, равной нулю; 2) со скоростью инструмента до 36 м/с поперек плоскости вращения заготовки; 3) со скоростью инструмента до 36 м/с вдоль плоскости вращения заготовки;

Первый метод заключается в том, что лента под действием прижимной силы огибает беговую дорожку по большой дуге в поперечном сечении (рис. 1, где 1 – эластичная лента, 2 – обрабатываемая заготовка, 3 – контактный элемент) [2].

Во втором методе, изображенном на рис. 2, кольцо 1 устанавливается на оправке и ему придается вращательное движение. Жесткий прижим 2 устанавливается над обрабатываемым желобом кольца 1. Между прижимом 2 и желобом кольца 1 помещается поперек плоскости его вращения эластичная лента 3, имеющая рабочую поверхность 4. Жесткому прижиму 2 сообщается постоянное усилие P , которым он прижимает эластичную ленту 3 ее рабочей поверхностью 4 к поверхности обрабатываемого желоба кольца 1. Эластичная лента 3 плотно облегает всю тороидальную форму желоба, поскольку форма рабочего участка жесткого прижима 2 имеет кривизну профиля, идентичную кривизне профиля обрабатываемого желоба. Затем прижиму 2 вместе с эластичной лентой 3 сообщаются колебательные движения на угол вокруг центра кривизны O поперечного профиля желоба. При этом рабочая поверхность 4 эластичной ленты 3 скользит по обрабатываемой поверхности желоба кольца 1 и сглаживает гребни от предыдущей обработки. Поскольку эластичная лента 3 под давлением P жесткого прижима 2 может менять, как свою форму, так и толщину h , то в результате получается равномерный съем по всей обрабатываемой поверхности желоба сложного профиля [3].

На рис.3 представлен метод обработки наружных фасонных поверхностей вращения, при котором инструментом в виде бесконечной ленты 4 круглого сечения охватывают обрабатываемую поверхность 3 по дуге, наносят на инструмент абразивную пасту и сообщают ему скольжение относительно обрабатываемой поверхности со скоростью резания, а заготовке сообщают вращение вокруг своей оси и дополнительно инструменту сообщают движение в виде вращения вокруг центральной его оси инструмента [4].

Наиболее приемлемым для использования является третий метод. Он принципиально отличен возможностью одновременной обработки нескольких заготовок (в данном случае шести). Это позволяет резко увеличить производительность.

Обработка поверхностей вращения абразивными лентами обеспечивает выравнивание съема припуска по образующей дорожки качения и прикатки гребней от следов предыдущей обработки.

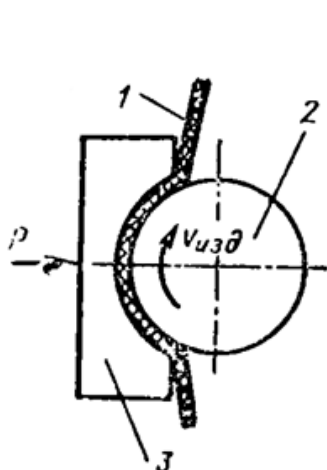


Рис. 1. Схема I метода обработки

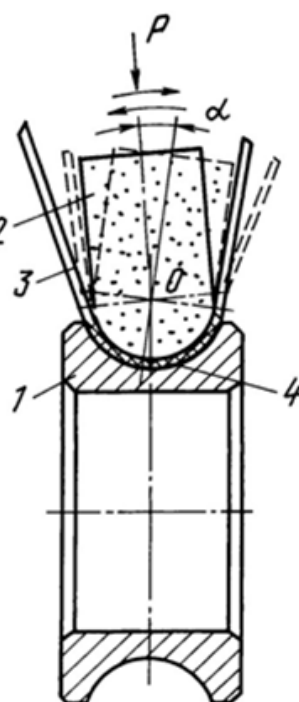


Рис. 2. Общая схема II метода обработки

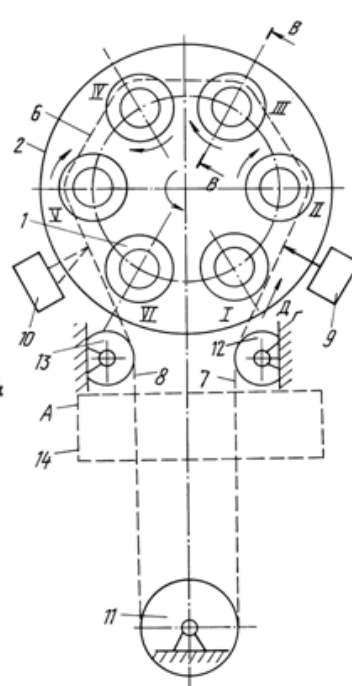


Рис. 3. Общая схема III метода обработки (вид спереди)

Список использованных источников

1. Мерданов Ш.М. Технология машиностроения: учебник / Ш. М. Мерданов, В. В. Шефер. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2013. – 354 с.
2. Мелихов С.Г. Методы обработки поверхностей вращения: Метод. указания к курсовому проекту / Моск. гос. ин-т электроники и математики; Сост.: С.Г. Мелихов, 2005, 32 с.
3. Пат. № 2115534 Российская Федерация, В24В19/06. Способ обработки желоба колец шариковых подшипников / Черневский Л.В., Алферов А.И., Бродский Б.М.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество открытого типа "ВНИПП"- № 95114182/02; заявл. 31.12.1996; опубл. 20.07.1998.
4. Пат. № 2142873 Российская Федерация, МПК В24В21/16, В24В19/06. Способ обработки наружных фасонных поверхностей вращения / Прилуцкий В.А.; Добижин И.В.; заявитель и патентообладатель Самара. СамГТУ - № 95114182/02; заявл. 08.08.1995; опубл. 20.12.1999.

ФОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКЕ ЗАГОТОВОК

Тамаркин М.А., д.т.н., профессор; Тищенко Э.Э., к.т.н., доцент; Верченко А.В., к.т.н., ст. преп.; Коханюк А.Г., аспирант

Донской государственный технический университет

В статье представлены результаты исследований процесса гидроабразивной резки заготовок. Описаны особенности формирования поверхности реза с разделением на зоны. Получена зависимость для определения шероховатости боковой поверхности реза. При проведении экспериментальных исследований подтверждена ее адекватность.

Метод гидроабразивной резки заготовок – один из самых перспективных в современном заготовительном производстве. Он позволяет подвергать раскрою заготовки различной толщины из цветных металлов и сплавов, углеродистых и легированных сталей, жаропрочных сталей, титановых сплавов, композиционных материалов, дерева, пластика, стекла, камня и других материалов. Высокая производительность, получение высокого качества поверхности реза, возможность обработки заготовок сложной геометрии, делает этот метод обработки наиболее востребованным в условиях современного заготовительного производства. Немаловажными преимуществами метода также можно считать отсутствие термического воздействия на материал, эрозионный характер разрушения, который не способствует развитию внутренних напряжений в зоне реза.

При гидроабразивной резке разрушение материала производится тонкой струей смеси воды и абразива. Смесь подают с высокой сверхзвуковой скоростью и под высоким давлением. Процесс представляет собой эрозионное разрушение под действием рабочей струи, при котором мелкие частички абразива снимают микростружки с поверхности обрабатываемой заготовки, а вода эвакуирует их из зоны резания. В качестве абразива используют остроконечные измельченные минералы с величиной зерна от 0,1 до 0,3 мм. В зависимости от обрабатываемого материала и толщины количество используемого абразива составляет от 100 до 600 г/мин. При производстве заготовок для деталей летательных аппаратов чаще всего применяют гранатовый песок – природный абразивный минерал, обладающий высокой прочностью, твердостью 7,5...8,0 по шкале Мооса и идеальной формой зерна. Чтобы гарантировать качество резки абразив не должен содержать крупных зерен и пыли. Обычно используются зерна размерами от 80 мкм до 120 мкм.

Несмотря на достоинства рассматриваемого метода получения заготовок, процесс гидроабразивной резки изучен недостаточно. Анализ работ таких ученых как Р.А. Тихомиров, Е.Н. Петухов, В.Ф. Бабанин, Ю.С. Степанов, М.А. Бурнашев, В.Д. Шапиро, Г.В. Барсуков, D. Arola, M. Ramulu, Y. Zhang, J. Chao, J. Zeng, Шпилев В.В, показал что существуют зависимости для определения размерных характеристик изделия, получаемого методом гидроабразивной резки, описано влияние режимов резания на точность получения криволинейного профиля заготовки. Предложены возможности увеличения режущей способности струи, например, путем ее закручивания или дискретной подачи абразива. Однако формулы для определения качества поверхности реза в зависимости от основных технологических параметров обработки (давления струи, зернистости, размера и расхода абразива, подачи сопла, физико-механических параметров материала и т.п.) отсутствуют. Отсутствие адекватных теоретических моделей формирования профиля шероховатости поверхности реза не позволяет технологу выполнять оптимизацию процесса с учетом требований к заданной шероховатости.

При проведении теоретических исследований процесса гидроабразивной резки выявлены закономерности взаимодействия абразивных частиц с поверхностью обрабатываемой заготовки. Исследовано влияние технологических параметров обработки на шероховатость поверхности реза, а также описан механизм формирования зон реза. По сечению реза при осуществлении процесса наблюдается неравномерность распределения шероховатости и образование так называемых зон гладкого и волнистого реза. Одна зона плавно перетекает в другую. Зона гладкого реза представляет собой равномерную гладкую поверхность с установившейся шероховатостью, а зона волнистого реза - волнистую структуру с выемками, которые представляют собой риски, направленные в сторону обратную направлению подачи режущей струи. Пропорциональность этих зон зависит от режимов обработки.

Основываясь на зависимостях для определения съема металла при единичном взаимодействии абразивного зерна при обработке детали свободным абразивом, получена зависимость для определения максимальной глубины внедрения абразивной режущей частицы:

$$h_{\max} = DK_L \sin \alpha \sqrt{\frac{2P_{\text{дин}} \rho_{\text{ч}}}{3c \rho_{\text{см}} k_s \sigma_s}}, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{ч}}$ – плотность материала частиц, кг/м³; k_s – коэффициент, учитывающий влияние шероховатости поверхности детали на площадь фактического контакта, $P_{\text{дин}}$ – динамическое давление смеси, Па; $\rho_{\text{см}}$ – плотность рабочей смеси жидкости и частиц кг/м³, D – диаметр частицы, м; K_L – коэффициент потерь, учитывающий расстояние от сопла до поверхности обрабатываемой детали; c – коэффициент, оценивающий несущую способность контактной поверхности, σ_s – предел текучести материала детали, МПа., α – угол встречи частицы абразива с поверхностью реза, град.

На основании работ [1, 2] получена формула для определения шероховатости боковой поверхности реза при гидроабразивной резке:

$$Ra = 10,18 k_{\alpha}^{Ra} \sqrt{\frac{h_{\max} R}{\sqrt{\lambda}}}, \quad (2)$$

где k_{α}^{Ra} – коэффициент, учитывающий угол падения струи; R – радиус абразивных частиц, м; λ – интенсивность потока событий (число взаимодействий частиц абразивной среды с поверхностью детали в единицу времени на площади квадрата упаковки).

Подставив выражение для определения $h_{\max}$ в формулу (2) получим зависимость для расчета шероховатости, которая учитывает число взаимодействий в единицу времени на площади квадрата упаковки λ [1]:

$$Ra = 10,18 K_{\alpha}^{Ra} \sqrt{2R^2 \cdot K_L \cdot \sin \alpha \sqrt{\frac{2 \cdot P_{\text{дин}} \cdot \rho_{\text{ч}}}{\lambda \cdot 3 \cdot c \cdot \rho_{\text{см}} \cdot K_s \cdot \sigma_s}}}. \quad (3)$$

Величина λ – это функция от подачи, количества абразива в режущей струе и глубины реза, на которой рассматривается воздействие частиц среды. Чем меньше подача сопла режущей головки, тем большее количество частиц абразива участвует в формировании шероховатости поверхности реза. При увеличении количества абразива в режущей струе растет и количество полезных соударений с поверхностью заготовки, а значит, улучшается шероховатость поверхности. От глубины измерения шероховатости зависит какое количество зерен и с какой энергией будут взаимодействовать с обрабатываемым материалом. Чем больше глубина измерения, тем меньшей энергией обладают частицы, и более грубой получается шероховатость поверхности. Величина λ определена экспериментальным путем [1].

Для подтверждения адекватности полученной теоретической зависимости проведен комплекс экспериментальных исследований процесса гидроабразивной резки.

В качестве оборудования использована 5-ти координатная установка для гидроабразивной резки «Flow» с числовым программным управлением. Для изготовления образцов использовали материалы, часто применяемые при изготовлении деталей летательных аппаратов (сталь 30ХГСА, алюминиевый сплав Д16Т, полимер-композиционный материал типа стеклопластик-титан и др.).

Измерение шероховатости производили на цифровом профилометре Surtronic 25 фирмы Taylor Hobson. Статистическая обработка результатов исследований выполнялась с использованием программы прикладных и научных расчетов MathCad.

При проведении исследований установлено, что получаемый рез разделен на зоны: гладкую и волнистую. Дано следующее объяснение этому явлению: при увеличении подачи, происходит увеличение угла внедрения частиц в материал детали за счет большего отставания режущей струи. С ростом угла количество отраженных частиц растет, уменьшается количество полезных взаимодействий с материалом. Отраженные частицы препятствуют процессу резания и являются преградой для вновь поступающих в зону резания частиц. При этом происходит непрерывное движение струи в направлении подачи. Угол внедрения растёт, и при достижении определенного отклонения струи, процесс сквозного пробития материала происходит вновь. При этом частицы, соударяясь друг с другом, отскакивают в сторону, и продвигаются в направлении обработанной поверхности, тем самым образуя глубокие борозды. При движении режущей струи по направлению подачи отклонение струи, увеличение угла атаки и вновь пробитие материала повторяется снова. Таким образом, образуется зона волнистого реза, рельеф которой похож на волны, состоящий из впадин и гребней.

Проводились исследования влияния на шероховатость поверхности образца таких параметров как подача сопла, расход абразива, физико-механические свойства материала, толщина обрабатываемого материала.

Данные экспериментов показывают, что при увеличении подачи сопла ухудшается шероховатость поверхности реза, растет отношение высоты зоны волнистого реза к зоне гладкого реза. Также установлено, что на более твердых заготовках шероховатость поверхности стремительно возрастает при увеличении подачи, высота зоны волнистого реза преобладает над зоной гладкого реза. На закаленной стали сквозное разрезание материала прекратилось на более низких значениях подачи, в сравнении с «сырой». Такое явление можно описать падением энергетических параметров струи и эффектом «отражения». Соударяясь с более твердым материалом зерна материала интенсивнее разрушаются, а также большее количество зерен отскакивает в обратном направлении, не вызывая полезного взаимодействия, тем самым мешая следующим зернам попасть в зону резания.

Сравнение данных теоретических и экспериментальных исследований, показывает, что значения, рассчитанные по формуле (3), достаточно точно и адекватно описывают протекание процесса гидроабразивной резки заготовок. Расхождение результатов не превышает 15%.

На основании данных проведенных исследований появляется возможность выполнить оптимизацию процесса гидроабразивной резки по критерию наименьшей себестоимости обработки. Оптимальными режимами резания будут являться те, при которых будет обеспечиваться заданная шероховатость при наименьшей себестоимости реза.

Список использованных источников

1. Верченко А.В. Повышение эффективности технологических процессов гидроабразивной резки деталей: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Верченко Алексей Викторович. – Ростов-на-Дону, 2017 г. – 128 с.
2. Верченко А.В. Исследование шероховатости поверхности реза при гидроабразивной резке / М.А. Тамаркин, А.В. Верченко // Вестник ДГТУ №2(89). – Ростов н/Д: ДГТУ, 2017. – с. 116-130.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ ВО ВРЕМЕНИ ПАРАМЕТРАМИ**Унянин А.Н., д.т.н., доцент; Финагеев П.Р., аспирант***Ульяновский государственный технический университет*

Приведена методика статистической обработки выходных параметров и текущих показателей процесса механической обработки, позволяющая оценить изменение этих параметров (параметров качества обработанной поверхности, износа и периода стойкости режущего инструмента и др.) во времени при действии в процессе обработки систематических и случайных факторов. Для выделения систематической и случайной составляющей величины рассеивания параметров использован дисперсионный метод. Выявлена функция, характеризующая изменение во времени детерминированной основы процесса и границ мгновенных полей рассеивания.

Рациональным методом назначения режима механической обработки является его расчет с использованием моделей (зависимостей), связывающих выходные и входные параметры процесса. Однако неадекватность моделей и влияние неуправляемых факторов может привести к тому, что рассчитанный с их использованием режим будет далек от оптимального. Поэтому актуальной задачей является решение проблемы устранения влияния неопределенности технологической информации на процесс назначения режима механической обработки.

Методика коррекции элементов режима обработки и математических моделей, связывающих выходные и входные параметры процесса, приведена в работе [1]. Коррекция моделей, не учитывающих изменяющиеся во времени выходные параметры и текущие показатели, осуществляется по результатам сравнения фактических значений выходных параметров процесса с их расчетными значениями.

В данной работе представлена методика статистического анализа фактических значений параметров процесса с учетом изменения этих параметров во времени. Фактические значения выходных параметров могут быть определены по результатам их измерения. Результат каждого измерения является случайной величиной, поэтому следует выполнить статистический анализ полученных результатов. Выходные и текущие параметры и поля их рассеивания зависят от ряда факторов систематического и случайного характера. К систематическим факторам относятся погрешности изготовления и износа средств технологического оснащения, в том числе инструмента. К случайным факторам относятся колебания механических свойств материала заготовки и припуска на обработку, вызывающие колебания сил резания, отжатый в технологической системе и контактных температур. Результирующая величина рассеивания параметра – это сумма систематической и случайной составляющих.

Одним из методов статистического анализа параметров технологического процесса является разделение величины (поля) их рассеивания на систематическую и случайную составляющие. Это создаёт предпосылки для определения фактического периода стойкости инструмента τ_c до выхода за предельное значение одного из параметров (износа инструмента, погрешности размеров, параметров шероховатости и др.) и времени подналадки технологической системы τ_n до выхода размера за пределы поля допуска T .

При выполнении статистического анализа используется понятие мгновенного поля рассеивания параметров, которые оценивают по малым выборкам, полученным за относительно короткие интервалы времени $\Delta\tau$ [2]. Полагают, что переменные

систематические погрешности на этих интервалах изменяются незначительно и этим изменением можно пренебречь.

Для определения фактического времени подналадки и периода стойкости режущего инструмента необходимо знать функции смещения среднего арифметического значения $\bar{y}(\tau)$ и границ поля мгновенного рассеивания ω_y параметров во времени (рис. 1). Верхнюю $y_{\text{в}}(\tau)$ и нижнюю $y_{\text{н}}(\tau)$ границы мгновенных полей рассеивания параметров можно определить как:

$$y_{\text{в}}(\tau) = \bar{y}(\tau) + \omega_y(\tau) / 2; \quad y_{\text{н}}(\tau) = \bar{y}(\tau) - \omega_y(\tau) / 2.$$

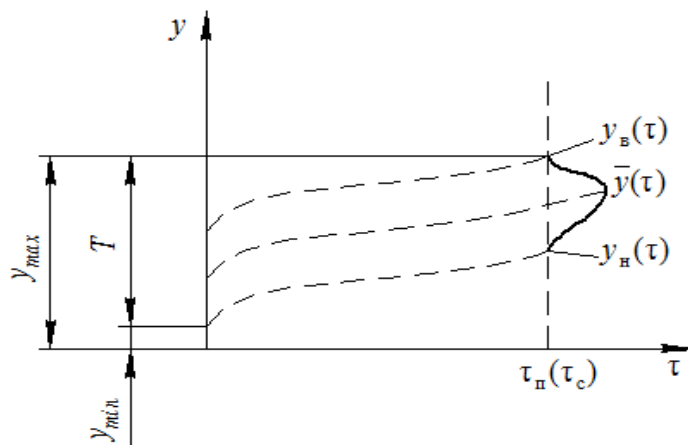


Рис. 1. График для определения времени подналадки или периода стойкости инструмента

Время подналадки (периода стойкости) равно меньшему из значений $\tau_{\text{в}}$ и $\tau_{\text{н}}$:

$$\tau_{\text{п}}(\tau_{\text{с}}) = \min(\tau_{\text{в}}; \tau_{\text{н}}),$$

где величины $\tau_{\text{в}}$ и $\tau_{\text{н}}$ определяют из уравнений:

$$y_{\text{max}} = \bar{y}(\tau) + \omega_y(\tau) / 2; \quad y_{\text{min}} = \bar{y}(\tau) - \omega_y(\tau) / 2,$$

где y_{max} и y_{min} — наибольшее и наименьшее предельное значение выходного параметра.

Чтобы выявить вид функций $\bar{y}(\tau)$, $y_{\text{в}}(\tau)$ и $y_{\text{н}}(\tau)$, следует обработать соответствующим образом результаты экспериментальных исследований.

Предварительно следует определить величины мгновенных полей рассеивания выходных параметров и их средние значения, а затем, используя теорию корреляционно-регрессионного анализа, подобрать математические модели для расчёта $\bar{y}(\tau)$, $y_{\text{в}}(\tau)$ и $y_{\text{н}}(\tau)$.

Ниже приведена последовательность статистического анализа параметров технологического процесса.

- Проверяется гипотеза о нормальном распределении полей мгновенного рассеивания параметра, используя критерий Пирсона или w_i — критерий [3].

- Определяется среднее значение параметра $\bar{y}_i$ и дисперсия σ_i^2 на i -м интервале работы инструмента.

- Определяется среднее значение $\bar{y}$ всей совокупности параметров $\bar{y}_i$ и дисперсия суммарного поля рассеивания параметра $\sigma^2(y)$.

- Рассчитывается дисперсия $\sigma^2 \bar{y}(\tau)$, вызванная изменением функции среднего значения параметра $\bar{y}(\tau)$.

- Определяется среднее значение $\bar{\sigma}_y(\tau)$ средних квадратических отклонений σ_i и дисперсия $\sigma^2(\sigma_y(\tau))$, вызванная изменением во времени функции среднего квадратического отклонения.

- Дисперсия, вызванная постоянной составляющей функции $\sigma_y(\tau)$, принимается равной минимальной из дисперсий σ_i^2 , рассчитанных для различных интервалов времени работы инструмента.

- Определяется дисперсия суммарной погрешности параметра как сумма ранее определенных дисперсий [4]. По степени расхождения этого параметра, рассчитанного по различным зависимостям, можно судить о достоверности расчета.

- Рассчитываются параметры r , r_σ , r_m [4], по результатам расчета судят о степени детерминированности изучаемого процесса.

- Подбираются эмпирические зависимости, описывающие изменение средних значений параметров $\bar{y}_i$, верхней и нижней границ мгновенного поля рассеивания $y_v(\tau)$ и $y_n(\tau)$ во времени.

При подборе эмпирических формул можно использовать полиномы типа:

$$y = A_0 + A_1 \cdot \tau + A_2 \cdot \tau^2,$$

где A_0, A_1, A_2 – коэффициенты; τ – время.

- Если установлено, что рассеивание параметра подчиняется закону нормального распределения, то мгновенное поле рассеивания на i -ом интервале:

$$\omega_i = 6\sigma_i.$$

- Рассчитываются координаты верхней и нижней границ мгновенных полей рассеивания для различных интервалов времени по формулам:

$$y_{vi} = \bar{y}_i + \omega_i / 2; y_{ni} = \bar{y}_i - \omega_i / 2.$$

Подбираются эмпирические зависимости, описывающие изменения параметров y_{vi} и y_{ni} во времени.

- Определяется время подналадки или (и) период стойкости инструмента.

В результате разработана методика статистического анализа процесса механической обработки с изменяющимися во времени выходными параметрами и текущими показателями, что позволило создать предпосылки для разработки методики назначения режима механической обработки таких процессов в условиях неопределенности технологической информации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научного проекта № 18-47-730005.

Список использованных источников

1. Унянин А.Н., Финагеев П.Р. Разработка и апробация методики назначения режима механической обработки в условиях неопределенности технологической информации // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. – Т. 19. – № 1 - 2. – С. 297 – 301.
2. Бендат Д., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. – 540 с.
3. Душинский В.В., Пуховский Е.С., Радченко С.Г. Оптимизация технологических процессов в машиностроении. – Киев: Техника, 1977. – 176 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. Т. 1 / А. М. Дальский [и др.]; под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Суслова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 912 с.

СЕКЦИЯ 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИНСТРУМЕНТА И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 621.9.048.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА ЗАДНИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЧЕРВЯЧНО-МОДУЛЬНЫХ ФРЕЗ ПРИ ЗУБОНАРЕЗАНИИ

Агапов С.И., д.т.н., доцент; Толстяков А.Ф., аспирант; Прохватилов А.С., аспирант

Волгоградский государственный технический университет

Приведены результаты экспериментов по исследованию износа режущего инструмента при зубонарезании колес.

Нарезание зубчатых колес червячно-модульными фрезами является универсальным методом. Зуборезные операции являются самыми продолжительными в технологическом процессе изготовления колеса, поэтому повышение стойкости режущего инструмента является важной научной и производственной задачей, решение которой повысит производительность процесса зубонарезания [1, 2].

В настоящей работе приводится объяснение характера износа зубьев червячно-модульных фрез, показываются причины возникновения локального износа, а, зная их, можно предложить новые способы обработки.

Зубья фрезы обычно режут тремя кромками: двумя боковыми и вершинной. На рисунке 1 приведены кривые износа по задним граням зубьев фрезы вдоль витка, построенные для наиболее характерных точек.

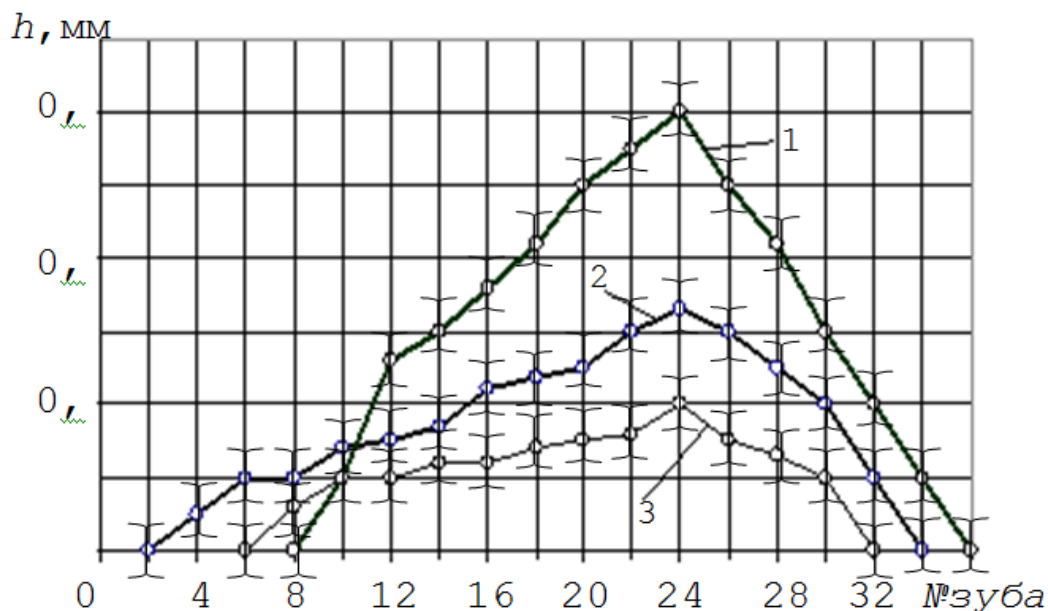


Рис. 1. Износ задней поверхности зубьев фрезы вдоль витка

Величины износа замерены после 4-х часовой работы фрезы из стали 9ХС диаметром 32 мм, модуля 0,9 мм, с числом стружечных канавок 12 и углом профиля 20° . Фрезеровались венцы с $Z_k = 24$ из стали 40Х на режимах: $S = 0,5$ мм/об; $V = 0,52$ м/с. Графики показывают неравномерность износа зубьев вдоль витка и величину износа задних граней выходных кромок относительно входных и вершинных.

Первые, вступающие в резание зубья фрезы, начиная с № 1 и до № 6, режут только

одними входными режущими кромками. Резание свободное, деформации срезаемых слоёв невелики и износ сравнительно небольшой. Начиная с зуба №7, в резании одновременно участвуют три кромки, зубья срезают слои Π - образной формы, в результате чего резко возрастают деформации срезаемых слоёв, особенно боковыми кромками увеличивается и износ. Особенно он велик у выходного уголка. Максимальный износ имеет зуб № 22, имеющий наибольшую дугу контакта с обрабатываемой заготовкой. Износ по задней грани выходного уголка в два раза выше, чем входного. Износ по задней грани вершинной кромки мал, он в три раза меньше, чем выходного уголка.

Многочисленные наблюдения за износом зубьев мелко модульных фрез показали, что износ задних граней протекает в результате их истирания, а разрушений участков лезвий, прилегающих к уголкам или самих уголков, никогда не происходит. Износ по задней кромке неравномерный. Меньше всего изнашивается задняя грань вершинной кромки. Износ несколько увеличивается к уголкам. Больше изнашивается задняя грань выходной кромки. Износ носит локальный характер.

Изнашивается задняя грань небольшого участка выходной кромки, прилегающего к уголку, причём, что весьма примечательно, износ всегда сопровождается прорывом режущей кромки. На задней грани вблизи уголка можно всегда наблюдать глубокую риску в форме треугольника. Прорыв часто возникает даже в первое время работы фрезы. Как только возникает прорыв, так происходит интенсивный износ задней грани.

У червячных фрез, начиная с модуля $m = 2$ мм, износ задних граней выходных кромок всегда сопровождается прорывом режущих выходных лезвий уголков, у мелко модульных фрез прорыва никогда не наблюдается, таким образом, характер износа зубьев мелко модульных фрез принципиально иной, чем у фрез средних и крупных модулей.

Входная кромка зуба фрезы работает в более лёгких условиях. Срезаемый ею слой подвергается только деформации сдвига. Смятие, приводящее к прорыву лезвия, отсутствует. Отклонение сбег стружки в сторону выходного лезвия снижает сдвиг, увеличивает площадку контакта стружки с передней гранью, отодвигает лунку по направлению выходной кромки, тем самым повышает прочность режущего лезвия, поэтому износ его задней грани протекает более медленно.

Интенсивная деформация слоя, срезаемого выходной кромкой, влечет значительную пластическую и упругую деформацию слоя под поверхностью резания. Результатом последней является высокое давление на заднюю грань, особенно на участке кромки, где происходит смятие, и повышенный износ задней грани. Образовавшаяся царапина ускоряет износ.

Что же касается износа задней грани входного лезвия, то он, как видно на рисунке 1, в два раза меньше, чем у выходного, несмотря на то, что входная кромка срезала более толстую стружку и дуга её контакта с заготовкой была больше. Основная причина – отсутствие деформации смятия. Срезаемый слой подвергался только сдвигу, на это указывает параллельность штрихов износа лунок у входной и вершинной кромок. Срезанные ими стружки разрыва не имеют, сходили единым потоком. Кроме того, и деформация сдвига не так велика, потому что стружки сбегали по передней грани под большим углом к входному лезвию.

Задняя грань вершинной кромки изнашивалась слабее всех. Её износ протекал медленнее в четыре раза износа задней грани выходного лезвия. Объясняется это тем, что вершина зуба имеет в три-четыре раза большие задние углы, и деформация сдвига срезаемого ею слоя в два и более раза меньше (рис. 2).

На основании анализа характера износа червячных зуборезных фрез, можно сделать следующие выводы:

1. Износ зуба по режущему периметру неодинаковый. Наибольший износ имеет задняя грань участка выходной режущей кромки, прилегающей к уголку, меньший – задняя грань входной кромки и самый малый – задняя грань вершины зуба.

2. Задние грани боковых кромок изнашиваются быстрее по сравнению с вершинной

по следующим причинам:

- а) у них в три-четыре раза меньше задние углы;
- б) срезаемые ими слои имеют в два и более раза деформацию больше, чем слой, срезаемый вершиной.

Высокая степень пластической деформации срезаемого слоя сопровождается значительной упругой и пластической деформацией слоя, следствием чего являются повышенные давления на задние грани и их интенсивный износ.

Типичная картина топографии износа зубьев стандартной червячно-модульной фрезы (по данным проф. Смольникова Н.Я.) [2] представлена на рисунке 2. Согласно топографии видно, что в работе принимают участие 26 зубьев с №12 по №37, которые изнашиваются крайне неравномерно. Наибольший износ имеют те зубья, которые расположены вблизи межцентрового перпендикуляра и работают одновременно тремя режущими кромками (зубья с № 20...26). Износ задних граней зубьев рейки вдоль витка неодинаков. Наиболее интенсивно изнашивается участок задней грани выходной режущей кромки, прилегающей к уголку головки зуба. На рисунке 2 показан типичный вид износа зубьев стандартных мелко модульных фрез. Как видно износ зубьев идёт как по задним граням, так и по передним.

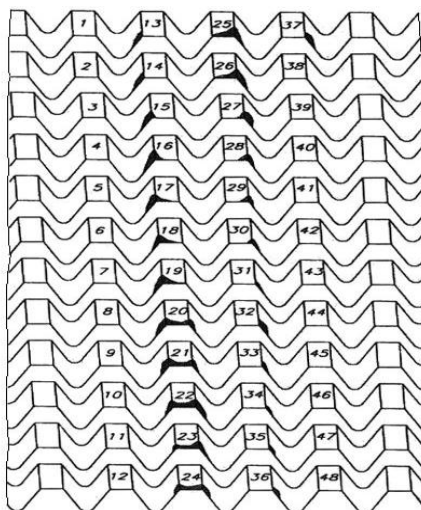


Рис. 2. Топография износа наиболее изношенных зубьев червячной фрезы

3. Основной причиной повышенного износа задней грани выходного лезвия относительно входного при образовании стружки, является отклонение выходной стружки совместно с вершинной в сторону выходной кромки под давлением стружки от входного лезвия. В результате увеличивается деформация сдвига у входной стружки.

4. В соответствии с образованием двух типов стружек: монолитной и с разрывом по смежным торцам – возникают и два вида износа зубьев червячных фрез: без прорыва режущих кромок и с прорывом. Второй вид является более всего нежелательным. В этом случае истирание граней протекает быстрее, и износ этих зубьев лимитирует стойкость фрезы [3].

Список использованных источников

1. Медведицков С.И. Высокопроизводительное зубонарезание фрезами. – М. Машиностроение, 1981 . -104 с.
2. Смольников Н.Я., Кудряшов Е.А. Высокопроизводительное фрезерование фасонными и зуборезными фрезами модифицированного профиля. – Машиностроение, 2008.– Т.1-180 с.
3. Агапов С.И., Сидякин Ю.И. Нарезание зубчатых колес с использованием ультразвука. –Волгоград, ИУНЛ ВолГТУ, 2010. -148 с.

ХАРАКТЕР ИЗНОСА ЧЕРВЯЧНО-МОДУЛЬНЫХ ФРЕЗ ПРИ НАРЕЗАНИИ МЕЛКОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Агапов С.И., д.т.н., доцент; Толстяков А.Ф., аспирант; Прохвятилов А.С., аспирант

Волгоградский государственный технический университет

Приведены результаты экспериментов по характеру износа червячно-модульных фрез при нарезании мелко модульных зубчатых колес.

Червячно-модульные фрезы, как и другие инструменты, применяемые при нарезании прецизионных зубчатых колес, являются сложными по конструкции, имеют большую трудоемкость при изготовлении, а мелко модульные фрезы, кроме того, и малое количество переточек. Сложности, возникающие при изготовлении и эксплуатации мелко модульных червячных фрез, заставляют искать новые способы повышения их работоспособности, т.к. в структуре себестоимости изготовления зубчатого колеса затраты на зуборезный инструмент составляют 50...60% [1].

У червячных зуборезных фрез при нарезании колес зубья обычно режут двумя или тремя режущими кромками. Известно, что с увеличением толщины срезаемого слоя износ граней у всех режущих инструментов растет, поэтому следовало бы ожидать повышенный износ тех режущих кромок зубьев фрез, которые срезают более толстые слои, но этого не происходит. Наоборот, сильнее всех истираются грани лезвий, которые срезают самые тонкие слои, и, что примечательно, износ носит локальный характер. Он идет в основном по задним и передним граням небольших участков выходных лезвий, прилегающих к уголкам, а не по всей длине [1].

Износ зубьев у стандартных червячно-модульных фрез происходит по задней грани небольшого участка выходного лезвия, вблизи уголка или непосредственно по выходному уголку. Поэтому стойкостные закономерности фрез в зависимости от различных факторов определялись исходя из износа на этих элементах зуба. При проведении экспериментов износ по задним граням зубьев фрез измерялся через определенные промежутки времени с помощью инструментального микроскопа БМИ-1 и лупы Бринелля с ценой деления шкалы 0,05 мм.

Правильно выбранный критерий затупления обеспечивает получение необходимой точности и шероховатости обработанной поверхности зубчатых колес в течение периода стойкости, минимальные затраты на эксплуатацию режущего инструмента и максимальный срок его службы. За оптимальные величины затупления принимались для инструмента из быстрорежущей стали $h = 0,15...0,20$ мм при $m = 0,5$ мм, $h = 0,2...0,3$ мм при $m = 0,9$ мм и $h = 0,3...0,4$ мм при $m = 1,2$ мм. Для инструмента из твердого сплава принимались значения: $h = 0,1$ мм при $m = 0,5$ мм, $h = 0,1...0,2$ мм при $m = 0,8$ мм и $h = 0,3...0,5$ мм при $m = 1,2$ мм.

В процессе исследований нарезались прямозубые цилиндрические колеса с внешними зубьями от $Z_k = 24$ до $Z_k = 100$. Исследования проводились на заготовках из сталей 40Х, ОХН1М и бронзы БрАЖМЦ, затем строились графики зависимости стойкости фрез от различных факторов при традиционном зубонарезании и с введением в зону резания УЗК. Исследование влияния технологических факторов на стойкость мелко модульных червячных фрез проводились в несколько ограниченном объеме.

На передней грани вдоль режущих лезвий образуются лунки, размеры которых неодинаковы (рисунок 1). Наиболее глубокая лунка возникает у вершины BC . Она несколько отступает от входной стороны CD и приближается к выходной AB , снижая тем самым прочность её лезвия.

Размеры лунки у входной кромки меньше, чем у вершины, у выходного лезвия почти по всей его длине наблюдаются только следы износа. Вблизи вершины зуба происходит резкое увеличение износа с образованием глубокой лунки. Наличие интенсивного истирания этого участка указывает, что образование стружки здесь затруднено.

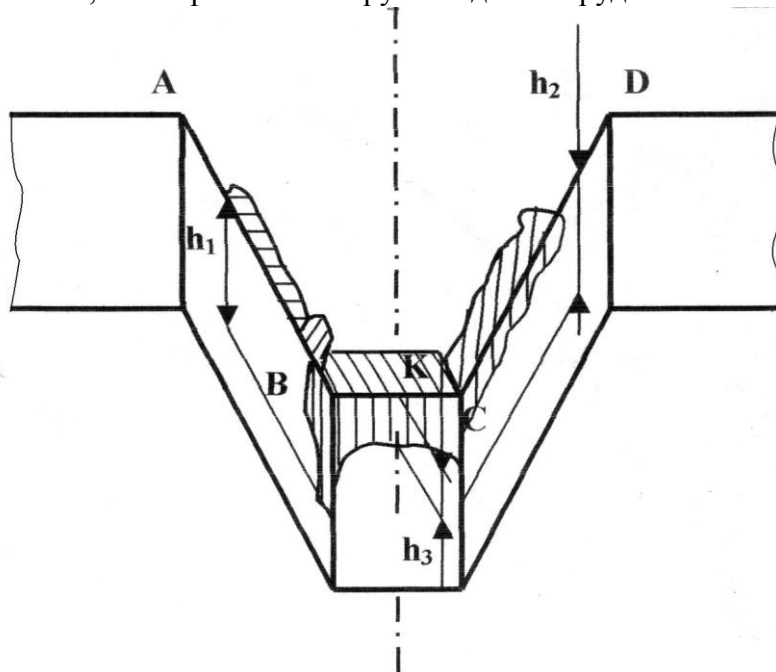


Рис. 1. Схема износа червячно-модульной фрезы

Износ задних граней вдоль режущего контура происходит также неравномерно. Задняя грань вершинной кромки истирается слабо. Ширина фаски износа почти одинакова и только повышается у уголков. Износ задней грани входного лезвия увеличивается к вершинной кромке и у вершины зуба делает подскок. Рост износа вызывается увеличением как толщины срезаемого слоя, так и скорости резания наиболее удалённых точек от оси фрезы. По абсолютной величине износ задней грани входного лезвия выше, чем у вершины, хотя последняя срезаёт более толстые слои. Объясняется это меньшими значениями задних углов и более высокой интенсивностью деформации срезаемого слоя боковой кромкой.

При одновременной работе нескольких кромок переход недеформированного материала в стружку происходит двумя путями:

- в результате сдвига;
- в результате совместных деформаций сдвига и смятия.

Соответственно этим видам деформаций образуется два типа стружек:

- стружка монолитная;
- стружка с разрывом по смежным торцам.

Наиболее сильно изнашивается задняя грань выходного лезвия, несмотря на то, что толщина мала. Износ локализуется вблизи вершины в форме треугольника, одна сторона которого приблизительно равна ширине лунки на передней грани. Очень часто можно видеть вдоль треугольника износа глубокую царапину, образовавшуюся в результате прорыва режущей кромки. Задняя грань остальной активной части лезвия изнашивается слабо. Высокая степень деформации срезаемых слоев боковыми кромками зубьев червячно-модульной фрезы является одной из основных причин повышенного износа их граней, этому способствует и меньшее значение задних углов боковых поверхностей.

Наибольший износ имеют те зубья, которые расположены вблизи межцентрового перпендикуляра и работают одновременно тремя режущими кромками. Износ задних граней зубьев рейки вдоль витка неодинаков. Наиболее интенсивно изнашивается участок задней грани выходной режущей кромки, прилегающей к уголку головки зуба [2].

Передняя грань почти не изнашивается, видны только следы износа. Износ в основном

идёт по задним граням в виде истирания, в результате адгезии. Локальный, резко выраженный износ всегда наблюдается по выходному уголку, несколько меньший – по входному. Износ задних граней других участков режущих кромок мал (рисунок 2).



Рис. 2. Износ зубьев стандартной мелко модульной фрезы, $m = 1\text{ мм}$

До настоящего времени существовало мнение [1...3], что выходные кромки зуборезных инструментов (червячных фрез) срезают слои, толщина которых меньше радиуса округления режущих лезвий. При таком условии режущая кромка не режет, а вминает металл в поверхность резания, вызывает значительное давление со стороны последней на заднюю грань, что повышает её износ, это можно объяснить следующими причинами:

- 1) в срезании тонкого слоя участвует значительная длина выходной режущей кромки, и повышенный износ должен идти по всей её активной части. В действительности, износу подвержен небольшой участок вблизи вершины;
- 2) сильно должны изнашиваться и задние грани выходных сторон профилирующих зубьев, срезающих также очень тонкие слои;
- 3) если обратиться к рисунку 1, то наибольший износ имеют зубья, которые срезают слои, превосходящие радиус округлости режущих кромок на $0,03 \dots 0,05\text{ мм}$.

Интенсивность износа задних граней уголков в значительной степени зависит от деформации материала стружек в пограничных слоях, когда путь скольжения зависит от толщины срезаемых слоев. С увеличением толщины площадь контакта вершинной стружки с передней гранью зуба становится больше и для того, чтобы осуществить сход боковых стружек, нужно смять большой объем металла, прилегающий к уголкам. Отсюда значительно возрастает давление, как по торцу стружки, так и на участках граней, прилегающих к вершине и выходной стороне зуба, со всеми отрицательными последствиями: ростом температуры и износом фрезы. Толщина срезаемого слоя зависит от подачи на зуб: с ростом подачи увеличивается толщина срезаемого слоя и в значительной степени растет деформация в пограничных слоях стружек и, как следствие, происходит интенсивный износ [3].

Список использованных источников

1. Медведицков С.И. Высокопроизводительное зубонарезание фрезами. – М. Машиностроение, 1981. – 104 с.
2. Смольников Н.Я., Кудряшов Е.А. Высокопроизводительное фрезерование фасонными и зуборезными фрезами модифицированного профиля. – Машиностроение, 2008. – Т.1-180 с.
3. Агапов С.И., Сидякин Ю.И. Нарезание зубчатых колес с использованием ультразвука. – Волгоград, ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – 148 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЁСТКОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПРУТКА В ТРЁХКУЛАЧКОВОМ ПАТРОНЕ

Бейлин А.Б., к.т.н., доцент; Фролов А.И., студент

Самарский государственный технический университет

Представлены результаты экспериментального исследования жесткости закрепления прутка в трёхкулачковом патроне токарно-винторезного станка. Подтверждено предположение о переменной жесткости закрепления прутка в патроне.

В работе проверялось предположение о том, что жёсткость закрепления прутка в патроне переменна при его повороте относительно направления действия вектора радиальной силы резания. Предположение базировалось на точечном приложении сил при закреплении в трёхкулачковом патроне, а также на предположении о возможном неравенстве этих сил из-за конструктивных особенностей механизма перемещения кулачков, погрешностей изготовления и сборки.

Экспериментальное исследование проводилось следующим образом.

На стальной прутки, закреплённые в трёхкулачковом патроне типа СТ-200ПФ токарно-винторезного станка 16Б16КП, с помощью нагрузочного устройства ТЖ-1000 воздействовали усилием (P), имитирующим радиальную силу резания (P_z).

Упругое перемещение прутка (δ_1) измеряли индикатором часового типа, закреплённым с помощью стойки на станине станка. Упругое перемещение патрона (δ_2) под действием указанной выше силы контролировали вторым индикатором. После разгрузки от действия силы шпиндель с патроном и прутком поворачивали на фиксированный угол (30°) и повторяли эксперимент. Точки измерения 1 (0°), 5 (120°) и 9 (240°) ориентированы по кулачкам патрона.

В качестве усилий нагружения были приняты значения $P = 2000$ Н и $P = 4000$ Н.

Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

Круглограмма изменения суммарных упругих перемещений δ_1 представлена на рис. 1.

Таблица 1

Результаты измерений

№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Угол поворота	0° кул.1	30°	60°	90°	120° кул.2	150°	180°	210°	240° кул.3	270°	300°	330°
Усилие P (Н)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
δ_1 (мм)	0,16	0,17	0,18	0,15	0,14	0,17	0,20	0,16	0,15	0,15	0,16	0,16
δ_2 (мм)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Усилие P (Н)	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
δ_1 (мм)	0,44	0,48	0,50	0,40	0,38	0,45	0,55	0,51	0,45	0,46	0,51	0,48
δ_2 (мм)	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,05	0,06	0,07	0,06

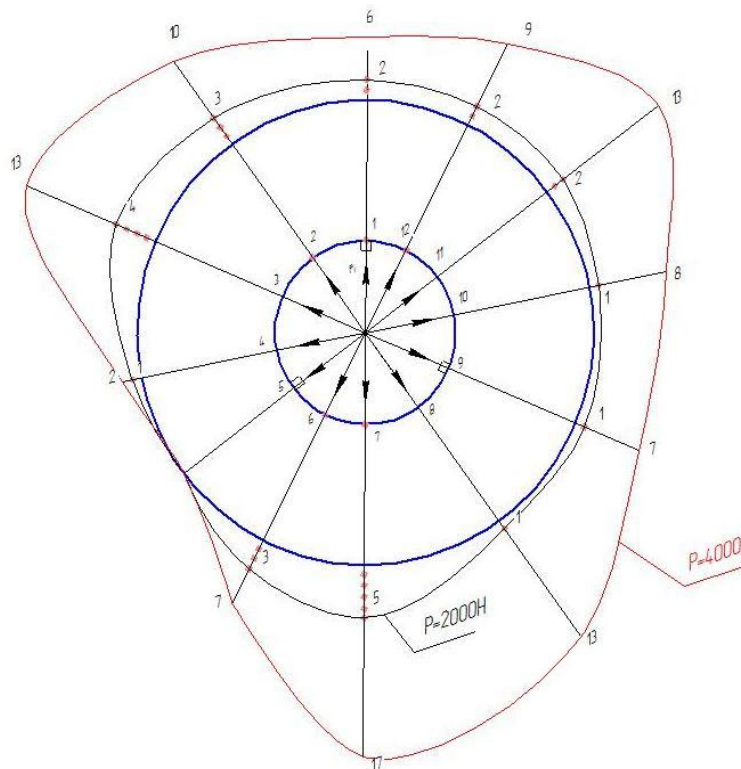


Рис. 1. Круглограмма изменения суммарных упругих перемещений δ_1

Нагрузка P через прутки воздействует на кулачки и другие элементы закрепления прутка в патроне, а далее на перемещение патрона относительно передней опоры шпинделя. При этом сам прутки также имеет упругую деформацию. Ввиду чрезвычайной малости угла прогиба можно записать: $\delta_1 = \delta_n + \delta_k + \delta_{np}$. Здесь:

- δ_1 – суммарное упругое перемещение прутка, замеряемое индикатором;
- $\delta_n = \delta_2$ – упругое перемещение патрона;
- δ_k – упругое перемещение кулачков в патроне;
- δ_{np} – упругое перемещение самого прутка.

Жёсткость закрепления прутка в патроне $j_{кр} = P / \delta_k$, где $\delta_k = \delta_1 - \delta_2 - \delta_{np}$.

Упругие перемещения δ_1 и δ_2 известны по результатам эксперимента. Найдём упругое перемещение δ_{np} самого прутка. Для прутка, закреплённого консольно, можно записать [1]:

$$\delta_{np} = \frac{Pl^3}{3EI}, \text{ где } E \text{ – модуль упругости первого рода. Для стали } E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2;$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64}, \text{ (м}^4\text{), момент инерции поперечного сечения круглого прутка;}$$

d и l , диаметр и длина прутка, соответственно.

В нашем эксперименте $d = l = 0,05$ м. Тогда при нагрузке $P=2000\text{Н}$ перемещение $\delta_{np} = 1,3 \cdot 10^{-9}$ мм, а при нагрузке $P=4000\text{Н}$ - $\delta_{np} = 2,6 \cdot 10^{-9}$ мм. Поскольку δ_{np} существенно меньше δ_1 и δ_2 , примем $\delta_{np} = 0$.

Результаты вычислений жёсткости закрепления прутка $j_{кр}$ по углу поворота шпинделя представлены в табл. 2. Выявлено, что жёсткость закрепления прутка в испытуемом патроне переменна по углу поворота шпинделя (рис. 2). Например, при воздействии усилием 4000Н , жёсткость в направлении «от кулачка» уменьшалась на величину от 11 до 34% по сравнению с направлением «к кулачку». Максимальное изменение жёсткости составило 60%. Разность упругих перемещений патрона (δ_n) в сечениях «по кулачкам» не превысила 0,01 мм, что

свидетельствует о стабильности показателей жёсткости шпинделя станка и закрепления самого патрона.

Таблица 2

Анизотропия жёсткости закрепления прутка

№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Угол поворота	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
Усилие Р (Н)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Жёсткость $j_{кр}$ (кН/мм)	15,38	14,28	13,33	16,67	18,18	14,29	11,76	15,38	16,67	16,67	15,38	15,38
Усилие Р (Н)	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Жёсткость $j_{кр}$ (кН/мм)	10,52	9,756	9,302	12,12	13,33	10,52	8,33	9,09	10,00	10,00	9,09	9,52

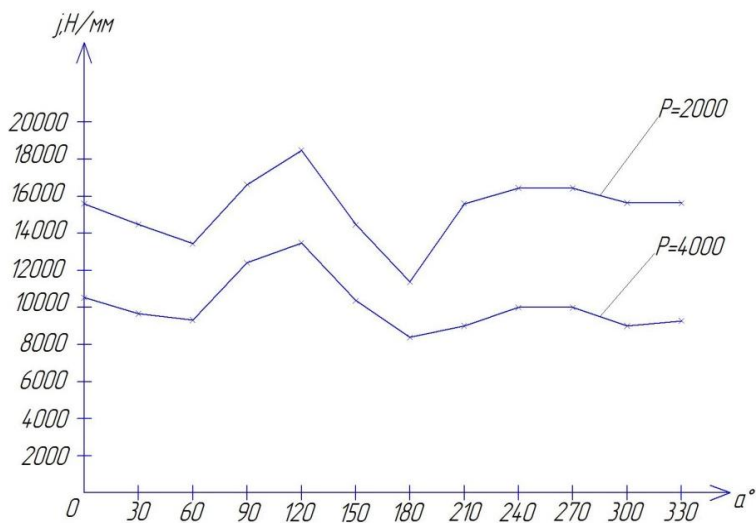


Рис. 2. Изменение жёсткости закрепления прутка

Выводы.

1. Экспериментально подтверждено предположение о переменной жесткости закрепления прутка.
2. Поскольку жесткость закрепления прутка в испытуемом патроне переменна по углу поворота шпинделя, на обработанной детали будет наблюдаться отклонение формы.
3. Разработанная выше методика проверки позволяет оценить качество патрона с точки зрения отклонений жесткости закрепления прутка «по кулачкам».
4. Изменение жесткости закрепления прутка в патроне по углу поворота шпинделя будет приводить к возбуждению колебательных процессов технологической системы при обработке деталей.

Список использованных источников

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов /В.И. Феодосьев.- М. Наука, 1964, - 540 с.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ИЗНОСА КРУГА ПРИ ПРОФИЛЬНОМ ШЛИФОВАНИИ НАПРОХОД**Виноградова Т.Г., к.т.н., доцент; Салова Д.П., к.т.н.; Никифоров А.С., магистрант***Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова,
Чебоксарский институт (филиал) Московского политехнического университета*

В работе обосновывается вывод о том, что стойкость круга во многих случаях ограничиваются влиянием кромочного износа. Превалирование его над другими механизмами изнашивания расширяет зону ускоренного разрушения круга, что сказывается на точности профиля круга и заготовки.

В условиях автоматизированного производства устранение нестабильности процесса шлифования во времени имеет принципиальное значение. Круг при работе стремиться к форме естественного износа. Устойчивой является форма контактной поверхности круга с заготовкой, которая соответствует минимуму энергетических затрат при установившемся процессе резания и изнашивания.

Процесс шлифования начинается с взаимной приработки контактирующих тел. Основными из них являются круг, заготовка и смазочно-охлаждающая среда (СОЖ). Сопутствующими телами являются стружка, шлифовальный шлам, наросты и налипы, элементы засаливания кругов и др. В первую очередь изнашиваются кромки круга и происходит неравномерный съём материала с заготовки. Кромки разрушаются относительно хрупко и неравномерно, что сказывается на работе и износе близлежащих слоёв абразивного круга.

Условия прирабатываемости круга во многом задаются условиями правки кругов [1], тепловой ситуацией в зоне обработки [2], податливостью в технологической системе [3, 4].

Стойкость профильных кругов ограничивается их неравномерным износом и неравномерным самозатачиванием. Неравномерность обусловлена различными условиями работы круга по рабочей поверхности.

На рабочей поверхности различают несколько областей износа. Зона кромочного износа связана со значительным локальным разрушением выступающих частей круга. Это области с малыми радиусами закругления и уголки круга (краевой износ). При врезании в заготовку, длина которой меньше рабочей длины круга, возникают искажения форм тел. На заготовке нарезаются углы, на круге остаются выступы. Зону называют областью прикраевого износа.

Зона уменьшенного износа круга характерна для участков профиля, на которых касательная к его осевому сечению составляет с осью круга α_r более $\pm 50 \div 70^\circ$. В этих зонах, по сравнению с другими уменьшены толщины среза, большее число давящих зёрен за счёт режущих, ухудшен процесс самозатачивания и отвод шлифовального шлама. Со временем в этих зонах увеличивается контактная температура и начинается засаливание круга.

Такие участки профиля целесообразно шлифовать кругом, ось которого наклонена к оси заготовки, как при торцевом шлифовании. При профильном шлифовании этот метод не используется и не анализируется. Основное внимание уделяется износу, который увязывается с диаметром круга и заготовки, с припуском, его называют радиальным. Часто при анализе радиального износа круга и оптимального припуска под обработку используют некорректные расчётные схемы. Например, круг и деталь разбивают на тела прямоугольного сечения. При круглом шлифовании – на диски. Это принципиально неверно, так как не учитывается угол наклона образующей α_r . Модель, в которой различные по условиям нагружения участки круга изнашиваются по одному механизму, не может быть корректной. Большие затруднения

вызывают получения оптимального микропрофиля круга, правка при угле наклона α более 30° . Особенно это сложно выполнить на относительно мелких элементных поверхностях. Следует подчеркнуть сложность обеспечения эффективного микропрофиля алмазными иглами. Микропрофиль круга после правки заострѐн и не обеспечивает требуемой шероховатости.

Целесообразно представлять круг, состоящим из дисков с коническими и цилиндрическими участками.

Проанализируем износ кругов, работающих с круговой или продольной подачей. Подтверждением этому является вывод авторов [5], о том, что при равной глубине резания t_ϕ средняя толщина среза, снимаемая зерном на цилиндрическом участке, примерно в 2 раза больше, чем на коническом участке. Усилия резания на абразивных зѐрнах, работающих на цилиндрическом участке, в 3,22 раза больше, чем на коническом с углом $\alpha_r = 60^\circ$. Это объясняет существенно больший износ вершины круга. При предварительном проходе резбошлифовальный круг более заострѐн, чем при чистовом, имеет меньший цилиндрический участок. Фактическая глубина резания t_ϕ для цилиндрического участка будет больше, чем для конического. Следовательно, разница в нагруженности зѐрен по участкам будет более двух [5].

Для обеспечения равномерно износа профиля круга необходимо, чтобы толщины среза на всех его участках работы были равны.

Ориентировочно это достигается тогда, когда зависимости между глубинами имеют вид: для впадины на заготовке

$$t_{вп} = \frac{t_u}{\cos^2 \alpha_{звп}};$$

для выступа на заготовке

$$t_{вых} = \frac{t_u}{\cos^2 \alpha_{звых}},$$

где $t_{вп}$, $t_{вых}$, t_u – фактические глубины резания, которые обеспечиваются за один проход; $\alpha_{звп}$, $\alpha_{звых}$ – углы наклона касательной к профилю впадины и выступа.

Для плоской профильной поверхности, шлифуемой методом копирования, когда канавка предварительно образована радиусом меньшим, чем радиус круга:

$$t_{нл} = t_{ер} \cdot \cos \alpha,$$

где $t_{ер}$ – поперечная подача; α – угол наклона касательной к произвольной точке профиля круга.

Метод наиболее эффективно реализуется при чистовом проходе и при глубинном шлифовании. Возможна его реализация при круглом врезном шлифовании. Для этого цикл обработки должен включать: этап врезания на всю глубину, далее поворот детали на полный оборот плюс зона врезания, выхаживания. При врезании целесообразна круговая подача для тепловой разгрузки зоны резания [2]. Для уменьшения искажения профиля круга, подача должна быть минимальной. Желательно, чтобы диаметр круга был существенно больше диаметра заготовки. Идеальными условиями врезания и работы являются одновременное участие в работе большей части круга.

Основным недостатком метода врезания является неодновременное врезание профиля круга в заготовку, что приводит к локальному износу круга и потере его стойкости. Для их исключения необходимо, чтобы кривизна профилей заготовки и круга были близки. Однако это возможно при обеспечении неравномерного припуска, что трудно осуществить. При формировании на заготовке радиусной канавки или другой плавной кривой применяют круги с профилем, обеспечивающем требуемый профиль при развороте круга нужным на угол скрещивания с осью заготовки.

Следует заметить, что при глубинном шлифовании пониженный износ круга обеспечивается и за счёт постоянства механизма износа круга, а не только за счёт особенностей теплосиловой ситуации в зоне резания. Исследования особенностей врезного шлифования даны в работах [6, 7].

Список использованных источников

1. Правка кругов при внутреннем шлифовании / Д. П. Салова, Т. Г. Виноградова, П. М. Салов, Ю. И. Воронцов. – Чебоксары: Чувашский университет, 2013. Деп в ВИНТИ 25.10.2013, № 299 – В 2013, 15с.
2. Виноградова, Т.Г., Импульсные температуры при аэробном шлифовании/ Т.Г. Виноградова, Д.П. Салова, П.М. Салов // Технология машиностроения. 2011. №3 – с.11-14.
3. Виноградова, Т. Г., Качество обработанных отверстий при электрокорундовом и аэробном шлифовании/ Т. Г. Виноградова, П.М. Салов, Д. П. Салова // Научно-технич. Вестник Поволжья, г. Казань: Научно-техн. Вестник Поволжья, 2011, №1, - С.91-95
4. Повышение эффективности процесса и качества обработанной поверхности при силовом шлифовании торцом круга/ П.М. Салов, Д. А. Вячеславов, М. Л. Афанасьева и др. // Высокие технологии в машиностроении. Материал Всероссийской научно-технической интернет – конференции, посвященной 100 –летию заслуженных деят. Н. и т. РФ Папшева Д. Д. Отв. ред. В. Н. Трусов – Самара: СамГТУ, 2015, - с.28-29.
5. Захаренко, И. П., Шлифование резьбы инструмента кругами из кубонита/ И. П. Захаренко, И. М. Цахновский, Э. А. Белецкий. М.: Машиностроение, 1974. – 144 с.
6. Салов, П. М. Рациональное использование рабочей поверхности абразивных кругов. Монография/ Салов, П. М., Д. П. Салова// Чебоксары: Чебоксарский политехн. ин-т (филиал) МГОУ, 2010.332с.
7. Салов П.М., Влияние различных условий правки на микропрофиль абразивного круга / П.М. Салов, В.С. Григорьев, Н.В. Мулюхин // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве. Матер. 1-ой Междунар. науч.- практ. Конф. – Чебоксары: ЧувГУ, - 2015, С.241 – 246

ОПИСАНИЕ МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛА ВИБРАЦИИ В ПОДШИПНИКОВОЙ ОПОРЕ С ПРИВЯЗКОЙ ЕГО К ПАРАМЕТРАМ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА

Гаспаров Э.С., доцент; Гаспарова Л.Б., доцент

Самарский государственный технический университет

В статье рассматривается вопрос построения математической модели опоры шпиндельного узла, которая сможет описать механизм образования сигнала вибрации, привязав его к параметрам технического состояния. В модели рассматривается радиальный шарикоподшипник, но при необходимости результаты можно перенести и на модель радиально-упорного шарикоподшипника. В модели приняты следующие допущения: отсутствует скольжение шариков, профиль беговых дорожек неизменен, угол контакта постоянен.

Большинство разработанных математических моделей опор шпиндельных узлов на подшипниках качения лишены визуально понятных механизмов образования модулированных сигналов вибрации и соответственно изменения соотношений спектральных амплитуд на частотах кратных основным частотам возбуждения при изменении параметров механической системы и с учетом собственной АЧХ механической системы.

В связи с этим, математическая модель, которая наилучшим образом установила бы связь информационного сигнала с параметрами технического состояния механического узла, позволит более успешно разрабатывать методы диагностирования зарождающихся дефектов на этапе эксплуатации, которые требуют большей глубины диагностирования, чем методы диагностики на стадии изготовления и сборки, большее количество которых основано на октавном и дробно-октавном анализе спектра энергии сигнала. Поэтому разработка математической модели опоры шпиндельного узла, которая аналитически описывала бы механизм образования сигнала вибрации, привязав его к параметрам технического состояния, является актуальной задачей и в настоящее время. Возможно, такая математическая модель позволит эффективно применить к сигналам вибрации преобразование Хуанга-Гильберта [1], использующее адаптивное разложение сигналов на физически значимые составляющие, а также улучшить эффективность применяемых, в настоящее время, методов анализа.

На рис. 1 приведены геометрическая модель (а) и обобщенная расчетная схема (б) опоры высокоскоростного шлифовального шпинделя. В модели рассматривается радиальный шарикоподшипник, но при необходимости результаты можно перенести и на модель радиально-упорного шарикоподшипника.

Модель имеет одну неподвижную и несколько подвижных систем координат, число которых равно количеству шариков в обойме. Подвижные системы координат вращаются относительно неподвижной с угловой скоростью равной скорости вращения сепаратора, т.е. геометрический центр шарика лежит на оси соответствующей подвижной системы координат. Дорожкой внутреннего кольца подшипника является поверхность ротора, что характерно для шлифовальных шпинделей.

В модели приняты следующие допущения: отсутствует скольжение шариков, профиль беговых дорожек неизменен, угол контакта постоянен. Расчетная схема на рис. 1(б) учитывает влияние обратной связи по амплитуде, т.е. влияние перемещения ротора на амплитуду периодической возмущающей силы, вызванной начальным дисбалансом шпинделя.

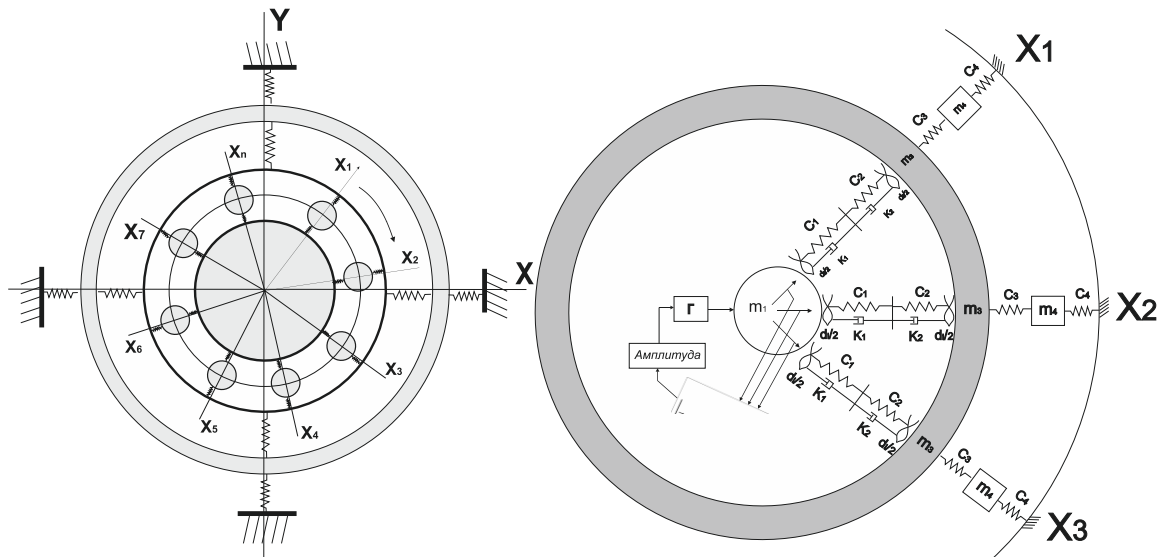


Рис.1 Геометрическая модель (-а) и расчетная схема (-б) подшипниковой опоры шпиндельного узла.

Учет обратной связи по амплитуде определим как зависимость мгновенного значения эксцентриситета от перемещения, приведенной к опоре, массы ротора (рис. 2).

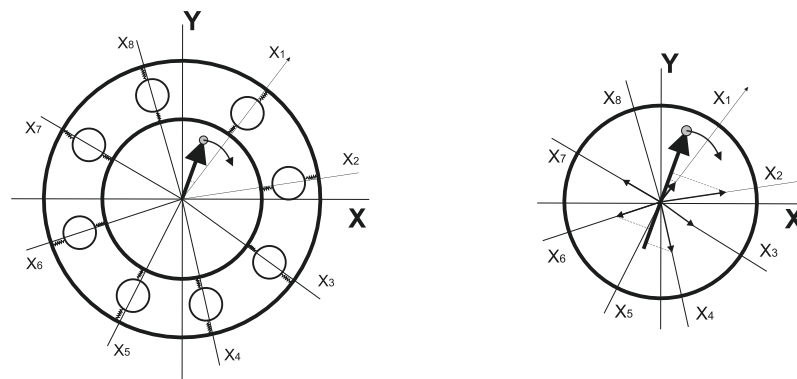


Рис. 2 Графическое пояснение записи мгновенного значения эксцентриситета

Мгновенное значение эксцентриситета вычисляется ниже описанным образом:

$$e(t) = e_0 + \sum_1^z x_{1n} \cos\left(\omega_{pc} \cdot t + \varphi_{pc0} - \frac{2 \cdot \pi(n-1)}{z}\right).$$

Здесь $\sum_1^z x_{1n} \cos\left(\omega_{pc} \cdot t + \varphi_{pc0} - \frac{2 \cdot \pi(n-1)}{z}\right)$ - сумма проекций перемещений геометрического центра ротора на линию, соединяющую геометрический центр ротора с центром тяжести, а $\omega_{pc} \cdot t + \varphi_{pc0} - \frac{2 \cdot \pi(n-1)}{z}$ - разность фаз вращений ротора и сепаратора.

Рассмотрим механическую систему вдоль одной из подвижных осей. Механическая система представляет собой четыре упругосвязанные сосредоточенные массы (рис.3, а). В механической системе m_1 - приведенная на опору масса шпинделя, m_2 - масса шарика, m_3 - масса наружного кольца, m_4 - приведенная к опоре масса корпуса шпиндельного узла, C_1 - жесткость контакта внутреннее кольцо-шарик, K_1 - коэффициент вязкого сопротивления контакта внутреннее кольцо-шарик, C_2 - жесткость контакта шарик-наружное кольцо, K_2 - коэффициент вязкого сопротивления контакта шарик-наружное кольцо, C_3 - жесткость контакта наружное кольцо-узел, C_4 - жесткость контакта узел-станина, $F_{нач.нат.}$ - сила

предварительного натяга, $F_{\text{ротора}}$ - сила периодического характера, вызванная дисбалансом шпинделя.

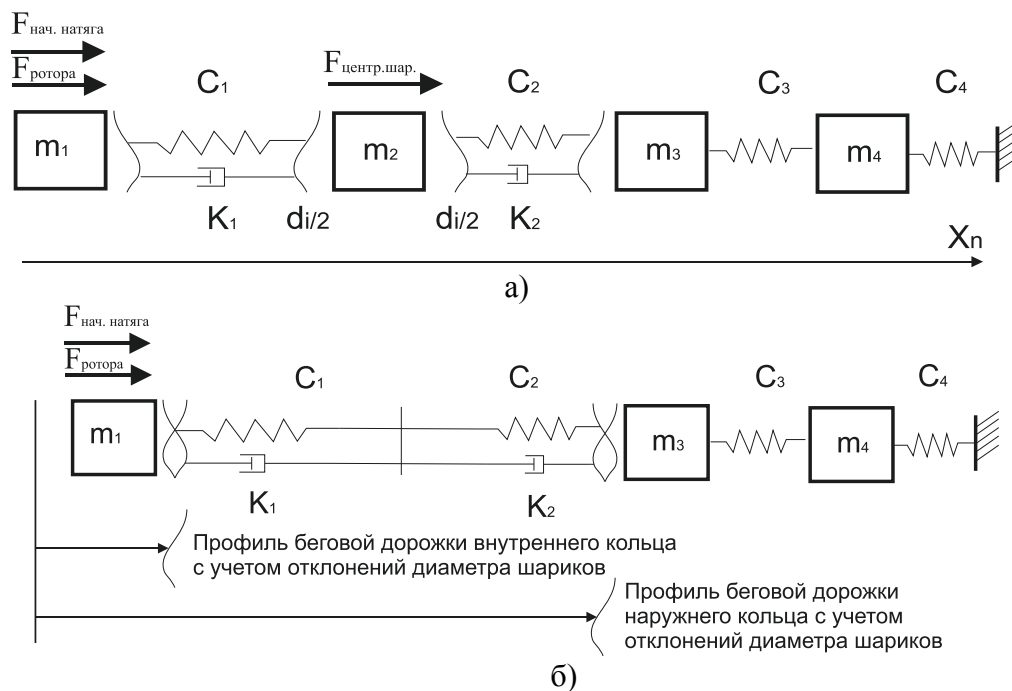


Рис. 3 Механическая система вдоль одной из подвижных осей

Массой шарика m_2 пренебрежем и примем равной нулю в связи с тем, что масса шарика меньше масс остальных элементов более чем на порядок и упростим механическую систему до системы из трех сосредоточенных масс (рис.3, б).

Система дифференциальных уравнений описывающих движение масс упрощенной механической системы изображенной на рис. 3 приведена ниже:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 = F_{\text{источн}} - C_{\text{общ}}(x_1 - x_3 + A(t)) - k_{\text{общ}}(x_1 - x_3 + A(t))' \\ m_3 \ddot{x}_3 = C_{\text{общ}}(x_1 - x_3 + A(t)) + k_{\text{общ}}(x_1 - x_3 + A(t))' - C_3(x_3 - x_4) \\ m_4 \ddot{x}_4 = -C_4 x_4 + C_3(x_3 - x_4) \end{cases},$$

где $C_{\text{общ}}$ - общая нелинейная жесткость контакта шпиндель-наружное кольцо, равное $\frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$; $A(t)$ - суммарное кинематическое возмущение вызванное неровностями профилей беговых дорожек и шарика; $k_{\text{общ}}$ - общий коэффициент вязкого сопротивления, равный сумме коэффициентов K_1 и K_2 ; $F_{\text{источн}}$ - общее силовое воздействие со стороны шпинделя.

Список использованных источников

1. The Hilbert-Huang transform and its applications/editors, Norden E. Huang, Samuel S.P. Shen. - World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 5 Toh Tuck. Link, Singapore 596224.
2. Бейзельман Р.Д., Цыпкин Б.В., Перель Л.Я. Подшипники качения: Справ. 6-е изд. М.: Машиностроение, 1975. 574 с.
3. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. Ред.совет: В.Н. Челомей (пред.) – М.: Машиностроение, 1978.

ПРИМЕНЕНИЕ Ti_3SiC_2 ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ ЗАКАЛЕННЫХ И НЕЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ

Гришин Р.Г., к.т.н. доцент; Подкругляк Л.Ю., ст. преп.; Гордиенко Я.М., магистрант

Самарский государственный технический университет

Представлена апробация шлифования кругами из карбосилицида титана закаленной до 55 HRC₃ и незакаленной стали 40X. замечено, что квазиоптимальные параметры обработки: $n \approx 8000$ об/мин ($V=16$ м/с).

Технология получения круга из карбосилицида титана основана на реакции $\text{Ti}+\text{Si}+\text{C} \rightarrow \text{Ti}_3\text{SiC}_2$ в режиме горения смеси порошков титана, кремния и углерода. Чтобы получить опытный образец карбосилицида титана Ti_3SiC_2 СВС-методом, была приготовлена смесь исходных порошков: титан Ti, кремний Si и углерод C (сажа). Исходная смесь помещалась в прессформу, формовался круг с размерами ПП 40×8×8 мм. Отформованный круг помещался в реактор открытого типа, где под давлением осуществлялся поджиг смеси и получался спёк порошка.

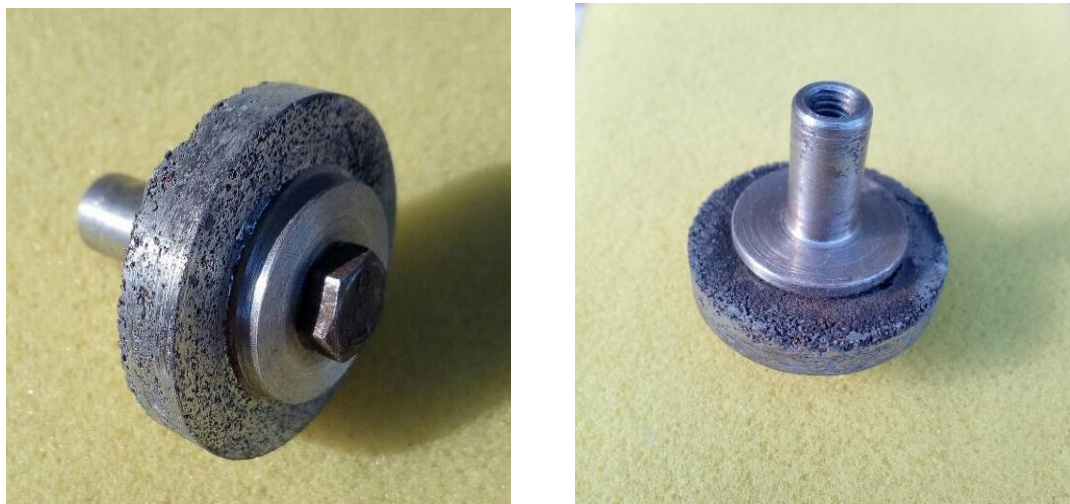


Рис. 1. Шлифовальный круг из Ti_3SiC_2 на оправке

Для проверки режущих свойств материала на основе Ti_3SiC_2 было проведено пробное шлифование. Образец из стали 40X в состоянии поставки был закреплен в суппорт токарного станка. Заготовка, имеющая вид пластины с размерами 12×80×3 мм, (закрепленная в резцедержателе) была прошлифована при частоте вращения 2000 об/мин. Подача осуществлялась вручную.

Фотографии обработанной поверхности заготовки и рабочей поверхности опытного шлифовального инструмента, сделанные с помощью электронного микроскопа, представлены на рис.2.

Общий вид рабочей поверхности шлифовального инструмента после 5 минут обработки представлен на рисунке 2 (а, б, в). На фотографии, сделанной с помощью электронного микроскопа с увеличением в 250 раз видна большая неоднородность пористой структуры инструмента. Поры имеют размер от 1 ... 10 до 100 ... 150 мкм (рис. 2, а).

Поверхность состоит из разноразмерных остроугольных и округлых блоков, мелких и крупных агломератов размерами от 368,78 нанометра до 1,26 микрометра (рис. 2, в).

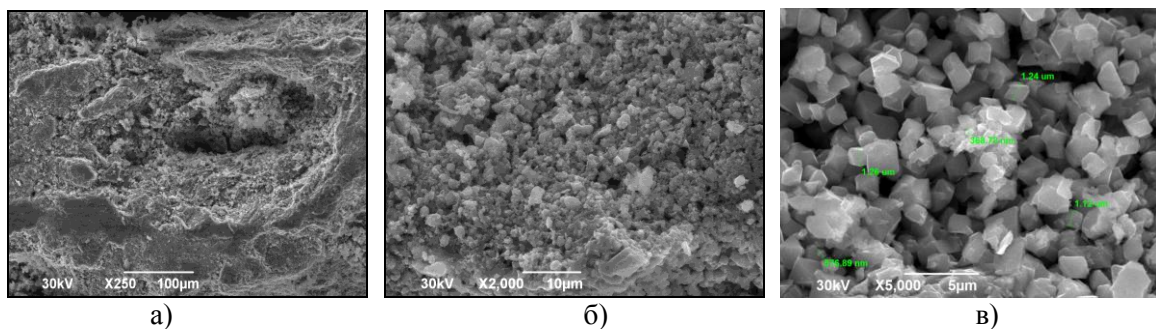


Рис. 2. Фотографии рабочей поверхности шлифовального инструмента после 5 минут обработки: а) 2500-кратное увеличение, б) 2000-кратное увеличение, в) 5000-кратное увеличение

На поверхности образца встречаются области с более равномерным расположением частиц и их размерностью. Фрагменты износа по форме не отличаются от остальных частиц.

На поверхности отшлифованной заготовки после обработки (рис. 3), под электронным микроскопом с увеличением в 14 раз, видны следы, ширина которых составляет 0,1 ... 0,5 мм. При этом наблюдаются мелкие и крупные вырывы, размер которых варьируется в пределах 0,2 ... 0,4 мм в ширину и 0,3 ... 1 мм в длину. Это наблюдается по причине неравномерной пористости и неравномерного расположения режущих элементов в инструменте.

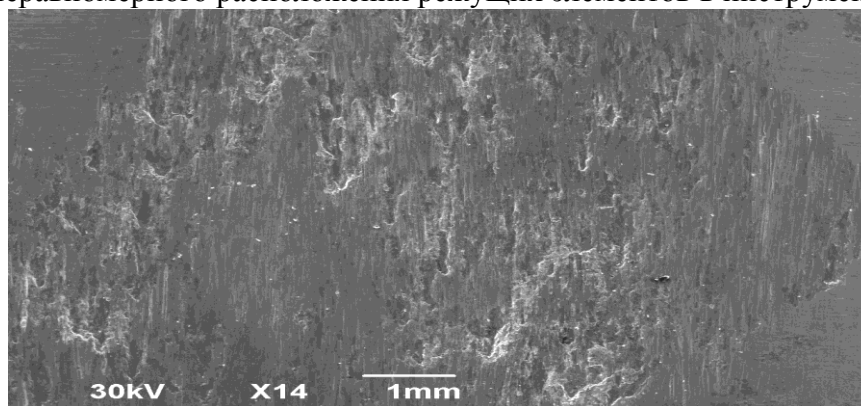


Рис. 3. Поверхность заготовки после шлифования при 14 кратном увеличении

Режимы резания, полученные при данных условиях испытания: $V = 4$ м/с. Это достаточно мало, чтобы процесс назывался шлифованием. Для обработки на скоростях, хотя бы 15...20 м/с, необходимы обороты шпинделя: 7000 ... 9500 об/мин. Данные режимы обработки были получены на фрезерном станке ST-9 1212. Где заготовку из тех же размеров пластины закрепляли вертикально, а в вертикальный шпиндель устанавливалась оправка с шлифовальным кругом. Число оборотов задавалось от 5000 до 10000 об/мин бесступенчато. После достижения 8000 ... 8300 об/мин и последующего повышения числа оборотов на обработанной поверхности стали появляться вырывы. Поэтому, в первом приближении, квазиоптимальным $n_{кр}$ посчитали 8000 об/мин.

Величина шероховатости уменьшилась с $Ra25 \dots 10$ (при $V = 4$ м/с) до $Ra5 \dots 2,5$ мкм ($n_{кр} = 8000$ об/мин; $V = 16$ м/с). Но осталась неравномерность обработки из-за радиально-параллельного расположения слоев материала в круге.

Также в качестве обрабатываемого материала была испытана закаленная сталь 40X 52...55HRC. Обработка производилась на координатно-шлифовальном станке HAUSER-3SM.

Заготовку была закреплена в приспособлении на поворотном столе. Обработка производилась со следующими режимами: частота вращения круга (Ti_3SiC_2) составляла 5000 об/мин с последующим бесступенчатым увеличением до 10000 об/мин. Продольная подача составляла ≈ 800 мм/мин, глубина резания 0,01 мм.



а)



б)

Рис. 4. Наладка станка на обработку: а) установка круга; б) наладка на «ось» детали

При обработке экспериментальным путем (визуальным методом определения момента появления прижогов на обработанной поверхности) были выявлены квазиоптимальные обороты круга – 7800 ... 8300 об/мин.



Рис. 5. Обработанная поверхность из 40Х 52...55HRC

Величина шероховатости R_a снизилась с 0,25 до 0,16 мм, что является положительным результатом (рис. 5). Хотя можно сделать выводы, что данный круг из Ti_3SiC_2 можно использовать с учетом появления прижогов не при шлифовальной, а при полировальной обработке, т.к. наблюдается малое снижение шероховатости и значительно большее снижение гранности поверхности.

Список использованных источников

1. Носов Н.В. Абразивная обработка деталей инструментами из СВС-материалов. – Самара: СамГТУ, 2005. 362 с.
2. Носов Н.В., Кравченко Б.А. Технологические основы проектирования абразивных инструментов. – М: Машиностроение-1, 2003. 257 с.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ НАТЯГОВ В ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛАХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Денисенко А.Ф., д.т.н., профессор

Самарский государственный технический университет

Приведены результаты анализа создания предварительного натяга на основе предложенных расчетной и математической моделей, в которых детали подшипникового узла представлены в виде комплекта контактирующих колец, имеющих отклонения торцов от перпендикулярности. Разработана методика назначения предварительных натягов в подшипниковых узлах.

Эффективным средством повышения осевой жесткости подшипниковых узлов является создание предварительного натяга. Особое значение обеспечение предварительного натяга приобретает для опор ходовых винтов приводов подач станков с ЧПУ, где требования к жесткости очень высоки.

Основным условием при выборе предварительного натяга в подшипниковом узле, фиксирующем положение вала в осевом положении, является условие нераскрытия стыка, то есть обеспечение сохранения контактных давлений на опорных поверхностях подшипников при изменении направления осевой нагрузки и ее колебаниях.

В зависимости от того, какие элементы входят в цепь силового замыкания, рекомендуются следующие значения предварительного нагружения P_H : для шариковых подшипников $P_H = 0,354P_{\max}$; для плоских и цилиндрических стыков $P_H = 0,25P_{\max}$, где $P_{\max}$ - максимально возможная нагрузка. Но так как в цепь силового замыкания могут входить одновременно различные звенья, то чаще всего используют соотношение $P_H \cong 0,5P_{\max}$ [1]. Однако, рекомендуемое значение является очень приближенным, так как не учитывает конструкцию и компоновку подшипникового узла, а также точность изготовления входящих в него деталей (подшипников, втулок, колец, гаек, корпусов и др.). Поэтому в ряде случаев созданный предварительный натяг либо превышает требуемую величину, что ведет к повышенному износу подшипников, либо является недостаточным для отсутствия раскрытия стыков в подшипниковом узле. Кроме того при создании предварительного натяга следует учитывать также достигаемую при этом жесткость, которая зависит в основном от условия контакта в стыках подшипникового узла.

Как показано в [2], погрешности изготовления деталей и взаимная ориентация погрешностей при сборке приводят к существенному изменению пространственного положения деталей, что естественно сказывается на характере изменения контактной жесткости стыков: наблюдается значительное увеличение зоны резко выраженной нелинейности контактной жесткости при возрастании нагрузки.

Учитывая технологию изготовления контактных поверхностей элементов опоры, обеспечивающую высокие показатели по плоскостности [3], подшипниковый узел можно представить в виде комплекта колец, имеющих отклонения от перпендикулярности торцов относительно оси опоры. Наличие указанных отклонений даже в пределах допуска в процессе сборки может вызвать поворот одного из элементов опоры, что ведет к изменению положения опорных поверхностей для соседних элементов [2]. Кроме предельного случая, когда нормали к торцовым опорным поверхностям лежат в одной плоскости, необходимо учесть случайный характер их ориентации в пространстве при сборке.

Гипотеза о влиянии погрешности формы контактирующих деталей на контактную жесткость была проверена экспериментально на стенде, представляющим собой

цилиндрическую шлифованную стойку с надетым на нее пакетом дисков нагруженных сжимающей силой. Пространственное положение колец при нагружении определялось с помощью четырех индикаторов, установленных по периферии колец в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях, проходящих через ось стойки. Результаты экспериментов для колец с $d_{нар} = 91$ мм, $d_{внут} = 71$ мм и $H = 12$ мм (один из них приведен на рис. 1) наглядно показывают пространственный поворот кольца вследствие погрешностей формы и расположения опорных поверхностей.

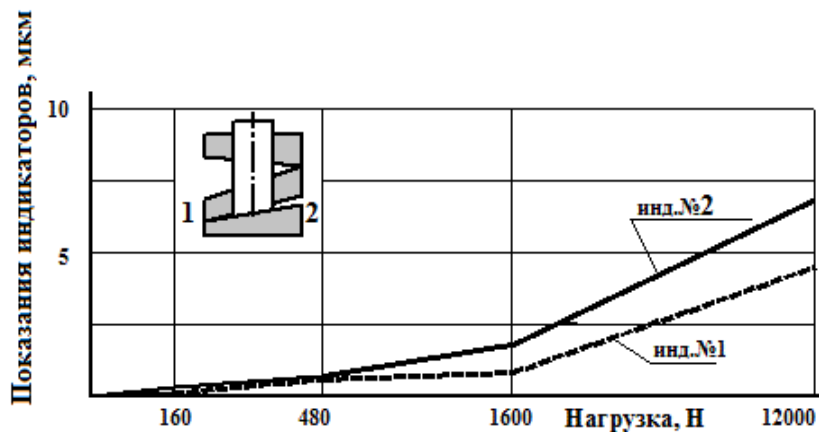


Рис. 1. Пространственное положение кольца при нагружении на экспериментальном стенде

Так как основная цель создания предварительного натяга - увеличение осевой жесткости за счет работы его в области линейного изменения жесткости, и так как линейный участок контактной жесткости предполагает контакт по всей номинальной поверхности, то величина требуемой предварительной нагрузки может быть определена из условия отсутствия клиновых зазоров в торцевых стыках подшипникового узла.

Решение указанной задачи может быть выполнено только с использованием теории вероятностей.

Для отклонений от перпендикулярности контактирующих торцевых поверхностей элементов подшипникового узла можно принять односторонний нормальный закон распределения, где среднее арифметическое значение соответствует нулевому отклонению поверхности от перпендикулярности, а $3\sigma = \delta$, где δ - допуск на отклонение от перпендикулярности. Взаимная угловая ориентация отклонений от перпендикулярности контактирующих поверхностей торцов подчиняется равновероятностному закону распределения.

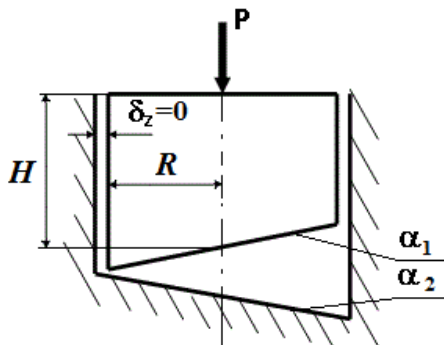


Рис. 2. Расчетная модель пространственного положения диска при его вдавливании в глухое отверстие

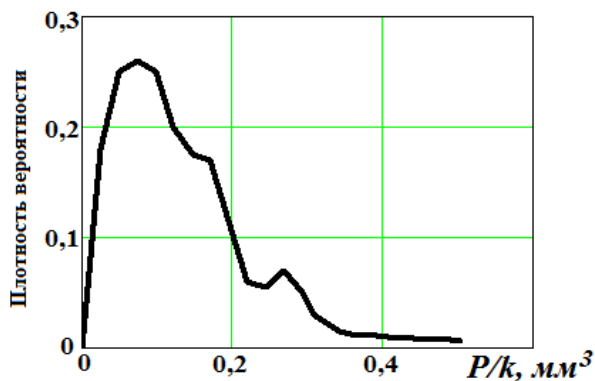


Рис. 3. Результат расчета методом Монте-Карло контактирования диска с дном глухого отверстия ($R = 25$ мм; $\alpha_1 = \alpha_2 = 1 \cdot 10^{-6}$ рад)

Для решения задачи выбора необходимой величины предварительного натяга была разработана математическая модель пространственного положения диска радиусом R и толщиной H , имеющего отклонения от перпендикулярности торцов, после его вдавливания силой P в глухое отверстие, дно которого также неперпендикулярно оси (зазор по цилиндрической поверхности принят равным нулю) (рис. 2):

$$\begin{cases} 8\sqrt{A^2 + B^2} = \pi k H^3 R \tau; \\ \text{Actg } \varphi_\tau = B; \\ \gamma = \sqrt{\tau^2 + \alpha_1^2 + 2\tau\alpha_1 \cos(\varphi' - \varphi_\tau)}; \\ \theta = \arcsin \left[\frac{\alpha_1}{\gamma} \sin(\varphi' - \varphi_\tau) \right]; \\ A = 4Px_p - \pi k R^4 \gamma \sin(\varphi_\tau + \theta); \\ B = 4Py_p - \pi k R^4 [\gamma \cos(\varphi_\tau + \theta) - \alpha_2], \end{cases}$$

где α_1 и α_2 - углы наклона торца диска и дна отверстия соответственно; τ - угол поворота диска при контактировании; φ' - угол между проекциями нормалей к контактирующим торцам на плоскость, перпендикулярную оси отверстия; φ_τ - угол, определяющий направление поворота диска при контактировании; x_p и y_p - координаты приложения силы P ; k - коэффициент контактной жесткости.

Пример расчета по разработанной математической модели методом Монте-Карло приведен на рис. 3.

Проведенные расчеты позволили составить номограммы, дающие возможность определить необходимое усилие предварительного натяга для двух контактирующих колец.

На основании разработанных физических и математических моделей, расчетов и экспериментальных исследований предложена методика определения предварительного натяга в подшипниковых опорах валов, состоящая из следующих этапов.

1. По рабочим чертежам деталей узла определяем допустимые отклонения торцов деталей от перпендикулярности.
2. По компоновке узла определяем для каждой детали схему, дающую максимальный угол клина в соединении и находим стык узла с максимальным углом клина.
3. По номограммам с учетом размеров кольца определяем величину максимального предварительного натяга для найденного стыка.
4. Проверяем узел на отсутствие раскрытия стыка при изменении направления рабочей нагрузки.

Предложенная методика может быть использована на стадии проектирования для назначения допустимых отклонений формы и расположения поверхностей деталей подшипникового узла, исходя из заданного по условиям требуемой жесткости предварительного натяга.

Список использованных источников

1. Станки с числовым программным управлением (специализированные) / Под ред. В.А.Лещенко. –М.: Машиностроение, 1979. – 592 с.
2. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. –М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
3. Повышение эффективности процесса и качества обработанной поверхности при силовом шлифовании торцом круга / П.М. Салов, Д.А. Вячеславов, М.Л. Афанасьева и др. // Высокие технологии в машиностроении. Матер. Всероссийск. н.-т. конф. – Самара: СамГТУ, 2015, - С.28-29.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ СТАНКОВ С ЧПУ

Емельянов Н.В., ст. преп.; Емельянова И.В., к.т.н., доцент; Зубенко В.Л., к.т.н., доцент

Самарский государственный технический университет

Приведены результаты исследования колебаний станка с ЧПУ модели 1716ПФ3.

Вибрации в станках и низкая виброустойчивость ведут к снижению производительности станка и росту стоимости обработки.

Для повышения динамических показателей станочной системы проведено исследование абсолютных и относительных колебаний токарного станка модели 1716ПФ3.

Результаты исследований станка на холостом ходу и при резании приведены на рис.1, 2, 3.

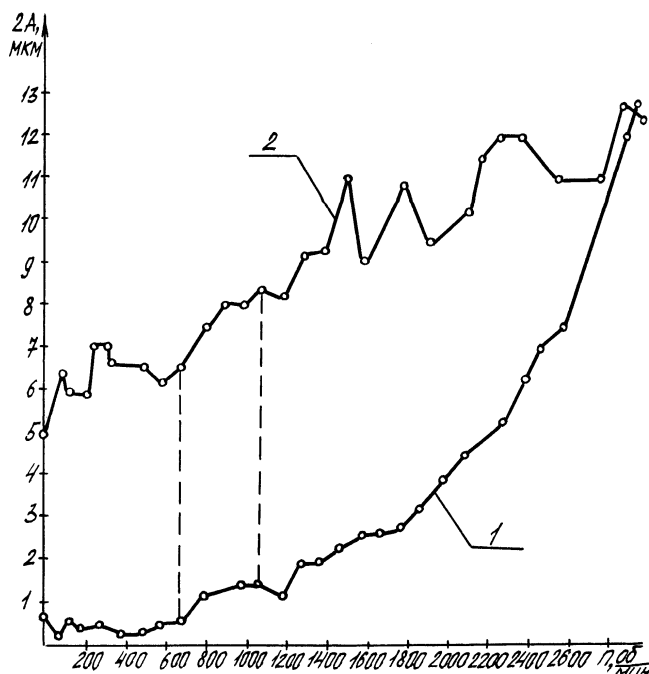


Рис. 1. Относительные колебания системы "шпиндель – инструментальная головка":
1- оправка, установленная в шпиндель; 2 – оправка, установленная в патроне.

Уровень вибраций регистрировался емкостным датчиком, установленным в инструментальной головке, и передавался на осциллограф и анализатор гармоник.

Согласно рис. 1 патрон станка вызывает увеличение амплитуды относительных колебаний, по сравнению с оправкой, закрепленной в шпинделе станка.

Проведенные исследования (с измерением шероховатости обработанной поверхности по ГОСТ 2979-73) для различных режимов обработки: скорости резания $V = 70 \dots 180$ м/мин, глубиной резания $t = 0,5 \dots 2$ мм и подачей $S = 0,05 \dots 0,25$ мм/об, приведены на рис. 2, 3.

Результаты исследований показали, что чистота поверхности обработки, характеризуемая величиной R_a (мкм), колеблется в значительных пределах и составляет $0,41 \dots 3,56$ мкм.

То есть, режимы резания в сочетании с динамикой приводов станка в значительной мере определяют качество обрабатываемой поверхности.

С увеличением оборотов шпинделя происходит рост амплитуды относительных колебаний. Такой характер изменения колебаний во многом определяется возрастающей ролью остаточного дисбаланса вращающихся частей станка.

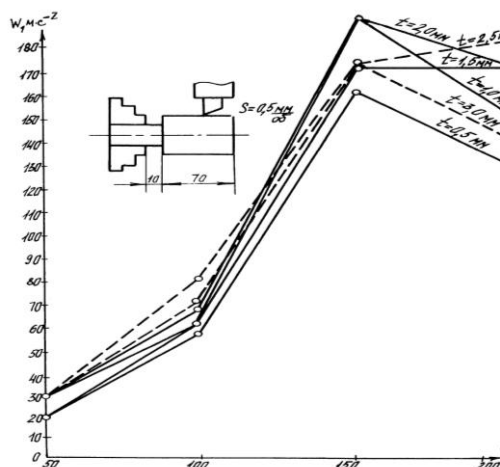


Рис. 2. Зависимость абсолютных колебаний (виброускорения W , м.с^{-2}) от режимов резания (скорости резания V , м/мин) при обработке детали, закрепленной в патроне

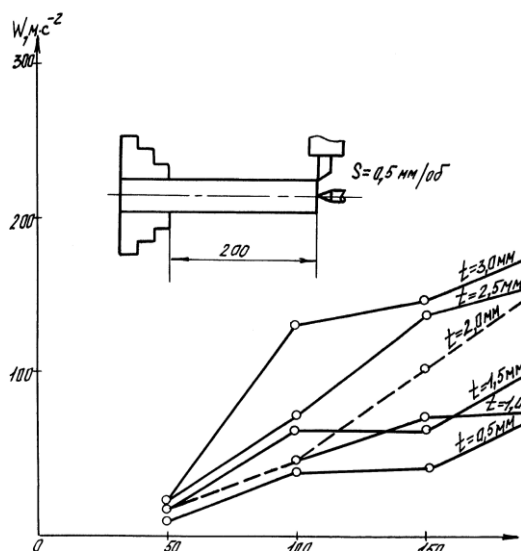


Рис. 3. Зависимость абсолютных колебаний (виброускорения W , м.с^{-2}) от режимов резания (скорости резания V , м/мин) при наружном обтачивании детали, закрепленной в патроне и поджатой задним центром

Уровень относительных колебаний определяет точность обработки.

Выбор режимов резания, устанавливаемых с учетом результатов исследований, повышает точность обработки на 2...3 квалитета.

Список использованных источников

1. Емельянов Н.В. Повышение параметрической надежности станков с ЧПУ // Сб. трудов всерос. конф. молодых ученых и специалистов. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - С. 6-7.
2. Емельянов Н.В., Зубенко В.Л. Повышение надежности и точности автоматизированных станочных систем автомобильного производства // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса: Межвуз. сб. науч. статей. – Самара: СамГТУ, 2009. – С. 18 - 27.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ПРАВКИ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА ПРИ ОБРАБОТКЕ МАЛОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПО ВИБРОАКУСТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Игнатъев А.А., д.т.н., профессор; Захарченко М.Ю., к.т.н., доцент; Добряков В.А., к.т.н., доцент

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Представлены результаты исследования по определению целесообразного момента правки шлифовального круга при обработке малогабаритных валов по временному ряду запасов устойчивости динамической системы, полученных на основе измерения виброакустических колебаний.

Совершенствование автоматизированных производств выдвигает на первый план необходимость широкого внедрения в металлообработку оборудования, управляемого микропроцессорными системами, в том числе станков с ЧПУ, гибких производственных линий и систем. На операциях круглого наружного шлифования, которое является широко распространенным методом окончательной обработки, качество поверхности, точность диаметрального размера достигаются за счет применения приборов активного контроля. Повышение эффективности обработки заготовок на автоматизированном оборудовании можно обеспечить за счет создания более оперативной, работающей в режиме реального времени системы контроля состояния шлифовального круга.

Указанными вопросами в своих работах занимались как отечественные (А.В. Королев, С.А. Попов, Н.П. Малевский и др.), так и зарубежные учёные. В своих работах они рассмотрели и разработали методы контроля состояния режущего инструмента на основе сигналов акустической эмиссии, виброакустических (ВА) колебаний, компонентов сил резания, электрических параметров и др. Несмотря на успехи в области мониторинга работоспособности инструмента, проблема повышения точности, быстродействия, надежности, простоты технической реализации и инвариантности к условиям механической обработки остается [1, 2]. Одним из наиболее перспективных направлений при создании адаптивных методов мониторинга состояния инструмента в изменяющихся условиях механической обработки является синтез различных косвенных методов контроля.

При износе круга зерна абразива под действием обрабатываемого материала разрушаются (обламываются, истираются, заглаживаются) и вырываются из связи. Неравномерная выработка поверхности круга приводит к нарушению его геометрии. Во время шлифования зерна круга изнашиваются; их кромки затупляются, а поры забиваются шлифовальными отходами, ввиду этого сила резания возрастает. Как только сила резания, действующая на зерно, превысит силу связи, зерно вырывается с поверхности круга и уносится со стружкой.

При правке круга после каждой черновой обработки слой этот составляет $0,02 \div 0,03$ мм. Износ круга в процессе шлифования составляет лишь 10...20% от объема, снимаемого при правке круга. При переточках диаметр круга уменьшается. Круг можно использовать только до размера, составляющего 0,65 от его первоначального диаметра.

Продолжительность работы круга между двумя правками называется стойкостью круга. Высокая стойкость круга, помимо экономии абразивного инструмента, сокращает рабочее время, которое затрачивается на процесс правки, а также на наладку станка после правки. Износ зависит от способа правки – наименьший при правке алмазно-металлическими карандашами и наибольший – при правке металлическими дисками и звездочками.

Актуальность данного исследования определяется тем, что путем обработки зарегистрированных при шлифовании ВА колебаний динамической системы обосновывается критерий назначения момента правки круга, базирующийся на вычислении ее запаса устойчивости.

На основании изложенного целью исследования является разработка методики для повышения эффективности процесса шлифования, связанного с определением целесообразного момента осуществления правки круга, для нахождения наиболее рационального расхода абразивного инструмента.

Диагностирование инструмента возможно разными методами. По состоянию детали, по результатам контроля размера детали с помощью специальных измерительных средств судят о состоянии или отказе инструмента, хотя достоверность такого контроля инструмента не всегда достаточна [3].

Вибрационный метод необходим для того, чтобы следить за состоянием оборудования, не останавливая работу оборудования и не прерывая производственный процесс.

Для получения требуемых данных произвелось измерение виброакустических колебаний в формате wave-файла. Данные были получены посредством измерений круглошлифовального станка Weiss WKG-05, используемого для обработки малогабаритных валов, с помощью прибора измерения шума и вибраций ВШВ-003, модификации версии МЗ. Для последующих вычислений требуется получение показателя колебательности. Для этого из полученного звукового файла посредством функции хсоре среды Matlab получим автокорреляционную функцию (АКФ).

Для аппроксимации АКФ используется формула

$$K(\tau) = A \cdot e^{-\alpha\tau} (1 + m \cdot \cos \Omega\tau) \cdot \cos \omega_0\tau, \quad (1)$$

где A – постоянный коэффициент, α – коэффициент затухания, Ω – частота огибающей АКФ, ω_0 – основная частота АКФ, m – коэффициент модуляции.

Используя известные тригонометрические преобразования, получаем формулу

$$W_3(p) = \frac{A(1+m)\sqrt{2}[(p+a)^2 + \omega_0^2]}{[(p+a)^2 + (\omega_0 + \Omega)^2][(p+a)^2 + (\omega_0 - \Omega)^2]}. \quad (2)$$

Далее, согласно методике [1], по полученной передаточной функции вычисляется показатель колебательности M :

$$M = \frac{[A(\omega)]_{\max}}{A(o)}. \quad (3)$$

Дальнейший процесс обработки показателя колебательности с целью определения момента, когда износ инструмента недостаточен для качественной обработки деталей, изображён на рис. 1.

Следующим шагом для определения момента правки круга будет использование данных, полученных в процессе обработки деталей, представленный в виде массива (рис. 2, а).

Для получения более точной оценки показателя колебательности необходимо рассчитать усреднённое значение показателей колебательности, в нашем случае оно будет вычисляться по 3 переменным (рис. 2, б):

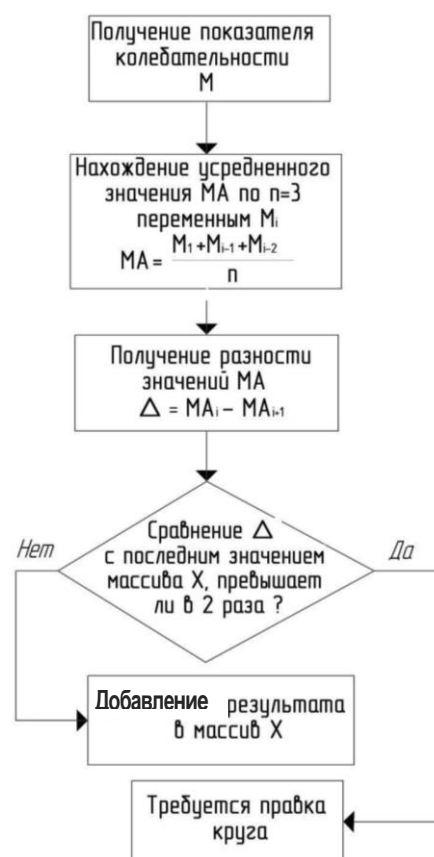


Рис. 1. Алгоритм определения момента правки круга

$$MA = \frac{M_i + M_{i+1} + \dots + M_n}{n} \quad (4)$$

Следующим действием необходимо найти разность соседних усреднённых значений для отслеживания отклонений от установленной нормы (рис. 2, в)

$$\Delta = MA_{i+1} - MA_i \quad (5)$$

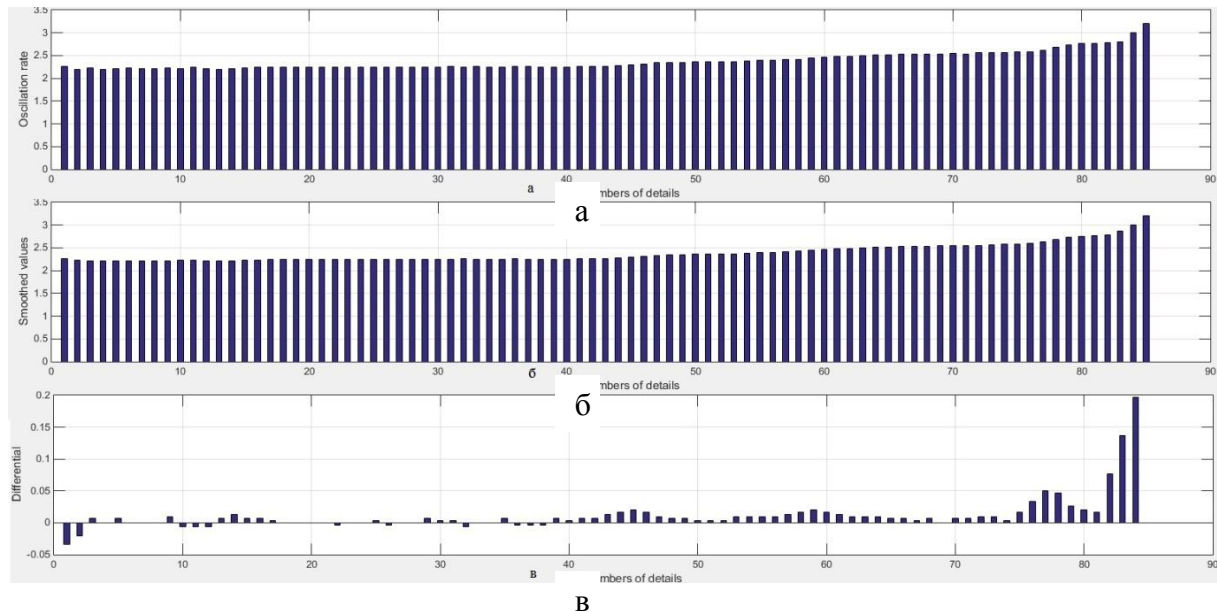


Рис. 2. Гистограмма нахождения момента правки круга:
а – показатели колебательности, б – сглаженное значение показателей колебательности по 3 переменным, в – разность между соседними столбами сглаженных значений

Критерием, по которому находится момент, когда необходима правка круга, является разность между соседними столбами сглаженных значений (формула (5)), в нормальном режиме работы она не должна превышать предыдущее значение более чем в 2 раза. В случае превышения на гистограмме (рис. 2, в) наблюдается резкий скачок после 75 детали, необходима правка круга.

Нахождение момента правки круга необходимо для сокращения количества бракованных деталей, связанных с поздней правкой круга, а так же с излишним расходом поверхности шлифовального круга, так как зачастую на производстве предпочитают проводить правку излишне рано, тем самым расходуя рабочий ресурс. В рассматриваемом случае проведённая диагностика показала, что правку круга целесообразно проводить на 75 - ой детали, не снижая ее качество, что в 2,5 раза превышает период правки, используемый в реальном технологическом процессе.

Список использованных источников

1. Управление периодичностью правки круга при шлифовании с применением интеллектуальных технологий / А.А. Игнатьев, Д.В. Козлов, Е.М. Самойлова, В.В. Коновалов. Саратов: СГТУ, 2016. 100 с.
2. Игнатьев А.А., Каракозова В.А., Игнатьев С.А. Стохастические методы идентификации в динамике станков. Саратов: СГТУ, 2013. 124 с.
3. Игнатьев А.А., Коновалов В.В., Игнатьев С.А. Идентификация в динамике станков с использованием стохастических методов. Саратов: СГТУ, 2014. 92 с.

**КОНТРОЛЬ КРИТИЧЕСКОГО ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ
ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ****Игнатьев С.А., д.т.н., профессор; Сигитов Е.А., к.т.н.; Коновалов В.В., к.т.н.***Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.**Предложен метод определения критического износа резца при токарной обработке колец подшипников по запасу устойчивости динамической системы станка.*

Контроль износа режущего инструмента (РИ) – актуальная задача при обработке заготовок на станках с ЧПУ, где необходимо гарантированное обеспечение окончания технологического перехода без смены РИ. Европейские и японские производители используют до 70% ресурса РИ, после чего делают его замену [1]. Это недешевое решение, но оно возможно, поскольку разброс стойкости партии РИ находится в пределах 20...25%. Разброс стойкости партии отечественного режущего инструмента достигает 30...35%, что не позволяет применять подобные подходы. Решение лежит в плоскости мониторинга состояния РИ и прогнозирования его остаточной стойкости непосредственно в процессе обработки деталей, то есть в реальном времени [2].

Существующие методы контроля состояния РИ можно разделить на прямые и косвенные. Прямые методы контроля предусматривают непосредственное измерение параметров износа, при этом контролируется размерный износ режущей кромки, расстояние от режущей кромки до центра лунки, ширина ленточки износа по задней поверхности, разброс размеров деталей и т.д. Указанные параметры могут быть определены различными физико-техническими методами. В условиях реального производства эти методы довольно сложно реализуются. Косвенные методы измерения износа режущего инструмента предусматривают измерение силовых и виброакустических (ВА) характеристик динамической системы (ДС) [3]. Одним из наиболее известных косвенных способов контроля состояния режущего инструмента является способ, основанный на измерении сил резания и крутящего момента.

Виброакустические измерения базируются на определении зависимости между вибрациями станков и износом инструмента. При исследовании ВА колебаний станка с износом инструмента связывают и соотношение между высокочастотными и низкочастотными колебаниями технологической системы. При исследовании сигналов акустической эмиссии используют спектральный анализ, интегральные характеристики, а также амплитудный анализ сигналов.

Практический интерес представляет апробированный в СГТУ имени Гагарина Ю.А. метод определения критического износа резца при токарной обработке колец подшипников по запасу устойчивости ДС станка, вычисляемому на основе обработки ВА колебаний [4].

При обработке наружных колец подшипника на станке ПАБ-350 регистрируются ВА колебания с помощью виброизмерителя ВШВ-003-МЗ. Далее с использованием пакета прикладных программ Matlab получаем автокорреляционную функцию (АКФ).

Для дальнейших вычислений необходимо провести аппроксимацию АКФ используя формулу из работы [4]:

$$K(\tau) = A \cdot e^{-\alpha\tau} \cdot (1 + m \cdot \cos \Omega\tau) \cdot \cos \omega_0\tau, \quad (1)$$

где A – постоянный коэффициент, α – коэффициент затухания АКФ, ω_0 – частота огибающей АКФ, Ω – основная частота АКФ, m – коэффициент модуляции.

Выполняя тригонометрические преобразования, получаем выражение для передаточной функции:

$$W(p) = \frac{A(1+m)\sqrt{2}[(\rho + \alpha)^2 + \omega_0^2]}{[(\rho + \alpha)^2 + (\omega_0 + \Omega)^2][(\rho + \alpha)^2 + (\omega_0 - \Omega)^2]}. \quad (2)$$

Далее из полученной передаточной функции определяем амплитудно-частотную характеристику $A(\omega)$, из которой вычисляется показатель колебательности M :

$$M = \frac{[A(\omega)]_{\max}}{A(0)}. \quad (3)$$

Дальнейший процесс с целью определения момента начала критического износа РИ требует обработки массива данных показателя колебательности M , полученного для последовательно обработанных колец.

Для определения момента появления критического износа и появления условия для замены инструмента используется массив данных с результатами нахождения показателя колебательности для 46 наружных колец подшипника (рисунок А). Для получения наиболее точного результата необходимо осуществить сглаживание временного ряда скользящим средним (рисунок Б). Далее вычисляются разности между соседними сглаженными значениями показателя колебательности (рисунок В).

Момент начала критического износа РИ определяется по существенному увеличению показателя колебательности, что указывает на снижение запаса устойчивости ДС [4, 5].

В начале проводимого исследования на станке обрабатывали порядка 15 деталей при черновой обработке наружных колец подшипника, а при чистовой обработке порядка 40 деталей. Применение описанной методики на практике позволило увеличить количество обработанных колец при черновой обработке с 15 до 17...19 и с 40 до 42...48 колец при чистовой обработке.

Полученные результаты в совокупности совершенствуют методы диагностирования износа режущего инструмента и решают важную практическую задачу наблюдаемости износа режущего инструмента в процессе резания, что в итоге открывает возможность управлять процессом механообработки по состоянию РИ, а также увеличить время обработки колец до замены инструмента и снизить его расход.

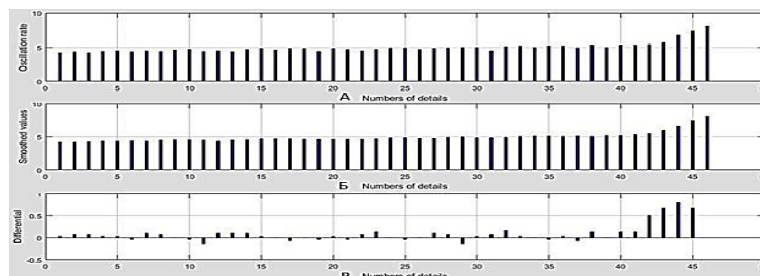


Диаграмма нахождения момента начала критического износа резца

Список использованных источников

1. Синопальников В.А., Григорьев С.Н. Надежность и диагностика технологических систем. М.: Высш. шк., 2005. 486 с.
2. Мартинов Г.М., Григорьев А.С. Диагностирование режущих инструментов и прогнозирование остаточной стойкости на станках с ЧПУ в процессе обработки // СТИН. 2012. №2. С. 23-28.
3. Григорьев С. Н. Диагностика автоматизированного производства. М.: Машиностроение. 2011. 600 с.
4. Игнатьев А.А., Коновалов В.В., Игнатьев С.А. Идентификация в динамике станков с использованием стохастических методов: монография. Саратов: СГТУ, 2014. 125 с.
5. Игнатьев С.А., Казинский А.А., Игнатьев А.А. Выявление катастрофического износа инструмента при мониторинге токарной обработки // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2017. С. 45-49

ОСОБЕННОСТИ ИЗНОСА АЛМАЗНЫХ ЗЕРЕН ПРИ ХОНИНГОВАНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Лысенко Н.В., к.т.н., доцент

Самарский государственный технический университет

Представлены результаты исследований влияния марки алмазных зерен различных характеристик на характер износа их рабочей поверхности при хонинговании титановых сплавов.

Анализ работы единичных зерен при абразивной обработке в ряде случаев позволяет оценить работоспособность отдельных марок абразивных материалов и в известной степени подойти к установлению рациональных интервалов режимов обработки. Работы, посвященные износу алмазов при хонинговании, весьма малочисленны.

Анализ состояния рабочих поверхностей показал, что особенности поликристаллического строения алмазов марок АСБ и АСПК влияет как на износ отдельных зерен, так и на износ и работоспособность брусков в целом. Менее прочные поликристаллические алмазные зерна при микрорезании высокопрочных титановых сплавов имеют более интенсивный износ, чем монокристаллические зерна марки САМ. Это объясняется тем, что у поликристаллических зерен, имеющих развитую шероховатую поверхность, в процессе обработки происходит схватывание контактирующих участков зерен, образование наростов и увеличение сил резания.

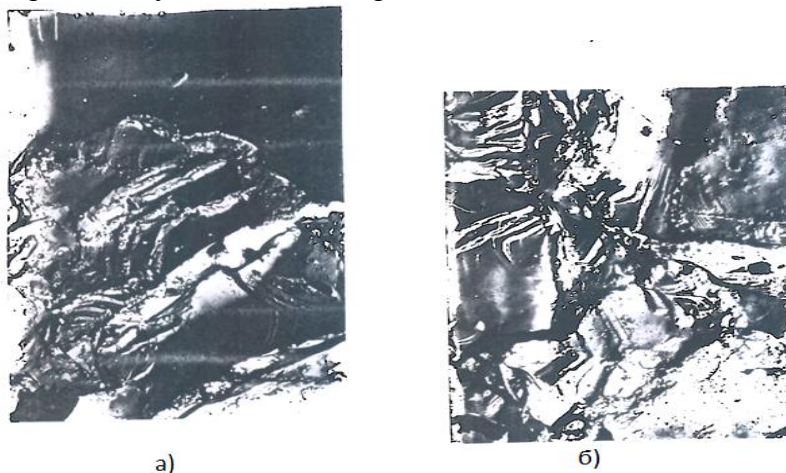


Рис. 1 Характер разрушения поликристаллических алмазов марок АСБ (а) и АСПК (б) в процессе микрорезания $\times 4000$

На рис. 1 представлены микрофотографии с поверхностей режущих зерен из поликристаллических алмазов марок АСБ (рис. 1, а) и АСПК (рис. 1, б), полученных с помощью электронного микроскопа УМВ100К. Характерно, что для поликристаллических зерен тонкая структура рабочей поверхности выражена в одинаковых формах. Поверхность режущих зерен рельефа, с большим количеством ступенек, образованных в результате сколов зерен о стоящих друг от друга несколько микрометров. Такой вид тонкой структуры поверхности можно рассматривать как результат хрупкого разрушения зерен (микроскалывание, расслоение, выкрашивание) от действия циклических нагрузок при микрорезании и внутренних дефектов в зернах. На поверхности зерна АСПК (рис. 1, б) отчетливо видны следы спайности мелких кристаллов, для каждого из них характерны свои направления хрупкого разрушения в зависимости от направления силы микрорезания.

анизотропии кристаллов.

Исследования показали, что величина выступания режущих зерен над уровнем связки зависит от марки алмаза. Средняя высота выступающих над связкой зерен марки САМ составляет 26 ... 32 мкм, а у брусков из зерен марок АСПК и АСБ – 18 ... 20 мкм, т.е. была примерно в 1,5 раза меньше.

Исследования показали, что количество выступающих над уровнем связки зерен марки САМ наибольшее и достигает 70%, а на уровне связки только 18% от общего числа видимых зерен. В то же время у брусков из зерен АСБ и АСПК эти величины равны 43 и 40% соответственно.

Наблюдаемое различие в характере износа режущих зерен можно объяснить исходя из следующего. Процесс микрорезания титановых сплавов в диапазоне исследуемых скоростей обработки сопровождается, как установлено, образованием наростов на алмазных зернах. Развита поверхность поликристаллических алмазов марок АСБ и АСПК способствует налипанию обрабатываемого материала на вершинах зерен и образованию наростов. В результате этого возрастают удельные нагрузки на режущие зерна. Под действием возросших сил трения нарост срывается и уносит с собой частицы отслоившихся от зерна сростки кристаллов, а иногда и целые блоки.

Преобладающим видом износа поликристаллических алмазов марки АСБ и АСПК при хонинговании титановых сплавов является хрупкое разрушение их по следам спайности. О чем свидетельствует наличие отдельных частиц зерен или их блоков, прочно удерживающихся на внутренней поверхности стружки. В результате этого средний уровень выступающих над связкой поликристаллических зерен значительно меньше, чем зерен марки САМ.

В отличие от поликристаллических алмазов, зерна САМ представляют собой совершенно монокристаллы. На зернах САМ, обладающих более гладкими поверхностями, схватывание происходит менее интенсивно и образуется наросты меньшей величины. Кроме того, указанные марки обладают большой прочностью и износостойкостью, что обеспечивает высокую производительность обработки.

Установлено, что в процессе работы на алмазных зернах марки САМ, цементируемых металлической связкой, образуются площадки износа. Размеры площадок зависят от ориентации алмазного зерна, прочности удержания его связкой, от времени, условий работы и составляют в среднем 0,12 ... 0,20 мм.

Установлена кинетика износа поверхности одного из режущих зерен алмаза марки САМ, которая характерна для большинства участвующих в резании зерен. После непродолжительного резания, в течение 3...5 мин., на вершинах активных зерен образуются площадки износа. Пройденный путь составляет 150 м. Площадки износа представляют собой гладкую, словно отполированную поверхность. С течением времени размеры площадок увеличиваются, их поверхность приобретает шероховатую поверхность с незначительным количеством кратеров, появившихся в результате вырыва частиц алмаза из контактной поверхности. После длительного резания на площадках износа в результате усталостных явлений образуется сетка микротрещин, которые в дальнейшем являются очагами адгезионного схватывания поверхности алмаза с обрабатываемым материалом, а в ряде случаев на зернах образуются наросты. Последовательное образование и срез адгезионных пятен приводит к появлению на контактной поверхности следов адгезионных вырывов, увеличению сетки микротрещин, скалыванию отдельных участков зерен или их разрушению. Следует отметить, что если с момента начала микрорезания зерном до появления микротрещин оно работает в среднем 30 ... 40 мин., то средняя стойкость его с трещинами составляют всего 8 ... 10 мин., т.е. в 3 ... 5 раз меньше. Таким образом, появление микротрещина рабочей поверхности зерен интенсифицирует их износ и разрушение.

Описанный выше характер износа зерен марки САМ подтверждают и результаты электронно-микроскопического исследования (рис. 2). Применение увеличений оптического (x200-400) и электронного (x4000) микроскопов позволило выявить последовательность и характер разрушения зерен при микрорезании. Рассмотрение выявленных

фрактографических особенностей в процессе разрушения зерен позволяет сделать заключение о наличии нескольких стадий износа и разрушения режущих зерен при хонинговании, каждая из которых характеризуется определенными чертами строения площадки износа.

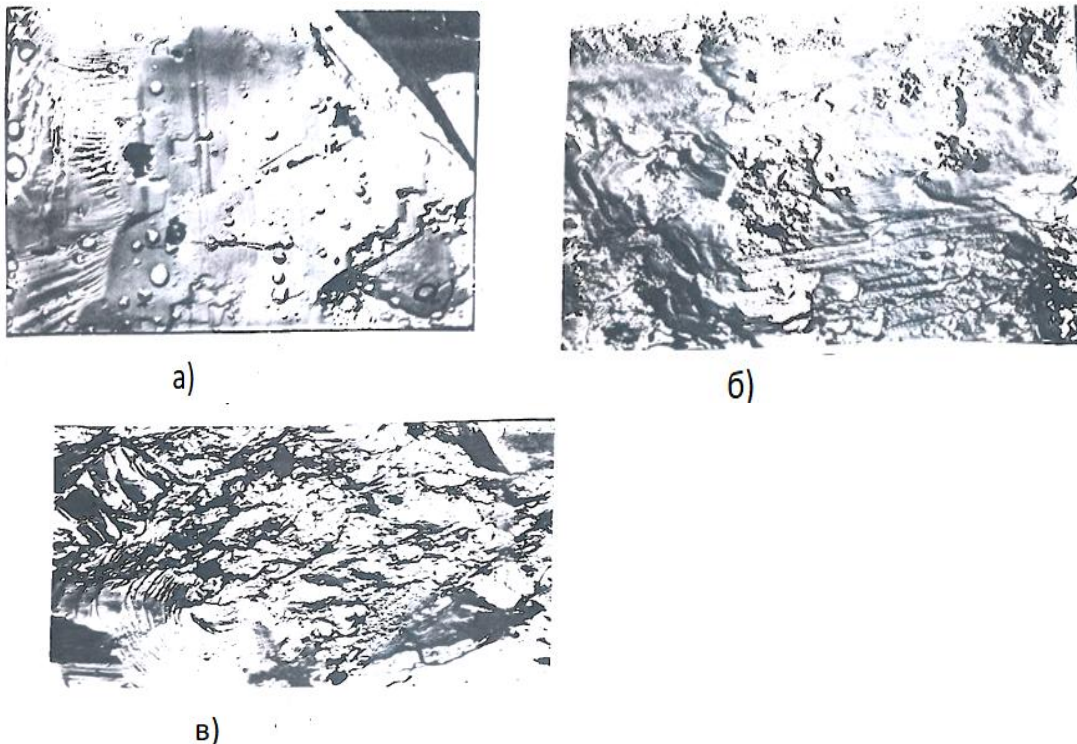


Рис. 2. Топография износа алмазных зерен марки САМ:
а) гладкая площадка; б) адгезионный износ; в) адгезионно-усталостный износ

На первой стадии износа гладкая площадка представляет собой микро рисунок с небольшими кратерами и тонкими следами скола поверхности, имеющих вид рябизны (рис. 2, а).

Вторая стадия износа – адгезионная стадия износа зерен характеризуются появлением на контактирующей поверхности алмаза сетки микротрещин и следов адгезионного схватывания с обрабатываемым материалом (рис. 2, б). На фотографии видно, что поверхностные трещины стали очагами возникновения адгезионных вырывов и сколов. На основании изучения многочисленных фотографий можно сделать вывод, что адгезионный износ находится в прямой связи с усталостными явлениями, поэтому этот вид износа правильнее именовать адгезионно - усталостным.

Для третьей стадии – стадии адгезионно – усталостного износа алмазных зерен характерно резко ускоренное развитие трещин, удаление микрообъемов с поверхности режущих зерен и катастрофическое их разрушение. На этой стадии износа преимущественным рисунком является рваный рельеф со следами схватывания с обрабатываемым материалом, выявляется усталостный рисунок в виде трещин складок – нерегулярных прерывистых грубых линий, участков вырывов и следов скалывания (рис. 2, в). Эта стадия износа зерен, как указывалось выше, скоротечна и, как правило, предшествует разрушению зерен и выпадению их связи.

С повышением окружной скорости хонгловки происходит интенсивное истирание алмазов с образованием на их вершинах гладких площадок износа. Появление таких площадок приводит к увеличению опорной поверхности брусков, снижению фактического удельного давления на режущие зерна и уменьшению глубины их внедрения в обрабатываемую поверхность. В этом случае вероятность контакта ювенильных поверхностей и адгезионного схватывания уменьшается, а величины P_0 и M снижаются. Однако, удельный расход алмазов несколько повышается (25 ... 30%) за счет более

интенсивного истирания и увеличения количества выпавших зерен.

Наибольшее количество выпавших зерен зафиксировано при хонинговании с возвратно-поступательной скоростью 12 м/мин. Последнее объясняется увеличением количества циклов нагружения на режущие зерна, что приводит к выравниванию их из связки. Абразивный износ зерен при хонинговании с такими режимами протекает также более интенсивно за счет попадания отдельных частиц алмазов и осколков в зону обработки. Этот вид износа является сопутствующим и не является превалирующим при хонинговании титановых сплавов в интервале исследованных режимов обработки.

Наблюдения за активными режущими зернами показали, что 50 ... 70% за счет более интенсивного истирания и увеличения количества выпавших зерен.

Наибольшее количество выпавших зерен зафиксировано при хонинговании с возвратно-поступательной скоростью 12 м/мин. Последнее объясняется увеличением количества циклов нагружения на режущие зерна, что приводит к выравниванию их из связки. Абразивный износ зерен при хонинговании с такими режимами протекает также более интенсивно за счет попадания отдельных частиц алмазов и осколков в зону обработки. Этот вид износа является сопутствующим и не является превалирующим при хонинговании титановых сплавов в интервале исследованных режимов обработки.

Наблюдения за активными режущими зернами показали, что 50 ... 70 % из них имеют на вершинах площадки износа, а остальное острые кромки за счет диспергирования и сколов. Наибольшая производительность процесса достигается при хонинговании с $V_0=30$ м/мин, $V_0=8$ м/мин и $P=80$ Н/см², когда число зерен с гладкими площадками износа составляет не более 40%, а количество острых и сколотых – 30 ... 40% от общего числа выступающих зерен.

На режущих зернах из алмазов обычной прочности в сочетании с эластичной связкой Р9/Р11 в процессе хонингования во всем диапазоне режимов обработки в основном преобладает истирание алмазных зерен с образованием на них гладких площадок износа. Топография рабочей поверхности в большинстве случаев представляется слабо развитым рельефом, состоящим из отдельных сколов и микровыступов (табл. 3.2). При этом установлено, что в процессе обработки алмазные зерна под действием элементарных сил микрорезания поворачиваются в связке вокруг мгновенного центра вращения так, что площадки износа становятся параллельными обрабатываемой поверхности. Средневероятный угол поворота зерен в связке для зернистостей 80/63 ... 63/50 составляет 12 ... 18°. В процессе хонингования с увеличением размера площадок радиус закругления зерна возрастает, в результате чего часть зерен имеет неблагоприятные для резания положения и под действием возросших сил микрорезания утопает в алмазном слое. Режущая способность таких брусков снижается, а период их стойкости в зависимости от зернистости составляет в среднем 10 – 20 минут. Обработка профилограмм, снятых с рельефа режущей поверхности брусков, показала, что средневероятная длина площадок износа зерен по задней поверхности составляет в среднем 10 ... 12 мкм. При этом площадки износа имеют 72 ... 80% всех выступающих из связки зерен, а для остальных характерны радиусы закругления. Таким образом, в процессе обработки брусками на эластичных связках режущие кромки алмазных зерен используются только с одной стороны, т.е. одностороннее вращение хонинговальной головки не позволяет полностью использовать потенциальные возможности алмазов, так как зерна с площадками износа на вершинах не совершают полезной работы резания и вызывают только увеличение сил трения и упругую и пластическую деформацию обрабатываемой поверхности. Для улучшения условий резания и повышения режущей способности брусков нами рекомендовано менять направления вращения хонинговальной головки. В этом случае алмазные зерна режут участками противоположной стороны и имеют более благоприятные условия для микрорезания.

АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВИБРАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

Михайлов В.В., аспирант

Самарский государственный технический университет

Представлен анализ распространения колебаний в узлах станка, теоретические обоснования прохождения сигнала через границы систем и его искажение, а также выявления первоначальных мест зарождений и локализаций на ранних этапах вибрационных процессов.

Основным условием работы предприятий машиностроительного профиля в современных условиях является выпуск качественной продукции с минимальными временными и материальными затратами. Это требует наличия на предприятии оборудования, с помощью которого бесперебойно и в срок будут выпускаться готовые детали, прошедшие все технологические процессы производства. Поддержание станочного парка в надлежащем состоянии обеспечивается реализацией системы технического обслуживания и ремонта, в соответствии с которой станки подвергаются периодическим проверкам и ремонту: плановому, текущему, капитальному. Для этого требуются определенные средства, время и грамотное планирование процедуры ремонта. Приходится частично приостанавливать производство, переносить нагрузки на другое оборудование из этой же группы станков, которое уже загружено выполнением месячного плана заказа.

В настоящее время, в мире конкуренции чтобы качественно изготавливать и своевременно поставлять готовые детали, многие предприятия стараются уходить от физических «задержек» работы станков и изготовления продукции. Одним из таких вариантов устранения «задержек» является проведение мониторинга и диагностики состояния узлов и агрегатов станков, позволяющих осуществлять техническое обслуживание и ремонт оборудования по фактическому состоянию [1...4]. Имеется несколько методов диагностики - по шуму, по вибрациям, по температуре, по точностным характеристикам обработанных деталей и др. В настоящее время вибродиагностика является основным методом безразборной технической диагностики. Анализ состояния станков, объем повреждений выявляется в процессе полученных данных контроля вибрации. Такой анализ является одним из эффективных методов повышения надежности и работоспособности оборудования. Вибродиагностический метод позволяет контролировать более 20 параметров станка [5].

Методом вибродиагностики решается большинство диагностических задач. Этот метод обладает широкими возможностями, что позволяет использовать его на всех этапах жизненного цикла станка в целом и отдельных его механизмов в частности. При его применении сокращается время на поиски дефектов, процесс диагностики осуществляется безразборным методом, определяется фактическое состояние узлов в труднодоступных местах, наличие, вид и степень развития дефектов [6...10].

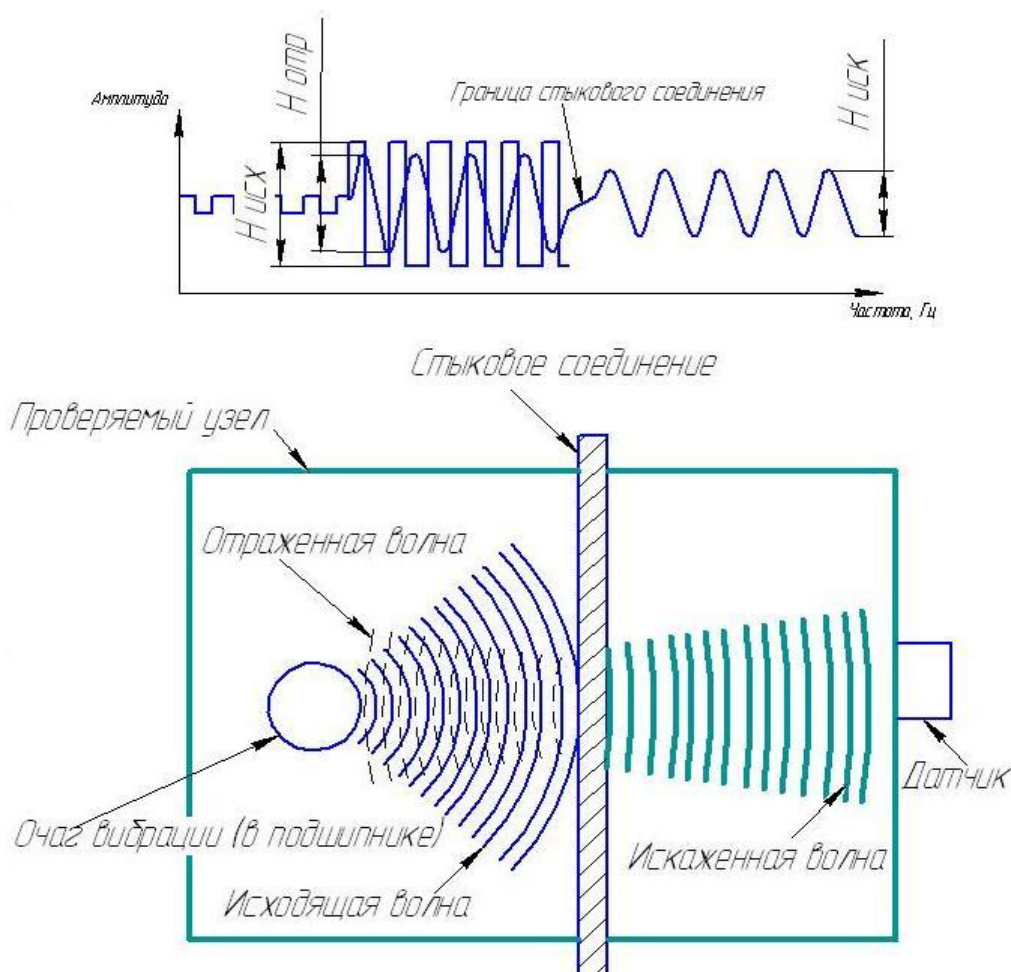
Деталь со скрытыми дефектами (трещины, сколы, задиры и т.д.) может продолжать работать и свободно выполнять свою функцию довольно продолжительное время, и не проявлять свой дефект. Вибродиагностика, основанная на анализе параметров вибрации, позволяет выявлять дефекты на стадиях их зарождения и раннего развития. Измерения можно проводить по нескольким диапазонам: низкочастотный – дает представление о параметрах виброперемещения, при среднечастотным – определяют виброскорость, для высокочастотного измерения характерен параметр – виброускорения. В нашем случае интерес представляет вибрация механизмов станка, измерения будем рассматривать в

среднечастотных диапазонах.

Однако, безразборная диагностика в большинстве случаев не позволяет контролировать вибрации в месте их источника. В связи с этим возникает проблема прогнозирования распространения вибраций в технологической среде от источника до места установки датчика. В работе [11] были получены модели, описывающие распространение вибраций в технологическом оборудовании и на опорных плоскостях, но только в линейной постановке. Линейная модель может быть использована для предварительно известных мест расположения дефектов, на минимальном расстоянии до датчика и без стыковых соединений. Линейная постановка решения задачи может вносить значительные погрешности при рассмотрении распространения колебаний в станке по траекториям, включающим конструктивные элементы и соединения (стыки) с учетом их конструкторско-технологических особенностей. Кроме того остается открытым вопрос о выборе рациональной схемы расположения точек диагностики с прогнозированием степени искажения сигнала от источника.

Сигнал, проходя через «препятствия» в виде массивов деталей и их соединения, приходит в точку контроля искаженным. Теоретически время сигнала и амплитуда не постоянны и должны меняться. На степень этого изменения будут влиять расстояние от объекта до датчика, проходимые сигналом участки (среда: твердая, жидкая; виды соединений деталей друг с другом). Необходимо анализировать каждый участок отдельно. Плотность участка, из какого материала он состоит, за какое время и с какой частотой проходит через него сигнал. Зная все перечисленные показатели можно предположить, какой сигнал мы сможем получить на выходе от интересующего нас объекта.

На рисунке представлено схематичное зарождение искажения выходящего сигнала.



Распространение искаженной волны в стыковых соединениях

С помощью средств диагностики возможно проанализировать параметры вибрации, зависимость числа проведенных измерений, анализ полученного спектра, гармоник с разной частотой и получить результаты не только состояния оборудования, но и вариации искажения сигнала. У составных элементов станка имеется своя частота колебаний. Все параметры собственных колебаний содержат необходимую диагностическую информацию. Необходимо статистически проанализировать форму плотности распределения сигнала дефекта: при появлении дефекта плотность будет отличаться от нормального распределения. Далее плотность распределения сигнала дефекта можно разделить на составляющие и анализировать спектры и гармоники при учете прохождения сигнала через границы сред.

Произведя аналогичные замеры у станков интересующей группы, и используя программное обеспечение, можно составить базу данных более точных значений контролируемых параметров искаженных сигналов, зарождающихся за n -ый период времени и проходящих через n -ое количество границ сред. Тогда на практике мы сможем получить результаты, которые будут характеризовать степень надежности узлов оборудования.

Список использованных источников

1. Писарев В.И., Ваганов А.А., Денисенко А.Ф., Тютюрев И.О. Техническое обслуживание и ремонт металлообрабатывающих станков с ЧПУ на основе безразборной диагностики технического состояния/ Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 16, № 1(2), 2014, с.508-514.
2. Савинов Ю.И. Реальная оценка технического состояния станков/ Главный механик, №2, 2015, с. 56-59.
3. Савинов Ю.И. Диагностика технического состояния деталей станков – объективное обоснование снижения стоимости ремонтных работ/ Главный механик, №4, 2011, с. 38-44.
4. Савинов Ю.И. Обслуживание станков по фактическому состоянию/ РИТМ: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация, № 4 (62), 2011, с. 130-133.
5. Козлов А.М., Аль-Джонид Х., Козлов А.А. Снижение времени ремонта станков с ЧПУ на основе диагностики неисправностей/ Современные материалы, техника и технологии, №1 (16), 2018, с. 33-37.
6. Ахтулов А.Л., Ахтулова Л.Н., Шимохин А.В. Применение вибродиагностики в условиях функционирования системы технического обслуживания и ремонта оборудования// Омский научный вестник, №3(113), 2012, с.109-111.
7. Денисенко А.Ф., Зубенко В.Л., Болотов Б.Е. Прогнозирование надежности станочных систем по виброакустическим критериям. –М.: Машиностроение-1, 2004. – 265 с.
8. Савинов Ю.И., Рубцов И.С., Должанский Ю.М., Утешев С.И. Виброконтроль и диагностика кинематических систем обрабатывающего станочного оборудования / Научно-технический бюллетень "Вестник "НПО "Техномаш". Москва, 2017, с. 38-40.
9. Каткова А.А. Использование вибродиагностики в современных системах мониторинга промышленного оборудования// Аспирант, т.1, №8-1(13), 2015, с. 66-68.
10. Алексеев А.А., Волков Д.И. Анализ методов и средств технической диагностики состояния узлов и механизмов металлорежущего оборудования / Сборник научных трудов XII-ой Международной научно-практической конференции "Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации", 2015, с. 71-74.
11. Бутримова Е.В. Применение линейного моделирования для анализа распространения вибрации в технологическом оборудовании / Автоматизация и информационные технологии – АИТ-2012. Материалы всероссийской молодежной конференции: Сборник докладов, т.1, 2012, с. 59 – 62.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДА КРЕПЛЕНИЯ И БАЗИРОВАНИЯ СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН НА ТОЧНОСТЬ УСТАНОВКИ В КОРПУСЕ РЕЗЦА

Папшева Н.Д., к.т.н., доцент; Младенцева О.А., ассистент

Самарский государственный технический университет

В статье представлены результаты измерений настроечного размера и определена точность при обработке резцами с СМП.

Одним из методов реализации быстросменной замены инструмента на станке является бесподналадочная замена сменных многогранных пластин (СМП) на различных инструментах. Достоинством данного метода является относительно небольшие затраты времени на замену изношенной и установку новой пластины. Так, по существующим нормативам время на замену многогранной пластины не должно превышать 0,5...1 мин., а на замену резца требуется в 2...4 раза больше [1].

Для осуществления бесподналадочной замены необходимо применять пластины точного исполнения классов *A* или *F* по ГОСТ 19042-80 и методы крепления пластин, обеспечивающие их точную установку в корпусе с базированием по боковым поверхностям и опорной поверхности (рис. 1, а, б).

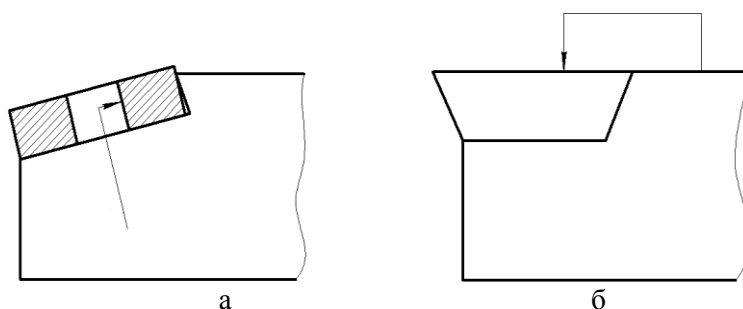


Рис. 1. Схемы базирования и крепления СМП в корпусе резца:
а - базирование по боковым поверхностям, б - базирование по опорной поверхности

Точность изготовления пластины характеризуется отклонением высоты, стороны и диагонали квадрата, отклонением от параллельности передней поверхности и опорной [2].

Основные параметры пластины представлены на рис.2

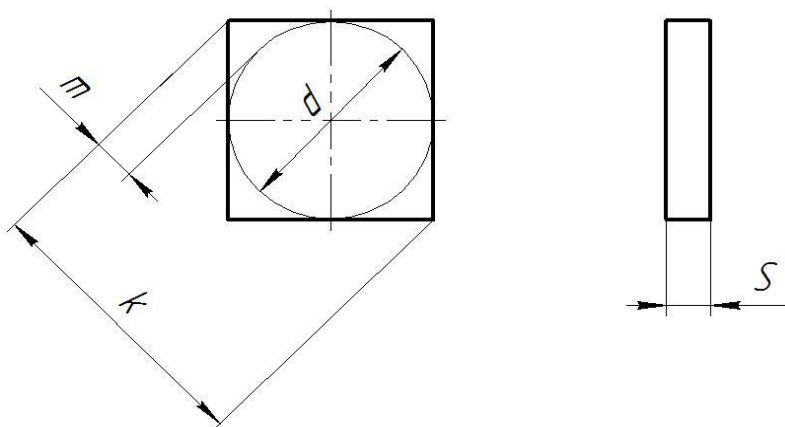


Рис. 2. Основные размеры квадратной пластины

Для размерной настройки резцов вне станка разработано приспособление, состоящее из основания 1, на котором установлен упор 2, подставки для резца 3, стойки 4 с подпружиненным центром 5 и индикатора 6 (рис. 3).

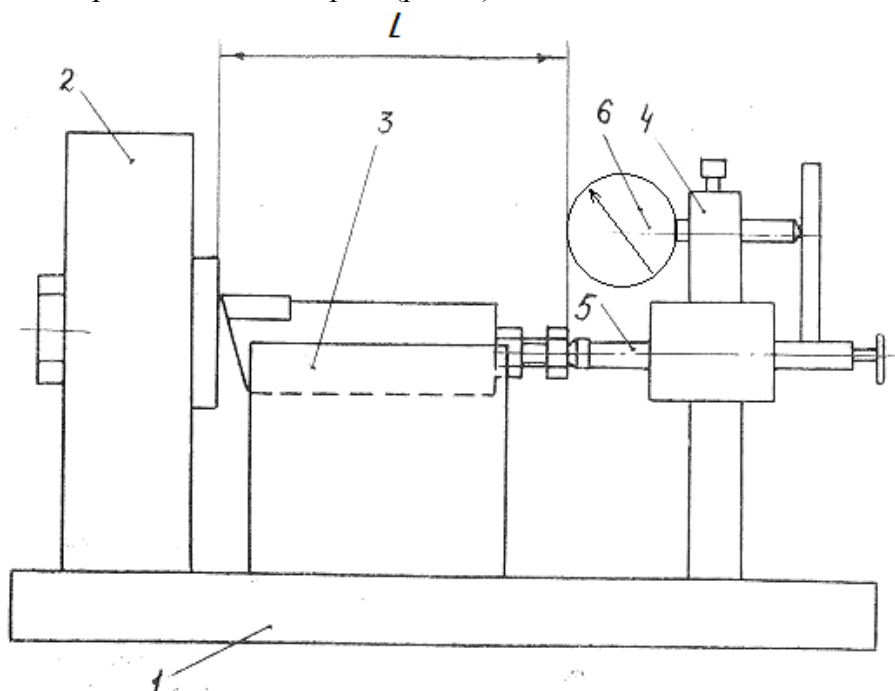


Рис. 3. Схема приспособления для размерной настройки резцов вне станка

Для измерения высоты и отклонения от параллельности передней и опорной поверхностей применяют индикатор, закрепленный на стойке. Индикатор устанавливают на «0» по блоку концевых мер длины. Установив на стол стойки проверяемую пластину, определяют отклонение размера S контролируемой пластины по шкале индикатора. Отклонение от параллельности передней поверхности и опорной определяют как наибольшую разность показаний индикатора при измерении высоты пластины в точках при вершинах и в центре.

Измерение стороны квадратной пластины d и диагонали K проводят с помощью микрометра [3].

Допустимые предельные отклонения конструктивных параметров рассматриваемых пластин приведены в таблице.

Классы	Предельное отклонение для параметров, мм		
	m	d	s
A	$\pm 0,005$	$\pm 0,025$	$\pm 0,025$
F	$\pm 0,005$	$\pm 0,013$	$\pm 0,025$
M	$\pm 0,08 \dots 0,18$	$\pm 0,05 \dots 0,13$	$\pm 0,13$
U	$\pm 0,13 \dots 0,38$	$\pm 0,08 \dots 0,25$	$\pm 0,13$

Для размерной настройки резцов по эталону устанавливают нулевое показание индикатора приспособления (рис. 3) Резец с креплением пластины (класса A) по схеме (рис.1, а) настраивают в приспособлении на размер L с точностью $\pm 0,01$ мм.

Затем первую пластину поворачивают 3 раза. После каждого поворота измеряют размер L . при неизменной настройке резца и приспособления. Разность показаний индикатора представляет собой погрешность настройки после поворота пластины.

Затем на резец устанавливают и закрепляют вторую пластину (класс F) и записывают показания индикатора - погрешность размерной настройки при замене пластин классов A и F .

Аналогичные измерения проводят для второго резца (рис. 1, а).

Результаты измерения настроечного размера L обрабатывают методами математической статистики [4]. При этом определяют следующие параметры:

среднюю арифметическую величину $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{x}_i,$$

где n – общее число наблюдений;

среднее квадратическое отклонение S , характеризующее рассеяние значений

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - (x)^2}{n}},$$

дисперсию ряда σ

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 n_i}{n} - \left(\frac{\sum_{i=1}^n k_i n_i}{n} \right)^2,$$

где x_i — отклонения;

меру изменчивости V , характеризующую рассеяние по сравнению со средним значением,

$$V = \frac{\sigma}{x} 100\%;$$

точность метода испытаний, характеризующуюся коэффициентом вариации, при этом необходимо определить V_x для резцов с пластинками двух классов точности A и F

$$V_{x_1} = \frac{S_{x_1}}{x}; V_{x_2} = \frac{S_{x_2}}{x}.$$

Чем меньше V_x , тем большую стабильность имеет размер L . Оценку существенности различия коэффициентов вариации производят с помощью критерия Стьюдента t

$$t = \frac{|V_{x_1} - V_{x_2}|}{\sqrt{\frac{V_{x_1}^2}{2n_1} + \frac{V_{x_2}^2}{2n_2}}}.$$

При $t > 3$ различие коэффициентов вариации считается значимым, а твердосплавная пластинка действительно обеспечивает более высокую точность настройки.

Список использованных источников

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2/ Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Суслова, А. Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова.-5-е изд., исправл.-М.: Машиностроение-1, 2003 г., 944 с., илл.
2. Васин С.А., Хлудов С.Я. Проектирование сменных многогранных пластин. Методологические принципы.- М.: Машиностроение, 2006.-352 с.: ил. и вкладка. – (Библиотека инструментальщика).
3. Григорьев С.Н., Кохомский М.В., Маслов А.Р. Инструментальная оснастка станков с ЧПУ: Справочник/Под общ. ред. А.Р. Маслова.-М.: Машиностроение, 2006.-544 с.: ил. – (Библиотека инструментальщика).
4. Маслов А.Р. Инструментальные системы машиностроительных производств.-М.: Машиностроение. 2006.-336 с.: ил.

СЕКЦИЯ 3. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ МОДИФИКАЦИИ И УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

УДК. 621.892

РАСЧЕТНО – ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБРАЗЦОВ СВИДЕТЕЛЕЙ ПОСЛЕ УПРОЧНЕНИЯ

Дедов Н.И., к.т.н., профессор; Круцило В.Г., к.т.н., доцент; Разумова И.Н., ассистент; Ситкина Л.П., ст. преп.

Самарский государственный технический университет

В статье рассматривается расчетно – экспериментальный метод определения остаточных напряжений, возникающих в деталях после поверхностного пластического упрочнения. Метод позволяет контролировать уровень остаточных напряжений в деталях, прошедших термопластическое упрочнение, без их разрушения.

Технологии поверхностного пластического деформирования приводят к повышению сопротивления усталости сложно нагруженных деталей и элементов конструкции за счет создания оптимального распределения остаточных напряжений в материале. Остаточные сжимающие напряжения, возникающие при термопластическом деформировании поверхностного слоя, уравниваются растягивающими напряжениями, распределенными в материале по толщине детали.

Важным параметром, определяющим качество изделий, является величина остаточных напряжений, влияющая на работоспособность и долговечность деталей, что особенно важно при работе в условиях динамических и повторно - переменных нагрузок. Поэтому большое значение имеет точность определения величин остаточных напряжений и их распределение в материале деталей.

Закон распределения остаточных напряжений по толщине детали определяет сопротивляемость ее усталостным явлениям. Знание закона распределения напряжений по всему сечению детали позволяет проводить оценку оптимальности режимов работы детали при нормальных и высоких температурах в условиях сложного нагружения.

Регулирование остаточных напряжений с созданием благоприятного их распределения в поверхностном слое является значительным резервом обеспечения требуемой надежности деталей.

Определению остаточных напряжений посвящено большое число работ. Их анализ показывает, что широкое распространение при технологическом контроле величин остаточных напряжений получил неразрушающий рентгеновский метод диагностики. Однако, возможности рентгеновского метода при определении остаточных напряжений ограничиваются глубиной поверхностного слоя в 10...20 мк. Погрешность при определении остаточных напряжений рентгеновским методом может достигать больших величин порядка 50...200 МПа. Поэтому разработка новых методов технологического контроля остаточных напряжений является актуальной.

Расчетно-экспериментальный метод разработан с использованием образцов-свидетелей, прошедших технологический цикл совместно с изготавливаемыми деталями. Данный метод позволяет проводить исследования остаточных напряжений не разрушая упрочняемые натурные детали.

Принцип метода заключается в использовании установленных тарировочным путем зависимостей, связывающих величины остаточных напряжений в поверхностном слое детали с деформационными перемещениями (прогибами), возникающими при термопластическом

воздействии на поверхность образца

На рис. 1 показана схема использования образцов-свидетелей при термопластическом упрочнении.

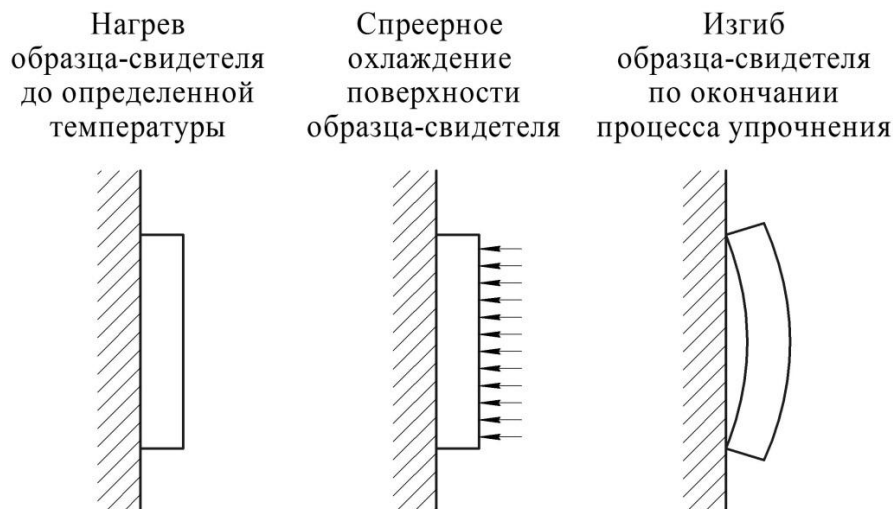


Рис. 1. Схема технологического процесса упрочнения образцов-свидетелей

Так как эпюры остаточных напряжений при термопластическом упрочнении весьма типичны [1], то параметры этих эпюр можно рассчитать по прогибу образцов-свидетелей после упрочнения.

В настоящее время широко используются методы определения остаточных напряжений, разработанные Давиденковым, Заксом. Схема для расчета остаточных напряжений, использованная Г. Заксом (1927 г.) и Н.Н. Давиденковым (1931 г.) приведена в работах [2, 3].

На рис. 2 приведены эпюры распределения остаточных напряжений экспериментально полученные методом Н. Н. Давиденкова [4] и аппроксимированные двумя вариантами. Остаточные напряжения по толщине образца самоуравновешенные.

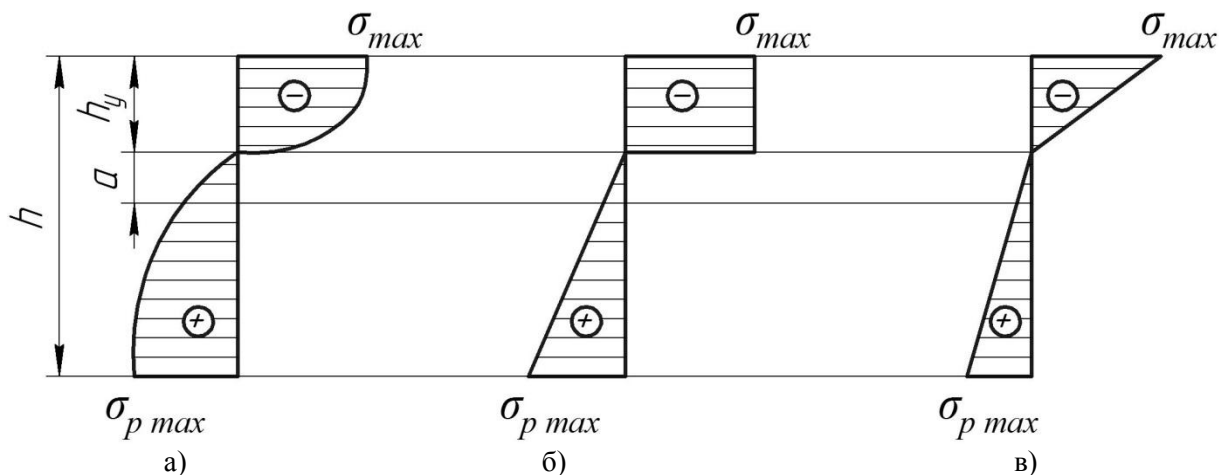


Рис. 2. Эпюры остаточных напряжений по толщине образца после ТПУ:

а) экспериментальный профиль, б) прямоугольный профиль, в) треугольный профиль

Значения экспериментальных величин, используемых при проверке корректности методики, приведены в таблице.

Ниже приводится методика расчета эпюры остаточных напряжений по прогибам образцов-свидетелей при различных аппроксимациях эпюр. Для проверки данной методики используются конкретные данные экспериментов.

Изгибающий момент в поперечном сечении образца соответствующий остаточным напряжениям определяется интегральным выражением, которое в данном случае разбивается на два интеграла

$$M = b \int_0^{h_y} \sigma_y y dy + b \int_0^{h-h_y} \sigma y dy ,$$

где σ_y - функция напряжения на участке упрочнения, σ - функция напряжения на упругом участке.

Значения экспериментальных величин

Наименование величины	Значение
Температура нагрева θ , °C	720
Время выдержки τ , мин.	10
Давление охлаждающей жидкости p , МПа	0,5
Максимальные остаточные сжимающие напряжения $\sigma_{\max}$, МПа	600
Максимальные остаточные растягивающие напряжения $\sigma_{p\max}$, МПа (для прямоугольного профиля)	514,28
Максимальные остаточные растягивающие напряжения $\sigma_{p\max}$, МПа (для треугольного профиля)	257,14
Толщина образца h , мм	2
Толщина упрочненного слоя h_y , мм	0,6
Ширина образца b , мм	10
Длина образца l , мм	100
Модуль упругости материала E , МПа	$2 \cdot 10^5$

Рассмотрим прямоугольную и треугольную формы аппроксимации экспериментально построенного профиля остаточных напряжений в упрочненном слое.

Из условия самоуравновешенности напряжений определим наибольшие остаточные напряжения МПа, по формулам:
для прямоугольного профиля:

$$\sigma_{p\max} = \frac{2\sigma_{\max} h}{h - h_y} = \frac{2 \cdot 600 \cdot 2}{2 - 0,6} = 514,28 ;$$

для треугольного профиля:

$$\sigma_{p\max} = \frac{\sigma_{\max} h_y}{h - h_y} = \frac{600 \cdot 0,6}{2 - 0,6} = 257,14 .$$

Самоуравновешенной системе остаточных напряжений соответствует напряженное состояние чистого изгиба. Изгибающие моменты Н·м в сечении образца определяем по формулам:

для прямоугольного профиля:

$$M = \frac{1}{6} \sigma_{\max} b h_y (4h - h_y) = \frac{1}{6} 600 \cdot 10 \cdot 0,6 (4 \cdot 2 - 0,6) = 4,44 ;$$

для треугольного профиля:

$$M = \frac{1}{3} \sigma_{\max} b h h_y = \frac{1}{3} 600 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 0,6 = 2,4 .$$

Образцы, обработанные по методу термопластического упрочнения, имеют выпуклость со стороны обработанной поверхности.

Для определения остаточного прогиба образца после термопластического упрочнения примем балочную схему с учетом симметрии рис. 3. Для моделирования чистого изгиба

консольную балку нагружаем изгибающим моментом, соответствующим остаточным напряжениям.

Прогиб свободного конца консольной балки определяем по формуле:
для прямоугольного профиля:

$$y = \frac{Ml^2}{EJ_z} = \frac{4,44 \cdot 0,05^2}{2 \cdot 10^{11} \cdot 9,867 \cdot 10^{-12}} = 2,81 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

для треугольного профиля:

$$y = \frac{Ml^2}{EJ_z} = \frac{2,4 \cdot 0,05^2}{2 \cdot 10^{11} \cdot 9,867 \cdot 10^{-12}} = 1,52 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Для определения осевого момента инерции поперечного сечения образца нейтральную линию при изгибе принимаем совпадающей границей термопластического упрочнения (рис. 3).

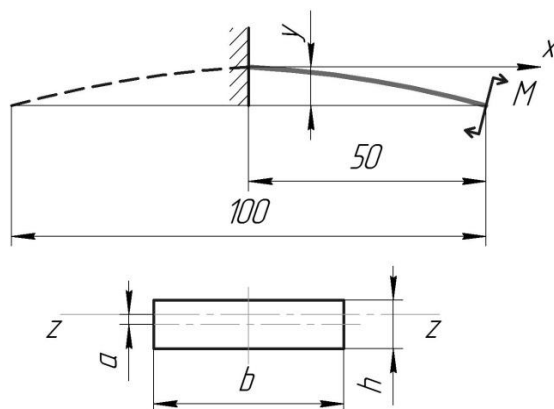


Рис. 3. Расчетная схема образца для определения прогиба и его поперечное сечение

Осейвой момент инерции мм^4 определяем по формуле

$$J_z = \frac{bh^3}{12} + a^2bh = \frac{10 \cdot 2^3}{12} + 0,4^2 \cdot 10 \cdot 2 = 9,867,$$

где $a=0,4$ мм – смещение нейтральной оси сечения относительно оси симметрии.

Выводы. Анализ результатов расчетов по данной методике показывает преимущество аппроксимации по варианту б (рис. 2). Погрешность данных, полученных при использовании данного метода, по сравнению с экспериментальными $\sigma_{\max}$ не превышает 10 %.

Применение разработанного метода измерения величин остаточных напряжений позволяет отбраковать детали, изготовленные с нарушением технологического процесса термопластического упрочнения и предотвратить возможные аварийные ситуации.

Представленные в статье материалы получены в рамках выполнения гранта РФФИ №17-48-630694 «Разработка физической модели механизма термопластического упрочнения материалов, работающих в условиях высоких температур и знакопеременных нагрузок».

Список использованных источников

1. Круцило, В.Г. Формирование устойчивого напряженно-деформированного состояния поверхностной упрочняющей обработкой и прогнозирование процесса его изменения / В.Г. Круцило, Н.Б. Кротинов, А.В. Карпов // Упрочнение, технологии и покрытия. М.: Машиностроение, 2007, №8, с. 27-32.
2. Биргер И.А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз, 1963.
3. Мрочек Ж.А. Остаточные напряжения. / Ж.А. Мрочек, С.С. Макаревич, Л. М. Кожуро, М.Ф. Пашкевич, А.Ф. Ильющенко. Минск: Технопринт, 2003.
4. Давиденков Н.Н. Измерение остаточных напряжений в трубах // Журн. техн. физики. 1931. Т.1, Вып. 1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПОСЛЕ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБРАЗЦОВ - СВИДЕТЕЛЕЙ

Круцило В.Г., к.т.н., доцент; Дедов Н.И., к.т.н., профессор; Ситкина Л.П., ст. преп.;
Разумова И.Н., ассистент

Самарский государственный технический университет

В статье приведены методики определения остаточных напряжений: расчетная, экспериментальная методом травления и с использованием образцов-свидетелей.

Термопластическое упрочнение (ТПУ) используется при изготовлении ответственных деталей, работающих при повышенных температурах и знакопеременных нагрузках, типа лопаток и дисков турбин газотурбинных двигателей (ГТД). За счет формирования в поверхностном слое благоприятных сжимающих остаточных напряжений с большой их глубиной залегания при минимальных пластических деформациях повышается надежность и долговечность упрочненных деталей. Подробно процесс ТПУ описан в работе [1]. Схематично технология ТПУ представлена на рис. 1.



Рис. 1. Технологический процесс термопластического упрочнения детали (блок-схема)

Для реализации технологии ТПУ были разработаны установки и способы упрочнения, которые защищены патентами. Различные аспекты технологии ТПУ описаны в работах [1...7].

Обсуждения и результаты. Соответствие параметров эпюры остаточных напряжений указанным в технических условиях является критерием качества упрочнения. В первую очередь должны приниматься во внимание максимальные по абсолютной величине сжимающие остаточные напряжения $\sigma_{ост\ max}$ и глубина активной части эпюры h_n . Эти параметры можно определить различными методами:

- расчетным;
- экспериментальным;
- с использованием образцов-свидетелей.

Расчетный метод подробно изложен в работе [2]. Он основан на технологических параметрах процесса ТПУ: температуре нагрева θ , времени выдержки при этой температуре τ и давлении охлаждающей жидкости p .

Химический состав, физико-механические и теплофизические свойства материала упрочняемой детали являются важными технологическими параметрами. На деталях и образцах из сплава ЭИ893 были проведены теоретические и экспериментальные исследования. Свойства этого сплава приведены в таблицах 1 - 3.

Таблица 1

Марочный химический состав, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	Ti	Al	B	Ce	S	P
не более									по расчету		не более	
0,08	0,5	0,5	15-17	Основная	8-10	4-5	1,2-1,6	1,2-1,6	0,010	0,025	-	-

Таблица 2

Нормы механических свойств при 20°C сортового материала

Обработка	Температура испытания, °C	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	a_H ,
		МПа		%		$9,8 \cdot 10^4 \frac{Дж}{\mathcal{M}^2}$
		не менее				
1180°C, 2ч, воздух;	20	90	60	15	20	7
800°C, 12ч, воздух	750	55	-	8	12	-

Таблица 3

Физические свойства сплава

Удельный вес, $10^3 \text{ кг} / \text{м}^3$	8,794							
Модуль упругости $E \cdot 10^{-4}, \text{ МПа}$	20°C		750°C			800°C		
	2,23		1,74			1,65		
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$	20 - 100°C				20 - 750°C			
	11,3				14,4			
Теплопроводность, $4,187 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} / \text{м} \cdot ^\circ \text{ К}$	20°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C
	0,030	0,031	0,033	0,037	0,041	0,048	0,056	0,065
Электропроводность $\cdot 10^4, \text{ См}$	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C	
	0,716	0,711	0,705	0,700	0,700	0,707	0,718	

Из таблиц видно, что физико-механические свойства значительно зависят от температуры нагрева, что необходимо учитывать в расчетах.

На рис.2 приведены эпюры остаточных напряжений, рассчитанные при различных, приближенных к реальным, условиях. Основные параметры выбирались:

- постоянными при $T = 20^\circ \text{C}$;
- средние в интервале температур $T = 20 \div 700^\circ \text{C}$;
- с учетом влияния температуры.

На рис. 2 нанесена также эпюра остаточных напряжений, полученных опытным путем [2].

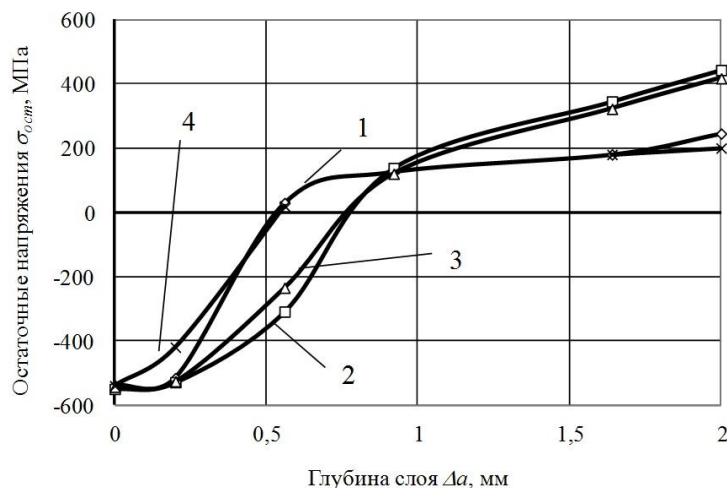


Рис. 2. Остаточные напряжения после ТПУ (материал ЭИ893; Тупр = 700°C):
1 – расчет; $\lambda = \lambda(T)$; $C = C(T)$; 2 – расчет; $\lambda = \lambda_{20^\circ \text{C}}$; $C = C_{20^\circ \text{C}}$; 3 – расчет; $\lambda = \lambda_{\text{м0}}$; $C = C_{\text{м}}$; 4 – эксперимент

Сопоставление позволяет сделать заключение, что наилучшее приближение к опытной эпюре остаточных напряжений наблюдается в том случае, если при расчетах учитывается влияние температуры на физико-технологические параметры.

Экспериментальные исследования проводились по методике Давиденкова Н.Н. [3] с уточнениями Биргера И.А. [4]. Образцы для исследований вырезались из натурных лопаток и плит определенной толщины.

Определение остаточных напряжений методом травления имеет свои особенности, которые описаны ниже.

Установка для определения прогибов состоит из корпуса 1, на котором смонтированы все основные узлы приспособления (рис. 3).

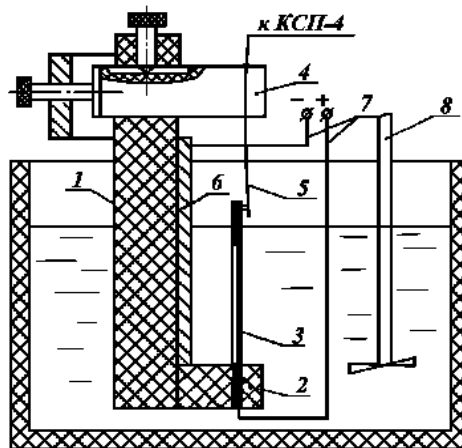


Рис. 3. Схема установки для определения остаточных напряжений на призматических образцах

Узел 2 для крепления исследуемого образца 3, имеющий способность перемещаться по направляющим корпуса 1 в зависимости от длины образца, узел 4 для крепления балочки 5,

позволяющий задавать начальный прогиб балочки ($f = 1,0$ мм), необходимый для постоянного контакта ее с образцом. Балочка представляет собой упругую стальную пластинку толщиной 0,3 мм, с обеих сторон которой прикреплены тензодатчики, являющиеся активным сопротивлением, меняющимся в процессе деформации балочки (образца). Она выполняет роль одного из двух плеч мостовой схемы сопротивлений (T_1 , T_4), другим плечом которой (T_2 , T_3) является система сопротивлений регистрирующего прибора (например, КСП-4, ЭПП-09М). Таким образом, датчик-мост состоит из четырех тензодатчиков T_1 - T_4 , потенциометра R , служащего для балансировки моста, и блока питания Б.

Этот метод достаточно широко апробирован и его достоверность не вызывает сомнений. Однако он имеет существенные недостатки: разрушение изделия, трудоемкость процесса, опасность из-за использования сильнодействующих кислот.

Экспериментальные исследования остаточных напряжений при ТПУ показали, что их эпюры имеют практически одинаковую форму. Используя при процессе ТПУ образцы - свидетели по их прогибу можно определить основные параметры эпюры остаточных напряжений. Это позволяет исключить трудоемкий метод травления.

Вывод. Метод определения остаточных напряжений с использованием образцов – свидетелей является весьма эффективным и малозатратным по сравнению с методом травления.

Представленные в статье материалы получены в рамках выполнения гранта РФФИ №17-48-630694 «Разработка физической модели механизма термопластического упрочнения материалов, работающих в условиях высоких температур и знакопеременных нагрузок».

Список использованных источников

1. Термопластическое упрочнение – резерв повышения прочности и надежности деталей машин: Монография / Б.А. Кравченко, В.Г. Круцило, Г.Н. Гутман. – Самара: СамГТУ, 2000. – 216 с.
2. Круцило В.Г. Исследование остаточных напряжений при термопластическом упрочнении / В.Г. Круцило, Л.П. Ситкина, И.Н. Разумова // Высокие технологии в машиностроении: материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции, Самара: СамГТУ, 2017. – с. 99-102.
3. Давиденков Н.Н. Измерение остаточных напряжений в трубах // Журн. техн. физики. 1931. Т.1, Вып. 1.
4. Биргер И.А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз, 1963. 232.
11. Круцило, В.Г. Формирование устойчивого напряженно-деформированного состояния поверхностной упрочняющей обработкой и прогнозирование процесса его изменения / В.Г. Круцило, Н.Б. Кротинов, А.В. Карпов // Упрочнение, технологии и покрытия. М.: Машиностроение, 2007, №8, с. 27-32
5. Круцило В.Г. Термопластическое упрочнение крупногабаритных деталей. / В.Г. Круцило, // Материалы международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития двигателестроения», Самара, 2001, с. 167-168.
6. Круцило В.Г. Связь износа и повреждения лопаток турбин газоперекачивающих агрегатов с усталостной прочностью/ В.Г. Круцило // Известия Самарского научного центра РАН, - Самара: СНЦ РАН. 2011, с. 183-184.
7. Круцило В.Г. Проектирование новой конструкции камеры охлаждения для установки термопластического упрочнения и экспериментальные сравнения эффективности упрочнения образцов из сплава ХН77ТЮР в кольцевом спреере и в новой конструкции камеры охлаждения / В.Г. Круцило // Упрочняющие технологии покрытия, М., №5, 2011, с. 44-47.

СЕКЦИЯ 4. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.715.4

РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА БАЛАНСИРОВКИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Баннова Е.С., магистрант

Самарский государственный технический университет

Рассмотрены различные методы балансировки абразивных шлифовальных кругов, выполнен анализ конструкций приспособлений для технологического процесса балансировки, определены параметры обработанных поверхностей, на которые влияет точность балансировки кругов.

Эксплуатационные свойства деталей машин, такие как долговечность, надежность, во многом зависят от качества обработанных поверхностей. Под качеством обработанной поверхности понимают комплекс параметров, определяющих точность обработки, геометрическую форму и физико-механические свойства, получаемые в результате обработки тем или иным способом поверхности.

В машиностроении широко используется обработка заготовок шлифованием. Чаще всего шлифование является финишной (отделочной) операций для точных поверхностей ответственных деталей. Оно обеспечивает изготовление деталей с малыми отклонениями формы, размеров, малой шероховатостью поверхности. Точность обработки шлифованием, представляет собой некоторую степень приближения действительных размеров детали к ее номинальному размеру (указанному на чертеже), во многом зависит от источников погрешностей. Шлифование – абразивная обработка [1], при которой инструмент совершает только вращательное движение, являющееся главным движением резания, а заготовка – любое движение. Силы, возникающие при шлифовании, деформируют технологическую систему, в связи, с чем реальная величина удаления материала с поверхности t_ϕ оказывается меньше заданной глубины шлифования t_o , разницу можно записать в виде выражения: $\Delta t = t_o - t_\phi$. Величину Δt , которую называют потерей величины съема материала, можно представить в виде

$$\Delta t = K t_o, \quad (1)$$

где K – коэффициент потери величины съема, определяется по формуле

$$K = \frac{t_o - t_\phi}{t_o}, \quad (2)$$

Силу шлифования можно записать в виде выражения:

$$P_y = i \Delta t = i K t_o, \quad (3)$$

где i – жесткость технологической системы.

Состояние поверхностного слоя детали зависит не только от кинематики технологической системы, силы и режима шлифования, но так же от физико - механических свойств обрабатываемого материала, характеристик абразивного круга, вибраций, которые сопровождают процесс шлифования, степени пластической деформации срезаемого слоя. Важным показателем качественной обработки шлифованием, который оказывает значительное влияние на эксплуатационные свойства деталей, является шероховатость и волнистость шлифованных поверхностей. Шероховатостью поверхности принято называть совокупность неровностей с малым шагом, волнистость [2] – это совокупность периодически повторяющихся неровностей с расстоянием, больше, чем у неровностей, образующих

шероховатость. Приведенные различия в определении шероховатости и волнистости произошли в процессе изучения неровностей, но являются весьма условными.

Как уже отмечалось, в процессе шлифования возникают вибрации. Среди наиболее значительных причин возникновения колебаний необходимо отметить дисбаланс шлифовального круга, так как именно он непосредственно контактирует с обрабатываемой поверхностью в процессе шлифования. Величина дисбаланса шлифовального круга зависит от его формы и размеров, структуры, и плотности и ряда других причин. Так, например, наличие волнистости на шлифованной поверхности может привести к уменьшению опорной площади поверхности до 10 раз по сравнению с поверхностью, на которой волнистость практически отсутствует. В технике [3] дисбалансом называют некоторую векторную величину, которая равна произведению неуравновешенной массы на расстояние (эксцентриситет e) до оси ротора. Ротором принято называть деталь, которая при вращении удерживается в опорах. Дисбаланс является и может быть определен числовым значением дисбаланса

$$D_i = m_i e_i \quad (4)$$

т. е. произведением неуравновешенной массы m_i на модуль ее эксцентриситета e_i относительно оси вращения.

Структура технологического процесса балансировки определяется назначением балансировки, типом производства, размером детали или сборочной единицы, точностью балансировки, технологическим оборудованием и оснасткой. При этом она состоит из определения значений и углов дисбалансов ротора и уменьшения с помощью корректирующих масс, как в статическом, так и в динамическом режиме. Корректирующие массы могут удаляться из тела ротора, добавляться к нему, а так же перемещаться по ротору.

Необходимо отметить, что если в процессе эксплуатации изделий возможно изменение дисбаланса, например под действием износа или переменных нагрузок, применяют так называемые управляемые балансирующие устройства (УБУ) или автоматические балансирующие устройства (АБУ), которые позволяют проводить корректировку дисбаланса.

Технологическая неуравновешенность шлифовального круга может возникать по разным причинам, например: вследствие его износа, неравномерного заполнения порового пространства стружкой, некачественной правки. Предварительная балансировка шлифовальных кругов вне станка производится на балансировочном устройстве (параллельный стенд) (рис. 1), как перед установкой нового круга, а так же повторно, по мере его износа.

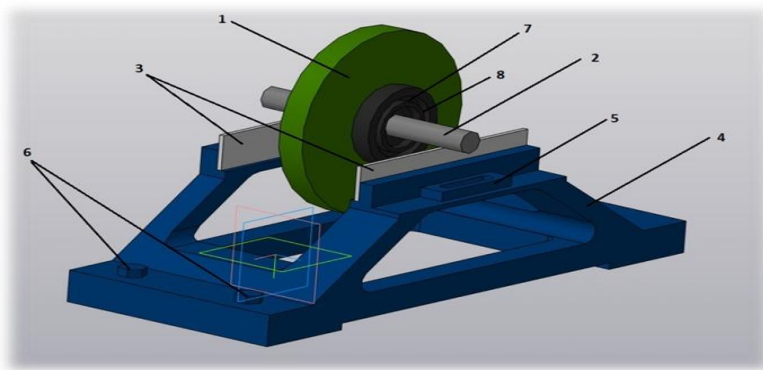


Рис. 1. Модель параллельного стенда:

1 - шлифовальный круг, 2 - оправка, 3 - скалки, 4 - балансировочное устройство, 5 - уровень, 6 - регулировочные винты, 7 - планшайба, 8 – грузы

В качестве компенсирующих грузов применяются сухари, перемещаемые в кольцевом пазу фланца 7 круга 1. Количество грузов 8 обычно выбирается равным трем. Круг 1

надевают на оправку 2, в центральной части которой имеется конусная посадочная шейка, имитирующая конусную шейку шпинделя станка. На оправке 2 круг 1 зажимается фланцами с помощью гайки, либо за счет трения в конусном сопряжении. Оправку 2 устанавливают на балансировочное устройство 4. Процесс балансировки шлифовального круга заключается в определении так называемого «тяжелого» места (центра его масс), которое стремится занять нижнее положение. Сухари располагают таким образом, чтобы круг с оправкой занимал безразличное положение на стенде.

Для оптимизации процесса предварительной балансировки шлифовального круга предлагается устройство, представленное на рисунке 2.

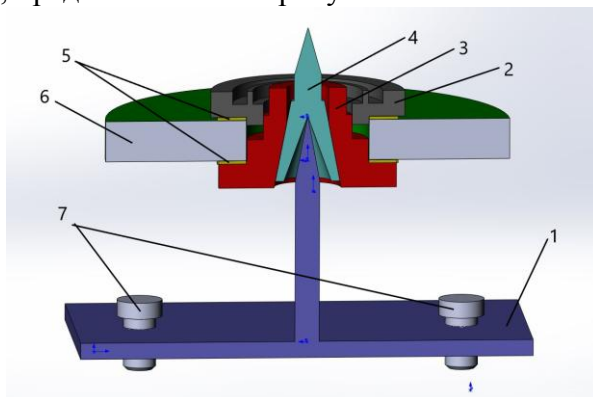


Рис. 2 Модель балансировочного устройства:

1 - основание, 2 - планшайба, 3 – нижняя половина планшайбы, 4 - вставка, 5 - прокладка, 6 - шлифовальный круг, 7 - регулировочные винты

Процесс балансировки шлифовального круга так же заключается в определении так называемого «тяжелого» места, только в отличие от предыдущего, круг будет стремиться отклониться от горизонтального положения. В приспособлении на основании 1 расположена ось, на конус которой опирается вставка 4 внутренним конусом. Наружным конусом вставка сопрягается с внутренним конусом нижней части планшайбы. Площадь поверхности контакта вставки 4 и оси минимальная, фактически это точка, за счет этого потери на трение минимальны. Так же конструкция приспособления позволяет более точно центрировать ось круга и ось приспособления, за счет чего повышается точность балансировки, что следует из определения дисбаланса.

Таким образом, можно отметить, что приведенная конструкция приспособления обладает более простой по сравнению с параллельным стендом, как по количеству деталей, так и по требуемой точности их изготовления. Конструкция приспособления может быть усовершенствована с целью упрощения установки сухарей (фиксация круга вспомогательным устройством), а так же автоматизации процесса балансировки.

Список использованных источников

1. Резников А.Н. Абразивная и алмазная обработка материалов / под ред. А.Н. Резникова М. Машиностроение, 1977. – 391с.
2. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т. 1/ Под ред. А. Г Косиловой и Р. К Мещерякова.- 4-е изд., перераб. И доп.- М.: Машиностроение, 1986. 656 с.
3. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т. 2/ Под ред. А. Г Косиловой и Р. К Мещерякова.- 4-е изд., перераб. И доп.- М.: Машиностроение, 1985. 496 с.
4. Родионов В.А., Родионова О.В., Немыткин С.А. Технологические особенности балансировки колес / В.А. Родионов, О.В. Родионова, С.А. Немыткин. // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса. Издательство «СамГТУ» - 2009.-с.51-54

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАЛЬТИЙСКИХ МЕХАНИЗМОВ В САД-СИСТЕМЕ

Гулин А.С., студент; Соболев А.Н., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Описывается применение мальтийских механизмов в изделиях машиностроения. Обосновывается необходимость применения автоматизированного проектирования механизмов периодического движения для выполнения необходимых расчетов и выполнения анимации функционирования.

В современных машинах необходимо периодически изменять относительное положение обрабатываемых объектов и рабочих органов. Часто это необходимо делать в машинах полуавтоматического и автоматического действия, в которых требуется сообщать звеньями механизма движение с последующей остановкой, продолжительность которой может быть заданной. В технологических машинах может быть применен мальтийский механизм, который преобразует равномерное вращательное движение в прерывистое вращательное движение (то есть преобразования равномерного вращательного движения ведущего звена - кривошипа, в периодические повороты с остановками определенной продолжительности ведомого звена - мальтийского креста). Достоинство данного механизма в том, что он работает плавно, почти без ударов в начале и в конце поворота ведомого звена, что не приводит к быстрому износу пальца. Механизм внешнего зацепления имеет меньшее время остановки и работает с большим угловым ускорением, а механизм внутреннего зацепления имеет лучшую динамику работы. Основное применение мальтийские механизмы нашли в приводах станков, транспортных машинах и т.д. [1, 2]

В качестве примера использования мальтийских механизмов, на рис 1. представлена кинематическая схема привода, используемого в локомотиве ВЛ-80 [3].

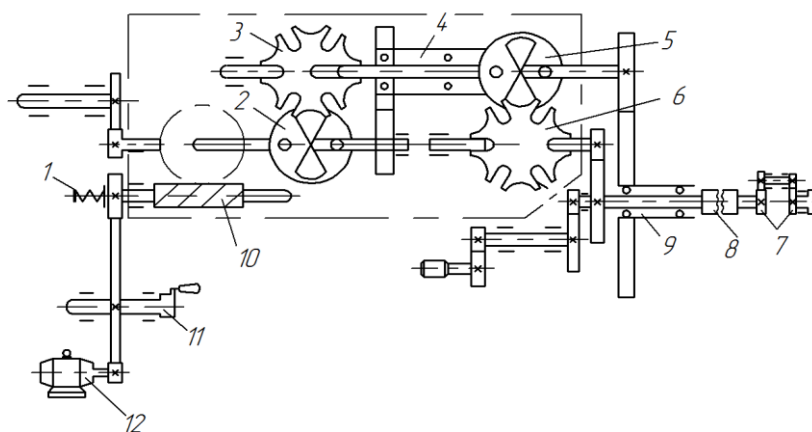


Рис. 1. Пример использования мальтийского механизма в главном контролере (групповой переключатель ступеней тягового трансформатора) ЭКГ-8 локомотива ВЛ-80:

- 1 - муфта предохранительная; 2 - цевка поводка 1-го мальтийского механизма; 3 - крест 1-го мальтийского механизма; 4 - вал; 5 - цевка поводка 2-го мальтийского механизма; 6 - крест 2-го мальтийского механизма; 7 - зубчатые передачи; 8- вал контакторов переключения ступеней; 9 - вал контакторов с дуго-гашением; 10 – червячный механизм; 11 - рукоятка ручного привода; 12 - электродвигатель

Имеется определенная трудоемкость в расчете геометрических и кинематических параметров. Поэтому необходимо привлечение систем автоматизированного проектирования и разработка расчетных программных модулей [1, 2].

Авторами были проведены следующие мероприятия:

- Разработан алгоритм автоматического создания параметризованных моделей мальтийских механизмов внешнего и внутреннего зацеплений в T-Flex CAD.

- Разработана методика анимации работы мальтийских механизмов в CAD-системе.

Исходными данными для выполнения автоматизированных расчетов будут являться:

- Тип исследуемого мальтийского механизма (внешнего или внутреннего зацепления).
- Число пазов для проектируемого мальтийского механизма.
- Время покоя (циклограмма работы механизма).

Вспомогательными параметрами являются: межосевое расстояние; радиус кривошипа; наружный диаметр окружности диска мальтийского креста; радиус основания, на котором располагается мальтийский крест; длина паза и т.д.

На рис. 1 в качестве примера представлена параметризованная модель мальтийского механизма внутреннего зацепления, разработанная авторами в T-Flex CAD.

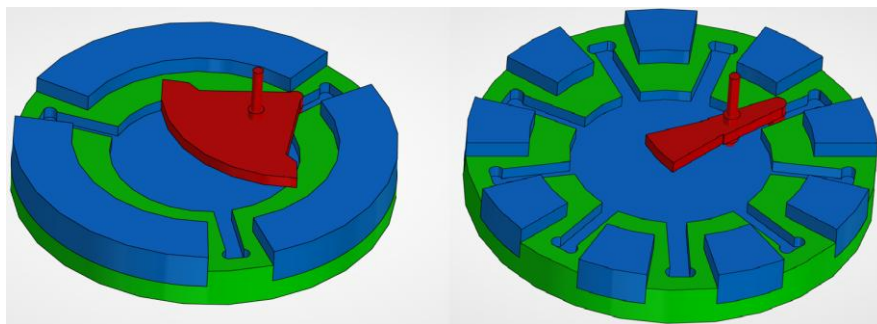


Рис. 2. Параметризованная модель мальтийского механизма внутреннего зацепления

Основной результат проделанной работы: параметрические твердотельные модели мальтийских механизмов, которые могут быть применены в реальных инженерных задачах. Данные модели могут быть использованы в учебном процессе при изучении курсов теории механизмов и деталей машин. Кроме того, ключевые элементы методики разработки таких моделей могут быть использованы при проектировании других видов механизмов периодического движения.

Список использованных источников

1. Гречишников В.А., Исаев А.В., Купцов В.Р. и др. Математическая модель и практическая реализация высокопроизводительной обработки деталей циклоидального редуктора для роботизированного механообрабатывающего комплекса // Вестник МГТУ «Станкин». 2016. № 4(39). С. 79–84.
2. Гуцин В.Г., Соболев А.Н., Косов М.Г. Автоматизированное проектирование мальтийских механизмов // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2010. №1(9). С. 40–47.
3. Соболев А.Н., Некрасов А.Я. Расчет и моделирование мальтийских механизмов в CAD/CAE-системах. 2010. №3(93). С. 44–48.
4. Косов М.Г., Соболев А.Н. Автоматизированное проектирование на основе методологии нетвердотельного моделирования // Технология машиностроения. 2010. №3(93). С. 44–48.
5. Николаев А.Ю., Сесявин Н.В. Устройство и работа электровоза ВЛ80с. Учебное пособие для учащихся образовательных учреждений железнодорожного транспорта, осуществляющих профессиональную подготовку / Под ред. А.Ю. Николаева. — М.: Маршрут, 2006. — 512 с.

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ В КОМПАС 3D V.17

Емельянов Н.В., ст. преп.; Емельянова И.В., к.т.н., доцент; Зубенко В.Л., к.т.н., доцент

Самарский государственный технический университет

Приведена методика и особенности проектирования деталей и узлов станочного оборудования в Компас -3D .

Компас 3D v17 это САПР CAD - технологии. Обладает следующими возможностями:

Стандартные виды автоматически строятся в проекционной связи. Данные в основной надписи чертежа (обозначение, наименование, масса) синхронизируются с данными из модели 3D. Имеется возможность связи трёхмерных моделей и чертежей со спецификациями, то есть при проектировании спецификация может быть получена автоматически.

Кроме того, изменения в чертеже или модели будут передаваться в спецификацию, и наоборот.

В интерфейсе КОМПАС-3D v17 (рис. 1) две основные цветовые темы: светлая и темная. Те, кто привык работать вечером при искусственном освещении, смогут включить «темную» тему с возможностью использовать не только монохромные, но и цветные иконки.

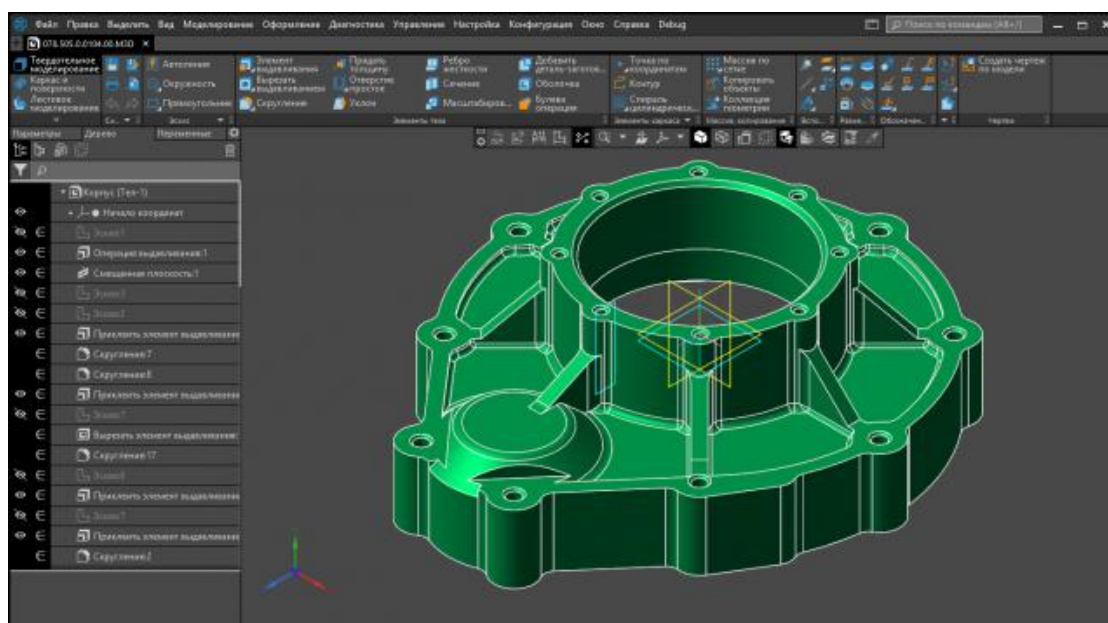


Рис.1. Интерфейс (темный) КОМПАС v17

Нажав в режиме моделирования на инструмент *Автолиния*, сразу запускается процесс создания эскиза: указываем базовую плоскость и начинаем строить отрезок и т.д. (рис. 2).

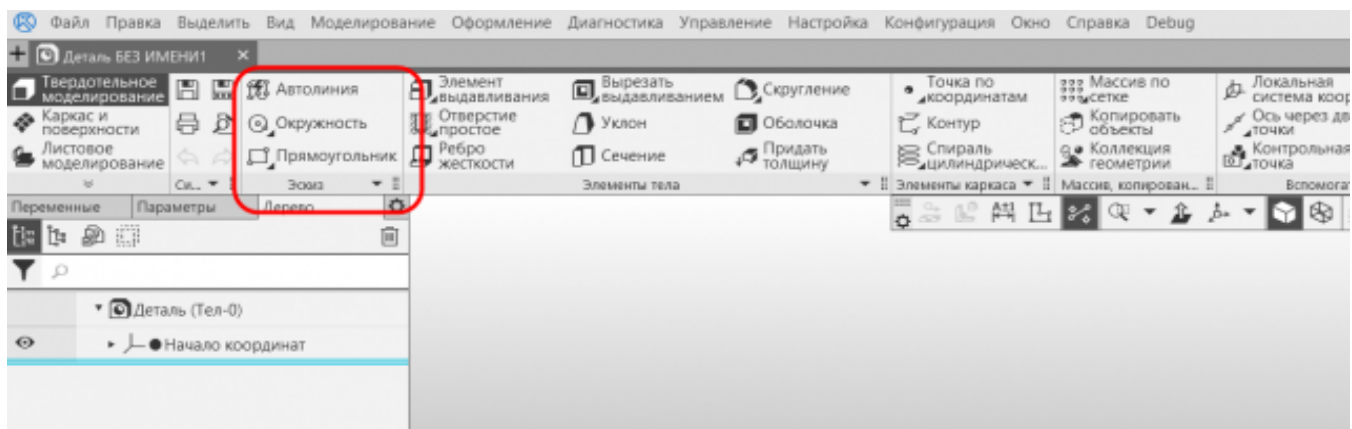


Рис. 2. Составление эскиза в моделировании

Инструменты формообразования при твердотельном моделировании.

Механизм работы с командами стал более гибким: команды объединены в группы, что позволяет без завершения или прерывания текущей операции перейти от одной команды к другой.

В качестве примера рассмотрим этапы построения сборки в Компас 3D, представленной на рис. 3.

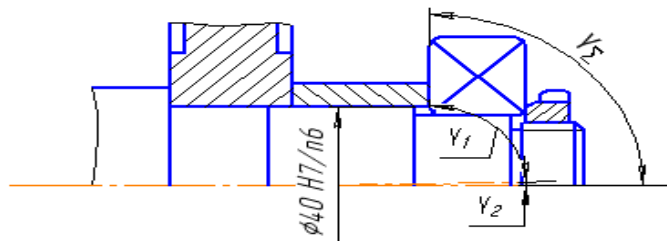
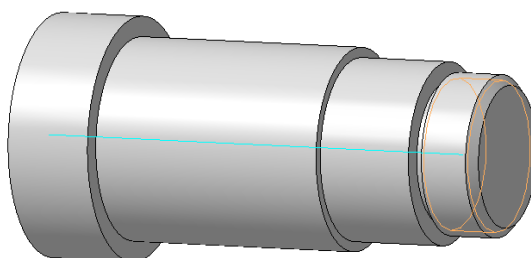


Рис. 3. Сборочный узел

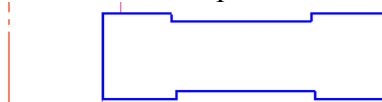
1. Создается эскиз вала



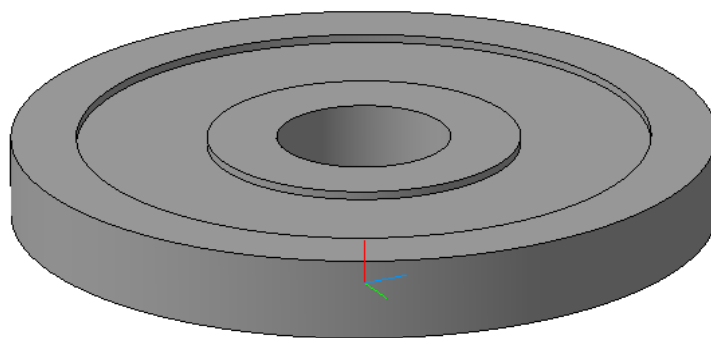
2. Операцией вращения (без тонких стенок), создается вал. На передней плоскости условно обозначается резьба.



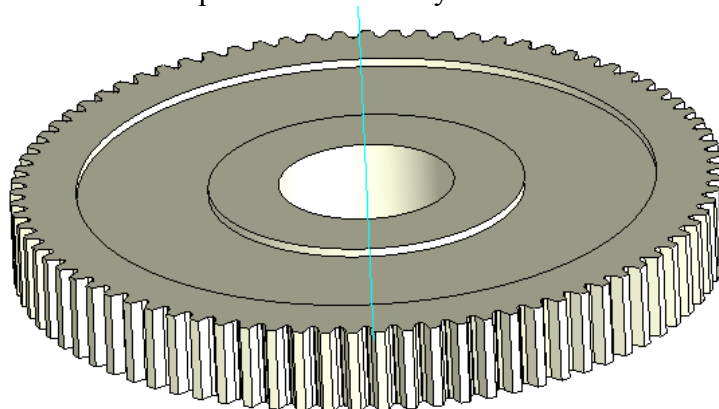
3. Строится эскиз поперечного сечения шестерни $D=162$ мм, $d=20$ мм, $b=20$ мм.



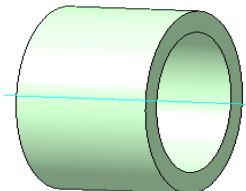
4. Строится диск операцией вращения.



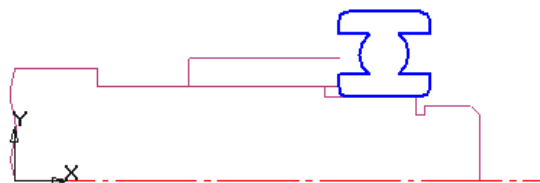
5. С помощью Компас-Shaft 3D рассчитывается зубчатое колесо с $m=2\text{мм}$, $Z= 82$.



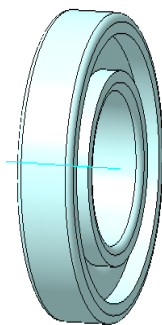
6. Операцией вращения строится кольцо



7. Строится сечение подшипника $d=35\text{ мм}$, $b=21\text{ мм}$, $D=80\text{ мм}$

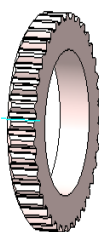


8. Операцией вращения строится условная модель подшипника.



9. По аналогии с п.7 строится сечение гайки М32.

10. Операцией вращения строится модель кольца, затем с помощью Компас-Shaft 3D строятся на внешней поверхности шлицы эвольвентные.



11. Сборка вала производится совмещением всех ранее построенных моделей, учитывая общее начало координат. Затем, строим сечение по оси.

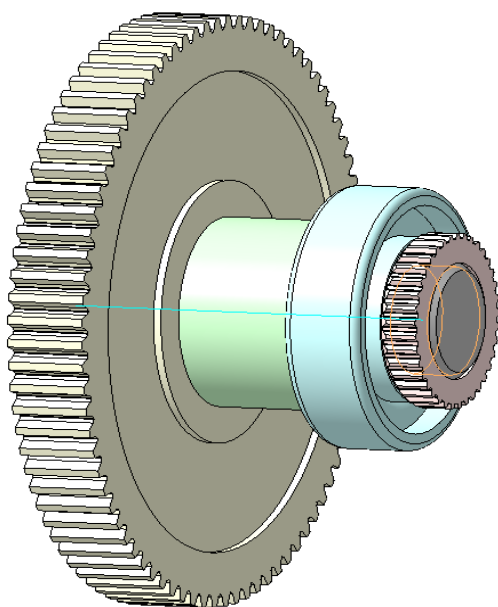


Рис. 4. Сборка вала

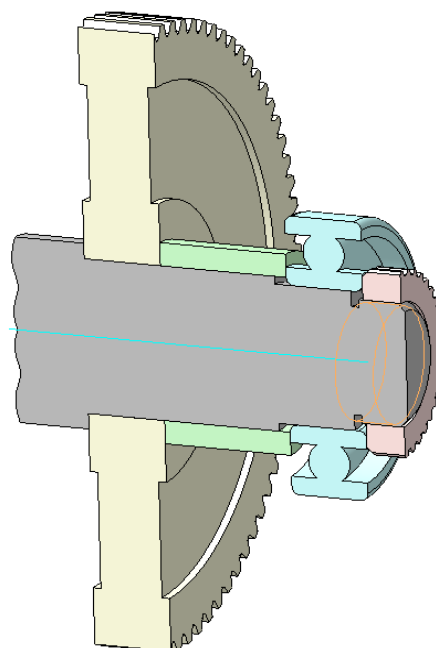


Рис. 5. Сечение по оси

Список использованных источников

1. Конструирование машин/ Под редакцией К.В. Фролова. - М.: Машиностроение, 1994. - 624 с.
2. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). – СПб.: Питер, 2004. - 560 с.

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРЯМОЗУБЫХ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОМ ОБОРУДОВАНИИ

Калитеевский Д.А., студент

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Для практического применения электроэрозионной обработки для изготовления зубчатых колес предложена методика автоматизированной конструкторско-технологической подготовки производства. Приведено описание разработанного авторами программного средства автоматизации технологической подготовки производства зубчатых колес.

Развитие машиностроения в нашей стране неразрывно связано с внедрением и совершенствованием методов и средств автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства. В настоящее время электроэрозионная обработка нашла широкое применение в отечественной промышленности при изготовлении различных изделий, т.к. является ресурсосберегающей и универсальной технологией.

Электроэрозионная обработка зубчатых колес обеспечивает высокую производительность, в сочетании с необходимым качеством и требуемой точностью поверхности. При этом обеспечиваются требования по контактной и изгибной прочности. Становится возможным получение и обработка зубчатых колес в случае, если используются материалы, не поддающиеся обработке резанию, то есть, вне зависимости от твердости и хрупкости обрабатываемого материала. Применение электроэрозионных процессов при изготовлении зубчатых колес позволяет также сократить влияние качества сборки на пятно контакта, и возрастает надежность конструкции блоков зубчатых колес.

Важной задачей является разработка автоматизированных программных средств расчета, проектирования и дальнейшей подготовки к производству эвольвентных зубчатых цилиндрических передач [1...3]. Результатом проделанной работы авторами является работоспособный CAD/CAM-модуль автоматизированного проектирования цилиндрических эвольвентных передач с API интеграцией в САПР T-Flex CAD. Структура приложения представлена на рис. 1.

В качестве инструмента моделирования зубчатых колес авторами была выбрана САПР T-Flex CAD. Данная система эффективна для проектирования отдельных деталей и сборочных единиц в машиностроении. Использование параметрической системы построения позволяет получать различные по размерам модели сборочных единиц автоматически. В системе T-Flex CAD имеется большая база стандартных изделий, что оказывает значительную помощь инженеру-конструктору. Важной особенностью системы является наличие развитого интерфейса - Application Procedural Interface (API) для создания собственных программных приложений взаимодействия с графическим пространством, что позволяет передавать из внешней программы команды автоматического построения.

Реализуемый CAD-подмодуль на языке C# с помощью интерфейса API передает в среду САПР расчетные и командные данные для построения модели колеса или сборной модели зубчатого зацепления (рис. 2). При реализации CAM-подмодуля программы упор был сделан на то, чтобы дать возможность пользователю выбирать метод обработки профиля колеса: контурное фрезерование, контурная электроэрозионная обработка. При этом возможен автоматический расчет параметров нормирования и оценки экономической эффективности.

Разработанный программный модуль позволяет:

- получать вариативные проектные решения на основе исходных данных с коррекцией проектных параметров;
- формировать управляющие программы для станков с числовым программным управлением.
- сокращать сроки проектирования эвольвентных цилиндрических передач.

Программно-математическая модель, заложенная в программном приложении обеспечивает формообразование поверхностей зубьев эвольвентных колес по форме аналогичной получаемой лезвийным инструментом по методу обката.

Перед изготовлением зубчатых колес на электроэрозионном оборудовании или лазерных установках, для проверки правильности функционирования разработанной программы, были изготовлены тестовые образцы зубчатых колес на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ Wabeco (рис. 3), расположенном в Лаборатории технологий проектирования, испытаний и ремонта металлорежущих станков Технологического полигона МГТУ «СТАНКИН».



Рис. 1. Структура разработанного программного приложения

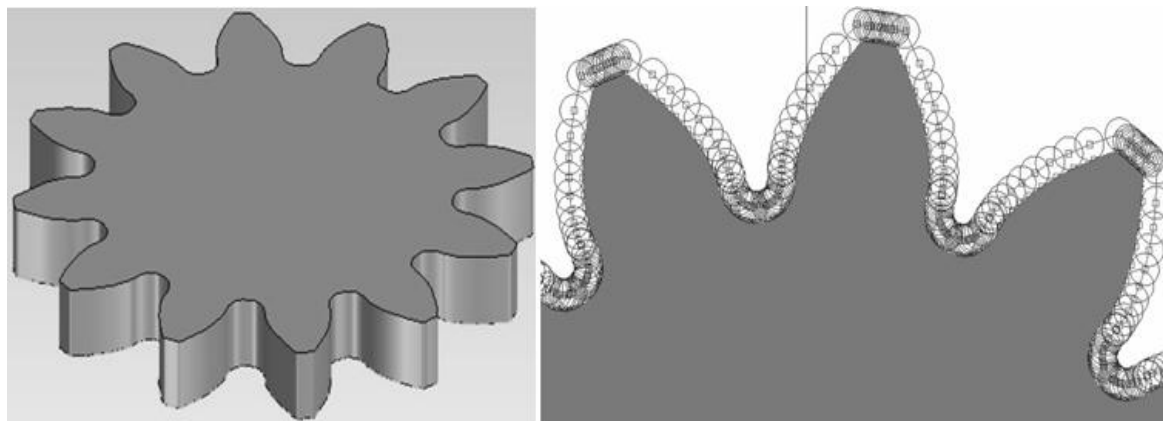


Рис. 2. Модель эвольвентного зубчатого колеса с отображением траектории движения инструмента при контурной обработке



Рис. 3. Зубчатое колесо и шестерня в эвольвентном зацеплении, полученные контурным фрезерованием

С помощью разработанной программы электроэрозионным зубовырезанием на предприятии получено зубчатое колесо эвольвентного профиля с модулем $m = 0,6$ и числом зубьев $z = 13$ (рис. 4).

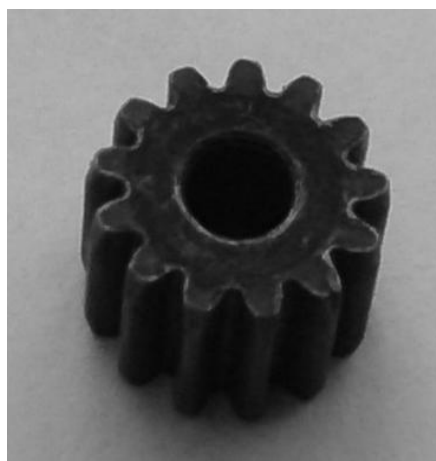


Рис. 4. Зубчатое колесо, полученное контурным электроэрозионным зубовырезанием

Разработанное программное приложение и методика его применения планируются к внедрению в учебный процесс в рамках курсов «Интегрированные CAD/CAM системы и управление станками с ЧПУ», «Программирование автоматизированного оборудования» на кафедре станков МГТУ «СТАНКИН».

Список использованных источников

1. Гречишников В.А., Исаев А.В., Купцов В.Р. и др. Математическая модель и практическая реализация высокопроизводительной обработки деталей циклоидального редуктора для роботизированного механообрабатывающего комплекса // Вестник МГТУ «Станкин». 2016. № 4(39). С. 79–84.
2. Косов М.Г., Соболев А.Н. Автоматизированное проектирование на основе методологии нетвердотельного моделирования // Технология машиностроения. 2010. №3(93). С. 44-48.
3. Косов М.Г., Кузнецов А.П., Соболев А.Н. Нетвердотельное проектирование. Принципы. Методы. Применение. – М.: Янус-К, 2010. – 275 с.

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ НОВИКОВА С ОДНОЙ И ДВУМЯ ЛИНИЯМИ ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Катков А.Ю., студент; Соболев А.Н., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Описываются преимущества зубчатых передач зацепления Новикова для использования в изделиях машиностроения. Обосновывается необходимость применения автоматизированного проектирования зубчатых механизмов зацепления Новикова. Описываются программные механизмы повышения эффективности автоматизированного проектирования зубчатых передач Новикова на основе соответствующих расчетов и разработанных методов параметризации моделей.

Технические характеристики большинства машин и механизмов в значительной степени определяются видом используемых в них зубчатых передач. Зубчатые колеса являются одним из основных элементов машин и механизмов. Они используются в различных отраслях машиностроения: станкостроении, автомобилестроении, космической технике и других. Технология производства зубчатых колес является одной из сложных и проблемных задач, требующих наличие специального оборудования, технологической базы, а так же точности расчетов [1...4].

Цель работы: изучить особенности строения передач зацепления Новикова и разработать параметрические модели таких передач.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи: разработать методику параметризации моделей зубчатых колес зацепления Новикова; параметризовать процесс проектирования твердотельных моделей с одной и двумя линиями зацепления в соответствии с исходными контурами по ГОСТ 15023-76 и МН 4229-63 [1, 2].

Основными достоинствами передач Новикова перед эвольвентными являются:

- относительно большая площадка контакта – обеспечивает высокую контактную выносливость;
- малое расстояние линии зацепления от полюсной линии – позволяет повысить КПД передачи;
- локальный характер контакта – улучшает динамические характеристики и значительно снижает чувствительность передачи к технологическим и эксплуатационным погрешностям;
- перемещение общей точки вдоль зуба и большая скорость качения поверхностей в направлении линий зубьев – увеличивают толщину гидродинамического слоя смазки;
- неизменность скоростей скольжения в любой фазе зацепления – способствует хорошей приработке контактирующих поверхностей, снижению неравномерности распределения нагрузки между парами зубьев и дальнейшему повышению контактной выносливости.

Частично указанные преимущества удалось реализовать при использовании их в различных отраслях машиностроения. Основными причинами неполной реализации преимуществ является ограниченное технологическое обеспечение их производства [1...3].

Использование передачи Новикова с одной линией зацепления (ОЛЗ) взамен эвольвентных в ряде случаев позволяет снизить массу цилиндрических редукторов на 15 ... 25%. Еще более высокие результаты получают при использовании передач с двумя линиями зацепления (ДЛЗ). Так, переход с ОЛЗ на ДЛЗ дает возможность более чем на 30% повысить мощность редукторов конвейеров и на 10 ... 12% уменьшить массу редукторов в приводе различных технологических машин [2].

Косозубые зубчатые передачи остаются наиболее трудоемкими изделиями современного машиностроения. Для конструирования подобных передач необходимо проводить большое количество вычислений, обеспечивая при этом их высокую точность, а также выбор задания оптимальных параметров при графическом построении модели.

Зубчатые передачи Новикова могут быть как цилиндрическими, так и коническими. Наиболее распространенные из них - цилиндрические. В цилиндрической передаче Новикова линия зацепления расположена параллельно осям зубчатых колес и поэтому контакт зубьев здесь перемещается не по профилю зубьев, как в эвольвентной передаче, а вдоль зубьев. Так как скорость перемещения контакта и угол давления остаются постоянными, то профили зубьев шестерни и колеса в этом зацеплении могут быть выполнены по дугам окружностей с близкими радиусами кривизны.

В зубчатых передачах Новикова с выпуклым профилем зубьев одного зубчатого колеса и вогнутым профилем зубьев другого - одна линия зацепления (контакт сопряженных зубьев происходит теоретически в одной точке), а в передачах с выпукло-вогнутым профилем зубьев шестерни и колеса - две линии зацепления.

Определяющими параметрами зубчатого колеса зацепления Новикова являются:

m - модуль колеса (через него выражаются все остальные параметры);

z - число зубьев;

b - толщина зубчатого колеса;

β - угол наклона зубьев;

d - диаметр делительной окружности.

Модуль колеса стандартизирован и определяется из прочностного расчета зубчатых передач. Чем больше нагружена передача, тем выше значение модуля.

Радиусы кривизны, которыми описываются впадины и вершины профиля, определяются в соответствии с коэффициентами при модуле, приведенными в ГОСТ 15023-76.

В качестве примера на рис. 1 представлены необходимые расчеты для построения шестерни и зубчатого колеса с ДЛЗ по исходному контуру ГОСТ 15023-76 (модуль 4, число зубьев 50, угол наклона зубьев 20, толщина 80), реализованные в T-Flex CAD.

Имя	Выражение	Знач...	Комме...
z1	50	50	
m	4	4	
cosB	0.914	0.914	
sinB	0.4	0.4	
d1	$z1 \cdot m / \cos B$	218.8...	
ha	$0.9 \cdot m$	3.6	
hf	$1.05 \cdot m$	4.2	
h	$ha + hf$	7.8	
da1	$d1 + 2 \cdot ha$	226.0...	
df1	$d1 - 2 \cdot hf$	210.4...	
E	2.3	2.3	
b1	80	80	
r1	$1.16 \cdot m$	4.64	
r2	$1.29 \cdot m$	5.16	
ri	$0.6 \cdot m$	2.4	
la	$0.4 \cdot m$	1.6	
lf	$0.5 \cdot m$	2	
R1	$d1 / 2 + 0.06 \cdot m$	109.6...	

Рис. 1. Параметры зубчатой передачи зацепления Новикова

На рис. 2, 3 представлены 3D-модели зацепления Новикова с ОЛЗ и ДЛЗ в среде T-Flex CAD на основе расчетов, реализованных в САПР.



Рис. 2. 3D-модель зацепления Новикова с ОЛЗ



Рис. 3. 3D-модель зацепления Новикова с ДЛЗ

Созданные параметрические модели позволяют автоматизировать расчеты для построения зубчатых колес зацепления Новикова с одной и двумя линиями зацепления, посредством изменения модуля колеса, числа зубьев, толщин колес и угла наклона зубьев. Все расчеты производятся по формулам для косозубых передач и исходных контуров, определяемых ГОСТ 15023-76. Кроме того, возможно визуализация 3D-моделей и создание элементов 2D-чертежей в T-Flex CAD.

Полученные твердотельные 3D-модели используются в учебном процессе на кафедре станков МГТУ «СТАНКИН» при изучении зацепления Новикова.

Список использованных источников

1. Соболев А.Н., Бровкина Ю.И., Некрасов А.Я. Расчет, проектирование и моделирование зацеплений зубчатых передач: учебное пособие - М.: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2015. -142 с.
2. Короткин В.И., Росливкер Е. Г., Павленко А. В. Цилиндрические зубчатые передачи Новикова. - Киев: Тэхника, 1991. - 152 с.
3. Соболев А.Н., Некрасов А.Я., Ягольницер О.В., Бутримова Е.В. Экспериментальная модель оценки технико-экологических показателей станочного оборудования // Вестник МГТУ «Станкин». -2016.-№1(36)-С.33-37.
4. Некрасов А.Я., Соболев А.Н., Арбузов М.О. Инновационный интерактивный программный продукт как средство повышения эффективности проектирования механизмов // Инновации. -2016.-№08(214).–С.104-107.

ВЛИЯНИЕ НАТЯГА НА ПРОЧНОСТЬ ПРОФИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**Кокорев И.А., к.т.н., доцент***Самарский государственный технический университет*

Представлены результаты выбора профильных соединений с учетом натяга посадки. Соединения проверяются расчетом напряженно-деформированного состояния в системе ANSYS Workbench их 3D-моделей, построенных в системе КОМПАС- 3D. В качестве примера выполнен расчет профильных соединений на квадрате. В результате расчетов получено деформированное состояние моделей соединений в целом, распределение контактных давлений, эквивалентных и касательных напряжений.

Одним из важных вопросов при проектировании машин является учет влияния натяга в соединениях типа вал-ступица на их долговечность и несущую способность.

Профильные соединения – разъемные соединения типа вал-ступица, в которых ступица насаживается на фасонную поверхность вала (квадратного, треугольного, эллиптического сечения), применяют для передачи больших вращающих моментов от вала к ступице зубчатого колеса, шкива, и т.п. При реверсивной работе соединения должны иметь натяг.

По сравнению со шпоночными и штифтовыми соединениями профильные соединения имеют меньшую концентрацию напряжений и более высокую точность центрирования. Недостаток – сложность изготовления профильной поверхности.

В данной работе предлагается выбор профильного соединения вала со ступицей проверять расчетом напряженно-деформированного состояния модели узла, состоящей из вала и колеса (ступицы) с соответствующей фасонной посадочной поверхностью. Для расчета используется система ANSYS Workbench. Геометрическая модель узла строится в системе КОМПАС-3D.

В качестве примера выполнен уточненный расчет профильного соединения на квадрате 45×45мм со скругленными углами (ГОСТ 9523-67), длиной 46 мм, нагруженного вращающим моментом $T = 720$ Нм, для двух посадок с натягом по граням $\delta_1=0,015$ мм и $\delta_2=0,009$ мм. Материал вала и ступицы – сталь 45, термообработка улучшение, предел текучести $\sigma_T=540$ МПа.

В ходе работы программы получено деформированное состояние узлов в целом, распределение контактных давлений и эквивалентных и касательных напряжений по всем деталям соединений, учитывающее влияние их взаимодействия и посадок.

На рис. 1 показаны основные этапы решения задачи для профильного соединения с натягом $\delta_1=0,015$ мм: конечно-элементная модель; заделка – фиксация на наружной цилиндрической поверхности ступицы и равенство нулю нормального перемещения на торце вала; нагрузка – вращающий момент, приложенный на грани удаленного торца вала; полное перемещение; распределение эквивалентных и касательных напряжений и контактных давлений. Полное перемещение вала 0,026126 мм. Максимальное эквивалентное напряжение возникает в ступице и равно $\sigma_{\text{экв}}=234,97$ МПа. Максимальное эквивалентное напряжение в вале $\sigma_{\text{экв}}=111,86$ МПа. Во всех деталях максимальное эквивалентное напряжение меньше предела текучести материала. Максимальное значение касательных напряжений в вале $\tau_{\text{max}}=38,607$ МПа. Максимальное контактное давление на рабочих гранях вала и в отверстии ступицы соответственно $p_{\text{max}}=243,71$ МПа и $p_{\text{max}}=188,83$ МПа.

На рис. 2 приведены результаты решения задачи для профильного соединения с натягом $\delta_2=0,009$ мм. Максимальное эквивалентное напряжение возникает в ступице и равно $\sigma_{\text{экв}}=186,7$ МПа. Максимальное эквивалентное напряжение в вале $\sigma_{\text{экв}}=89,504$ МПа. Во всех

деталей максимальное эквивалентное напряжение меньше предела текучести материала. Максимальное значение касательных напряжений в вале $\tau_{\max}=38,658$ МПа. Максимальное контактное давление на рабочих гранях вала и в отверстии ступицы соответственно $p_{\max}=192,91$ МПа и $p_{\max}=150,46$ МПа.

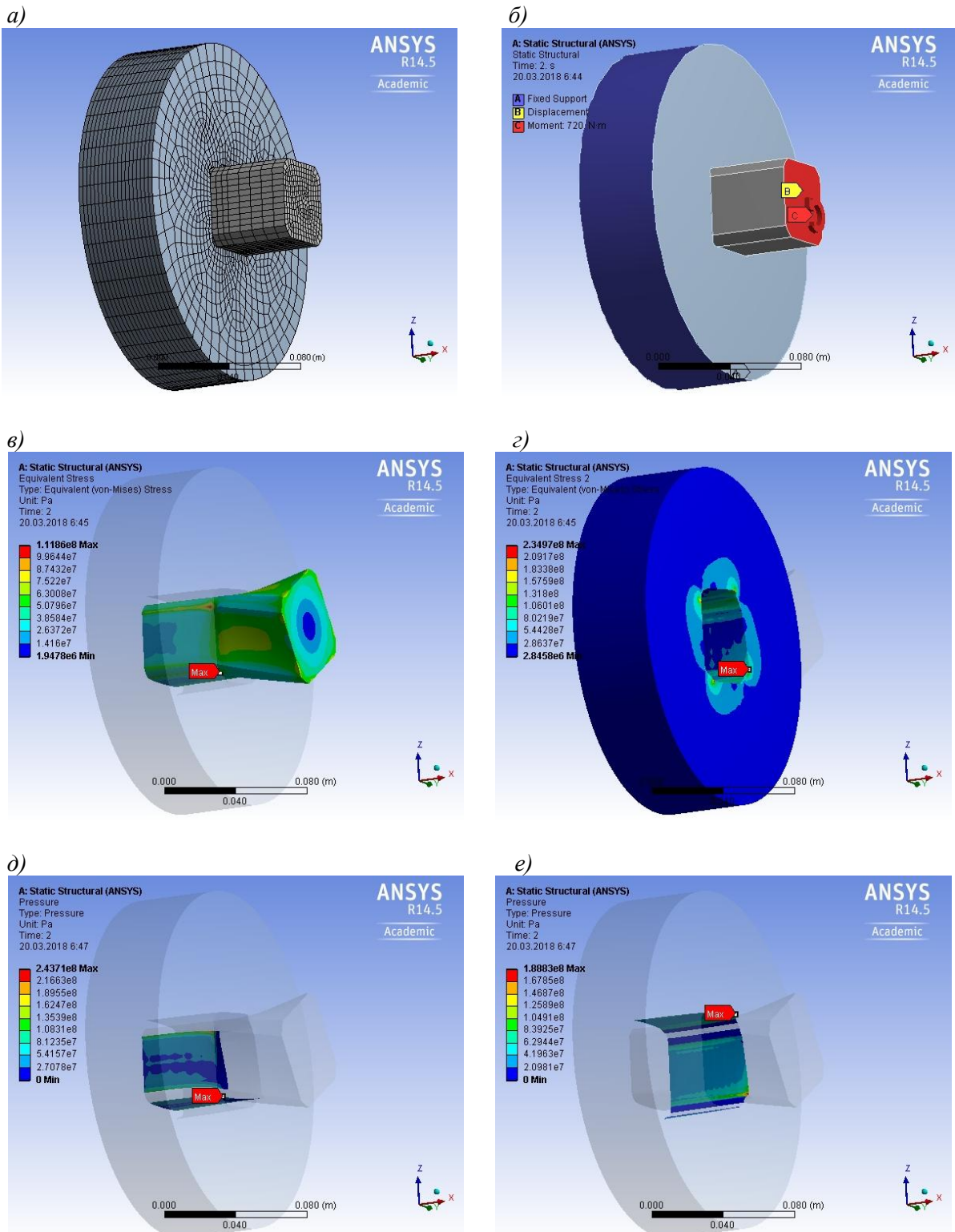


Рис.1. Результаты решения задачи для профильного соединения с натягом $\delta_1=0,015$ мм:
а) – конечно-элементная модель; б) - заделка и нагрузка; в) – эквивалентные напряжения в вале; г) – эквивалентные напряжения в ступице; д) – контактное давление на рабочих участках граней вала; е) – контактное давление на гранях в отверстии ступицы

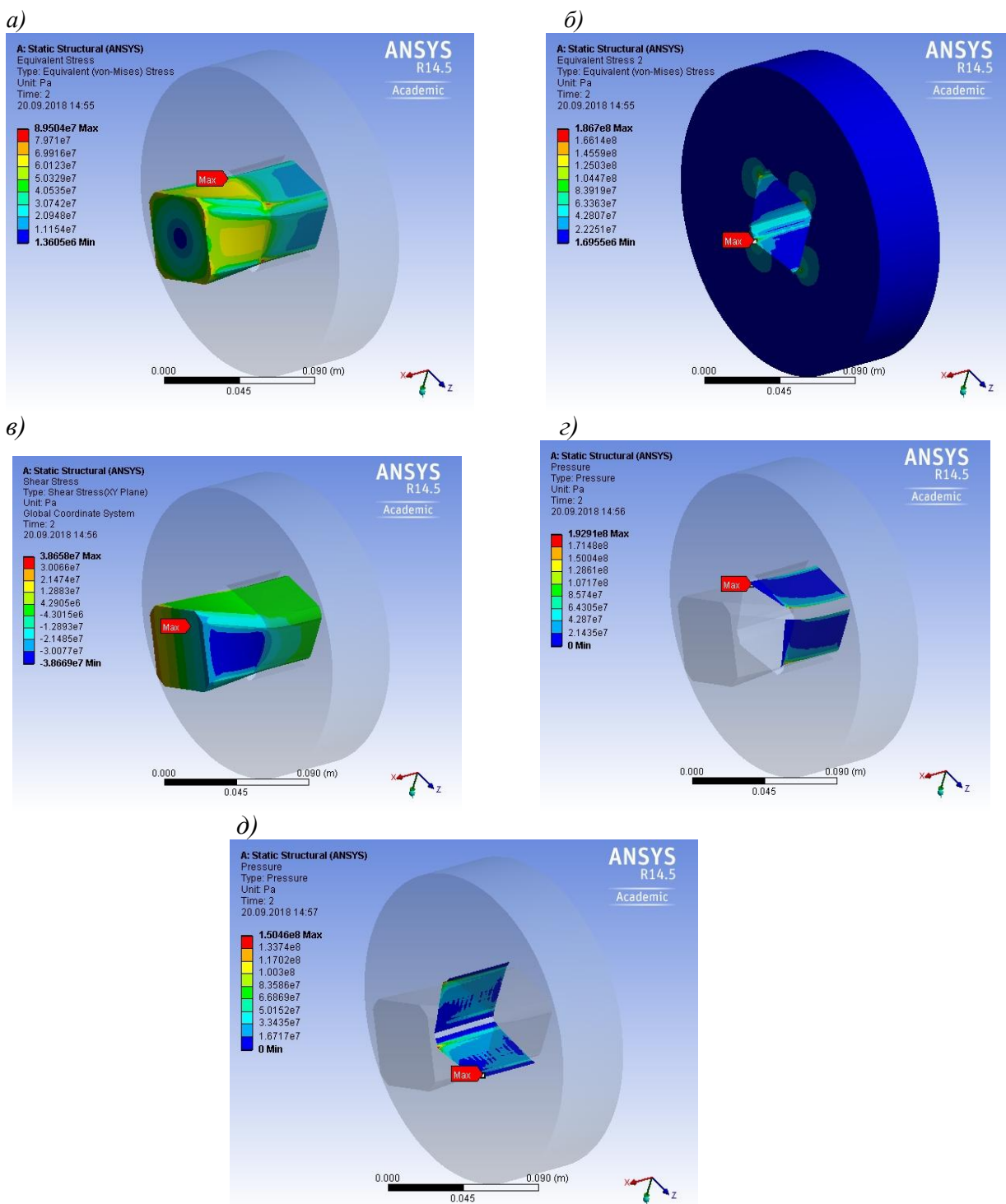


Рис.2. Результаты решения задачи для профильного соединения с натягом $\delta_2=0,009$ мм:
 а) – эквивалентные напряжения в вале; б) – эквивалентные напряжения в ступице; в) – касательные напряжения в вале; з) – контактное давление на рабочих участках граней вала; д) – контактное давление на гранях в отверстиях ступицы

Таким образом, получено напряженно-деформированное состояние профильного соединения вала со ступицей с учетом взаимодействия образующих его деталей и натяга.

Показано влияние натяга на работу деталей профильного соединения.

Полученные результаты могут быть использованы для уточненного расчета и окончательного конструктивного оформления валов. Развитие данного подхода позволит совершенствовать выбор профильных соединений с более точным учетом условий их работы.

РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОСВЯЗИ РЕСУРСА РАБОТЫ ДЕТАЛЕЙ ДВС И ЗАТРАТ НА ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЕ**Ладыгин Р.В., инженер***Самарский государственный технический университет*

В статье приведено задание функции потерь в системе компьютерной математики STATISTICA. Производится сравнение приведенной оценки модели при помощи метода взвешенных наименьших квадратов со стандартным методом наименьших квадратов.

Большинство регрессионных моделей может быть оценено с использованием метода наименьших квадратов, т.е. с использованием в процедуре оценивания функции потерь, равной сумме квадратов отклонений наблюдаемых значений от предсказываемых. По умолчанию, в определяемых пользователем регрессионных моделях используется функция потерь, соответствующая методу наименьших квадратов. Однако, имеются случаи, когда вполне приемлемо использование метода взвешенных наименьших квадратов.

Например, вычисление весов стандартных ошибок в линейной регрессионной модели основывается на предположении, что остатки одинаково распределены на всей области значений независимых переменных. Если же это предположение нарушается, следует рассматривать метод взвешенных наименьших квадратов.

Например, предположим, что конструкторская фирма заинтересована в оценке взаимосвязи между ресурсом работы деталей ДВС (поршней, шатунов, вкладышей и т.д.) и затратами на их изготовление (повышенные требования к материалам заготовок и качеству обработки). Интуитивно понятно, что чем больше ресурс работы, тем больше изменчивость остатков вокруг оцениваемой линии регрессии.

Ниже показан, смоделированный точечный график входных данных (файл данных *Bidjprep.sta*, рис. 1). Заметим, что ресурс деталей двигателя (по горизонтальной оси) измеряется в миллионах циклов, а размер затрат на их изготовление в тысячах рублей. Из графика видно, что изменчивость остатков вокруг линии регрессии действительно больше при больших величинах ресурса деталей.

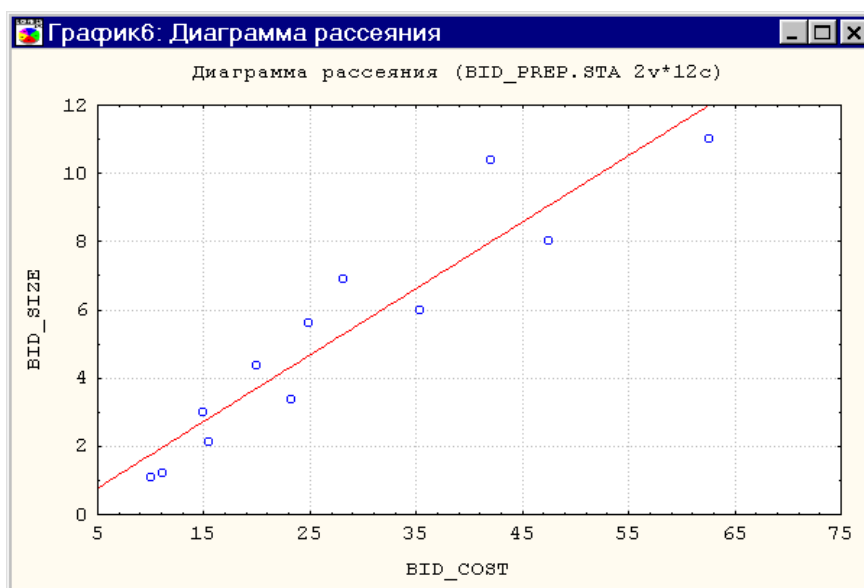
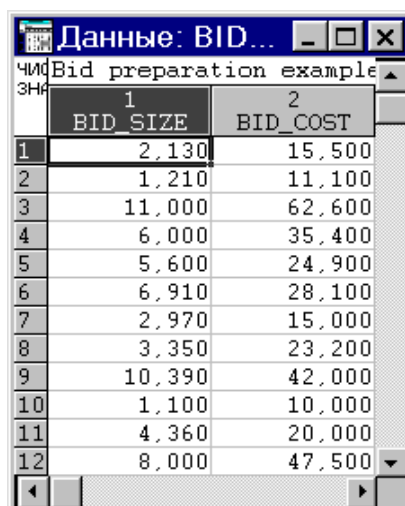


Рис. 1. График входных данных

На интуитивном уровне видно, что можно придать остаткам вес, обратно пропорциональный квадрату значения x , это соответствует ситуации, когда мы придаем одинаковое значение как большим, так и малым значениям ресурса деталей, и в результате, мы получим более стабильную оценку. Этот метод оценивания также называется методом взвешенных наименьших квадратов.

Задание уравнения и функции потерь.

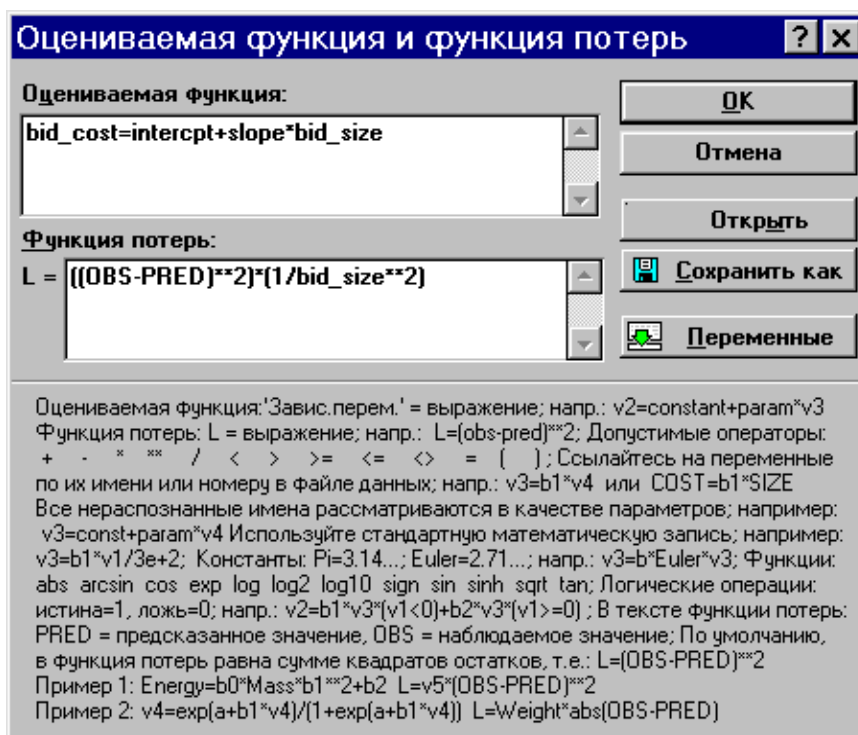
Теперь зададим метод взвешенных наименьших квадратов с использованием программы STATISTICA. После запуска модуля *Нелинейное оценивание*, откроем файл данных *Bidjprep.sta* (рис.2).



	1 BID_SIZE	2 BID_COST
1	2,130	15,500
2	1,210	11,100
3	11,000	62,600
4	6,000	35,400
5	5,600	24,900
6	6,910	28,100
7	2,970	15,000
8	3,350	23,200
9	10,390	42,000
10	1,100	10,000
11	4,360	20,000
12	8,000	47,500

Рис. 2. Файл данных

Выберем опцию *Регрессия, определяемая пользователем* стартовой панели и нажмем на кнопку *Оцениваемая функция и функция потерь*. В диалоговом окне *Оцениваемая функция и функция потерь* (рис. 3), зададим стандартное уравнение линейной регрессии ($bid\ cost = intercept + slope * bid_size$) и следующую функцию потерь:



Оцениваемая функция и функция потерь

Оцениваемая функция:
`bid_cost=intercpt+slope*bid_size`

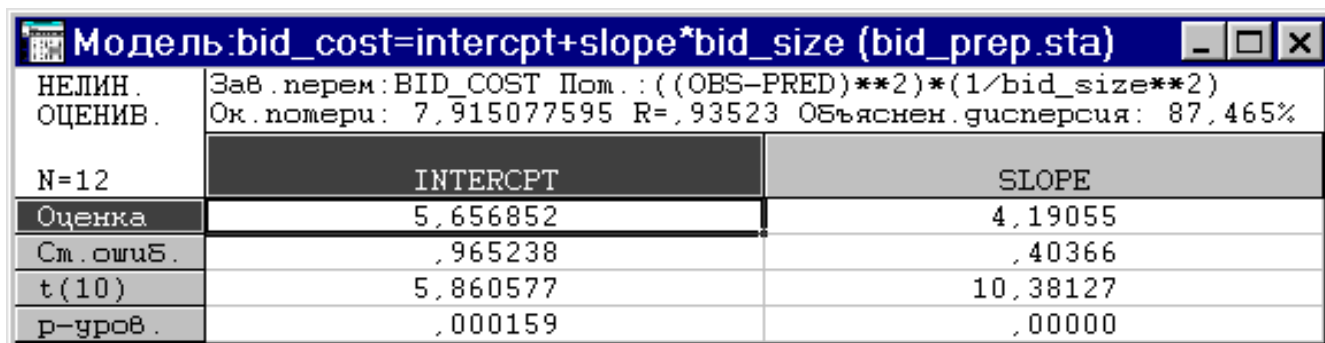
Функция потерь:
`L = ((OBS-PRED)**2)*(1/bid_size**2)`

Оцениваемая функция: 'Завис.перемен.' = выражение; напр.: $v2 = constant + param * v3$
 Функция потерь: L = выражение; напр.: $L = (obs - pred)^{**2}$; Допустимые операторы:
 + - * ** / < > >= <= <> = { }; Ссылайтесь на переменные по их имени или номеру в файле данных; напр.: $v3 = b1 * v4$ или $COST = b1 * SIZE$
 Все нераспознанные имена рассматриваются в качестве параметров; например:
 $v3 = const + param * v4$ Используйте стандартную математическую запись; например:
 $v3 = b1 * v1 / 3e+2$; Константы: $Pi = 3.14...$; $Euler = 2.71...$; напр.: $v3 = b * Euler * v3$; Функции:
 abs $arcsin$ cos exp log $log2$ $log10$ $sign$ sin $sinh$ $sqrt$ tan ; Логические операции:
 $истина = 1$, $ложь = 0$; напр.: $v2 = b1 * v3 * (v1 < 0) + b2 * v3 * (v1 >= 0)$; В тексте функции потерь:
 $PRED$ = предсказанное значение, OBS = наблюдаемое значение; По умолчанию,
 в функция потерь равна сумме квадратов остатков, т.е.: $L = (OBS - PRED)^{**2}$
 Пример 1: $Energy = b0 * Mass * b1^{**2} + b2$ $L = v5 * (OBS - PRED)^{**2}$
 Пример 2: $v4 = exp(a + b1 * v4) / (1 + exp(a + b1 * v4))$ $L = Weight * abs(OBS - PRED)$

Рис. 3. Диалоговое окно *Оцениваемая функция и функция потерь*

Первая часть функции потерь (т.е. $(OBS - PRED)**2$) задает обычную сумму квадратов. Однако при каждом наблюдении потери оцениваются весом, равным единице на квадрат ресурса работы деталей ДВС (т.е. умножаются на $(1/bid_size**2)$).

Оценивание и результаты. Можно оценить эту модель, не меняя установленных по умолчанию значений в диалоговом окне *Оценивание модели*. На рис. 4 показаны оценки параметров и их стандартные ошибки (доступные при нажатии на кнопку *Параметры и стандартные ошибки* в окне *Результаты*)'.



Модель: bid_cost=intercpt+slope*bid_size (bid_prep.sta)		
НЕЛИН. ОЦЕНИВ.	Зав.перем: BID_COST Пом.: ((OBS-PRED)**2)*(1/bid_size**2) Ок. номеру: 7,915077595 R=,93523 Объяснен. гуснерсия: 87,465%	
N=12	INTERCPT	SLOPE
Оценка	5,656852	4,19055
Ст. ошиб.	,965238	,40366
t(10)	5,860577	10,38127
p-уров.	,000159	,00000

Рис. 4. Параметры и стандартные ошибки

Приближенные значения стандартных ошибок для свободного члена и углового коэффициента равны .965 и .404, соответственно. При повторном анализе данных, с использованием стандартного метода наименьших квадратов (или с помощью модуля *Множественная регрессия*), получим стандартные ошибки, равные 3.252 и .5285, соответственно (рис.5).



Рабочая книга8* - Модель: v2 = intercpt + slope*bid_size (Bid_prep.sta)						
Модель: v2 = intercpt + slope*bid_size (Bid_prep.sta)						
Зав. Пер.: BID_COST						
Уров. значимости: 95.0% (альфа=0.050)						
	Оценка	Стандарт ошиб.	t-знач. сс = 10	p-знач.	Ниж. Дов Предел	Вер. Дов Предел
intercpt	4,228946	3,251736	1,300520	0,222595	-3,01637	11,4742
slope	4,515275	0,528473	8,544001	0,000007	3,33776	5,6927

Рис. 5. Результаты анализа методом наименьших квадратов

Отсюда, можно заключить, что оценки параметров, основанные на методе взвешенных наименьших квадратов, более стабильны (более устойчивы к случайным изменениям исследуемой выборки).

Список используемых источников

1. STATISTICA. Руководство пользователя. Т.3.1995г.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИПОЦИКЛОИДАЛЬНЫХ ПЕРЕДАЧ

Некрасов А.Я., к.т.н., доцент; Соболев А.Н., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Описываются достоинства и недостатки гипоциклоидальных цевочных передач. Дается описание методов и инструментов автоматизированного проектирования гипоциклоидальных передач.

Одной из важнейших задач современного машиностроения является создание механизмов, обладающих высокой эффективностью: малыми массой и габаритами при высоком нагружении. Для решения этой задачи необходима автоматизация проектной процедуры конструирования эффективных механизмов, приводящая к обеспечению точности деталей механизмов и выбору оптимальных вариантов конструкции [1-4]. Автоматизация конструирования устройств, передающих крутящий момент и от которых зависит многие параметры, является весьма актуальной задачей.

В настоящее время гипоциклоидальные цевочные механизмы используются в различных технологических машинах. Они перспективны для использования в космическом машиностроении и робототехнике.

Выделим преимущества циклоидальных цевочных передач:

- пониженный износ профилей за счет использования зацепления выпуклого профиля с вогнутым;
- больший, чем в эвольвентной зубчатой передаче, коэффициент перекрытия;
- меньшая скорость скольжения профилей и их износ;
- простота изготовления при использовании технологического оборудования с числовым программным управлением.

Выделим недостатки циклоидальных цевочных передач:

- сложный профиль режущего инструмента и повышенная стоимость изготовления при отсутствии соответствующего парка станков с ЧПУ;
- необходимость точного обеспечения межосевого расстояния (погрешности межосевого расстояния изменяют передаточное отношение передачи).

На рис. 1 показан пример компактного редуктора с гипоциклоидальным цевочным зацеплением [3, 4]. Ведущий вал 1 с помощью роликового подшипника 3 и эксцентрика 2 передает движение сателлиту 4, который, опираясь на поверхность зубцов неподвижного центрального колеса 6 роликами 5, получает вращательное движение. Это движение передается на ведомый вал 9 посредством роликов 7, которые обкатываются в отверстиях 8 сателлита.

Повышенная нагрузочная способность с гипоциклоидальных передач обеспечивается многопарностью зацепления и более благоприятной с точки зрения работы на изгиб формой зубьев по сравнению с эвольвентной формой. При цевочном зацеплении число зубьев, одновременно передающих нагрузку, существенно больше, чем при реализации такой же передачи с эвольвентными зубьями.

Основной проблемой при проектировании гипоциклоидальных передач является расчет геометрии рабочих элементов деталей.

Для выполнения проектировочного расчета гипоциклоидальной передачи необходимы исходные данные аналогичные для расчета эпициклоидальной передачи:

- Момент на выходном валу механизма.
- Частота вращения выходного вала.

- Передаточное число механизма.
- Требуемый ресурс.
- Вероятность безотказной работы.
- Режим нагружения.

Расчет механизма осуществляется по следующему алгоритму:

- Определение коэффициента укорочения гипоциклоиды λ .
- Определение геометрических параметров сателлита и цевочного (центрального) колеса.
- Кинематический анализ механизма.
- Силовой анализ механизма.
- Вычисление ориентировочных масс деталей передачи.
- Выбор и проверка подшипника.

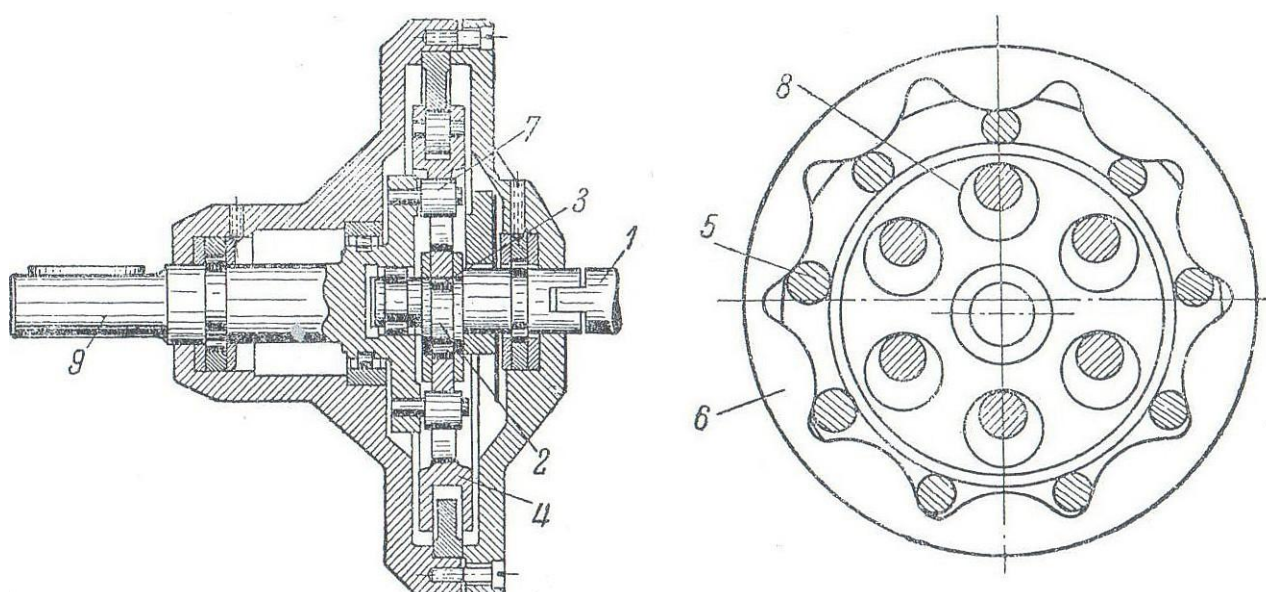


Рис. 1. Редуктор с гипоциклоидальной передачей:

1 – ведущий вал; 2 – эксцентрик; 3 – роликовый подшипник; 4 – сателлит; 5 – ролики (цевки); 6 – центральное колесо; 7 – ролики на пальцах; 8 – отверстия сателлита)

Большое количество расчетов требует автоматизации процедуры конструирования гипоциклоидальной передачи с построением необходимых твердотельных моделей со сложной геометрией в САПР, на основе которых могут быть выполнены рабочие чертежи деталей. Кроме того, вместо долбежных станков для изготовления гипоциклоидальных колес (с внутренним профилем) могут быть использованы станки с ЧПУ, что требует автоматизации формирования управляющей программы.

Авторами разработано программное приложение на языке C#, которое реализует необходимые геометрические построения в среде T-Flex CAD и обеспечивает формирование управляющих программ ЧПУ для обработки циклоидального профиля.

Выделим основные преимущества разработанного программного приложения для автоматизированного проектирования гипоциклоидальных передач:

- Быстрое формирование и визуализация получаемых проектных решений в CAD-системе.
- Выполнение силового и кинематического анализа с получением данных для построения соответствующих графиков зависимостей.
- Уточнение поправочных конструктивных коэффициентов.
- Сокращение сроков проектирования гипоциклоидальной передачи.
- Формирование управляющих программ ЧПУ на основе рассчитанных геометрических координат точек деталей сложной формы.

- Возможность внедрения разработанного программного приложения на машиностроительных предприятиях и в учебный процесс в рамках курсов «Теория механизмов машин», «Прикладная механика». Апробирование разработанного модуля для формирования управляющих программ проведено в МГТУ «СТАНКИН» в рамках курса «Программирование автоматизированного оборудования» на станке Wabeco 1210D с системой ЧПУ Mach3 (класс PCNC).

Развитие разработанного программного приложения предполагает его адаптацию для решения автоматизированных проектных процедур в САПР SolidWorks.

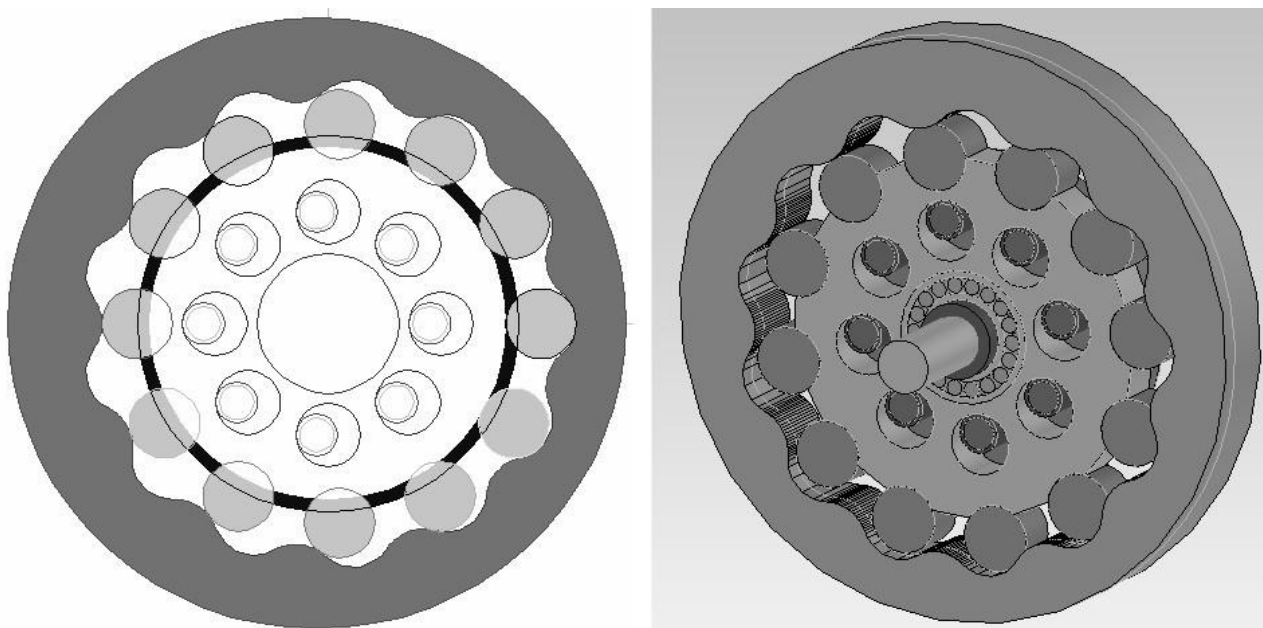


Рис. 2. Схема-модель гипоциклоидальной передачи при $u=12$, автоматически сформированная в трехмерной среде T-Flex CAD

Список использованных источников

1. Гречишников В.А., Исаев А.В., Купцов В.Р. и др. Математическая модель и практическая реализация высокопроизводительной обработки деталей циклоидального редуктора для роботизированного механообрабатывающего комплекса // Вестник МГТУ «Станкин». 2016. № 4(39). С. 79–84.
2. Некрасов А.Я., Соболев А.Н., Арбузов М.О. Инновационный интерактивный программный продукт как средство повышения эффективности проектирования механизмов // Инновации. 2016. №08(214). С.104-107.
3. Соболев А.Н., Некрасов А.Я., Арбузов М.О., Ривкин А.В. Совершенствование методики автоматизированного проектирования гипоциклоидальных цевочных передач // Технология машиностроения. 2017. № 10. С. 44-49.
4. Шанников В.М. Планетарные редукторы с внецепроидным зацеплением. – М.: Машгиз, 1948. – 172 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

Некрасов А.Я., к.т.н., доцент; Соболев А.Н., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

В работе рассмотрены пути повышения эффективности проектирования механических передач с промежуточными телами качения. Описаны современные программные средства, обеспечивающие расчет сложной геометрии и автоматизацию построений 3-х мерных моделей механизмов в CAD-системе.

В настоящее время механические передачи с промежуточными телами качения нашли применение в таких областях как робототехника и космическое машиностроение. Использование таких передач связано с необходимостью передавать большие мощности в ограниченном пространстве. В передачах с промежуточными телами качения (ППТК) трение скольжения заменено трением качения, тем самым повышается компактность и нагрузочная способность редукторов вследствие многопоточности [1]. Возможность использования в механических передачах промежуточных тел качения относится к работам Леонардо да Винчи. Первые механизмы с ППТК зацеплением появились в начале XX века, но широкого применения не нашли из-за отсутствия технологических средств изготовления деталей таких передач с заданной точностью и простотой технологии изготовления эвольвентных зубчатых колес механических передач.

Существуют волновые передачи с промежуточными телами качения (ВППТК), которые являются смешанным видом передач двух типов: механической передачи с промежуточными телами качения и волновой зубчатой передачи.

Достоинства ВППТК [1]:

- небольшие габаритные размеры;
- большое передаточное отношение (до 60);
- возможность передавать большие мощности (до 85 кВт);
- расчетный КПД до 0,9...0,94;
- высокий выходной крутящий момент;
- плавность работы и бесшумность работы механизма;
- непрерывность кинематического замыкания.

Недостатки ВППТК:

- возникновение трения скольжения под нагрузкой, вследствие чего снижается КПД и далее происходит нагрев корпусных деталей механизма при длительной работе;
- сепаратор, являющийся тонкостенной деталью, является причиной снижения ресурса всей передачи;
- необходимость использования специализированного оборудования для изготовления деталей передачи.

Совершенствование методов и средств автоматизированного проектирования волновых механизмов с промежуточными телами качения, учитывая высокий уровень сложности геометрии, является важной и актуальной задачей.

На рис. 1 приведен упрощенный эскиз ВППТК. Генератор волн 1, вращаясь, вызывает радиальные перемещения шариков 2 в пазах сепаратора 3. Шарик 4 контактирует с поверхностями зубьев циклоидального колеса 4. Число зубьев зубчатого колеса отличается на единицу от количества шариков, что обеспечивает уменьшение угловой скорости вращения выходного звена. Выходным звеном может быть или сепаратор с шариками или

циклоидальное колесо, при условии фиксации одного из них относительно корпуса редуктора. Как правило, передаточное число передачи по величине на единицу больше количества шариков.

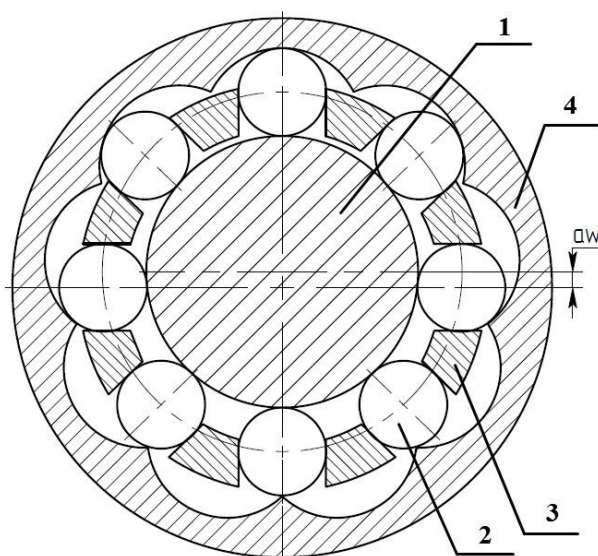


Рис. 1. Упрощенный эскиз ВППТК:
1-генератор волн (эксцентрик); 2-шарики; 3-сепаратор (обойма); 4-зубчатое колесо циклоидального профиля

Помимо выполнения геометрических расчетов передачи необходимо проведение силового анализа, проверочных расчетов с определением жесткости и долговечности.

Необходимость выполнения большого количества вычислительных процедур при проектировании механизмов с промежуточными телами качения требует создания соответствующих современных прикладных программных модулей, разработка которых должна вестись на основе базовых принципов построения систем автоматизированного проектирования [2...4]. При этом необходимо не только автоматизировать расчеты передач, но и построить необходимые твердотельных модели со сложной геометрией деталей в САПР, на основе которых могут быть выполнены рабочие чертежи деталей.

На рис. 2 представлены образцы моделей, которые автоматически создаются в T-Flex CAD и являются результатом работы разработанной авторами программы. Алгоритмы, реализованные в программе, могут быть адаптированы для создания аналогичных моделей в средах Solid Works и AutoCAD при использовании соответствующих интерфейсов программирования.

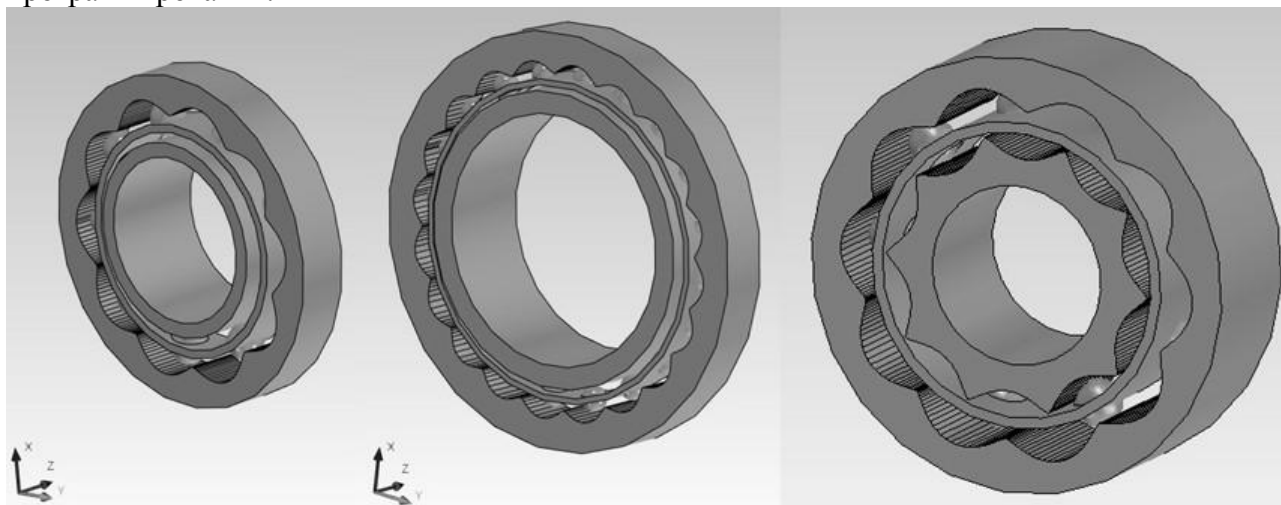


Рис. 2. Модели основных элементов ВППТК, полученные автоматически с использованием разработанного программного обеспечения

Модели механизмов, полученные с использованием программы, можно доработать до законченных проектов механизмов с ППТК (рис. 3).

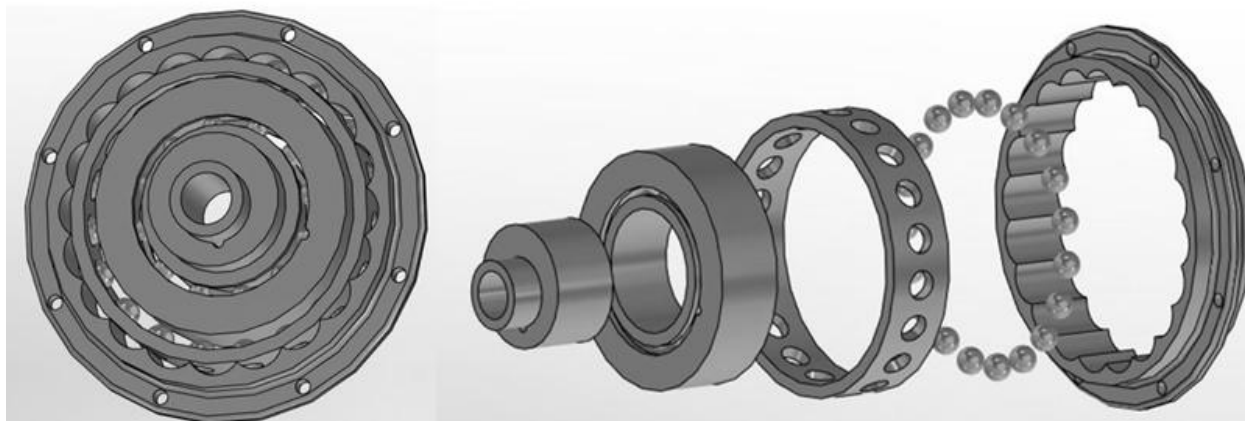


Рис. 3. Трехмерная модель волновой передачи с промежуточными телами качения, разработанная в системе T-Flex CAD

Авторами проведена следующая работа:

1. Разработаны алгоритмы автоматизированного проектирования и моделирования ВППТК.
2. Разработано современное программное обеспечение автоматизированного проектирования и моделирования ВППТК для решения различных конструкторско-технологических задач. Модели, автоматически получаемые с помощью разработанной авторами программы, могут быть использованы для исследования прочности и жесткости в программах, реализующих метод конечных элементов (Ansys, T-Flex Анализ и др.). При необходимости в программе возможно создание управляющих программ для фрезерования контуров ответственных деталей ВППТК на станках с ЧПУ.
3. Методика конструирования и моделирования ВППТК апробирована в рамках лабораторных работ по общетехническим дисциплинам на кафедре станков МГТУ «СТАНКИН». Введение современных информационных технологий в проектирование перспективных механизмов повышает качество общеинженерной подготовки студентов.

Список использованных источников

1. Янгулов В.С. Волновые и винтовые механизмы и передачи. – Томск: ТПИ, 2011. – 184 с.
2. Гречишников В.А., Исаев А.В., Купцов В.Р. и др. Математическая модель и практическая реализация высокопроизводительной обработки деталей циклоидального редуктора для роботизированного механообрабатывающего комплекса // Вестник МГТУ «Станкин». 2016. № 4(39). С. 79–84.
3. Некрасов А.Я., Соболев А.Н., Арбузов М.О. Инновационный интерактивный программный продукт как средство повышения эффективности проектирования механизмов // Инновации. 2016. №08(214). С.104-107.
4. Косов М.Г., Соболев А.Н., Некрасов А.Я. Информационная структура системы нетвердотельного моделирования // Вестник МГТУ «Станкин». 2015. №1(32). С.108-111.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ВОЗДУШНОГО ОТОПИТЕЛЯ ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ РАДИАТОРА С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Родионов В.А., доцент

Самарский государственный технический университет

В статье приведен анализ конструкции теплообменника и радиатора отопителя фирмы ООО "Адверс". Выявлены недостатки указанных изделий и их влияние на эксплуатационные характеристики отопителя. Отмечено, что для эффективного использования устройства необходимо, чтобы вся конструкция радиатора нагревалась теплоносителем. Приведена измененная модель конструкции теплообменника воздушного отопителя и модель спроектированного радиатора, рассмотрен порядок проведения экспериментальных исследований на опытном образце, изготовленном по модели изделий на станках с ЧПУ.

Для ряда автомобилей, эксплуатация которых связана с длительными поездками и стоянками продолжительностью от нескольких часов до нескольких суток, а так же для спасательных, медицинских и автомобилей эксплуатируемых зимой необходим автономный отопительный прибор, который имеет так же некоторый независимый запас топлива. Наличие такого устройства в автомобиле позволяет водителю не только комфортно переночевать на стоянке, но и сэкономить значительное количество топлива, а так же создаст комфортные условия для работы медиков и спасателей. Производством воздушных автомобильных отопителей для грузовых и легковых автомобилей, а так же автобусов занимаются как зарубежные фирмы Webasto, Eberspacher так и отечественные например, ООО "Адверс". Отопитель воздушный фирмы ООО "Адверс" предназначен для автоматического поддержания нормальных условий в кабине (салоне) автомобиля. Ответственным элементом отопителя является теплообменник, который служит для передачи теплоты от горячих газов к радиатору отопителя. Воздух, проходя через ребра радиатора, нагревается и поступает в салон автомобиля. Проанализировав конструкцию теплообменника, с радиаторами, представленную на рис. 1, необходимо отметить следующее: сгорание топлива изначально происходит в жаровой трубе, которая вставлена в теплообменник. Разогретые газы из жаровой трубы перемещаются хаотично вдоль ребер теплообменника, а затем уходят в выхлопную трубу, передавая лишь малую долю тепла стенкам теплообменника.



Рис. 1. Фотография теплообменника отопителя с радиаторами

Радиаторы, которые состоят из шести половин и соединены между собой специальными пластинчатыми пружинами крепятся внутренней цилиндрической поверхностью на наружной цилиндрической поверхности теплообменника. Как известно из теории базирования, сопряжение, которое происходит по цилиндрической поверхности, не

может обеспечить плотный контакт так необходимый для передачи тепла от теплообменника к радиаторам, которые в свою очередь предназначены для передачи тепла воздуху, поступающему в салон автомобиля. Необходимо отметить, что этот факт является конструктивным недостатком, так как для повышения площади контакта между указанными цилиндрическими поверхностями нужно повысить точность обработки, а так же снизить шероховатость указанных поверхностей, что неизбежно приведет к удорожанию стоимости изделия.

Традиционно радиатор, предназначенный для теплообмена, представляет собой некоторую конструкцию, в которой существует магистраль и по ней движется теплоноситель. На магистрали имеются ребра, которые омывает поток (воздуха или жидкости). В данном радиаторе передача тепла от теплоносителя к ребрам, которые к тому же расположены на периферии, происходит только за счет теплопроводности материала, из которого изготовлен радиатор. Отмеченный недостаток можно обнаружить так же в конструкциях тепловых автомобильных приборов зарубежных фирм. На основе анализа конструкции различных тепловых автомобильных приборов были разработаны 3D модель теплообменника и радиатора (рис. 2). Затем, указанные выше изделия были изготовлены в металле. Необходимо отметить, чтобы остальные детали отопителя и технология их изготовления остались прежними, теплообменник и радиаторы были модернизированы, а существующие габаритные размеры указанных деталей были сохранены.

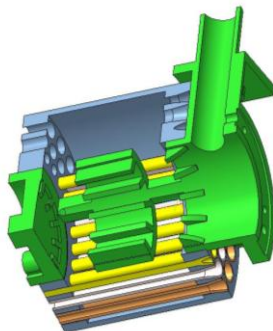


Рис. 2. Разрез модели измененных деталей

Для модели данной конструкции теплообменника и радиатора перед их изготовлением были выполнены тепловые и гидравлические расчеты. Целью гидравлического расчета является определить увеличение расхода нагреваемого воздуха, проходящего через систему каналов (отверстий) теплообменника при заданном перепаде давлений воздуха до теплообменника и после него. При этом можно принять, что на выходе из теплообменника давление воздуха является атмосферным.

Расход воздуха, проходящий через магистраль круглого сечения можно определить по выражению

$$V = wf = w \frac{\pi d^2}{4}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1)$$

где w – скорость воздуха, м/с; f – площадь поперечного сечения магистрали, м^2 ; d – диаметр магистрали, м.

Потери величины напора при течении по круглому сечению можно определить по соотношению:

$$\Delta p = \lambda \frac{l_{\text{пр}}}{d} \frac{w^2 \rho}{2}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент трения; $l_{\text{пр}}$ – приведенная длина магистрали, учитывающая наличие местных сопротивлений; ρ – плотность воздуха (средняя по длине), $\text{кг}/\text{м}^3$.

На следующем этапе необходимо выполнить тепловой расчет, в котором для определения количества теплоты, передаваемой от теплообменника к нагреваемому воздуху,

определяются значения коэффициентов теплоотдачи на границе «стенка теплообменника – воздух». Средний коэффициент теплоотдачи по всей длине, по которой движется воздух, может быть определен по следующему уравнению

$$\overline{Nu} = 0,022 Re^{0,8} Pr^{0,43}, \quad (3)$$

где $Re = \frac{v d}{\nu}$ – число Рейнольдса; v – скорость течения воздуха в канале; d – внутренний диаметр трубки; ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха; $Pr = \nu / a$ – число Прандтля; a – коэффициент температуропроводности воздуха; $Nu = \frac{\alpha_{cp} d}{\lambda_b}$ – число Нуссельта; α_{cp} – коэффициент теплоотдачи; λ_b – коэффициент теплопроводности воздуха.

Величина теплового потока, Вт от корпуса теплообменника к воздуху определялась по формуле

$$Q = \overline{\alpha}_{cp} F \Delta t, \quad (4)$$

где F – площадь поверхности теплообмена со стороны воздуха; $\Delta t = t_{ct} - t_b$ – средний температурный напор; t_{ct} – средняя температура стенки; t_b – средняя температура воздуха.

Расход воздуха, кг/час определялся по формуле

$$G_b = V \rho_b, \quad (5)$$

где V_b – объемный расход воздуха, м³/час; ρ_b – плотность воздуха, кг/м³.

Полезная мощность нагревателя, кВт была определена как

$$N_n = Q_b / 3600, \quad (6)$$

Количество теплоты кДж/час, выделенное при сгорании топлива, определялось по выражению

$$Q_t = Q_n^p G_t, \quad (7)$$

где Q_n^p – теплота сгорания топлива ($Q_n^p = 42700$ кДж/кг).

Затраченная мощность, кВт подогревателя определялась по формуле

$$N_z = Q_t / 3600, \quad (8)$$

Произведенные расчеты показали, что увеличение площади поверхности, с которой производится съём тепла, значительное, по сравнению с заводским вариантом радиатора.

Ртутным термометром измерялась температура воздуха на входе и выходе отопителя и температура уходящих газов. Температура корпуса теплообменника измерялась с помощью термопар, которые были установлены следующим образом – две на входе в теплообменник и две на выходе и затем соединены с потенциометром.

Таким образом, проведенные испытания показали, что разработанная конструкция радиатора отопителя и теплообменника улучшила тепловые характеристики испытуемого устройства. Коэффициент передачи теплоты, определенный экспериментально, имеет незначительное расхождение с расчетными параметрами и равен 0,65.

Список использованных источников

1. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Техническая термодинамика. Учеб. пособие для вузов. 5-е издание. М.: Высшая школа, 2007. 261 с.
2. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика. Учеб. пособие для вузов. 3-е издание. М.: Высшая школа, 2008. 200 с.
3. Носов Н.В., Родионов В.А. Конструкция и принцип работы теплообменника отопителя «Планар 4Д–24». Метод. указ. к лаб. работе. Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2008. 27 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФНОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОТТИСКА НА ТОНКОЛИСТОВОМ МАТЕРИАЛЕ В ПРОГРАММЕ SOLIDWORKS

Солодова Н.О., магистрант

Самарский государственный технический университет

Приведены различные технологии изготовления медалей, рассмотрены технологии изготовления тонколистовых медалей, определены различные ограничения при моделировании матрицы для получения оттиска на тонколистовом материале.

Сувенирная продукция, представленная на современном рынке, очень часто изготавливается в форме различных медалей. В свою очередь медали классифицируются по тематическим особенностям [1] на следующие категории: медали с портретным изображением, медали с изображением исторических событий, медали с изображением миниатюрных рельефов различных пейзажей, медали на различные темы, в том числе корпоративные. Последние, предназначенные для узкого круга лиц, в медальерной терминологии получили название провизории, то есть медали временного характера. Медаль обычно выполняют в виде металлического знака, которая имеет круглую форму и выпуклое изображение. Медаль состоит из лицевой стороны-аверса, оборотной стороны-реверса и имеет грань-гурт со стороны медали. Различные виды медалей изготавливаются по различным технологиям определенными партиями (сериями).

Литье – такой способ применяется в случае создания сложных, тематических картинок со множеством мелких элементов. В этом случае производство медалей начинается с разработки эскиза, по которому создается литейная форма. Далее формы заполняются расплавленным металлом центробежным или вакуумным методом. Для производства памятных медалей с лазерной гравировкой используется стандартная заготовка по выбору заказчика, после чего на награду наносится желаемое изображение, а возможно имя и фамилия одариваемого, памятная надпись. Такая продукция считается эксклюзивной. Эксклюзивные цельнометаллические именные медали, как правило, изготавливаются очень малыми тиражами, поскольку требуют применения особых технологий, а также ручной обработки и являются именными. Изготовление медалей технологией травления производится таким способом: с помощью специальной кислоты на заготовке выполняются углубления, которые заливают особой краской. Сам процесс заключается во взаимодействии металла с электролитом. Филигранное литье – достаточно дорогой способ изготовления, позволяет производить миниатюрные медали высокого качества. Техника клуазон основана на нанесении слоя специальной пасты на заготовку. Данную заготовку прежде подвергают термической обработке. В итоге на поверхности медали образуется стекловидный слой. Наиболее распространенный метод, позволяющий выпускать продукцию большими тиражами – это штамповка. Данная технология считается одной из самых распространенных для изготовления медалей. Ее суть в пластической деформации заготовки с помощью давления. При этом происходит изменение размеров заготовки. Медали, изготовленные штамповкой, характеризуются как массовые или серийные, а штампы для них выполняются гравёрами по авторскому рисунку.

Особо необходимо отметить изготовление медалей из тонколистовых материалов [1, 2] – это гальванопластика и технология басмы. Гальванопластика – технология очень сложная и многоэтапная, а предназначена она для тиражирования медалей. Технология басмы предназначена изначально так же для тиражирования, только чеканки. Но в сочетании с компьютерными технологиями и обработкой на фрезерно – гравировальном станке с ЧПУ позволяет изготавливать медали из тонкого листа различных пластичных материалов.

Современные компьютерные технологии моделирования [3...5], а так же процессы позволяют не только упростить процесс моделирования эскизов и медалей, но так же сократить время изготовления технологической оснастки и оценить возможные риски до момента её изготовления. Художник-дизайнер с помощью компьютерной программы, например SolidWorks, создает 3D модель изделия, прорабатывает все мелкие детали.

Преимущество программы SolidWorks состоит в том, что можно увидеть будущее изделие со всех сторон в объеме и придать ему реалистичное отображение в соответствии с выбранным материалом для предварительной оценки дизайна. Трехмерное моделирование дает массу преимуществ перед традиционным двумерным проектированием, например исключение ошибок собираемости изделия на этапе проектирования, создание по электронной модели детали управляющей программы для обработки на станке с ЧПУ.

Трехмерная деталь SolidWorks получается в результате комбинации трехмерных примитивов. Большинство элементов основаны на плоском эскизе, по которому создается базовый трехмерный объект. Последовательное наращивание 3D объектов и позволяет в итоге получить желаемый результат. Выполнение эскиза с дальнейшим построением миниатюрного рельефа на плоскости в замкнутом пространстве является сложной задачей даже для компьютерных программ. Воспроизводимый рельеф на плоскости к тому же с ограниченным пространством, должен выполняться планами с перспективными изображениями фигур и предметов.

Пример 3D модели аверса медали выполненный с помощью программы SolidWorks приведен на рис. 1.



Рис. 1. Модель аверса наградной спортивной медали

Кроме выше изложенного, при разработке эскиза и дальнейшим построении 3D модели необходимо учитывать ограничения связанные с предельными деформациями допустимыми при подъеме рельефа на тонколистовом материале. Так, например, переходы от горизонтальных участков к наклонным или вертикальным должны осуществляться по радиусу, причём внутренние радиусы r (см рис.2) более подвержены разрушению при выдавливании рельефа, чем наружные R .

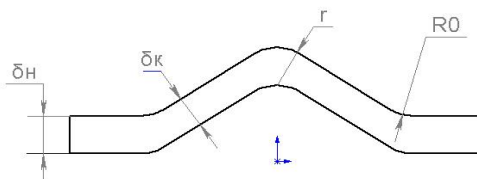


Рис.2. Сечение некоторой области объёмного рельефа

Для оценки степени деформации поверхности можно использовать соотношение:

$$\varepsilon = \frac{Fp}{F},$$

где Fp - площадь поверхности рельефа, F - площадь поверхности листовой заготовки. Программа SolidWorks автоматически вычисляет площадь поверхности, для этого необходимо на эскизе нужно указать поверхность (см. рис. 3), а затем на вкладке массовых характеристик прочитав результат. Затем файл с 3D моделью рельефа загружают в другую

программу, например Power Mill, которая позволяет создать программу обработки на станке с ЧПУ и затем по выбранной технологии изготовить изделие.

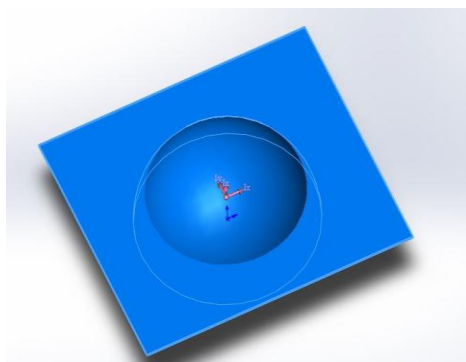


Рис.3. Скриншот поверхности модели

Для формирования качественного, контрастного оттиска в технологии басмы применяют удар, например с помощью молота. Процесс некоторого физического удара двух твердых тел разделяют, как правило, на фазы. В течение – первой, её очень часто называют нагрузочной, происходит возрастание ударных сил, и при этом кинетическая энергия переходит в энергию упругого деформирования тел в точках их контакта при ударе. После максимального сближения, начинается вторая фаза процесса, так называемая разгрузочная, при которой происходит спад тех самых ударных сил вплоть до прекращения взаимодействия тел. Размеры и форма тел при этом восстанавливаются.

Таким образом, применение компьютерного моделирования, как рельефа матрицы, так и технологии изготовления позволяет упростить процесс и сократить время изготовления медали из тонколистового материала. Применение технологии басмы для получения медалей небольших серий позволяет применять для материала матрицы обычную конструкционную сталь без последующей термообработки, так как усилия прессования незначительны, а изготовление пуансона вообще не требуется. Все вышеперечисленное может позволить сделать процесс изготовления медалей небольшими партиями недорогим.

Список использованных источников

1. Одноралов Н.В. техника медальерного искусства: учеб. пособие / Н.В. Одноралов М. Изобраз. Искусство.-1983. – 160с.
2. Родионов В.А., Рязанова Ю. С. Разработка технологической оснастки для изготовления художественного изделия пластической деформацией / В.А. Родионов., Ю. С. Рязанова // Высокие технологии в машиностроении. Материалы всероссийской научно-технической конференции. Самара. Самар. гос. техн. ун-т, 2015. – С. 133-134
3. Гришин Р.Г., Родионов В.А. Моделирование оптимального процесса врезного шлифования колец прецизионных подшипников из закаленных коррозионностойких высокоуглеродистых сталей в зависимости от применяемых охлаждающих жидкостей / Р.Г. Гришин, В.А. Родионов // Известия Самарского научного центра РАН – 2012. №4(3) С.1014-1017.
4. Гришин Р.Г., Родионов В.А., Овчинникова А.И. Моделирование технологического процесса деформации / Р.Г. Гришин, В.А. Родионов, А. И. Овчинникова // Научно-техническое творчество: проблемы и перспективы: сборник статей X Всерос. конф.-семинара / Под общ. ред. А.П. Осипова. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2015. – 141 с. – ISBN 978-5-7964-1864-2;С. 37-40.
5. Родионов В.А., Подкругляк Л.Ю. Моделирование технологического процесса деформирования пружин / В.А. Родионов, Л.Ю. Подкругляк // Известия Самарского научного центра РАН – 2016.- 4(2). – С. 368-372.

К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗУБЧАТО-РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Токарев Б.Н., студент

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Описывается применение зубчато-рычажных механизмов в машиностроении. Обосновывается необходимость применения методов автоматизированного проектирования для решения задач синтеза и анализа зубчато-рычажных механизмов. Приводится описание разработанного авторами программного модуля для решения задач проектирования зубчато-рычажных механизмов.

Зубчато-рычажные механизмы (ЗРМ) нашли применение в области машиностроения и приборостроения. Они позволяют осуществить сложные закономерности движения звеньев. Такие механизмы применяются в устройствах подачи технологического оборудования, стружколомательных устройствах станков. Посредством ЗРМ можно обрабатывать многоугольные профили с высокой точностью [1]. ЗРМ обладают хорошими динамическими характеристиками [2...4]. Несмотря на широкое распространение в последнее время электромеханических (мехатронных) систем, ЗРМ обладают перспективным потенциалом для применения в различных технических системах.

На рис. 1 показана схема устройства механизма подачи бумажной ленты упаковочного автомата. Звенья 1, 2 и 5 образуют кривошипно-коромысловый механизм, оси которого А, В, С и D несут зубчатые колеса z_b , z_c и z_d . От коромысла 5, свободно сидящего на валу 4, движение передается звеном 6 с кулачками E и F на вал 7 ножа 8. Шестерня z_d закреплена на валу 4, передающем вращение на вал 3 через зубчатую пару $z_e - z_f$. Вал вращает вальцы 10, протягивающие ленту 9 под нож 8. При непрерывном вращении кривошипа 1 (и колеса z_b) шестерня z_d сообщает периодическое движение с выстоем вальцам, протягивающим ленту. При повороте кривошипа на угол φ_w нож 8 режет ленту 9.

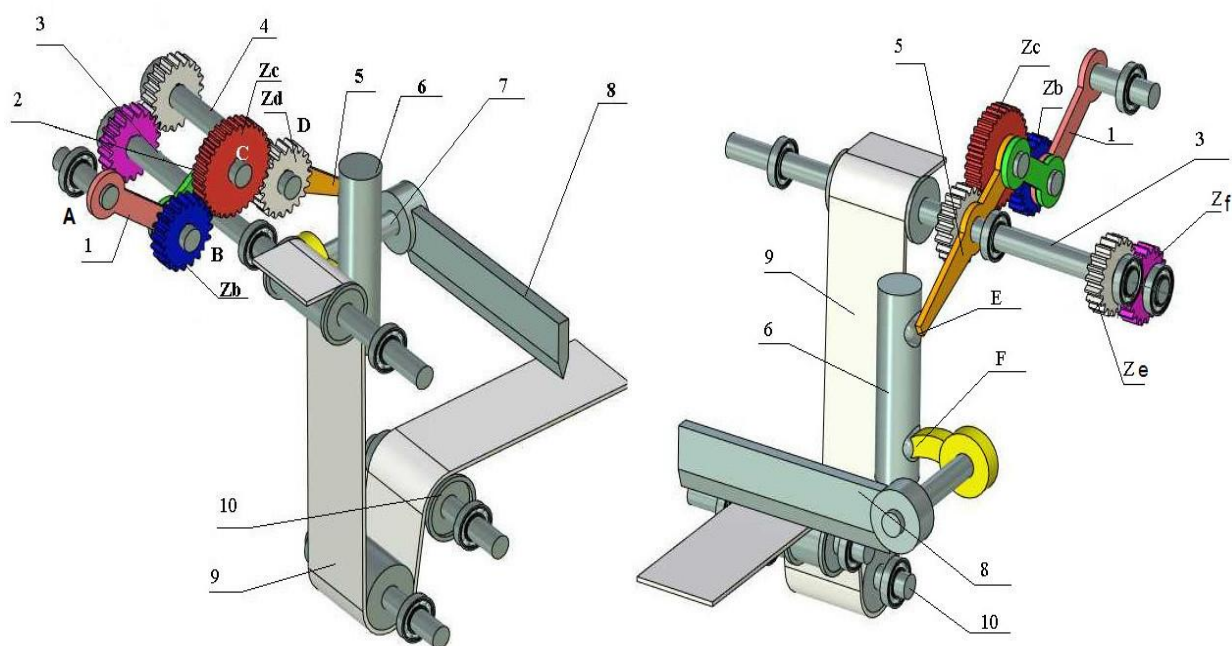


Рис. 1. Схема устройства механизма подачи бумажной ленты упаковочного автомата

Для проектирования ЗРМ необходимо решение задач синтеза, проведения точных расчетов кинематических и динамических параметров. Аналитические математические модели кинематического и динамического анализа ЗРМ сложны из-за необходимости выполнения трудоемких расчетных процедур, построения циклограмм работы и графиков характеристик [2...4]. Таким образом необходима разработка прикладного программного средства для расчета и синтеза зубчато-рычажных механизмов в САД-системах.

Авторами разработан программный модуль на языке C#, который позволяет:

- проводить исследование кинематики зубчато-рычажных двухколесных и трехколесных шарнирных четырехзвенников;
- исследовать область существования механизмов, проводить метрический синтез;
- строить графики функции положения и кривые аналогов угловых скоростей, угловых ускорений, рывка (третьей производной по времени);
- результаты, полученные в ходе автоматизированного синтеза, могут быть использованы для проектирования устройств с ЗРМ (рис. 1);
- программный модуль может быть использован в учебном процессе ВУЗа в рамках курса «Теория механизмов и машин».

На рис. 2 приведено изображение формы разработанного программного модуля.

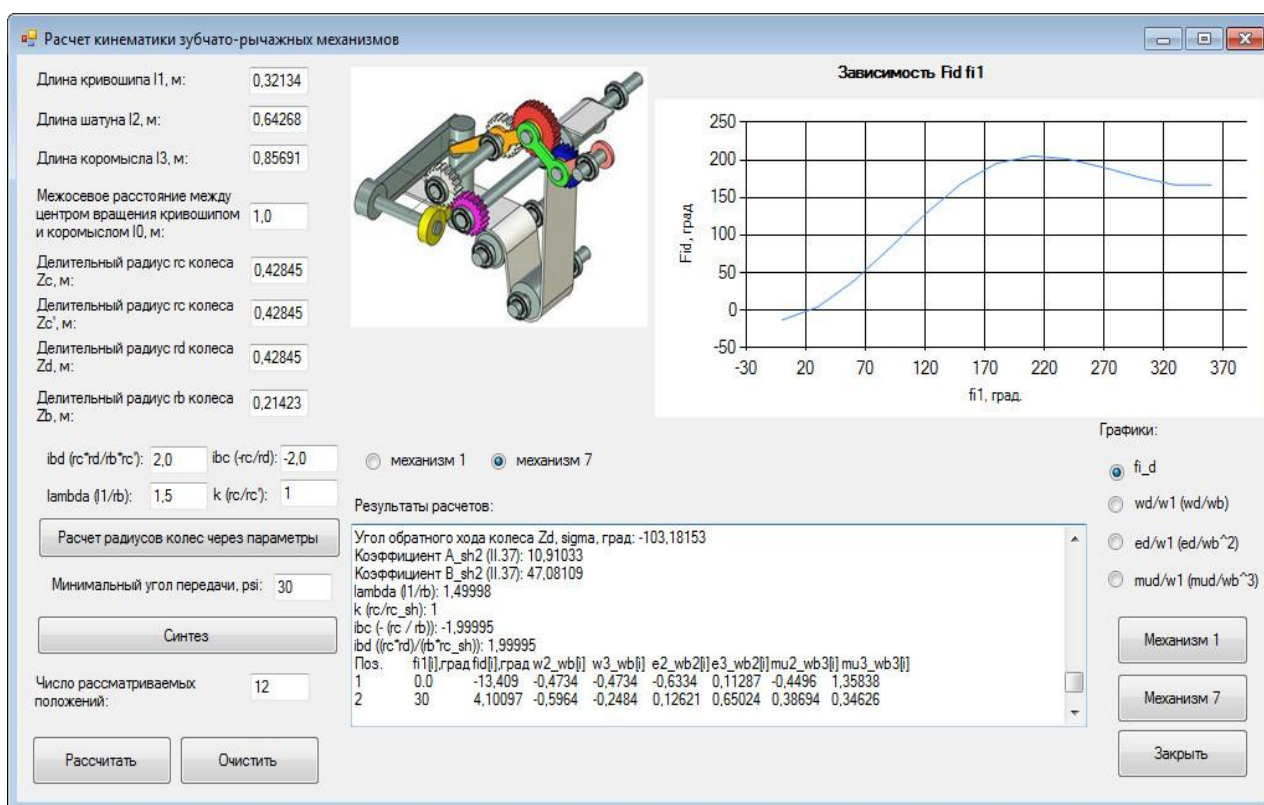


Рис. 2. Вид разработанного программного модуля расчета ЗРМ

Список использованных источников

1. Гречишников В.А. Основные направления совершенствования инструментального производства // Вестник МГТУ «Станкин». 2010. № 1. С. 8–14.
2. Соболев А.Н., Косов М.Г. Автоматизация кинематического и динамического анализа технологических машин // Вестник МГТУ «Станкин». 2010. №2. С. 32-36.
3. Шашкин А.С. Зубчато-рычажные механизмы. – М.: Машиностроение, 1971. - 192 с.
4. Балабина Т.А., Мамаев А.Н., Соболев А.Н. Влияние упругого элемента на движение ведомого звена кулачково-зубчато-рычажного механизма // Вестник МГТУ «Станкин». 2017. №1. С. 43-47.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ЛАНДШАФТНОГО ПРОСТРАНСТВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Шастина К.В., магистрант; Дмитриев В.А., к.т.н., доцент

Самарский государственный технический университет

Представлено оформление ландшафтного дизайна на дачном участке с помощью компьютерных технологий.

Ландшафтный дизайн – это творческая деятельность, направленная на формирование предметно – пространственной среды приемами и средствами ландшафтной архитектуры, художественным конструированием деталей культурного ландшафта [1].

Изучение садово-паркового искусства прошлых веков порой может подсказать нам оригинальные решения для садовых беседок на наших участках. Разнообразные беседки издавна и привычно вписывались в парковые зоны. И хотя каждая эпоха и каждый садовый стиль обычно выдвигал на первые роли вполне определенные архитектурные формы и сооружения, беседки всегда доказывали свою незаменимость. В современном мире существует несколько разновидностей садовых беседок: деревянная, фанерная, металлическая.

Деревянные беседки (рис.1, 2) очень известны и популярны на дачных участках, так как выполнены из экологически чистого материала и легко вписываются в любое ландшафтное пространство; материал не обладает пожаробезопасными свойствами, и необходимо наносить защитное средство на поверхность. Обычно для строительства используют ель или сосну.



Рис.1. Пример деревянной беседки в парковой зоне



Рис.2. Пример деревянной беседки на частном участке

Несмотря на то, что деревянные беседки очень популярны, беседки из металла с каждым годом становятся более покупаемыми. Преимущества таких сооружений – долговечность, пожароустойчивость; с помощью современных компьютерных технологий можно создать уникальные элементы, преобразив конструкцию (рис. 3).

На основе рассмотренных примеров разработана конструкция восьмигранной беседки в программе SolidWorks (рис.4). Основные этапы работы: создание крыши, верхних и нижних перекладин, штамповой оснастки для элементов оформления.



Рис.3. Пример металлической беседки в парковой зоне

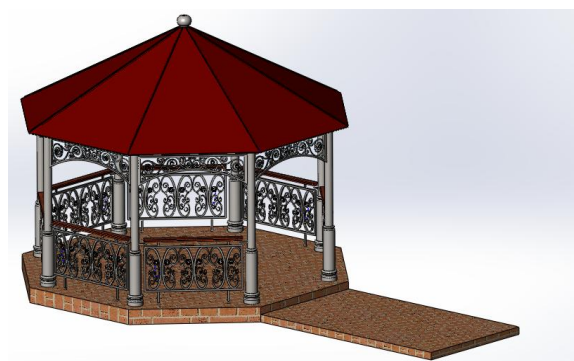


Рис.4. Конструкция восьмигранной беседки

Конструкция беседки на рис. 3 выглядит достаточно просто, поэтому, чтобы придать ей большую эстетичность и красоту, её украсили коваными узорами (рис. 5, 6).



Рис.5. Верхняя перекладина с коваными узорами



Рис.6. Нижняя перекладина с коваными узорами

Для нижней перекладины разработано изделие «Цветок» (рис. 7), которое изготавливается способом листовой холодной штамповки. Исходным материалом служит металлопрокат в виде листов. Разработана конструкция матрицы и пуансона для формообразования изделия в ручьях штампа. На рис. 8 показан процесс формирования изделия «Цветок».



Рис.7. Изделие «Цветок»

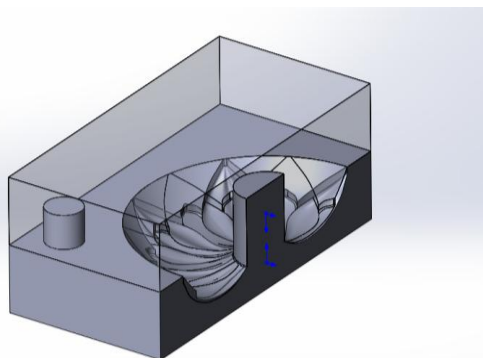


Рис.8. Визуализация процесса формирования изделия «Цветок»

На последнем шаге работы выполнена визуализация дизайна ландшафта дачного участка с помощью операции PhotoView 360 с применением функции редактирования сцены с последующей окончательной отрисовкой вида беседки (рис. 9, 10).



Рис.9. Визуализация беседки на примере дачного ландшафта

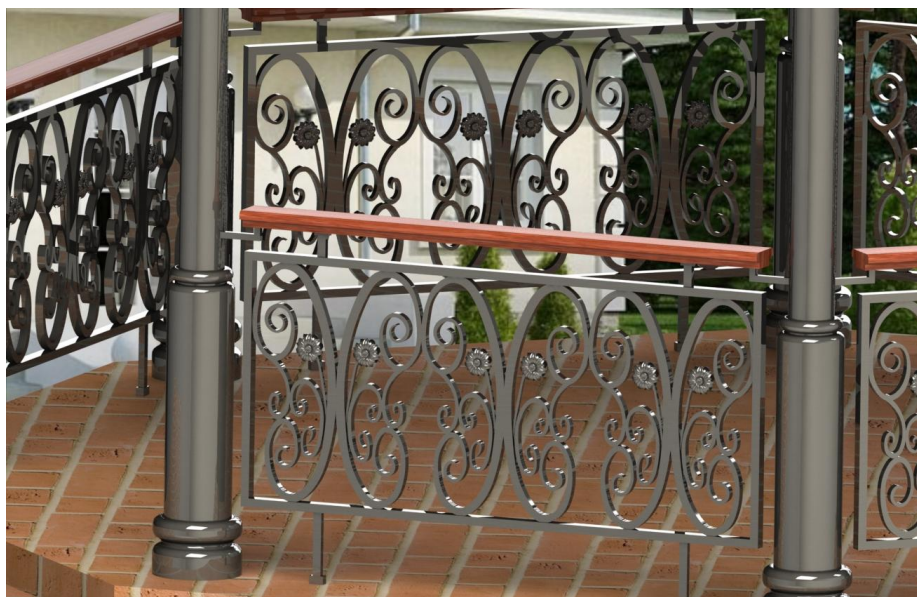


Рис.10. Визуализация нижней перекладины

Таким образом, сочетания основных принципов садово-паркового дизайна и компьютерных технологий проектирования и изготовление художественных изделий позволило создать конструкцию беседки, вписанную в ландшафт дачного участка.

Список использованных источников

1. Сычева А.В. «Ландшафтная архитектура»: Учеб. пособие для вузов/ А.В. Сычева. – 2-е изд., исп. – М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век», 2004. – 87 с.: ил.

СЕКЦИЯ 5. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЯ В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.74.04

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК ВЗАМЕН СТАЛИ МАРКИ 110Г13Л

Аникеев В.В., к.т.н., доцент; Зонненберг Н.Н., ст. преп.

Самарский государственный технический университет

Изучена возможность и выданы рекомендации по применению низколегированных конструкционных сталей для изготовления отливок работающих в условиях абразивного износа взамен стали марки 110Г13Л.

Аустенитная высокомарганцовистая сталь марки 110Г13Л, с содержанием марганца до 15%, сочетая износостойкость при абразивном изнашивании с высокой ударной вязкостью и трещиностойкостью при достаточной циклической прочности, традиционно широко применяется при изготовлении гусеничных траков, зубьев ковшей экскаваторов, щёк дробилок, железнодорожных стрелок, крестовин и пр.

Использование этой стали создаёт серьёзные проблемы у заводов-изготовителей не только в связи с дефицитностью ферромарганца, ресурсы которого остались на Украине и Казахстане, но и в связи с возрастающими требованиями к экологии плавильных цехов (выделение в атмосферу оксидов марганца при плавке, газокислородной резке и сварочных операциях), сложностью механической обработки поверхностей отливки. Главным недостатком этой стали является её высокая стоимость.

В связи с этим использование экономнолегированных сталей – заменителей стали марки 110Г13Л является актуальной задачей, т.к. себестоимость отливок из новых сталей возможно снизить в 1,5 ... 3 раза.

В качестве альтернативных материалов для замены высокомарганцовистых аустенитных сталей в отсутствие интенсивного абразивного изнашивания перспективны низколегированные конструкционные машиностроительные стали перлитного класса с различным уровнем легирования, содержащие 0,45% С, которые обладают хорошей технологичностью при плавке, литье, термической и механической обработке (35Л, 35ГЛ, 35ФЛ, 35ХМЛ, 35ХМФЛ; 35ХГСЛ, 35ХГМЛ, 35ГРЛ) [1]. Из сталей перлитного класса изготавливают отливки для различных отраслей машиностроения, получаемые литьём в песчаные и металлические формы.

Структурно свободный феррит снижает износостойкость; для отливок, работающих в условиях изнашивания, целесообразно использовать их после термической обработки. Механические свойства и износостойкость деталей большого сечения зависят от прокаливаемости сталей. Сквозная прокаливаемость обеспечивает высокие и равномерные по сечению изделия прочность, пластичность и ударную вязкость. В случае изнашивания в условиях больших удельных давлений (шары, стержни и футеровки мельниц, валки и т.п.) используют хромомолибденовые стали, имеющие глубокую прокаливаемость и нечувствительные к обратной отпускной хрупкости (например, 35ХГМЛ). Детали из этих сталей выдерживают нагрузки и относительно недороги.

Стали перлитного класса в большинстве случаев содержат хром, который увеличивая дисперсность феррито-карбидной фазы, повышает прокаливаемость, прочность и износостойкость.

Молибден, как активный карбидообразующий элемент, способствует сфероидизации

карбидов, измельчению зерна, снижению критической скорости заковки. Присадки молибдена в конструкционные стали в количестве 0,2 ... 0,5% способствуют одновременному увеличению прочности и вязкости металла, однако основной причиной его широкого применения как легирующего элемента является его способность предотвращать отпускную хрупкость. Однако и молибден является наиболее дорогостоящим элементом. С точки зрения эффективности легирования стали наиболее перспективным является ванадий. Термическая обработка способствует хладостойкости стали. В первую очередь, это связывается с измельчением, зерна, изменением морфологии карбидной фазы от пластинчатой к зернистой, перераспределением легирующих элементов и углерода между матрицей и карбидами. Критическая температура хрупкости нормализованной стали по сравнению с отожжённой понижается. Оптимальные результаты соответствуют нормализованной и улучшенной стали с содержанием марганца соответственно 1,15 ... 1,80%.

После проведения термообработки по оптимальным режимам (заковка от 900 ... 920 °С, отпуск при 650...670 °С) разработанные стали 30ХГСФЛ и 35ХМФЛ с пониженным содержанием молибдена имеют тот же уровень свойств, что и ранее применяемые стандартные стали 35ХМЛ и 35ХНЛ, и более высокие значения пластичности, ударной вязкости и износостойкости. Наиболее перспективной по механическим и литейно-технологическим свойствам, а также себестоимости является сталь 30ХГСФЛ, которая, по сравнению с углеродистой сталью 30Л, обладает повышенной усталостной прочностью и более высокими, чем сталь 30ХНЛ, характеристиками выносливости при различных концентраторах напряжений.

Сравнение механических свойств различных групп сталей перлитного класса показало, что в состоянии после термообработки при условии обеспечения сквозной прокаливаемости стали, дополнительно легированные карбидообразующими элементами (хромом, ванадием, молибденом), имеют благоприятное сочетание прочности и пластичности при удовлетворительном уровне ударной вязкости и хладостойкости. Высокопрочные хромоникель-молибденовые стали обладают наиболее высоким уровнем механических свойств и наилучшей прокаливаемостью. Их применение целесообразно для наиболее тяжело нагруженных деталей типа ведущих звёздочек гусеничного хода карьерных экскаваторов, звеньев цепи упряжки ковшей шагающих экскаваторов и др.

Механические свойства некоторых литых низколегированных перлитных сталей после термической обработки приведены в таблице 1 [2], откуда видно, что по величине условного предела текучести перлитные стали превосходят аустенитную сталь 110Г13Л, однако относительное удлинение и ударная вязкость последней значительно выше.

Таблица 1

Механические свойства литых низколегированных сталей после термической обработки

Марка стали	Режим термообработки, °С	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	КСУ, кДж/м ²	
		МПа×10 ⁻¹		%		-20 °С	-40 °С
30ХГФРЛ	З. 910, О. 670	72,0	83,3	16,6	40,6	9,4	6,2
35Л	З. 880, О. 520	55,9	78,4	15,0	28,5	5,2	2,7
35ГЛ	З. 870, О. 630	50,0	68,0	24,0	60,5	14,0	7,5
35ФЛ	З. 910, О. 650	72,2	84,9	15,7	44,2	5,8	3,5
35ХНЛ	З. 870, О. 620	79,8	90,5	14,2	32,2	5,6	3,9
45ГЛ	З. 870, О. 620	50,7	72,2	18,3	42,1	8,2	4,2
45ХФЛ	З. 870, О. 640	77,5	89,6	14,0	34,6	6,1	4,0
45ХГФЛ	З. 860, О. 650	75,2	85,6	18,6	50,0	8,0	4,4
110Г13Л	З. 1050-1100	370	740	43,5	38,5	28	30
Примечание. З. – заковка, О. – отпуск							

Износостойкость при абразивном изнашивании низколегированных сталей перлитного

класса в улучшенном состоянии при испытании по закреплённому абразиву составляет обычно 50 ... 60% по отношению к стали 110Г13Л.

Таким образом, применение низколегированных перлитных сталей взамен аустенитной стали 110Г13Л, возможно, и оправдано, в частности, для отливок, работающих в условиях преимущественно абразивного изнашивания в отсутствие интенсивных динамических нагрузок без сильного наклёпа; например, траки гусеничных машин.

Авторами [3] разработана износостойкая сталь взамен 110Г13Л для изготовления зубьев ковшей экскаватора, бил молотковых дробилок и других деталей дробильно-размольного оборудования.

Сталь содержит следующие компоненты в соотношении: С – 0,4...0,47%; Мп – 0,5...0,8%; Si – 0,2...0,5%; Cr – 0,8...1,2%; Мо – 0,2...0,3%; Ni - ≤ 0,5%; Cu - ≤ 0,4%; Al – 0,02...0,04%; P < 0,025%; S < 0,025%.

При минимальном содержании основных легирующих элементов (хрома, никеля и молибдена) сталь после термической обработки обеспечивает получение отливок с высокими механическими свойствами и сроком службы деталей при ударных нагрузках в условиях абразивного износа (таблица 2).

Таблица 2

Химический состав и механические свойства предлагаемой стали взамен 110Г13Л

Массовая доля элементов, %							Механические свойства					
C	Mn	Si	Cr	Mo	Al	Cu	σ_B	σ_T	δ	ψ	KCU, кДж/м ²	HB
							МПа		%			
0,41	0,6	0,39	0,81	0,23	0,02	0,18	820	715	22	46	98	247
0,45	0,8	0,48	1,19	0,3	0,04	0,38	875	790	19	42	86	262

Результаты исследований указывают на возможность замены стали марки 110Г13Л низколегированными конструкционными сталями для изготовления отливок, работающих в условиях повышенного износа. Себестоимость изготовления отливок снижается до 3 раз при сохранении требуемых свойств.

Вывод:

Анализ химического состава и механических свойств низколегированных конструкционных машиностроительных сталей перлитного класса показывает возможность их применения для изготовления отливок, работающих в условиях повышенного абразивного износа вместо аустенитной высокомарганцевистой стали марки 110Г13Л, обеспечивая при этом снижение себестоимости литья.

Список использованных источников

1. ГОСТ 977-88. Отливки стальные. Общие технические условия. – Вед. 1990-01-01. – М.: Госстандарт Союза ССР: Изд-во стандартов. 1989. – 57 с.
2. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова [и др.]; под общ. ред. В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с. – ISBN 5-217-00509-2.
3. Пат. 2160321 Российская Федерация, МКП⁷ С 22 С 38/44. Сталь / Леванов Н.И., Похлебаев В.К.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Волгоцеммаш». - №98114616/02; заявл. 21.07.1998; опубл. 10.12.00. – 3 с.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СТАЛЬНЫХ СЛИТКОВ ПРИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОМ ОБОГРЕВЕ И ПОДПИТКЕ

Аникеев В.В., к.т.н., доцент; Зонненберг Н.Н., ст. преп.

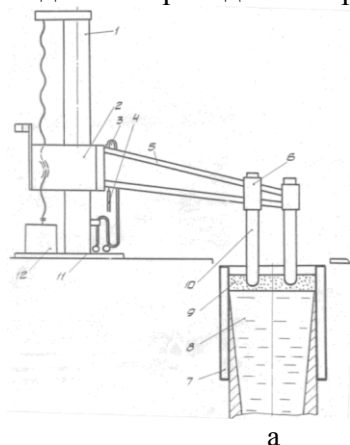
Самарский государственный технический университет

Представлены результаты исследований влияния электрошлакового обогрева и подпитки на физико-химическую однородность, структуру и выход годного полунепрерывнолитых стальных слитков.

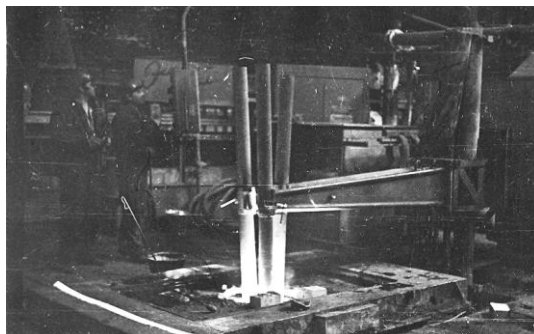
Технология литья стальных слитков большого сечения полунепрерывным способом имеет специфические особенности в сравнении с литьём в изложницы. Отличие состоит в отсутствии конусности слитка и его большой относительной длине ($H/D > 5$), отсутствии прибыли и прибыльных надставок. Эти факторы неблагоприятно сказываются на условиях затвердевания слитка и формировании усадочной раковины. В полунепрерывнолитых слитках усадочная раковина имеет форму вытянутого конуса, переходящего в осевой зоне слитка в пористость.

Известны способы уменьшения размеров усадочной раковины и уплотнения осевой зоны, создающие направленную кристаллизацию металла снизу вверх до окончания затвердевания слитка. Сущность способов сводится к сохранению тепла или поддержанию более длительное время жидкой фазы металла в головной части слитка. К таким способам относятся снижение скорости вытягивания слитков, что приводит к переохлаждению металла в ковше; доливка жидкого металла в процессе затвердевания слитка; теплоизоляция головной части теплоизолирующей смесью; механическое перемешивание жидкой фазы в конце разливки; быстрый вывод слитка из кристаллизатора с интенсивной подачей на него охладителя в зоне вторичного охлаждения [1]. Данные способы незначительно влияют на размеры усадочной раковины, протяжённость которой в среднем составляет 10% длины отливаемого слитка. Эффективным способом уменьшения протяжённости усадочной раковины и осевой пористости, снижения головной обрезки является электрошлаковый обогрев графитовыми электродами и электрошлаковая подпитка стальными электродами из разливаемой марки стали головной части слитков по окончании разливки [2].

Исследование выполняли на слитках диаметром 520 мм, массой 7,6 т из стали марок 03X11H10M2T (ЭП678У) и 30ХГСН2А. Схема и работа установки в процессе обогрева и подпитки приведены на рис. 1.



а



б

Рис. 1. Схема (а) и электрошлаковый обогрев головной части слитка диам. 520 мм (б)

На плите 11 смонтирована колонна, по которой движется каретка 2. Привод каретки осуществляется от двигателя 12. На каретке крепится панель, к которой присоединены три консоли 5. Электроприводы 10 зажимаются в электрододержателях 6 и располагаются

симметрично оси кристаллизатора 7. Консоли и электрододержатели изготовлены пустотелыми с целью охлаждения во время работы. Вода из сети подается по гибким шлангам к нижним патрубкам 4 каждой из консолей и отводится из верхних патрубков 3.

Основные технические характеристики установки электрошлакового обогрева (подпитки):

Тип трансформатора	- ТШС-3000-3
Мощность трансформатора, кВА	- 570
Ток на фазу, А	- 1000...3000
Напряжение на электродах, В	- 40...60
Диаметр электродов, мм	
- нерасходуемых (графитовых)	- 75...100
- расходуемых (из разливаемой стали)	- 60...120
Расход воды на охлаждение токоведущих частей, м ³ /ч	- 5
Ход каретки с электродами, мм	- 1500
Рабочая скорость перемещения каретки, мм/мин	- 50...350
Масса установки (с трансформатором), кг	- 3000

После прекращения подачи стали в кристаллизатор отключается механизм вытягивания слитка, а в кристаллизатор из сталеразливочного ковша заливают электропечной шлак слоем 50...80 мм. После чего обогревающие (подпитывающие) электроды устанавливаются в рабочее положение. Обогрев и подпитка начинаются не позднее 1 минуты после окончания разливки. В шлаковую ванну дополнительно присаживают электропечной шлак или флюсы АНФ-6 (CaF₂ – Al₂O₃) и АН-29 (CaO - Al₂O₃). Продолжительность обогрева (подпитки) – 0,9...0,95 времени затвердевания слитка. Управление процессом обогрева осуществляется автоматически [3, 4].

Результаты исследований макроструктуры, химической однородности, плотности, содержания и распределения неметаллических и газовых включений, качества поверхности и геометрии слитков приведены на рис. 2 и в таблице, где τ - время обогрева; h - глубина усадочной раковины (числитель) и уровень отбора проб (знаменатель); γ - плотность металла.

Качественная характеристика слитков, полученных с электрошлаковым обогревом головной части

Сталь	τ , мин	h , мм	Проба	Химический состав, %							
				C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Ti
ЭП678У	60	$\frac{220}{260}$	Край	0,015	0,04	0,23	0,009	0,010	9,75	11,00	0,78
			½ R	0,023	0,04	0,21	0,011	0,010	9,65	10,90	0,77
			Центр	0,023	0,04	0,22	0,009	0,011	10,0	11,05	0,58
			Ковш	0,018	0,03	0,16	0,008	0,010	9,6	10,80	0,78
30ХГСН2А	64	$\frac{300}{300}$	Край	0,31	1,43	1,14	0,005	0,004	1,65	1,08	0,003
			½ R	0,31	1,45	1,14	0,006	0,004	1,63	1,08	0,003
			Центр	0,34	1,45	1,14	0,005	0,004	1,63	1,09	0,005
			Ковш	0,30	1,40	1,09	0,010	0,005	1,60	1,09	0,003
Сталь	τ , мин	h , мм	Проба	[O]		[N]		γ , г/см ³			
ЭП678У	60	$\frac{220}{260}$	Край	0,0061		0,033		7,8184			
			½ R	0,0017		0,003		7,8289			
			Центр	0,0014		0,003		7,8431			
30ХГСН2А	64	$\frac{300}{300}$	Край	0,0032		0,008		7,7730			
			½ R	0,0029		0,009		7,7769			
			Центр	0,0045		0,009		7,7756			

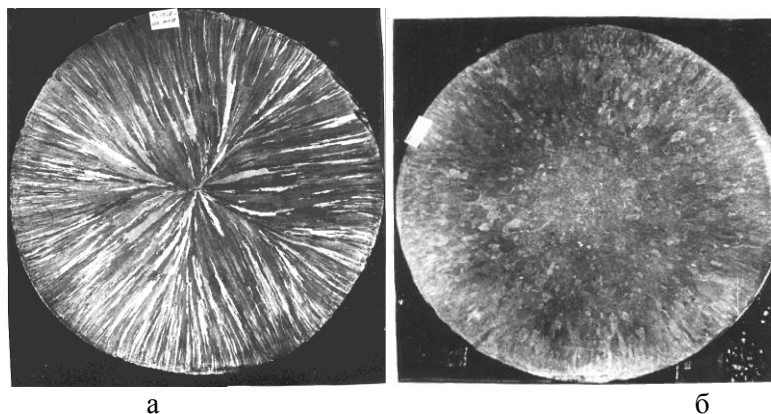


Рис.2. Макроструктура головной части слитков диам. 520 мм стали марок ЭП678У и 30ХГСН2А с электрошлаковым обогревом:

а - ЭП678У, продольное сечение (уровень 350 мм), время обогрева 60 мин.; б - 30ХГСН2А, уровень 600 мм, время обогрева 60 мин

Макроструктура головной части слитков плотная, без видимых дефектов, в том числе, в осевой зоне. Ниже зоны действия обогрева в средней части электрода наблюдается слабо выраженная осевая рыхлость, не превышающая 1/5 длины слитка. Высокое качество макроструктуры подтверждается при снятии серного отпечатка: дефекты усадочного и ликвационного происхождения отсутствуют. В зоне осевой рыхлости наблюдается незначительная V-образная ликвация серы. Ликвация по другим элементам по высоте и сечению слитков практически отсутствует; степень ликвации значительно ниже, чем при обычной разливке. В зоне действия обогрева в 2 раза снижается содержание серы в сравнении с ковшевой пробой, но несколько увеличивается содержание углерода (при использовании графитовых электродов), марганца и кремния (повышенная температура способствует их восстановлению из шлака). Их содержание не выходит за пределы марочного состава. Отмечается снижение количества неметаллических, в частности, сульфидных, и газовых включений. На качество поверхности и геометрию слитков электрошлаковый обогрев не влияет. Усадочная раковина отсутствует (подпитка стальными электродами) и глубина её залегания снижается на 90...95% (обогрев графитовыми электродами).

Выводы: проведенные исследования показали, что электрошлаковый обогрев нерасходуемыми графитовыми электродами и подпитка расходуемыми стальными электродами, одинакового химического состава с получаемым слитком, улучшает структуру, плотность и химическую однородность литого металла, снижает содержание неметаллических и газовых включений и значительно повышает выход годного.

Список использованных источников

1. Бровман М.Я. Непрерывная разливка металлов. - М.: «ЭКОМЕТ», 2007. - 484 с.
2. Марченко И.К., Аникеев В.В., Бровман М.Я. и др. Новые технологические процессы в полунепрерывном литье / "Механизация и автоматизация работ в литейном производстве". – Краматорск: НИИПТмаш, 1988. - С. 25-34.
3. Аникеев В.В., Галентовский Г.Г., Зонненберг Н.Н. Повышение физико-химической однородности стальных отливок и слитков при электрошлаковом обогреве и подпитке // II Междун. науч.-практ. конф. «Прогрессивные литейные технологии». - М.: МИСиС, 2002. - С. 94-96.
4. Аникеев В.В. Исследование технологии и качества полунепрерывнолитых расходуемых электродов для вакуумно-дугового переплава с электрошлаковым обогревом / Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 16, №1(2), 2014. – С. 346-351.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОТЛИВКИ, ПОЛУЧЕННОЙ ЛИТЬЕМ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Баннова Е.С., магистрант; Дмитриев В.А., к.т.н., доцент

Представлены результаты компьютерного моделирования в программе LVMFlow 4.1 процесса затвердевания сплошной и полый отливки из медного сплава, полученных литьем по выплавляемым моделям (ЛВМ). В качестве прообраза модели принята скульптура древнегреческой поэтессы Сафо.

Общие рекомендации по выбору сплава зависят от замысла художника, определяющего форму и цвет изделия, особенностей технологии литья и окончательной отделки отливки, себестоимости изделия.

Расчеты размеров элементов ЛПС для отливок, изготавливаемых в оболочковых формах по выплавляемым моделям, основаны на соблюдении принципа последовательного затвердевания:

$$\delta_{cm} > \delta_n > \delta_o, \quad (1)$$

где, δ – приведенная толщина (модуль охлаждения) соответственно стояка, питателя и отливки.

Расчет элементов питания выполнен методом приведенных толщин [1, 3]. Приведенная толщина, как отношение объема охлаждаемой отливки к поверхности её охлаждения, приравнивает в первом приближении отливку по относительной скорости охлаждения к плоской стенке соответствующей толщины.

Приведенная толщина, как отношение объема охлаждаемой отливки к поверхности её охлаждения, приравнивает в первом приближении отливку по относительной скорости охлаждения к плоской стенке соответствующей толщины. Приведенная толщина сплошной и пустотелой отливки определялась по 3D модели (рис. 1). Массовые характеристики взяты из программного пакета SolidWorks [2] (таблица).

Питатель рассчитывался по формуле, в которой первый множитель, стоящий после k , характеризует параметры отливки, а второй - параметры ЛПС:

$$\delta_n = \frac{k^4 \sqrt{\delta_o^3 G_o} \sqrt[3]{l_n}}{\delta_{cm}},$$

где δ_n – приведенная толщина сечения питателя, мм; k -коэффициент пропорциональности; δ_o - приведенная толщина теплового узла отливки, мм; G_o - масса отливки, кг; l_n - длина питателя, мм; δ_{cm} - приведенная толщина сечения стояка, мм.

Приведенная толщина теплового узла отливки, мм:

$$\delta_o = V_o / S_o,$$

где V_o – объем охлаждаемой отливки, мм³; S_o – площадь поверхности охлаждения, мм².

Массовые характеристики 3D модели сплошной и полый отливки

Параметры	Плотность, г/мм ³	Масса, г	Объем, мм ³	Площадь поверхности, мм ²	Масштаб
Сплошная отливка	0,0083	551,2312	66413,3924	14550,6341	0,1
Полая отливка	0,0083	735,2522	88584,6076	54238,9604	0,45



Рис. 1. Твёрдотельные модели сплошной и полый отливки

Приведем расчеты приведенной толщины теплового узла для сплошной и полый отливки, воспользовавшись данными табл.1:

$$\delta_{o1} = V_{o1} / S_{o1} = \frac{66413,3924}{14550,6341} = 4,56 ;$$

$$\delta_{o2} = V_{o2} / S_{o2} = \frac{88584,6076}{54238,9604} = 1,6 ;$$

Приведенная толщина сечения стояка, с учетом незначительной теплоотдачи с торцовых поверхностей, определялась по формуле:

$$\delta_{ct} = F_{ct} / P_{ct}$$

где F_{ct} – площадь нормального сечения стояка, мм^2 ; P_{ct} – периметр сечения, мм.

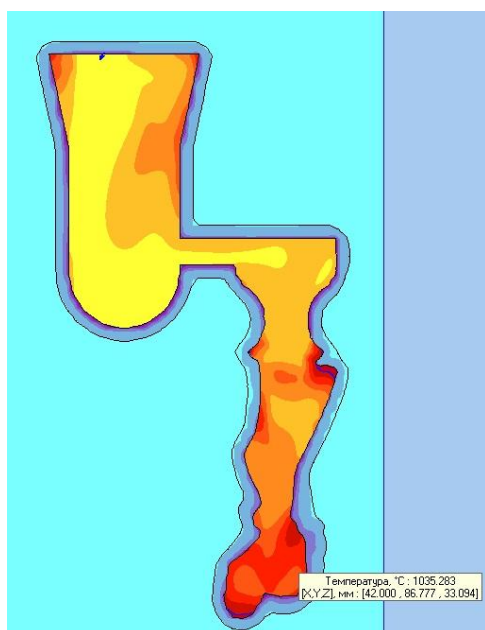


Рис. 2. Изолинии распределения температуры при заливке

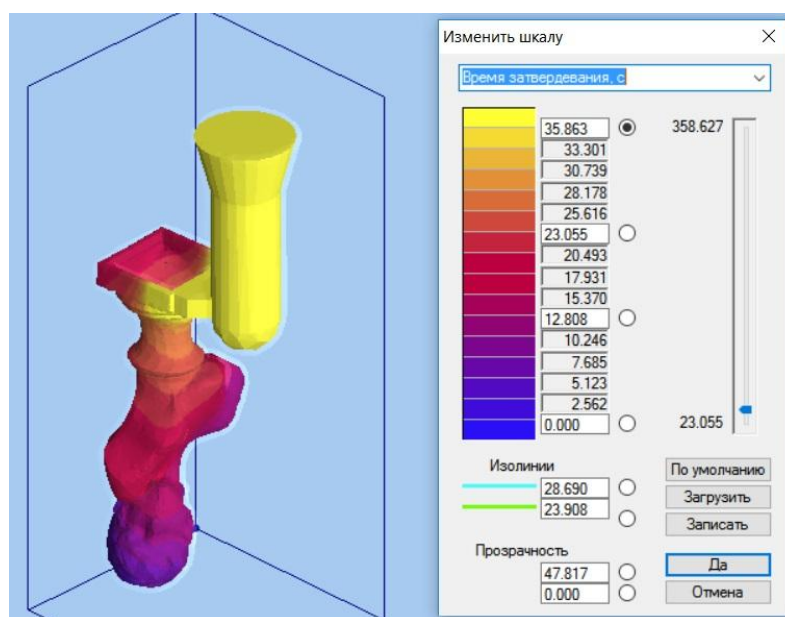


Рис. 3. Изолинии времени затвердевания отливки

В обоих вариантах моделирования соблюдалось условие (1): сплошная отливка $8,75 > 7,1 > 4,56$; полая отливка $8,75 > 4,44 > 1,6$: то есть затвердевание является направленным. На рис. 2 показаны изолинии распределения температуры при заливке сплава, а на рис. 3 – изолинии времени затвердевания отливки.

Сравнительный анализ результатов моделирования (рис. 4) свидетельствует о существенном снижении усадочных явлений при получении полых равнотолщинных отливок, не имеющих локальных тепловых узлов.

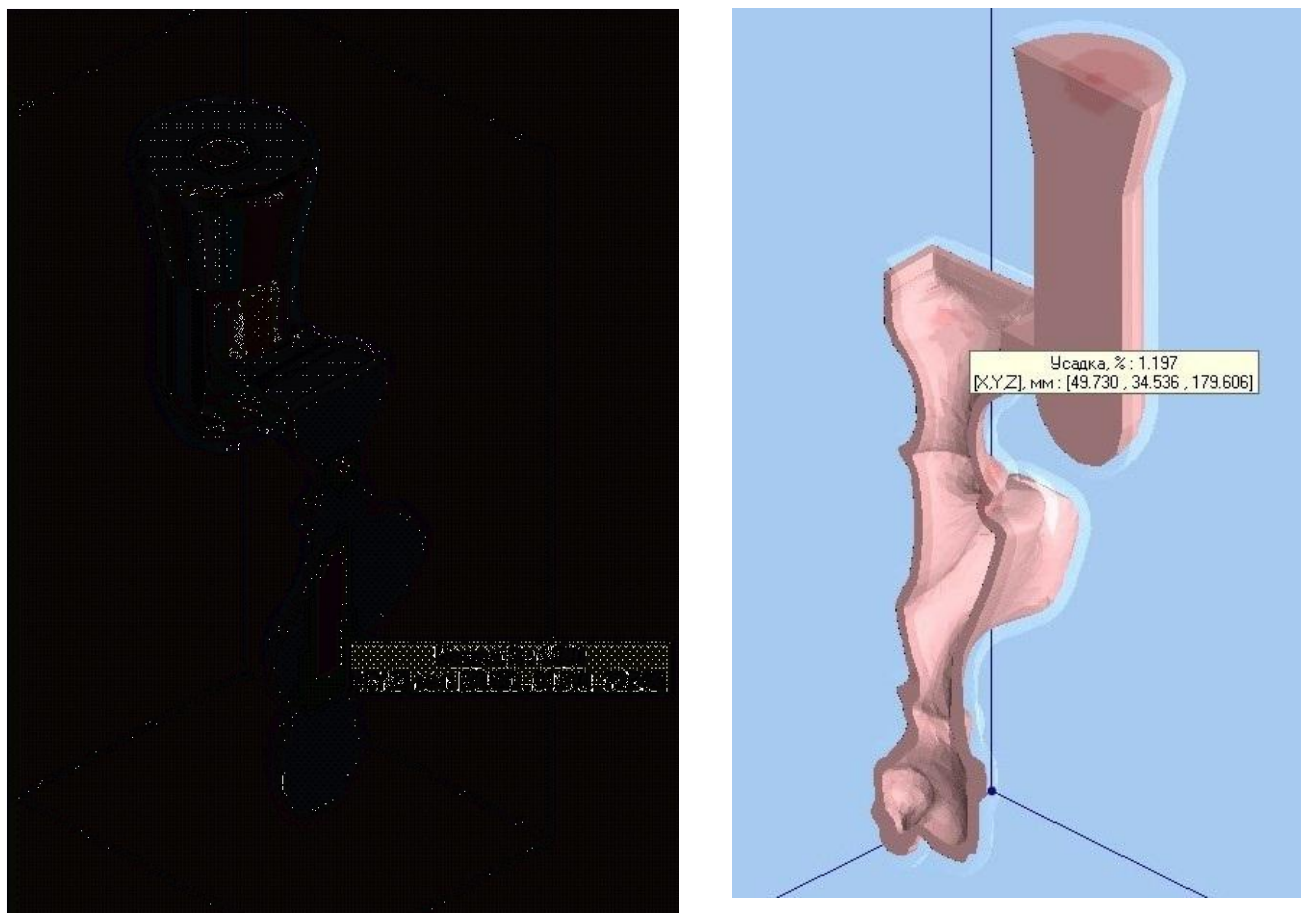


Рис. 4. Анализ результатов моделирования

Таким образом, компьютерное моделирование процесса кристаллизации художественного изделия позволяет на начальной стадии проектирования литейной технологии оценить возможные дефекты структуры и принять меры к их устранению, что способствует в реальных производственных условиях получению качественных отливок без натурных испытаний. Это существенно сокращает сроки внедрения новых изделий и снижает себестоимость готовой продукции.

Список использованных источников

1. Литье по выплавляемым моделям / Под общ. ред. Я.И. Шкленника, В.А. Озерова. – М.: Машиностроение, 1984. – 408 с.
2. SolidWorks 2016. Расширенное моделирование деталей. Waltham, Massachusetts 02451 USA.
3. Лившиц В.Б. Художественное литье. Ювелирные и декоративные изделия: самоучитель / В.Б. Лившиц. – М.: АСТ: Астрель, 2010. – 224 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИНТЕЗА КАРБИДА ТИТАНА В РАСПЛАВЕ АЛЮМИНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГАЛОИДНОЙ СОЛИ K_2TiF_6 В ИСХОДНОЙ ШИХТЕ КАК ИСТОЧНИКА АТОМАРНОГО ТИТАНА

Ионов М.К., аспирант

Самарский государственный технический университет

В представленной работе изучается возможность синтеза композиционного материала Al-TiC при использовании галоидной соли K_2TiF_6 и углерода в качестве исходных реагентов. Изучены основные механизмы образования частиц армирующей фазы. По результатам экспериментов сделаны выводы о неэффективности использования галоидной соли как единственного источника карбида титана.

Композиционные алюмоматричные материалы, в частности армированные карбидом титана (Al-TiC), в настоящее время являются объектом изучения многих научных школ по всему миру. Это обусловлено глобальной проблемой поиска новых перспективных материалов для многих сфер промышленности. Алюмоматричные композиционные материалы армированные твёрдыми тугоплавкими частицами являются одними из наиболее перспективных материалов отвечающим высоким требованиям уровня свойств, однако их производство осложнено рядом проблем. Наиболее эффективным способом производства таких материалов является эндогенное армирование частицами при помощи процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (in-situ). При этом главной задачей современных исследователей является синтез армирующей фазы наноразмерной степени дисперсности. В настоящее время учёным удалось синтезировать наноразмерный карбид титана в расплаве алюминия прибегая к помощи добавок галоидных солей к шихте, однако такой способ обременён определёнными недостатками, такими как неполнота реакции синтеза и присутствие побочных продуктов в конечной шихте.

Таким образом представляет несомненный интерес изучение возможности синтеза композиционного материала Al-TiC при использовании только галоидной титансодержащей соли в качестве исключительного источника титана. При этом, предположительно, использование такого подхода позволит синтезировать частицы армирующей фазы карбида титана на наноуровне, что обусловлено разложением соли K_2TiF_6 при температурах близких к 720°C и выделением атомарного титана. Так же эта соль рассматривается как флюсовый компонент, удаляющий окислы с поверхности алюминия, улучшающий смачивание частиц армирующей фазы и увеличивающий усвоение целевого продукта.

Для проведения исследований индукционную печь нагревали до температуры 900°C , расплавляли 180 г чистого алюминия, выдерживали при заданной температуре и затем вводили несколько навесок шихты, обёрнутых в алюминиевую фольгу, содержащих 30 г соли K_2TiF_6 и 2 г технического углерода. Навески выдерживали под зеркалом расплава до регистрации визуальных признаков прохождения реакции.

Для исследования полученных образцов использовался растровый электронный микроскоп Hitachi S-4800 с приставкой, позволяющей проводить микрорентгеноспектральный анализ (МРСА).

При проведении экспериментов, погруженные под зеркало расплава образцы подавали визуальные признаки прохождения реакции. Были заметны небольшие вспышки под зеркалом расплава, что могло свидетельствовать об успешном прохождении реакций разложения соли и синтеза карбида титана TiC.

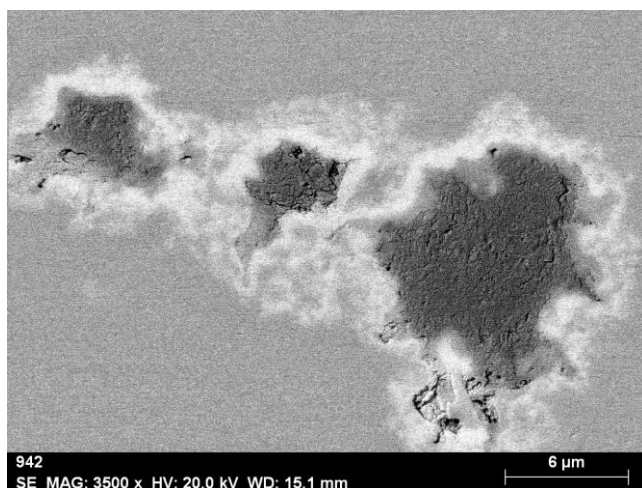
На рис. 1 представлены фотографии внешнего вида образцов, полученных описанным способом.



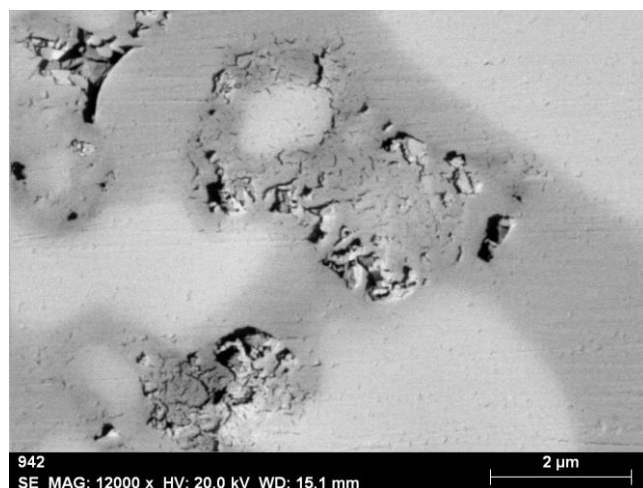
Рис. 1. Внешний вид излома композиционного материала Al-TiC, полученного с помощью термитной смеси

Как видно из рисунка структура образца хрупкая. Образцы содержат тёмные неметаллические включения, которые, предположительно могут являться как включениями непрореагировавшего углерода, так и продуктами распада соли. Далее образцы разрезались на несколько частей, полировались, помещались в специальные формы и покрывались золотом для исследований на электронном микроскопе.

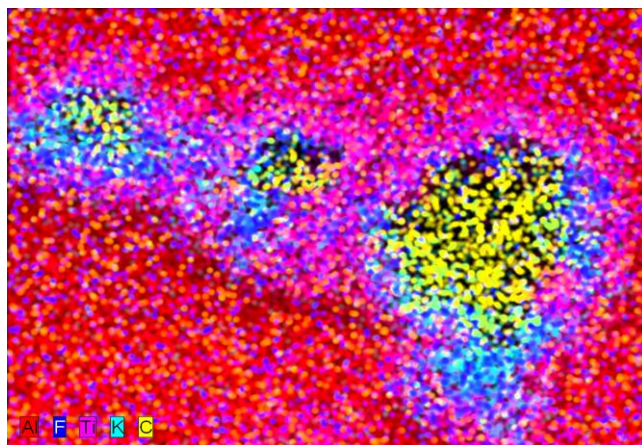
На рис. 2 представлена микроструктура и МРСА образцов.



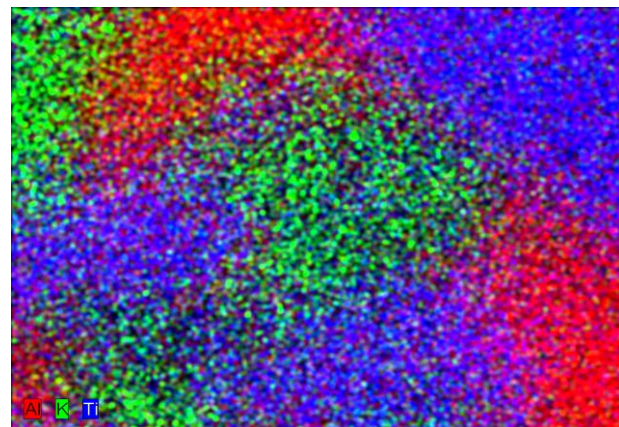
а)



б)



в)



г)

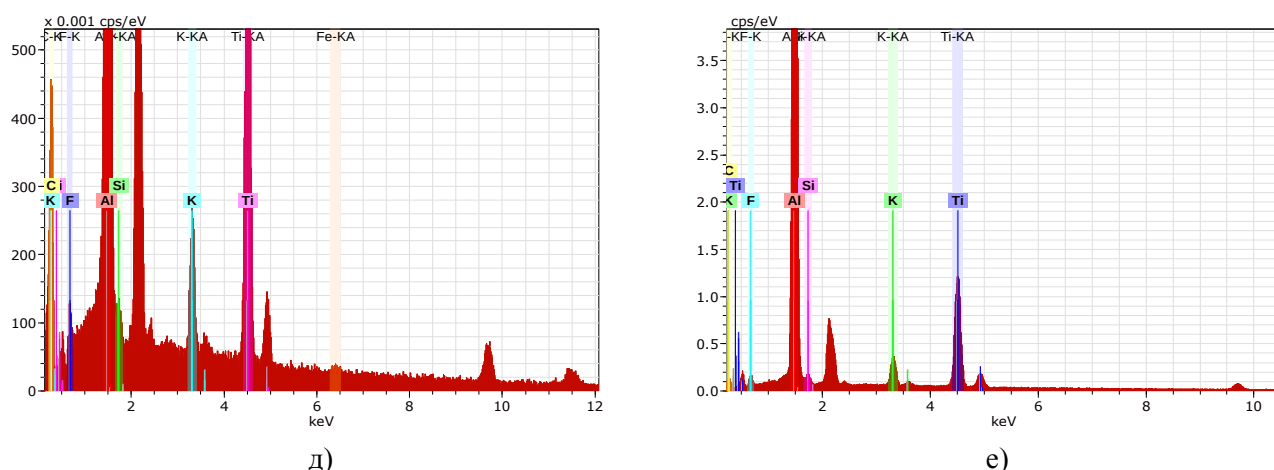


Рис. 2. Микроструктура и МРСА включения углерода (-а), (-в), (-д) и продуктов распада галоидной соли (-б), (-г), (-д).

Как видно из рисунка, структура образца представляет из себя неметаллические включения, окруженные «облаком» титана. При этом природа включений может представлять из себя агломераты непрореагировавшего углерода и соединения продуктов распада соли: калий и фтор. Предположительно, в виду недостаточной экзотермичности реакции разложения, локальная температура расплава не достигает значений необходимых для устойчивого запуска реакции синтеза карбида титана. Выделяющийся титан при разложении соли частично реагирует с алюминием, образуя интерметаллид и фиксируется в форме «облаков» окружающих частицы углерода и частицы побочных продуктов распада галоидной соли.

По результатам экспериментов можно сделать вывод о неприменимости метода использования галоидной титансодержащей соли как исключительного источника карбида титана в исходной шихте. Это связано с недостаточным локальным подъёмом температуры, необходимым для запуска реакции синтеза карбида титана. Так же было выявлено поведение выделяющегося посредством распада соли титана, окружающего частицы как исходного углерода, так и продуктов распада соли.

Список использованных источников

1. Луц А. Р. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез алюминиевых сплавов / Луц А. Р., Макаренко А. Г. –М.: Машиностроение. Самара: СамГТУ. 2008. 175 с.
2. Amosov A.P. Role of Halide Salts Na_3AlF_6 and Na_2TiF_6 in Self-propagating High-temperature Synthesis of Al-10%TiC Nanocomposite Alloy in Aluminum Melt / A.P. Amosov, A.R. Luts, A.A. Ermoshkin // Life Science Journal №11, 2014, pp. 570-575
3. Zhou D. The nano-sized TiC particle reinforced Al-Cu matrix composite with superior tensile ductility / Zhou, D., Qiu, F., Jiang, Q. // Materials Science and Engineering A, 622, pp. 189-193.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕСУЩИХ ДЕТАЛЕЙ КУЗОВОВ АВТОМОБИЛЕЙ

Коваленко И.А., к.т.н., доцент; Ласкин Д.В., аспирант; Трифонова А.Ю., студент

Липецкий государственный технический университет

В статье рассматриваются стали европейского стандарта для горячего цинкования, используемые в современной автомобильной промышленности, их особенности и преимущества.

«Безопасность превыше всего» - известный девиз, под которым работают многие отрасли промышленности, в том числе и автомобильная, которая постоянно развивается, используя все новые и новые технологии и материалы.

Основной груз ответственности за безопасность водителя и пассажиров в автомобиле лежит на кузове автомобиля. Кузов в свою очередь активно взаимодействует с окружающей средой, в результате чего на нем не редко проявляется коррозия. Известных способов защиты от коррозии несколько: специальный химический состав материала, т.е. использование нержавеющей стали с добавлением хрома, никеля и специальные покрытия как металлические, так и полимерные, препятствующие взаимодействию металла основы с окружающей средой и, как следствие, обеспечивающие защиту поверхности.

Первый способ применительно к несущим деталям кузовов автомобилей обладает рядом недостатков. Так, варьируя химический состав, мы получаем коррозионную стойкость требуемого уровня, но при этом значительно теряем в механических свойствах. Второй способ наиболее приемлем, т.к. позволяет использовать сплав уже с требуемыми показателями механических свойств, например: горячее цинкование сталей евростандарта.

Данные стали примечательны своей повышенной прочностью, что позволяет снизить расход материала, а соответственно цену и массу готового изделия. Согласно [1] это стали группы «НХ» семи классов прочности в зависимости от минимальной величины предела текучести: 260, 300, 340, 380, 420, 460, 500 Н/мм². Суммарное содержание легирующих элементов в таких сталях составляет не больше 0,23 % по массе, а их количество от одного до нескольких. Основными легирующими элементами являются ниобий, титан или ванадий, а так же иногда марганец (табл. 1). Требуемые механические свойства представлены в табл. 2.

Таблица 1

Химический состав сталей

Марка	C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Al, %	Ti, %	Nb, %
HX260LAD	0,11	0,5	1,0	0,030	0,025	≥0,015	0,15	0,09
HX300LAD	0,12	0,5	1,4	0,030	0,025	≥0,015	0,15	0,09
HX340LAD	0,12	0,5	1,4	0,030	0,025	≥0,015	0,15	0,10
HX380LAD	0,12	0,5	1,5	0,030	0,025	≥0,015	0,15	0,10
HX420LAD	0,12	0,5	1,6	0,030	0,025	≥0,015	0,15	0,10
HX460LAD	0,15	0,5	1,7	0,030	0,025	≥0,015	0,15	0,10
HX500LAD	0,15	0,5	1,7	0,030	0,025	≥0,015	0,15	0,10

Микроструктуры изученных образцов сталей группы «НХ» представляют собой феррит (балл зерна 6 ... 8) и структурно свободный цементит (балл зерна 0,5 ... 1). Типичная микроструктура представлена на рисунке на примере марки HX260LAD, механические свойства приведены в табл.3

Таблица 2

Механические свойства сталей повышенной прочности

Марка	Предел текучести (σ_T), Н/мм ²	Предел прочности (σ_B), Н/мм ²	Относительное удлинение (δ), % (не менее)
HX260LAD	с 260 до 330	с 350 до 430	26
HX300LAD	с 300 до 380	с 380 до 480	23
HX340LAD	с 340 до 420	с 410 до 510	21
HX380LAD	с 380 до 480	с 440 до 560	19
HX420LAD	с 420 до 520	с 470 до 590	17
HX460LAD	с 460 до 560	С 500 до 640	15
HX500LAD	с 500 до 620	С 530 до 690	13

Требуемые свойства достигаются благодаря дисперсионному упрочнению за счет мелких карбонитридов ниобия и титана, измельчению зерна и дополнительному твердорастворному упрочнению вследствие повышенного содержания марганца.



Микроструктура стали HX260LAD

Таблица 3

Механические свойства стали марки HC260LAD

Сталь	σ_T	σ_B	δ
	МПа		%
HX260LAD	288	381	35

Таким образом, использование сталей повышенной прочности для несущих деталей автомобильных кузовов имеет неоспоримое преимущество по сравнению с обычными сталями [2, 3] .

Список использованных источников

1. Стандарт EN 10346-2015. Изделия плоские холоднокатаные из стали с высоким пределом текучести для холодного формования. Общие условия поставки.
2. Стали для автомобильной промышленности/ Коваленко И.А., Ласкин Д.В., Трифонова А.Ю., Агапеев В.М// В сборнике: Прогрессивные технологии и процессы Сборник научных статей 3-й Международной молодежной научно-практической конференции. Ответственный редактор Горохов А.А. 2016. С. 117-120.
3. Современные стали для автомобильной индустрии/ Коваленко И.А., Ласкин Д.В., Трифонова А.Ю// Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 9-1. С. 37-39.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ CsF-CsCl-Cs₂MoO₄

Кузнецова А.С., магистр; Сухаренко М.А., к.т.н., доцент

Самарский государственный технический университет

Представлены результаты исследования трехкомпонентной системы CsF-CsCl-Cs₂MoO₄ методом ДТА, состав и температура плавления эвтектического сплава, удельная энтальпия плавления для сплава состава трехкомпонентной эвтектики.

В настоящее время в промышленности широко применяются составы на основе галогенидов, сульфатов, молибдатов, вольфраматов щелочных металлов. Высокая электро- и теплопроводность позволяет использовать их в качестве электролитов для химических источников тока (ХИТ) и теплоаккумулирующих материалов (ТАМ) [1, 2], для получения оксидных бронз, в соляных ваннах для нагрева, термической и химико-термической обработки металлов, в качестве жидкофазных теплоносителей в ядерных реакторах и многих других областях промышленности. Тем не менее, многие солевые композиции на основе галогенидов щелочных элементов остаются недостаточно хорошо изученными. В качестве объекта исследования в настоящей работе выбрана трехкомпонентная система CsF-CsCl-Cs₂MoO₄. В работе проведен обзор литературы по двойным системам ограничения трехкомпонентной системы. Было установлено, что все двойные системы были изучены [3,4]. Система CsCl-Cs₂MoO₄ является эвтектической с $T_{nl} = 576^\circ\text{C}$. В системе CsF-CsCl выявлена эвтектика с $T_{nl} = 440^\circ\text{C}$. Система CsF- Cs₂MoO₄ разделена соединением D(33,6; 66,7) конгруэнтного типа плавления и содержит $e_1 = 635^\circ\text{C}$ и $e_2 = 740^\circ\text{C}$.

Первым этапом исследования является разбиение на симплексы трехкомпонентной системы геометрическим методом[5]. В системе CsF-CsCl-Cs₂MoO₄ существует соединение конгруэнтного плавления D (Cs₃FMoO₄) на двойной стороне CsF-Cs₂MoO₄. Данное соединение разбивает систему на два симплекса. Древо фаз трехкомпонентной системы CsF-CsCl-Cs₂MoO₄ приведено на рис. 1. Представленное древо имеет линейное строение и состоит из двух стабильных треугольников, разделённых стабильной секущей.

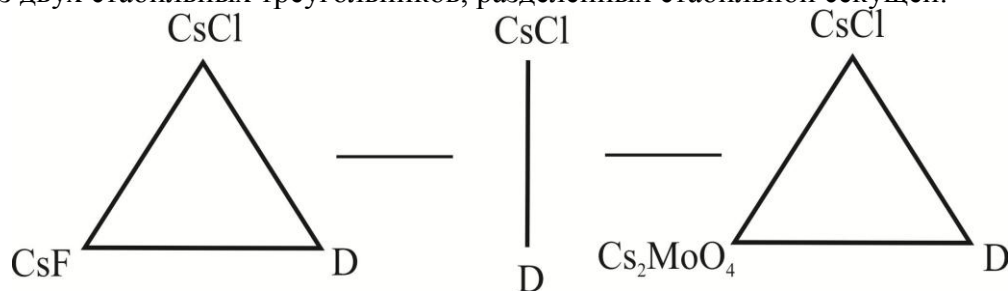


Рис. 1. Древо фаз трехкомпонентной системы CsF-CsCl-Cs₂MoO₄

На основании полученных древ фаз был проведен прогноз числа и состава кристаллизующихся фаз в трехкомпонентной системе CsF-CsCl-Cs₂MoO₄.

В стабильных треугольниках CsF-CsCl-D и CsCl-Cs₂MoO₄-D трехкомпонентной системы CsF-CsCl-Cs₂MoO₄ кристаллизующимися фазами будут вещества, находящиеся в вершинах треугольников. В стабильном треугольнике CsF-CsCl-D будут кристаллизоваться три твёрдые фазы: фторид цезия, хлорид цезия и соединение конгруэнтного плавления D. А в стабильном треугольнике CsCl-Cs₂MoO₄-D кристаллизующимися фазами будут: хлорид цезия, молибдат цезия и соединение конгруэнтного плавления D.

Исследование фазовых равновесий в трехкомпонентной системе $\text{CsF}-\text{CsCl}-\text{Cs}_2\text{MoO}_4$ и элементах ее ограничения проводили с помощью дифференциального термического анализа (ДТА)[6]. Кривые нагревания и охлаждения образцов снимали на установке ДТА в стандартном исполнении. Точность измерения температур составляла $\pm 2.5^\circ\text{C}$, при точности взвешивания составов ± 0.0001 г на аналитических весах VIBРАНТ. Составы всех смесей, приведенные в настоящей работе, выражены в молярных концентрациях эквивалентов, температуры – в градусах Цельсия. Масса исходных смесей составляла 0.3 г, скорость охлаждения (нагрева) – $15^\circ\text{C}/\text{мин}$. В работе использовались реактивы следующих марок: CsF -«хч» (ТУ 6-09-214-78, содержание основного вещества 99.8%), CsCl -«хч» (ТУ 6-09-04-186-81, содержание основного вещества 99.9 мас.%), CsBr - «хч» (ТУ 6-09-3633-79, содержание основного вещества 99.8%) Cs_2MoO_4 -«ч» (ТУ 6-09-04-80-82 содержание основного вещества 98.3 мас.%). Температуры плавления исходных солей, определенные методом ДТА (при точности измерения $\pm 2.5^\circ\text{C}$) равны: CsF - 705°C , CsCl – 644°C , CsBr – 637°C и Cs_2MoO_4 – 933°C , т.е влияние имеющихся примесей на температуры плавления исходных солей незначительны. Поэтому были приняты данные литературы [7], в которой приведены следующие температуры плавления следующих солей CsF - $703(\pm 2^\circ\text{C})$; CsCl – $645(\pm 2^\circ\text{C})$, α/β - $470\pm 2^\circ\text{C}$; CsBr – $638(\pm 2^\circ\text{C})$; Cs_2MoO_4 – $935(\pm 5^\circ\text{C})$, α/β - $572\pm 5^\circ\text{C}$. Исходные реактивы были предварительно высушены, переплавлены, а затем, после охлаждения в сухом боксе, помещены в бюксы.

Проекция фазового комплекса трехкомпонентной системы $\text{CsF}-\text{CsCl}-\text{Cs}_2\text{MoO}_4$ на треугольник составов представлен на рис. 2.

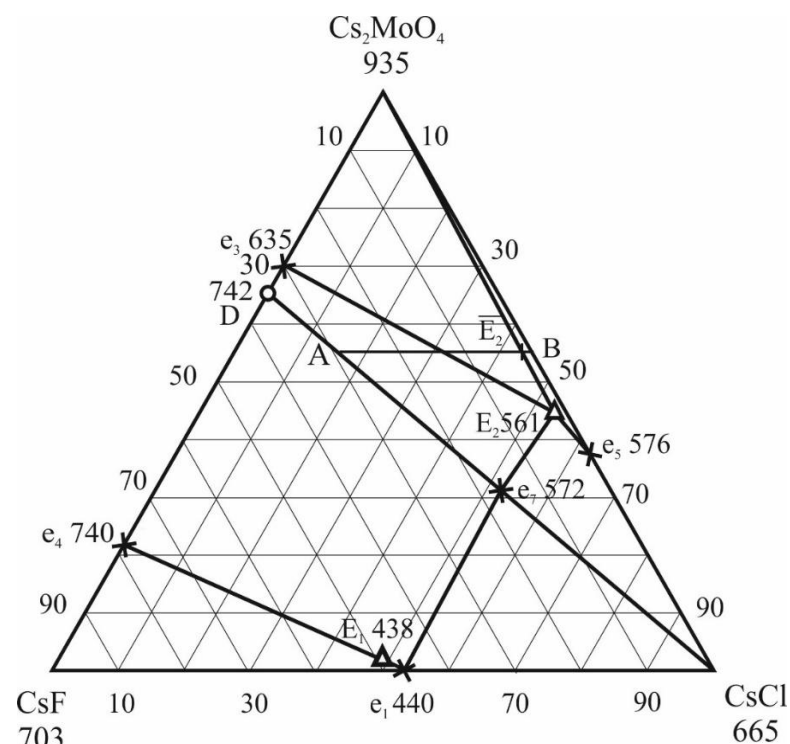


Рис. 2. Проекция фазового комплекса трехкомпонентной системы $\text{CsF}-\text{CsCl}-\text{Cs}_2\text{MoO}_4$ на треугольник составов

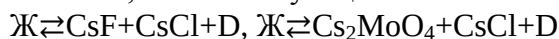
Стабильная секущая $\text{CsCl}-D$. Проведено экспериментальное исследование стабильной секущей $\text{CsCl}-D$. Были выявлены температура плавления и состав квинзибикулярной эвтектики по пересечению ветвей первичной кристаллизации. Температура плавления – 572°C , состав – $48\%D + 52\% \text{CsCl}$. Ликвидус системы $\text{CsCl}-D$ представлен двумя ветвями; ae_5 – соответствует кристаллизации соединения $\beta\text{-CsCl}$, be_5 – располагается в соответствии с кристаллизацией соединения D . Выше линии ликвидуса расположено поле жидкого состояния J . Ниже расположено два двухфазных поля: $J + \text{CsCl}$ и $J + D$. Ниже линии

солидуса находится поле твердого состояния $\text{CsCl} + \text{D}$. В солидусе при температуре 470 °C происходит полиморфный переход хлорида цезия $\alpha/\beta\text{-CsCl}$. Для квазидвойной эвтектики существует фазовое равновесие: $\text{Ж} \rightleftharpoons \text{CsCl} + \text{D}$.

Стабильный треугольник CsF-CsCl-D . Все двойные системы ограничения стабильного треугольника CsF-CsCl-D являются эвтектическими системами. Причем температура плавления двойной эвтектики e_1 - 440 °C значительно ниже (порядка 100 °C) температуры плавления двух других двойных эвтектик. Путем добавления 1% экв. Cs_2MoO_4 к двойной эвтектике e_1 определен состав тройной эвтектики E_1 : 1% экв. Cs_2MoO_4 , 50% экв. CsCl , 49% экв. CsF . Температура плавления тройной эвтектики составила 438 °C.

Стабильный треугольник $\text{CsCl-Cs}_2\text{MoO}_4\text{-D}$. Для изучения стабильного треугольника $\text{CsCl-Cs}_2\text{MoO}_4\text{-D}$ в поле кристаллизации молибдата цезия был выбран политермический разрез АВ ($A[32,5\%\text{CsCl}+45\%\text{Cs}_2\text{MoO}_4+22,5\%\text{CsF}]$ $B[55\%\text{CsCl} + 45\%\text{Cs}_2\text{MoO}_4]$). Т-х диаграмма политермического разреза АВ приведена на рис. 2.5. Ниже кривой ликвидуса начинается кристаллизация молибдата цезия. Линия вторичной кристаллизации представлена двумя ветвями. Ветви сходятся в точке $\bar{E}_2$, которая является направлением на тройную эвтектику. Была выявлена температура плавления тройной эвтектики – 561 °C. Изучением политермического разреза проведенного из вершины молибдата цезия через направление на эвтектику был выявлен состав тройной эвтектики - 2% CsF + 45% Cs_2MoO_4 + 53% CsCl .

Ликвидус системы $\text{CsF-CsCl-Cs}_2\text{MoO}_4$ представлен полями кристаллизации: хлорида цезия в α и β модификациях, фторида цезия, молибдата цезия в α и β модификациях, соединения D. Фазовые равновесия, соответствующие составам эвтектических сплавов:



Проведено экспериментальное определение удельной энтальпии плавления для образца состава E_2 . Расчет удельной энтальпии плавления состава провели по формуле:

$$\Delta_m H_E = \frac{\Delta S \cdot H_{\text{эм}} \cdot S_{\text{обр}} \cdot T_E}{m_{\text{эм}} \cdot T_{\text{эм}}} \text{ кДж/кг}, \quad (1)$$

Температура плавления исследуемого образца и вещества сравнения равна:

$$T_{\text{Еобр}} = 561^\circ \text{C} (834\text{K}); \quad T_{\text{эм}} (\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 397^\circ \text{C} (670\text{K}).$$

Результат составил $\Delta_m H_E = 73.6 \text{ кДж/кг}$.

Список использованных источников

1. Цезия галогениды // Химическая энциклопедия / Главный редактор И. Л. Кнунянц. — М.: «Советская энциклопедия», 1998. — Т. 5. — С. 657.
2. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб. пособие / под ред. В. В. Денисова. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2015. - 318 с.
3. Воскресенская Н.К., Евсеева Н.Н., Беруль С.И., Верещетина И.П. Справочник по плавкости систем из безводных неорганических солей // Под ред. Н.К. Воскресенской. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1961. Т.2. — 585 с.
4. Посыпайко В.И., Алексеева Е.А. Диаграмма плавкости солевых систем. Ч. III. Двойные системы с общим катионом. — М.: «Металлургия», 1979. — 204 с.
5. Теоретические и экспериментальные методы исследования многокомпонентных систем: учеб. пособие / И.К. Гаркушин, И.М. Кондратюк, Г.Е. Егорцев, М.А. Истомова. — Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. — 125 с.
6. Егунов В.П. Введение в термический анализ. Самара: СамВен, 1996. 270 с.
7. Глушко В.П. Термические константы веществ. Справочник под ред. — М.: ВИНТИ, 1981. Вып. X. Ч 2. — 300 с.

ТЕРМОДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСКРЕТНО-УПРОЧНЕННЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al-Cu-Ni-TiC С ДОБАВЛЕНИЕМ ГАЛОИДНЫХ СОЛЕЙ Na_2TiF_6 И Na_3AlF_6

Махонина Ю.В., студент; Луц А.Р., к.т.н., доцент; Рыбаков А.Д.

Самарский государственный технический университет

В статье произведен термодинамический анализ СВС-реакций, протекающих в расплаве алюминия в процессе получения дискретно-упрочненного сплава системы Al-5%Cu-4%Ni-10%TiC с применением галоидных солей.

Сплавы на алюминиевой основе нашли применение в космической, авиационной и многих гражданских отраслях промышленности и на сегодняшний день занимают второе место в мире по объемам производства. Однако, проблема повышения механических и эксплуатационных свойств алюминиевых сплавов по сей день остается немаловажной.

В последние годы проявляется повышенный интерес к алюминиевым сплавам, армированным частицами высокодисперсной фазы карбида титана TiC. Такие сплавы при небольшом содержании армирующей фазы могут применяться в качестве эффективных модифицирующих лигатур алюминиевых сплавов, а при повышенном содержании – в качестве дискретно упрочненных алюмоматричных композиционных материалов с высоким уровнем физико-механических и эксплуатационных свойств. Однако возможности оптимизации свойств таких сплавов за счет варьирования технологическими параметрами в значительной мере исчерпаны, поэтому в данный момент наблюдается тенденция к усложнению состава композиционных сплавов за счет введения легирующих элементов. В данной работе представлен анализ основных термодинамических параметров синтеза композиционного сплава Al-5%Cu-4%Ni-10%TiC, произведенный с применением комплекса программ "THERMO", разработанного в Институте структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова. Поскольку в предыдущих исследованиях была показана необходимость применения в СВС-процессах рафинирующих солей [1], расчеты в данной системе производились с учетом добавки солей Na_3AlF_6 и Na_2TiF_6 в количестве 0,5; 1; 2; 5 и 10% от массы шихты.

1) *Изменение адиабатической температуры.* Анализ полученных результатов (рис. 1) показал, что с увеличением первоначальной температуры расплава наблюдается повышение и адиабатической температуры системы. Однако соль Na_2TiF_6 приводит к чуть большему повышению температуры системы, особенно при добавлении ее в максимальном количестве - 10 масс. %. Рекомендуемая начальная температура расплава для проведения синтеза, позволяющая избежать спекания, - 1177 K.

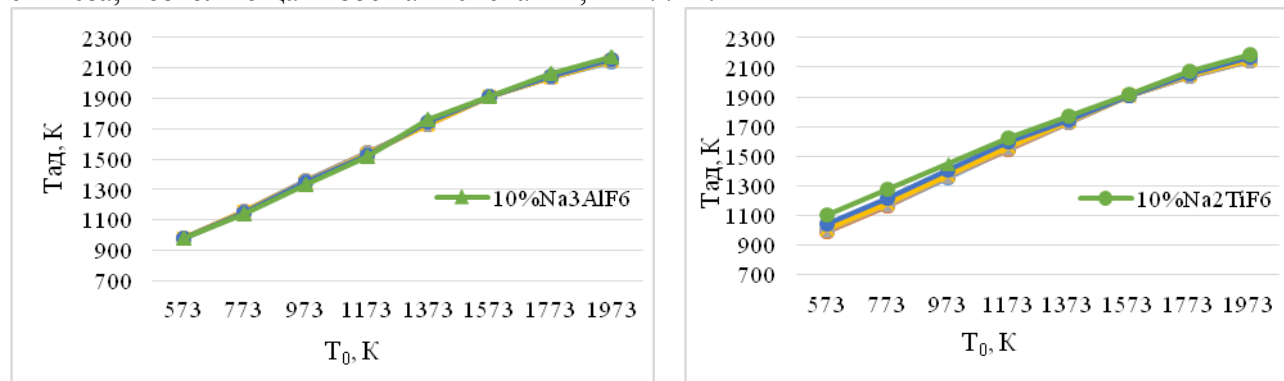


Рис. 1. Термодинамический анализ изменения адиабатической температуры:
а) с солью Na_3AlF_6 ; б) с солью Na_2TiF_6

2) *Образование побочных фаз.* При начальных температурах в системе наблюдается образование побочных фаз Al_4C_3 и Al_3Ti . Однако уже при температуре 473 К в системе с солями Na_3AlF_6 и Na_2TiF_6 происходит распад этих соединений (рис. 2).

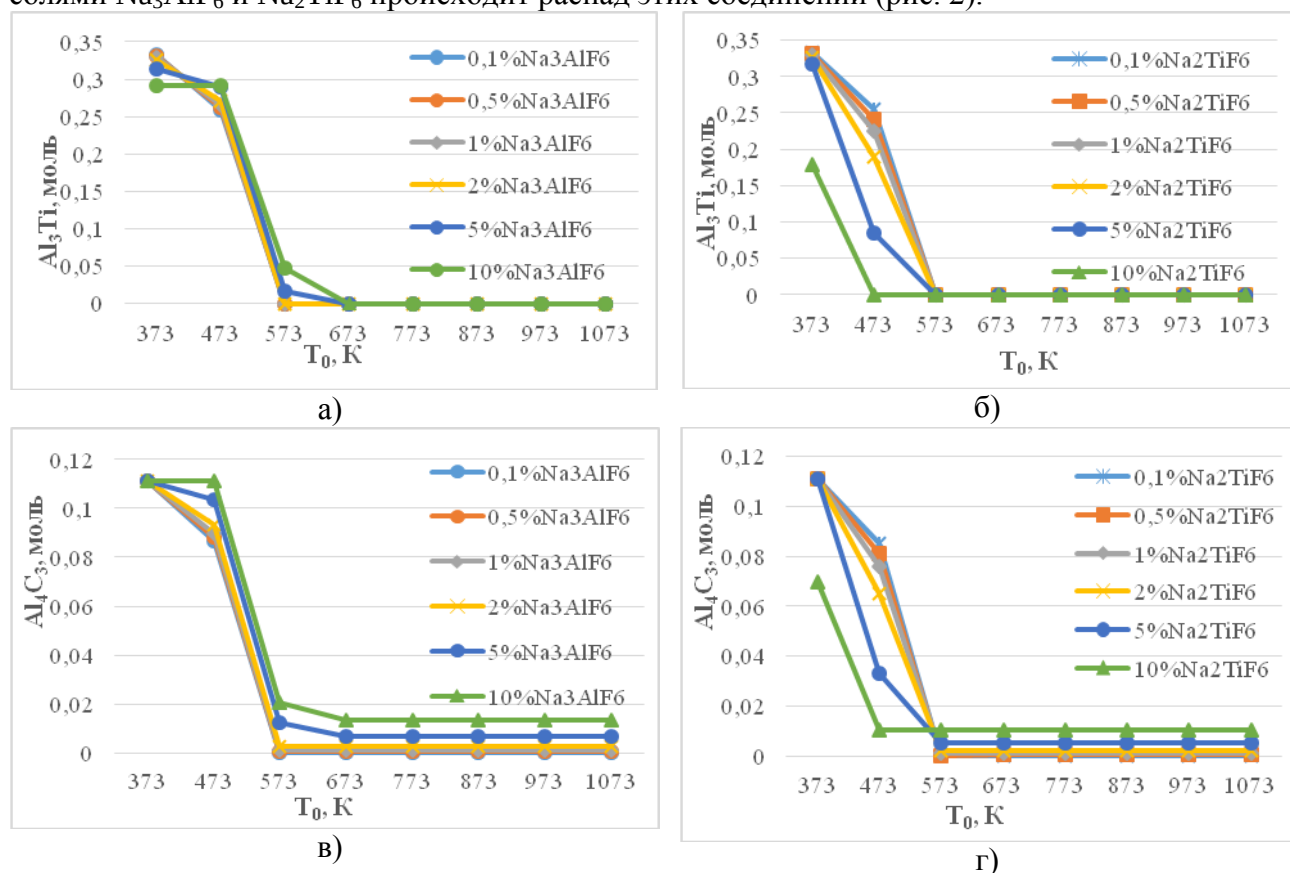


Рис. 2. Термодинамический анализ изменения количества побочных фаз:
а) Al_3Ti (соль Na_3AlF_6); б) Al_3Ti (соль Na_2TiF_6); в) Al_4C_3 (соль Na_3AlF_6); г) Al_4C_3 (соль Na_2TiF_6)

3) *Состав и количество выделяющихся газообразных соединений.* При добавлении 0,5% солей в обоих случаях образуются газообразные Na , AlF , $\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$ (хиолит), NaAlF_4 . Очевидно, в связи с тем, что Na_3AlF_6 имеет большую температуру плавления, некоторое количество этого соединения еще присутствует при начальных исследуемых температурах, но полностью исчезает при температуре расплава 1273 К, в то время как соединение Na_2TiF_6 в первоначальном состоянии не фиксируется уже при 373 К. Следует отметить, что при использовании Na_3AlF_6 в чуть большем количестве присутствует газообразный Na , а при использовании Na_2TiF_6 - AlF . При добавлении 1% солей в обоих случаях присутствует тот же набор газообразных соединений, но в случае с солью Na_2TiF_6 появляется еще один рафинирующий компонент - AlF_3 . При добавлении 2% солей также сохраняется первоначальный состав компонентов, увеличивается лишь их количество. При добавлении 5% солей в обоих случаях выделяется значительно большее количество газообразных соединений; к существовавшим ранее добавляется также NaF и AlF_2 - эффективные рафинирующие компоненты, что является благоприятным фактором. При добавлении 10% солей в обоих случаях сохраняется тенденция предыдущего состава, но образующихся газообразных соединений в два раза больше (рис. 3, 4). С точки зрения эффективности рафинирования наиболее подходящей концентрацией солей является их добавка в количестве 10%, однако при таком количестве возможно образование большого количества шлака, это негативно сказывается на выходе годного продукта. Поэтому, приняв во внимание все факторы, оптимальное количество солей, рекомендуемое к использованию, составляет 2 или 5% от массы шихты. Обе представленные соли оказывают значительный рафинирующий эффект, однако предпочтение следует отдать соли Na_2TiF_6 , поскольку в случае ее применения образуется несколько большее количество газообразных соединений.

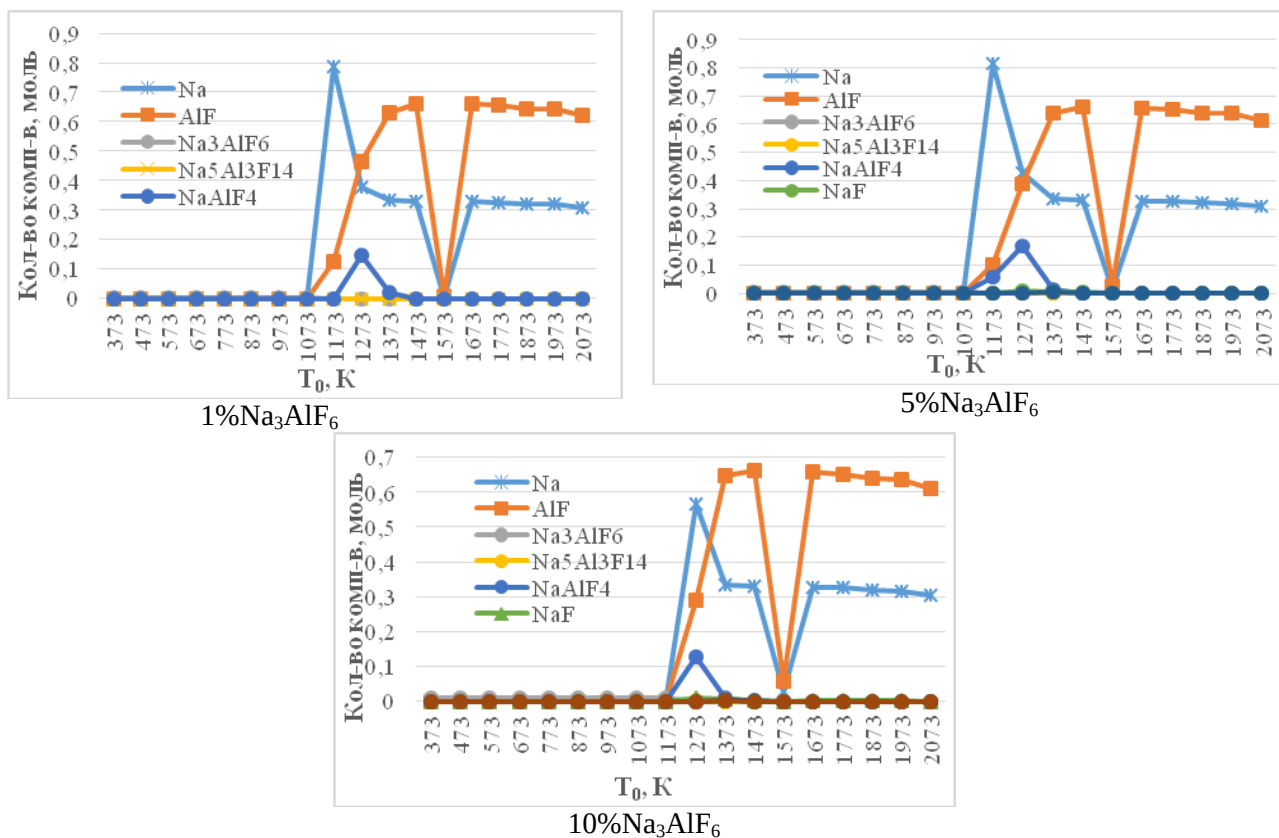


Рис. 3. Термодинамический анализ изменения количества газообразных фторсодержащих компонентов с применением галоидной соли Na₃AlF₆

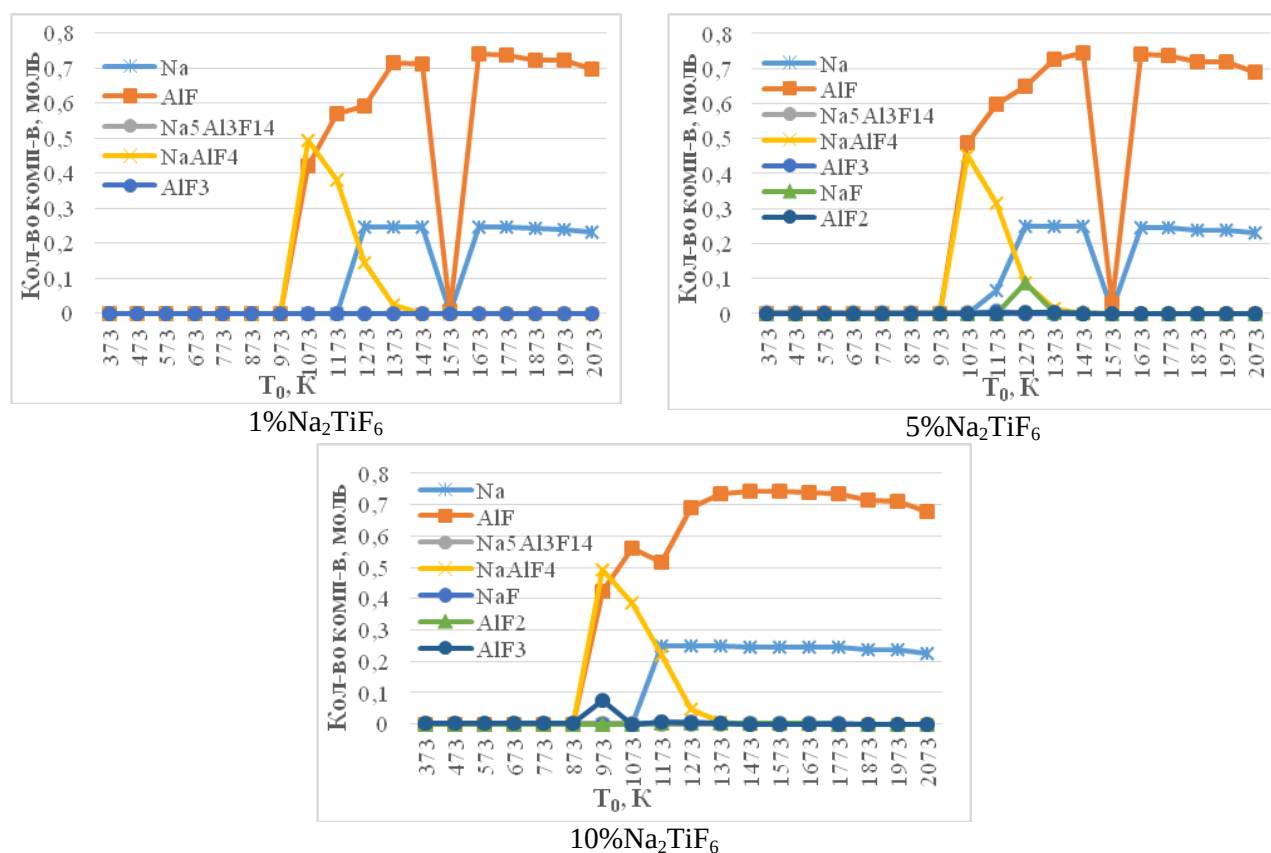


Рис. 4. Термодинамический анализ изменения количества газообразных фторсодержащих компонентов с применением галоидной соли Na₂TiF₆

4) *Количество целевой фазы TiC.* Анализ графиков показывает (рис. 5), что синтез целевой фазы возможен при использовании обеих солей, причем чем меньше процент добавления солей, тем больше количество синтезируемого карбида титана, особенно в присутствии соли Na_2TiF_6 .

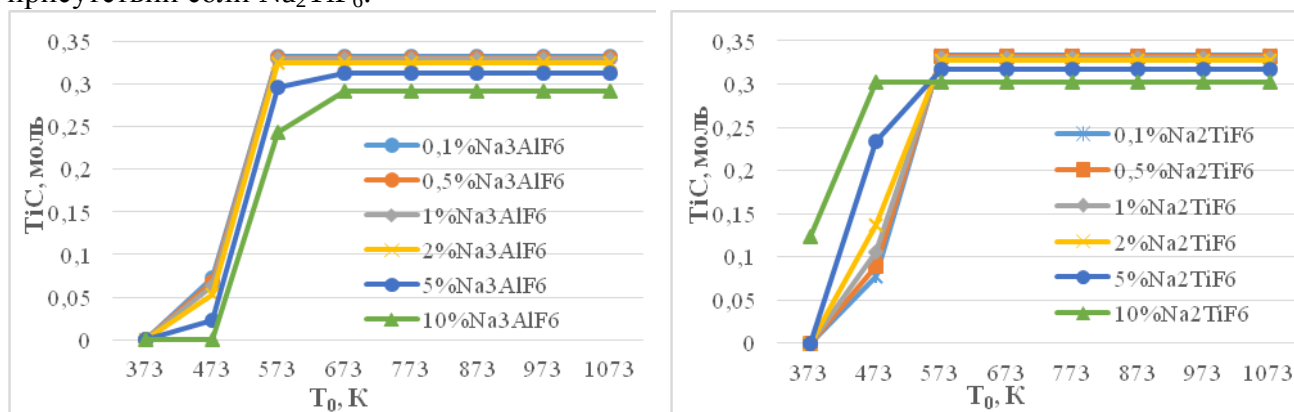


Рис. 5. Термодинамический анализ изменения количества целевой фазы TiC:
а) с солью Na_3AlF_6 ; б) с солью Na_2TiF_6

5) *Количество интерметаллидных фаз.* В системе образуются никельсодержащие интерметаллидные фазы, упрочняющие сплав, что является благоприятным фактором.

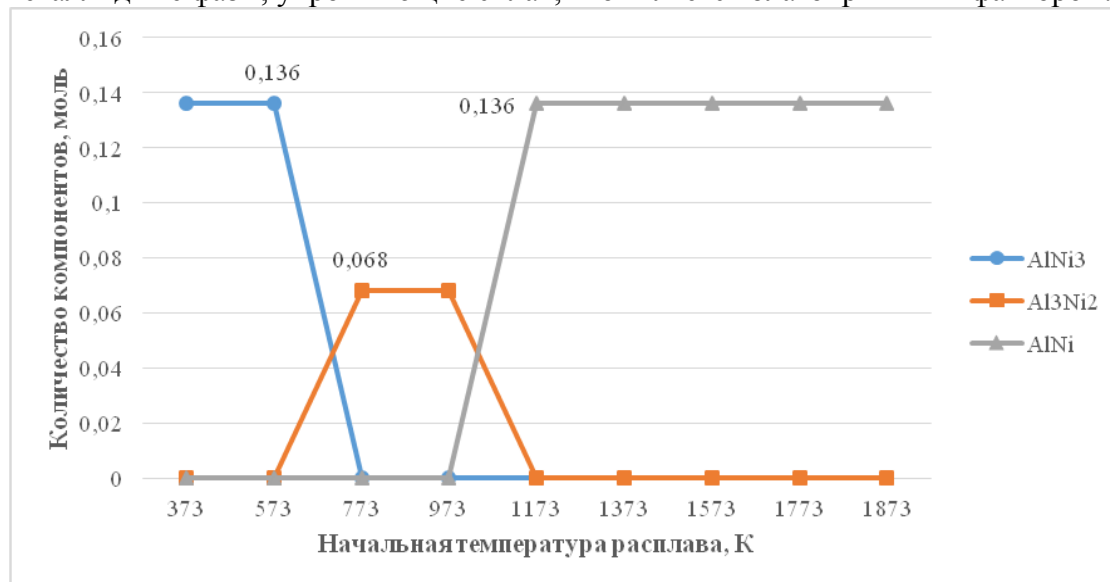


Рис. 6. Изменение количества никельсодержащих компонентов в присутствии солей Na_3AlF_6 и Na_2TiF_6

Таким образом, СВС композиционного сплава Al-5%Cu-4%Ni-10%TiC рекомендуется проводить при начальной температуре расплава 900°C в присутствии 2% соли Na_2TiF_6 .

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ по проекту № 17-48-630695/18.

Список использованных источников

1. Рыбаков А.Д., Махонина Ю.В., Луц А.Р., Амосов А.П.. Термодинамический анализ влияния флюсов Na_3AlF_6 и Na_2TiF_6 на синтез карбида титана в составе системы Al-10%TiC методом СВС / 71 Всерос. науч.-техн. конференция. 18 апреля 2018 г., Ярославль: сб.материалов конф. В. 3 ч. Ч. 2 [Электронный ресурс]. – Ярославль: Издат.дом ЯГТУ, 2018. – 1189 с.

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И РЕЖИМОВ ГОРЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ РАСТВОРНОГО СВС ОКСИДА ЦИНКА

Моисеев Н.В., магистрант; Никулина А.Д., бакалавр; Новиков В.А., ассистент; Амосов Е.А., к.т.н., доцент

Самарский государственный технический университет

В работе проведен расчет соотношения исходных реагентов для изучения процесса протекания растворного самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС-Р) наноразмерного порошка оксида цинка (ZnO), и произведен расчет термодинамических характеристик для выбранных составов. Расчет термодинамических характеристик проведен с использованием программного продукта THERMO, обработка полученных результатов проведена в программе Microsoft Excel. Для оценки достоверности полученных расчетных значений был проведен эксперимент по получению наноразмерного порошка оксида цинка (ZnO) методом СВС-Р с измерением термодинамических характеристик процесса.

Найдены граничные условия протекания реакций. Сделаны выводы о соответствии рассматриваемых моделей реальным процессам.

Один из способов синтеза наноструктурных порошков оксидов является растворный самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС-Р), который основан на самоподдерживающейся экзотермической реакции взаимодействия компонентов на основе систем, содержащих окислитель (нитрат металла) и горючее (растворимые в воде амины, органические кислоты).

Схему процесса можно представить следующим образом:

Горючее+окислитель+растворитель=оксид+газообразные продукты.

Процесс СВС-Р можно контролировать, изменяя соотношение *горючее/окислитель*, используя смеси различных горючих.

Исследование и разработка процесса растворного СВС весьма перспективна для создания простых и недорогих наноструктурных порошков оксидов.

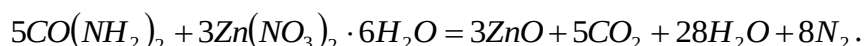
В качестве горючих используются органические вещества: мочевины ($\text{CO}(\text{HN}_2)_2$), глицин ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$), лимонная кислота ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$). Окислителем служат нитраты металлов, оксиды которых необходимо получить.

Рассмотрим пример синтеза оксида цинка. Расчёт адиабатических температур позволяет понять свойства процесса и методы его регулирования.

Целью данной работы является сравнение расчётной адиабатической температуры горения с температурами горения, полученными в ходе эксперимента. Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выбрать составы исходных реакционных растворов.
2. Провести расчеты адиабатических температур горения для выбранных составов при помощи программного продукта THERMO.
3. Провести эксперимент.
4. Сравнить расчетные значения температур с экспериментально полученными.
5. Изучить влияние содержания горючего в растворе на скорость реакции.

В данной работе в качестве горючего используется мочевины $\text{CO}(\text{HN}_2)_2$, а нитрат цинка $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в качестве окислителя. Уравнение реакции процесса СВС-Р ZnO :



Составы исходных реагентов представлены в таблице. Объем дистиллированной воды, используемой для одного раствора, 10 мл.

Исходные компоненты растворяем в дистиллированной воде до полного растворения. У всех растворов отсутствует запах и цвет.

Зависимость результатов эксперимента от содержания горючего

Содержание мочевины, %	$T_{\text{теор}}, \text{K}$	$T_{\text{эксп}}, \pm 50^\circ\text{K}$	$m_{\text{гор}}, \pm 0,01\text{г}$	$m_{\text{прод}}, \pm 0,01\text{г}$	$\tau_{\text{г}}, \pm 0,5\text{сек}$
80	309	370	1,97	1,52	9
90	523	566	2,21	1,67	8
100	715	1195	2,46	1,72	5
110	577	650	2,71	1,76	7
120	435	540	2,95	1,82	7

В таблице приведены данные по содержанию горючего, адиабатическим температурам горения, рассчитанным в программе THERMO, масса целевого продукта, время синтеза.

Для всех составов горение идет в режиме объемного взрыва. Продукты горения представляют собой рыхлые, легко разрушающиеся до состояния порошка спеки песочного цвета.

На рис. 1 представлены расчетные и экспериментальные значения температур горения.

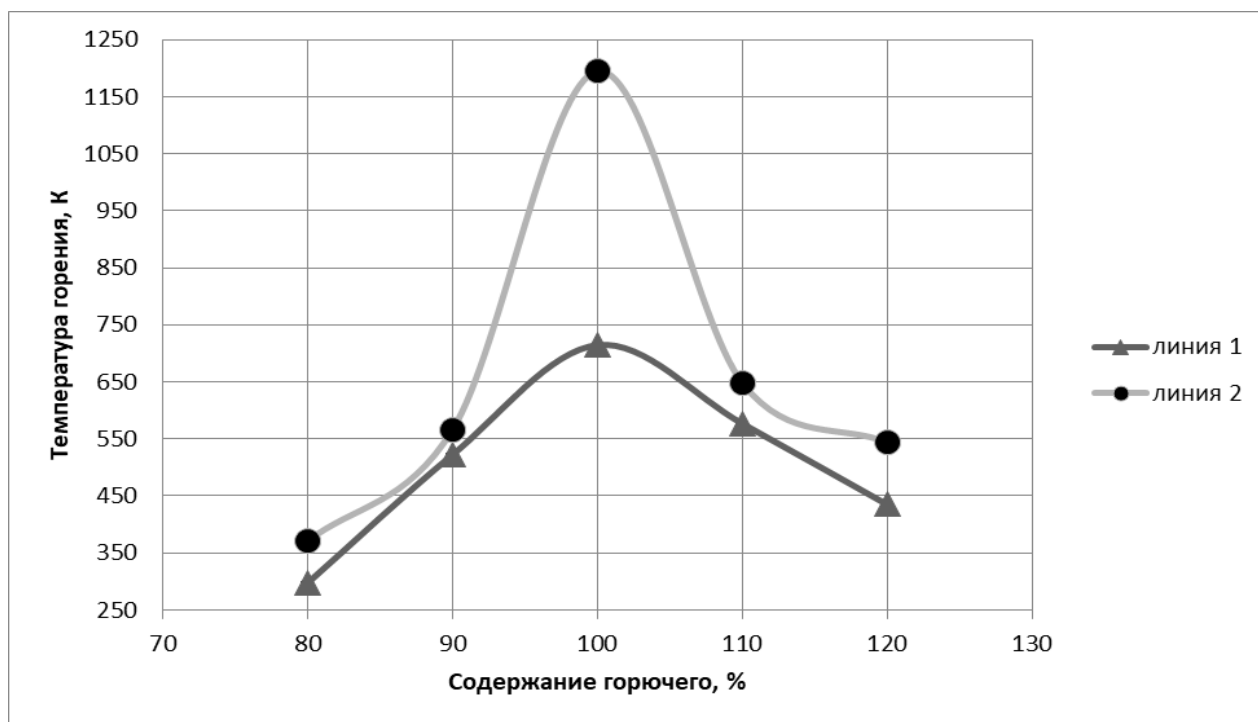


Рис. 1. Зависимость температуры СВС процесса ZnO от содержания горючего в смеси исходных компонентов:

1 - расчетное значение температуры; 2 - экспериментальное значение температуры

Как видно из рисунка, граничными условиями протекания процесса горения являются значения концентраций горючего в 70% и 130%, т.е. растворы не горят. Если содержание горючего в интервале 80...100%, то температура линейно увеличивается, а в интервале 100...120% - линейно уменьшается.

На рис. 2 представлены экспериментальные значения времени горения. Как видно из рисунка, при добавлении мочевины в диапазоне от 80 до 100%, время реакции уменьшается, т.е. скорость протекания реакции становится выше и достигает своего максимума при 100%-

ой (стехиометрической) концентрации горючего, а с увеличением концентрации в диапазоне от 100 до 120% время реакции, наоборот, увеличивается, т.е. скорость реакции уменьшается.

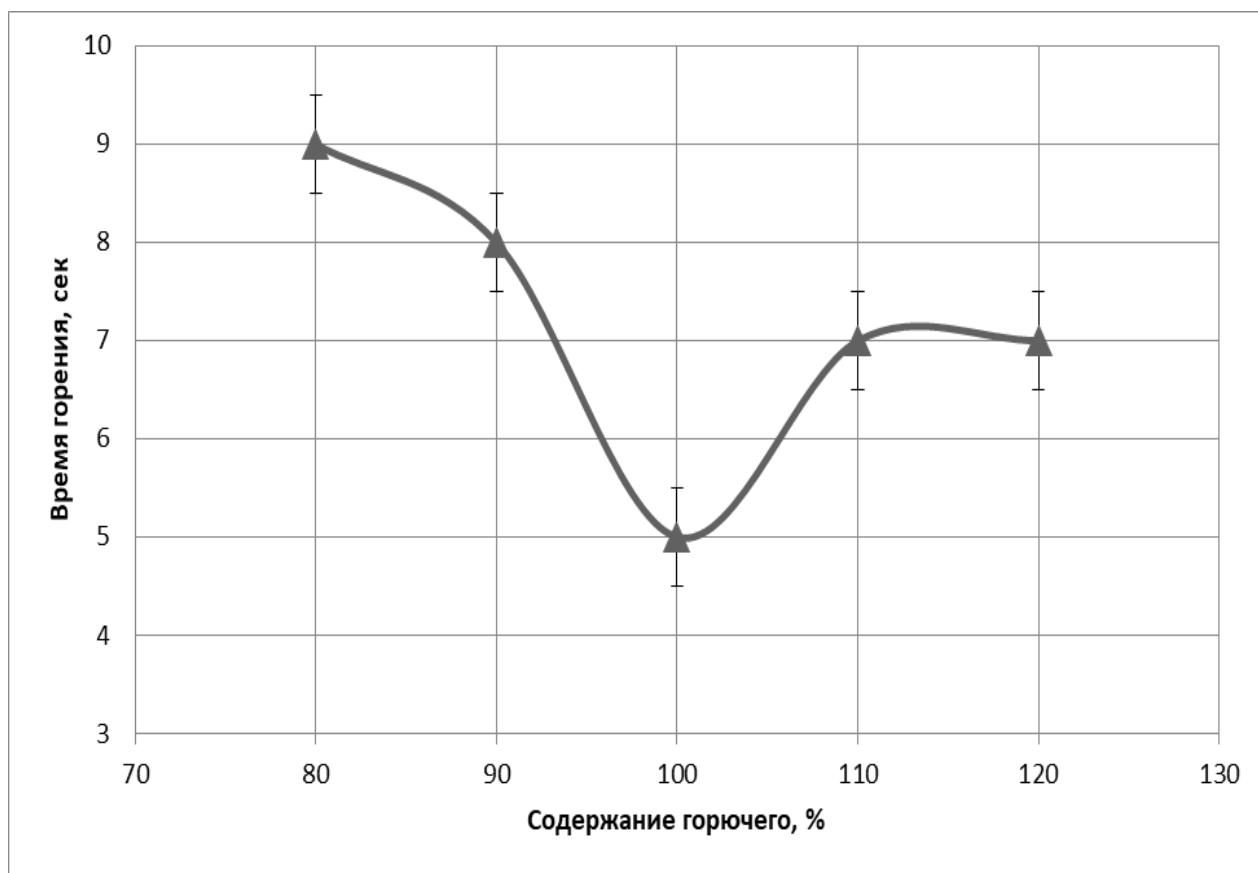


Рис. 2. Зависимость времени СВС процесса ZnO от содержания горючего в смеси исходных компонентов

Если температура горения повышается, то и скорость горения повышается – это согласуется с теоретическими данными [1].

В результате эксперимента найдены граничные условия протекания реакций. При нестехиометрическом содержании мочевины расчетные и экспериментальные значения температур горения достаточно хорошо согласуются друг с другом. Рассчитанные в программе THERMO значения температур близки к экспериментальным значениям. Предполагается, при стехиометрическом соотношении исходных компонентов механизм взаимодействия отличается от механизма с избытком/недостатком горючего, поэтому значение резко отличается от опытного. Так как экспериментальная температура СВС реакции составляет не более 1200К, то, согласно литературным данным [1], в результате протекания процесса должны образовываться наноструктурные продукты горения.

Список использованных источников

1. Амосов А.П., Боровинская И.П., Мержанов А.Г. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: Учеб. пособ. / Под научной редакцией В.Н. Анциферова. – М.: Машиностроение–1, 2007. – 567 с.

ПОЛУЧЕНИЕ ЛЕГИРОВАННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ (Al –5%Cu - 4%Ni) – 10%TiC МЕТОДОМ СВС**Рыбаков А.Д., аспирант; Колибасов В.А., студент; Луц А.Р., к.т.н., доцент***Самарский государственный технический университет**Приведена методика получения композиционного сплава системы (Al-5%Cu-4% Ni), армированного частицами карбида титана, методом СВС в расплаве. Представлена микроструктура полученного сплава и его механические свойства.*

Композиционные сплавы, армированные тугоплавкими керамическими частицами, на основе алюминиевой матрицы широко востребованы в ряде отраслей промышленности. Одним из наиболее перспективных методов получения таких сплавов является метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в расплаве [1]. В ряде исследований ученых СамГТУ уже была показана эффективность использования СВС для изготовления легированных алюминиевых композиционных сплавов [2]. В работе [3] был получен сплав системы Al-5%Cu-10%TiC с размером частиц армирующей фазы от 100 до 500 нм. Автором было показано, что повышение степени дисперсности армирующих частиц дает возможность существенно повысить прочность конечных сплавов. Достичь большего повышения прочности путем измельчения армирующей фазы на этом этапе становится достаточно проблематично. Вместе с тем, известно, что улучшить механические свойства представляется возможным, прибегнув к традиционному легированию матрицы сплава. Перспективными элементами для легирования алюминиевой матрицы являются медь и никель.

Медь, как правило, вводится в количестве 4,5 ... 5,3%, так как данное содержание, согласно диаграмме состояния Al-Cu, способно раствориться в алюминиевой основе. Фаза CuAl_2 , образующаяся после охлаждения благоприятно влияет на дисперсионное упрочнение конечного продукта. В качестве примера можно привести сплав Al-4,5%Cu-5%TiC, синтезированный при помощи СВС. Данный композит обладал значительными характеристиками прочности, твердости, высокой скоростью резания и износостойкостью. Также, как пример, можно привести сплав системы Al-4%Cu-x%TiB₂ (где x равнялся значениям 0; 2,5; 5; 7,5 и 10 масс.%), полученный при помощи СВС в расплаве. Армирующая фаза в этом композите формировалась из солей K_2TiF_6 и KBF_4 . У полученного сплава были высокие прочностные характеристики, а значение сопротивления сухому износу возрастало с увеличением содержания керамической фазы в составе [4].

Выбор никеля связан с образованием эвтектической фазы NiAl_3 в составе. Сплав системы Al-4%Ni обладает пониженным интервалом кристаллизации и повышенным показателем горячеломкости. Данное соединения обладает глобулярной морфологией, что повышает пластичность и вязкость разрушения сплава. Одновременное присутствие тугоплавкой фазы TiC и эвтектического алюминида никеля, которые формируются за одну технологическую операцию последовательно в процессе СВС в расплаве алюминия и в процессе кристаллизации сплава, может положительно повлиять на свойства алюминиевых сплавов при повышенных температурах. Взаимодействие Al с Ni также сопровождается значительным тепловыделением, из-за чего температура расплава способна достигать высоких показателей. Данный фактор является одним из ключевых для проведения СВС в расплаве.

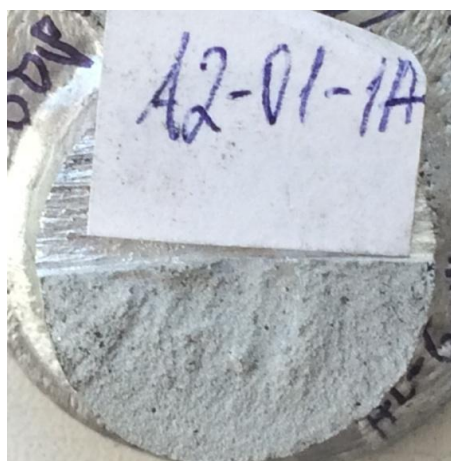
Для получения композиционного сплава системы (Al-5%Cu-4%Ni)–10%TiC методом СВС использовалась методика, разработанная в СамГТУ [3]. Изначально подготавливалась

шихта из порошков Ti (ТПП-7), C (техническая сажа П-701). Соотношение титана к углероду в смеси было 4:1. По результатам предварительных термодинамических исследований [5] было показано, что для достижения полноты протекания реакции СВС необходимо использовать в составе шихты галоидные соли в количестве до 2% от массы шихты. По этой причине в ряде плавов в шихту добавлялась соль Na_2TiF_6 . Для сравнения также были подготовлены образцы, не содержащие соли.

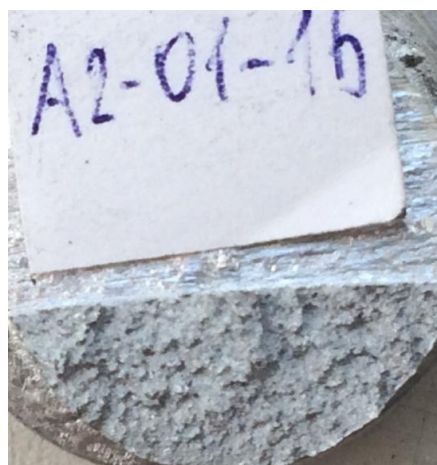
Исходные компоненты перемешивались в шаровой мельнице в течении 1 ч.. Полученную СВС-шихту дозировали в виде брикетов из алюминиевой фольги толщиной 50...100 мкм. Алюминий А7 использовался в качестве матричной составляющей для синтеза композиционного сплава. В качестве источника меди использовалась медная проволока (в количестве 5% от общей массы плавки). Никель (4% от массы образца) вводился в виде псевдолигатуры, состоящей из крупнозернистого порошка никеля и алюминиевого порошка в соотношении 70% Ni к 30% Al. Данный состав прессовалась в таблетку при 20 атм., после чего разделялся на две части.

Синтез образцов проводился в тигельной плавильной высокотемпературной печи ПП 20/12. Рабочая камера печи нагревалась до 400 ... 500°C, после чего в нее погружался графито-шамотный тигель типа ТГ-1 с алюминием. После того, как алюминий расплавился, температура расплава поднималась до 800...850°C и вводилась медь. Затем следовала выдержка в течении 20 минут, после чего в расплав загружался никель с последующей выдержкой в 20 минут. Температура расплава затем поднималась до 900°C. В расплав последовательно вводились навески из смеси порошков. Каждый брикет выдержался под зеркалом расплава до начала активной СВС-реакции образования карбида титана, сопровождающейся искро- и газовыделением. Во время реакции расплав тщательно перемешивался, после чего выдерживался в течении 1...2 минут и разливался в форму.

На рисунке 1 представлены изломы образцов с использованием соли Na_2TiF_6 (рис. 1, а) и без нее (рис. 1, б). Оба излома получились чистыми и не содержали вредных включений в виде непрореагировавшей шихты. Тем не менее, излом образца с солью отличался более равномерной структурой, в отличие от излома образца без нее. Сплав на рисунке 1, а также оказался более хрупким при получении излома, в отличие от композита на рисунке 1, б, что свидетельствует о большем усвоении TiC. На это также указывает усадочная раковина и матовая поверхность образца.



а)



б)

Рис. 1. Излом образцов композиционного сплава:

а) с применением Na_2TiF_6 ; б) без Na_2TiF_6

На рисунке 2 представлена микроструктура полученных композиционных сплавов. Размер армирующих керамических частиц карбида титана в образце без соли находился в диапазоне от 186 до 280 нм. В композите с добавлением Na_2TiF_6 наблюдалось уменьшение размеров частиц TiC: размер частиц в конечном продукте варьировал от 130 нм до 250 нм.

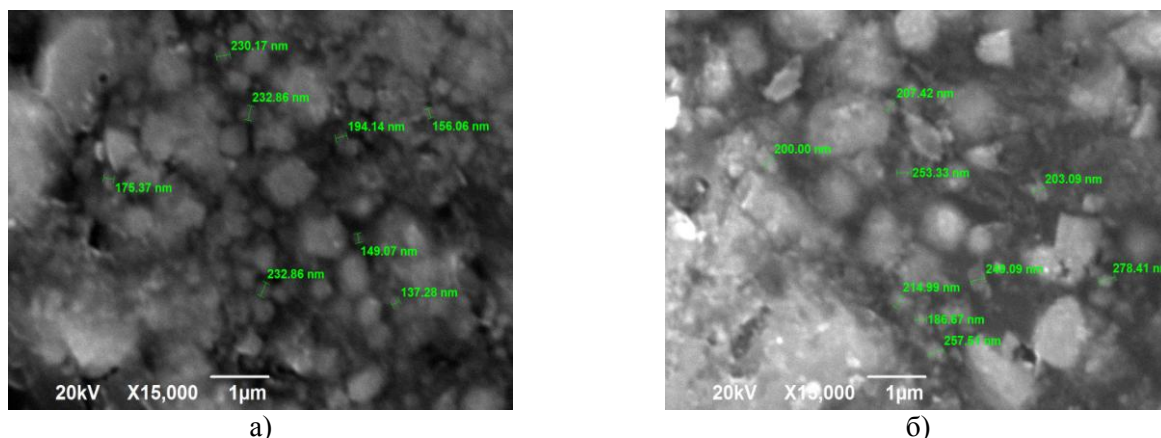


Рис. 2. Микроструктура образцов композиционного сплава:
а) с применением Na_2TiF_6 ; б) без Na_2TiF_6

Образец с добавлением соли был исследован на твердость. В ходе испытаний удалось установить, что полученный сплав обладает значительной твердостью (98 НВ).

По окончании эксперимента можно сделать ряд следующих выводов касательно полученного композиционного сплава системы $(\text{Al}-5\%\text{Cu}-4\%\text{Ni})-10\%\text{TiC}$:

1. Сплав с солью Na_2TiF_6 обладает чистым и равномерным изломом, что указывает на полноту проведения СВС в ходе получения образца;
2. Образец с Na_2TiF_6 обладает высокими показателями твердости: 95-98 НВ.
3. Исследование микроструктуры композита с Na_2TiF_6 показало, что размеры частиц керамической армирующей фазы в нем имеют значения 130-250 нм, что может обеспечить существенное улучшение прочностных характеристик.

Полученные результаты позволяют рекомендовать сплав $(\text{Al}-5\%\text{Cu}-4\%\text{Ni})-10\%\text{TiC}$, полученный методом СВС в расплаве, к дальнейшей разработке.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ по проекту № 17-48-630695/18.

Список использованных источников

1. Амосов А.П., Луц А.Р., Латухин Е.И., Ермошкин А.А. Применение процессов СВС для получения *in situ* алюмоматричных композиционных материалов, дискретно армированных наноразмерными частицами карбида титана // Изв. вузов. Цветная металлургия. – №1. – 2016. – С. 39–49.
2. Комплексное легирование матрицы наноструктурного композиционного сплава $\text{Al}-10\%\text{TiC}$, получаемого методом СВС в расплаве / Луц А.Р., Шипилов С.И., Рыбаков А.Д. / Мат. Междунар. конф. «СВС-50», приуроченной к 50-летию юбилею научного открытия «Явление волновой локализации автотормозящихся твердофазных реакций...», Черногловка, Россия, 20 – 21 ноября, 2017. С. 141-142.
3. Ермошкин А.А. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез литых алюмоматричных композиционных материалов, армированных наночастицами карбида титана / Автореф. дис. канд. техн. наук: 01.04.17 – Самара: СамГТУ, 2015. – 17 с.
4. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез наноструктурных композиционных сплавов $(\text{Al}-2\%\text{Mn})-10\%\text{TiC}$ и $(\text{Al}-5\%\text{Cu}-2\%\text{Mn})-10\%\text{TiC}$ при легировании порошковым марганцем / А.Р. Луц [и др.] // Изв. вузов. 2018. № 3. С. 30-40.
5. Термодинамический анализ влияния флюсов Na_3AlF_6 и Na_2TiF_6 на синтез карбида титана в составе системы $\text{Al}-10\%\text{TiC}$ методом СВС / А.Д. Рыбаков, Ю.В. Махонина, А.Р. Луц [и др.] // Семьдесят первая всерос. науч.-тех. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с междунар. участием. / Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 2 [Электронный ресурс]. – Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2018. – С. 493-496.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО СПЛАВА (Al-5%Cu-4%Ni) -10%TiC

Рыбаков А.Д., аспирант; Шипилов С.И., аспирант; Луц А. Р., к.т.н., доцент

Самарский государственный технический университет

Приведены результаты исследования электропроводности, жидкотекучести, усадки и коррозионной стойкости дисперсно-армированного сплава (Al-5%Cu-4%Ni) - 10%TiC, полученного методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

В рамках последних исследований учеными СамГТУ была показана возможность применения метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) для изготовления легированных композиционных сплавов [1, 2]. В частности, был получен композит (Al-5%Cu-4%Ni) -10%TiC, в структуре которого удалось синтезировать частицы керамической фазы карбида титана ультрадисперсных размеров (100 ... 500 нм). Однако для завершения исследований необходимо изучить его физические и технологические свойства, результаты которых позволят определить области его применения, что и было поставлено целью настоящего исследования.

Электропроводность является структурно чувствительной величиной и при одинаковом химическом составе существенное влияние оказывают параметры структуры фаз, распределение фаз по объему образца и наличие легирующих элементов и неметаллических примесей. Известно, что если примесные атомы образуют с основой твёрдые растворы, то удельное электросопротивление увеличивается прямо пропорционально количеству растворённого элемента. Хотя разработанный сплав рассматривается не как электротехнический, а как конструкционный материал, снижение электропроводности будет подтверждать внедрение легирующих элементов в состав твердого раствора α -алюминия. Для анализа электропроводности использовался вихретоковый структуроскоп ВЭ-26НП; результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Электропроводность матричных и легированных композиционных сплавов

Исходный материал	γ , МСм/м
Al (A7)	36
(Al-5%Cu)	30,6
(Al-5%Cu-4%Ni)	23,3
Al-10%TiC	25,4
(Al-5%Cu) -10%TiC	21,3
(Al-5%Cu-4%Ni) -10%TiC	19,6

Согласно известным данным [3], примеси, по их отрицательному влиянию на электропроводность алюминия, можно расположить следующим образом: Cr, V, Mn, Ti, Mg, Ag, Cu, Zn, Si, Fe Ni, т.е. медь находится в середине списка, а никель должен минимально понижать общую электропроводность. Полученное значение – 19,6 МСм/м оказалось выше, чем у некоторых промышленных сплавов, поскольку, например, у сплава АМ5 электропроводность составляет 17,2 МСм/м. В целом, можно сделать вывод о том, что электропроводность сплава находится на приемлемом уровне, а упрочнение частицами карбида титана для сплавов промышленного применения является более целесообразным, чем традиционное твердорастворное.

Следующим показательным параметром в данной работе была выбрана жидкотекучесть, которую определяли на матричных сплавах и полученных композитах путем заливки в пробу Нехендзи-Купцова. В ходе эксперимента форму подогревали до 150°C, температура расплава составляла 750°C; в пробе использовалась диафрагма размером 8 мм. Мерой жидкотекучести является высота залитого столба, причем максимальное значение составляет 400 мм, что характерно для чистого алюминия. Полученные численные результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Жидкотекучесть матричных и легированных композиционных сплавов

Матричный сплав	Температура расплава, °C	Жидкотекучесть, мм
Al	750	400
AM5	750	400
Al – 10%TiC	750	390
(Al-5%Cu)-10%TiC	750	390
(Al-5%Cu-4%Ni) -10%TiC	750	380

Анализ результатов позволяет сделать вывод о том, что матричные сплавы с добавлением меди и никеля характеризуются последовательным незначительным снижением жидкотекучести. Вместе с тем, все композиты показали хорошую стойкость к трещинообразованию и пластичность, что, вероятно, связано с тем, что частицы карбида титана ультрадисперсных размеров не препятствуют свободному течению матричного сплава. В целом, полученный композиционный сплав демонстрирует снижение жидкотекучести лишь на 5% и по этому параметру вполне соответствует уровню современных промышленных алюминиевых сплавов.

На основе полученных отливок была измерена длина вертикального прута и рассчитана линейная усадка сплава (Al-5%Cu-4%Mn) -10%TiC по формуле:

$$\varepsilon = \frac{L_{\phi} - L_{отл}}{L_{отл}} \cdot 100\%,$$

где L_{ϕ} – длины вертикальной полости литейной формы (152 мм); $L_{отл}$ – фактическая длина вертикального прутка при температуре 20 °C (151,5 мм); $\varepsilon_{лин}$ – линейная усадка (%). Согласно расчетам, линейная усадка составила 1%, что является высоким показателем, поскольку для большинства алюминиевых сплавов, в зависимости от состава, практическая усадка обычно составляет 2...7%.

Заключительным параметром, взятым для исследования, стала устойчивость к коррозии. Хотя, как известно, алюминий высокой или технической чистоты обладает чрезвычайно значительной стойкостью к агрессивным средам, наличие примесей – железа, кремния, меди, никеля и др. – способно существенно понизить эти высокие значения. Традиционные методики определения стойкости к коррозии предполагают значительные временные затраты, поэтому в данной работе был опробован быстро реализуемый способ, предназначенный именно для алюминиевых сплавов и предлагаемый авторами патента РФ № 2478131 [4]. Суть его состоит в следующем: образцы помещаются в водный раствор 5,7%NaCl и 0,3% H₂O₂; после выдержки в течение 24 часов сравнивается потемнение поверхности со сплавом-эталоном (например, чистым алюминием). Съемка производилась при одинаковом освещении, результаты испытания приведены на рис. 1.

Хотя оценка образцов данным способом достаточно субъективна, все же в целом можно сделать вывод, что образец (Al-5%Cu-4%Mn) -10%TiC выглядит темнее остальных, что свидетельствует о его невысокой коррозионной стойкости. Поэтому, в случае использования сплава в агрессивных средах, можно рекомендовать подвергать изделия из него плакированию или анодированию [5].



Рис. 1. Образцы после испытаний на коррозионную стойкость:
а – Al (A7); б – (Al-5%Cu); в – (Al-5%Cu-4%Ni);
г – Al-10%TiC; д - (Al-5%Cu) -10%TiC; е - (Al-5%Cu-4%Ni) -10%TiC

В целом, подводя результаты проведенных исследований, можно отметить, что из всех исследуемых характеристик только коррозионная стойкость оказалось на невысоком уровне в сравнении с промышленными сплавами. Принимая во внимание, что носителями структурной наследственности в алюминиевых сплавах являются дисперсные неметаллические (в том числе керамические) и интерметаллические фазы [6], присутствующие в значительном количестве в разработанном сплаве (Al-5%Cu-4%Mn) - 10%TiC, можно уверенно утверждать, что структурная информация о заложенном уровне свойств сохранится в сплаве и при дальнейших технологических воздействиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ по проекту № 17-48-630695/18.

Список использованных источников

1. Комплексное легирование матрицы наноструктурного композиционного сплава Al-10%TiC, получаемого методом СВС в расплаве / Луц А.Р., Шипилов С.И., Рыбаков А.Д. / Мат. Международной конференции «СВС-50», приуроченной к 50-летию юбилею научного открытия «Явление волновой локализации автотормозящихся твердофазных реакций...», Черноголовка, Россия, 20 – 21 ноября, 2017. С. 141-142.
2. Луц А.Р., Рыбаков А.Д., Ионов М.К. Исследование возможности ввода легирующей добавки порошкового никеля в состав матричных основ Al и Al-Cu / Вестник СамГТУ, 2017, № 3 (55). с. 154-160.
3. Тимошкин И.Ю. Разработка комплексных технологий получения мелкокристаллических лигатур для алюминиевых сплавов / Дисс. на соискание уч. степени канд.техн.наук. - Владимир. - 2011. – 188 с.
4. Патент РФ № 2 478 131. Термостойкий литейный алюминиевый сплав /Белов Н.А., Белов В.Д., Алабин А.Н., Мишуров С.С. // Оpubл. 27.03.2013 г.
5. Синявский В.С., Вальков В.Д., Калинин В.Д. Коррозия и защита алюминиевых сплавов. М.: Металлургия. Изд.2, перераб. и доп. - 1986. - 368 с.
6. Наследственность в литых сплавах: Учебное пособие по курсу лекций / В.И. Никитин. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2015. – 170 с.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРИПОЕВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ ПОСЛЕ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

Хакимов А.М., начальник лаборатории аддитивных технологий ПАО «Кузнецов»,
аспирант кафедры МиТЭ; **Жаткин С.С.,** к.т.н., доцент кафедры ЛиВТ

Самарский государственный технический университет

В данной статье приведен анализ влияния термической обработки на изменение износостойких свойств высокотемпературных припоев на основе никеля после проведения лазерной импульсной наплавки. Сформулированы рекомендации по выбору оптимального материала для восстановления лопаток турбостартера газотурбинного двигателя из сплава ЖСб-К.

В настоящее время актуальной тематикой является восстановление изношенных лопаток компрессора, турбины и турбостартера (ТС) ГТД в связи с многочисленным снятием с изделия при проведении ремонта после наработки по браковочным признакам, таким как: износ, забоина и т.д. В данной работе приведены результаты исследований по влиянию термической обработки на величину абразивного износа наплавленных порошковых припоев на основе никеля после импульсной лазерной наплавки. Использование указанных припоев при восстановлении изношенной высоты пера лопатки ТС ГТД позволит не только восстановить геометрию, но и повысить износостойкость торца, что увеличит ресурс лопаток по сравнению со вновь изготовленными.

Методики исследований:

Импульсная лазерная наплавка производилась на твердотельной лазерной установке модели ALFA-300 производства ООО «ЛазерФорм» на образцы из стали Ст2 размерами 20x20 мм и толщиной 2 мм. Лазерная порошковая наплавка высокотемпературных никелевых припоев ВПр24, ВПр27, ВПр11-40Н и композиционного материала на основе Ni с литым карбидом вольфрама Рок-Дюр 6740 проводилась методом наплавки в порошковой ванне [1]. Размеры зоны наплавки составили 10x10 мм и высотой 5 мм. Была проведена лазерная наплавка образцов в количестве 12 шт. (по 3 образца каждого вида) для проведения термических испытаний.

Для проведения исследований был выбран режим лазерного воздействия, характеристики которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

Режим лазерной наплавки

Напря- жение на лампе (В)	Частота (Гц)	Длитель- ность импульса (мс)	Пиковая мощность (кВт)	Средняя мощность (Вт)	Диаметр пучка (мм)	Энергия импульса (Дж)	Средняя мощность импульса от максимума (%)
380	5	20	2,22	222	0,6	44,4	84,4

Испытания на абразивный износ были проведены в лаборатории наноструктурированных покрытий СамГТУ на установке Универсал-1А собранной на базе сверлильного станка СС-13/350, обеспечивающей через систему датчиков и средств регистрации непрерывный контроль нормальной нагрузки и момента трения.

Испытания на абразивный износ проводились локально в участке зоны наплавки, материал контртела – трубка из стали 40Х (закалка до HRC 46...48) с внешним диаметром 6

мм и толщиной стенки 1 мм. Испытания проводились при нормальной нагрузке в 30 сН в течение 15 минут с частотой вращения шпинделя 600 об/мин. При испытаниях использовалась алмазная паста АСМ-3/2-НОМГ, соответственно износ образца осуществлялся алмазным порошком дисперсностью 2...3 мкм. Площадь трения составляла $1,57 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$.

Замер глубины износа наплавленных образцов (до и после проведения термообработки) проводился с помощью механического профилографа по 16 точкам.

Термообработка образцов после лазерной наплавки производилась в вакуумной электропечи сопротивления СНВЭ-2.4.2/16-2 до температуры 900°C с выдержкой 1, 2 и 3 часа.

Результаты исследований и их анализ:

При проведении испытаний на абразивный износ наплавленного образца из ВПр24, происходило схватывание наплавленного слоя с ответной деталью. С ростом времени термообработки этот процесс проявляется все меньше. При испытаниях наплавленного образца из Рок-Дюр 6740 происходило выкрашивание карбидов вольфрама. С ростом времени термообработки до 2-х и 3-х часов выкрашивание уменьшается, что может быть связано с распадом и измельчением крупных карбидов в процессе термообработки. У наплавленных образцов из ВПр27 и ВПр11-40Н износ во всех режимах термообработки протекал равномерно и видимых отклонений не наблюдается.

В табл. 2 приведены результаты исследований на абразивный износ наплавленных образцов и материала лопатки до проведения термической обработки [2...4].

Таблица 2

Скорость износа исследуемых материалов до проведения термической обработки

Материал	Скорость износа, мкм/час
ЖС6-К (материал лопатки)	324±31
ВПр11-40Н	115±11
ВПр24	474±32
ВПр27	236±50
Рок-Дюр 6740	162±15

В табл. 3 приведены результаты исследований на абразивный износ наплавленных образцов после проведения термической обработки (1,2 и 3 часа).

Таблица 3

Скорость износа наплавленных материалов после термической обработки

Наименование	Время термической обработки	Скорость износа, мкм/час
ВПр24	1	1462±325
ВПр24	2	644±158
ВПр24	3	255±52
ВПр27	1	83±10
ВПр27	2	75±11
ВПр27	3	67±13
ВПр11-40Н	1	109±37
ВПр11-40Н	2	78±21
ВПр11-40Н	3	50±7
Рок-Дюр 6740	1	298±77
Рок-Дюр 6740	2	127±31
Рок-Дюр 6740	3	114±24

Выводы:

По результатам исследований влияния термической обработки на локальный абразивный износ наплавленных импульсным лазерным воздействием высокотемпературных порошковых материалов ВПр24, ВПр27, ВПр11-40Н и Рок-Дюр 6740 установлено:

1) В процессе испытаний образца с наплавленным ВПр24, происходило схватывание наплавленного слоя с ответной деталью. С ростом времени термообработки этот процесс проявляется все меньше. При испытаниях наплавленного образца из Рок-Дюр 6740 происходило выкрашивание карбидов вольфрама. С ростом времени термообработки до 2-х и 3-х часов выкрашивание уменьшается, что может быть связано с распадом и измельчением крупных карбидов в процессе термообработки. У наплавленных образцов из ВПр27 и ВПр11-40Н износ во всех режимах термообработки протекал равномерно и видимых отклонений не наблюдается.

2) Для наплавленных порошков ВПр24 и Рок-Дюр 6740 после термообработки в течение 1 часа скорость износа стала выше, чем до термообработки, что может быть связано с распадом первичных карбидов. После проведения термообработки в течение 2 и 3 часов у наплавленных образцов из материалов ВПр24 и Рок-Дюр 6740 наблюдается постепенное уменьшение скорости абразивного износа. При этом абразивный износ после 3 часов термической обработки у этих материалов становится ниже, чем у материала лопатки ТС ГТД НК-12МП.

3) На основе проведенных испытаний на локальный абразивный износ установлено, что припои ВПр11-40Н и ВПр27 обладают приемлемой износостойкостью и сохраняют свои свойства после термической обработки. Таким образом, согласно полученным результатам, для последующего восстановления лопаток лучше всего подходят высокотемпературные порошковые припои на основе никеля ВПр27 и ВПр11-40Н.

Список использованных источников

1. Климов В.Г., Жаткин С.С., Щедрин Е.Ю., Когтева А.В. Особенности восстановления геометрии пера газотурбинного двигателя методом лазерной порошковой наплавки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 2-4. – С. 782-788.

2. Климов В.Г., Жаткин С.С., Баранов Д.А., Дяговцов И.А., Хакимов А.М. Использование высокотемпературных порошковых никелевых припоев в качестве износостойких наплавов на торец пера лопатки турбины // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т.18, № 1 (2). – С. 229-233.

3. Хакимов А.М., Климов В.Г., Жаткин С.С. Исследование влияния присадочных материалов на структуру и свойства зон лазерной наплавки лопаток ГТД // Высокие технологии в машиностроении: материалы Всероссийской научно-технической интернет-конференции / Отв. редактор А.Ф. Денисенко. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 262 с.: ил.

4. Хакимов А.М., Климов В.Г., Жаткин С.С., Баранов Д.А., Дяговцов И.А., Попов А.С., Пескова А.В. Исследование влияния присадочных материалов на структуру и свойства зон лазерной наплавки лопаток ГТД // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2017. – Т.19, № 1 (2). – С. 302-306.

СЕКЦИЯ 6. МЕТРОЛОГИЯ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 681.5

МОДЕРНИЗАЦИЯ УЗЛА ИЗМЕНЕНИЯ РАСХОДА ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ

Акушская О.М., ст. преп.; Бессонова А.С., студентка

Самарский государственный технический университет

В статье обоснована необходимость точного учета расхода газа на газораспределительной станции, приведена принципиальная схема узла учета газа и разработанная автоматизированная система контроля за его расходом.

Природный газ в газораспределительные сети высокого давления поступает из магистрального газопровода через газораспределительные станции (ГРС).

Давление поступающего на ГРС природного, попутного нефтяного газа составляет 5,4...7,5 МПа. Перед подачей газа населению, промышленным предприятиям и другим потребителям на газораспределительной станции производится понижение высокого давления до 2 МПа [1].

Кроме снижения давления газа (редуцирования) на ГРС осуществляются следующие основные технологические процессы:

- очистка газа от механических примесей;
- одоризация (придание природному газу специфического запаха);
- учёт количества (расхода) газа перед подачей его потребителю.

Все технологические процессы на ГРС осуществляются с использованием специального технического оборудования, измерительных и вспомогательных систем распределения газа и регулирования его давления.

На рисунке 1 представлена схема ГРС.

В узле переключения ГРС производится изменение направления потока газа высокого давления на обводную линию. Предохранительная аппаратура узла служит для предотвращения повышения давления в линии подачи газа.

Для защиты технологического и газорегуляторного оборудования, средств контроля и автоматики от попадания механических (твёрдых и жидких) примесей газа ГРС оборудованы узлом очистки газа.

Узел предотвращения гидратообразований служит для защиты газопроводных коммуникаций и арматуры от обмерзания и образования кристаллогидратов.

Снижение и автоматическое поддержание заданного давления подаваемого газа производится в узле редуцирования газа.

Учет количества поставляемого потребителям газа производится с помощью расходомеров и счетчиков, расположенных в блоке измерения расхода газа ГРС. Также могут быть определены такие качественные показатели газа, как компонентный состав, плотность, влажность, удельная теплота сгорания.

С целью автоматизации измерительная система узла измерения расхода газа модернизирована следующим образом: применены расходомеры, имеющие аналоговый выходной сигнал, который преобразуется устройством аналогово-цифрового преобразования (АЦП) в дискретный код и поступает на компьютер для обработки, фиксации и хранения (рис. 2).

Был выбран измерительный микропроцессорный комплекс «СуперФлоу-ПЕ», который предназначен для автоматического непрерывного измерения давления, перепада давления, температуры и вычисление расхода и объема газа при стандартных условиях в соответствии с ГОСТ 8.586.1-2005 - ГОСТ 8.586.5-2005 "Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью сужающих устройств". В качестве сужающего устройства используется диафрагма.

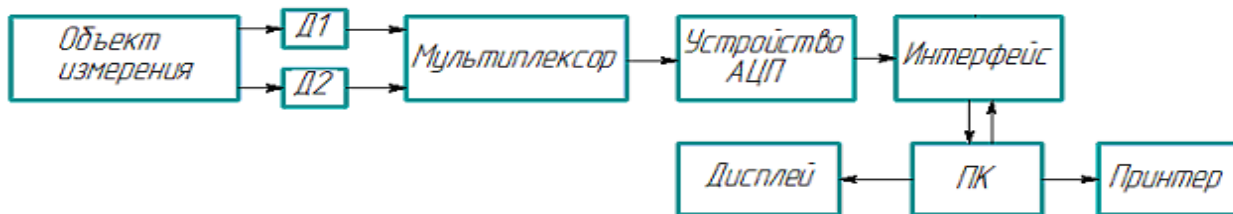


Рис. 2. Структурная схема измерений

В состав измерительного комплекса «СуперФлоу-ПЕ» для одной измерительной линии входят вычислитель, датчики перепада давления и статического давления, смонтированные на монтажной панели, а также датчик температуры, который устанавливается в защитной гильзе непосредственно на измерительном участке трубопровода [2].

Комплекс может оснащаться преобразователями *Rosemount 3051*, *Rosemount 2051* с сенсорными модулями, выполненными на основе технологии емкостных сенсоров. Выбран преобразователь *Rosemount 3051CD* на базе емкостного сенсора с выходным сигналом постоянного тока 4...20 мА HART [3]. В сенсорный модуль входит сенсорная система, заполненная маслом (разделительная мембрана 4, система заполнения маслом 5 и сенсорная мембрана 3 (рис. 3) и электронная часть. Измерительная мембрана 3 расположена между пластинами конденсатора 2. Расчетное давление прикладывается к разделительным мембранам 4, масло прогибает центральную мембрану, что приводит к изменению электрической емкости ячеек, образованных сенсорной мембраной и пластинами конденсатора. Затем емкостной сигнал преобразуется в цифровой с помощью С/D преобразователя.

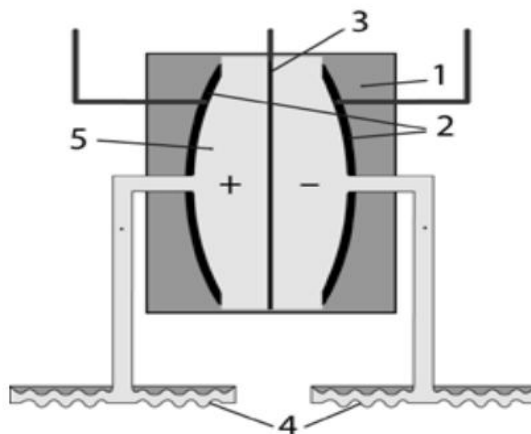


Рис. 3. Конструкция емкостного сенсора:

- 1 - капсульная защита, 2 - пластины конденсатора,
- 3 - сенсорная мембрана, 4 - разделительные мембраны,
- 5 - заполняющая жидкость

Для контроля температуры газа применяется датчик температуры, который состоит из термопреобразователя сопротивления (ТС) и преобразователя температуры. Термопреобразователи сопротивления моделей ТСМ 012.14, ТСП 012.14 (рис. 4) предназначены для измерения температуры в диапазоне от минус 60°C до плюс 180°C жидких и газообразных сред на различных агрегатах и установках.

Принцип работы термопреобразователя сопротивления основан на явлении изменения электрического сопротивления металлов при изменении их температуры. Величина изменения электрического сопротивления определяется материалом чувствительного элемента и величиной изменения температуры.

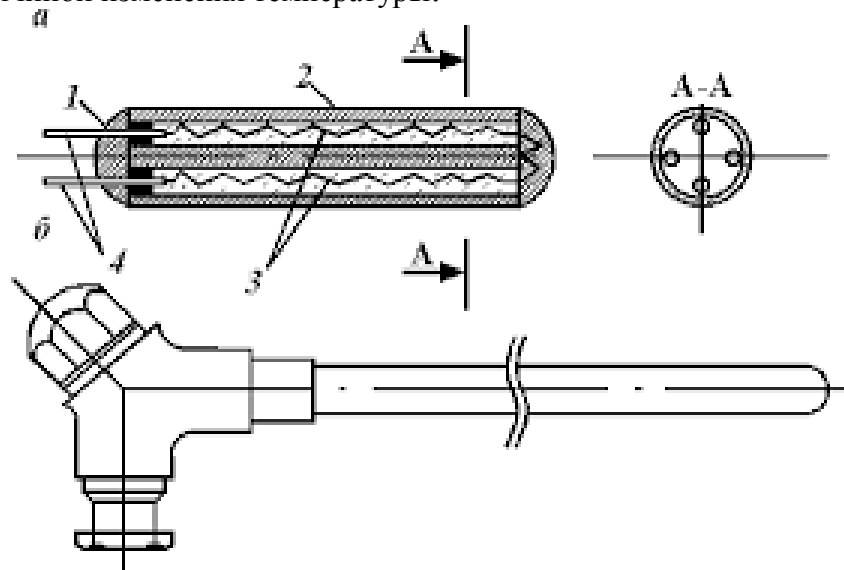


Рис. 4. Термопреобразователь сопротивления:
1-изоляционное основание, 2- защитный кожух,
3- обмотка, 4- выводы

Аналоговый сигнал преобразователя преобразуется в соответствующий ему цифровой код, пригодный для обработки микропроцессорами и другими цифровыми устройствами. Обмен данными аналого-цифрового преобразования между ЭВМ и устройством АЦП осуществляется через интерфейс USB. Интерфейс RS-232 обеспечивает передачу данных с микропроцессора на компьютер, а также вывод информации на принтер и дисплей. Через него производится считывание данных (накопленных и мгновенных) с измерительного комплекса «СуперФлоу-ПЕ», который подключен к микропроцессорному адаптеру связи. Далее информация обрабатывается при помощи заданных компьютерных программ.

Модернизация узла измерения расхода газа на ГРС позволит повысить

- точность учета поставляемого газа с многосуточной регистрацией данных и передачей информации в газораспределяющие организации,
- точность взаиморасчетов между поставщиками и потребителями газа,
- уровень составления баланса приема и отпуска газа,
- оперативность контроля за расходными и гидравлическими режимами систем газоснабжения,
- комфортность работы оперативного и обслуживающего персонала.

Список использованных источников

1. Колпакова Н. В. Газоснабжение : [учеб. пособие] / Н. В. Колпакова, А. С. Колпаков. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. — 200 с.
2. Руководство по эксплуатации: ЗИ2.838.009 РЭ Комплекс многониточный измерительный микропроцессорный «Суперфлоу-ПЕ». [Электронный ресурс].- Режим доступа: URL: <http://www.sovtigaz.ru/f/files/SF-II-E>.
3. Руководство по эксплуатации 00809-0107-4007, Ред. ВА Февраль 2017 г. Преобразователи давления измерительные 3051 с выходным сигналом 4–20 мА, протокол HART® версий 5 и 7. [Электронный ресурс].- Режим доступа: URL: <https://www.emerson.ru>

МОДЕРНИЗАЦИЯ КООРДИНАТНО - ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ «ГАММА-3В»

Акушская О.М., ст.преп.; Косарева Е.А., студентка

Самарский государственный технический университет

В статье рассматривается модернизация координатно - измерительной машины "Гамма-3В" за счет замены ручной измерительной головки на устройство с контактным триггерным датчиком, в котором применяется метод измерения с использованием одновременных перемещений по 5 осям, установки контроллера UCC2 и метрологического программного обеспечения.

Измерения и контроль геометрической точности деталей сложных форм (прессформ, лопастей, кулачков), сочетающих стандартные элементы и элементы со сложным формообразованием, на предприятиях машиностроения без использования современного оборудования практически невозможен. Эта задача успешно решается с помощью координатно - измерительных машин (КИМ) [1, 2].

Измерение на КИМ представляет собой последовательность процессов контактирования наконечника измерительной головки (ИГ) с деталью (измерение координат точек поверхности), ввода, индикации и запоминания координатных данных, расчета геометрических параметров измеренных элементов поверхностей, размеров и взаимного расположения, отклонений фактических параметров от заданных номинальных значений, вывода результатов измерений и, при необходимости, их накопления и статистической обработки [3].

Координатно-измерительные машины старых моделей могут оказаться уязвимым местом на производстве, если они не соответствуют меняющимся требованиям к измерениям.

Базовая часть конструкции большинства КИМ подвергается небольшому износу, оставаясь, таким образом, работоспособной в течение многих лет. Рентабельная модернизация таких компонентов машины как датчики, контроллеры и программное обеспечение позволяет раскрыть возможности уже существующих КИМ, обеспечивая эффективность их работы на уровне современных требований и создавая задел на будущее. Поскольку дорогостоящие конструкции машины используется повторно, то затраты на модернизацию будут представлять собой лишь долю цены новой машины, сравнимой по характеристикам.

С целью модернизации применяемой координатно - измерительной машины "Гамма-3В", оснащенной ручной измерительной головкой МН20i с пьезоэлектрическими чувствительными элементами, с шаговым изменением угловых координат по 2 осям и со встроенным датчиком касания с тензоэлементами, проведен анализ существующих технологий измерений.

В случае обычных методов измерения все перемещения, необходимые для сбора данных с поверхности, выполняются самой КИМ. Ускорение становится причиной инерционных деформаций конструкций машины, причем инерционные силы растут пропорционально квадрату скорости измерений. Указанные инерционные силы вызывают кручение и искривления в конструкции машины, что приводит к таким погрешностям измерений, которые могут быстро превысить допуск на точность измерений. В производственных условиях в большинстве случаев сканирование выполняется в диапазоне скоростей от 10 до 25 мм/с.

В технологии 5-осевого сканирования компании Renishaw используются синхронизированные перемещения осей КИМ и ИГ: поворотнo-качающаяся головка при измерении совершает движения по двум круговым координатам, узлы КИМ перемещаются с постоянной скоростью в заданном направлении. Поскольку головка намного легче и подвижнее узлов КИМ и имеет значительно более высокий частотный отклик, то это позволяет быстро отслеживать изменения формы сканируемой поверхности без внесения опасных динамических ошибок. За счет этого достигается существенно более высокая скорость измерений по поверхности, а, следовательно, меньшая продолжительность измерительных циклов.

С целью модернизации предлагается оснастить КИМ “Гамма-3В” устройством PH20 с контактным триггерным датчиком TP20. В устройстве PH20 применяется метод перемещения головки, разработанный специально для измерительной системы REVO. 5-осевая сканирующая система REVO обеспечивает высокую эффективность работы на уже существующих машинах. REVO выполняет измерения с использованием одновременных перемещений по 5 осям и позволяет на старых моделях машин:

- измерять быстрее, при скоростях до 500 мм/с, что может в 50 раз превышать возможности сканирования по 3 осям;
- измерять в большем количестве точек, до 4 000 точек в секунду, что обеспечивает лучшее представление о форме детали;
- измерять точнее за счет устранения динамических погрешностей благодаря применению методов измерения по 5 осям;
- измерять элементы, которые могли оставаться ранее недоступными, благодаря позиционированию датчика в любом положении, что создает исключительные возможности для работы;
- измерять, не жертвуя объемом выполняемых измерений, за счет значительно более коротких циклов, что высвобождает время на 100%-ную проверку с обеспечением оптимального контроля деталей и управления технологическим процессом.

Возможность позиционирования головки PH20 в любом положении гарантирует оптимальные условия для доступа к различным элементам, причем при минимальном количестве смен шупов.

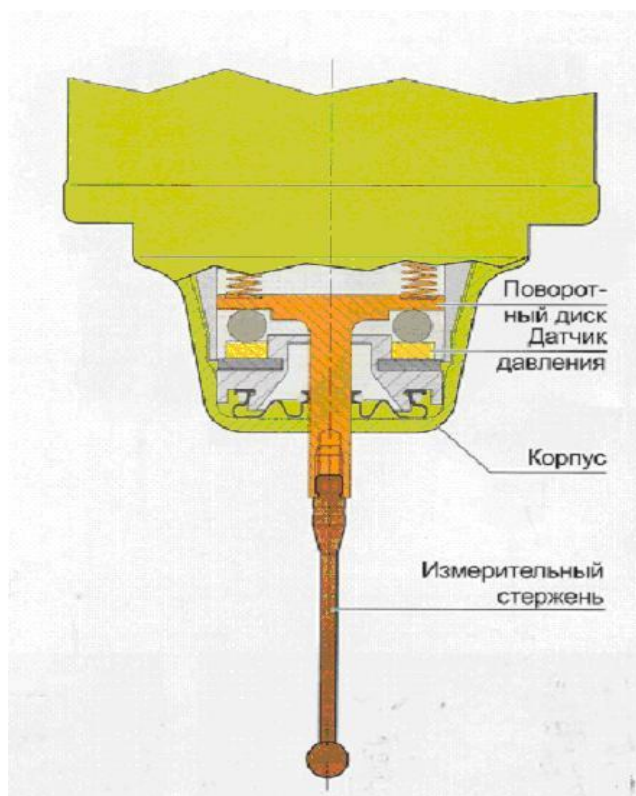
Выполнение перемещений одновременно по 5 осям позволяет измерять на КИМ более крупные детали: это стало возможным за счет уменьшения того свободного пространства вокруг детали, которое требуется для поворота головки.

Головка PH20 автоматически самовыставляется относительно системы координат детали, что позволяет избегать соударений со шупом, а также устраняет необходимость в крепежных приспособлениях высокой точности.

Конструктивная схема датчика касания с тензоэлементами приведена на рисунке.

Достоинство электронных триггерных датчиков состоит в том, что они в отличие от электроконтактных датчиков имеют не релейный выходной сигнал, а выходной сигнал постоянного тока на небольшом участке в несколько микрометров. Это позволяет с помощью электронной схемы усилить сигнал, повысить точность измерения и исключить “лепестковый эффект”.

Важнейшим компонентом технологии 5-осевого сканирования является контроллер USS2, в котором выполняются сложные алгоритмы для операций контактных измерений триггерными датчиками. В сочетании с усилителем мощности сервопривода универсальный контроллер USS обеспечивает точное управление одновременными перемещениями по 5 осям. Кроме того, этот контроллер поддерживает работу поворотных столов. Это устройство представляет собой также единый интерфейс для всех датчиков компании Renishaw и позволяет выполнять сбор данных по координатам поверхностей со скоростью вплоть до 4 000 точек в секунду.



Конструктивная схема датчика касания с тензоэлементами

Метрологическое программное обеспечение компании Renishaw представляет собой мощную платформу для 5-осевых измерений. Конфигурируемый пользователем интерфейс позволяет разрабатывать в автономном режиме программы по стандарту DMIS, получая данные по геометрии, размерам и допускам из пакетов САПР (CAD), с полномасштабным моделированием и выявлением столкновений. Данное ПО включает в себя сертифицированные алгоритмы для измерения и создания элементов и выставления деталей.

Предусмотрена возможность разработки программ в автономном режиме непосредственно из пакета САПР с проверкой на экране траектории движения датчика. Могут быть заданы параметры окружающей среды КИМ, крепление и расположение детали на машине, что позволяет выполнять в полном объеме моделирование и выявление столкновений в программах для 5-осевых измерений. Тем самым минимизируется время простоя КИМ, поскольку получаемые программы уже готовы к выполнению - их проверка не требуется, или же она занимает незначительное время.

Применение новых разработок для измерений, реализованных в сфере датчиков, контроллеров и программного обеспечения, позволяет преобразить существующие КИМ, обеспечивая более высокую точность, увеличение скорости измерений, повышение степени автоматизации и расширению количества доступных функций.

Список использованных источников

1. Горбач Ф.И., Макаров С.О. Координатно - измерительные машины: точность нового поколения // Металлообработка.- 2009.- №3.-С.66-68.
2. Пекарш А.М., Феоктистов С.И., Колыханов Д.Г. Координатно - измерительные машины и комплексы // Наука и технологии в промышленности.- 2011.- №3.-С.36-47.
3. Зубарев Ю.М., Косаревский С.В. Автоматизация координатных измерений в машиностроении: учеб. пособие.- М.: Лань, 2017.-С.159.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ

Малкина И.В., ст. преп.

Самарский государственный технический университет

Рассмотрена методика измерения и контроля подшипниковых колец на примере измерения непостоянства диаметра внутренних колец роликовых подшипников. Предложен вариант компоновки автоматизированной системы измерения и контроля.

Самара является крупнейшим производителем подшипников в РФ и странах СНГ, выпуская подшипники для всех отраслей машиностроения. Производство представлено такими крупными предприятиями, как «Самарский подшипниковый завод», «Завод приборных подшипников», ЕПК «Самара» и многими другими объединениями. Данная продукция используется для производства двигателей самолетов и вертолетов, а также высокоточных подшипников для станкостроения. Самарские подшипники применяются в различных изделиях военного и гражданского назначения: ракетах, подводных лодках, кораблях, промышленных ГТД, танках, автомобилях и т.д.

Работоспособность, надежность и конкурентоспособность выпускаемой продукции во многом зависят от качества контроля изготовления изделия на всех этапах производства и обращения, что, в свою очередь, определяется качеством метрологического обеспечения производства.

Объектом исследования данной работы является контроль качества наружных и внутренних колец подшипника, представленных на рисунке 1.

наружное кольцо «01»



внутреннее кольцо «02»



Рис. 1. Наружное и внутреннее кольцо подшипника

Надежность и долговечность работы подшипника определяются прецизионной степенью точности изготовления. Обработка изделия проходит несколько стадий: токарную обработку, термообработку, шлифование и суперфиниширование.

Практически всегда усиление контроля качества изделия связано с заменой парка измерительного оборудования, что приводит к значительным финансовым затратам. В данном случае предлагается модернизация уже имеющегося измерительного оборудования, а именно прибора УД-0 ручного контроля, путем введения в измерительный процесс современных средств автоматизации.

Процедура подачи колец подшипника на позицию контроля автоматизируется путем введения в классическую схему прибора валика для вращения кольца, заталкивателя, устанавливающего кольцо на измерительную позицию, и использования двух отсекающих, ограничивающих хаотичный доступ колец на контролирующий прибор. Пружинные измерительные головки заменяются электроконтактными двухпредельными датчиками.

В результате мы получаем измерительное оборудование, работающее практически без участия человека, который нужен для наладки прибора на заданный параметр.

Следует отметить, что в представленном измерительном процессе от выбранных датчиков не требуется высокая точность. Стандартный двенадцатиразрядный аналого-цифровой преобразователь с предельной погрешностью в $\delta=0,5\%$ вполне удовлетворяет условиям работы контрольного оборудования, поэтому для использования предлагается АЦП фирмы *Texas Instruments* модели *ADS7866*, имеющий следующие преимущества: протокол связи этого АЦП достаточно прост; АЦП управляется процессором с программой, написанной на существенно менее быстром языке, чем *Assembler*, что менее затратно; идеально подходит для дешевых высококачественных устройств, включая контрольно-измерительную аппаратуру с автономным питанием. Данные преимущества позволяют производить измерительные процедуры более точно, быстро, качественно и дешевле.

Для разработки системы сопряжений измерителя линейных перемещений *BTL5* используется интерфейс *ЛА-2USB* – внешнее устройство аналого-цифрового преобразования для *IBM PC/AT* совместимых компьютеров на смену *USB*.

Прибор имеет возможности передачи результатов АЦП в цифровой форме, приема цифровой информации от внешних устройств и ее передачу ПЭВМ для обработки или передачи цифровой информации из ПЭВМ на внешние устройства. При комбинировании платы с другим оборудованием, ПЭВМ превращается в мощную информационно-измерительную систему, способную решить большинство прикладных задач.

Функциональная схема устройства *ЛА-2 USB* и принцип его работы показана на рисунке 2.

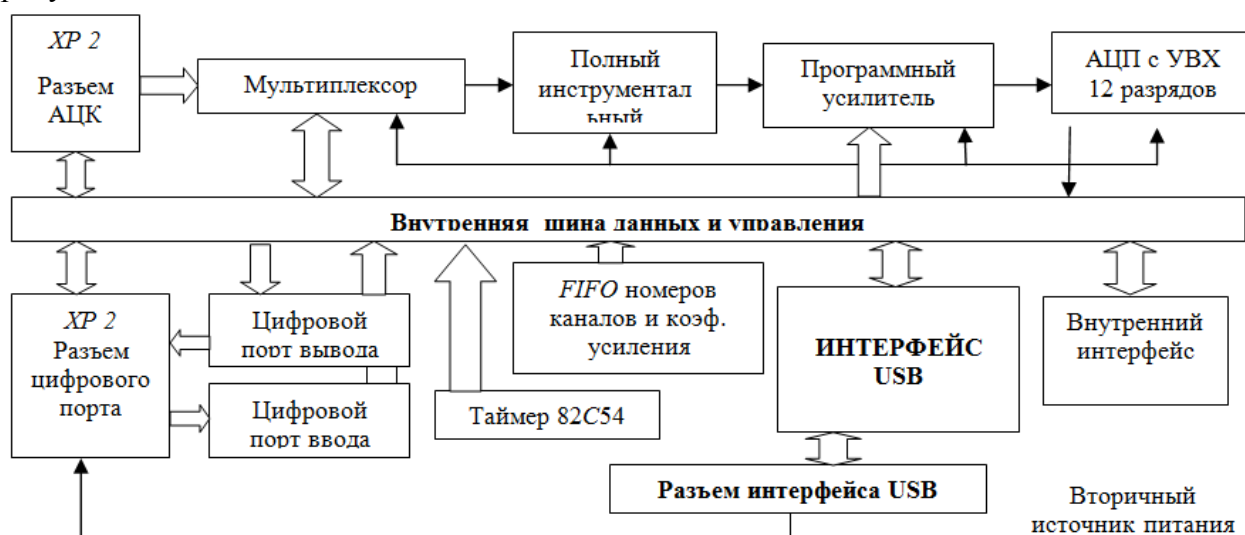


Рис. 2. Функциональная схема устройства *ЛА-2 USB*

Методика выполнения процесса измерения для модернизированного измерительного оборудования заключается в следующем: от системы управления оборудованием поступает команда на проверку параметров изделия; деталь после шлифовального станка направляется по желобу на измерительный прибор. Первоначально срабатывает отсекающий механизм, не дающий кольцу перейти в следующий желоб. Одновременно с этим вступает в действие заталкиватель, перемещающий кольцо на поверочную плиту. Далее подводится резиновый ролик, исполняя функцию вращателя кольца и включение электродвигателя.

Следующим этапом в работу вступают два электроконтактных двухпределных датчика. Первый осуществляет проверку диаметра, второй – проверку непостоянства диаметра. Если кольцо не проходит по какому-либо параметру, то станок останавливается до вмешательства наладчика. Если кольцо проходит, то система управления станка осуществляет сброс предыдущих команд. Кольцо под действием небольшой пружины выталкивается с поверочной плиты и падает в следующий лоток, по которому она следует к а

очередной технологической операции.

Брак – отклонение диаметра колец подшипников от номинального значения, может вызываться систематическими и случайными факторами, вызывающими негативные воздействия. Систематические факторы могут быть локализованы, оценены и практически устранены. Случайные факторы, определяемые самим процессом производства, в основном не устранимы. Возможность и степень их проявления предсказать невозможно, следовательно, становится актуальной задача определения вероятности нахождения контролируемого параметра в заданном поле допуска, т.е. оценка доли годной и бракованной продукции в контролируемой партии.

Методика оценки погрешности измерительного процесса основана на применении закона больших чисел, который дает возможность утверждать, что если генеральная совокупность значений подчиняется определенному закону распределения, то и выборка у этой совокупности будет подчиняться этому закону. Следовательно, по характеру эмпирического распределения можно установить с определенной точностью и надежностью близкое к нему теоретическое распределение и использовать это для решения практических задач.

Результаты измерения представляются в соответствии с ГОСТ Р 8.736 – 2011: проводится идентификация закона распределения результатов измерения; строится гистограмма распределения результатов измерения.

Рассеяние результатов измерения относительно постоянного или закономерно изменяющегося уровня указывает на наличие случайной составляющей погрешности измерительного процесса, а сам уровень, около которого происходит рассеяние, характеризует систематическую составляющую погрешности. Она выражается математическим ожиданием $M(x)$, для которого существует статистическая оценка вида [1]:

$$M(x) \approx x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ,$$

где n – объем выборки;

x_i – выборочные значения измеряемой величины.

Вид гистограммы и значения точечных оценок позволяют выдвинуть гипотезу о нормальном законе распределения параметра. Проверка статистических гипотез проводится с помощью критерия Пирсона. Вероятность нахождения контролируемого параметра в поле допуска [1] определяется выражением:

$$P(x_1 < d < x_2) = F(t_2) - F(t_1) = \left[\frac{x_2 - M_x}{\sigma_x} \right] - \left[\frac{x_1 - M_x}{\sigma_x} \right],$$

где $X_1 \div X_2$ – поле допуска;

M_x – математическое ожидание;

σ_x – среднеквадратическое отклонение.

Применение модернизированного измерительного оборудования позволяет облегчить труд оператора, ускорить измерительную процедуру, обеспечить заданную точность измерений. Предлагаемые методики проведения измерений и оценки погрешности позволяют повысить качество контроля выпускаемой продукции, а, следовательно, улучшить качество сборочных единиц и обеспечить конкурентоспособность выпускаемых изделий в целом.

Список использованных источников

1. Схиртладзе А.Г., Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник – Старый Оскол: ТНТ, 2015. – 540 с. ISBN 978-5-94178-208-6
2. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.

НОВЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЕДИНИЦ СИ И ПРОЕКТ 9-ОЙ РЕДАКЦИИ БРОШЮРЫ СИ

Яресько С.И., д.т.н.^{1,2}

¹ Самарский филиал ФГБУН Физического института им. П.Н. Лебедева
Российской академии наук, scisec@fian.smr.ru,

² Самарский государственный технический университет

Изложены принципы переопределения основных единиц Международной системы единиц (СИ). Приведены утвержденные значения фундаментальных физических констант (ФФК), на которых базируются новые определения основных единиц СИ. В терминах фиксированных значений ФФК представлены определения основных единиц СИ, предложенные в проект 9-ой редакции Брошюры СИ.

Официальная кампания по разработке новых определений основных единиц СИ была инициирована Международным бюро мер и весов (МБМВ) в 2005 году. На 94-м заседании в октябре 2005 года Международным комитетом по мерам и весам (МКМВ) была принята Рекомендация 1 (C1-2005) «Подготовительные шаги к введению новых определений килограмма, ампера, кельвина и моля в терминах фундаментальных констант» [1].

XXIII Генеральная конференция по мерам и весам (ГКМВ), состоявшаяся в ноябре 2007 года, в Резолюции 12 отложила узаконивание любых изменений системы СИ до конференции 2011 года [2].

XXIV ГКМВ (17-21.10.2011) приняла Резолюцию 1, в которой было предложено в будущей ревизии Международной системы единиц (СИ) продолжить переопределение основных единиц таким образом, чтобы они были основаны не на созданных человеком артефактах, а на ФФК или свойствах атомов [3].

Переопределить следовало четыре основные единицы СИ: килограмм, ампер, кельвин и моль. Новые определения этих единиц, как и трех остальных основных единиц системы СИ (метра, секунды и канделы), должны базироваться на фиксированных численных значениях ФФК, а именно: постоянной Планка, элементарного электрического заряда, постоянной Больцмана и постоянной Авогадро, соответственно. Всем этим величинам должны быть приписаны *точные* значения, основанные на наиболее достоверных результатах измерений, рекомендованных Комитетом по данным для науки и техники (CODATA). В Резолюции 1 XXIV ГКМВ [3] сформулированы следующие определения, касающихся этих единиц:

а) килограмм останется единицей массы, но его величина будет устанавливаться фиксацией численного значения постоянной Планка равным в точности $6,62606 \times 10^{-34}$, когда она выражена единицей СИ $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$, что эквивалентно Дж·с; (здесь и далее знак X заменяет одну или более значащих цифр, которые необходимо определить в дальнейшем на основании наиболее точных рекомендаций CODATA)

б) ампер останется единицей силы электрического тока, но его величина будет устанавливаться фиксацией численного значения элементарного электрического заряда равным в точности $1,60217 \times 10^{-19}$, когда он выражен единицей СИ с·А, что эквивалентно Кл;

с) кельвин останется единицей термодинамической температуры, но его величина будет устанавливаться фиксацией численного значения постоянной Больцмана равным в точности $1,3806 \times 10^{-23}$, когда она выражена единицей СИ $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$, что эквивалентно Дж·К⁻¹;

д) моль останется единицей количества вещества, но его величина будет устанавливаться фиксацией численного значения постоянной Авогадро равным в точности $6,02214 \times 10^{23}$, когда она выражена единицей СИ моль⁻¹.

Резолюция 1 XXIV ГКМВ [3] не предусматривала изменение существа определений секунды, метра и канделы. В проекте 9-й редакции «Брошюры СИ» для поддержания единства стиля планируется принять новые, полностью эквивалентные существующим, определения вышеуказанных единиц в следующем виде:

е) секунда, обозначение с, является единицей времени; её величина устанавливается фиксацией численного значения частоты сверхтонкого расщепления основного состояния атома цезия-133 при температуре 0 К равным в точности 9192631770, когда она выражена единицей СИ с⁻¹, что эквивалентно Гц;

ф) метр, обозначение м, является единицей длины; его величина устанавливается фиксацией численного значения скорости света в вакууме равным в точности 299792458, когда она выражена единицей СИ м·с⁻¹;

г) кандела, обозначение кд, является единицей силы света в заданном направлении; её величина устанавливается фиксацией численного значения световой эффективности монохроматического излучения частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц равным в точности 683, когда она выражена единицей СИ м⁻²·кг⁻¹·с³·кд·ср или кд·ср·Вт⁻¹, что эквивалентно лм·Вт⁻¹.

В результате реализации намерений, сформулированных в Резолюции 1 XXIV ГКМВ, система СИ в своём новом виде станет системой единиц, в которой каждая основная единица будет связана с некоторой определяющей константой, значение которой будет зафиксировано с нулевой неопределённостью [3]. В проекте 9-й редакции «Брошюры СИ» [4] значения ФФК, на которых основаны определения килограмма, ампера, кельвина и моля, в отличие от их значений, установленных Резолюцией 1 XXIV ГКМВ, зафиксированы уже с нулевой неопределённостью согласно последним наиболее точным рекомендациям CODATA и Консультативных комитетов (КК) МКМВ. В совокупности с уже ранее принятыми точными значениями ФФК, определяющих секунду, метр и канделу, совокупность всех ФФК, на которых базируются определения основных единиц СИ, имеет нижеприведенные фиксированные значения:

- частота сверхтонкого расщепления основного состояния атома цезия-133 ($\Delta\nu^{133}\text{Cs}$) в точности равна 9 192 631 770 Гц;

- скорость света в вакууме с в точности равна 299 792 458 м/с;

- световая эффективность K_{cd} монохроматического излучения частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц в точности равна 683 лм/Вт;

- постоянная Планка h в точности равна $6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ Дж·с;

- элементарный электрический заряд e в точности равен $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ Кл;

- постоянная Больцмана k в точности равна $1,380\,649 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;

- число Авогадро N_A в точности равно $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.

Руководствуясь принципом построения системы СИ в терминах фиксированных числовых значений ФФК, определения для каждой из семи базовых единиц выводятся с использованием, при необходимости, одной или нескольких из этих определяющих констант, чтобы получить следующий набор определений.

Секунда (обозначение с) – единица времени в системе СИ. Определение секунды основано на точном значении величины $\Delta\nu_{\text{CS}} = 9\,192\,631\,770$ Гц. Принимая это во внимание, выражение для единицы времени – секунды в терминах определяющей константы $\Delta\nu_{\text{CS}}$ будет иметь вид:

$$1\text{Гц} = \frac{\Delta\nu_{\text{cs}}}{9192631770} \quad \text{или} \quad 1\text{с} = \frac{9192631770}{\Delta\nu_{\text{CS}}}.$$

Из этого определения следует, что секунда равна длительности 9 192 631 770 периодов излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного

состояния невозмущенного атома ^{133}Cs .

Метр (обозначение m) – единица длины в системе СИ. Определение метра основано на точном значении величины $c = 299\,792\,458\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Принимая это во внимание, точное выражение для единицы длины – метра в терминах определяющих констант c и $\Delta\nu_{\text{CS}}$ будет иметь вид:

$$1m = \left(\frac{c}{299792458} \right) c = \frac{9192631770 c}{299792458 \Delta\nu_{\text{CS}}} \approx 30,663319 \frac{c}{\Delta\nu_{\text{CS}}}.$$

Из этого определения следует, что один метр есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени равный $1/299\,792\,458$ секунды.

Килограмм (обозначение kg) – единица массы в системе СИ. Определение килограмма основано на точном значении величины $h = 6.626\,070\,15 \times 10^{-34}\text{ кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$. Принимая это во внимание, точное выражение для единицы массы – килограмма в терминах трех определяющих констант h , $\Delta\nu_{\text{CS}}$ и c будет иметь вид.

$$1kg = \left(\frac{h}{6,62607015 \cdot 10^{-34}} \right) \text{ м}^2\text{с},$$

что равно

$$1kg = \frac{(299792458)^2}{(6,62607015 \cdot 10^{-34})(9192631770)} \frac{h\Delta\nu_{\text{CS}}}{c^2} \approx 1,4755214 \cdot 10^{40} \frac{h\Delta\nu_{\text{CS}}}{c^2}.$$

Данное определение позволяет описать единицу с размерностью $\text{кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$ (такую размерность имеют физические величины: действие и угловой момент). Вместе с определениями секунды и метра данное выражение позволяет охарактеризовать единицу массы – килограмм в терминах значения постоянной Планка.

Ампер (обозначение A) – единица электрического тока в системе СИ. Определение ампера основано на точном значении величины $e = 1.602\,176\,634 \times 10^{-19}\text{ А}\cdot\text{с}$. Принимая это во внимание, точное выражение для единицы силы тока – ампера в терминах базовых констант e и $\Delta\nu_{\text{CS}}$ будет иметь вид:

$$1A = \left(\frac{e}{1,602176634 \cdot 10^{-19}} \right) \text{ с}^{-1},$$

что равно

$$1A = \frac{1}{(9192631770) \cdot (1,602176634 \cdot 10^{-19})} \Delta\nu_{\text{CS}} e \approx 6,789687 \cdot 10^8 \Delta\nu_{\text{CS}} e.$$

Из этого определения следует, что один ампер есть электрический ток, соответствующий потоку $1/(1.602\,176\,634 \times 10^{-19})$ элементарных зарядов в секунду.

Кельвин (обозначение K) – единица термодинамической температуры в системе СИ. Определение кельвина основано на точном значении величины $k = 1,380\,649 \times 10^{-23}\text{ кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{К}^{-1}$. Принимая это во внимание, точное выражение для единицы температуры – кельвина в терминах определяющих констант k , h и $\Delta\nu_{\text{CS}}$ будет иметь вид:

$$1k = \left(\frac{1,380649}{k} \right) \cdot 10^{-23} \text{ кгм}^2 \cdot \text{с}^{-2},$$

что равно

$$1K = \frac{1,380649 \cdot 10^{-23}}{(6,62607015 \cdot 10^{-34})(9192631770)} \frac{\Delta\nu_{\text{CS}} h}{k} \approx 2,2666653 \frac{\Delta\nu_{\text{CS}} h}{k}$$

Из этого определения следует, что один кельвин равен изменению термодинамической температуры, приводящему к изменению тепловой энергии kT на $1.380\,649 \times 10^{-23}\text{ Дж}$.

Моль (обозначение mol) – единица количества вещества в системе СИ. Определение моля основано на точном значении величины $N_A = 6.022\,140\,76 \times 10^{23}\text{ моль}^{-1}$. Принимая это во внимание, точное выражение для моля в терминах определяющей константы N_A будет

иметь вид:

$$1\text{моль} = \left(\frac{6,02214076 \cdot 10^{-23}}{N_A} \right).$$

Из этого определения следует, что моль есть количество вещества системы, содержащее $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ специфицированных (определенных) элементарных элементов, в качестве которых могут быть атом, молекула, ион, электрон, любая другая частица или определенная группа частиц.

Кандела (обозначение кд) – единица силы света в данном направлении в системе СИ. Определение канделы основано на точном значении величины $K_{cd} = 683 \text{ кд} \cdot \text{ср} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^3$ для монохроматического излучения с частотой $\nu = 540 \times 10^{12} \text{ Гц}$. Принимая это во внимание, точное выражение для единицы силы света – канделы в терминах определяющих констант K_{cd} , h и $\Delta \nu_{CS}$ будет иметь вид:

$$1\text{кд} = \left(\frac{K_{cd}}{683} \right) \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{ср}^{-3},$$

что равно

$$1\text{кд} = \frac{1}{(6,62607015^{-34}) \cdot (9191631770)^2 \cdot 683} (\Delta \nu_{CS})^2 h K_{cd} \approx 2,614830 \cdot 10^{10} (\Delta \nu_{CS})^2 h K_{cd}.$$

Из этого определения следует, что одна кандела есть сила света в данном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение с частотой $540 \times 10^{12} \text{ Гц}$ и имеющего интенсивность излучения в этом направлении $(1/683) \text{ Вт/ср}$.

XXV ГКМВ (2014) приняла решение продолжить работу по замене существующей СИ обновлённым вариантом на XXVI ГКМВ в том же году [5].

На осенней сессии 104-го Заседания МКМВ (15-16.10.2015) было принято решение CIPM/104-41 [6]. В этом решении МКМВ приветствовал предложение КК по единицам о распространении проекта 9-го издания Брошюры СИ и проект Резолюции о переопределении базовых единиц СИ, подготовленных для XXVI ГКМВ, среди КК и Национальных метрологических институтов для обсуждения и принятия предложений.

Список использованных источников

1. Recommendation 1 (CI-2005): Preparative steps towards new definitions of the kilogram, the ampere, the kelvin and the mole in terms of fundamental constants // Proceedings of the sessions of the 94th meeting, 4-7 October 2005. – BIPM, 2005. – P.233.

2. Text of the resolutions adopted by the 23rd General conference on weights and measures (2007). On the possible redefinition of certain base units of the International System of Units (SI). Resolution 12 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.bipm.org/utis/en/pdf/Resol23CGPM-EN.pdf>

3. On the possible future revision of the International System of Units, the SI. Resolution 1 of the 24th CGPM (2011). BIPM [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.bipm.org/en/CGPM/db/24/1/>

4. Draft of the ninth SI Brochure (version dated 5 February 2018) [Электронный ресурс] // BIPM. – 2018. – 43p. Режим доступа: <https://www.bipm.org/utis/en/pdf/si-revised-brochure/Draft-SI-Brochure-2018.pdf>

5. On the future revision of the International System of Units, the SI. Resolution 1 of the 25th meeting of the CGPM (18-20 Nov. 2014). [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.bipm.org/en/CGPM/db/25/1/>

6. Decisions of the Session II of the 104th meeting of the CIPM. CIPM/104-41 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.bipm.org/utis/en/pdf/CIPM/CIPM2015-II-Decisions-EN.pdf>

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Секция 1. Прогрессивные технологические процессы в машиностроении</i>	3
<i>Береснев Ю.Л.</i> Автоматизированные средства управления этапом установки заготовок в позиционных приспособлениях.	3
<i>Громаковский Д.Г., Шигин С.В.</i> Разработка кавитационного оборудования для мойки деталей	5
<i>Дмитриев В.А.</i> Оценка деформаций колец подшипников после упрочняющей обработки по технологическим остаточным напряжениям	8
<i>Захаров Н.Ю., Парфенов В.А., Прилуцкий В.А.</i> Причины образования погрешностей обработки отверстий деталей с неравномерной жесткостью	11
<i>Игнатьев А.А., Добряков В.А., Виноградов М.В.</i> формирование критерия для выявления трещин в коленчатых валах виброакустическим методом	13
<i>Игнатьев А.А., Добряков В.А., Игнатьев С.А.</i> Создание паспорта динамического качества станков для мониторинга технологического процесса шлифования в подшипниковом производстве	16
<i>Игнатьев С.А., Шамсадова Я.Ш.</i> Пакет прикладных программ для системы мониторинга при производстве подшипников	18
<i>Младенцева О.А.</i> Высокопроизводительные полировальные пасты	20
<i>Носов Н.В.</i> Виброконтатное полирование лопаток первой ступени ГТД	22
<i>Носов Н.В., Балакиров С.Н., Прилуцкий Д.О.</i> Разработка технологии восстановления работоспособности неперетачиваемых пластин	25
<i>Прилуцкий В. А., Сайфутдинов Д.Р.</i> Методы обработки поверхностей вращения абразивной лентой	28
<i>Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э., Верченко А.В., Коханюк А.Г.</i> Формирование шероховатости поверхности при гидроабразивной резке заготовок	30
<i>Унянин А.Н., Финагеев П.Р.</i> Статистический анализ процесса механической обработки с изменяющимися во времени параметрами	33
 <i>Секция 2. Проектирование и эксплуатация инструмента и оборудования для прогрессивных технологий</i>	36
 <i>Агапов С.И., Толстяков А.Ф., Прохвятилов А.С.</i> Исследование износа задних поверхностей червячно-модульных фрез при зубонарезании	36
<i>Агапов С.И., Толстяков А.Ф., Прохвятилов А.С.</i> Характер износа червячно-модульных фрез при нарезании мелко модульных зубчатых колес	39
<i>Бейлин А.Б., Фролов А.И.</i> Исследование жёсткости закрепления прутка в трёхкулачковом патроне	42
<i>Виноградова Т.Г., Салова Д.П., Никифоров А.С.</i> Обеспечение естественного износа круга при профильном шлифовании напроход	45
<i>Гаспаров Э.С., Гаспарова Л.Б.</i> Описание механизма образования сигнала вибрации в подшипниковой опоре с привязкой его к параметрам технического состояния шпиндельного узла	48
<i>Гришин Р.Г., Подкругляк Л.Ю., Гордиенко Я.М.</i> Применение Ti3SiC2 для шлифования поверхностей из закаленных и незакаленных сталей	51
<i>Денисенко А.Ф.</i> Методика определения предварительных натягов в подшипниковых узлах металлорежущих станков	54
<i>Емельянов Н.В., Емельянова И.В., Зубенко В.Л.</i> Исследование колебаний станков с ЧПУ	57
<i>Игнатьев А.А., Захарченко М.Ю., Добряков В.А.</i> Определение момента правки шлифовального круга при обработке малогабаритных деталей по виброакустическим характеристикам	59

<i>Игнатъев С.А., Сигитов Е.А., Коновалов В.В.</i> Контроль критического износа режущего инструмента при токарной обработке.....	62
<i>Лысенко Н.В.</i> Особенности износа алмазных зерен при хонинговании труднообрабатываемых материалов.....	64
<i>Михайлов В.В.</i> Анализ распространения вибрации в технологическом оборудовании	68
<i>Папшева Н.Д., Младенцева О.А.</i> Исследование влияния метода крепления и базирования сменных многогранных пластин на точность установки в корпусе резца	71
<i>Секция 3. Перспективные процессы модификации и упрочнения поверхностного слоя.....</i>	74
<i>Дедов Н.И., Круцило В.Г., Разумова И.Н., Ситкина Л.П.</i> Расчетно – экспериментальный метод оценки остаточных напряжений с использованием образцов свидетелей после упрочнения.....	74
<i>Круцило В.Г., Дедов Н.И., Ситкина Л.П., Разумова И.Н.</i> Определение остаточных напряжений после термопластического упрочнения с использованием образцов - свидетелей.....	78
<i>Секция 4. Компьютерные технологии в машиностроении.....</i>	82
<i>Баннова Е.С.</i> Разработка 3D модели приспособления для оптимизации процесса балансировки шлифовальных кругов.....	82
<i>Гулин А. С., Соболев А. Н.</i> Моделирование мальтийских механизмов в CAD-системе.....	85
<i>Емельянов Н.В., Емельянова И.В., Зубенко В.Л.</i> Методика проектирования деталей и узлов металлорежущих станков в КОМПАС 3D V.17.....	87
<i>Калитеевский Д.А.</i> Конструкторско-технологическая подготовка изготовления цилиндрических прямозубых эвольвентных зубчатых колес на электроэрозионном оборудовании.....	91
<i>Катков А.Ю., Соболев А.Н.</i> Параметризация моделей зубчатых передач Новикова с одной и двумя линиями зацепления.....	94
<i>Кокорев И.А.</i> Влияние натяга на прочность профильных соединений	97
<i>Ладыгин Р.В.</i> Регрессионная модель взаимосвязи ресурса работы деталей ДВС и затрат на их изготовление.....	100
<i>Некрасов А.Я., Соболев А.Н.</i> Автоматизация проектирования гипоциклоидальных передач.....	103
<i>Некрасов А.Я., Соболев А.Н.</i> Автоматизация проектирования механических передач с промежуточными телами качения	106
<i>Родионов В.А.</i> Повышение эффективности работы автомобильного воздушного отопителя за счет оптимизации конструкции радиатора с помощью компьютерных технологий.....	109
<i>Солодова Н.О.</i> Моделирование рельефной матрицы для получения оттиска на тонколистовом материале в программе SOLIDWORKS.....	112
<i>Токарев Б.Н.</i> К вопросу автоматизированного проектирования зубчато-рычажных механизмов.....	115
<i>Шастина К.В., Дмитриев В.А.</i> Разработка элементов ландшафтного пространства и технологической оснастки с помощью компьютерных технологий.....	117
<i>Секция 5. Материаловедение и металлургия в современном машиностроении.....</i>	120
<i>Аникеев В.В., Зонненберг Н.Н.</i> Анализ возможности использования экономнолегированных сталей для изготовления отливок взамен стали марки 110Г13Л..	120

<i>Аникеев В.В., Зонненберг Н.Н.</i> Повышение качества стальных слитков при электрошлаковом обогреве и подпитке.....	123
<i>Баннова Е.С., Дмитриев В.А.</i> Моделирование процесса кристаллизации отливки, полученной литьем по выплавляемым моделям.....	126
<i>Ионов М.К.</i> Исследование возможности синтеза карбида титана в расплаве алюминия при использовании галоидной соли K_2TiF_6 в исходной шихте как источника атомарного титана.....	129
<i>Коваленко И.А., Ласкин Д.В., Трифонова А.Ю.</i> Исследование структуры и свойств высокопрочных сталей, используемых для изготовления несущих деталей кузовов автомобилей.....	132
<i>Кузнецова А.С., Сухаренко М.А.</i> Исследование фазовой диаграммы трехкомпонентной системы $CsF-CsCl-Cs_2MoO_4$	134
<i>Махонина Ю.В., Луц А.Р., Рыбаков А.Д.</i> Термодинамика процессов получения дискретно-упрочненных сплавов системы $Al-Cu-Ni-TiC$ с добавлением галоидных солей Na_2TiF_6 и Na_3AlF_6	137
<i>Моисеев Н.В., Никулина А.Д., Новиков В.А., Амосов Е.А.</i> Изучение термодинамических характеристик и режимов горения в процессе растворного СВС оксида цинка.....	141
<i>Рыбаков А.Д., Колибасов В.А., Луц А.Р.</i> Получение легированного композиционного сплава системы $(Al-5\%Cu-4\%Ni)-10\%TiC$ методом СВС.....	144
<i>Рыбаков А.Д., Шипилов С.И., Луц А. Р.</i> Эксплуатационные характеристики дисперсно-упрочненного композиционного сплава $(Al-5\%Cu-4\%Ni)-10\%TiC$	147
<i>Хакимов А. М., Жаткин С.С.</i> Влияние термической обработки на износостойкость высокотемпературных порошковых припоев на основе никеля после импульсной лазерной наплавки.....	150
<i>Секция 6. Метрология и метрологическое обеспечение в машиностроении.....</i>	153
<i>Акушская О.М., Бессонова А.С.</i> Модернизация узла изменения расхода природного газа на газораспределительной станции.....	153
<i>Акушская О.М., Косарева Е.А.</i> Модернизация координатно - измерительной машины «ГАММА-3В».....	157
<i>Малкина И.В.</i> Повышение качества измерения и контроля колец подшипников.....	160
<i>Яресько С.И.</i> Новые определения основных единиц СИ и проект 9-ой редакции брошюры СИ.....	163

Научное издание
**Высокие технологии в машиностроении:
материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции**

Редактор
Компьютерная верстка
Выпускающий редактор

Подписано в печать
Формат 60 x 84 1/8. Бумага офсетная
Усл. п.л. 9,95
Тираж 60 экз. Рег № 198/18
Заказ №

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарский государственный технический университет»
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Главный корпус

Отпечатано в типографии
Самарского государственного технического университета
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Корпус №8