

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГРУППОВОЙ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ ДЛЯ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ С ОДНОРОДНЫМИ ЗВЕНЬЯМИ

Кутергина А.Н. – студент, Панов А.А. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Составляющие звенья размерных цепей в общем случае могут быть увеличивающими и уменьшающими. Рассматриваемые цепи имеют составляющие звенья одного вида.

Установленные технологические допуски на размеры звеньев  $T_i$ , как правило, требуют корректировки для соблюдения условия их соотношения. В существующих расчетных методиках детально и подробно рассмотрено использование селективной сборки для трехзвенных размерных цепей (отверстие – вал – зазор). Для этих цепей допуск на размер вала должен быть равен допуску на размер отверстия. Условие необходимо для того, чтобы координата середины поля допуска замыкающего звена была бы одинаковой во всех  $k$  группах. Для многозвенных цепей это условие авторами расчетных методик формулируется так: сумма допусков увеличивающих звеньев должна равняться сумме допусков уменьшающих звеньев:

$$\sum_1^n \bar{T}_i = \sum_{m+1}^{m-1} \bar{T}_i, \quad (1)$$

где  $m$  – общее число звеньев размерной цепи, включая замыкающее;  $n$  – число увеличивающих звеньев.

Соблюдение этого условия действительно обеспечивает одинаковое расположение поля допуска замыкающего звена относительно номинала во всех группах. Однако корректировка величин допусков является не самой рациональной, и число групп сортировки завышено. На кафедре ОТМ АлтГТУ получено более точное условие рационального соотношения допусков составляющих звеньев:

$$\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \mu_i T_i = 0. \quad (2)$$

При установлении величин производственных допусков  $T_i$  значения, соответствующие первым группам, то есть,  $T_i^{(1)}$  оказываются увеличенными в  $k$  раз. Расширение полей допусков может осуществляться как "в плюс", так и "в минус" по отношению к номиналу. Это обстоятельство в приведенном условии учтено коэффициентом  $\mu_i$ :

$\mu_i = +1$ , если расширение допуска произведено "в плюс";

$\mu_i = -1$ , если расширение допуска произведено "в минус".

В частном случае для плоских цепей с параллельными звеньями при расширении допусков в одном направлении условие обращается в общеизвестное: сумма допусков увеличивающих звеньев должна быть равна сумме допусков уменьшающих звеньев.

Для размерных цепей с однородными звеньями по существующей методике невозможно установить необходимое для селективной сборки соотношение полей допусков.

Рассмотрим пример четырехзвенной размерной цепи (рис. 1), величина замыкающего звена которой  $A_\Delta = 115^{0,18}$  (допуск  $T_\Delta = 180$  мкм).

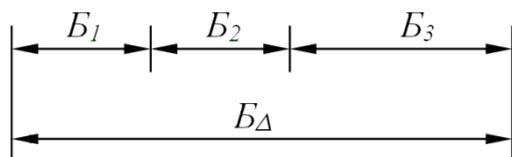


Рисунок 1 – Пример размерной цепи с однородными звеньями

Расчетные величины допусков составляющих звеньев для обеспечения точности методом полной взаимозаменяемости должны составлять:  $T_{1p} = 43$  мкм;  $T_{2p} = 52$  мкм;  $T_{3p} = 74$  мкм. Изготовление деталей с такой точностью является слишком затратным. Более целесообразным является изготовление с приемлемой точностью и селективная сборка.

Экономичная точность изготовления составляющих звеньев определяется следующими допусками на размеры:  $T_1=80$  мкм;  $T_2=180$  мкм;  $T_3=270$  мкм.

По существующей методике (1) невозможно установить необходимое соотношение полей допусков составляющих звеньев, поскольку все звенья являются увеличивающими. По предлагаемой методике следует проанализировать значение выражения (2) при различных комбинациях  $\xi_i \mu_i$  (таблица 1).

Таблица 1 – Расчет параметров размерной цепи при различных параметрах  $\xi_i$  и  $\mu_i$

Вариант	$\xi_1 \mu_1$	$\xi_2 \mu_2$	$\xi_3 \mu_3$	$\sum \xi_i \mu_i T_i$	Вариант	$\xi_1 \mu_1$	$\xi_2 \mu_2$	$\xi_3 \mu_3$	$\sum \xi_i \mu_i T_i$
1	+1	+1	+1	530	5	-1	+1	+1	370
2	+1	+1	-1	-10	6	-1	+1	-1	-170
3	+1	-1	+1	170	7	-1	-1	+1	10
4	+1	-1	-1	-370	8	-1	-1	-1	-530

Наименьшее по абсолютной величине значение выражения (2) имеют комбинации 2 и 7. Для дальнейших расчетов взята комбинация 2. Для нее выражение (2) имеет вид:

$$T_1 + T_2 - T_3 = 0. \quad (3)$$

Для соблюдения условия (3) необходимо скорректировать значения  $T_i$ . Положим, что в данном примере целесообразно расширить поле допуска первого звена и установить  $T_1=90$  мкм. Тогда  $T_1 + T_2 - T_3 = 90 + 180 - 270 = 0$ .

Передаточные отношения для звеньев цепи:  $\xi_1 = \xi_2 = \xi_3 = +1$ .

Из выражения (2) с учетом  $\xi_i$  следует установить значения  $\mu_i$ :  $\mu_1 = +1$ ;  $\mu_2 = +1$ ;  $\mu_3 = -1$ .

В соответствии с значениями  $\mu_i$  расширение расчетных полей допусков следует произвести: для первого и второго звеньев "в плюс", для третьего – "в минус".

Равнозначной является комбинация 7, для которой  $\mu_1 = \mu_2 = -1$ ,  $\mu_3 = +1$ , и расширение допусков следует выполнить для звеньев  $A_1$  и  $A_2$  "в минус", для  $A_3$  – "в плюс".

Число групп сортировки  $k = \sum_{i=1}^{m-1} T_i / T_\Delta = 90 + 180 + 270 / 180 = 3$ .

В соответствии с вышеизложенным выполнен расчет предельных отклонений размеров, результаты которого представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Допускаемые отклонения групповых размеров

Группа	Допускаемые отклонения размеров звеньев для вариантов					
	Вариант 2			Вариант 7		
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_1$	$A_2$	$A_3$
1	0 -0,03	0 -0,06	0 -0,09	0 -0,03	0 -0,06	0 -0,09
2	+0,03 0	+0,06 0	-0,09 -0,18	-0,03 -0,06	-0,06 -0,12	+0,09 0
3	+0,06 +0,03	+0,12 +0,06	-0,18 -0,27	-0,06 -0,09	-0,12 -0,18	+0,18 +0,09

Проверочные расчеты предельных отклонений размера замыкающего звена при комплектовании составляющих звеньев из одноименных групп показал, что отклонения соответствуют заданным.

Таким образом, предлагаемая методика позволяет выбрать наиболее рациональные варианты корректировки величин полей допусков составляющих звеньев и их относительного расположения, в том числе и для размерных цепей с однородными звеньями, обеспечивающие минимально возможное расчетное число групп.

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ СПОСОБОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Сафронова Е.А. – магистрант, Федоров В.А. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Развитие современной техники характеризуется ужесточением условий эксплуатации узлов и деталей машин, что обуславливает необходимость повышения физико-механических и эксплуатационных свойств конструкционных материалов. Ввиду высокой стоимости легирующих элементов использование объемно-легированных материалов становится все более нерациональным. К тому же с увеличением содержания легирующих элементов прочность, твердость и износостойкость металла возрастают, однако вероятность хрупкого разрушения повышается. Во избежание этого необходимо создание материала, сочетающего прочную, износостойкую и твердую поверхность нанесенного покрытия с пластичной, вязкой и трещиностойкой основой. Это объясняет все возрастающий в последнее время интерес к покрытиям.

К числу активно развиваемых и промышленно освоенных методов при нанесении защитных покрытий в настоящее время относятся методы газотермического напыления, среди которых плазменное напыление можно считать наиболее универсальным и легко управляемым.

Технологические преимущества плазменного напыления:

1. Эффективное управление энергетическими характеристиками напыляемых частиц и условиями формирования покрытия за счет гибкости регулирования параметров и режимов работы плазматрона;
2. Высокий коэффициент использования порошка (до 85%), прочность сцепления покрытия с основой (до 80 МПа), низкая пористость;
3. Высокая производительность процесса;
4. Универсальность за счет получения покрытий из большинства материалов без ограничения их температур плавления;
5. Нанесение покрытия на изделия, изготовленные практически из любого материала;
6. Отсутствие ограничений по размерам напыляемых изделий;
7. Низкое термическое воздействие на напыляемую основу, что позволяет избежать деформаций, изменений размеров изделий, а также исключить нежелательные структурные превращения основного металла;
8. Нанесение покрытия на локальные поверхности;
9. Нанесение покрытия с минимальными припусками для последующей механической обработки;
10. Маневренность и возможность автоматизации процесса.

Нами разработан плазматрон с подвижной зоной плазмообразования, которая позволяет подавать напыляемый порошок в необходимую область плазмы, выходящей из сопла плазматрона, что позволяет регулировать пористость покрытия и прочность сцепления напыляемых частиц с основой.

Технология плазменного напыления и установка могут использоваться для нанесения широкого спектра порошков с целью получения напыленных поверхностей с необходимой структурой и свойствами.

На рисунке 1 представлена схема установки для плазменного напыления покрытий. В электрическую дугу между охлаждаемыми катодом и анодом в виде сопла подается газ, образуя высокотемпературную плазменную струю. В эту струю подается наплавочный порошок, который, нагреваясь, в виде двухфазного потока вылетает из сопла и ударяется о напыляемую поверхность. При ударе частицы порошка наплавляются и застывают на изделии, образуя защитное покрытие. Благодаря подвижной насадке-питателю плазматрона можно регулировать пористость покрытия и прочность сцепления напыляемых частиц с

основой, что возможно из-за большой разницы температур плазменной струи, выходящей из сопла плазмотрона.

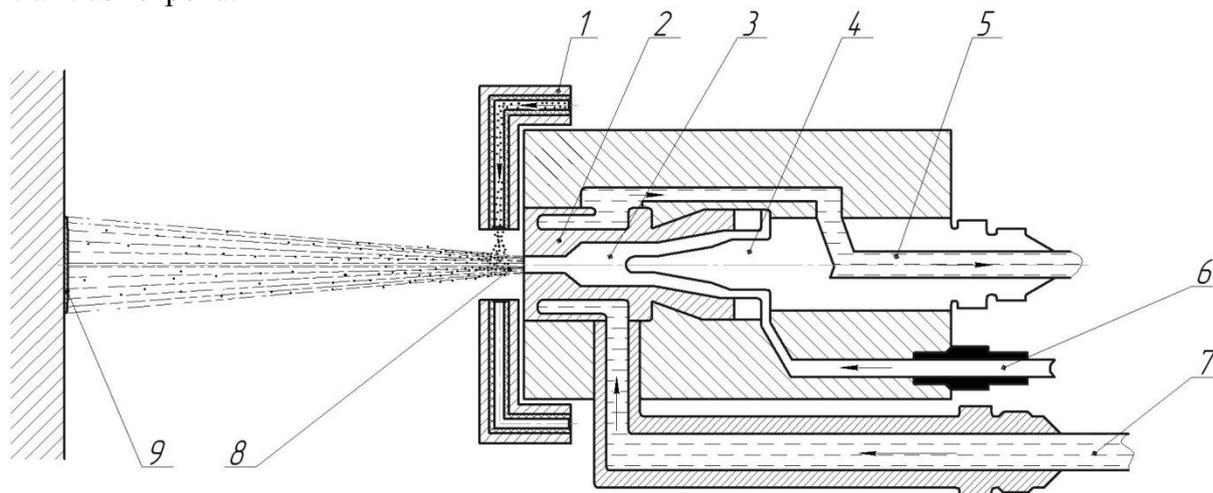


Рисунок 1 – Схема установки для плазменного напыления покрытий: 1 – подвижная головка с напыляемым порошком; 2 – анод плазмотрона; 3 – плазменная струя; 4 – катод плазмотрона; 5 – охлаждающая жидкость «-» питания; 6 – инертный газ; 7- охлаждающая жидкость «+» питания; 8 – высокотемпературная струя; 9 – напыляемое покрытие.

Служебные свойства изделий с покрытиями определяются не только свойствами материала, который был использован при создании рабочей поверхности. Сам процесс нанесения покрытия имеет большие потенциальные возможности как в плане создания новых видов покрытий, так и техники использования самой технологии. Конструирование покрытия включает в себя определение толщины слоя материала, создающего рабочую поверхность, выбор его состава и структуры системы "покрытие - основа". Традиционно применяется несколько типов структуры покрытий (рисунок 2).

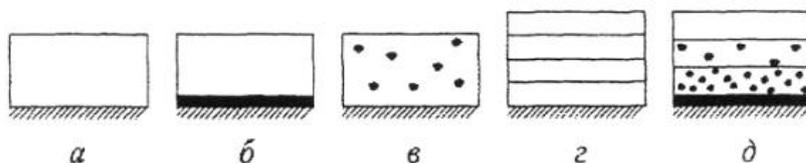


Рисунок 2 - Типы структуры покрытий

Довольно распространенным является однослойное покрытие (рисунок 2, а). Его использование целесообразно в случае создания конструкции "покрытие - основа" из материалов с соизмеримыми значениями коэффициентов термического расширения. Необходимым условием является также обеспечение прочности сцепления покрытия с основой. Как правило, такие условия выдерживаются при нанесении металлических покрытий на металлическую основу.

Более распространенным является покрытие с подслоем (рисунок 2, б). Подслой имеет меньшую, относительно основного слоя покрытия, толщину, лежащую в пределах 0,025... 0,1 мм. Назначение подслоя — в обеспечении крепкой связи покрытия с основой. Кроме того, его часто используют как переходный слой между материалами основы и основного покрытия для уменьшения разности их коэффициентов термического расширения. Зачастую как подслоя используются никель-алюминиевые материалы в виде композиционных порошков или сплавов; при нанесении оксидных покрытий для этого пригодны так же никель-титановые сплавы.

За счет соединения свойств матрицы и наполнителей можно получить покрытие с многокомпонентной структурой (рисунок 2, в). Покрытия такого типа могут быть получены при нанесении механических смесей покрытий или композиционных порошков. В случае эксплуатации покрытия в условиях механических ударных нагрузок и теплосмен используются многослойные и градиентные структуры (рисунок 2 г, д). При этом,

градиентная структура может быть как слоистой (из нескольких слоев с различным соотношением компонентов), так и непрерывной (отношение компонентов по толщине покрытия изменяется плавно) в результате их отдельного дозирования в процессе напыления.

На рисунке 3 показана схема структуры напыленного покрытия.

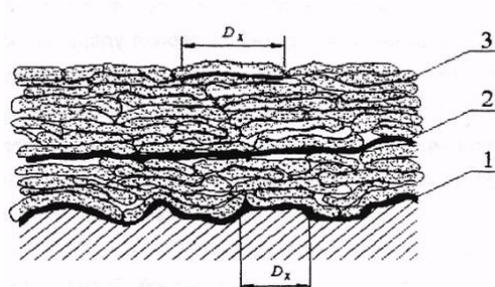


Рисунок 3 - Схема структуры покрытия: 1 - граница между покрытием и основой; 2 – межслойная граница, 3 - граница между частицами;  $D_x$  - диаметр участка пятна контакта, на котором происходит «приваривание» частицы.

Применение разработанного нами плазмотрона с подвижной насадкой-питателем возможно в:

- Машиностроении;
- Автомобильной промышленности;
- Электротехнической и электронной промышленности;
- Строительстве, угле- и нефтедобывающей промышленности;
- Химической промышленности;
- Бытовой технике.

Продукт для потребителя уникален тем, что подвижная насадка-питатель плазмотрона позволяет регулировать пористость покрытия и прочность сцепления напыляемых частиц с основой, тем самым появляется возможность получения необходимого покрытия с требуемыми свойствами. Инновационный продукт в виде малогабаритного плазмотрона может быть интересен среднему и малому бизнесу, конечным потребителям, а также покупателям.

Список литературы:

1. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление / Пер. с яп. Х12 В.Н. Попова; Под ред. В.С. Степина, Н.Г. Шестеркина. – М.: Машиностроение, 1985 – 240 с., ил.;
2. Газотермическое напыление композиционных порошков / А.Я. Кулик, Ю.С. Борисов, А.С. Мнухия, Д.М. Никитин. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделения, 1985. – 199 с., ил.;
3. Коротеев А.С. и др. Плазмотроны: конструкции, характеристики, расчет / А.С. Коротеев, В.М. Миронов, Ю.С. Свирчук. – М.: Машиностроение, 1993. – 296 с.;
4. Лащенко Г.И. Плазменное упрочнение и напыление. – К.: «Екотехнология», 2003. – 64 с.;
5. Кречмар Э. Напыление металлов, керамики и пластмасс. М.: Машиностроение, 1966. - 432 с.;
6. Кудинов В.В., Иванов В.М. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. М.: Машиностроение, 1981. - 192 с.;
7. Основы научных исследований: Учебник для технических вузов/ В.И. Крутов, И.М. Глушко, В.В. Попов и др. Под ред. В.И. Крутова, В.В. Попова. – М.: Высшая школа, 2009. – 400 с.;
8. База данных патентов России с 1980 г. [www.fips.ru](http://www.fips.ru).

# ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НЕЖЕСТКИХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ ИХ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЖЕСТКОСТИ И ДЕМПФИРОВАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Бочаров Ю.В. – аспирант, Жидецкая А.С. – магистрантка, Гончаров В.Д. – к.т.н., профессор,  
Балашов А.В. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В процессе фрезерования происходит выделение теплоты вызванной работой режущих зубьев, которое в свою очередь переходит в температуру. Температурное воздействие вызывает деформации заготовки в направлении инструмента. Тепловые деформации нежестких деталей вызывают трудности с обеспечением показателей точности обработки. К этим факторам добавляются вибрации технологической системы, вызванные нелинейной зависимостью силы резания, которые в свою очередь зависят не только от геометрических показателей поверхности обработки, но ещё от жесткости и демпфирующей способности заготовки.

Многочисленные исследования показали [3] [4] [5], что основное количество тепла аккумулируется в стружке. В обрабатываемую заготовку переходит незначительное количество тепла. Это положение справедливо для таких методов обработки, как точение, фрезерование, строгание, растачивание, наружное протягивание. Для таких методов, как сверление, распределение тепла изменяется, — его большая часть остается в заготовке.

При фрезеровании в стружку уходит 50—86% тепла, а при высоких скоростях резания свыше 90%; 10—40% тепла переходит в инструмент; 3—9% остается в заготовке и около 1% рассеивается в окружающую среду. Определение температурной деформации заготовки решается в предположении ее постоянного температурного поля. Предположение можно считать достаточно точным, если обработка поверхности заготовки ведется за несколько проходов, в результате чего получается равномерное распределение тепла.

Среднюю температуру нагрева заготовки можно определить по зависимости [8]:

$$— C) (1)$$

где:  $Q$  – количество теплоты в Дж.

$C$  — удельная теплоемкость материала заготовки в дж/кг-град;

$\gamma$  — плотность материала заготовки в кг/м<sup>3</sup>;

$V$  — объем заготовки в м<sup>3</sup>.

Чтобы рассчитать количество теплоты ( $Q$ ) необходимо определить работу затрачиваемую на фрезерование.

Работа определяется по следующей зависимости:

(2)

где:  $M_{рез}$  – момент от окружной силы фрезерования, Н ;

$n$  – частота вращения шпинделя, мин<sup>-1</sup>;

$F_{рез}$  – проекция силы резания вдоль подачи, Н

$S_{мин}$  – минутная подача, мм/мин.

Рассчитываем количество теплоты, как [3]:

(3)

где:  $\eta$  – КПД резания.

Температурную деформацию можно определить по формуле [8]:

$$, \text{ мм. (4)}$$

где:  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения материала заготовки.

$L$  – длина заготовки, м.

Величина температурной деформации может быть использована для расчета точности фрезерования и моделях оптимизации режимов резания.

Для решения задачи оптимизации, было принято решение создать программный комплекс описывающий оптимизацию производительности в зависимости от режимов резания.

В качестве целевой функции выступала производительность, описываемая как:

$$—, \quad (5)$$

В качестве ограничений выступают:

1. Подача на зуб больше минимального значения
2. Частота вращения шпинделя лежит в интервале значений:
3. Толщина срезаемого слоя лежит в интервале от 1% до 90% диаметра:
4. Глубина резания меньше предельного значения:
5. Температура меньше допустимой:
6. Допуск на размер меньше необходимого: мм
7. Шероховатость меньше допустимого: Ra<1.25 мкм
8. Напряжения меньше допустимых:

Задача решалась в системе MathCAD.

В системе Mathcad разработана программа по определению оптимальных резания для тонкостенных деталей с учётом деформаций, напряжений, шероховатости и температуры.

Изменение температуры заготовки приводят к изменению модуля упругости. В свою очередь от модуля упругости зависят жесткость и демпфирующая способность заготовки.

Колебания системы с учётом демпфирования и жёсткости обрабатываемой поверхности можно записать в следующем виде:

$$(5.1)$$

Формула (8) описывает затухающие колебания с постоянными коэффициентами, а именно: масса (M), демпфирование (G), жёсткость (C). В процессе обработки эти параметры меняются во времени. И выражение 8 принимает следующий вид:

$$(6)$$

где: M(t) – изменение массы детали в процессе обработки, кг

G(t) – изменение демпфирующей способности детали в процессе обработки. Н·с/мм

C(t) – изменение жёсткости детали в процессе обработки. Н/мм

F(t) – сила возмущающая колебания, в нашем случае сила резания с учётом процесса удара зубьев при резании, Н.

Параметры G(t) и C(t). зависят от момента инерции тела, его механических свойств и от материала обрабатываемого изделия.

Для определения жёсткости обрабатываемого сечения можем воспользоваться следующей формулой [4]:

$$— (7)$$

где: E – Модуль упругости, МПа.

Jp – Полярный момент инерции, м<sup>4</sup>

l – Расстояние от основания до области обработки, мм.

Демпфирующая способность тела при обработке определяется:

$$— (8)$$

где: Jосев – момент инерции центральной оси, мм.

ρ – плотность вещества.

Nвращ – частота вращения инструмента.

z – число зубьев инструмента.

Все параметры стандартизованы и находятся из справочников, кроме моментов инерции. Данный параметр в процессе обработки меняется и влияет на демпфирование и жёсткость. Для расчета моментов инерции тела будем использовать программу Excel.

Чтобы задать профиль обрабатываемой поверхности, в нашем случае: профиль лопатки, вводим координаты профиля и строим профиль (рисунок 2)

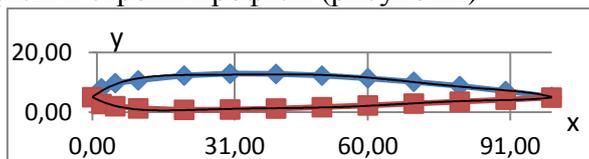


Рисунок 2. Профиль лопатки (НАСА 2412) координаты x и y представлены в мм.

Квадратики – точки нижней части профиля. Ромбики – точки верхней части профиля.

После того, как построены верхняя и нижняя плоскости профиля, строим линию тренда. Для нашего случая получаются полиномы 6-ой порядка, а именно:

Уравнение для верхней поверхности профиля с величиной достоверности аппроксимации ( $R^2$ ) 0,9837082, или если в процентах: 98,37082% сходимости линии тренда и имеющейся поверхности.

$$x = -6,977828E-10y^6 + 2,273413E-07y^5 - 2,873425E-05y^4 + 1,783255E-03y^3 - 5,853596E-02y^2 + 9,940479E-01y + 5,583980E+00 \quad (9)$$

Уравнение для нижней поверхности профиля с величиной достоверности аппроксимации ( $R^2$ ) 0,9709646, или если в процентах: 97,09646% сходимости линии тренда и имеющейся поверхности.

$$x = 5,118553E-10y^6 - 1,688970E-07y^5 + 2,167515E-05y^4 - 1,368545E-03y^3 + 4,473647E-02y^2 - 6,887496E-01y + 4,551807E+00 \quad (10)$$

Зная уравнения двух кривых и точки их соприкосновения вычисляем полярный момент инерции, а так же осевой момент инерции данного сечения, как:

$$(11)$$

где: – Статический момент инерции относительно оси x.

– Статический момент инерции относительно оси y.

В свою очередь статические моменты инерции определяются, через площадь ограниченную кривыми профиля имеющие уравнения 9 и 10. Найденные при помощи программы Excel. Зная, что статические моменты инерции можно найти из выражения 12 найдем полярный момент инерции 11. (12)

После расчётов моментов инерции можем рассчитывать жёсткость по формуле 17 и демпфирующую способность тела в обработке формула 18.

Чтобы определить характер изменения параметров G и C, строим профиль с учётом обработки, а дальше просчитываем моменты инерции данного тела. Эти данные сформируют представление об изменении параметров жёсткости и демпфирования с учётом съёма материала, то есть сможем определить зависимость изменения параметров G и C от формы обрабатываемой поверхности. С учётом этого мы сможем прогнозировать параметры у тел имеющих вид профиля крыла или лопатки, тем самым статические параметры G и C переходят в динамические параметры детали G(t) и C(t), так как будет известен характер изменения этих параметров с учётом времени обработки.

Данную теорию перехода от статических к динамическим параметрам, планируется проверить на детали типа: лопатка турбины. Провести чистовую обработку поверхности лопатки с замерами колебаний в процессе обработки бесконтактным датчиком. Дальнейшее сравнение теоретических и полученных экспериментальным путём сравнения результатов даст качественный показатель сходимости теории и практики. А так же составление рекомендаций по обработке нежестких поверхностей лопаток турбин.

Список литературы:

1. Биргер И.А. «Остаточные напряжения» М. МАШГИЗ, 1963 – 230 с.
2. Бухгальц Н.Н. «Основной курс теоретической механики» часть первая. М., 1967г.

3. Грановский Г.И. Грановский В. Г., Резание материалов: Учебник для машиностроительных и приспособительных спец. вузов.-М: высш. Шк., 1985. – 304
4. Зисман Г.А. Тодес О.М. «Курс общей физики» М. «Наука», 1965 г
5. Колесов И.М. «Основы технологии машиностроения: Учебник для машиностроительных специальностей вузов. - М.: Машиностроение, 1997. – 592 с..
6. Корсаков В.С. Косилова м.А. «Основы технологии машиностроения»- М.: Машиностроение, 1965 – 490 с.
7. Лурье А.И. «Аналитическая механика» М. 1961г.
8. Справочник по физике: Пер. с нем. – М.: Мир, 1983. – 520 с., ил.
9. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1, 2/Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова – М.: Машиностроение, 1986.

## ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЕТАЛЕЙ

Козлов А.Б. - студент, Федоров В.А. - к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Современная российская экономика ставит перед предприятиями машиностроения задачу обеспечения экономически обоснованного уровня качества изделий. Решение этой задачи существенно усложняется вследствие постоянного увеличения объёма и сложности проектных технологических работ, связанных с технологической подготовкой производства, которая и является наиболее трудоёмкой частью проектирования. Следовательно, важнейшим средством интенсификации производства в машиностроении является автоматизация проектирования технологии, которая должна обеспечивать автоматизацию инженерного труда и значительно уменьшить время на подготовку производства. Автоматизация проектирования является инструментом решения производственных задач не только на более высоком количественном, но и качественном уровне.

В области моторостроения присутствует большое количество типоразмеров деталей, которые необходимо изготовить с высокой точностью. Так, наиболее часто встречающиеся детали двигателей, редукторов - корпусные детали и валы обычно имеют при количестве ступеней вала или ступенчатого отверстия около десяти и размерную структуру до пятидесяти и более размеров. Причём такие валы или корпуса являются деталями средней технологичности, а детали типа втулок, дисков могут иметь в размерной структуре десятки размеров. Поэтому автоматизация проектирования размерной структуры технологических процессов становится актуальной задачей.

В источниках [1,2] приведён анализ существующих решений в этой области и, в частности, сделан вывод о необходимости оптимизации при синтезе размерной структуры. Были выведены критерии оптимальности размерных структур. Этими критериями являются структурный – минимальная сумма всех составляющих звеньев во всех размерных цепях размерных структур и экономический – минимальный объём снимаемого припуска. Выбор и обоснование критериев на основе целевой функции, представляющей собой себестоимость, описаны в работе [3].

Используя модель размерной структуры вновь создаваемого технологического процесса, можно построить множество размерных структур. Если не учесть взаимодействия размеров, то большинство из них не сможет обеспечить необходимых свойств технологического процесса, они не будут позволять рассчитать все операционные технологические размеры и размеры исходной заготовки.

Для теоретической размерной структуры выполняются следующие условия:

- обработка осуществляется со снятием припуска;
- поверхности детали во время обработки не исчезают и не появляются вновь, кроме случаев, когда с существующей поверхности снимается припуск.

Таким образом, для решения системы уравнений теоретической размерной структуры применима теорема Крамера.

Основные отличия реальной размерной схемы от теоретической появляются в следующих случаях.

Для механической обработки деталей типа тел вращения операции без снятия припуска нехарактерны, за исключением случаев покрытий и насыщений, которые обычно наносятся на деталь уже после окончательной обработки, и их следует рассматривать отдельно.

Появление новых поверхностей, которых нет на готовой детали, при обработке также встречается редко, а именно в тех случаях, когда для закрепления детали необходимо введение технологических поверхностей. Такие случаи нередки для деталей типа лопаток, корпусов и т.п., для тел вращения они практически не встречаются.

Другой случай, когда при обработке форма детали постепенно усложняется, когда на исходной заготовке отсутствует часть поверхностей, имеющихся на детали, наоборот, наиболее характерен. При обработке такой новой поверхности снимается не припуск, а напуск. Величины напусков обычно не рассчитываются, и включать их в матрицу размерной цепи нет необходимости. Если на исходной заготовке отсутствует какая-либо поверхность, то не существует и размера, ей соответствующего.

Разработанные положения легли в основу создания автоматизированной системы проектирования размерных структур технологических процессов, разработанной на кафедре «Технология машиностроения» ПермГТУ совместно с Отделом совершенствования технологической подготовки производства ОАО «Пермский моторный завод». На типовые детали разработаны типовые размерные структуры. Программа гибко настраивается для различных типов оптимизации и имеет удобный интерфейс. После выбора оптимального варианта данные передаются в САПР ТП на базе AutoDesk AutoCAD R14. В настоящее время программное обеспечение проходит Государственную регистрацию и внедряется в технологических бюро механических цехов ОАО «Пермский моторный завод».

Аналогичные разработки могли бы быть использованы при совершенствовании технологической подготовки производства на моторостроительном объединении ОАО ХК «Барнаултрансмаш».

Список литературы:

1. Голдфельд М. Х. Применение теории графов к задаче синтеза размерной структуры технологического процесса механической обработки / Челябин. политехн. ин-т. Челябинск, 1982. 32 с.
2. Перминов А. В. К вопросу об оптимизации размерной структуры технологических процессов механической обработки. // Механика и технология материалов и конструкций. Сборник научных трудов. Пермь, 1998. С. 117-123.
3. Перминов А. В. Моделирование оптимальной размерной структуры технологических процессов механической обработки. // Наука – производству. № 5, 2000. С. 28-32.

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОРЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ

Одинаев Е.О. – магистрант, Ягло И.И. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Обрабатываемый материал и его структура оказывают существенное влияние на характер и высоту неровностей обрабатываемой поверхности. Более вязкие и пластичные материалы (например, малоуглеродистая сталь), склонные к пластическим деформациям, дают при их обработке резанием грубые и шероховатые поверхности. Величина  $R_z$  обрабатываемой поверхности уменьшается при переходе от структуры феррито-перлита к троститу и тростито-мартенситу. Феррит, являющийся мягкой, вязкой и легко деформирующейся составляющей структуры стали, при обработке резанием имеет склонность к образованию неровностей на поверхностях. С точки зрения получения

поверхности с минимальной  $R_z$  оказываются чрезвычайно неблагоприятными структуры с неоднородной величиной зерен, в частности структура «глобулярного перлита», состоящая из круглых зерен цементита, рассеянных по основной массе металла.

Значительно меньшая шероховатость образуется при обработке стали после нормализации и отпуска, имеющей однородную и мелкозернистую структуру. Таким образом для получения при механической обработке возможно меньшей  $R_z$  рекомендуется предварительная нормализация углеродистой стали при  $T=(850-870)^\circ\text{C}$  или отжиг при  $T=900^\circ\text{C}$  в течение 5 ч.

Известно, что с увеличением твердости обрабатываемого материала высота  $R_z$  снижается. При этом одновременно уменьшается влияние изменения скорости резания  $V$  на высоту шероховатости и при твердости  $HB\ 500$  влияние  $V$  почти отсутствует. Отсюда перед обработкой необходима предварительная термообработка конструкционных сталей, повышающая их твердость.

При  $V=140$  м/мин и выше температура обрабатываемого материала достигает значения  $(780\dots840)^\circ\text{C}$ . При такой температуре механические свойства сталей различной начальной твердости выравниваются, в результате чего высота шероховатости стабилизируется и практически не зависит от изменения  $V$ .

Снижение вязкости обрабатываемого материала за счет наклепа поверхностного слоя также способствует уменьшению  $R_z$ . На практике это явление часто наблюдается при развертывании отверстий после зенкерования, создающего заметный наклеп обработанной поверхности. Если припуск, оставленный на развертывание, оказывается меньше глубины наклепанного слоя, то в результате развертывания получается поверхность с минимальной  $R_z$ .

Изменение химического состава обрабатываемого материала, отражающееся на его вязкости, в свою очередь влияет на  $R_z$  как деталей из цветных металлов, так и из сталей.

Влияние подачи на шероховатость поверхности при разных методах обработки

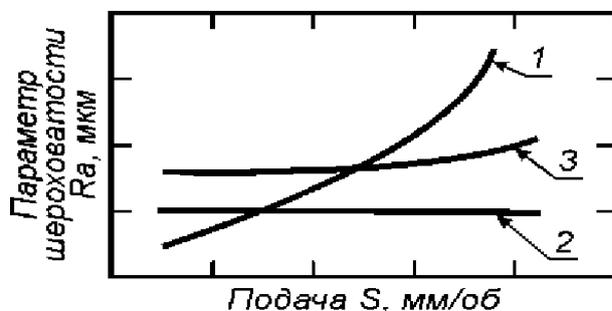


Рисунок 1 - Влияние подачи и условий обработки на шероховатость обработанной поверхности

сказывается по-разному. При точении стандартными проходными резцами с углом плане  $45^\circ$  и малым радиусом закругления (до 2 мм) влияние подачи весьма заметно (рисунок 1, кривая 1). При точении резцами с широкой режущей кромкой (кривая 2) влияние подачи практически отсутствует, что позволяет повысить производительность отделочных операций. Умеренное влияние подачи на шероховатость поверхности наблюдается при сверлении и зенкерования отверстий, торцевом и цилиндрическом фрезеровании (кривая 3).

Глубина резания  $t$  влияет на величину шероховатости незначительно. При обычном точении это влияние совершенно ничтожно и практически может не приниматься во внимание. При уменьшении  $t$  до  $(0,02\dots0,03)$  мм, вследствие наличия на режущей кромке скругления нормальное резание прекращается и резец, отжимаясь от детали, начинает скользить по обрабатываемой поверхности, периодически врезаясь в нее вырывая отдельные участки. Поэтому  $t$  при работе обычными резцами не следует брать слишком малой.

При глубине резания меньшей, чем величина  $S$ , она ( $t$ ) будет оказывать геометрическое влияние на  $R_z$ . В этом случае уменьшение  $t$  снижает  $R_z$ . Анализ особенностей и механизма образования шероховатых поверхностей при обработке резанием позволяет отметить следующие их недостатки:

большая неоднородность даже хаотичность образующихся неровностей в отношении их формы, размеров и взаиморасположения, являющихся следствием неравномерности пластического деформирования и неоднородности отделения частиц материала от общей массы в процессе обработки заготовки;

неблагоприятная форма неровностей шероховатых поверхностей, образующихся в большинстве случаев при обработке резанием: заостренные выступы и впадины неровностей, малые значения радиусов закругления их, значительная величина углов наклона образующих;

относительно малая несущая способность шероховатых поверхностей, обусловленная заостренной формой неровностей и, следовательно, малая опорная поверхность контактирующих поверхностей деталей в начальный период работы (период приработки) с одной стороны, и чрезмерно большая фактическая площадь высокоточных высокогладких поверхностей ( $R_a < 0,10$  мкм), а отсюда малая их маслосъемность - с другой стороны;

ограниченная возможность управления образованием неровностей с различным соотношением высоты, формы и взаиморасположением; шаржирование в поверхностный слой абразивных частиц и возможность появления прижогов при абразивной обработке.

Такой характер микрорельефа усложняет расчетное технологическое обеспечение заданной конструктором микрогеометрии, так как неоднократное пластическое деформирование нарушает основные геометрические зависимости между параметрами микрорельефа (формой, размерами, взаиморасположением неровностей) и технологическими параметрами

режима обработки. Неоднородность микрорельефа усложняет также контроль геометрических параметров качества поверхности и их стандартизацию, снижает точность измерений как стандартизованных ГОСТ 2789 -73, так и нестандартизованных параметров шероховатости поверхности. Так, из представленных в стандарте на шероховатость поверхности

шесть параметров, четыре ( $R_a$ ,  $R_z$ ,  $S$ ,  $S_m$ ) характеризуют средние значения величин высоты и шага неровностей, что безусловно снижает точность нормирования и оценки шероховатости поверхности, затрудняет контроль. Наличие трех высотных ( $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$ ) и двух шаговых параметров ( $S$ ,  $S_m$ ) шероховатости поверхности усложняет не только нормирование качества по-

верхности, но и использование стандарта в промышленности. Иррегулярность неровностей не позволяет оценивать и нормировать шероховатость на площади поверхности (шероховатость оценивается в сечении профиля), в то же время площадные параметры наиболее полно определяют связь шероховатости поверхности с важнейшими эксплуатационными свойствами.

Частично регулярный микрорельеф (ЧРМР) образуется в результате нанесения технологическими методами на предварительно обработанную резанием рабочую поверхность детали различного рода дискретно расположенных элементов (лунки, канавки) регулярного микрорельефа. Поэтому выше отмеченные недостатки иррегулярного микрорельефа в некоторой степени присущи ЧРМР.

В основу образования полностью регулярного микрорельефа положено пластическое деформирование и целенаправленное изменение (например, усложнение) кинематики процесса обработки. Первый принцип базируется на многочисленных исследованиях, свидетельствующих о значительно большей однородности микрорельефа поверхностей, образованных пластическим деформированием по сравнению с поверхностями, образованными при резании. Вторым принципом основан на том, что при целенаправленном изменении кинематики любого способа происходит интенсификация процесса, в результате

появляется возможность варьировать такие параметры микрорельефа, как форма, высота и взаиморасположение неровностей.

Формирование полностью регулярного микрорельефа (ПРМР) происходит при последовательном наложении выдавливаемых канавок друг на друга, образующихся при вращении (перемещении, в случае плоской детали) и продольном перемещении (подаче) деформирующего элемента. ПРМР, создаваемые на поверхностях различными способами ППД (вибронакатывание, центробежно-ударное, вибрационно-ударное накатывание, вибровыглаживание и др.), в основу которых положены указанные принципы, позволяют полностью избежать недостатков, присущих микрогеометрии шероховатых поверхностей. Это связано со следующими особенностями:

1. Во всех случаях ПРМР образуется как след контакта, внедрения (вдавливания) и перемещения деформирующего инструмента по обрабатываемой поверхности. Так как этот след фактически полностью определяется кинематикой процесса обработки, в частности, движением деформирующего элемента, пластически деформирующего хаотично расположенные неровности исходной поверхности заготовки, то формируется новый регулярный микрорельеф со строго закономерно расположенными относительно друг друга неровностями (элементами) одинаковой формы и размеров.

2. Целенаправленное изменение (усложнение) кинематики процесса обработки, большое число регулируемых параметров режима, обеспечивает, весьма тонкое и в широких пределах, варьирование значениями параметров создаваемого регулярного микрорельефа, в том числе таких информативных, как число выступов и впадин на единице площади, радиусы закругления выступов и впадин и др.

3. Возможность независимого регулирования параметров режима процесса обработки и отсутствие жесткой их связи с параметрами регулярного микрорельефа позволяют управлять формой и взаиморасположением его элементов. Отсутствие характерной для обработки резанием связи между подачей  $S$ , высотой  $R$  образующихся неровностей ( $R = S^2/8r$ , где  $r$  - радиус вершины резца), обеспечивает получение поверхности с одинаковой высотой неровностей с различным их шагом и направлением.

4. Формирование регулярных микрорельефов дает возможность управлять такими параметрами поверхности, а следовательно, и контакта поверхностей, как фактическая площадь контакта, а также создавать высокочистые (не шаржированные) поверхности достаточной маслостойкости, исключать явления молекулярного сцепления, фреттинг - коррозии и т.п.

5. Во всех случаях образования ПРМР формируется практически для всех условий эксплуатации благоприятный микрорельеф, отличающийся пологой формой выступов и впадин с радиусами на 1-2 порядка большими, чем при обработке резанием, и соответственно большей величиной опорной поверхности как исходной после создания ПРМР, так и после приработки. Причем период приработки значительно сокращается.

6. Строгая кинематическая связь между параметрами режима процессов образования ПРМР и параметрами регулярного микрорельефа определяет возможность расчетного нормирования, технологического обеспечения и безприборного контроля поверхностей с полностью регулярным микрорельефом.

7. Указанные особенности образования ПРМР обеспечили возможность стандартизации (ГОСТ 24773-81) регулярных микрорельефов с включением в число стандартизуемых параметров абсолютной высоты неровностей, относительной опорной площади элемента поверхности и их число на единицу площади. Если учесть, что контакт поверхностей всегда происходит по площадкам, а площадь фактического контакта – важнейший параметр, определяющий его служебные свойства, то становится очевидным прогрессивность и перспективность данного стандарта и всего направления регуляризации микрогеометрии реальных поверхностей и деталей машин. В стандарт впервые включены не усредненные (по

сравнению с ГОСТ 2789-73 ) значения параметров микрогеометрии, а их абсолютные параметры, практически одинаковые для всей поверхности.

8. Универсальность, простота, надежность обеспечения и возможность управления фактически всеми параметрами и характеристиками поверхностей с регулярным микрорельефом характеризует способы (вибронакатывание, центробежно-ударное накатывание и др.) образования их как инструмент для исследования и выявления взаимосвязей огромного многообразия эксплуатационных свойств поверхностей и их микрогеометрией - важнейшей научно-технической и народнохозяйственной задачей, от решения которой зависит совершенствование машин и приборов, их качество и надежность.

9. Поскольку в основе большинства способов образования регулярного микрорельефа (накатывание, центробежно-ударное, виброударное накатывание и др.) в отношении воздействия на обрабатываемый материал лежит холодная пластическая деформация со свойственными ей особенностями и достоинствами, то все они могут быть распространены и на эти процессы, на физико - механические свойства формируемого или поверхностного слоя материала. Действительно, отсутствие перерезания волокон металла, незначительный нагрев (по сравнению с обработкой резанием) его поверхностного слоя, упрочнение за счет наклепа и остаточных напряжений сжатия, отсутствие шаржирования в поверхностный слой абразивных частиц и, наоборот, возможность легирования его элементами другого металла (при обработке по покрытию) - все эти позитивные свойства характерны для поверхностей с регулярными микрорельефами, созданными указанными способами.

10. Целенаправленное усложнение кинематики процессов обработки определяет и их интенсификацию в отношении упрочнения, степени регуляризации физико - механических параметров поверхностного слоя. Эти параметры качества у деталей, обработанных данными способами, при прочих, равных условиях значительно выше, чем у деталей, обработанных другими способами при статическом воздействии деформирующего инструмента в неподвижную или вращающуюся заготовку, что весьма важно, как при обработке мало- и неравножестких деталей, когда нельзя прикладывать высокие, давления к инструменту, так и при создании высококачественных деталей на основе комплексной регуляризации параметров качества поверхностного слоя.

Анализ сущности и особенностей полностью регулярных микрорельефов свидетельствует о том, что практически все недостатки, свойственные шероховатым поверхностям деталей, в этом случае отсутствуют. При создании полностью регулярных микрорельефов возможна оптимизация качества обрабатываемых поверхностей деталей как за счет геометрических, так и при определенных условиях обработки физико - механических параметров, то есть возможна комплексная регуляризация параметров качества поверхностного слоя. Именно эти особенности и достоинства дают возможность решать актуальнейшие задачи машиностроения - повышение качества деталей, долговечности и надежности машин.

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

Попова Н.Ю. - магистрантка, Некрасов В.Н. – к.т.н., ст. преподаватель, Дудкевич А.Г. – к.т.н., доцент.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

При современном уровне развития машиностроения всё большее внимание уделяется качеству и себестоимости продукции. Появление высокоскоростной лезвийной обработки позволило повысить производительность резания в несколько раз. Однако для дальнейшего совершенствования процесса необходимо уделять особое внимание требованиям к качеству выпускаемой продукции. Ведущую роль при этом играет обеспечение заданного качества поверхностного слоя.

С совершенствованием станкостроения и появлением новых инструментальных материалов увеличивалась скорость резания. В настоящее время с успехом применяется новый вид механической обработки - высокоскоростная лезвийная обработка (ВСО). Для неё созданы специальные высокоскоростные станки, оснастка и инструмент. Обработка с высокими скоростями является принципиально новой технологией, для которой характерны свои особенности, такие как низкая сила резания, высокие температуры и т.д. Применение высокоскоростной обработки в ряде случаев позволяет отказаться от использования финишных операций: шлифования, шабрения. Широкое применение ВСО нашла в производстве штампов и пресс-форм. Однако процессы, происходящие при ВСО, ещё не достаточно изучены. Поэтому нахождение производительных и эффективных методов обеспечения качества поверхностного слоя детали при высокоскоростном чистовом торцевом фрезеровании закаленных сталей, позволяющих получить изделия с заданными свойствами поверхностного слоя, является актуальной задачей для механообрабатывающего производства.

С развитием техники всё более широкое применение находят материалы, которые трудно обрабатывать по существующим технологиям. Например, закаленные стали высокой твердости обрабатываются шлифованием, что приводит к получению поверхностного слоя с растягивающими остаточными напряжениями и прижогами, или на дорогостоящих и сложных в эксплуатации электроэрозионных станках.

Таким образом, существуют различные методы высокоэффективной механообработки, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Для обработки деталей штампов и пресс-форм из закаленной стали предпочтительней высокоскоростная лезвийная обработка, так как она обеспечивает формирование поверхностного слоя деталей с оптимальными величинами остаточных напряжений, шероховатости, микротвердости, структурно-фазового состава и неоднородности свойств и не требует дополнительных оснастки и оборудования.

Исследованию обеспечения качества поверхностного слоя при высокоскоростной обработке посвящены труды многих отечественных и зарубежных авторов, таких, как Томас Скопесек, Юрий Свобода и Петр Хофманн и др [1, 2, 3]. Качество поверхностного слоя, а также его управление описано исследователями: А. М. Сулима, В. А. Шуловым, А. Ю. Албагичевым, В. А. Моисеевым [4, 5, 6]. Однако, получить поверхность с заданными параметрами поверхностного слоя затруднительно, так как отсутствуют методы обеспечения его качества. Имеются методики для расчета отдельных параметров, таких как шероховатость, остаточные напряжения, микротвердость. Тем не менее, практически все они выведены для традиционных методов лезвийной обработки и не учитывают весь комплекс свойств, характеризующих состояние поверхности детали. Высокоскоростная лезвийная обработка закаленных сталей, с учетом особенностей формообразования в условиях локального термопластического сдвига, требует создания собственного технически обоснованного способа обеспечения качества поверхностного слоя с заданными величинами остаточных напряжений, шероховатости, микротвердости, структурно-фазового состава и неоднородности свойств.

При изготовлении деталей штампов и пресс-форм необходимо получение очень высокого качества их рабочих поверхностей. В настоящее время на финишных операциях изготовления подобных изделий широко применяется абразивная обработка, которая позволяет получить высокую чистоту поверхности, однако приводит к появлению прижогов и поверхностных растягивающих технологических остаточных напряжений, что неблагоприятно сказывается на стойкости продукции. К тому же абразивная обработка существенно удорожает и увеличивает длину производственного цикла. При ВСО достигается поверхность высокой чистоты с благоприятной картиной распределения технологических остаточных напряжений. Также внедрение ВСО способствует значительному сокращению себестоимости продукции и машинного времени.

Известно, что при ВСО закаленных сталей с неправильно подобранными режимами имеют место такие недостатки поверхностного слоя деталей, как: изменение структуры, появление микротрещин, растягивающие технологические остаточные напряжения, высокая шероховатость, изменение микротвердости [7].

Поэтому необходимо проведение исследований для выявления зависимостей качества поверхностного слоя деталей и шероховатости поверхности от режимов резания. Для этого будет разработана модель, адекватно связывающая описанные зависимости и на ее основе создан алгоритм позволяющий найти оптимальные параметры обработки.

При назначении параметров шероховатости поверхностей следует проверить возможность их достижения в связи с рациональными методами обработки детали.

Как правило, следует применять наибольшую шероховатость, допускаемую конструктивными требованиями. Правильное решение, принятое при выборе параметров шероховатости поверхностей деталей, а также при выборе методов обработки, обеспечивающих получение; поверхностей с заданной шероховатостью, оказывает серьезное влияние на качество: конструкции, ее технологичность позволяет установить наиболее экономичные методы изготовления деталей.

Наибольшее влияние при обеспечении заданных параметров шероховатости и поверхностных остаточных напряжений оказывают подача и скорость резания, причем подача в большей степени.

При обеспечении заданной величины поверхностной микротвердости наибольшее влияние оказывают глубина резания, скорость резания и подача. Причем глубина резания в некоторых случаях оказывает наибольшее влияние, чем скорость резания и подача.

Список литературы:

1. В.А. Рогов. Методика и практика технических экспериментов / В.А. Рогов, Г.Г. Позняк. М.: Издательский центр «Академия», 2005. С. 288.
2. Гамрат-Курек Л.И. Выбор варианта изготовления изделий и коэффициенты затрат / Л.И. Гамрат-Курек, К.Ф. Иванов. М.: Машиностроение, 1975. С. 134.
3. Гусев А. С. Сопротивление усталости и живучесть конструкций при случайных нагрузках / А. С. Гусев. М.: Машиностроение, 1989. С. 248.
4. Леонов Б. Н. Исследование термоконтактных явлений в процессе тонкого точения металлов резцами из твёрдого сплава и эльбора / Б. Н. Леонов. Автореф. дис. канд. Куйбышев, 1973.
5. В.В. Осипов, М.Б. Шабалина // Под ред. Ю.М. Соломенцева. М.; 2001.1. С. 335.
6. Маталин А. А. Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин / А. А. Маталин. М., Машгиз, 1956 С. 225.
7. Кривоухов В.А. Качество поверхностного слоя. / В. А. Кривоухов, В. А., А. Д. Чубаров. М., Машиностроение, 1970, С. 180.

## ПОВЫШЕНИЕ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Ильиных В.В. – студент, Кряжев А.Ю. – аспирант, Кряжев Ю.А. – к.т.н., доцент,  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Процесс фрезерования является наиболее распространённым методом обработки материалов резанием в современном машиностроении и особенно при изготовлении деталей сложной формы. Важным моментом при обработке деталей сложной формы является наличие тонкостенных консольных элементов с малой жёсткостью. В этом случае динамические характеристики технологических систем изменяются незначительно, но это приводит к появлению повышенных вибраций, что сопровождается снижением стойкости режущего инструмента и качества обработанной поверхности. В данной работе

рассматривались два направления повышения виброустойчивости технологической системы за счёт снижения вибрационных нагрузок на режущий инструмент:

1. обеспечение более устойчивого процесса резания на основе изучения влияния его динамических характеристик;
2. управление виброустойчивостью режущего инструмента путём увеличения его демпфирующих свойств.

При исследовании в первом направлении учитывался тот факт, что при фрезеровании непрерывно изменяется сечение срезаемого слоя материала для заданной траектории движения инструмента, а это способствует возникновению вибраций в виде колебаний технологической системы. При фрезеровании вынужденные колебания бывают с двумя частотами, соответствующими периоду входа отдельных зубьев фрезы в обрабатываемый материал и скорости вращения фрезы. Одним из путей снижения вынужденных колебаний, обусловленных процессом резания, является снижение величин возмущающих сил. Одним из основных средств устранения вибраций или уменьшения их интенсивности является правильный выбор геометрии заточки режущего инструмента, что позволяет свести к минимуму действие возмущающих сил и обеспечить в целом наиболее рациональную схему нагружения технологической системы. Для фрез таким геометрическим параметром, который обеспечивает равномерность работы фрезы и наиболее эффективно влияет на управление схемой нагружения технологической системы, является угол наклона зуба фрезы –  $\omega$ . Для исследования влияния угла  $\omega$  на процесс фрезерования были проведены эксперименты в лаборатории кафедры «Общая технология машиностроения» АлтГТУ им. И.И. Ползунова. Эксперименты проводились при фрезеровании концевыми фрезами тавра шатуна, изготовленного из стали 40X2H2MA. Режимы резания были выбраны нормативными: скорость резания –  $V=1.57$  м/с; глубина резания –  $t = 2$  мм; диаметр фрезы –  $D = 25$  мм; число зубьев –  $z = 2$ ; материал режущего зуба – ВК8. За критерий износа принимался износ зуба фрезы по задней поверхности -  $h_z = 0,5$  мм. Для проведения экспериментов были изготовлены концевые фрезы с углами наклона зубьев –  $\omega$  к оси фрезы равными: –  $6^\circ$ ;  $+6^\circ$ ;  $+12^\circ$ ;  $+18^\circ$  (см. рисунок 1). В результате проведённых экспериментов было установлено, что кроме подачи очень большое значение для стойкости имеет величина наклона зуба фрезы –  $\omega$ . В диапазоне изменения углов –  $\omega$  от –  $6^\circ$  до  $+18^\circ$  (см. рисунок 2) путь резания инструмента -  $L_z$ , приходящийся на один зуб фрезы, при всех значениях подачи вырос в 4...5 раз.



Рисунок 1 – двузубые концевые фрезы с пластинками твёрдого сплава ВК8 и углами  $\omega$  наклона зубьев  $-6^\circ$ ,  $+6^\circ$ ,  $+12^\circ$ ,  $+18^\circ$ .

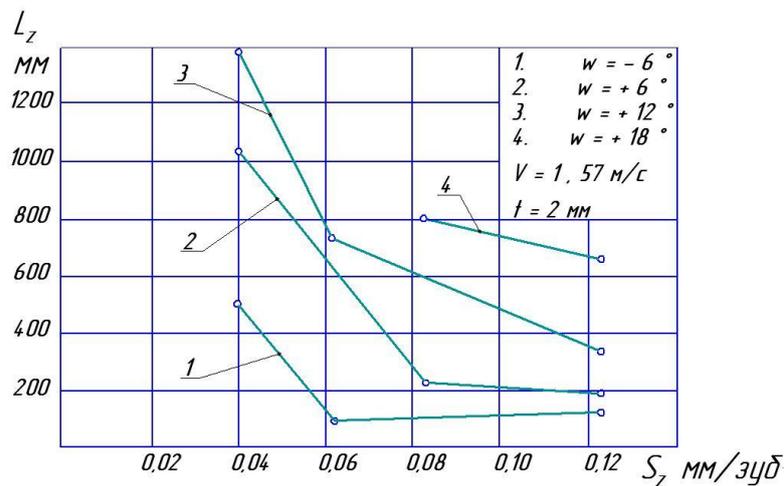


Рисунок 2 – изменение длины обработанной поверхности, приходящейся на зуб фрезы, в зависимости от подачи на зуб.

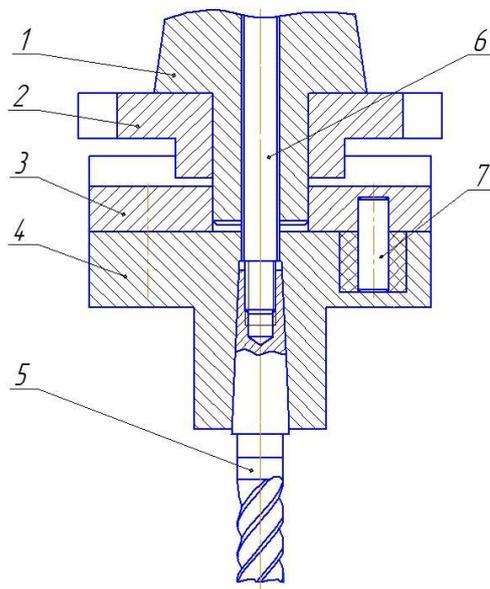


Рисунок 3 – фрезерная оправка с демпфирующими элементами для концевой фрезы: 1- оправка; 2-планшайба; 3-верхнее кольцо узла демпфирования; 4- нижнее кольцо узла демпфирования; 5-фреза концевая; 6-штанга; 7-штифт с резиновой вставкой (демпфирующий элемент).

При проведении исследований по второму направлению проводились эксперименты при фрезеровании концевыми фрезами, установленными в специальную демпфирующую оправку. Выбор динамических характеристик технологической системы и в первую очередь сопротивления системы имеет большое значение для устранения вибраций, а следовательно для устойчивого процесса резания. Повышение сопротивления системы путём применения специальных средств увеличивает рассеивание энергии и в результате этого снижает интенсивность вибраций [1]. В исследуемой конструкции фрезерной оправки (см. рисунок 3) используются резиновые вставки (демпфирующие элементы), количество которых может изменяться в зависимости от требуемых условий резания и значений собственной частоты режущего инструмента. Главным преимуществом предлагаемого способа демпфирования является его широкая универсальность и, как следствие, возможность его применения не только для фрез, но и для других видов режущего инструмента. Демпфирующие элементы можно подобрать по материалу и конструкции с учётом динамических характеристик технологической системы, что увеличивает эффективность его использования. Для оценки демпфирующих способностей резиновых вставок, установленных в отверстиях фрезерной оправки, проведены сравнительные эксперименты [2]. При этом сравнивались амплитуды

колебаний концевой фрезы, установленной в оправку с демпфирующими элементами и без них. По результатам экспериментальных исследований установили, что амплитуду колебаний концевой фрезы, установленной в фрезерную оправку с демпфирующими элементами, можно уменьшить на 35%.

Таким образом, результаты, полученные экспериментальным путём, показывают, что выбранные направления повышения виброустойчивости технологических систем за счёт снижения вибрационных нагрузок на режущий инструмент, могут быть использованы как при их эксплуатации, так и при дальнейших исследованиях процесса резания.

Список литературы:

1. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов, Учеб. Пособие для вузов. М., «Высшая школа», 1974. 587 с.

2. Кряжев Ю.А., Огневенко Е.С. Исследование колебательных процессов, возникающих при работе спирального сверла, с применением анализа акустического сигнала. «Технология машиностроения», - 2008.- №1 - С.28-29.

## ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО ПОДХОДА

И.К. Бурачевская - магистрант, А.В. Шаталова - магистрант,  
А.А. Черепанов, к.т.н., доцент, А.В. Балашов, к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Обеспечение конкурентоспособности продукции машиностроения требует не только повышения качества деталей машин, но и достижение показателей качества с минимальными затратами. Последнее требование в настоящее время реализуется недостаточно эффективно. В процессе проектирования технологических процессов изготовления деталей машин превалирует предметный подход, при котором практически все технические и организационные решения нацелены на достижение конкретных точностных показателей, а экономическому аспекту уделяется незначительное внимание. В условиях многономенклатурного производства, когда требование обеспечения организационной гибкости выходит на первый план, такой подход приводит к нерациональным, с точки зрения экономики, технологическим процессам. Выход из создавшегося положения видится в необходимости создания методологии проектирования технологических процессов, основанной на совместном учете точностных и экономических параметров в процессе принятия проектных решений. Реализация такого подхода обусловило необходимость использования в ходе проектирования технико-экономических методов, анализ которых позволяет отдать предпочтение методу функционально-стоимостного проектирования (ФСП).

Метод ФСП, являясь методом системного анализа функций объекта, обеспечивает на стадии проектирования предупреждение возникновения функционально излишних затрат и общественно необходимый уровень качества изготавливаемых изделий. Использование ФСП в рамках САПР и САП как инструмента для решения задач проектирования структуры технологической операций позволит уже на этой стадии выявить резервы повышения эффективности данного объекта исследования.

Как известно, одним из основным принципом ФСП служит принцип соответствия значимости функций объекта затратам на их реализацию. Если в качестве объекта исследования рассматривать процесс формирования технологической операции, то в качестве основных функций объекта можно выделить: «установить заготовку», «настроить инструмент», «установить инструмент в шпиндель», «позиционировать рабочий орган станка» и т.д. Все перечисленные функции обуславливают качество выполнения главной функции объекта – «формообразовать поверхность» и реализуются на определенных этапах производственного процесса, разделенных в пространстве и во времени. В процессе

осуществления данных этапов формируются количественные характеристики функций (величины погрешностей), которые участвуют в формировании требуемой точности изготовления, внося определенную долю в суммарную погрешность обработки. При прочих равных условиях, например, равенстве вносимых погрешностей, влияние вышперечисленных функций на главную функцию тождественно, следовательно, значимость любой функции можно оценивать через долю вносимой погрешности. Каждый из этапов производственного процесса связан с затратами живого и овеществленного труда. В существующих методиках проектирования операций величины данных затрат не учитывались, считая их полностью оправданными, если требуемая точность размеров обеспечивалась. А между тем, величина этих затрат, сопоставленная у удельным весом соответствующих погрешностей в суммарной погрешности обработки, в соответствии с методологией ФСП, определяет структуру всей операции. Исследования, проведенные на ряде предприятий, показывают существенную экономическую нерациональность сформированных технологических операций. Несоответствие удельных значений погрешностей и затрат на их реализацию для отдельных этапов формирования точностных параметров (статическая настройка инструмента, динамическая настройка станка) достигает 40% и более.

Известно, что одним из наиболее значимых факторов при формировании структуры технологической операции, а следовательно и затрат на обработку является выбор технологической оснастки. Рассмотрим методику реализации данного этапа проектирования с позиций методологии ФСП.

Поскольку на практике существуют различные способы достижения одного и того же операционного размера (от технологических баз, от измерительных баз, формообразующим движением и т.д.), то на первом этапе проектирования (этапе анализа) следует выбрать наиболее рациональный вариант. Каждый из приемлемых вариантов характеризуется вполне определенной совокупностью основных функций, обеспечивающих выполнение главной функции «формообразовать поверхность». Например, если операционный размер получается формообразующим движением, то качество реализации главной функции зависит от качества выполнения функций «установить инструмент», «настроить инструмент», «обеспечить съём материала». Используя аппарат ФСП, необходимо проанализировать все приемлемые варианты с позиций соответствия значимости функций затратам на их реализацию. Количественную взаимосвязь между этими факторами наглядно отражает функционально-стоимостная диаграмма (ФСД). В верхней части диаграммы приводятся относительные величины значимости функций, выраженные через долю вносимых погрешностей в суммарную погрешность на обработку, а в нижней части – относительные величины затрат, связанные с формированием функций. Если удельный вес затрат по той или иной функции превышает удельное значение ее значимости, возникает зона дисбаланса, которую в ходе проектирования необходимо устранить. ФСД составляются по всей совокупности приемлемых вариантов организации операции. Критериями выбора рационального варианта достижения операционного размера могут служить: «минимальный уровень рассогласования между значимостью функций и затратами»; «количество зон дисбаланса»; «минимальные приведенные затраты» и другие. На этапе анализа для оценки значимости функций и затрат на их реализацию обеспечивается предварительный выбор технологической оснастки и режимов резания, исходя из условий достижений точности операционного размера и существующих возможностей предприятия.

Окончательный выбор технологической оснастки обеспечивается в ходе дальнейших проектных работ (этап синтеза) по выбранному варианту достижения операционного размера. Алгоритм окончательного выбора технологической оснастки и режимов резания представлен на рис. 1.



Рисунок 1 – Алгоритм выбора технологической оснастки и режимов резания

Исходными данными для принятия проектных решений служат ФСД для выбранного варианта организации операции, построенная на этапе анализа, а также существующие или разработанные методики расчета затрат на функции и величин погрешностей, участвующих в формировании операционного размера. Принцип соответствия значимости функций затратам на их реализацию должен учитываться при уточняющем выборе технологической оснастки и оптимизации режимов резания (блок 2, рис.1). Выявляемая посредством ФСД требуемая величина затрат служит ориентиром, к которому необходимо стремиться при выборе или проектировании технологической оснастки. В настоящее время отсутствуют методики проектирования, позволяющие определить эту величину затрат. Проведенные исследования показывают, что допустимое рассогласование между значимостью функции и затратами на ее реализацию не должно превышать 10-15%. Описанный подход позволяет существенно снизить себестоимость технологических операций.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ВПАДИНЫ МИКРОРЕЛЕФА МОДЕЛИРОВАНИЕМ ВНЕДРЕНИЯ КОНИЧЕСКОГО ИНДЕНТОРА В УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Буканов П.Д. - магистрант, Ятло И.И. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Для определения площади, занимаемой частично-регулярным микрорельефом (ЧРМР) в виде конусных впадин шахматного расположения по ГОСТ 24773-81, необходимо знание зависимости между усилием вдавливания деформирующего элемента и глубиной впадины.

В настоящее время широкое применение нашло использование метода конечных элементов для восстановления диаграммы  $\sigma$ - $\varepsilon$  по данным индентирования (диаграмма вдавливания  $P$ - $h$ ). При индентировании применяют разнообразные типы инденторов (шар, пирамиды, конусы) с разными углами заточек этих инденторов.

Моделирование внедрения индентора в упругопластический материал было выполнено с применением программного комплекса ANSYS. Индентор и образец рассматривались как тела вращения и задачу решали в осесимметричной постановке. Конечно-элементная модель, используемая в расчетах, приведена на рис. 1. Для построения конечно-элементной сетки был выбран двухмерный элемент объемного напряженно-деформированного состояния PLANE183 с восемью узлами, который может использоваться для моделирования осесимметричного деформированного состояния [4]. Геометрические размеры моделируемого образца выбирались такими, чтобы пластическая деформация не достигала боковых границ образца. Граничные условия задавались в перемещениях. Узлы вдоль оси вращения могут перемещаться только вдоль оси  $u$  и все узлы нижней грани закреплены. Для осуществления контакта индентора с материалом задавали контактную пару индентор-тело, считая контактирующими элементами верхнюю грань тела и боковую поверхность индентора с контактными элементами TARGE169, CONTA172. На поверхности контакта принимали закон трения Амонтона-Кулона. Поставленную задачу решали с применением процедуры Ньютона-Рафсона и фронтального прямого решателя. Разбиение конечно-элементной сетки было равномерное с областью сгущения под индентором. Алмазный индентор рассматривали как линейно упругий изотропный материал с модулем Юнга  $E=1140$  ГПа и коэффициентом Пуассона  $\mu=0,07$ . Материал, в который осуществляется внедрение индентора, – упругопластический. Чисто упругая деформация имеет место только в начале процесса индентирования и подчиняется закону Гука. В пластическом состоянии материал подчиняется условию текучести Мизеса в виде степенной функции от двух эмпирических коэффициентов  $a$  и  $b$ :

$$\sigma = a\varepsilon^b, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – напряжение текучести Мизеса;  $\varepsilon$  – полная деформация по Мизесу;  $a$  и  $b$  – числовые коэффициенты. В исходном состоянии в материале отсутствуют внутренние напряжения. Максимальную величину вертикального перемещения индентора изменяли от 25 нм до 500 нм. Для обеспечения оптимального соотношения между точностью расчета и временем вычисления выполнили конечно-элементное моделирование внедрения индентора в материал с разным количеством элементов в теле. Измельчение сетки в окрестностях элемента было проведено с применением команды «EREFINE». На рис. 1 приведены разные варианты конечно-элементной сетки, которые использовали при расчетах.

В таблице 1 представлены параметры конечно-элементной сетки и результаты расчета. Диаграмма вдавливания представляет собой зависимость усилия внедрения  $P$  от глубины внедрения индентора  $h$ . Она хорошо описывается квадратичной зависимостью в виде закона Кика [6]:

$$P = ch^2 \quad (2)$$

где  $P$  – усилие внедрения,  $h$  – глубина внедрения,  $c$  – числовой коэффициент.

Здесь коэффициент  $c$  зависит от угла индентора  $2\alpha$  и упругопластических свойств материала, в который вдавливаются индентор, и практически не зависит от глубины вдавливания.

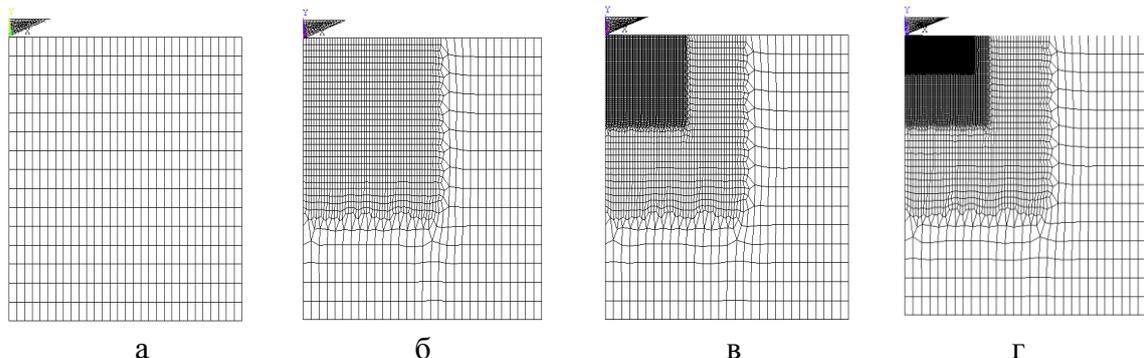


Рисунок 1. Варианты конечно-элементной сетки

Таблица 1- Параметры конечно-элементной сетки и результаты расчета

Вариант конечно-элементной сетки на рис. 1.	а	б	в	г
Размер элемента, мкм	0,8-1,6	0,3-0,6	0,1-0,2	0,03-0,06
Количество элементов	600	1996	6484	19656
Коэффициент <i>c</i>	9,476	9,248	8,951	8,789
Время расчета, сек	410	890	2064	60880

Для проверки адекватности конечно-элементного моделирования процесса внедрения конического индентора в упругопластический материал были проведены эксперименты по внедрению конического индентора в цилиндрические образцы из стали 40X диаметром и высотой по 20 мм со шлифованными торцевыми поверхностями на испытательной машине. Индентор был изготовлен из твердого сплава ВК-5 с углом при вершине 120°. Было произведено 25 вдавливания на глубину до 1,6 мм, при этом фиксировали изменения усилия вдавливания и внедрения индентора. По результатам экспериментов построили диаграмму вдавливания. Деформационное упрочнение описывали степенной зависимостью (1) с коэффициентами  $a=637,4$  МПа и  $b=0,186$ , определенной экспериментально по результатам испытания образцов на растяжение, изготовленных из того же материала [5], с модулем Юнга  $E=206$  ГПа и коэффициентом Пуассона  $\mu=0,34$ .

Для стали 40X на рис. 2 приведены экспериментальная и расчетная диаграмма вдавливания. Среднее отличие экспериментальных и расчетных данных составляет 6,68 %, что подтверждает адекватность построенной конечно-элементной модели.

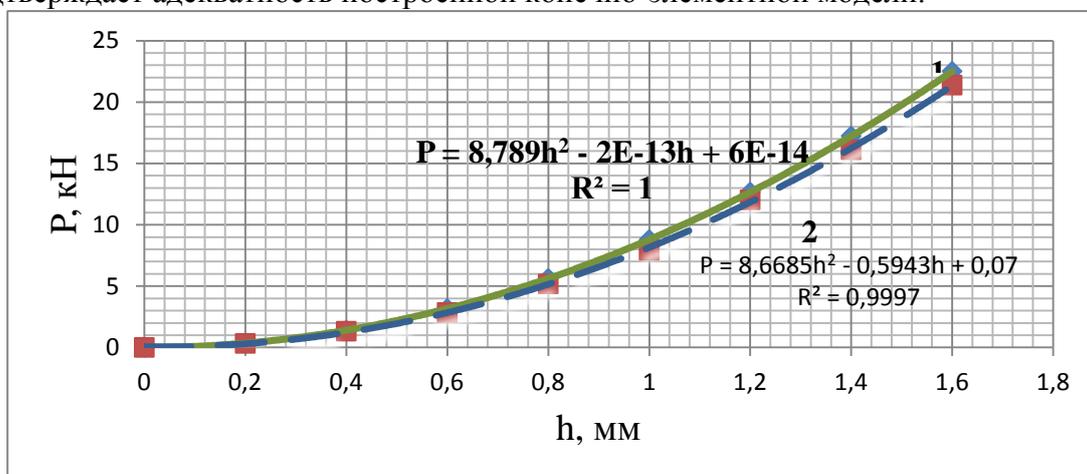


Рисунок 2 - Экспериментальная (□-2) и расчетная (Δ-1) диаграммы вдавливания

По результатам моделирования для индентора с углом  $2\alpha=120^\circ$  и стали 40X  $HV=217-249$

была получена зависимость :  $h = \sqrt{\frac{P}{HB^{0,404}}}$  (3)

Таким образом, зависимость (3) может служить для определения площади единичной микронеровности и площади, занимаемой ЧРМР.

#### Список литературы:

1. Бульчев С.И., Алехин В.П. Метод кинетической твердости и микротвердости в испытаниях вдавливанием индентором // Заводская лаборатория, 1987, № 11. С. 76 – 79

2. Федосов С.А., Пешек Л. Определение механических свойств материалов микроиндентированием: Современные зарубежные методики. М.: Физический факультет МГУ, 2004. 100 с.

3. Булычев С.И., Алехин В.П. Испытание непрерывным вдавливанием индентора. М.: Машиностроение, 1990. 224 с.

4. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. - М.: ДМК Пресс, 2005. 640 с.

5. Смирнов С.В., Смирнов В.К., Солошенко А.Н., Швейкин В.П. Определение сопротивления деформации по результатам внедрения конического индентора // Кузнечно-штамповочное производство, 2000, №8. С. 3 – 6.

6. Chollacoop N., Dao M., Suresh S. Depth-sensing instrumented indentation with dual sharp indenters. Acta Materialia, 2003. № 51. P.3713-3729.

## АНАЛИЗ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Шапорев Р.Н. – магистрант, Татаркин Е.Ю. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

На сегодняшний момент остро стоит вопрос о создании нового изделия, которое было бы конкурентоспособно и патентоспособно. Поддержание конкурентоспособности выпускаемой продукции непрерывно требует решения задач, связанных с сокращением сроков создания изделия, снижением материальных затрат на его изготовление и обеспечением максимального соответствия качества продукции требованиям потребителя.

Оперативное решение указанных технологических задач в современных условиях требует использования системного подхода, способного обеспечить целенаправленный осознанный поиск инновационных высокоэффективных технологий и создание новых технологических методов изготовления продукции с конкурентоспособными технико-экономическими показателями.

Объектом для дальнейшего исследования может служить как массив патентов, так и массив прототипов. В этих массивах необходимо выявить структуру функций, которыми обладают уже существующие изделия, и изучить этапы эволюции функций во времени.

Для систематизации массива патентов необходимо в первую очередь разделить изобретения на формулы устройства, относящиеся к устройству и способу

Особенностями формулы изобретения, относящегося к устройству являются:

- наличие конструктивного элемента;
- наличие связи между элементами;
- взаимное расположение элементов;
- форма выполнения элемента или устройства в целом, в частности, геометрическая форма;

- форма выполнения связи между элементами;

- параметры и другие характеристики элемента и их взаимосвязь;

- материал, из которого выполнен элемент или устройство в целом;

- среда, выполняющая функцию элемента

Особенностями формулы изобретения, относящегося к способу являются:

- наличие действий или совокупности действий;

- порядок выполнения действий во времени

- условия осуществления действий; режим; использование веществ, устройств.

Следующим этапом систематизации является создание морфологической таблицы, основанной на комбинаторике. Строками морфологических таблиц являются признаки (функции или элементы структуры), а столбцами – варианты их реализации. Таким образом, в таблице отражаются все возможные комбинации вариантов. Положительные результаты дает использование комбинаций взаимо-усиливающих вариантов, входящих в морфологическую таблицу и принадлежащих одному признаку.

Кроме того возможно и применение эвристических приемов и методы инженерного творчества.

При формировании набора вариантов необходим также следующий анализ:

1. Рассмотреть возможность исключения отдельных структурных элементов и передачи их функций другим элементам.

2. Оценить целесообразность разделения многофункционального элемента на несколько более простых.

3. Рассмотреть возможность передачи нескольких функций автономной подсистеме.

4. Изменить расположение и последовательность функционирования отдельных подсистем и оценить возможный положительный результат.

Имея морфологическую таблицу, сформированную даже из известных решений можно получить новые более эффективные.

При синтезе, являющимся одним из завершающих этапов, анализируются все решения, отвечающие целям проектирования и техническому заданию. Для приемлемых решений проводится математическое моделирование и экспериментальная проверка.

## ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДНЕГО УГЛА НА СТОЙКОСТЬ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ

Барсукова О.А. – студент, Черданцев П.О. – старший преподаватель  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Известно, что одной из важнейших проблем машиностроения является снижение себестоимости изделий при условии обеспечения требуемого качества. При этом в настоящее время для отрасли характерно увеличение доли предприятий малого и среднего бизнеса. Одним из направлений снижения себестоимости изделий на таких предприятиях является сокращение издержек, связанных с инструментальным хозяйством. Это достигается, в частности, за счёт применения режущего инструмента, работающего без переточек до полного износа. При таком подходе исключается необходимость в наличии заточного и инструментального участков. Однако работа без переточек может быть экономически эффективной только при использовании инструмента с сопоставимой стоимостью и со значительно большей стойкостью по сравнению с аналогичным, предназначенным для работы с переточками.

Эвольвентные зубчатые передачи имеют весьма широкое распространение. Среди методов зубонарезания наибольшее распространение получило зубофрезерование как наиболее производительный по сравнению с прочими. Однако ему присущ ряд недостатков, к которым можно отнести высокую стоимость инструмента, его низкую стойкость, несмотря на невысокие скорости резания и подачи, необходимость в трудоёмких наладочных работах и в наличии заточного участка для его восстановления, повышающих себестоимость обработки зубчатых колёс. Поэтому повышение стойкости зуборезного инструмента и снижение затрат на его изготовление является важнейшими факторами снижения затрат на операциях зубофрезерования.

Основной причиной низкой стойкости стандартных червячных фрез является то, что их зубья работают в условиях несвободного резания. К тому же геометрические параметры зубьев далеки от оптимальных ввиду необходимости обеспечения возможно большего числа переточек и при этом сохранения профиля зубьев.

Перспективной для работы без переточек представляется конструкция червячных фрез, работающих по схеме, обеспечивающей разделение стружечных потоков. При этом появляется возможность оптимизировать геометрические параметры зубьев, не опасаясь уменьшения числа переточек или искажения профиля зубьев при них.

Стойкость фрез может быть увеличена с увеличением задних углов на боковых режущих кромках, так как лимитирующий износ идёт по их задним поверхностям. Но существенно увеличить боковые задние углы у затылованных фрез нельзя, так как их величина непосредственно связана с величиной заднего угла на вершинной кромке  $\operatorname{tg} \alpha_{\phi} = \operatorname{tg} \alpha_{\beta} \cdot \sin \alpha_0$ ,

где  $\alpha_0$  – угол профиля зуба. С увеличением заднего угла на вершинной кромке уменьшается длина рабочей части зуба и, как следствие, число возможных переточек. Поэтому величина задних углов на боковых кромках обычно не превышает  $2^\circ 30' \dots 3^\circ$  при задних углах на вершинной кромке  $10^\circ \dots 12^\circ$ .

Эти два направления повышения стойкости червячных фрез успешно реализованы в конструкции неперетачиваемых червячных фрез с прогрессивной схемой резания, задние поверхности зубьев которых сформированы по вогнутым дугам окружностей.

Однако условия резания также могут быть значительно облегчены за счёт назначения положительного переднего угла. Стандартные затылованные червячные фрезы имеют, как правило, передний угол  $0^\circ$ . Увеличение передних углов до  $10 - 15^\circ$  значительно повышает стойкость, но приводит к существенным недостаткам: снижается число переточек, растут погрешности профиля нарезаемого колеса, в связи с чем возникает необходимость внесения соответствующей коррекции в профиль зуба фрезы. Это является причинами крайне ограниченного применения фрез с увеличенными передними углами. Однако при эксплуатации неперетачиваемых червячных фрез указанные факторы не являются критичными.

Но при назначении величины переднего угла необходимо учитывать следующие конкурирующие процессы. С одной стороны, известно, что при малых передних углах велика деформация срезаемой стружки и, как следствие, возникают значительные силы резания, что в условиях работы червячных фрез приводит к вибрациям и отрицательно сказывается на качестве обработанной поверхности. Кроме того, режущие кромки зубьев инструмента подвергаются сильному нагреву, и как следствие, частично теряют твёрдость, что отрицательно сказывается на стойкости фрез.

При увеличении переднего угла деформации снимаемого слоя металла снижаются, как следствие, уменьшается негативное влияние указанных факторов на стойкость червячных фрез. Однако с увеличением переднего угла происходит ослабление зуба фрезы, уменьшается толщина его режущего клина. Это приводит к ухудшению отвода тепла от режущих кромок, следовательно, и в этом случае они подвергаются сильному нагреву, ведущему к негативным последствиям, указанным выше. Кроме того, ослабленная кромка подвержена выкрашиванию, что отрицательно сказывается на качестве обработанной поверхности и стойкости инструмента, так как приводит к дополнительному абразивному износу по задним поверхностям зубьев. Следует отметить, что с увеличением переднего угла снижаются силы резания при зубофрезеровании, и как следствие вибрации, что положительно сказывается на качестве обрабатываемой поверхности.

Таким образом, назначение положительного переднего угла зубьев неперетачиваемых червячных фрез позволит увеличить их стойкость и качество обрабатываемой поверхности, что повысит экономический эффект от их применения. Однако для этого необходимо проработать вопросы назначения наиболее выгодного значения переднего угла, а также вопросы корректировки профиля режущих зубьев, что предполагается выполнить в ходе дальнейших исследований.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ДЕТАЛИ ПРИ ТОРЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Бабушкина Г.В. – магистрантка, Попова Н.Ю. - магистрантка, Некрасов В.Н. – к.т.н., ст. преподаватель, Черданцев А.О. - аспирант.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В условиях современного развития техники, комплексная механизация и автоматизация производственных процессов и совершенствования методов подготовки и управления производством становятся одними из главных задач в машиностроении. Это связано в первую очередь с тем, что повышаются требования к геометрическим параметрам качества

изготовления поверхностей деталей - точности получаемых размеров, отклонений формы, взаимного расположения поверхностей, их волнистости и шероховатости

Развитие вычислительной техники на сегодняшний день открыло широкие просторы для применения математического моделирования в технологии машиностроения. При изучении множества мелких объектов, к которым относятся и отдельные микронеровности, математическое моделирование, по сравнению с экспериментом, позволяет получить большее количество информации, а также сократить время и затраты на исследования. В частности, с помощью моделирования, возможно прогнозировать геометрические параметры качества обработанной поверхности еще на этапе проектирования операции.

В задаче управления качеством поверхностного слоя деталей машин при обработке резанием актуальным направлением является разработка моделей, адекватно отражающих процесс достижения необходимого уровня шероховатости и позволяющих управлять им.

В технологических процессах обработки металлов резанием удельный вес операций фрезерования составляет до 35 % от общего количества операций металлообработки, из которых доля операций торцевого фрезерования составляет 75 %. Данные цифры говорят о том, что операции фрезерования в значительной степени определяют затраты, связанные с изготовлением большой номенклатуры деталей.

При технологической подготовке большой интерес представляет вопрос о получении годной продукции с заданной вероятностью. Перебор различных вариантов инструмента, оптимизация режимов резания при проектировании и оптимизации операций фрезерования, а так же, анализ конкретных их сочетаний посредством имитационного моделирования, позволяют сократить вероятность брака, назначить наиболее выгодные режимы резания и инструмент, обеспечивающие необходимое качество поверхности.

Для решения поставленной задачи разработана имитационная модель. Процесс фрезерования перед его началом описывается набором параметров в виде плотностей распределения входных величин. Полагая, что процесс фрезерования носит детерминированный характер, параметры шероховатости после фрезерования будут иметь некоторую плотность распределения, зависящую как от детерминирующих, так и от стохастических параметров. Для конкретного случая обработки детерминирующими факторами являются заданные режимы резания, конструктивные и геометрические параметры используемого инструмента, механические свойства обрабатываемого материала.

Как известно шероховатость поверхности обуславливается геометрическими параметрами инструмента, кинематикой его движения, возникающими вибрациями, упругими и пластическими деформациями в зоне резания, а также микрогеометрией режущих кромок инструмента.

В соответствии с изложенным выше, центральное место занимает детерминированная модель процесса торцевого фрезерования, позволяющая прогнозировать параметры шероховатости поверхности на любом участке с учетом особенностей конструкции применяемого инструмента, влияния вибраций, свойств обрабатываемого материала и при широких диапазонах варьирования режимов резания.

Детерминированная модель является имитационной, то есть развивается во временном интервале от начала фрезерования до его завершения аналогично реальному процессу. Весь временной интервал поделен на малые промежутки времени, а режущие кромки и обрабатываемая поверхность на малые элементы. Конкретные их значения обусловлены требуемой точностью расчета. Алгоритм реализации модели представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Алгоритм реализации модели

Модель процесса резания объединяет в одно целое все её составляющие и имитирует их взаимодействие во времени аналогично динамике реального процесса фрезерования.

Данная имитационная модель позволяет прогнозировать изменение параметров шероховатости (Рисунок 2) и размера детали получаемого при фрезеровании (Рисунок 3) с учетом износа инструмента.

$R_a$ , мкм

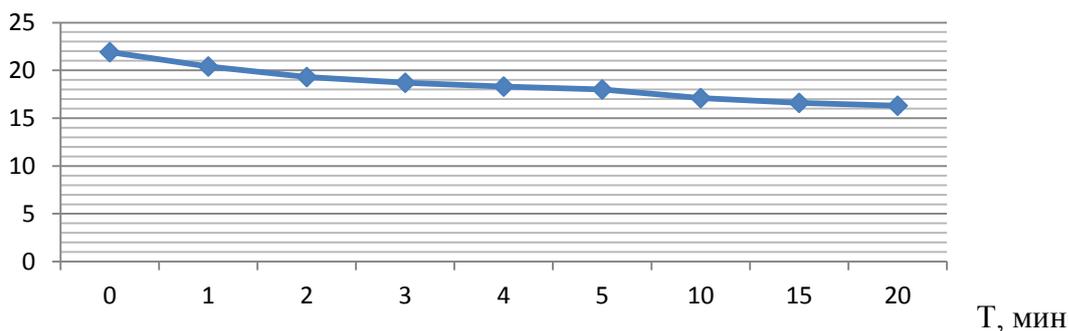


Рисунок 2 – График зависимости шероховатости поверхности от времени работы инструментом.

$B$ , мм

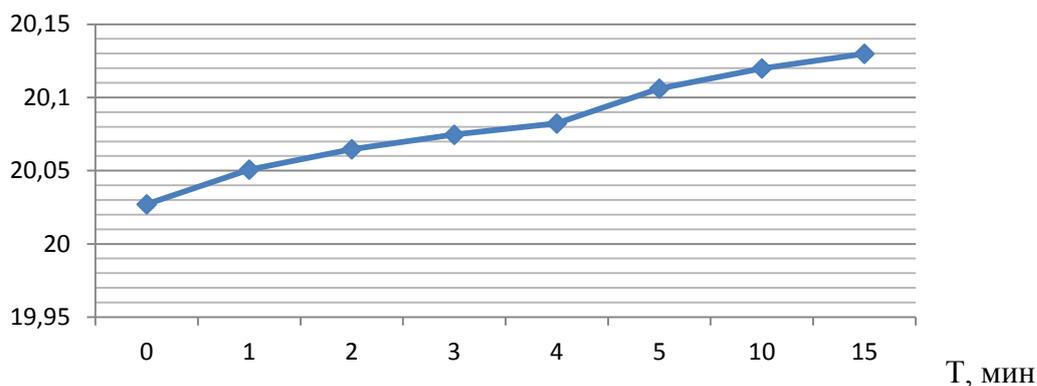


Рисунок 3 – График зависимости линейного размера от времени работы инструментом.

Как видно из графиков (рисунки 2,3), характеризующих зависимости изменения шероховатости и размера детали от времени обработки, шероховатость снижается а размер увеличивается.. Это происходит из-за изменения формы режущей кромки зубьев фрезы. В процессе износа радиус при вершине зуба увеличивается, что дает снижение шероховатости. Но при этом значительно уменьшается вылет зубьев фрезы, глубина срезаемого слоя уменьшается и размер получаемой детали может выйти за поле допуска указанного конструктором. Предлагаемая модель позволяет выявить этот момент и тем самым предотвратить изготовления бракованной детали.

### СНИЖЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОМ СВЕРЛЕНИИ

Иванов А.В. – магистрант, Хоменко В.В. – к.т.н., ст. преподаватель

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В настоящее время в машиностроении широко применяют детали изготовленные из тонколистового металла (корпуса, крышки, теплообменники). Крепление таких деталей к агрегатам машин, сопряжено со значительными затратами на изготовление узлов крепления, поскольку малая толщина стенки не позволяет выполнять их непосредственно в детали без использования дополнительных элементов крепления: гладких или резьбовых втулок, гаек, болтов, шпилек, монтируемых на тонкостенных деталях с помощью сварки, пайки, клёпки. Одним из эффективных способов обеспечения технологичности процесса, снижения трудоемкости и затрат при изготовлении узлов крепления является пластическое сверление. Технология формообразования узлов крепления в тонкостенных деталях, в этом случае, состоит в следующем: пуансон-сверло, не имеющее режущих кромок, вращается и с усилием прижимается к заготовке; под действием сил трения, возникающего в месте контакта инструмента с металлом, последний нагревается и начинает пластически деформироваться; инструмент, преодолевая сопротивление разогретого металла, перемещается в осевом направлении, формируя отверстие, а из объёма выдавленного металла – втулку, в которой в последующем нарезают (или накатывают) резьбу.

Однако, при обработке тонкостенных деталей возникает такая проблема, как изгиб обрабатываемой поверхности в направлении подачи инструмента. Изгиб происходит вследствие давления инструмента и недостаточной жесткости стенки металла. Давление инструмента требуется для повышения площади контакта с заготовкой, которая обеспечивает необходимую силу трения, достаточную для разогрева металла. Так как нагрев металла происходит не только в зоне обработки, но и прилегающей к ней области, то поверхность заготовки становится более пластичной. Усилие со стороны инструмента начинает изгибать обрабатываемую поверхность. Одним из способов решения этой задачи является увеличение силы трения, которое позволит повысить температуру обработки и уменьшить время разогрева металла при снижении осевой силы. Увеличить силу трения можно за счет повышения шероховатости, но это приведет к “налипанию” металла заготовки

на рабочую поверхность инструмента и смятию шероховатости, что окажет влияние на износ и рабочие характеристики инструмента. Поэтому была поставлена задача - увеличение силы трения, без значительного изменения количественного показателя шероховатости. В связи с этим выдвинута следующая гипотеза: нанесение продольной шероховатости по конусной части инструмента, что позволит значительно повысить силу трения без существенного “налипания” разогретого металла заготовки на поверхность инструмента. В данное время при изготовлении инструмента используется поперечная шероховатость (перпендикулярно оси вращения инструмента), полученная после шлифования (при параллельном расположении осей инструмента и шлифовального круга) рабочей поверхности инструмента (рисунок 1а). Основная работа поперечной шероховатости осуществляется в продольном направлении, в котором площадь контакта является максимальной. В поперечном направлении происходит точечный контакт, следовательно истинная площадь контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью является минимальной. Нанесение продольной шероховатости (рисунок 1б) обеспечит контакт инструмента с обрабатываемой поверхностью в поперечном направлении не по точкам, а по линии, что существенно повысит площадь контакта и позволит направить работу сил трения в требуемом поперечном направлении.

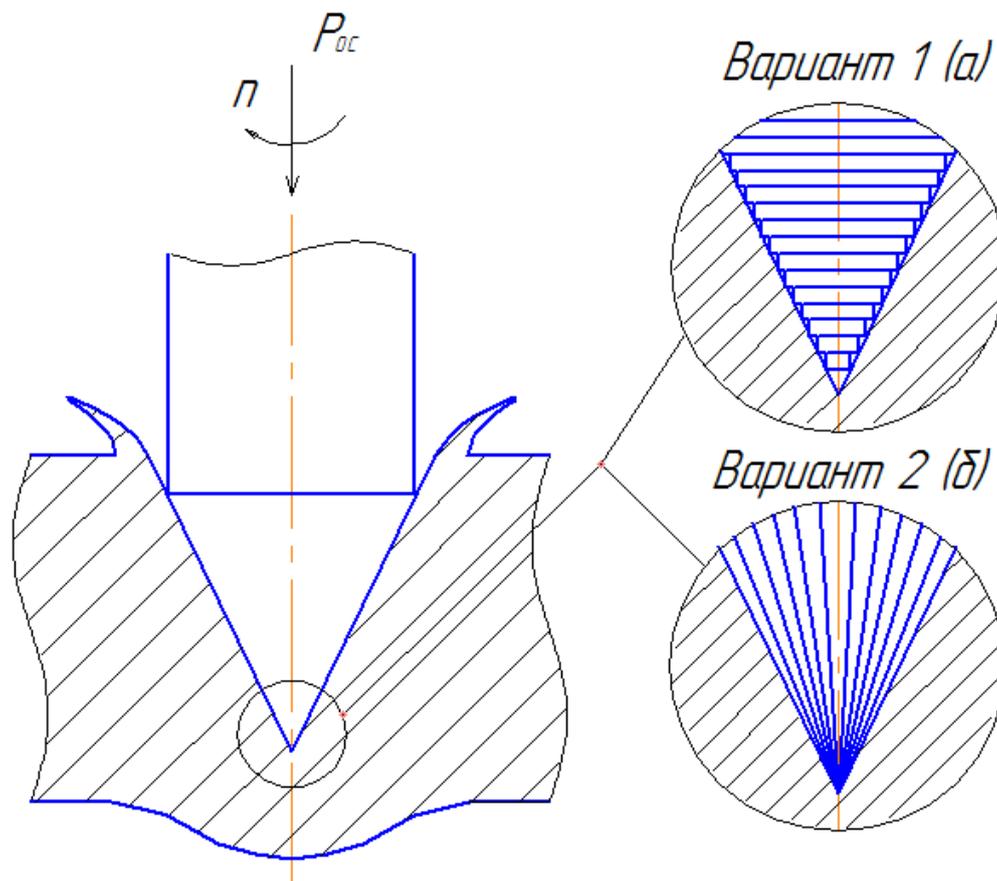


Рисунок 1 – Виды шероховатости: а) поперечная б) продольная

Нанесение продольной шероховатости на цилиндрическую поверхность инструмента, позволит дополнительно снизить шероховатость внутренней цилиндрической поверхности обрабатываемой детали. Такой эффект будет достигнут путем “выглаживания” поверхности за счет микро – кромок продольной шероховатости. Существенное отличие поперечной и продольной шероховатости состоит в следующем: поперечная шероховатость препятствует перемещению разогретого металла вдоль оси инструмента, что повышает его сопротивление

и осевую силу, а продольная шероховатость позволяет перемещаться разогретому металлу в осевом направлении, что снижает его сопротивление, а следовательно уменьшает осевую силу и изгиб заготовки. Нанесение продольной шероховатости выполняется путем шлифования при пересекающихся осях заготовки и шлифовального круга. После продолжительного времени работы инструмента, требуется “правка” его рабочих поверхностей, осуществляемая путем повторного шлифования. Проведенная серия экспериментов позволила установить, что осевая сила снизилась на 10%, а время обработки отверстия сократилось на 5%. Данное предложение позволяет повысить качество процесса обработки и стойкость инструмента при снижении деформации заготовки и сокращении времени процесса обработки.

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ НАНЕСЕНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА НА ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

Одинаев Е.О. – магистрант, Татаркин Е.Ю. д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Быстрые перемены во внешней среде, характеризующиеся высокой степенью использования инновационных технологий требуют соответствующих изменений внутрипроизводственных факторов, повышающих эффективность организационной и производственной деятельности предприятий любой сферы.

Сложные технологические операции не всегда дают должный эффект, либо эффект по отношению к затратам очень низкий. Использование поверхностей с направленным микрорельефом повышает герметичность уплотнений в 1,5 – 2 раза, а их износостойкость повышается в 2 – 3 раза. При этом трудоемкость технологического процесса не возрастает, так как исключаются операции шлифования и полирования, а оборудование для нанесения не является сложным. Нанесение микрорельефа на поверхности пар трения может осуществляться разными способами. В зависимости от метода нанесения зависят показатели трибологических свойств – это качество, срок службы, период между ремонтными работами, ремонтпригодность, а также возможные дефекты обусловленные методом.

Рассмотрим некоторые методы нанесения микрорельефа:

1. Сверление по разметке или в кондукторе - в условиях единичного и мелкосерийного производства изготовление специальных приспособлений не целесообразно, поэтому обработку производят с помощью разметки. Разметка осуществляется на разметочной плите с помощью специальных разметочных инструментов. При разметке наносятся линии и точки, которые накерниваются. Эти точки и линии служат для последующей выверки на станке. Точность обработки по разметке зависит от субъективных качеств исполнителя (состояние зрения, аккуратность при выполнении разметки и тщательность выверки на станке), а также от состояния и точности разметочных инструментов. Точность координат при сверлении отверстия по кондуктору определяется, главным образом, точностью последнего и не зависит от субъективных качеств исполнителя. При сверлении по кондуктору достигается большая точность, нежели при выполнении сверления по разметке.

2. Вихревое точение или фрезерование – эти способы образования дискретно расположенных углублений на цилиндрических и плоских поверхностях основаны на прерывистом контактировании вращающегося инструмента с вращающейся или поступательно перемещающейся заготовкой. Соотношением скоростей движений инструмента и заготовки определяют параметры ЧРМР. При определенных соотношениях можно образовать на поверхностях и полностью новый, перекрывающий всю исходную поверхность микрорельеф. Однако для этих способов образования углублений характерны и существенные недостатки: нерегулярный, хаотичный микрорельеф поверхности углублений, ударный характер резания, что неблагоприятно сказывается на станке, инструменте и заготовке, относительно сложный привод и сам механизм вращения инструмента и т. д.

3. Вибродинамическое накатывание – в основе процесса образования регулярно расположенных углублений лежит холодное пластическое деформирование обрабатываемого материала. Основной особенностью этого способа является сочетание раскатывающего действия, характерного для большинства способов поверхностного пластического деформирования. В результате доля остаточной деформации возрастает, что приводит, при прочих равных условиях, к более значительному упрочнению, как по степени, так и по глубине залегания упрочненного слоя металла.

4. Травление через трафарет – принцип образования дискретно расположенных углублений при этом способе тот же, что и при сверлении отверстий через кондуктор или трафарет, но, взамен резания, осуществляется травление обрабатываемого материала. Это определяет высокую производительность, поскольку все углубления – лунки обрабатываются, как правило, одновременно в ванне. Достоинством травления является также практически неограниченная возможность обработки материалов любой твердости. Недостатки способа те же, что и при обработке сверлением – необходимо располагать значительным по номенклатуре количеством дорогостоящих трафаретов.

5. Проточка и фрезерование канавок сложной формы с помощью копирных устройств – копирные устройства создаются как на базе универсальных металлообрабатывающих станков, так и в виде специальных станков. Крупным их недостатком является также необходимость при отработке оптимального микрорельефа и при изготовлении различных деталей наличия большого (по номенклатуре) комплекта дорогостоящих копиров. Это усложняет и удорожает выполнение экспериментальных исследований и самого процесса образования углублений на деталях. Органическим недостатком создаваемых «копирным» способом микрорельефов является хаотичный нерегулярный микрорельеф на дне углублений.

6. Накатывание профильным роликом – этот способ основан на перенесении микрорельефа инструмента – ролика на заготовку по схеме «вдавливания» или «на проход». По первой схеме микрорельеф выдавливается на узком участке поверхности детали не более ширины ролика. По схеме на проход можно обрабатывать поверхности практически неограниченной длины. Метод имеет некоторые недостатки: для выдавливания углублений различного вида необходимо создавать ролики с различным микрорельефом; обработка термически упрочненных деталей практически невозможна.

7. Вибрационное накатывание (вибронакатывание) – применяется для обработки цилиндрических поверхностей. При обработке плоских поверхностей осцилляционное движение также совершается инструментом, а заготовка движется поступательно в направлении подачи. Изменение значений параметров процесса вибронакатывания и соответственно параметров ЧРМР с непрерывно расположенными углублениями синусоидальной формы осуществляется за счет изменения скорости относительного перемещения заготовки и инструмента. Такая универсальность в сочетании с простотой осуществления и высокой производительностью позволяют считать процесс вибронакатывания в настоящее время наиболее совершенным из всех применяемых для образования ЧРМР. Это полностью подтвердила промышленная практика.

8. Лазерное микропрофилирование – задача, с которой успешно справляются станки на маломощных волоконных лазерах. Возможна обработка широкого спектра материалов. Возможности же по виду и размерам профиля, в том числе и проникающего, во много раз превосходят другие методы. Основным недостатком является его стоимость, однако она компенсируется тем, что нет необходимости в инструменте.

Технологические и метрологические отличия регулярных микрорельефов от шероховатости поверхностей деталей машин и приборов определяют и особенности решения в целом проблемы качества поверхности во всех ее четырех аспектах:

1. Поскольку регулярные микрорельефы, как с системой канавок, так и полностью новые, отличаются от традиционных, образуемых при всех других способах обработки, однородностью всех геометрических параметров. Микрорельеф строго функционально

связан с параметрами режима, практически впервые конструктор получает возможность нормировать параметры микрорельефа, задавая их на основе аналитических расчетов или эксперимента через параметры режима обработки.

2. При образовании регулярных микрорельефов появляется возможность нормирования и технологического обеспечения, аналитически рассчитываемых геометрических параметров являющихся во многих случаях основными, определяющими эксплуатационные свойства поверхностей таких как: число выступов и впадин на единицу поверхности; длина профиля; коэффициент заполнения; радиус выступов и впадин.

3. Поскольку значения параметров регулярного микрорельефа должны воспроизводиться с высокой точностью, для некоторых методов необходимы их измерения с помощью приборов или эталонных образцов. Для других же достаточен контроль лишь параметров режима обработки.

4. Имеются все предпосылки для дополнения комплекса параметров стандарта, на регулярные микрорельефы, такими параметрами, как радиусы скругления выступов и впадин неровностей, угол наклона образующей выступа, коэффициент заполнения, длина линии профиля.

Анализ перечисленных особенностей свидетельствует не только о новизне подхода к решению проблемы качества поверхности, но и о его прогрессивности, поскольку повышается точность и надежность нормирования конструктором и технологическим обеспечением технологом качества поверхности, значительно упрощается и удешевляется его контроль, на качественно новый, более высокий уровень поднимается стандарт на шероховатость поверхности. Все это облегчает решение задачи повышения качества промышленной продукции.

Применение FMEA – анализа, адаптированного для методов нанесения микрорельефа, является новым шагом для повышения качества готовой поверхности. При проектировании следует обращать внимание на условия эксплуатации изделия, с целью выбора наиболее подходящего микрорельефа, а как следствие наиболее подходящего способа нанесения. Возможные отказы (дефекты) изделия или отказы при нанесении микрорельефа предлагается решать поэтапно:

1. Анализируется процесс и параметры микрорельефа. Дефекты обычно связаны или с отказом функционального элемента или с неправильным выполнением элементом его полезных функций, или с вредными функциями элемента, необходимо также рассматривать потенциальные дефекты, которые могут возникнуть при транспортировке, хранении, а также при изменении внешних условий (влажность, давление, температура);

2. Проводится обратная мозговая атака, анализируются потенциальные причины дефектов;

3. Определяется, может ли дефект быть выявленным до наступления последствий в результате предусмотренных в объекте мер по контролю, диагностике, самодиагностике и др.;

4. Составляется список возможных последствий (S) каждого отказа. Каждое последствие, в соответствии с его серьезностью, оценивается экспертами по 10-балльной шкале. Наивысший балл проставляется для случаев, когда последствия дефекта влекут юридическую ответственность;

5. Вероятность возникновения последствия (O) оценивается по 10-балльной шкале. Наивысший балл проставляется, когда оценка частоты возникновения составляет 1/4 и выше;

6. Вероятность обнаружения отказа и его последствий (D) также оценивается по 10-балльной шкале. Наивысший балл проставляется для "скрытых" дефектов, которые не могут быть выявлены до наступления последствий;

7. Для каждого последствия вычисляется коэффициент приоритетности риска – R. Он определяется как произведение  $S \cdot O \cdot D$ . Этот параметр показывает, в каких отношениях друг к другу в настоящее время находятся причины возникновения дефектов; дефекты с наибольшим коэффициентом приоритета риска подлежат устранению в первую очередь;

8. Выбираются отказы, над которыми предстоит работать;
9. Принимаются меры для устранения или сокращения отказов с высоким показателем риска;
10. Рассчитывается новый показатель риска с учетом разработанных мероприятий.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА МНОГОКОНТУРНЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Литвиненко С. А. – студент, Панов А.А. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Важнейшим условием достижения высокого качества, надежности, снижения расходов на изготовление и эксплуатацию современной техники является научное обеспечение всех производственных этапов жизненного цикла на основе познания закономерностей взаимодействия деталей и предвидения влияния внешних воздействий. Решение проблемы надежности одновременно является и решением проблемы обеспечения качества изделия в производственных условиях. В производстве машиностроительных изделий состояние качества часто оценивается на двух уровнях: как качество составных частей и как качество изделия в целом, а связующим звеном между этими элементами является сборочный процесс. Одним из средств определения рациональных допусков, обеспечивающих наиболее экономичную обработку деталей и сборку машин, является расчет и анализ размерных цепей [1]. Задача назначения рациональных допусков решается с помощью теории размерных цепей для каждого конкретного случая. Теория размерных цепей также играет важную роль при разработке технологических процессов сборки машин. На основании выявления и анализа размерных цепей можно оценить влияние отдельных размеров деталей на точность того или иного сборочного соединения, установить причины брака на сборке, обоснованно выбрать наиболее экономичные методы достижения точности замыкающих звеньев размерных цепей.

Построение размерной цепи заключается в выявлении замыкающего звена и определении составляющих звеньев. Замыкающее звено должно быть единственным в цепи, а все звенья должны образовывать замкнутый контур [2]. При этом автоматически предполагается, что контур также должен быть единственным. Однако в некоторых случаях размерные цепи представляют собой не кольцевой замкнутый контур, а два и более взаимосвязанных замкнутых контура с единым замыкающим звеном. Примером может служить размерная цепь формирования радиального зазора типовой зубчатой передачи. В таких цепях в качестве составляющих звеньев включают погрешности деталей подшипниковых узлов, смонтированных в одной стенке корпуса. При этом совершенно очевидно, что на величину погрешности замыкающего звена будут влиять также погрешности деталей подшипниковых узлов, смонтированных в другой стенке. Включение этих параметров в размерную цепь приводит к образованию двухконтурной цепи с единым замыкающим звеном.

На кафедре ОТМ АлтГТУ в настоящее время проводятся исследования, связанные с разработкой методик построения, расчета и назначения допусков на размеры для многоконтурных размерных цепей.

### Список литературы:

1. Колесов, И. М. Основы технологии машиностроения. Учеб. для машиностроит. спец. вузов. – 3-е изд., стер./ И. М. Колесов. – М. : Высш. школа, 2001. – 592 с.
2. РД 50-635-87. Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ В КАНАЛЕ ПНЕВМОРОТОРНОГО СЕПАРАТОРА

Тюленев Н.В. – аспирант, Сороченко С.Ф. – к.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Производство зерновых — базовая и определяющая отрасль сельского хозяйства и, в значительной степени — экономики в целом.

Алтайский край является житницей не только Сибири, но и страны. Это крупнейший производитель зерна в Российской Федерации, регион располагает высоким потенциалом в области производства сельскохозяйственной продукции. Валовой сбор зерна в среднем за 2008-2010 годы составил 4,6 миллиона тонн (в весе после доработки), в том числе 3,1 миллиона тонн пшеницы сильных и твердых сортов, 90% из которой – продовольственная пшеница. На душу населения в крае производится 1702 кг зерна, при среднероссийском показателе - 429 кг. [3]

Зерновой ворох поступивший с комбайнов проходит послеуборочную обработку зерна. Доля очистки и сортировки зернового вороха в послеуборочной обработке зерна составляет не более десяти процентов [4], но является одной из наиболее важной операцией. Поэтому разработка новой техники фракционирования и сепарирования зернового материала, в том числе машин предварительной очистки зерна, является актуальной задачей.

Одним из направлений совершенствования сепараторов является улучшение работы пневмосепарирующих каналов, использование замкнутых пневматических систем и применение роторных рабочих органов, совмещающих операции перемещения и сепарации зернового материала.

На кафедре сельскохозяйственного машиностроения разработан комбинированный сепаратор, включающий пневмоканал и роторный рабочий орган [2], позволяющий повысить интенсификацию разделения зернового материала. Пневмосепарирующий канал состоит из корпуса, входного окна, направляющего элемента, под которым установлен шнек.

Целью работы является обоснование параметров пневмосепарирующего канала.

Рассмотрим движение компонентов зерновой смеси в вертикальном пневмосепарирующем канале. При установке в пневмосепарирующем канале отражательной перегородки движение частиц состоит из следующих фаз:

вбрасывание частиц в канал с начальной скоростью  $V_0$ ; движение частиц в воздушном потоке; удар и отражение частиц о стенку канала; полет в воздушном потоке до соприкосновения с отражательной пластиной; удар об пластину; полет в воздушном потоке до решета сепаратора: перемещение по решету посредством шнека.

При моделировании движения принимаем следующие допущения:

частицу рассматриваем как материальную точку; взаимодействием частиц друг с другом пренебрегаем; скорость воздушного потока  $U$  равномерна и постоянна; воздушный поток однородный; тангенциальная скорость до удара о стенку канала и после удара не меняется.

Схема сил, действующих на частицу в вертикальном воздушном канале, представлена на рисунке 1.

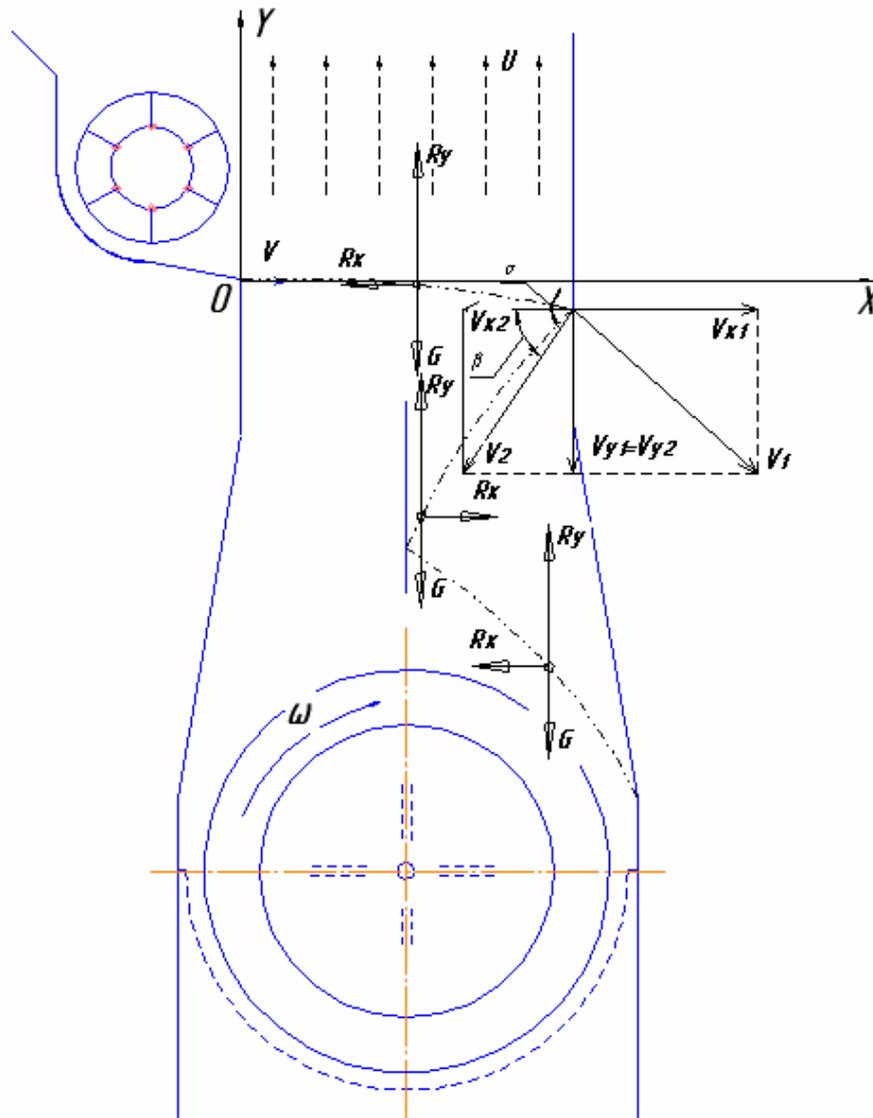


Рисунок 1 – Схема сил, действующих на частицу в пневмосепарирующем канале

При движении частицы в воздушном потоке на нее действуют следующие силы:  
 (здесь  $m$  – масса частицы);  $F_{\text{drag}}$  – сила воздействия воздушного потока (здесь  $C_d$  – коэффициент парусности;  $V_{\text{rel}}$  – относительная скорость частицы в воздушном потоке).

Движение частиц зернового вороха в вертикальном воздушном потоке описывается системой уравнений:

$$\begin{aligned} m \frac{dV_x}{dt} &= R_x \\ m \frac{dV_y}{dt} &= R_y - G \end{aligned}$$

Схема движения частицы при ударе о стенку представлена на рисунке 2.

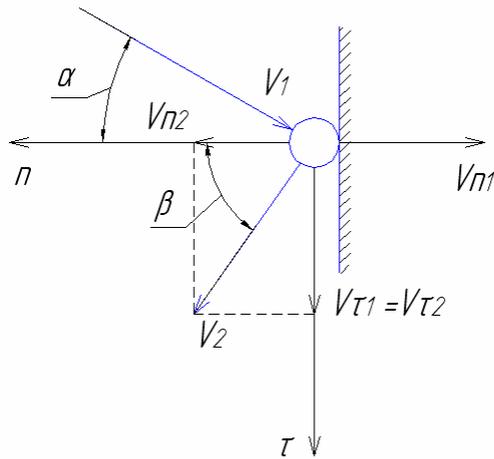


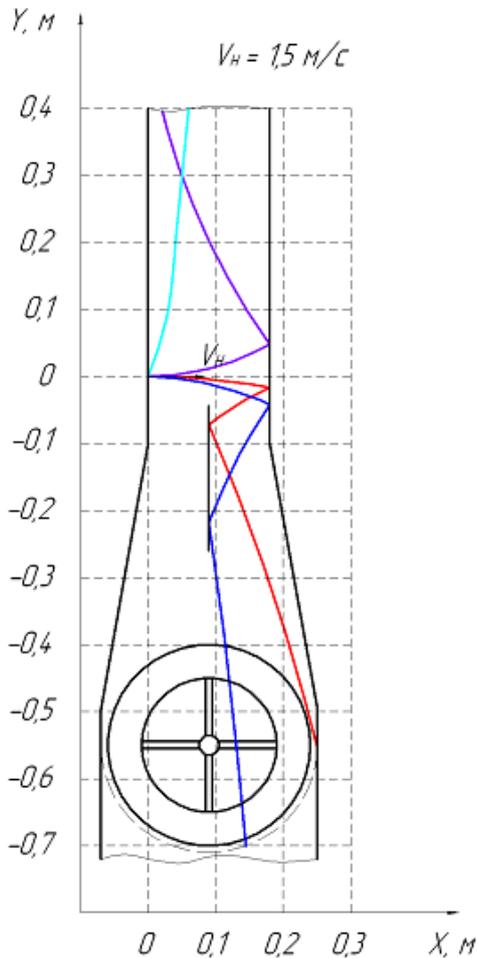
Рисунок 2- Схема движения частицы при ударе о стенку

Принимаем, что нормальная скорость частицы после удара — изменяется на величину  $K [1]$ , то есть

где — нормальная скорость частицы после удара о препятствие;

$K$  — коэффициент восстановления скорости ( при скорости частицы до 10 м/с  $K = 0,4$ ).

Исследование движения частиц выполняли с помощью программы MathCAD, результаты расчетов приведены на рисунке 3.



- траектория движения частиц со скоростью витания 11,5 м/с;
- траектория движения частиц со скоростью витания 8 м/с;
- траектория движения частиц со скоростью витания 5,25 м/с;
- траектория движения частиц со скоростью витания 0,25 м/с;

Рисунок 3 – Траектория полета частиц зернового вороха в сепарирующем канале при начальной скорости 1,5 м/с

Выявлено, что для направления зерновой смеси на начало цилиндрического решета целесообразно установить вертикальную перегородку на расстоянии 0,09 м от начала канала, длина перегородки должна быть равна 55 – 75 мм, скорость вбрасывания зерновой смеси в канал 1,5 м/с.

Выводы:

- 1) Получена математическая модель движения компонентов зерновой смеси в пневмоканале с отражательной перегородкой.
- 2) Определены рациональные параметры пневмоканала:
  - вертикальную перегородку установить на расстоянии 0,09 м от начала канала;
  - длина перегородки должна быть равна 55 – 75 мм;
  - скорость вбрасывания зерновой смеси в канал 1,5 м/с.

#### Список литературы

1. Глебов, Л. Определение критической скорости удара начало структурных изменений в зернах различных культур / Л. Глебов, М. Тухватуллин (<http://agropolimer1993.ru/page10.html>).
2. Сепаратор зерновой смеси [Текст]: пат. 2428001 Рос. Федерация: МПК А01F 12/44, В07В 4/00 / Сороченко С.Ф., Крапивин И.С.; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». Заявка №2010112065/21; заявл. 29.03.2010; опубл. 10.09.2011, Бюл. №25.- 6 с.
3. Энциклопедия маркетинга. Производство зерновых в России (<http://www.marketing.spb.ru/mr/food/cereals.html>).
4. Ямпиров, С.С. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов очистки и сортирования зерна и семян [Текст]/ С.С. Ямпиров.- Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003.-262с.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОНАСЫЩЕНИЯ СМАЗОЧНЫХ СРЕД

Быкова О.В. – студентка, Радченко Д.В. – студент, Баранов А.В. – к.т.н., доцент.  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Обратимый переход газа из растворенного состояния в свободное при изменении давления и температуры является одной из причин возникновения газомасляной смеси в линиях подачи смазки в двигателях и трансмиссиях автомобилей. Газомаслянная смесь влияет на работу двигателей, коробок перемены передач, в том числе автоматических, а также гидроамортизаторов.

Для оценки плотности газомасляной смеси ( $\rho_i$ ) необходимо иметь значения коэффициентов ( $K$ ,  $B$ ) для уравнения

$$\rho_i = \begin{cases} \frac{\rho_m}{1 + KRT_i \left( \frac{P_p}{P_i} e^{B/T_p} - e^{B/T_i} \right)}, & \text{при } P_i < P_p \text{ и } T_i > T_p \\ \rho_m, & \text{при } P_i \geq P_p \text{ и } T_i \leq T_p \end{cases}, \quad (1)$$

где,  $\rho_m$  – плотность масла;  $e$  – основание натурального логарифма;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $P_i$ ,  $T_i$  – текущие значения давления (Па) и температуры (К) соответственно;  $P_p$ ,  $T_p$  – давления (Па) и температуры (К) начала образования в масле газовых пузырьков,

выражающего предельную величину концентрации газа, растворенного в масле. Из выражения (1) следует, что уменьшение давления или увеличение температуры должно приводить к уменьшению концентрации растворенного газа и, вследствие этого, к газовыделению в рассматриваемом объеме смазочного материала. Таким образом, методика

определения коэффициентов растворимости может основываться на том, что испытуемую пробу масла следует подвергать переменным давлениям и температурам с фиксацией при этом объемов жидкой и газовой фаз. Имеющиеся в литературных источниках методы оценок газосодержания в маслах созданы, в основном, для определения объемной концентрации нерастворенного газа с целью оценки работы гидравлических приводов, что не в полной мере соответствует поставленным требованиям. В данной работе предложена методика определения газосодержания смазочных материалов, созданная для оценки влияния растворенного в маслах кислорода на процессы окислительного изнашивания. Эта методика несет достаточно глубокую информацию по определению параметров растворимости в смазочных материалах воздуха. На ее основе была дополнительно разработана специальная методика испытаний масел, которая построена следующим образом.

1. Производится изотермическое вакуумирование масла в паре плунжер-цилиндр. Приращение объема, образующейся при этом газомасляной смеси, принимается за изменение концентрации растворенного в масле газа.

2. Производится избарный нагрев масла в термостате при использовании плунжерной пары. Объем выделяющегося газа принимается за изменение его концентрации в масле.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что наличие в системах смазки двигателей и автоматических коробок передач высоких давлений (до  $16 \cdot 10^5$  Па), создаваемых насосами в отдельных участках линий подачи, дают возможность получать высоконасыщенный раствор газа в смазочном материале. При выходе масла в участки, где имеет место низкое давление (картера сборочных единиц, масляные баки), может происходить значительное увеличение объема смазочного материала, вследствие выхода газа из растворённого состояния.

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ТРИБОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРИ ТРЕНИИ МЕТАЛЛОВ

Тетюшкина А.В. – студентка, Баранов А.В. – к.т.н., доцент, Тарасевич С.В. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Исследования работы пар трения металлов показывают, что в основе изнашивания как смазываемых, так и несмазываемых трибосопряжений лежит механохимический (окислительный) механизм. Выделим ряд особенностей протекания трибохимических процессов с современных позиций.

При трении поверхностей выделяют две области с различным напряженно-деформированным состояниями: зону упругопластической деформации и зону упругой деформации. Упругопластическая деформация поверхностного слоя материала, подвергающегося знакопеременным напряжениям, приводит к существенному изменению его физико-химических свойств.

Резкое усиление физико-химической активности поверхностного слоя является следствием возникновения в материале высокой неравновесной концентрации несовершенств: вакансий и дислоцированных атомов, плотность которых стремится к насыщению.

Причинами изменения реакционной способности при разупорядочении структуры ковалентных кристаллов являются процессы деформации и разрыва межатомных связей. На месте их разрыва образуются свободные радикалы.

Механическое разупорядочение ионных связей, как и ковалентных, предполагает резкое повышение реакционной способности любых веществ, и очень благоприятно для интенсификации самых различных химических реакций, которых в обычных, термически активных условиях, может и не быть. При этом очевидно, что энергия для производства химической реакции поставляется не термическим путем, а посредством механической

активации. Не следует, однако считать, что основное уравнение химической кинетики – уравнение Аррениуса (1) при этом несправедливо.

$$W = k \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (1)$$

где  $k$  – постоянная химической системы,  $E$  – энергия активации,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $T$  – абсолютная температура.

В данном случае энергия активации не является величиной постоянной. Она напрямую связана с уровнем механического воздействия на материал и имеет гораздо меньшую величину, чем в равновесных условиях, а это предполагает, исходя из уравнения (1), резкое падение степени влияния температурного фактора. Кроме того, рост температуры способствует перестройке структуры активированного состояния материала в более химически пассивное. По этой причине в ходе трибохимической реакции температурный фактор – с одной стороны малозначим, с другой – его, хотя и небольшое влияние, неоднозначно (рисунок 1).

Согласно «основному энергетическому соотношению» сформулированному Хайнике скорость трибохимических процессов прямо пропорциональна скорости диссипации механической энергии сообщенной реагенту. Реакционной активности материала будет способствовать только та часть энергии, которая пошла на увеличение внутренней энергии материала, а не выделилась в виде тепла.

С точки зрения термодинамики, механически активированный поверхностный слой находится в крайне неустойчивом состоянии, поэтому активность материала сохраняется недолго и быстро исчезает за счет интенсивного протекания реакций пассивации. При трении возможны три вида процессов пассивирования поверхностей: взаимодействие

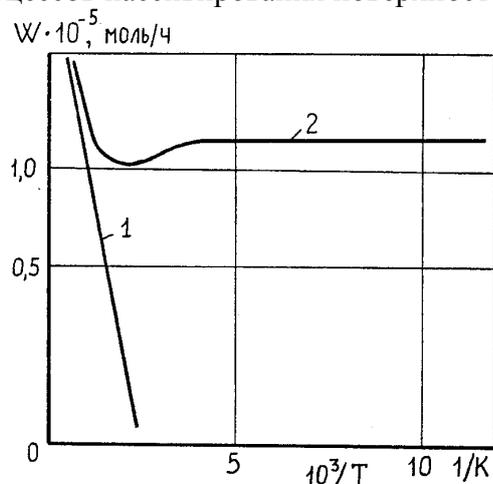


Рисунок 1 – Зависимость скорости окисления никеля от температуры [78].  
1 – термически активируемый процесс; 2 – трибохимический процесс.

материала с активными элементами среды, и как результат - образование пленок химических соединений (вторичные структуры); взаимодействие с материалом контртела (схватывание); внутренняя перестройка структуры поверхностных слоев. Процесс внешнего трения стальных поверхностей предполагает реализацию первого вида пассивации, протекающего при наличии активных компонентов окружающей среды. При этом образуются структуры окисного происхождения, предохраняющие основной материал от разрушения. В дальнейшем по мере роста они сами становятся регенерируемыми объектами разрушения.

С указанных позиций открывается возможность внешнего регулирования скорости роста вторичных структур за счет изменения доступа реагента – кислорода, что является

механизмом воздействия на интенсивность износа. Причем это возможно осуществлять различными способами.

Если пассивирующая способность среды недостаточна для образования и регенерации изнашиваемых пленок вторичных структур, то реализуется второй вид пассивации, характеризующийся схватыванием поверхностей трения. Это – катастрофическое изнашивание – заедание.

Согласно указанным представлениям, для трибохимических окислительных процессов, вызываемых механическим взаимодействием контактирующих тел, можно выделить ряд характерных особенностей.

1. Продукты окисления металлов, подвергающихся деформированию, часто отличаются по составу от окислов металла, образующихся в условиях термического воздействия на поверхности материала

2. Деформированная поверхность обладает высокой химической активностью при сравнительно низких температурах

3. В отличие от термически активируемых реакций, скорости трибохимических процессов очень слабо и неоднозначно зависят от температуры в широком диапазоне термических условий (см. рисунок 1).

4. Вследствие нахождения материала поверхностей трения в особом термодинамически неравновесном состоянии, наблюдается значительное смещение констант химических реакций между металлом и окружающей средой.

В результате указанных особенностей в процессе трения на рабочих поверхностях реализуется процесс ускоренного роста окислов, разделяющих контактирующие поверхности.

Вначале образовавшаяся при трении тонкая пленка окислов обладает высокой прочностью и защищает контактирующие материалы от схватывания. Далее, по мере увеличения ее толщины, прочность сцепления окисной пленки с подложкой ослабевает. После достижения критической толщины окисел становится механически неустойчивым и внезапно разрушается.

Потеря прочности пленки по мере ее роста, является следствием роста комплекса несоответствий (удельных объемов, коэффициентов температурного расширения и т.д.) основного материала и окисла, что приводит к увеличению напряжений на границе их раздела и внутренних напряжений в пленке. Достигнув предельных значений и под действием внешней нагрузки, развивается процесс разрушения вторичных структур.

Таким образом, при контактировании трущихся элементов в зонах фактического касания поверхностей возникают значительные механические напряжения, величина которых в тонком поверхностном слое превышает предел текучести материала. В результате упругопластических деформаций поверхностный слой материала приходит в термодинамически неравновесное состояние, характеризующееся резким повышением его химической активности. Взаимодействие механически активизированных поверхностей с окружающей средой приводит к образованию на поверхностях тонких пленок вторичных структур, которые, достигнув критической толщины в результате внешних механических воздействий разрушаются, образуя частицы износа. На месте отделившихся частиц износа процесс образования пленки возобновляется. При этом, наличие механически ослабленного слоя вторичных структур, сдвиговая прочность которого ниже прочности основного материала, и непрерывное воспроизводство пленки по мере износа, обеспечивает при окислительном изнашивании выполнение правила положительного градиента - условия внешнего трения.

В данном докладе были исследованы закономерности трибохимических реакций окислительного характера для описания процессов механохимического изнашивания металлов.

## МУФТА КРЕСТОВАЯ - РОЛИКОВАЯ

Галышкин Д.Н.- студент, Галышкин Н.В.- к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Компенсирующие самоустанавливающиеся муфты предназначены для соединения валов с взаимными смещениями осей, связанными с неточностью изготовления, монтажа и упругих деформаций. Из компенсирующих самоустанавливающихся радиальных муфт распространены крестовые муфты, в основном предназначенные для соединения валов с радиальным смещением, но они допускают также угловое и осевое смещение.

В частности применяется крестовая муфта со скользящим вкладышем (рис. 1), которая состоит из двух полумуфт 1 и 2 и вкладыша 3, имеющего форму параллелепипеда. Полумуфты имеют по два выступа 4 и 5, осуществляющих направление вкладыша. Благодаря скольжению вкладыша по поверхностям выступов осуществляется компенсация радиальных, осевых и угловых смещений концов соединяемых муфтой валов.

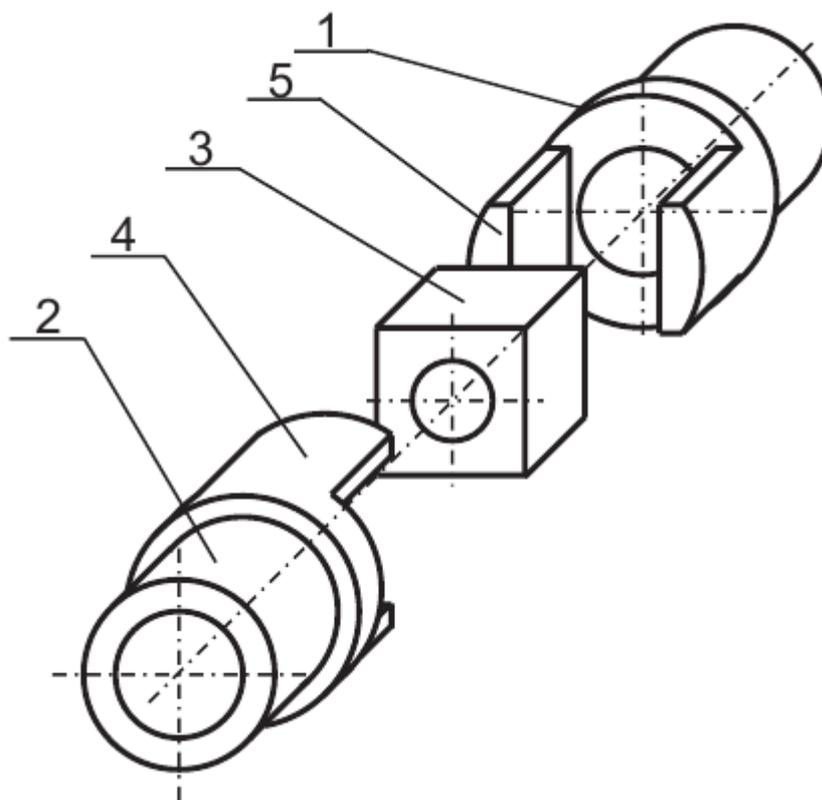


Рисунок 1

При этом силы трения скольжения между вкладышем и выступами полумуфт, возникающие во время работы муфты, оказывают существенное влияние на величину сил, дополнительно нагружающих концы валов в процессе компенсации указанных выше смещений. Для снижения значений этих сил предлагается крестовая - роликовая муфта, в которой трение скольжения частично заменено (в частности для компенсации радиальных смещений) трением качения (рис.2). Известно, что потери на трение качения существенно ниже потерь на трение скольжения. Крестовая- роликовая муфта представляет собой модификацию крестовой муфты со скользящим вкладышем и состоит из двух полумуфт 1 и 2 с выступами 3 и 4. На выступях 3 и 4 выполнены желоба 5, направленные вдоль продольной оси муфты и сопряженные с поверхностью роликов 8.

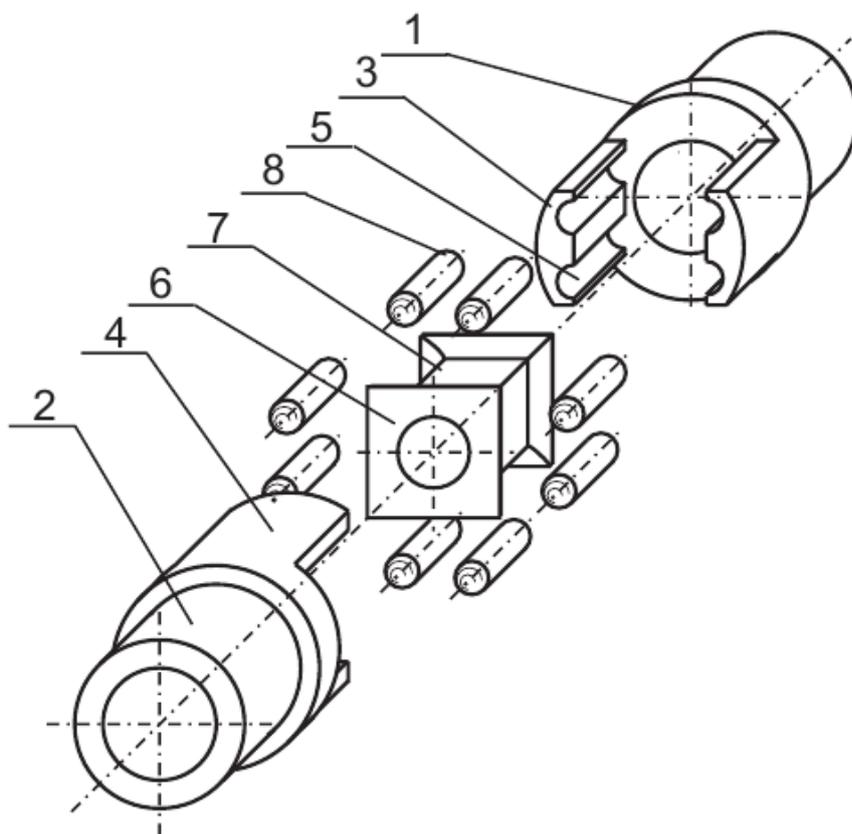


Рисунок 2

Вкладыш 6 представляет собой параллелепипед, на наружной поверхности которого также выполнены плоские дорожки качения 7. При сборке муфты в места пересечения желобов 5 с плоскими дорожками качения 7 помещаются ролики 8. При работе муфты ролики 8 перекатываются по дорожкам качения 7, обеспечивая перемещение вкладыша при компенсации радиальных смещений соединяемых валов. Конструкция муфты позволяет компенсировать угловые и осевые смещения концов валов. Снижение потерь на трение при перемещении вкладыша позволяет уменьшить нагрузки на концы валов, соединяемых муфтой. В отличие от крестовой – шариковой муфты, данная муфта обеспечивает большую грузоподъемность.

#### МУФТА КРЕСТОВАЯ С УПРУГИМ ЭЛЕМЕНТОМ

Галышкин Д.Н.- студент, Галышкин Н.В.- к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Муфтами в технике называют устройства, которые служат для соединения концов валов. Потребность в таком соединении связано с тем, что большинство машин компонуют из отдельного ряда частей с входными и выходными валами, которые соединяют с помощью муфт. Большое распространение получила жесткая компенсирующая кулачково – дисковая муфта (крестовая), состоящая из двух полумуфт 1 и 2 и промежуточного диска 3 (Рисунок 1). На внутреннем торце каждой полумуфты образовано по одному диаметральному выступу (вариант). На обоих торцах диска выполнено по одному пазу, которые распложены по взаимно перпендикулярным диаметрам. У собранной муфты выступы располагаются в пазах промежуточного диска. Таким образом диск соединяет полумуфты. Перпендикулярное расположение пазов позволяет муфте компенсировать эксцентриситет и перекос валов. При этом выступы скользят в пазах, а центр диска описывает окружность радиусом, равный эксцентриситету  $\Delta$ . Зазоры между диском и полумуфтами позволяют компенсировать также и продольные смещения валов. С другой стороны, это существенно ограничивает область

применения муфты, поскольку эксцентриситет  $\Delta$  создает дополнительные силы инерции, нагружающие валы передачи. Жесткая – термин, вызванный отсутствием демпфирующих элементов в муфте и не позволяющий снижать динамические толчки и удары в приводе, возникающие в процессе его эксплуатации.

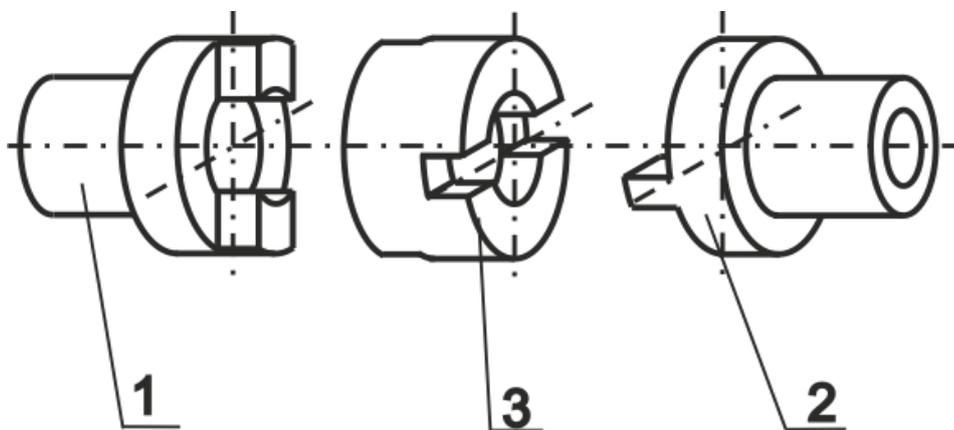


Рисунок 1

Целью настоящего исследования является попытка устранить указанные недостатки, изменив конфигурацию плавающего диска, а именно снижение динамических нагрузок, действующих на валы привода. Плавающий диск заменяется крестовиной с образованием , выполненных заодно с основанием крестовины, контактирующих с выступами полумуфт. На рисунке 2 показан поперечный разрез крестовой муфты, содержащей ведущую полумуфту с выступами 1, ведомую полумуфту с выступами 2, и, собственно крестовину 3 с Благодаря деформациям упругих элементов крестовины и их основания обеспечивается равномерное прилегание элементов к поверхностям выступов, уменьшение величин контактных напряжений, снижение динамических нагрузок в момент пуска привода, а также нагрузок при толчках и ударах в процессе эксплуатации привода.

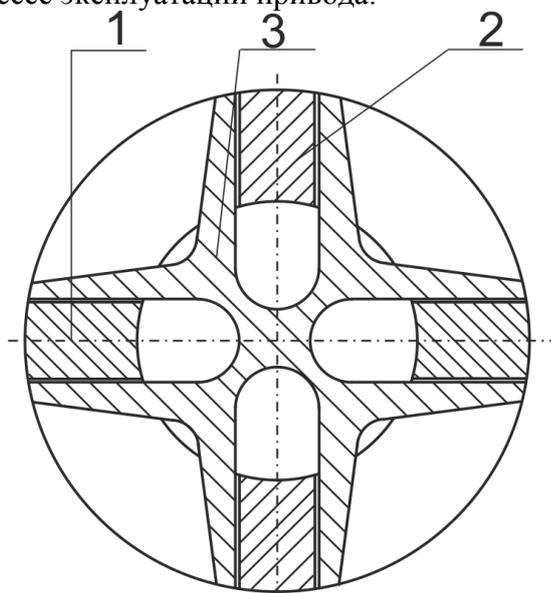


Рисунок 2

## МУФТА КРЕСТОВАЯ - ШАРИКОВАЯ

Галышкин Д.Н.- студент, Галышкин Н.В.- к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Крестовые муфты относятся к типу подвижных муфт, которые допускают соединение валов с повышенными взаимными смещениями осей, большими, чем допускают другие типы муфт. Эти смещения могут быть вызваны как неточностями изготовления и монтажа, так и заданными функциями механизмов.

Довольно широкое распространение имеет крестовая муфта со скользящим вкладышем (рис. 1), которая состоит из двух полумуфт 1 и 2 и вкладыша 3, имеющего форму параллелепипеда. Полумуфты имеют по два выступа 4 и 5, осуществляющих направление вкладыша. Крестовые муфты применяют для соединения валов диаметром 15...150 мм. Благодаря скольжению вкладыша по поверхностям выступов осуществляется компенсация радиальных, осевых и угловых смещений концов соединяемых муфтой валов.

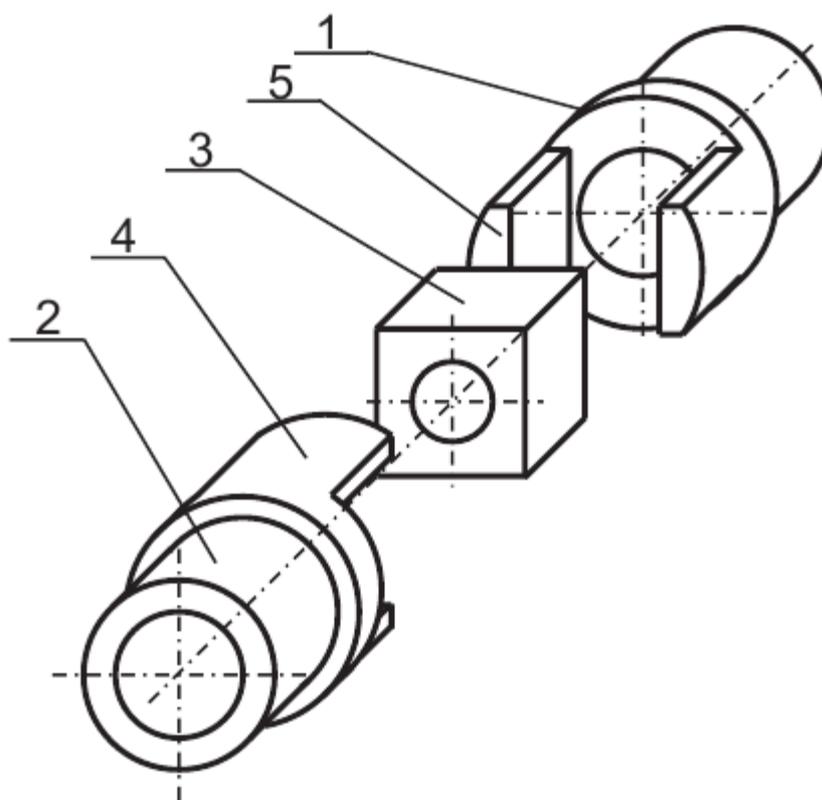


Рисунок 1

Следует отметить тот факт, что силы трения скольжения между вкладышем и выступами полумуфт, возникающие во время работы муфты, оказывают существенное влияние на величину сил, дополнительно нагружающих концы валов в процессе компенсации указанных выше смещений. Для снижения значений этих сил была разработана крестовая - шариковая муфта, в которой трение скольжения было заменено трением качения (рис.2). Известно, что потери на трение качения существенно ниже потерь на трение скольжения. Крестовая-шариковая муфта представляет собой модификацию крестовой муфты со скользящим вкладышем и состоит из двух полумуфт 1 и 2 с выступами 3 и 4. На выступях 3 и 4 выполнены желоба 5, направленные вдоль

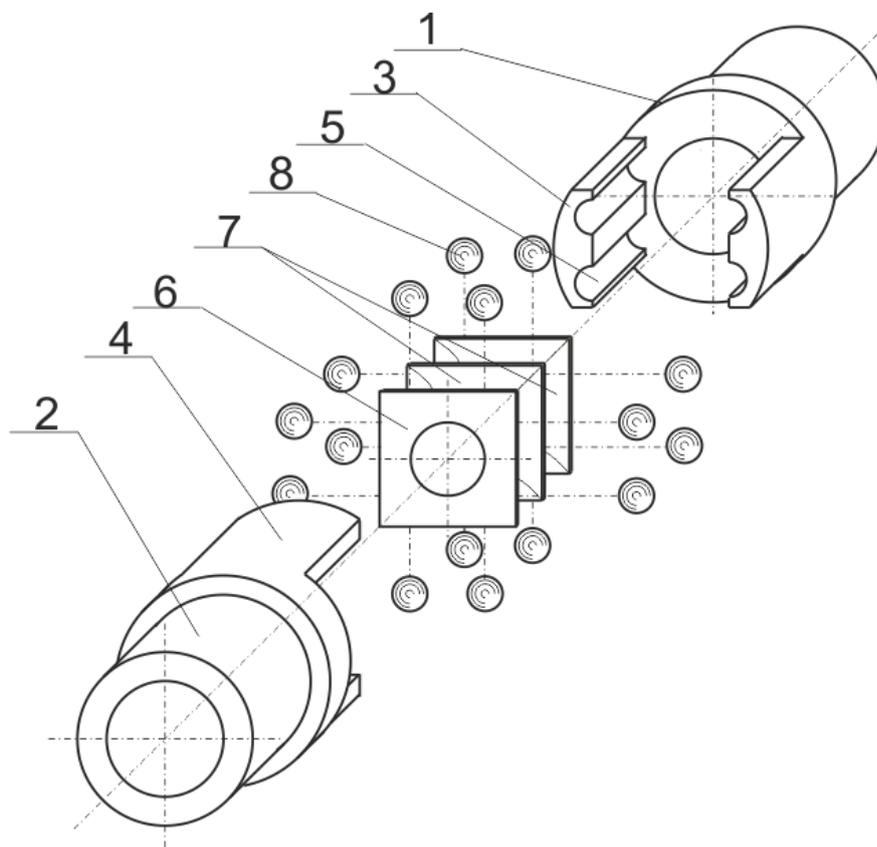


Рисунок 2

продольной оси муфты. Вкладыш 6 представляет собой параллелепипед, на наружной поверхности которого также выполнены желоба 7. При сборке муфты в места пересечения желобов на выступах полумуфт с желобами, выполненными на поверхности вкладыша, помещаются шарики 8. При работе муфты шарики 8 перекатываются по соответствующим желобам, обеспечивая перемещение вкладыша для компенсации радиальных, осевых и угловых смещений соединяемых валов. Снижение потерь на трение при перемещении вкладыша позволяет уменьшить нагрузки на концы валов, соединяемых муфтой.

## САМОРЕГУЛИРУЕМОЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО КРИВОШИПНОГО ПРЕССА

Скорых С.Ю. – студент, Собачкин В.В. – к.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Особенностью работы кривошипных прессов является неравномерность потребления энергии за цикл с большими пиковыми нагрузками. За полный оборот главного вала пресса деформирование металла осуществляется на  $20^{\circ} \dots 50^{\circ}$  (в зависимости от типа технологической операции). Это обусловило применение маховикового электропривода. Энергия на участке холостого хода запасается маховиком, на участке рабочего хода – расходуется. Необходимость периодических остановок рабочего звена пресса – ползуна для замены предмета обработки определила необходимость деления привода на ведущую и ведомую части и наличия в приводе муфты включения, периодически их соединяющей.

Одной из главных особенностей кривошипных кузнечно-прессовых машин является жесткая кинематическая связь между главным валом и ползуном с его четко фиксированными крайними положениями. Избыточная энергия, запасенная маховиком, и высокая жесткость кривошипных машин при некачественной регулировке крайнего рабочего положения может привести к значительным перегрузкам деталей привода, а также к заклиниванию (распору) пресса.

Для обеспечения надежной работы кривошипные кузнечно-прессовые машины оснащают предохранителями, требуется также внимательная настройка пресса при смене инструмента. Предохранители в большинстве своем представляют собой разрушающиеся при достижении расчетного усилия конструкции, требующие замены при их срабатывании. Используются и дорогостоящие самовосстанавливающиеся пневматические и гидравлические предохранители.

Для обеспечения надежной работы кривошипного пресса разработано многофункциональное фрикционное устройство (рисунок 1), позволяющее не только защитить кривошипный пресс от перегрузок, но и вывести ее из состояния распора, если такое случится.

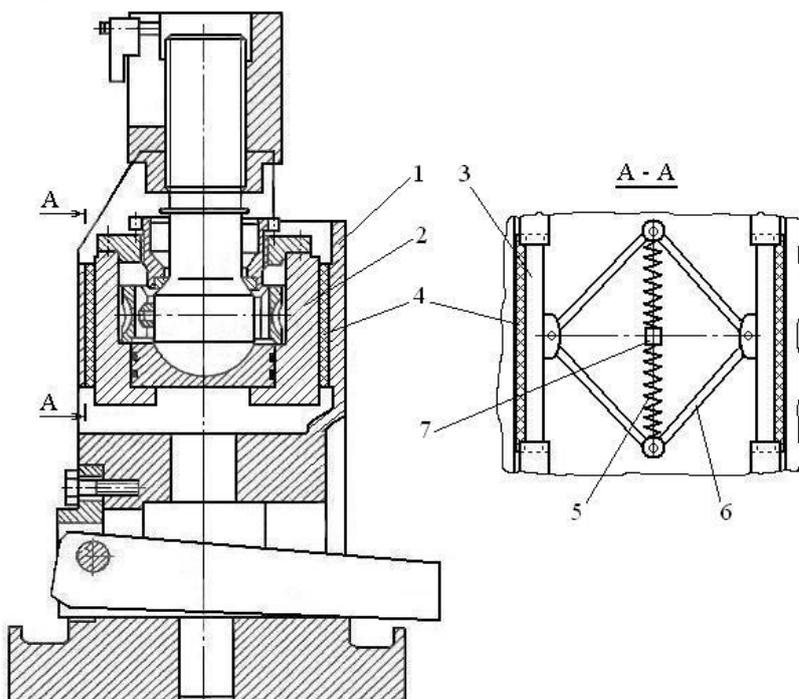


Рисунок 1 - Многофункциональное фрикционное устройство

1- наружный ползун, 2- внутренний ползун, 3- колодки, 4- фрикционные накладки, 5- пружина, 6- рычаг, 7- сцепное устройство.

Устройство представляет собой двухкорпусную конструкцию, содержащую наружный 1 и внутренний 2 ползуны, связь между которыми обеспечивается колодками 3 с фрикционными накладками 4. Усилие прижатия колодок к опорным поверхностям обеспечивается пружинами 5 через рычаги 6.

Затяжкой пружин при наладке пресса обеспечивается трение между фрикционными накладками колодок и опорной поверхностью наружного ползуна, причем сила трения должна быть равна номинальному усилию пресса. При превышении технологического усилия нормальных значений внутренний ползун должен сместиться относительно наружного и предотвратить перегрузку машины. Если по каким-либо причинам такого не произойдет, предусматривается сцепное устройство 7, предназначенное для уменьшения усилия затяжки пружин, а значит и силы трения. В результате наружный ползун можно будет свободно сдвинуть относительно внутреннего и вывести пресс из состояния распора. Наличие фрикционной связи обеспечивает также саморегулировку положений ползунов при настройке крайнего рабочего положения.

Расчеты показали возможность использования устройства для всей гаммы открытых кривошипных прессов усилием до 2,5 Мн.