

## ДИАГНОСТИКА ПОДВИЖНЫХ СОПРЯЖЕНИЙ

Кравчук Ю.А. - студент, Баранов А.В. – к.т.н., доцент

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

По статистике самыми уязвимыми элементами тяжело нагруженных механизмов являются подвижные сопряжения их деталей. Изменения внешних и внутренних условий иногда спонтанно приводят к их необратимому повреждению, с последующим цепным нарастающим выходом из строя других частей механизмов. С другой стороны, во многих случаях, катастрофические последствия можно предотвратить, диагностируя проблемные пары трения, заранее выявляя относительно резкие или постепенно нарастающие сопутствующие эффекты ухудшения работы уязвимых мест с последующим, возможно автоматическим, принятием мер по предотвращению опасных явлений. В этих условиях эффективен, развивающийся в последнее время, метод ультразвуковой акустической эмиссии (АЭ).

В настоящей работе представлены результаты амплитудно-частотной акустической диагностики состояния процессов на дискретных пятнах контакта поверхностей при приработке пар трения и режимах наступления заедания, которые могут быть эффективно использованы на практике [1].

Физическая картина генерирования и приема сигналов АЭ при трении шероховатых поверхностей заключается в эпизодическом деформировании контактирующих микронеровностей. Возмущения в виде деформационной волны распространяются по телу пары трения и, в нашем случае, воспринимаются пьезодатчиком, с последующей соответствующей обработкой и регистрацией сигнала (рис.1).

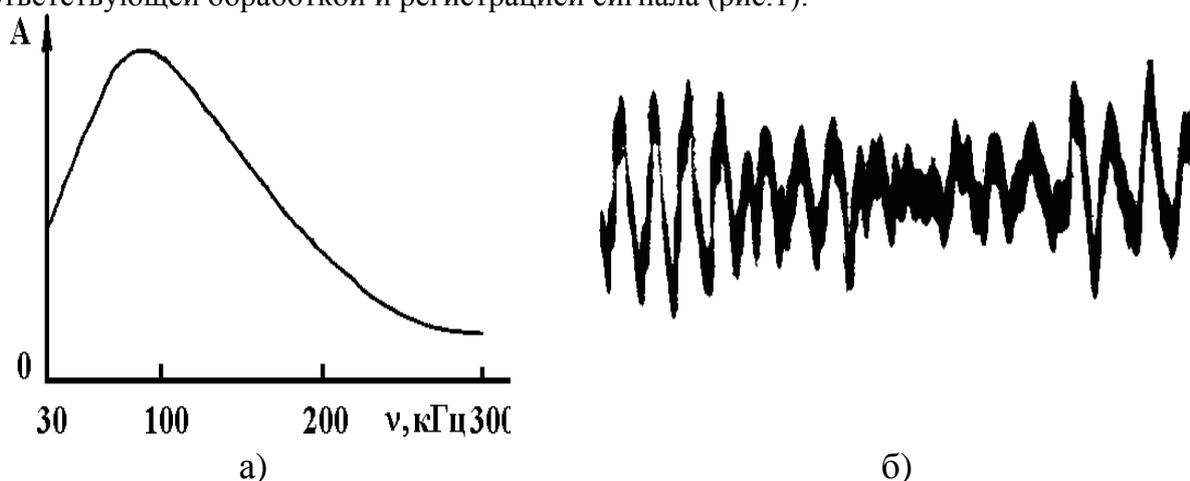


Рисунок 1 - Амплитудно-частотная характеристика (а) и характерный вид (б) осциллограммы АЭ (длительность развертки  $2 \cdot 10^{-4}$  с).

Связь между фактическим давлением и уровнем амплитуд АЭ непосредственно вытекает из принятой модели генерирования сигналов. С другой стороны, в поверхностном слое возникают не только нормальные, но и сдвиговые деформации, также создающие звуковую волну, однако иначе воспринимаемые датчиком. Принимая во внимание множественность источников АЭ, а также сложную картину интерференции и отражений волн с изменением направления волновой поверхности в работе сделан экспериментально обоснованный вывод о том, что средняя амплитуда (А) будет пропорциональна средней величине максимальных главных нормальных напряжений поверхностного слоя дискретных пятен контакта [2,3] при этом

$$A \sim P_r(1+f),$$

где  $P_r$  - фактическое давление;  $f$  - коэффициент трения единичной фрикционной связи.

Таким образом, получая информацию о частоте и амплитуде АЭ, можно фактически мгновенно судить о состоянии процессов на дискретных пятнах контакта.

Для примера рассмотрим кинетику приработки трибосопряжения, сталь-сталь смазываемого пластичной смазкой Литол 24 (рис.2) и развития заедания (рис.3). При заедании изменяется также и спектральный состав АЭ (рис.4).

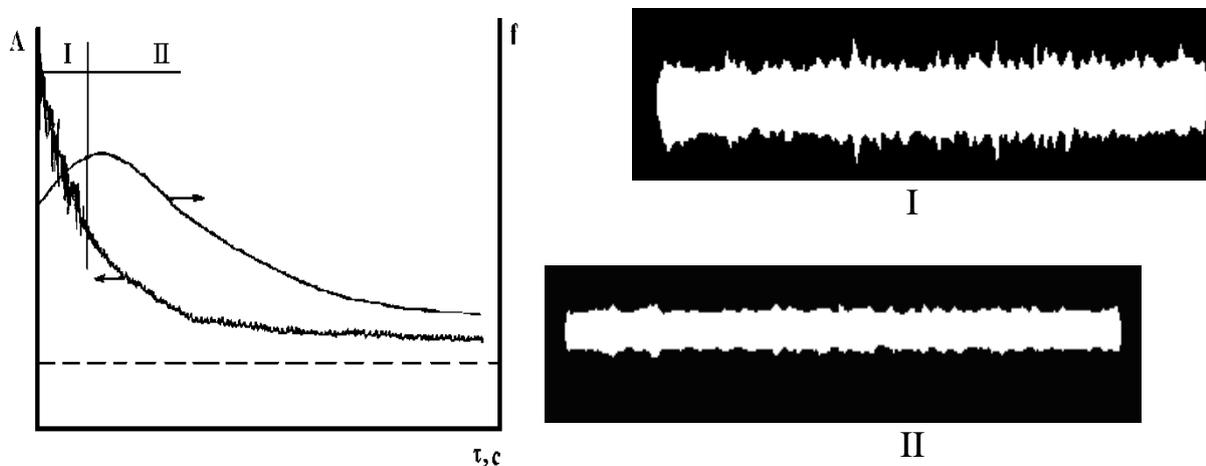


Рис.2. Зависимость средней амплитуды АИ от времени приработки и внешний вид осциллограмм на соответствующих участках (длит.развертки  $2 \cdot 10^{-3} c$ ).

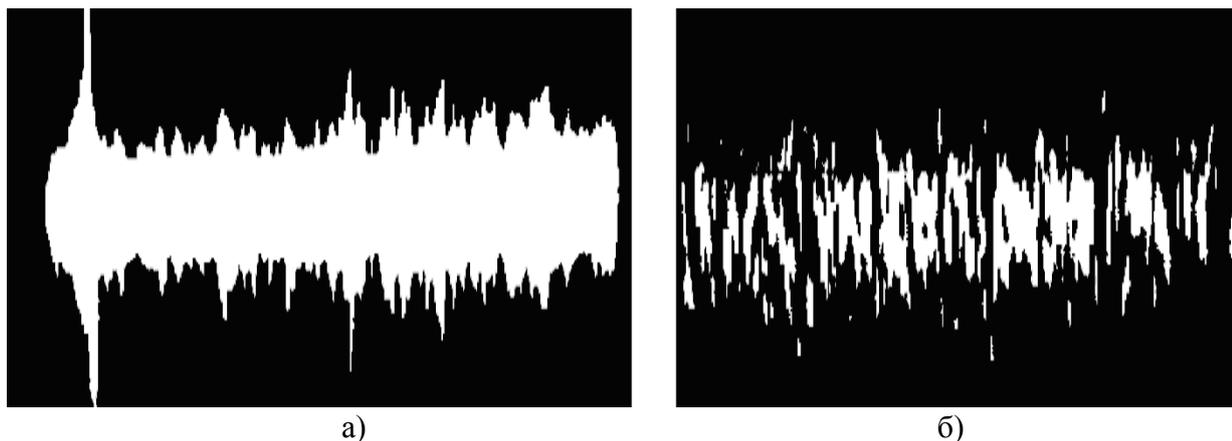


Рис.3. Осциллограмма, начала, развития (а) и самого процесса (б) заедания

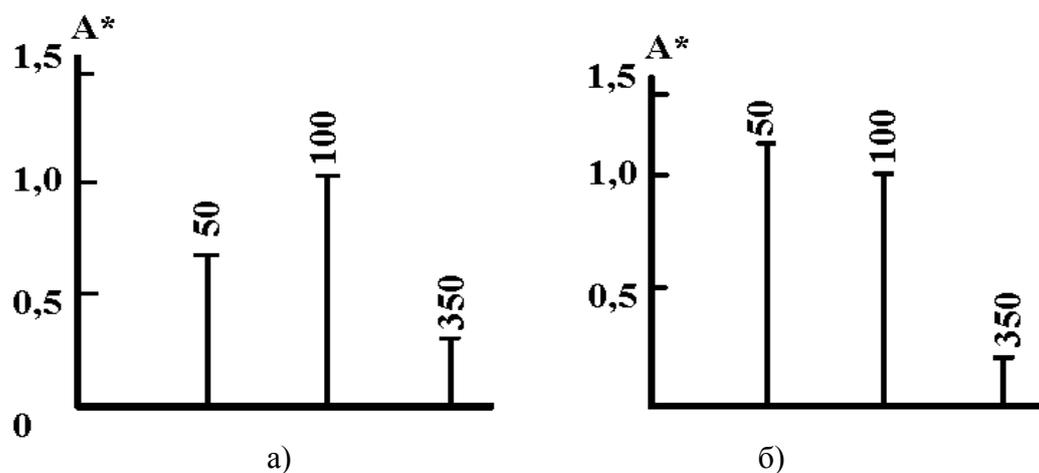


Рис. 4. Относительная средняя амплитуда АЭ ( $A^*$ ) в функции частоты излучения (кГц) при нормальной работе (а) и при заедании (б)

В докладе дано обоснование полученных результатов и определена область их использования.

#### Литература

1. Лебедев В.М., Баранов А.В. Акустические исследования работы трибосопряжений, смазываемых пластичными смазочными материалами // Долговечность трущихся деталей машин. М.:Машиностроение, 1988. №3. С.234-243.
2. Баранов А.В., Вагнер В.А. Высокочастотная акустическая диагностика работы пар трения // Расчет, диагностика и повышение надежности элементов машин. Барнаул: АГТУ, 2000. №2. С.87-89.
3. Спектральные и энергетические характеристики акустической эмиссии при трении и износе / М. М. Криштал, Д. Л. Мерсон, А. В. Чугунов // Тяжелое машиностроение. 2007. №12. С.14-18.

### ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ВАЛА ПРИ РАСЧЕТЕ НА ПРОЧНОСТЬ В КУРСОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

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

Основным критерием в оптимизации конструкции вала редуктора является принцип равнопрочности во всех его сечениях. На практике это достигается выполнением вала ступенчатой формы, диаметры ступеней определяют исходя из равнопрочности в опасных сечениях. Уточнённый расчет вала на сопротивление усталости отражает влияние на прочность множества факторов: разновидности цикла напряжений, механических характеристик материала вала, размеров, формы и состояния поверхности, концентратора напряжений в опасном сечении. При выполнении курсового проекта по деталям машин даже в самом развернутом по объему часов курсе учебной дисциплины невозможно детально изучить влияние и вклад всех этих факторов на прочность вала редуктора.

В настоящей работе в рамках выполнения учебного проекта изучалась возможность с применением программного комплекса по расчету валов на прочность оценить запасы прочности для тихоходного вала редуктора при оптимизации конструкции с учетом изменения его размеров, материала, технологического упрочнения.

Выполнялся «традиционный» расчет вала на прочность, в котором определили реакции в опорах, значения изгибающих и вращающих моментов в сечениях, оценивали для опасных сечений запасы прочности на сопротивление усталости и статическую прочность. Использование ЭВМ позволяет сократить время для выполнения расчета, широко манипулировать конструкцией вала изменяя диаметры ступеней, материал, конструктивные и технологические элементы.

Основными результатами работы явились:

1. Получен расчет вала, который дает детальную информацию по влиянию на запасы прочности в опасных сечениях различных факторов. По результатам расчетов выполнен анализ изменения графиков запаса прочности в сечениях вала в зависимости от материала, размеров, применяемого технологического упрочнения.
2. Для улучшения конструкции вала с целью создания более рациональной формы и уменьшения концентрации напряжения в сечениях при ступенчатом изменении вала использование галтелей с большим радиусом позволяет увеличить запас прочности на 15 процентов.
3. Возможность применения в качестве материала вала стали с более высоким пределом выносливости позволяет увеличить запас прочности в 1,5 раза.

4. Использование ЭВМ позволяет более обоснованно подходить к выбору опасных сечений вала, оптимизировать его конструкцию изменяя диаметры ступеней, конструктивные и технологические элементы.

## ШАРИКОВЫЙ РАДИАЛЬНО - УПОРНЫЙ ПОДШИПНИК ПОВЫШЕННОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ

Потапов И.С. - студент, Галышкин Н.В. - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Анализ развития общего машиностроения показывает, что в первую очередь будут расти требования к повышению нагрузок на узлы машин при наименьшем весе и наибольшей компактности агрегатов. В ряде случаев наименьший вес и компактность будут достигаться за счет резкого повышения быстроходности движущихся деталей. Весьма сильно возрастут требования к износоустойчивости машин, так как длительность их использования имеет непосредственное отношение к производительности труда и экономической рентабельности производства. Для подшипников качения эти тенденции выражаются в разработке новых материалов, обладающих улучшенными механическими характеристиками, поиском новых конструктивных решений, обеспечивающих повышенную грузоподъемность подшипника, как в радиальном, так и в осевом направлениях.

На кафедре «Детали машин» Алтайского государственного технического университета разработана конструкция двухрядного бессепараторного подшипника качения, обладающего конструктивной простотой (отсутствует сепаратор), повышенной грузоподъемностью за счет использования двух рядов тел качения (Рисунок 1). А также меньшим, по сравнению с обычным сдвоенным шариковым радиально-упорным бессепараторным подшипником качения, моментом трения, поскольку в данном подшипнике тела качения расположены в шахматном порядке и контакт между телами качения происходит не между шариками, расположенными в одном ряду, а между шариками, расположенными в соседних рядах. Это позволяет уменьшить скорость взаимного скольжения поверхностей шариков в зоне их контакта до 50%. Соответственно снижаются износ тел качения и потери на трение, связанные с контактом шариков между собой. Грузоподъемность данного типа подшипников в осевом и радиальном направлениях практически соответствует сдвоенному шариковому радиально-упорному бессепараторному подшипнику качения, при этом его габариты в осевом направлении будут меньше, за счет максимального сближения между собой дорожек качения на кольцах подшипника.

Тем не менее, следует отметить, что при кажущейся простоте - это высокотехнологичное изделие. Тела качения контактируют между собой по обоим рядам подшипника одновременно, что налагает повышенные требования к равновеликости шариков, вплоть до селективной сборки подшипника. Расстояние между дорожками качения выбирается таким образом, чтобы сила взаимодействия между телами качения в зоне их контакта не изменялась существенно при достижении максимальной нагрузки, действующей на подшипник. Восприятие этой нагрузки должно обеспечиваться контактом шариков с дорожками тел качения колец подшипника.

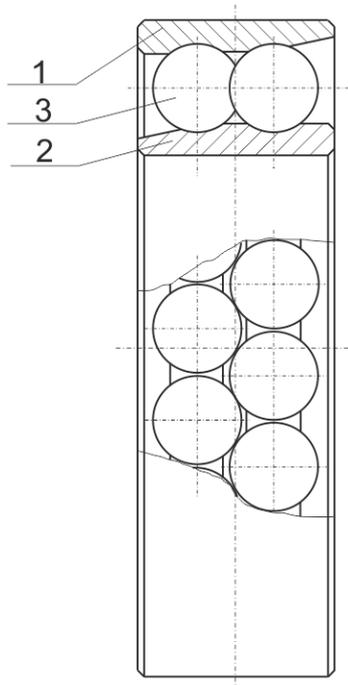


Рисунок 1. – Бессепараторный двухрядный шариковый подшипник качения: 1 - наружное кольцо подшипника с дорожками качения; 2 - внутреннее кольцо подшипника с дорожками качения; 3 - телашарика.

## АНАЛИЗ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ САМОУСТАНАВЛИВАЮЩЕЙСЯ ОПРАВКИ В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ВОЛОЧЕНИЯ ПОЛЫХ ПРОФИЛЕЙ

Собачкин А.В. – студент, Собачкин В.В. – к.т.н., доцент

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

Критерием стабильности процесса волочения труб на самоустанавливающейся оправке является размещение ее в пределах интервала возможных осевых перемещений. Для определения положения оправки в очаге деформации используется условие статического равновесия действующих на нее сил. Оправка при этом считается неподвижной. Вместе с тем в реальных условиях имеют место колебания оправки, которые могут служить причиной нарушения стабильности волочения. Источником возбуждения колебаний являются не только возмущения в виде случайных изменений условий волочения, геометрических параметров предмета обработки, но и нестационарные силы трения. Систему оправка - труба в этой связи следует рассматривать как автономную неконсервативную систему с движением в автоколебательном режиме. Количественное исследование поведения подобных систем требует определения частоты и амплитуды стационарного режима процесса, а также исследования устойчивости тех режимов, при которых оправка находится в пределах интервала возможных осевых перемещений.

Уравнение движения оправки с учетом массовых сил имеет вид

$$m\ddot{x} + P[x, \alpha, \beta, D_n, D_k, t_n, t_k, \sigma_T, a, b, f_1, f(\dot{x})] = 0,$$

где второе слагаемое - сила, действующая на контактной поверхности оправки в зависимости от ее обобщенной координаты  $x$ ; углов волочильной матрицы и оправки  $\alpha$  и  $\beta$ , начальных (индекс «н») и конечных (индекс «к») геометрических размеров сечения трубы  $D_n, D_k, t_n, t_k$ ; характеристики механических свойств металла  $\sigma_T, a, b$ ; коэффициентов трения на поверхности контакта трубы с волочильной матрицей и оправкой как функции обобщенной скорости  $f_1$  и  $f(\dot{x})$ . Для определения этой силы воспользовались методом совместного решения дифференциального уравнения равновесия кольцевого элемента трубы с упрощенным условием пластичности.

Изменение коэффициента трения на поверхности контакта металла с оправкой определяли по кривой Герси-Штрибека, аппроксимированной выражением

$$f(\dot{x}) = f_0 \left[ 1 - \frac{\mu \dot{x}}{\sigma_n} \left( \frac{\mu v}{\sigma_n} \right)_{\min}^{-1} \right],$$

где  $\dot{x}$  - скорость движения оправки относительно трубы;  $f_0$  - коэффициент трения при относительной скорости, близкой к нулю;  $\mu$  - вязкость смазки;  $\sigma_n$  - удельное давление металла на оправку;  $(\mu v / \sigma_n)_{\min}$  - совокупность параметров, при которых происходит переход от граничного трения к гидродинамическому. Зависимость вязкости смазки от удельного давления определяли из выражения  $\mu = \mu_0 \exp(\lambda \sigma_n)$ , где  $\mu_0$  - вязкость смазки при атмосферном давлении;  $\lambda$  - численный коэффициент.

В результате численного решения уравнения (1) получены амплитудно-частотные характеристики колебаний самоустанавливающейся оправки в очаге деформации, типичный график которых для маршрута волочения  $40,0 \times 2,9 \rightarrow 31,5 \times 2,35$ ,  $\alpha = 12^\circ$ ,  $\beta = 8^\circ$ ,  $m = 0,3$  кг,  $f_0 = f_l = 0,04$ , материала - латуни Л-68 и скорости волочения 20 м/мин представлен на рисунке 1.

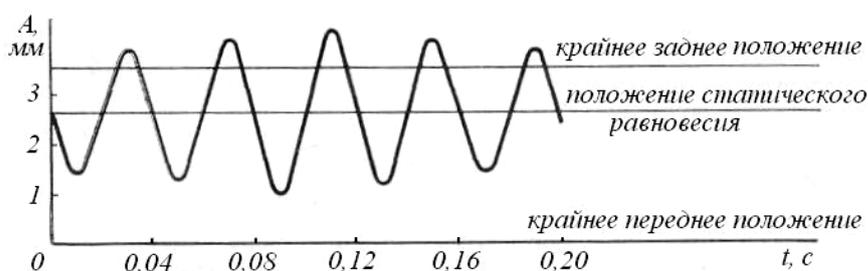


Рисунок 1 – График амплитудно-частотной характеристики колебаний самоустанавливающейся оправки в очаге деформации

Видно, что в стационарном режиме оправка колеблется около положения статического равновесия. Форма колебаний близка к синусоидальной и носит характер биений с амплитудой от 24 до 33 мм и периодом колебаний 0,04 с. Положение статического равновесия оправки для данного маршрута близко к крайнему заднему положению, в результате чего оправка при колебаниях выходит за это положение. Данный пример показывает необходимость учета движения оправки при проектировании маршрутов волочения.

#### СТУЛ - НОСИЛКИ

Ильиных Г.Г. - студент, Галышкин Н.В. - к.т.н., доцент

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

Необходимость разработки подобной конструкции вызвана, в первую очередь, структурой жилого фонда большинства городов России. В массе своей это дома старой постройки, представляющие собой «хрущевки» без лифта и с узкими лестничными маршами. Транспортировка больных в таких домах, особенно с верхних этажей, сложная и трудоемкая задача. Обычные носилки не всегда возможно использовать, поскольку на узких лестничных площадках с ними трудно развернуться. А если больного необходимо доставлять в больницу несколько раз в месяц для проведения лечебных процедур, то это уже постоянная проблема

его родственников. Не говоря уже и о том, чтобы периодически выносить больного во двор на свежий воздух и для общения с соседями.

С другой стороны, для части больных допускается транспортировка в сидячем положении. Это обстоятельство, позволило разработать техническое устройство, обеспечивающее достаточно комфортные, насколько это возможно, условия спуска таких больных из квартиры. Оно представляет собой собственно стул с креплениями для ручек, используемых для транспортировки (Рисунок 1). В обычном (без ручек) состоянии это просто стул, не загромождающий квартиру. Но может быть быстро трансформирован в мобильное транспортное устройство для спуска больного. Концы транспортировочных ручек выполнены на разной высоте для удобства спуска по крутым лестничным маршам. При необходимости стул может быть дополнительно укомплектован подголовником и фиксирующими ремнями, закрепленными на спинке и под сиденьем.

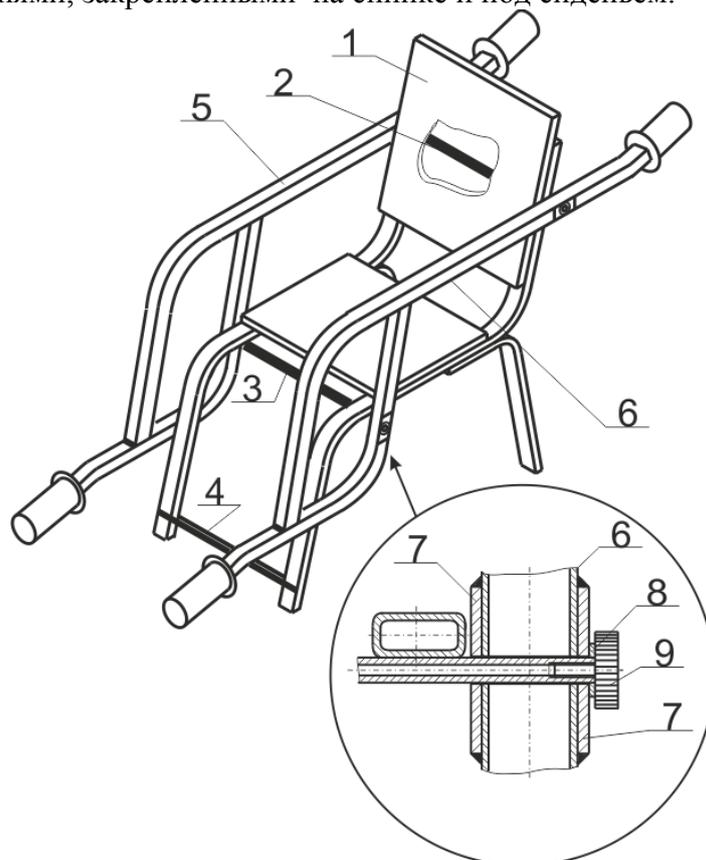


Рисунок 1 - Стул – носилки

1- стул, 2 и 3 - опоры для установки транспортировочных ручек, 4 – подставка для ног, 5 и 6 – транспортировочные ручки, 7 – пластины для повышения прочности и жесткости транспортировочных ручек в местах их крепления к опорам стула, 8 – шайба, 9 – прижимной винт.

## ПОИСК МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОГО ПОРОШКА

### С ПОМОЩЬЮ ПРОЦЕДУРЫ ФМЕА-АНАЛИЗА СПОСОБОВ ПРАВКИ

Бахирев А.В.- магистрант, Шрайнер Т.А. - аспирант, Татаркин Е.Ю. - д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Методика совершенствования технических систем, функцией которых является обеспечение требуемых параметров качества обработки, включает в себя немаловажные этапы подробного анализа конструкции и выполняемых ею функций.

Так, поиск нового решения включает следующие этапы:

- 1) Анализ проблемы и поиск прототипа;
- 2) Выявление недостатков, которые не позволяют с использованием прототипа обеспечить требуемый параметр качества
- 3) Получение набора решений;
- 4) Выбор рационального решения с учетом достижения заданных технических требований[1].

На первом этапе проектирования решений была рассмотрена проблема отсутствия технических решений для управления стойкостью абразивного инструмента, что, соответственно, влечет за собой существенные экономические затраты на замену абразивного инструмента и нестабильность параметров качества финишной обработки.

Причинами низкой стойкости магнитно-абразивного порошка могут быть плохое удерживание порошка в рабочем зазоре, изнашивание абразивных включений у зерен, измельчение зерен, насыщение порошковой массы срезаемым с заготовки материалом, увеличение вязкости порошковой массы из-за насыщения вязкими составляющими СОЖ и т.д. Как правило, перечисленные факторы, снижающие стойкость порошка, действуют одновременно с преобладанием того или иного из них в конкретных условиях полирования[2].

В качестве прототипов были исследованы способы правки магнитно-абразивного порошка, предложенные в статье [3]. В ней рассмотрены три механизма перемешивания:

1. Способ правки рабочей поверхности магнитного индуктора металлическим карандашом,
2. Способ правки рабочей поверхности магнитного индуктора металлической струной,
3. Способ правки рабочей поверхности магнитного индуктора струей сжатого воздуха.

Суть способов правки магнитно-абразивного порошка заключается в том, что периодическое перемешивание порошка в рабочем зазоре способствует вступлению в работу каждого зерна разными своими вершинами и поддержанию таким образом высокой интенсивности резания. Такой механизм самозатачивания характерен для процесса магнитно-абразивного полирования, ни не исключает и обычного для абразивных инструментов самозатачивания, заключающегося в постепенном разрушении инструмента, в нашем случае – зерен порошка, и обнаружения при этом новых, не затупленных абразивных элементов.

Этап выявления и подробного анализа выбранных прототипов был реализован с помощью процедуры FMEA-анализа. Анализ видов и последствий потенциальных отказов конструкции (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) – метод, целью которого является улучшение конструкции на основе анализа потенциальных несоответствий конструкции с количественным анализом последствий и причин несоответствий. Данный метод широко применяется как для разработки новых конструкций и технологий, так и для анализа и планирования качества производственных процессов и продукции. Методология FMEA позволяет оценить риски и возможный ущерб, вызванный потенциальными несоответствиями конструкции на самой ранней стадии проектирования и создания готового изделия или его комплектующих. Область применения метода охватывает все этапы жизненного цикла изделия[4].

FMEA – анализ выполнялся в следующем порядке:

1. Выбирается объект анализа.
2. Определяются варианты применения анализа. FMEA может являться частью комплексного анализа, при котором применяются различные методы.
3. Определяются границы, в пределах которых рассматриваются несоответствия.
4. Разрабатывается подходящая таблица для регистрации информации. Она может изменяться в зависимости от учитываемых факторов.
5. Определяются элементы, в которых возможно возникновение несоответствий (отказы). Элементы могут включать в себя различные компоненты, сборки, комбинации составных частей и пр.
6. Для каждого элемента, выделенного на шаге 5, составляется список наиболее значимых видов отказов.

7. Для каждого вида отказа, выявленного на шаге 6, определяются все возможные последствия, которые могут проявиться.
  8. Определяется рейтинг тяжести последствий отказа  $S$
  9. Для каждого вида отказа определяются все потенциальные причины.
  10. Для каждой причины определяется рейтинг вероятности ее возникновения  $O$
  11. Для каждой причины определяются существующие методы контроля, которые применяются в данный момент.
  12. Для каждого метода контроля определяется рейтинг обнаружения  $D$
  13. Рассчитывается приоритетное число риска ( $ПЧР$ ) которое равно произведению  $S*O*D$ . Это число позволяет ранжировать потенциальные отказы по значимости.
  14. Определяются рекомендуемые действия, которые могут включать изменение проекта или процесса для снижения тяжести последствий или вероятности возникновения отказов.
  15. После выполнения рекомендованных действий значения рейтингов  $S, O, D$  оцениваются заново, а приоритетное число риска ( $ПЧР$ ) пересчитывается [3].
- Фрагмент FMEA-анализа способа правки рабочей поверхности магнитного индуктора металлическим карандашом представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Фрагмент FMEA-анализа способа правки рабочей поверхности магнитного индуктора металлическим карандашом и металлической струной

| Вид потенц. дефекта       | Последствие потенц. дефекта                  | Потенциальная причина дефекта                                      | Предложенные меры по устранению дефекта   |
|---------------------------|--|--|---|
| 1                         | 2  | 3  | 4   |
| Конструктивные недостатки | Поломка, деформация металлического карандаша | Отсутствие рабочего зазора, неправильное назначение режимов правки | Контроль и автоматическая диагностика рабочего зазора, экспериментальный подбор режимов обработки |
|                           | Уменьшение натяжения металлической струны    | Упругие деформации системы креплений                               | Уменьшение консольности закрепления струны, повышение жесткости конструкции                       |
|                           | Разрыв, повреждение струны                   | Высокое натяжение металлической струны                             | Изменение толщины струны, предварительная проверка натяжения                                      |
|                           | Уменьшение производительности правки         | Округление острия карандаша  | Изменение материала карандаша, увеличение его твердости покрытием, закалкой и т.д.                |
|                           | Повреждение рабочей поверхности              | Неправильный выбор рабочего зазора                                 | Контроль и автоматическая диагностика рабочего зазора   |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2   | 3   | 4   |
|---|---|---|---|
|   | Примагничивание струны к поверхности магнитного индуктора | Недостаточное натяжение, ослабление натяга струны | Использование струны из немагнитных материалов, предварительный контроль натяжения струны |
|   | Короткий срок эксплуатации                                | Низкая надежность конструкции                     | Повышение технологичности конструкции, оптимизация применяемых материалов                 |

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| Невыполнение целевых функций, недостаточная эффективность | Срез, дробление, вылет зерен из зоны обработки, снижение стойкости ФАП | Негативное воздействие правки                            | Оптимизация режимов правки, разработка альтернативных способов правки     |
|   |  | Наличие пор в массиве порошка, отсутствие СОЖ            | Заполнение пор СОЖ, функциональными добавками                             |
|   | Неудовлетворительное качество правки                                   | Незначительная площадь поверхности контакта струны с ФАП | Применение пластинки с концентраторами обеспечит большую площадь контакта |

При магнитно-абразивной обработке между зернами абразивного порошка образуются воздушные поры, которые в процессе обработки заполняются срезаемым с заготовки материалом. Вследствие этого образуются конгломераты, состоящие из металлической стружки и зерен порошка, удерживаемых магнитным полем.

В результате FMEA-анализа способов правки было выявлено, что в связи с образованием данных конгломератов и износом внешних режущих граней зерен перемешивание не позволит достаточно эффективно разбить данные скопления материала и, как следствие, повысить период стойкости магнитно-абразивного инструмента.

Вследствие анализа потенциальных отказов рассмотренных способов правки были предложены меры по устранению выявленных недостатков, к которым, в частности, относится внесение в рабочую поверхность магнитного индуктора функциональных добавок. Предполагается, что внесения данных добавок позволит заполнить образующиеся воздушные поры и, в зависимости от их состава, обеспечивать дополнительные функции смазки и охлаждения режущего инструмента. С целью подтверждения эффективности выдвинутой гипотезы авторами планируется серия поисковых экспериментов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Татаркин, Е.Ю., Татаркина, Ю.Н. Поиск новых решений при проектировании технологических систем. Учеб. пособие. Барнаул: Изд-во Алт. ГТУ им. И.И. Ползунова. 1999. 168 с.
2. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1986. – 176 с.
3. Татаркин Е.Ю., Иконников А.М., Гребеньков Р.В. Проектирование способов правки рабочей поверхности магнитного индуктора с использованием методологии поискового конструирования // Актуальные проблемы в машиностроении. 2016. № 3.
3. ГОСТ Р 51814.2-2001 Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов
4. ГОСТ 27.310-95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ

Белоплотов С.В.- студент, Потапов И.С.- студент,

Балашов А.В.- к.т.н., доцент, Черданцев А.О.- инженер, Новиковский Е.А. - инженер  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В настоящее время начинает распространяться новый метод получения деталей – 3D печать. Процесс создания цельных трехмерных объектов практически любой геометрической формы на основе цифровой модели называют «аддитивным производством» или 3D-печатью. 3D-печать основана на концепции построения объекта последовательно наносимыми слоями, отображающими контуры модели [1].

Одним из распространенных методов 3D-печати является – экструзионный. При этом методе нить из термопластика (полилактид (PLA), акрилонитрилбутадиенстирол (ABS) и др.) подается в печатающую головку, где разогревается и выдавливается через экструдер на подвижную платформу 3D-принтера. Печатающая головка наплавляет слой термопластика в горизонтальной плоскости, согласно сечения модели детали. После наплавления слоя подвижная платформа перемещается вниз на величину напечатанного слоя. После чего печатается следующий слой сечения детали. Таким образом, происходит выдавливание (экструзия) расходного материала с последовательным формированием готового изделия.

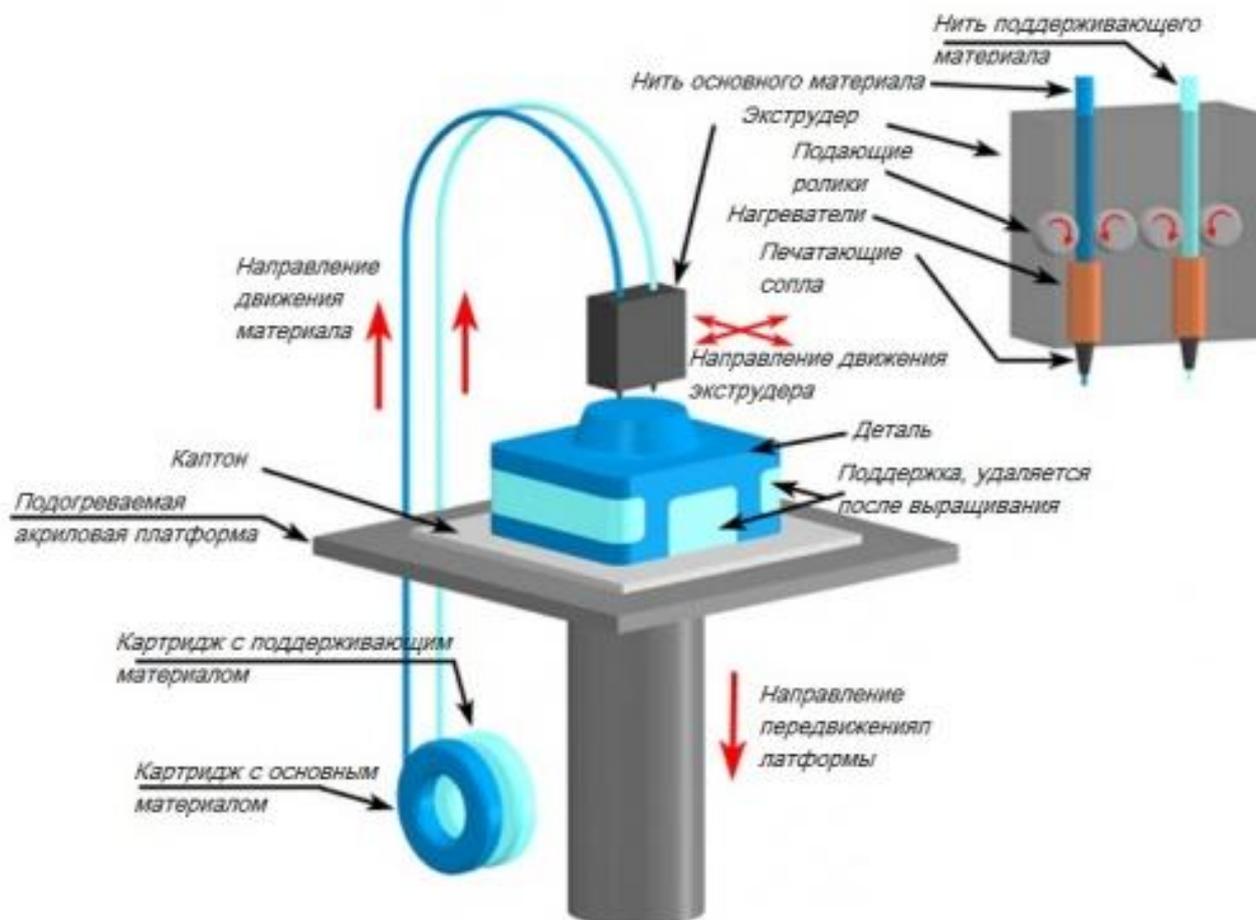


Рисунок 1 – Схема работы 3D-принтера [2]

По рассмотренной технологии на 3D-принтере «PICASO 3D Designer» напечатаны образцы для испытания на растяжения по типу 1 в соответствии с ГОСТ 11262-80 [3] с формированием поверхностного слоя состоящего из оболочки с 4 , 6, 8 и 10 нитями (рисунки 2, 3).

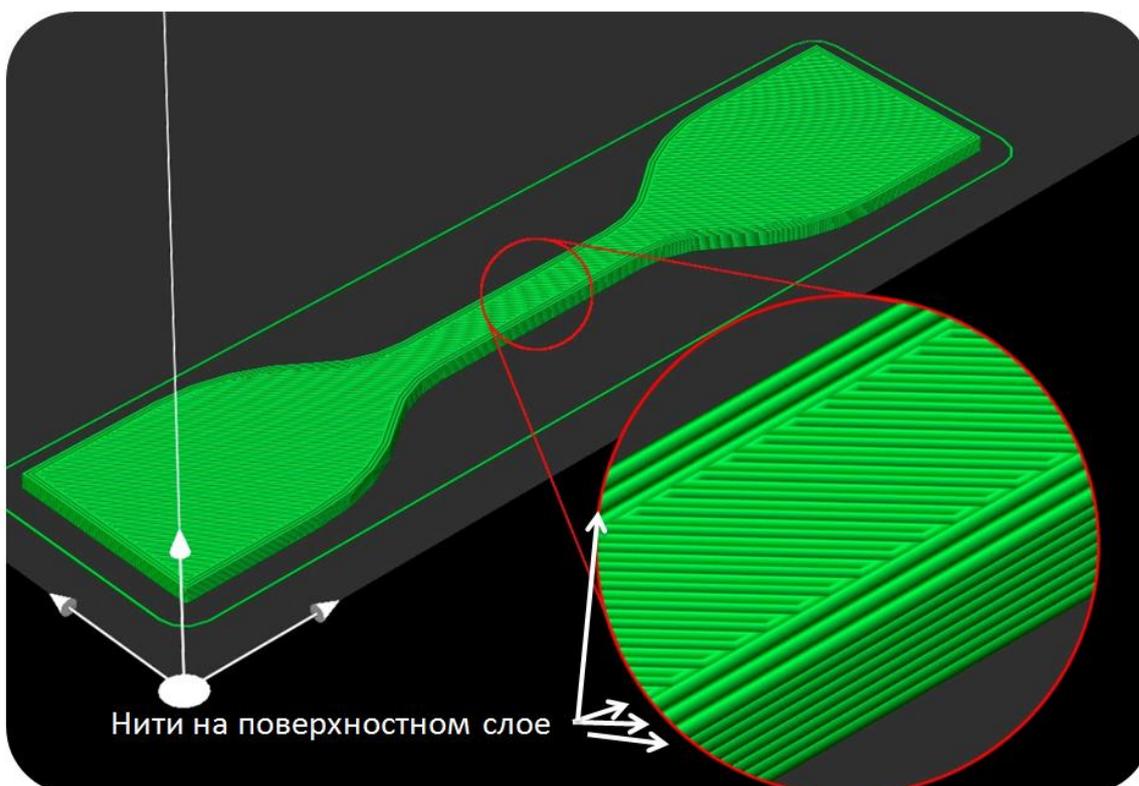


Рисунок 2 – 3D модель образца для испытаний на растяжение



Рисунок 3 – Образцы для испытания на растяжение

Образцы печатались при следующих режимах: тип пластика «АВС»; диаметр сопла экструдера - 0,3 мм; высота слоев - 0,25 мм; ширина нити - 0,45 мм; коэффициент подачи пластика - 0,97; температура экструдера - 250°C; температура стола первого слоя - 115°C; температура стола остальных слоев - 105°C; скорость печати 80 мм/с; заполнение детали - 100%.

Далее образцы испытывались на растяжение на разрывной машине INSTRON 3369 (рисунок 4) при скорости испытания 5 мм/мин.



Рисунок 4 – Испытание на растяжение образцов

Результаты испытания типовых образцов приведены на рисунке 5.

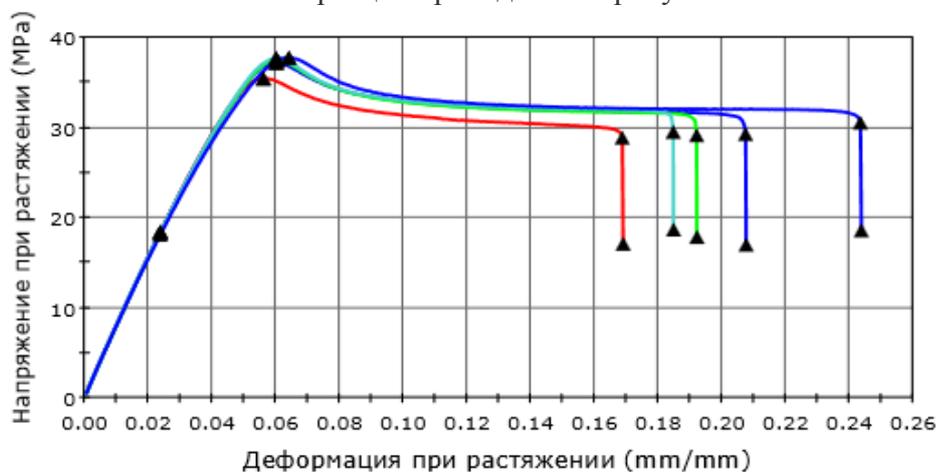


Рисунок 5 – Результаты испытания типовых образцов, где — 2 нитки; — 4 нитки; — 6 ниток; — 8 ниток; — 10 ниток;

По результатам обработки экспериментальных данных получена зависимость (1) прочности при растяжении детали из термопластика ABS от количества нитей на оболочке поверхностного слоя (рисунок 6).

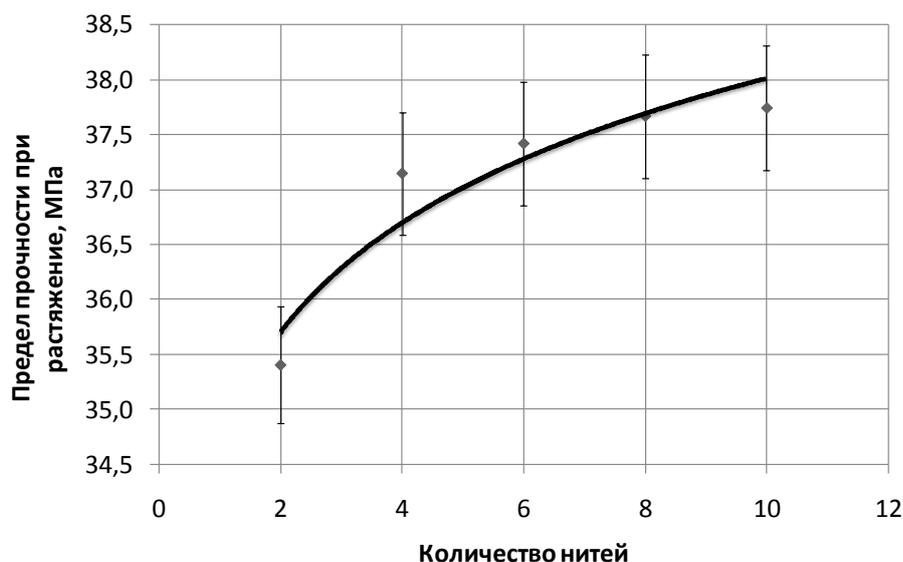


Рисунок 6 – Зависимость предела прочности при растяжении от количества нитей

$$\sigma_p = 1,434 \cdot \ln(k) + 34,7, \quad (1)$$

где  $\sigma_p$  – прочность при растяжении, МПа;

$k$  – количество нитей на оболочке детали.

Установленная зависимость предела прочности при растяжении детали из термопластика ABS от количества нитей на оболочке поверхностного слоя детали может использоваться для проектирования изделий, которые будут изготавливаться методом экструзионной 3D-печати.

В дальнейшем планируется изучить влияние других режимов печати (высота слоев, температура экструдера, скорость печати, заполнение детали и др.) а качество полученной детали.

#### Литература

1. <http://3d-digitalprint.nethouse.ru/articles/156448>.
2. [http://3dtoday.ru/wiki/3D\\_print\\_technology/](http://3dtoday.ru/wiki/3D_print_technology/).
3. ГОСТ 11262-80 Пластмассы. Метод испытания на растяжение

### РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Горин Е. Ю. - аспирант, Сосов Н.А. - магистрант, Кряжев Ю. А. - к. т. н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Обеспечение заданного качества изготовления деталей является главным показателем эффективности технологического процесса. Для управления качеством поверхности изготавливаемых деталей находят применение следующие способы: 1. обеспечивается коррекция положения режущего инструмента по результатам измерения размеров детали на станке (активный контроль); 2. обеспечивается коррекция параметров, вызывающих деформации детали на станке (например, тепловые), после измерения их на детали; 3. обеспечивается необходимая размерная точность и шероховатость за счёт постоянства условий и параметров работы рабочих органов станка, от которых зависит траектория формообразующих движений; 4. обеспечивается за счёт диагностирования состояния режущих свойств инструмента или параметров образующейся стружки.

В данной работе используется способ обеспечения заданной размерной точности и шероховатости обработанной поверхности путём прогнозирования параметра

шероховатости  $R_a$  с помощью системы обработки сигнала акустической эмиссии [1]. Но для этого необходимо иметь такую систему, которая могла бы не только принимать и анализировать виброакустический (ВА) сигнал, но и также изменять технологические параметры технологического процесса в режиме реального времени.

В соответствии с актуальностью данных требований, была разработана алгоритм и структурная схема системы адаптивного управления процессом торцового фрезерования на станках с ЧПУ с использованием сигнала акустической эмиссии (см. рисунок 1).

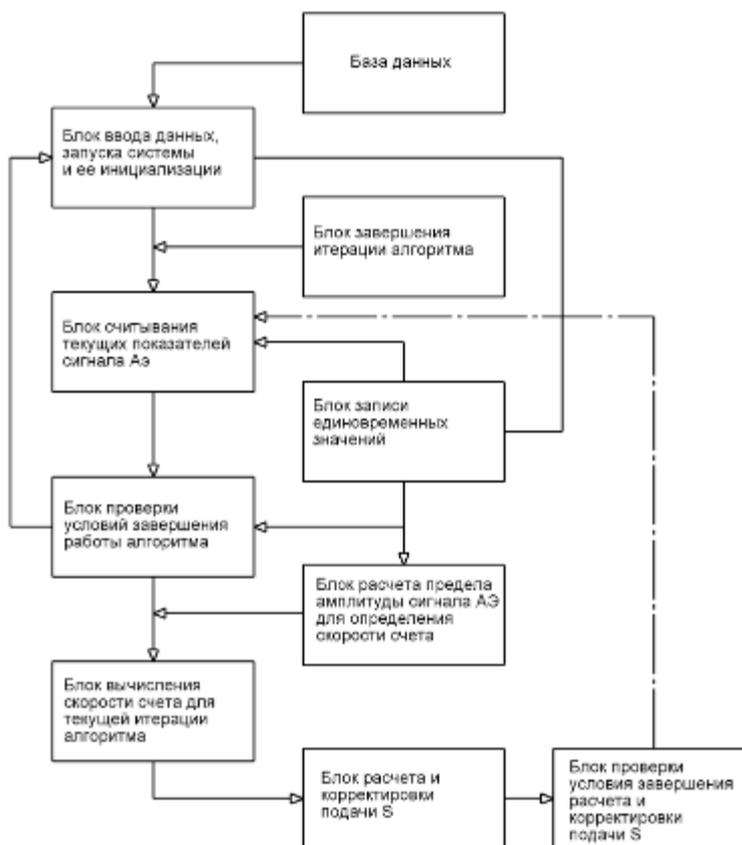


Рисунок 1 – Структурная схема адаптивного управления технологическими параметрами на станках с ЧПУ с использованием сигнала акустической эмиссии

### 1) Блок ввода данных, запуска системы и её инициализации

В данном блоке производится приём данных от оператора, загрузка зависимостей  $R_{aот}$  параметров процесса резания из БД на основе введённых данных, вычисления временных диапазонов обработки заготовки, проверка на условие запуска системы и инициализация системы при запуске.

### 2) Блок считывания текущих показаний сигнала АЭ

В этом блоке происходит считывание текущих показаний входящей амплитуды сигнала АЭ и запись их в двумерный массив  $[i][j]$  до тех пор, пока текущее значение времени с момента запуска системы не станет равным или превысит время периода съёма показаний для текущей итерации алгоритма.

### 3) Блок проверки условий завершения работы алгоритма

В данном блоке проводится вычисление средней амплитуды значений сигнала АЭ для текущей итерации алгоритма и проверка на два условия завершения работы алгоритма: превышение вычисленной  $A_{ср}[i]$  над сигналом АЭ, свидетельствующим об износе режущего инструмента; и превышение времени с момента запуска системы над общим временем обработки.

### 4) Блок записи одновременных значений

В данном блоке ведётся проверка условий для одновременной записи необходимых текущих значений в память для дальнейшего их использования в вычислениях алгоритма. Так же в этом блоке производится расчёт среднего значения амплитуды сигнала АЭ за всё время устоявшегося процесса резания.

#### **5) Блок завершения итерации алгоритма**

В данном блоке по завершению итерации алгоритма производится корректировка значения счётчика итераций и периода съёма показаний для следующей итерации.

#### **6) Блок расчёта предела амплитуды сигнала АЭ для определения скорости счёта**

Данный блок отвечает за подбор значения предела амплитуды сигнала АЭ для определения скорости счёта. Этот блок ведёт работу единожды - в начале устоявшегося процесса резания, затем найденное  $A_{расч}$  используется во всём алгоритме до момента его завершения.

#### **7) Блок вычисления скорости счёта для текущей итерации алгоритма**

Данный блок отвечает за вычисление скорости счёта для текущей итерации алгоритма. Начинает свою работу после завершения блока №6 и работает до выполнения условия блока №8.

#### **8) Блок расчёта и корректировки подачи S**

Этот блок отвечает за расчёт шероховатости от полученных данных во время работы алгоритма в текущей итерации. Если шероховатость выходит за необходимый предел, то производится корректировка подачи в соответствии с вычисленным значением подачи по другой зависимости. Если произошла корректировка подачи, то заново производятся вычисления временных диапазонов обработки заготовки в соответствии с новыми данными.

#### **9) Блок проверки условия завершения расчёта и корректировки подачи S**

Данный блок отвечает за прерывание работы блока №7 и №8 по условию превышения текущего времени с начала работы алгоритма над расчётным временем начала выхода фрезы из тела заготовки.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Татаркин, Е. Ю. Новые аспекты применения метода акустической эмиссии в машиностроении и металлообработке [Текст]: монография / Е. Ю. Татаркин, Ю. А. Кряжев, Е. С. Огневенко. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. – 101 с.

### **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИБРОУСТОЙЧИВОЙ КОНСТРУКЦИИ ТОРЦОВОЙ ФРЕЗЫ**

Горин Е.Ю. - аспирант, Юнин А.А. - магистрант, Кряжев Ю.А.- к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Процесс торцового фрезерования является одним из распространенных в машиностроении. Торцовое фрезерование может использоваться не только при обработке плоских, но и в ряде случаев, ступенчатых поверхностей, обеспечивая высокую производительность. Торцовые фрезы используются для обработки плоскостей корпусных деталей на вертикально-фрезерном оборудовании, торцов валов на фрезерно-центровальных станках и др.

Однако торцовое фрезерование сопровождается нестабильностью срезания металла, которая связана с кинематикой и динамикой этого процесса обработки. Динамика процесса торцового фрезерования усложняется в результате действия случайных факторов, таких как: радиальное и осевое биение шпинделя станка, переменная жесткость технологической системы по длине обработки, случайные колебания физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов и т.д.

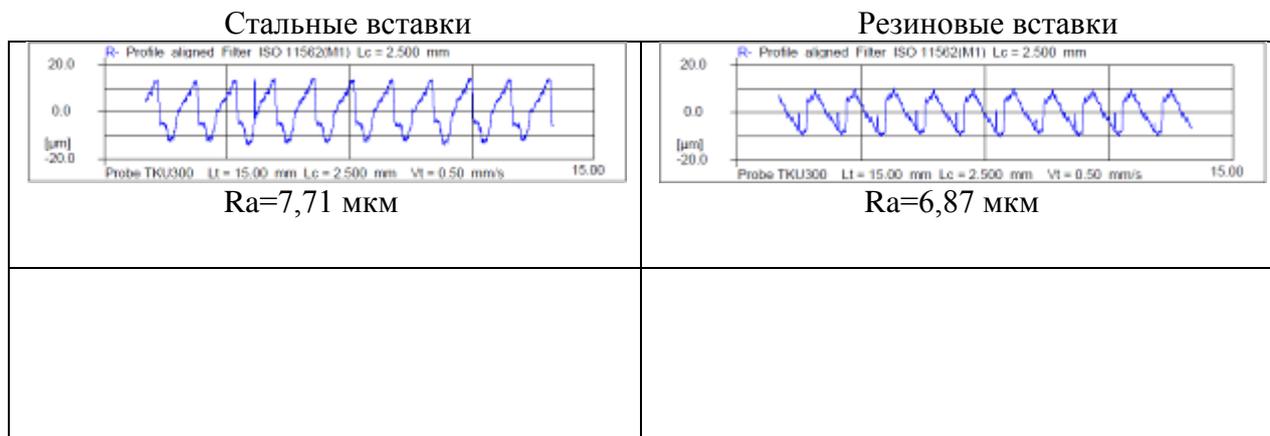
Выбор динамических характеристик технологической системы и в первую очередь сопротивления системы имеет большое значение для устранения вибраций, а, следовательно, для устойчивого процесса резания. Повышение сопротивления системы путем применения специальных средств увеличивает рассеивание энергии и в результате этого снижает интенсивность вибраций [1]. Вибрации технологической системы, возникающие при фрезеровании, оказывают большое влияние на точность обработки и стойкость режущего инструмента. При появлении колебаний режущего инструмента относительно обработанной поверхности его стойкость снижается пропорционально квадрату амплитуды и на заготовке возникают погрешности поперечного сечения, образуется волнистость и увеличивается шероховатость обработанной поверхности. В результате анализа многочисленных исследований установлено, что при механической обработке не всегда удаётся обеспечить достаточную жёсткость и виброустойчивость обрабатываемой заготовки и режущего инструмента [2]. Наиболее действенным средством борьбы с вибрациями является повышение виброустойчивости технологической системы путём регулирования жёсткости (демпфирующей способности) всех элементов динамической системы. Важнейшим звеном этой системы является - «деталь-инструмент». Для решения указанных задач были проведены динамические исследования специально спроектированной торцовой фрезы с регулируемой жёсткостью (патент №2559078).

Следующий эксперимент проводился на фрезерном станке ГФ-2171 с УЧПУ FMS 3000 при различных режимах фрезерования заготовки из легированной стали 18X12H10T торцовой фрезой с регулируемой жёсткостью. Для регулирования жёсткости торцовой фрезы используются резиновые и стальные вставки (демпфирующие элементы), количество которых может изменяться в зависимости от требуемых условий резания и значений собственной частоты режущего инструмента. По окончании эксперимента проводилось измерение шероховатости обработанной поверхности заготовки на профилографе-профилометре «HOMMEL TESTER W55».

Для наглядного представления сложных зависимостей между шероховатостью Ra и параметрами режимов резания V, Sm, при торцовом фрезеровании на рисунке 1 представлены графы связей. Числа над рёбрами означают величину коэффициентов парной корреляции. Анализируя полученные графы связей шероховатости Ra от параметров режима резания можно заметить, что на значение шероховатости Ra наибольшее влияние оказывает изменение подачи – Sm.

Используя метод наименьших квадратов, были установлены зависимости параметра шероховатости Ra от параметров режима торцового фрезерования (V, S) и построены поверхностные графики для наглядного отображения этих зависимостей (см. рисунок 2).

Полученные зависимости для демпфирующих элементов из стали:  $Ra = 2,0361 + 0,0029V + 0,0036Sm$  и из резины:  $Ra = -0,5249 + 0,0001V + 0,0081Sm$  могут быть использованы для прогнозирования параметров качества обработанной поверхности при фрезеровании на станках с ЧПУ.



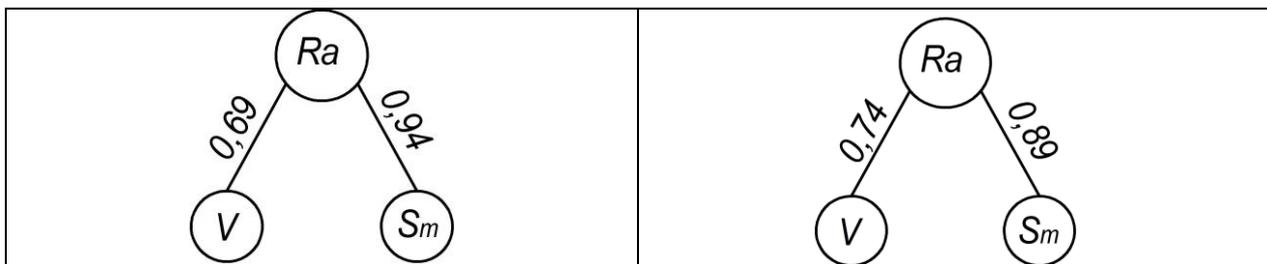


Рисунок 1. – Результаты измерения шероховатости на профилографе-профилометре «НОММЕЛ TESTER W55» на режимах резания  $t=1$ мм,  $S_m=960$  мм/мин,  $V=314$  м/мин и графы связей шероховатости  $R_a$ , мкм от параметров режимов резания  $V$ , м/мин,  $S_m$ , мм/мин при торцовом фрезеровании с использованием стальных и резиновых демпфирующих элементов.

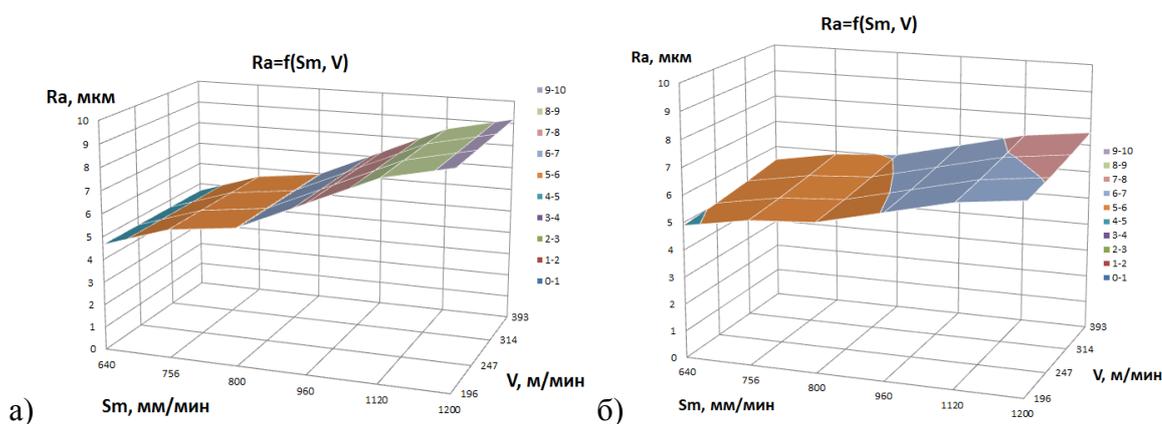


Рисунок 2. – Поверхностный график, отображающий зависимости параметра шероховатости  $R_a$ , мкм от параметров режима торцового фрезерования ( $V$ , м/мин,  $S_m$ , мм/мин) для демпфирующих элементов из а) стали и б) резины

#### Выводы:

1) В исследуемом диапазоне режимов резания значения шероховатости  $R_a$  обработанной поверхности уменьшились в среднем на 10%...18% для фрезы с демпфирующими элементами из резины в сравнении с фрезой с демпфирующими элементами из стали.

2) С изменением скорости резания и подачи величина и диапазон изменения шероховатости  $R_a$  обработанной поверхности при фрезеровании фрезой со стальными демпфирующими элементами больше, чем при фрезеровании фрезой с резиновыми демпфирующими элементами;

3) Влияние подачи на шероховатость  $R_a$  обработанной поверхности аналогично влиянию скорости резания, однако интенсивность этого воздействия значительно больше.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жарков, И. Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом [Текст] / И. Г. Жарков. – Л.: Машиностроение, 1986. – 184 с.: ил.
2. Е.Ю. Татаркин, Ю.А. Кряжев, Е.С. Огневенко, А.Ю. Кряжев, Е.Ю. Горин Определение демпфирующих свойств фрезы новой конструкции [Текст] Вестник Алтайской науки, №2-1, 2003. С.33-35.

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САМООБУЧАЮЩЕЙСЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Горин Е.Ю. - аспирант, Обложок Д.Н. - аспирант, Фрейзе А.В. – студент,  
Кряжев Ю.А. - к.т.н., доцент

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

Важнейшими задачами современного машиностроения являются задачи совершенствования методов и способов прогнозирования качества обрабатываемой поверхности. Совершенствование системы диагностики и прогнозирования параметров процесса резания должно обеспечить:

1. снижение себестоимости обработки при максимальном ресурсе режущего инструмента;
2. повышение качества обрабатываемых деталей за счёт компенсирования износа режущего инструмента - корректировкой положения исполнительного органа станка на величину износа;
3. повышение надёжности обработки за счёт своевременной замены режущего инструмента до наступления критического износа или поломки.

В настоящее время существует множество систем прогнозирования качества обрабатываемой поверхности в режиме реального времени. Практически все они используют для анализа косвенные признаки: измерение шероховатости на основе анализа сигналов акустической эмиссии и сигналов виброакустики; измерение электропроводности контакта «деталь – инструмент», измерение термо - ЭДС; измерение мощности привода главного движения станка; измерение составляющих силы резания и др. [1,2]. Сложность решения данных задач обуславливается многообразием нестационарно изменяющихся физических факторов, сопровождающих технологический процесс механической обработки деталей и оказывающих влияние на показатели поверхностного слоя обрабатываемого материала детали.

Решение задачи по прогнозированию качества обработанной поверхности детали возможно с использованием программного комплекса MatLab. В данной программе идет построение нейронных сетей для выявления закономерностей в больших объёмах данных [3]. Нейронная сеть используется тогда, когда неизвестен точный вид связей между входами и выходами, - если бы он был известен, то связь можно было бы моделировать непосредственно. Нейронные сети - исключительно мощный метод моделирования, позволяющий воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости.

Для построения нейронных сетей необходимо иметь входные данные из большого числа испытаний. В нашем случае входными параметрами являются параметры инструмента и заготовки, режимы резания, а на выходе будем получать значения параметра шероховатости и волнистости, средней амплитуды и скорости счёта сигнала акустической эмиссии (см. рисунок 1).

| Входные параметры     |   |   |                                       |                     |          |    |                |                        |           |                         |                     |                         | Параметры на выходе         |                      |                      |                |                          |                |
|-----------------------|---|---|---------------------------------------|---------------------|----------|----|----------------|------------------------|-----------|-------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------|--------------------------|----------------|
| Параметры инструмента |   |   |                                       | Параметры заготовки |          |    | Режимы резания |                        |           |                         |                     |                         | Шероховатость               |                      | Амплитуда            | Скорость счёта | Волнистость              |                |
| Ф1                    | с | Ф | материал инстр.-ла (те.-ть, вязкость) | Дфрез (мм)          | Материал | НВ | ОВ             | V <sub>ф</sub> , м/мин | n, об/мин | S <sub>м</sub> , мм/мин | t <sub>с</sub> , мм | S <sub>z</sub> , мм/зуб | z, кол-во режущих элементов | R <sub>a</sub> , мкм | R <sub>z</sub> , мкм | A, дБ          | N <sub>с</sub> , имп/сек | W <sub>z</sub> |
|                       |   |   |                                       |                     |          |    |                |                        |           |                         |                     |                         |                             |                      |                      |                |                          |                |

Рисунок 1. – Таблица ввода данных для прогнозирования шероховатости

Для создания новой нейронной сети в программном комплексе MatLab используем функцию «nntool», при этом откроется окно интерфейса программы (см. рисунок 2).

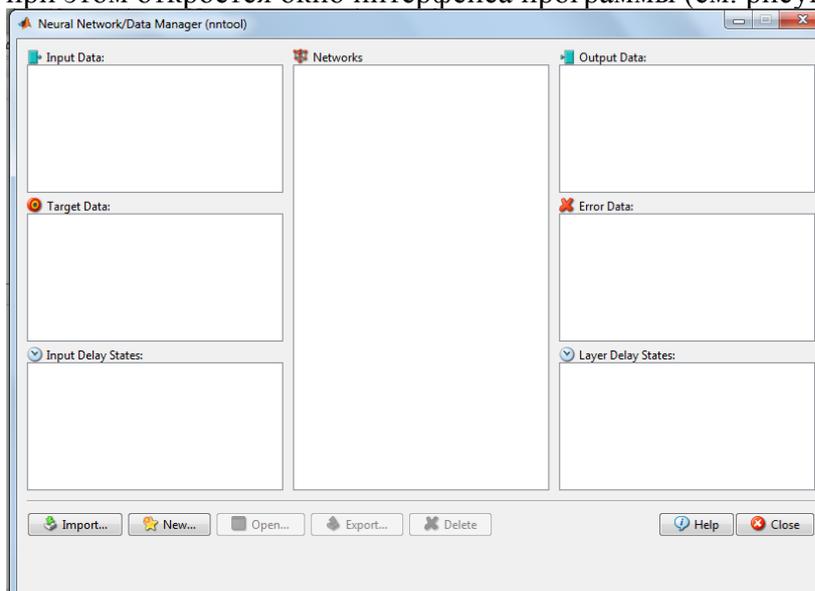


Рисунок 2. – Основное окно интерфейса

В окне программы создаем нейронную сеть, затем выбираем значения входов и выходов, а остальные установки при создании сети оставим по умолчанию (см. рисунок 4).

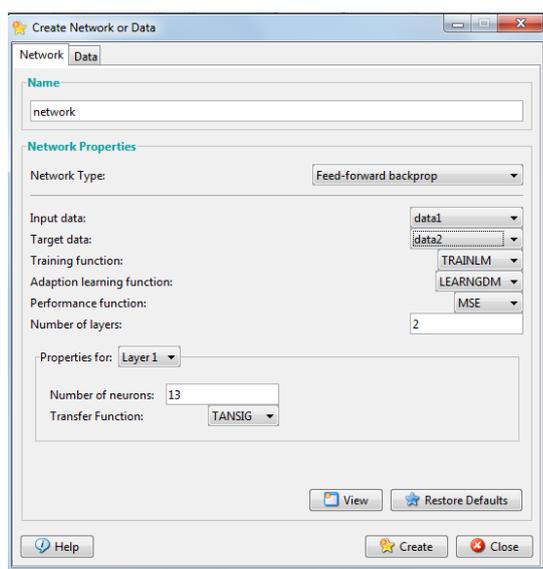


Рисунок 4. – Создание нейронной сети после ввода всех необходимых данных

После всех проделанных операций получаем структуру нейронной сети в новом окне программы (см. рисунок 5).

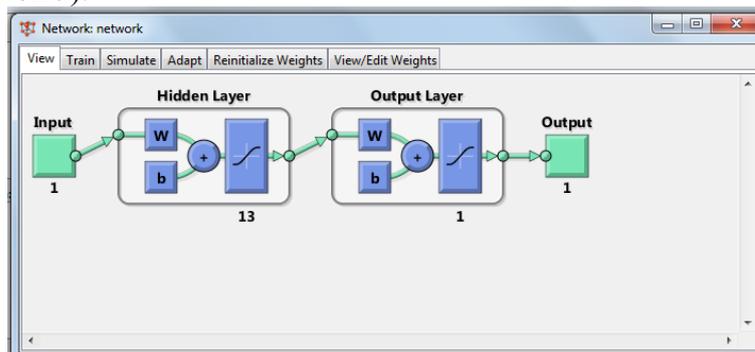


Рисунок 5. – Структура полученной нейронной сети

Для обучения полученной нейронной сети вводим данные, которые мы получили в ходе предыдущих испытаний. После этого запускаем процесс обучения сети и проводим это до того периода, когда процент ошибки не станет очень низким. Обучение сети может занять продолжительный период времени, исходя из объема базы данных. Результаты обучения можно посмотреть в окне, которое появляется после окончания операции обучения (см. рисунок 6). В процессе создания и обучения сети необходима большая база данных для прогнозирования выходных параметров с минимальным процентом ошибок.

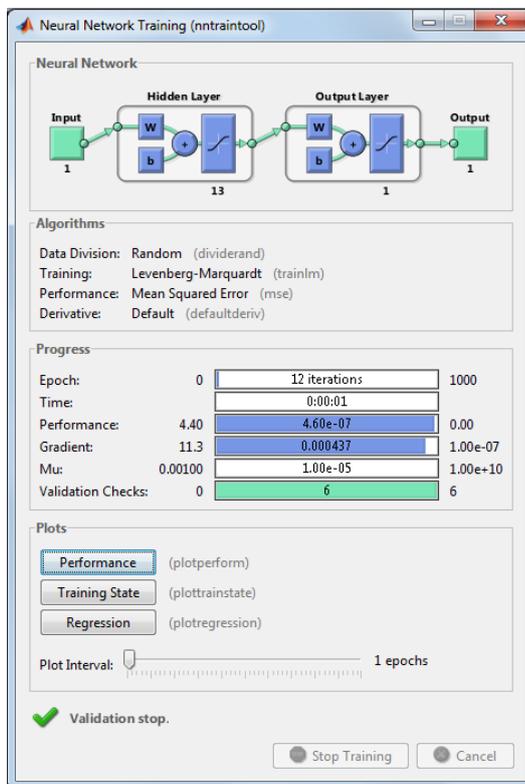


Рисунок 6. – Обученная нейронная сеть

#### Литература

1. 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.
2. Кряжев Ю.А. и др. Прогнозирование шероховатости при иглофрезеровании методом акустической эмиссии (статья). Вестник Алтайской науки. - №2-1.- 2013.- С. 30-33.
3. Афанасьева М. А. Создание и обучение нейронных сетей в системе Matlab [Текст] / М. А. Афанасьева // Молодой ученый. — 2014. — №4.

### ДИАГНОСТИКА И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОРЦОВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ МЕТОДОМ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Горин Е. Ю. - аспирант, Юнин А.А. - магистрант, Кряжев Ю. А.- к. т. н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Одним из наиболее распространенных методов обработки материалов резанием в современном машиностроении, особенно при изготовлении деталей сложной формы, является фрезерование. Важным моментом при обработке деталей сложной формы является наличие тонкостенных консольных элементов с малой жесткостью. При этом известно, что торцовое фрезерование сопровождается нестабильностью срезания металла, которая связана с кинематикой и динамикой этого процесса обработки. В связи с этим, при торцовом

фрезеровании возникают как вынужденные колебания, так и автоколебания, связанные с проявлением регенеративного эффекта. Вибрации технологической системы, возникающие при фрезеровании, оказывают большое влияние на точность обработки и стойкость режущего инструмента. При появлении колебаний режущего инструмента относительно обработанной поверхности, его стойкость снижается пропорционально квадрату амплитуды и на заготовке возникают погрешности поперечного сечения, образуется волнистость и увеличивается шероховатость обработанной поверхности.

Степень устойчивости технологической системы определяет её способность рассеивать энергию, вносимую внешним воздействием, и может быть оценена по скорости затухания отклонений в переходных процессах [1]. Чем больше степень устойчивости в данной частной составляющей динамической системы, тем быстрее затухает переходный процесс врезания режущих зубьев, тем меньше отклонения в установившемся процессе фрезерования. Управление этими процессами является одним из резервов повышения производительности и качества обработки резанием.

Обеспечение требуемого качества деталей машин при металлообработке неразрывно связано с задачей управления заданными параметрами микропрофиля (шероховатости) обрабатываемой поверхности. Формирование микропрофиля (шероховатости) обрабатываемой поверхности связано с процессами упруго-пластического деформирования, разрушения и образования новых поверхностей. Поэтому одним из наиболее информативных показателей, позволяющих определить шероховатость, является функционал работы, который можно оценить по спектру сигнала виброакустической эмиссии, снимаемого непосредственно в процессе резания. [2]. Для решения указанных задач были проведены динамические исследования специально спроектированной торцовой фрезы.

Эксперименты проводились на фрезерном станке ГФ-2171 с УЧПУ FMS 3000 при различных режимах фрезерования заготовки из легированной стали 18X12H10T торцовой фрезой с регулируемой жёсткостью. Для регулирования жёсткости торцовой фрезы используются резиновые и стальные вставки (демпфирующие элементы), количество которых может изменяться в зависимости от требуемых условий резания и значений собственной частоты режущего инструмента.

Одновременно с процессом резания проводилась запись сигналов акустической эмиссии. Запись осуществлялась с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) L-card L780M с частотой дискретизации до 400 кГц. По окончании эксперимента проводилось измерение шероховатости обработанной поверхности заготовки на профилографе-профилометре «HOMMEL TESTER W55».

Для наглядного представления сложных зависимостей между шероховатостью  $R_a$  и параметрами акустической эмиссии  $A_{cp}$  и  $\dot{N}$ , при торцовом фрезеровании на рисунке 2 представлены графы связей. Числа над рёбрами означают величину коэффициентов парной корреляции. Анализируя полученные графы связей, можно отметить, что шероховатость  $R_a$  обработанной поверхности при фрезеровании наиболее тесно связана со скоростью счета –  $\dot{N}$  сигнала акустической эмиссии.

Используя метод наименьших квадратов, были установлены зависимости параметра шероховатости  $R_a$  от параметров сигнала АЭ ( $A_{cp}$ ,  $\dot{N}$ ) и построены поверхностные графики для наглядного отображения этих зависимостей (см. рисунок 3).

Полученные зависимости для демпфирующих элементов из стали -  $R_a = 17,2593 + 0,2906A_{cp} + 0,008\dot{N}$  и из резины -  $R_a = 13,3524 + 0,1725V + 0,0014\dot{N}$  могут быть использованы для прогнозирования параметров качества обработанной поверхности при фрезеровании на станках с ЧПУ.

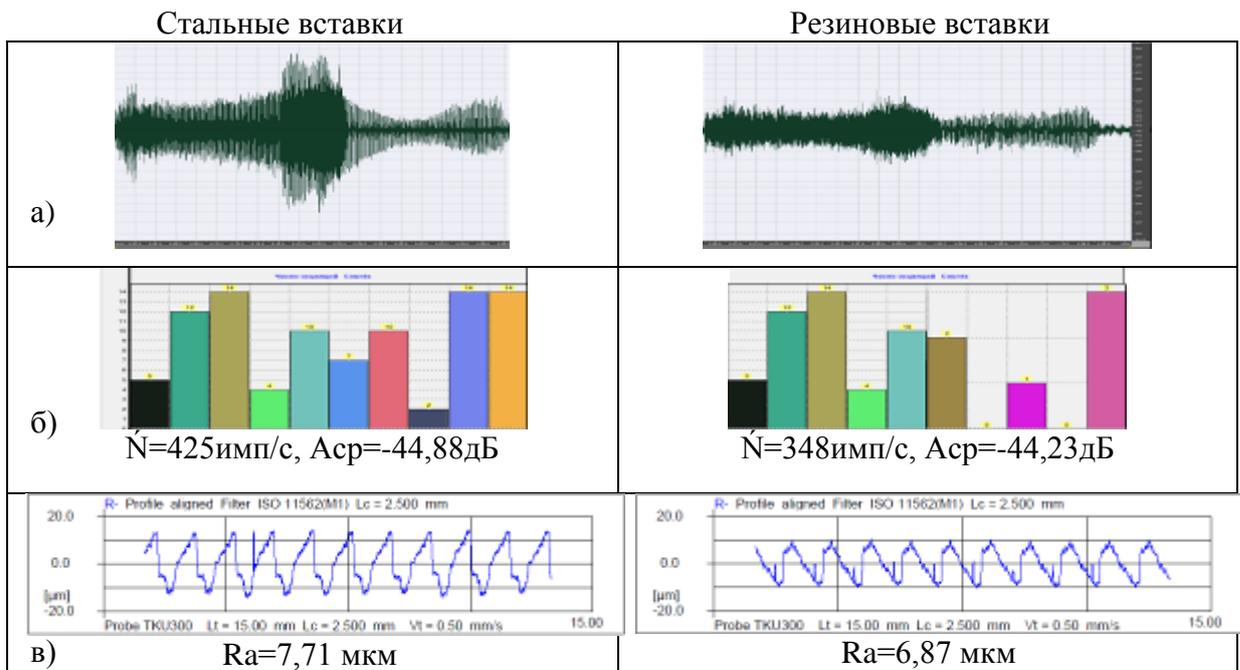


Рисунок 1. – Результаты измерения шероховатости на профилографе-профилометре «HOMMEL TESTER W55» на режимах резания -  $t=1$ мм,  $S_m=960$  мм/мин,  $V=314$  м/мин: а) – осциллограммы сигналов акустической эмиссии для образцов со стальными и резиновыми демпфирующими вставками; б) – результаты анализа сигналов акустической эмиссии ( $\dot{N}$  – скорости счета акустической эмиссии;  $A_{cp}$  - средняя амплитуда); в) – результаты измерения шероховатости на профилографе-профилометре «HOMMEL TESTER W55».



Рисунок 2. – Графы связей шероховатости  $Ra$  от параметров сигнала АЭ: скорости счета  $\dot{N}$  и средней амплитуды  $A_{cp}$  для демпфирующих элементов из а) стали и б) резины

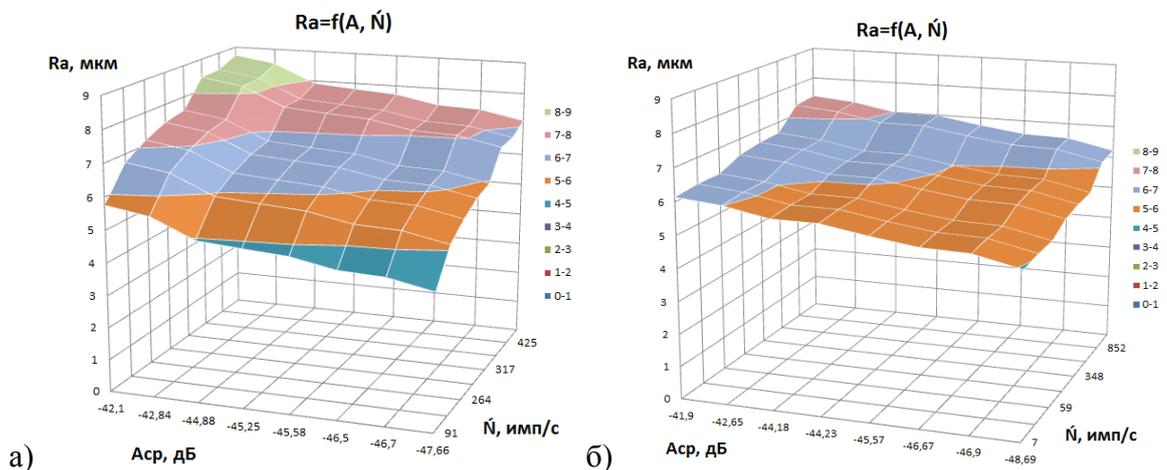


Рисунок 3. – Поверхностный график, отображающий зависимости параметра шероховатости Ra от параметров сигнала АЭ: скорости счета  $\dot{N}$  и средней амплитуды  $A_{ср}$  для демпфирующих элементов из а) стали и б) резины

Выводы:

1) Сигнал АЭ является одним из наиболее информативных показателей, позволяющих диагностировать и прогнозировать параметр шероховатости Ra, обработанной поверхности и может быть использован для адаптивного управления технологической системой.

2) На исследуемых режимах резания параметр АЭ – скорость счета  $\dot{N}$  является более информативным показателем для оценки шероховатости Ra обработанной поверхности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жарков, И. Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом [Текст] / И. Г. Жарков. – Л.: Машиностроение, 1986. – 184 с.: ил.

2. Е.Ю. Горин А.Ю. Кряжев, Е.Ю. Татаркин, Ю.А. Кряжев Прогнозирование качества обработанной поверхности при фрезеровании на станках с ЧПУ [Текст] Инновации в машиностроении – основа технологического развития России: материалы VI международной научно-технической конференции: Часть 1/под ред. А.Г. Суслова, А.М. Маркова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2014. – С129-134.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИГНАЛА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ И КОНТРОЛЯ ВЕЛИЧИНЫ ИЗНОСА ФЕРРОМАГНИТНОГО ПОРОШКА

Гребеньков Р.В. – студент, Иконников А.М. – к.т.н., доцент,  
Татаркин Е.Ю. – д.т.н., профессор

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

К одной из специфических особенностей металлообработки относится высокий уровень звуковых колебаний. Звук, являющийся сигналом акустической эмиссии, можно использовать в полезных целях. Перспективным видится использование сигнала акустической эмиссии при магнитно-абразивной обработке для контроля величины износа магнитного порошка и управления процессом обработки.

В ходе исследования было предположено, что спектр акустической эмиссии зависит от степени износа магнитного порошка. Для подтверждения выдвинутой гипотезы, был проведен эксперимент, в котором износ порошка моделировался изменением величины рабочего зазора между корпусом магнитного индуктора и обрабатываемой поверхностью экспериментального образца (рисунок 1).

Была разработана экспериментальная установка, приведенная на рисунке 2. В шпинделе 1 вертикально-фрезерного станка с ЧПУ ГФ 2171 установлен цилиндрический магнитный индуктор 2, на столе станка 3 установлены тиски 4 с обрабатываемой заготовкой 5, так же вблизи зоны обработки на штативе 6 установлен микрофон 7, соединенный с блоком обработки сигнала.

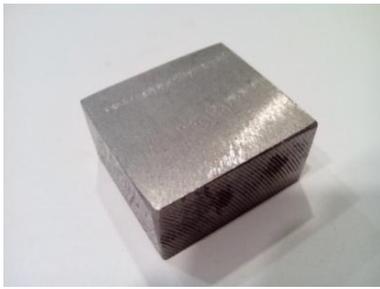


Рисунок 1 –  
Экспериментальный образец



Рисунок 2 – Экспериментальная установка

Моделирование износа ферромагнитного порошка производилось изменением рабочего зазора от 0,5 мм до 2 мм непрерывно с величиной подачи 0,5 мм/мин. При проведении эксперимента образовывался сигнал акустической эмиссии от работы станка, а также от обработки заготовки, который фиксировался в звукозаписывающем программном обеспечении.

В результате был получен звуковой файл. После изучения сигнала акустической эмиссии был сделан вывод о том, что спектр звукового сигнала изменяется, в зависимости от величины рабочего зазора. Спектр звука, записанного в эксперименте, имеет вид, представленный на рисунке 3. На представленном графике видно, что с увеличением рабочего зазора спектр звукового сигнала претерпевает изменения. Основные изменения происходят на частоте 13000 Гц. На данной частоте спектра сигнала амплитуда колебаний имеет максимальное изменение по модулю, равное 15 децибел. Поэтому дальнейшее изучение будет проводиться именно на этой частоте сигнала.

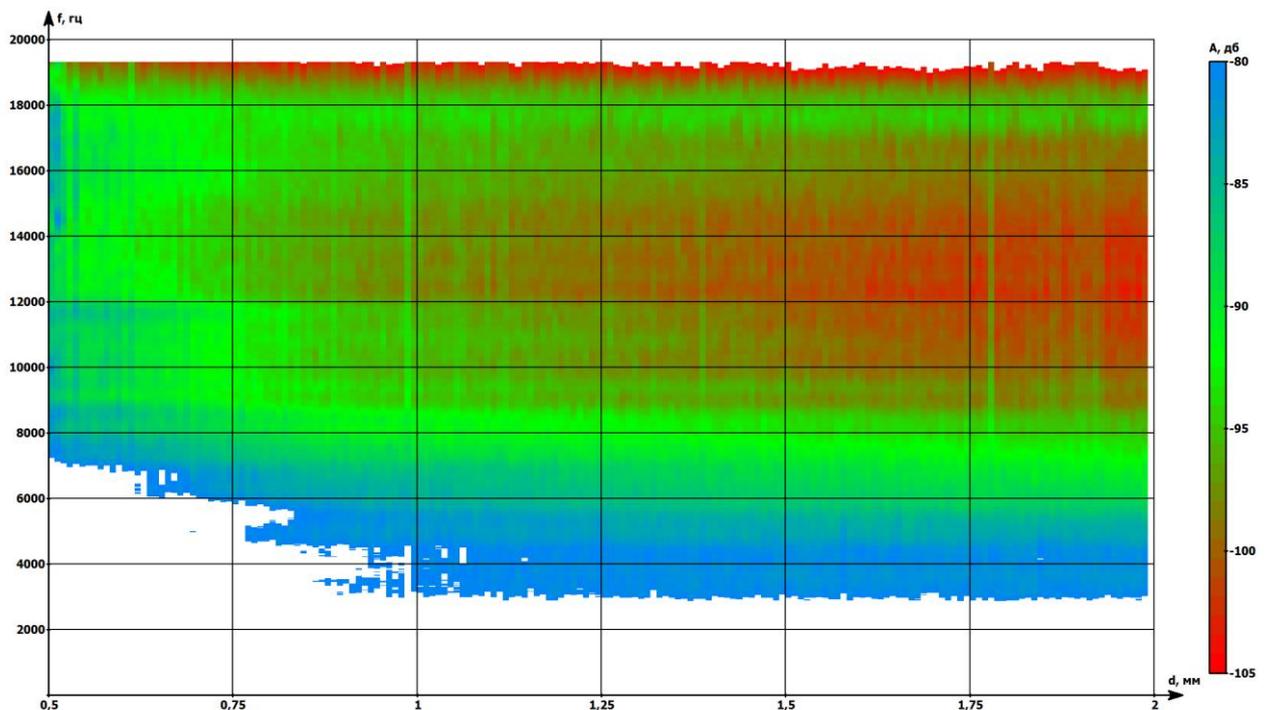


Рисунок 3 – Спектр сигнала акустической эмиссии  
в зависимости от величины рабочего зазора

Известно, что величина рабочего зазора влияет на удельный съём металла. На рисунке 4 показана зависимость съёма металла от величины рабочего зазора.

Аппроксимируя графическую зависимость на рисунке 4 при помощи средств MS Excel, получим числовую зависимость удельного съёма металла от величины рабочего зазора:

$$q = 2.28 \cdot 10^{-5} \cdot d^{-1.23} \quad (1)$$

Также, из графика 3 получим графическую зависимость, выявленную по экспериментальным данным, амплитуды звукового сигнала от величины рабочего зазора, приведенную на рисунке 5.

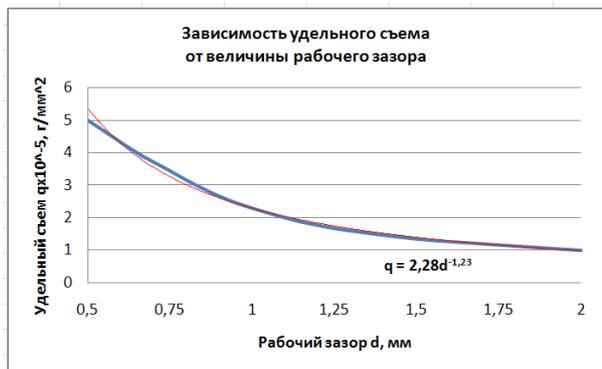


Рисунок 4 – Влияние рабочего зазора на удельный съём металла

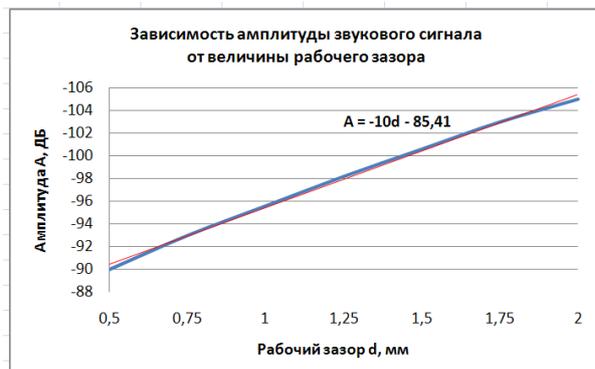


Рисунок 5 – Влияние рабочего зазора на амплитуду звукового сигнала

Также, аппроксимируя графическую зависимость на рисунке 5, получим числовую:

$$A = -10d - 85.41 \quad (2)$$

После математических преобразований выражений (1) и (2) получим числовую зависимость удельного съёма материала от амплитуды звукового сигнала:

$$q = 2.28 \cdot 10^{-5} \cdot (-0.1A - 8.54)^{-1.23} \quad (3)$$

Графическое представление зависимости (3) имеет вид, представленный на рисунке 6.

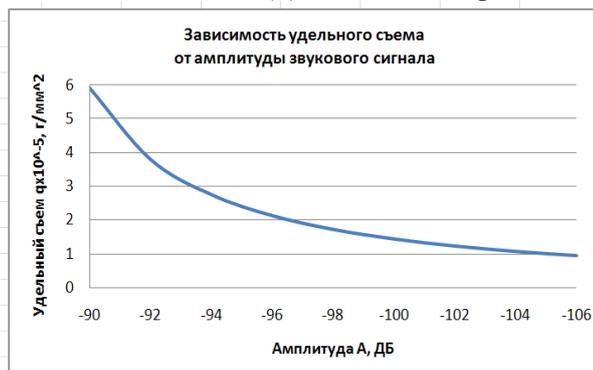


Рисунок 6 – Влияние амплитуды звукового сигнала на удельный съём металла

В результате получена зависимость удельного съёма металла с поверхности экспериментального образца от амплитуды сигнала акустической эмиссии и величины рабочего зазора:

$$q = 10^{-5} \cdot (d^{-1.23} + (-0.1A - 8.54)^{-1.23}) \quad (4)$$

Представленная числовая зависимость имеет графическое представление в виде трехмерного графика, представленного на рисунке 7.

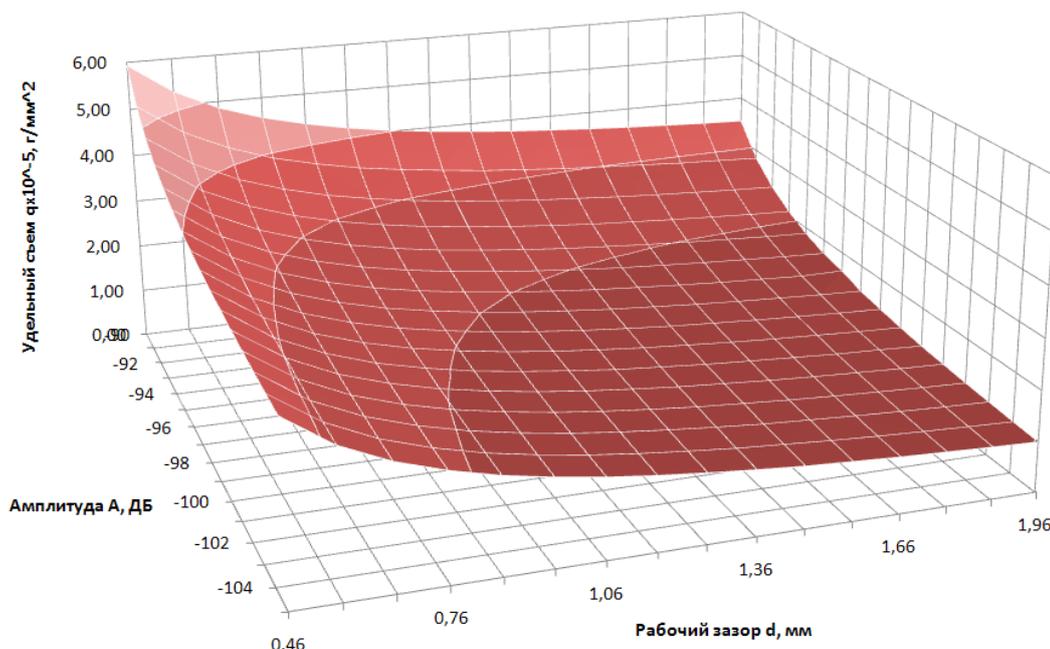


Рисунок 7 – Влияние амплитуды звукового сигнала и величины рабочего зазора на удельный съем металла

Как было отмечено выше, изменением величины рабочего зазора был моделирован износ магнитно-абразивного порошка, поэтому можно сделать окончательный вывод о том, что в процессе магнитно-абразивной обработки при постепенном износе порошка на частоте 13000 Гц амплитуда звукового сигнала претерпевает максимальные изменения. Результатом работы является полученная зависимость удельного съема материала от амплитуды звукового сигнала при необходимом рабочем зазоре, при помощи которой возможно управлять процессом магнитно-абразивной обработки и контролировать величину износа ферромагнитного порошка.

#### Литература

1. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов.-Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986.-176с : ил.

### ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ФРЕЗЕРНО-ГРАВИРОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Потапов И.С.- студент, Белоплов С.В. - студент, Балашов А.В.,-к.т.н., доцент,  
Черданцев А.О. - инженер

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

Для изготовления сувениров, рекламной продукции, мебельной фурнитуры, печатной продукции, печатей, мелких машиностроительных деталей широко используются фрезерно-гравировальные станки.

Фрезерно-гравировальный станок (рисунок 1), как правило, имеет неподвижный стол 1 котором закреплены направляющие 2. По направляющим 2 перемещается портал 3 с высокоскоростным шпинделем 4. Перемещение реализуется с помощью шариковинтовых передач 5, получающих движение от шаговых двигателей 6. Станки комплектуются системами числового программного управления.

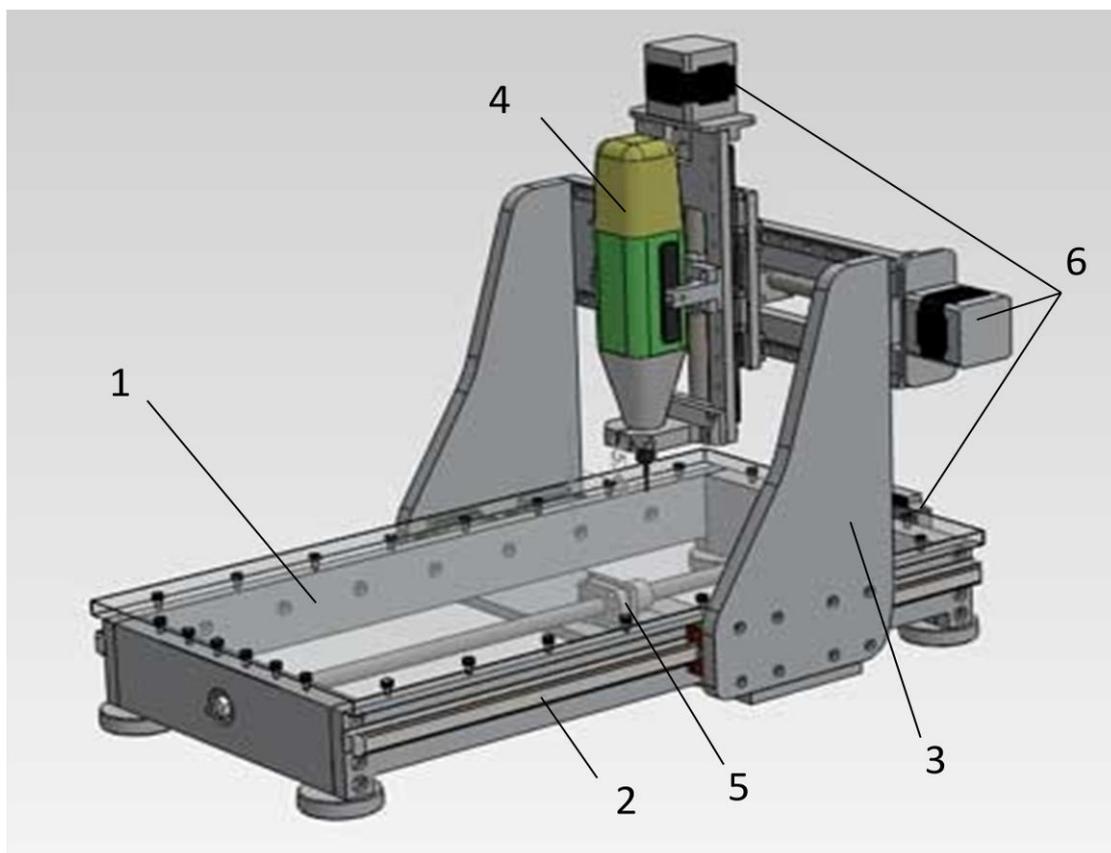


Рисунок 1 – Схема фрезерно-гравировального станка [1]

Предприятия – изготовители фрезерно-гравировальных производят станки различных комплектации и размеров. Например, предприятие StepMotoren, Россия, г. Новосибирск [2] производит линейку фрезерных станков с различными габаритными размерами (таблица 1, рисунок 2)

Таблица 1 - Характеристики фрезерно-гравировальных станков предприятия StepMotoren

| Модель                   | Lynx 3D-020  | Lynx 3D-010  | Esfero 3D-007  |
|--------------------------|--|--|--|
| 1                        | 2  | 3  | 4  |
| Размер стола             | 400 x 550 мм   | 500 x 830 мм   | 1200 x 2700 мм   |
| Рабочая область (X,Y, Z) | 270 x 400 x 120 мм   | 340 x 630 x 120мм  | 1200 x 2500 x 200 мм   |
| Шаг                      | 0.003 мм   | 0.003 мм   | 0.01 мм  |
| Повторяемость            | 0,05 мм  | 0,05 мм  | 0,05 мм  |
| Процессор ЧПУ            | NC-Studio v5.<br>Микрошаговый контроллер XYZ (AYZ). Управление шпинделем. Датчики НОМЕ позиции.<br>Кнопка аварийного отключения.<br>Принудительное (воздушное) охлаждение драйверов.<br>Опция: Драйвер для подключения | NC-Studio v5.<br>Микрошаговый контроллер XYZ (AYZ). Управление шпинделем. Датчики НОМЕ позиции.<br>Кнопка аварийного отключения.<br>Принудительное (воздушное) охлаждение драйверов.<br>Опция: Драйвер для подключения | NC-Studio v5.<br>Микрошаговый контроллер XYYZ (AYYZ). Управление шпинделем. Датчики НОМЕ позиции.<br>Кнопка аварийного отключения.<br>Принудительное (воздушное) охлаждение драйверов.<br>Опция: Драйвер для подключения |

| Модель                  | Lynx 3D-020  | Lynx 3D-010   | Esfero 3D-007  |
|-------------------------|--|---|--|
|                         | поворотной оси <a href="#">Lynx 4D</a>   | поворотной оси <a href="#">Lynx 4D</a>  | поворотной оси <a href="#">Lynx 4D</a>   |
| Линейные направляющие Y | Полированные закаленные рельсовые валы 16мм  | Профильные направляющие Hiwin 20мм  | Профильные направляющие Hiwin 20мм   |
| Линейные направляющие X | Полированные закаленные рельсовые валы 16мм.<br>Опция: Профильные направляющие Hiwin 15мм  | Профильные направляющие Hiwin 20мм  | Профильные направляющие Hiwin 20мм   |
| Линейные направляющие Z | Профильные направляющие Hiwin 20мм   | Профильные направляющие Hiwin 20мм  | Профильные направляющие Hiwin 20мм   |
| Система передач         | ШВП (Шарико-Винтовые пары) 16мм  | ШВП (Шарико-Винтовые пары) 16мм   | Координаты X, Y - Зубчатая рейка, редуктор, шаговый двигатель NEMA 34. Координата Z - ШВП (Шарико-Винтовая пара) 16мм, шаговый двигатель NEMA 34 |
| Скорость max.           | 2500 мм/м  | 2500 мм/м (3500)  | 10000 мм/м (15000мм/м)   |
| Шпиндель (Германия)     | Частота вращения. 10000-30000 об./мин.<br>Мощность 1050 Вт.<br>Зажимная цанга 8 мм (Возможность установки: 3мм; 3.175мм; 4мм; 6мм) | Скорость 10000-30000 об./мин.<br>Мощность 1050 Вт.<br>Зажимная цанга 8 мм (Возможность установки: 3мм; 3.175мм; 4мм; 6мм) | Электрический шпиндель водяного охлаждения.<br>Скорость 8000-24000 об./мин.<br>Мощность 2200 Вт.<br>Цанговый зажим ER-20 (до 12мм)               |
| Рабочий стол            | Цельная алюминиевая плита с T-слотами  | Усиленный алюминиевый профиль (произв. Россия) с т-образными пазами, стальной швеллер                                     | Усиленный алюминиевый профиль (произв. Россия) с т-образными пазами  |
| Вес станка              | не более 60кг  | не более 90кг   | не более 800кг   |
| Электропитание          | 220 В / 1500Вт / 50Гц.   | 220 В / 2500Вт / 50Гц.  | 220 В / 3500Вт / 50Гц.   |
| Управляющая программа   | NC-Studio v5. или Mach3  | NC-Studio v5. или Mach3   | NC-Studio v5. или Mach3  |



Рисунок 2 – Фрезерно-гравировальные станки

Несмотря на то, что станки имеют различные габариты спроектированы по единой компоновке, изображенной на рисунке 1, и состоят из подобных деталей и сборочных единиц (шпиндель, линейные направляющие, система передач и т.д.). Поэтому для сокращения времени конструирования станка необходимо использовать инструменты параметрического моделирования в графических системах SolidWorks, AutoCad, Компас, T-Flex Cad и др.

От традиционных методов разработки деталей параметрическое моделирование отличается весьма существенно. Приступая к нему, конструктор в первую очередь начинает решать такие задачи, как создание математической модели того объекта, который ему предстоит разработать, причем с учетом того обстоятельства, что изменение отдельных ее параметров ведет к тому, что существенно изменяется общая конфигурация детали, или же взаимное расположение отдельных деталей друг относительно друга в единой сборке.

Используя данный принцип в АлтГТУ создана в среде SolidWorks параметрические модели деталей направляющего элемента.

Так изменяя размеры подшипника скольжения (рисунок 3) автоматически перестраивается и направляющий элемент (рисунок 4).

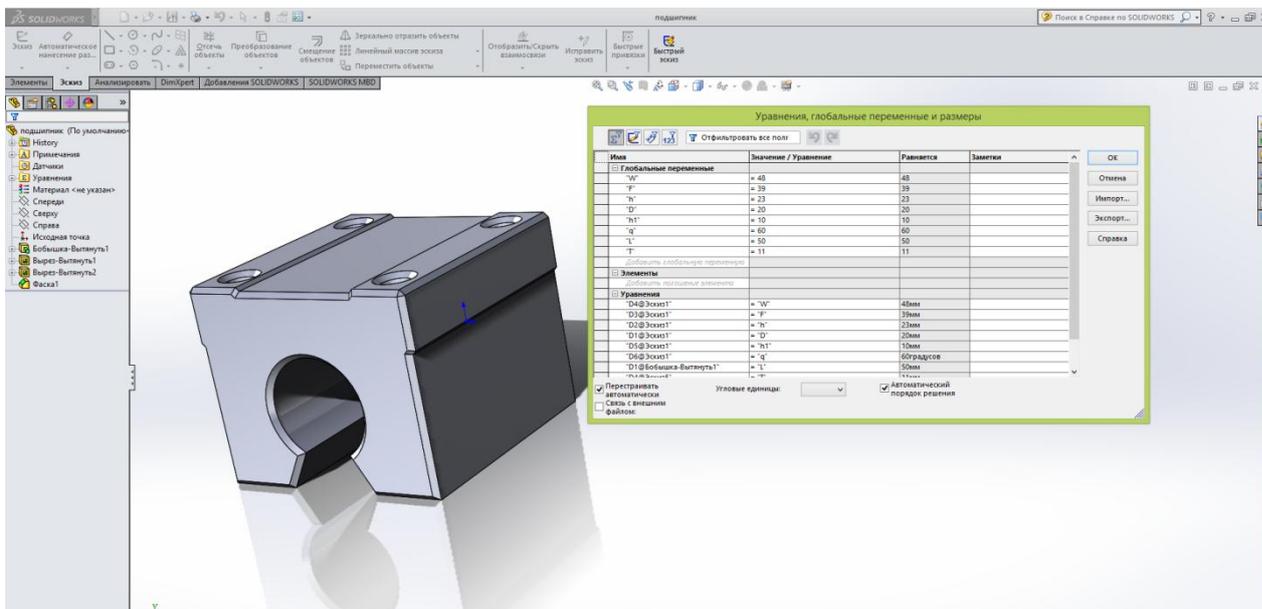


Рисунок 3 – Подшипник скольжения

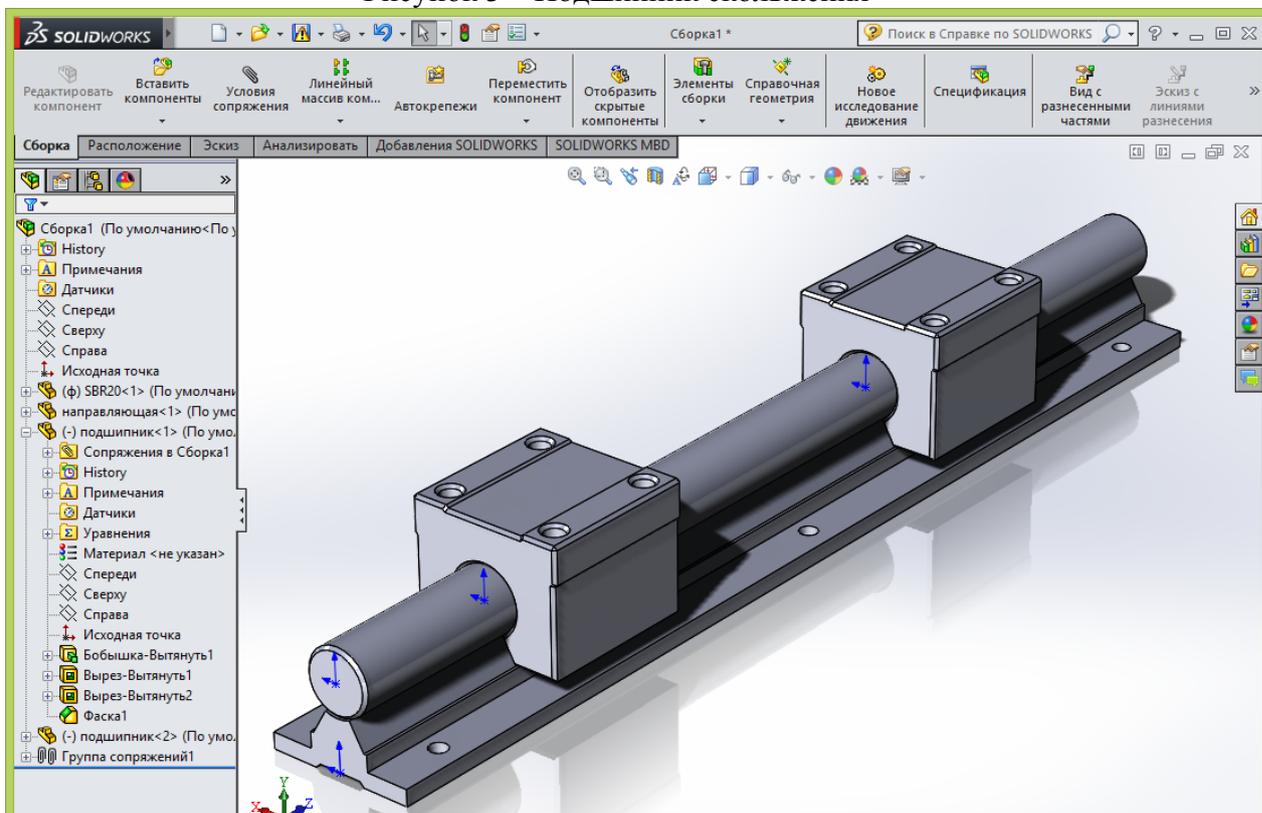


Рисунок 4 - Направляющий элемент

Использование параметрических моделей деталей и узлов станка позволит сократить время проектирования.

Использованные источники:

1. <http://www.cnczone.ru/forums/lofi/version/index.php/t3164.html>
2. <http://step3d.ru>

## ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ВЕЛИЧИНУ АБСОЛЮТНОГО УДЛИНЕНИЯ ВТУЛОК ПРИ ДОРНОВАНИИ

Дереза А.Н. – магистрант, Примеров О.И. – магистрант, Буканова И.С. – к.т.н., доцент,  
Ягло И.И. - к.т.н., доцент

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

Неподвижные соединения нашли широкое применение в изделиях машиностроения. К их рабочим поверхностям предъявляются особые требования по параметрам износостойкости, прочности, твердости, теплопроводности, и др. Элементы соединения в таких случаях целесообразно изготавливать из различных материалов. Корпус при этом может быть выполнен из более простого и дешевого, чем втулка, материала.

Особое место среди неподвижных соединений занимают соединения типа «корпус-втулка». Анализ теоретических исследований и существующих производственных технологий показал, что наиболее эффективно с экономической и технологической точки зрения получать неподвижные соединения типа «корпус - втулка» методами упрочняющее - калибрующей технологии [1, 2]. В частности к таким технологиям относится процесс дорнования отверстий охватываемой детали, установленной в охватывающую с гарантированным зазором или натягом.

Дорнование отверстий с натягами относится к точным формообразующим способам обработки и сборки деталей без снятия стружки, которые основаны на способности пластических материалов приобретать под действием внутреннего радиального давления большие остаточные деформации без разрушения заготовок при значительных изменениях первоначальных размеров.

Этот метод заключается в том, что охватываемая деталь (втулка) устанавливается с некоторым монтажным зазором в охватывающую деталь (корпус); перед сборкой обеспечивается требуемое осевое взаимное положение деталей (рисунок 1).

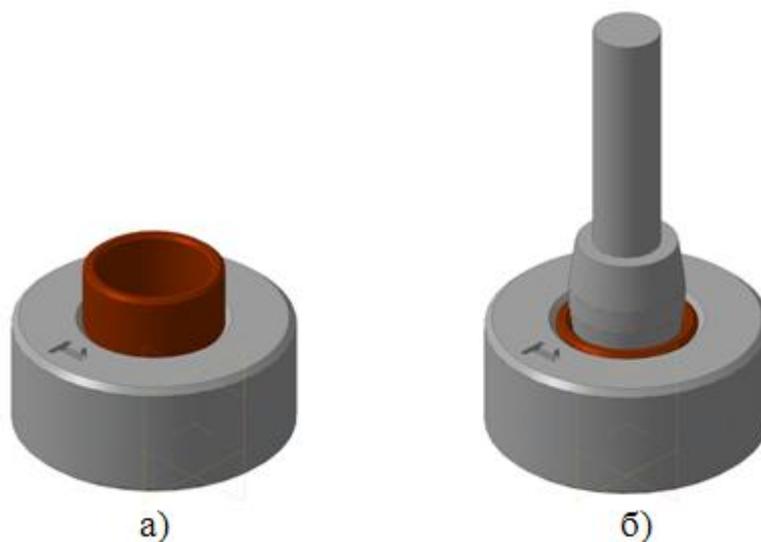


Рисунок 1 – Сборка соединения типа «корпус-втулка».

а) установка втулки в корпус; б) дорнование неподвижного соединения

Так как при дорновании отверстий неподвижных соединений обычно осуществляется пластическое деформирование определенных слоев металла, то напряжения в них могут значительно превосходить предел текучести. Естественно, что при этом, ввиду постоянства объема при пластической деформации металла, будет меняться не только внутренний диаметр, но и длина втулки. Анализ графика (рисунок 2) показывает, что удлинение втулок

при дорновании с одним и тем же относительным натягом тем больше, чем тоньше их сечение, то есть чем меньше отношение  $d_1/d_0$ .

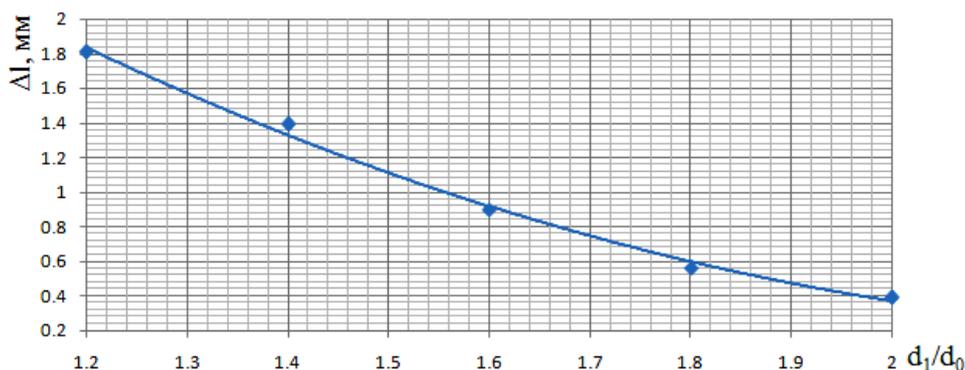


Рисунок 2 – Зависимость абсолютного удлинения  $\Delta l$  втулок после дорнования их отверстий от относительной толщины стенки  $d_1/d_0$ . Материалы втулки и корпуса – Сталь 45. ( $d_0=10$ мм;  $D_1=40$ мм;  $i_0=0,5$ мм)

По данным рисунка 3, например, видно, что при дорновании неподвижных соединений удлинение втулки с толщиной стенки 2мм ( $d_1/d_0 = 1,2$ ) больше, чем у втулки с толщиной стенки 6 мм ( $d_1/d_0 = 1,6$ ) во всем принятом интервале натягов.

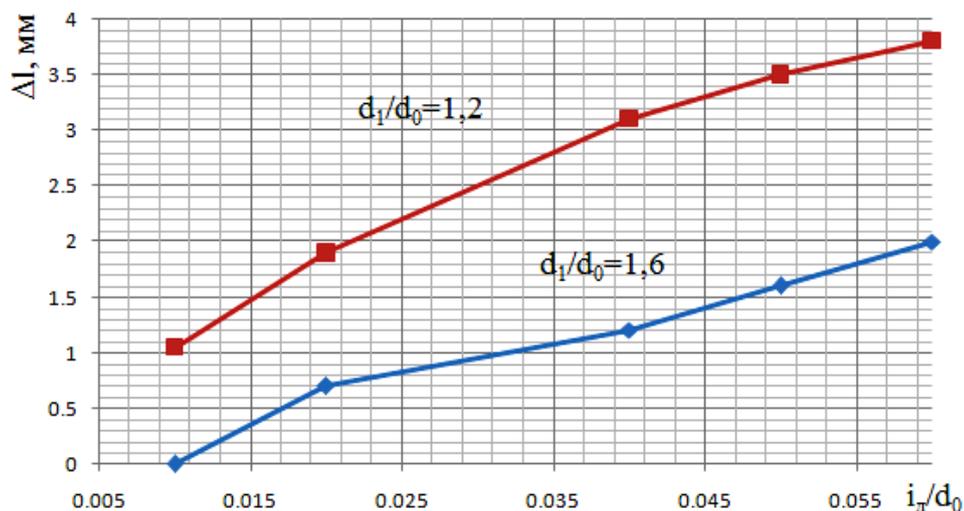


Рисунок 3 - Зависимость абсолютного удлинения  $\Delta l$  втулок от относительного натяга дорнования  $i_d/d_0$ . ( $d_0=20$ мм;  $D_1/D_0=1,6$ )

Удлинение втулки, когда пластическая деформация достигает её наружной поверхности, происходит по всему сечению стенки втулки. Сдвиг металла в осевом направлении только у поверхности отверстия наблюдается на глубине проникновения пластической деформации при работе в упругопластическом режиме деформирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проскуряков Ю.Г. Новые процессы дорнования отверстий / Ю.Г. Проскуряков // Вестник машиностроения. – 1973. - №3.- с.51.
2. Проскуряков Ю.Г. Дорнование отверстий тонкостенных деталей в обоймах / Ю.Г. Проскуряков // Вестник машиностроения. – 1971. - №12. - с.37.

## ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ВЕЛИЧИНУ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ДОРНОВАНИИ

Дереза А.Н. – магистрант, Примеров О.И. – магистрант, Буканова И.С. – к.т.н., доцент,  
Ятло И.И. – к.т.н., доцент

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

В условиях производства при сборке неподвижных соединений, используются втулки разнообразных форм и размеров. Поэтому важно знать влияние конструктивных параметров деталей и самих узлов на величину упругих и остаточных деформаций элементов соединения.

С изменением размеров сопрягаемых деталей меняются и условия деформирования металла, что приводит к изменению величин деформаций по внутреннему и наружному диаметрам соединения.

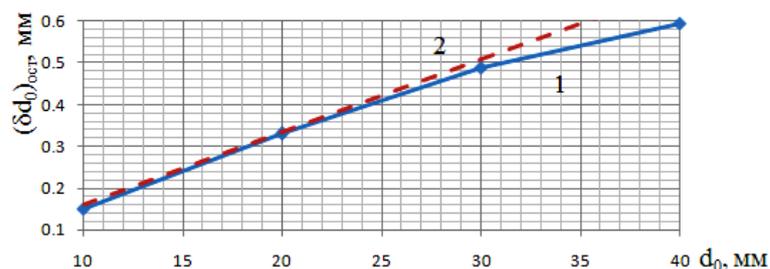


Рисунок 1 – Зависимость остаточной деформации по отверстию  $(\delta d_0)_{ocm}$  от диаметра обрабатываемого отверстия  $d_0$  при дорновании неподвижных соединений. Материалы втулки и корпуса – Сталь 40Х. ( $d_1/d_0=1,6$ ;  $D_1/D_0=2,0$ ;  $i_d/d_0=0,02$ ). Зависимости:

1 – экспериментальная, 2 – теоретическая.

Увеличение номинального диаметра обработанного дорнованием отверстия неподвижного соединения вызывает рост абсолютной величины остаточных деформаций по внутреннему диаметру (рисунок 1). Однако, относительная величина  $(\delta d_0)_{ocm}/d_0$  для всех размеров неподвижных соединений, составленных из одних и тех же материалов, примерно одинакова, для конкретного случая составляет 0,015.

Увеличение относительной толщины стенки втулки  $d_1/d_0$  неподвижного соединения при обработке с одинаковым натягом дорнования вызывает уменьшение величины радиальных остаточных деформаций по внутреннему диаметру (рисунок 2).

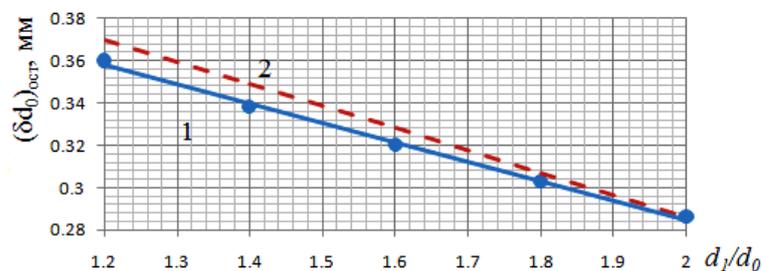


Рисунок 2 – Зависимость остаточной деформации по отверстию  $(\delta d_0)_{ocm}$  от относительной толщины стенки втулки  $d_1/d_0$ . Материалы втулки и корпуса сталь 45. ( $d_0=10$ мм;  $D_1=40$ мм;  $i_d=0,5$ мм). Зависимости: 1 – экспериментальная, 2 – теоретическая.

Зависимость показывает, что с увеличением относительной толщины стенки втулки с  $d_1/d_0=1,2$  до  $d_1/d_0=2,0$  величина  $(\delta d_0)_{ocm}$  уменьшилась на 76%. По графику можно также установить, что после достижения

некоторой предельной толщины стенки дальнейшее её увеличение не вызывает изменения величин остаточных деформаций по отверстию. Это явление вызывается превышением доли упругих деформаций над остаточными.

Как видно из графиков, теоретические и экспериментальные результаты исследований достаточно близки (рисунки 1, 2).

Увеличение относительных натягов до  $i_d/d_0=0,04$  и изменение относительной толщины стенки втулки в пределах  $d_1/d_0 = 1,2 - 1,4$  почти не изменяет значение величины  $(\delta d_0)_{ост}$  (рисунок 3). При дальнейшем увеличении относительных натягов наблюдается более значительное увеличение величин  $(\delta d_0)_{ост}$  у соединений с  $d_1/d_0 = 1,2$ .

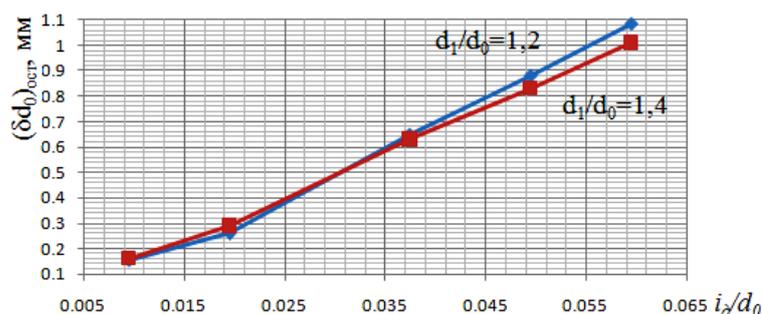


Рисунок 3 - Зависимость остаточной деформации по отверстию втулки  $(\delta d_0)_{ост}$  от относительного натяга дорнования  $i_d/d_0$ . Материалы: втулки латунь ЛС59-1, корпуса – Сталь 40х. ( $d_0=20$ мм;  $D_1/D_0=1,6$ )

Остаточные деформации по наружному диаметру корпуса  $(\delta D_1)_{ост}$  становятся значительно большими в соединениях с относительной толщиной стенки втулки  $d_1/d_0 = 1,2$ , чем с  $d_1/d_0 = 1,4$  (рисунок 4). Увеличение относительной толщины стенки корпуса незначительно изменяет значение величины  $(\delta d_0)_{ост}$  (рисунок 5), а при дорновании с относительным натягом  $i_d/d_0=0,02$  на величины остаточных радиальных деформаций по внутреннему диаметру не оказывает влияние ни толщина стенки корпуса, ни механические свойства металлов сопрягаемых деталей. С дальнейшим увеличением относительного натяга дорнования влияние относительной толщины стенки корпуса на величину  $(\delta d_0)_{ост}$  сказывается заметнее.

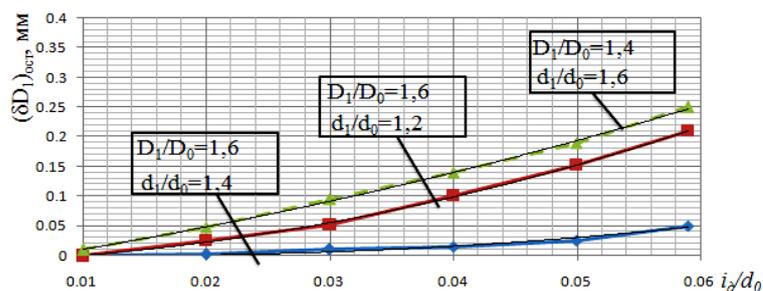


Рисунок 4 - Зависимость остаточной деформации по наружному диаметру корпуса  $(\delta D_1)_{ост}$  от относительного натяга дорнования  $i_d/d_0$ . Материалы: втулки – латунь ЛС59-1, корпуса – Сталь 40х. ( $d_0=20$ мм)

Несколько иной характер имеет зависимость остаточной деформации корпуса  $(\delta D_1)_{ост}$  по наружному диаметру неподвижного соединения от относительного натяга дорнования и толщины стенки корпуса (рисунок 6). С увеличением относительной толщины стенки корпуса величина  $(\delta D_1)_{ост}$  интенсивно уменьшается, а в зависимости от относительного натяга дорнования эта величина растет примерно по прямолинейной зависимости. Такая зависимость характерна для неподвижных соединений, полученных из любых материалов.

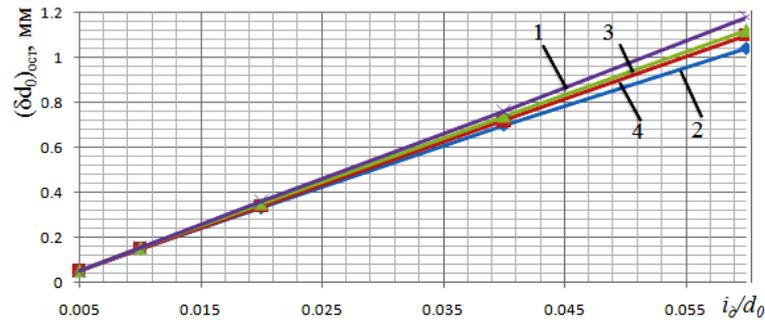


Рисунок 5 - Зависимость остаточной деформации по отверстию втулки  $(\delta d_0)_{ост}$  от относительного натяга дорнования  $i_d/d_0$ . Материалы: втулки – латунь ЛС59-1, корпуса – Сталь 40х: 1 -  $D_1/D_0=1,4$ ; 2 -  $D_1/D_0=2,0$ . Материалы втулки и корпуса – Сталь 40Х: 3 -  $D_1/D_0=1,4$ ; 4 -  $D_1/D_0=2,0$  ( $d_0=20\text{мм}$ ;  $d_1/d_0=1,6$ )

Как видно из рисунка 6, с увеличением относительной толщины стенки корпуса сходимость экспериментальных и теоретических значений величин  $(\delta D_1)_{ост}$  повышается.

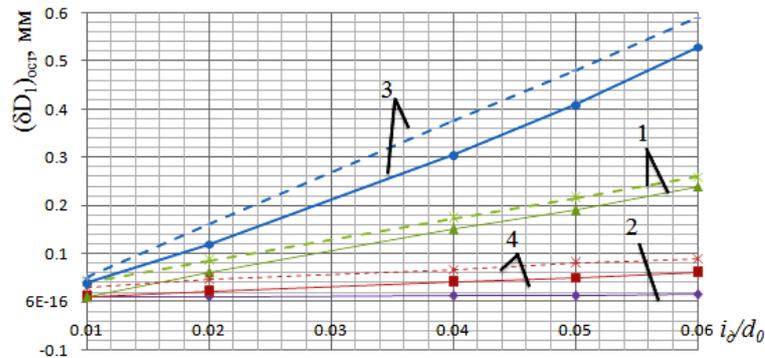


Рисунок 6 - Зависимость остаточной деформации по наружному диаметру корпуса  $(\delta D_1)_{ост}$  от относительного натяга дорнования  $i_d/d_0$  запрессованных втулок. Материалы: втулки – латунь ЛС59-1, корпуса – Сталь 40х. ( $d_0=20\text{мм}$ ): 1 -  $D_1/D_0=1,4$ ; 2 -  $D_1/D_0=2,0$ . Материалы втулки и корпуса – Сталь 40Х: 3 -  $D_1/D_0=1,4$ ; 4 -  $D_1/D_0=2,0$  ( $d_0=20\text{мм}$ ;  $d_1/d_0=1,6$ )  
Сплошная линия – экспериментальные данные, пунктирные – расчетные значения.

Таким образом, экспериментально установлено влияние конструктивных параметров деталей соединения и самих узлов на величину остаточных деформаций элементов соединения.

## СЕЛЕКТИВНАЯ СБОРКА ИЗДЕЛИЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ КОМПЛЕКТАЦИИ

Гудалин О.А. - магистрант, Моисеенко К.Л. - магистрант, Панов А.А. - к.т.н. доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Одним из возможных способов получения заданной точности сборки является селективная сборка, при которой сборочный комплект составляют детали, предварительно отобранные по принятым характеристикам из числа годных. Однако применение селективной сборки в машиностроении достаточно ограничено, и одна из причин этого – возможная некомплектность. Она проявляется как неодинаковое число собираемых деталей в одноименных группах после сортировки.

Анализ состояния вопроса показал, что в условиях массового производства теоретически можно избежать некомплектности деталей в группах. Для этого необходимо равенство допусков составляющих звеньев и идентичность законов рассеяния их размеров. Тем не менее, в реальных условиях некоторая величина некомплектности является неизбежной, поскольку на контроль (сортировку) и последующую сборку детали поступают определенными партиями, и в пределах этих партий рассеяние размеров может отличаться от ожидаемого. Однако этот некомплект является переходящим, его величина является относительно небольшой и по сути лишь незначительно увеличивает объем незавершенного производства, не оказывая сколь-нибудь заметного влияния на ход производства.

В условиях серийного производства изделия изготавливаются относительно малыми партиями, и селективная сборка с предварительным группированием неприемлема, поскольку объем некомплекта может быть значительным в силу отличия реального рассеяния от ожидаемого. Годные сопрягаемые детали, но принадлежащие к разным группам, не могут быть собраны в изделия со всеми вытекающими последствиями (необходимость пригонки или регулирования, запуск заведомо большей партии и т.п.) и ростом производственных расходов.

Селективная сборка, как известно, реализуется не только предварительной сортировкой на группы, но и непосредственным подбором пар. В последнем случае качество сборки во многом определяется квалификацией комплектовщика. Поскольку вариантов комплектации в общем случае существует множество, вероятность некомплекта и при этом варианте селективной сборки не исключается.

В данных условиях положительный эффект может дать сборка методом индивидуальной комплектации пар. Выполненные исследования показали, что селективная сборка методом индивидуальной комплектации в сравнении с методом групповой взаимозаменяемости обеспечивает заданную точность при полном исключении некомплекта. При этом методе пары сопрягаемых деталей комплектуются из массива сборочной партии  $N$  комплектов без предварительной сортировки на группы.

Для иллюстрации вышесказанного рассмотрим пример формирования поля рассеяния размеров замыкающего звена трезвенной цепи. Экономичные допуски на размеры отверстия и вала составляют:  $T_A = T_B = T = 1000$  (в условных единицах). Допуск размера замыкающего звена  $T_\Delta = 400$ . Объем сборочной партии  $N = 100$  комплектов. Число групп сортировки деталей при сборке методом групповой взаимозаменяемости составляет:

$$k = \frac{T_A + T_B}{T_\Delta} . \quad (1)$$

Для заданных условий  $k = 5$ . При рассеянии размеров деталей, близком к равновероятному, в каждую группу должно попасть по 20 деталей, и в этом случае при сборке комплектов из деталей одноименных групп не будет несобираемых остатков. Однако реально рассеяние размеров никогда не соответствует теоретическому, поэтому некомплект при сборке неизбежен, как и отмечено выше.

Экспериментальная проверка была выполнена на компьютерной модели [1]. Сформированные псевдослучайным способом массивы размеров деталей объемом  $N = 100$  шт. сортировались на 5 групп и комплектовались в соответствии с групповой принадлежностью. Эксперимент был повторён 10 раз. Количество деталей в группах составляло от 13 до 30. Некомплект оценивался для каждой из десяти сборочных партий и общий, формировавшийся после присоединения несобранных остатков от предыдущих партий. Некомплект в партиях составлял от 3 до 19 процентов, а общий некомплект с ростом общего объема сборки снижался с 12 до 5 процентов.

Сборка методом индивидуальной комплектации моделировалась для тех же десяти сборочных партий. При комплектовании массивов размеров замыкающего звена полученные значения изменялись в диапазоне от (-124) до (+173), что не выходит за границы допуска.

Выполненные исследования показали, что селективная сборка предполагаемым методом индивидуальной комплектации обеспечивает значительное повышение точности сборки в сравнении с методом полной взаимозаменяемости при полном исключении некомплекта.

Для реализации метода селективной сборки в условиях серийного производства необходим теоретический анализ возможностей индивидуальной комплектации, разработка алгоритма оптимальной комплектации и методики назначения производственных допусков на изготовление деталей.

#### Литература

1. А.А. Панов, Н.С. Дегтярева, С.В. Ярмонов. Система моделирования процесса обеспечения точности при селективной сборке изделий машиностроения (Инкомселект). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009614048 от 30.07.2009

### ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МИКРОСКОПА

Емченко А.В. - студент, Заборцева М.Н. - студент, Заборцева Д.Н. - студент,  
Потапов И.С. - студент, Балашов А.В. - к.т.н., доцент, Черданцев А.О. - инженер,  
Иконников А.М. - к.т.н., доцент

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

Измерительные микроскопы являются наиболее распространенными оптико-механическими приборами. Инструментальные микроскопы используют в измерительных лабораториях машиностроительных заводов и научно-исследовательских институтов, в учебных заведениях и организациях.

Инструментальные микроскопы предназначены для измерения наружных и внутренних линейных и угловых размеров изделий в прямоугольных и полярных координатах (резьбовых изделий, режущего инструмента, профильных шаблонов, лекал, кулачков, конусов, метчиков, резьбонарезных гребенок) [3].

Инструментальный микроскоп (рисунок 1) состоит из чугунного основания 1, на котором смонтирован измерительный стол 2 с микрометрическими винтами продольного 7 и поперечного 6 перемещений и колонка 3, по направляющим которой при помощи маховичков 5 перемещается кронштейн 4 с микроскопом. В задней стенке основания вмонтировано осветительное устройство 8. Измерительный стол 2 установлен на направляющих и может перемещаться в двух взаимно-перпендикулярных направлениях при помощи микрометрических винтов. Величина перемещения стола определяется по масштабным гильзам и барабанам, связанным с микрометрическими винтами. Цена деления на барабане 0,005 мм, шаг микровинта 1 мм. Колонка 3 служит для закрепления на ней микроскопа. Кронштейн 4 через направляющую кронштейна соединяется с колонкой 3. Перемещение кронштейна по колонке вверх и вниз осуществляется с помощью кремальерного механизма, приводимого в действие маховичком 5. При работе на приборе могут применяться четыре окулярные головки: окулярная угломерная головка, револьверная головка с дугами разной кривизны, револьверная головка с набором профилей метрической и дюймовых резьб и головка двойного изображения [1].

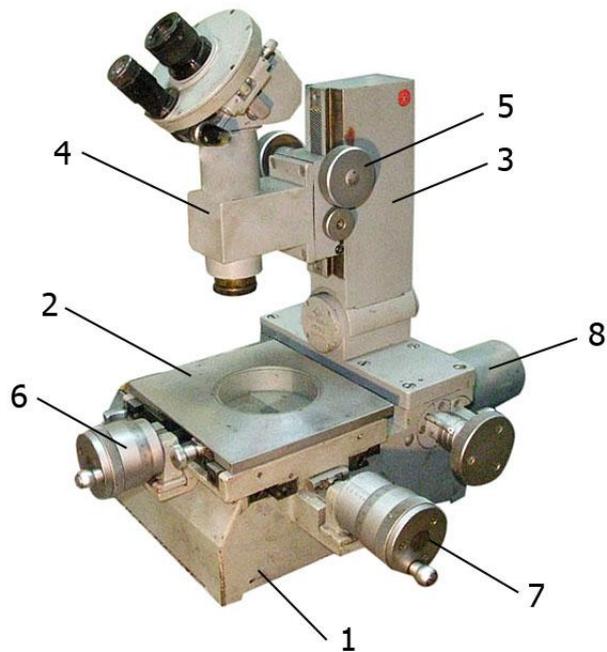


Рисунок 1 – Инструментальный микроскоп

К существенным недостаткам описанного инструментального микроскопа можно отнести высокую утомляемость глаз оператора и низкую производительность измерительных операций. Для снижения утомляемости оператора и сокращения времени измерений на окулярную головку микроскопа предложено установить цифровую камеру (рисунок 2).

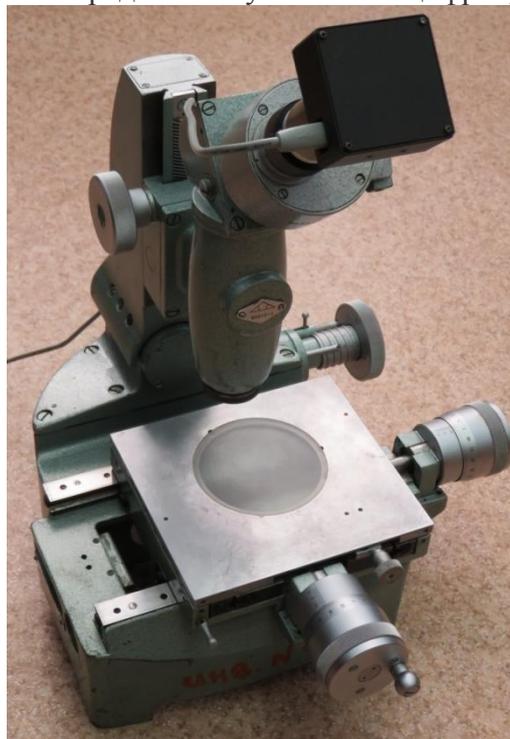


Рисунок 2 - Цифровой инструментальный микроскоп

Цифровой микроскоп позволяет просматривать изображение на экране компьютера в режиме реального времени, делать снимки, записывать видео, проводить измерения, выполнять обработку изображения и т. д. Используя цифровой инструментальный

микроскоп были измерены размеры зерен порошка для магнитно-абразивной обработки (рисунок 3).

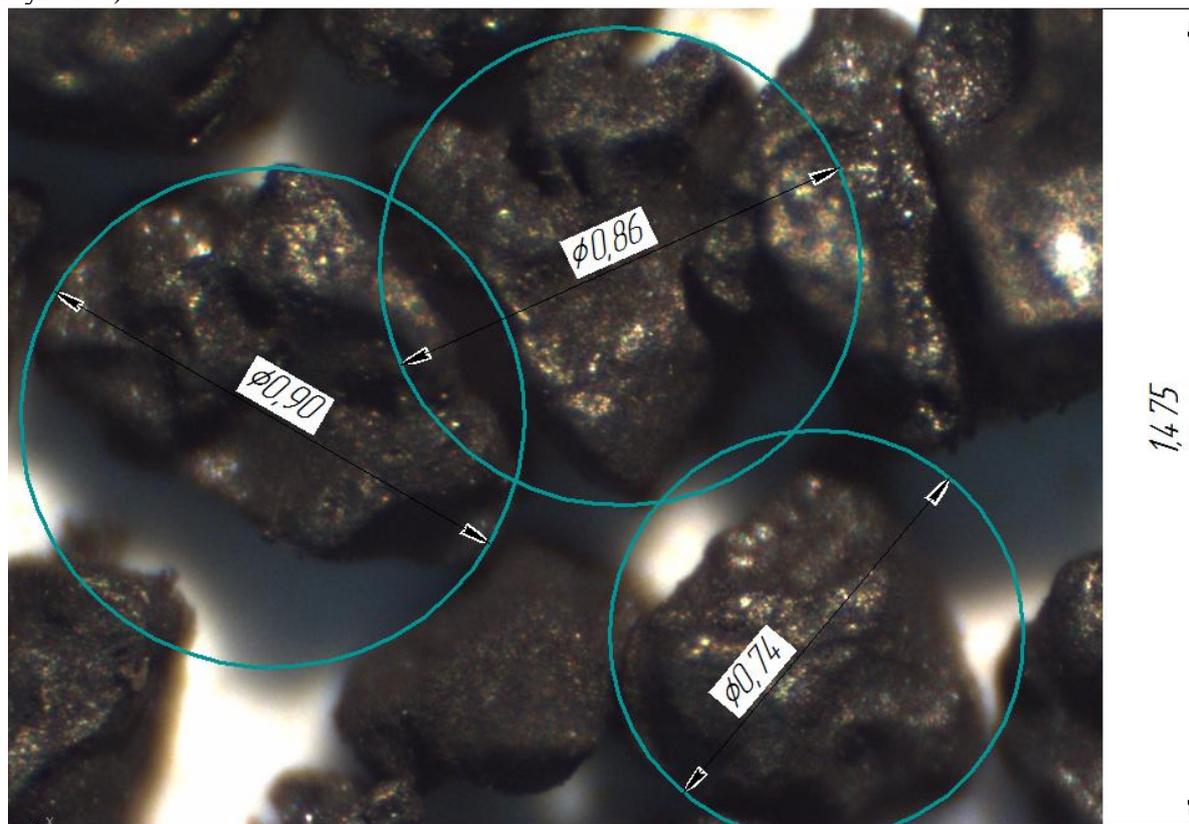


Рисунок 3 – Зерна абразивного порошка

Далее по зависимости (1) спрогнозирована шероховатость поверхности детали после магнитно-абразивного полирования [2].

$$Ra = 1.918 \cdot \tau^{-0.232} \cdot \delta^{1.431} \cdot Za^{-0.254}, \quad (1)$$

где  $\tau=30$  с – время обработки;  
 $\delta=1$  мм – рабочий зазор 1;  
 $Za=900$  мкм – зернистость порошка.

$$Ra = 1.918 \cdot 30^{-0.232} \cdot 1^{1.431} \cdot 900^{-0.254} = 0,15$$

Таким образом, созданный цифровой микроскоп позволяет автоматизировать процесс измерений. Результаты измерений могут использоваться для расчета качества обработанной поверхности детали

#### Литература

1. <http://profkontrol.ru/p148560370-mikroskop-malyj-instrumentalnyj.html>.
2. Иконников А.М. Совершенствование технологии магнитно-абразивной обработки фасонных поверхностей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 «Технология машиностроения». Барнаул, 2004. 146 с.
3. ГОСТ 8074-82 Микроскопы инструментальные. Типы, основные параметры и размеры. Технические требования.

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКОЙ ПРОИЗВОДСТВА  
НА ОСНОВЕ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Дронова О.Б. – магистрант, Маркова М.И.- к.т.н, доцент

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

В условиях внедрения нового изделия и отсутствия полностью разработанной технологической документации вызывает сложность расчет трудоемкости изготовления изделия. В этом случае используются способы прогнозирования затрат, которые можно свести к трем основным: расчетный метод, метод непосредственного наблюдения, опытно-статистический.

На ранних стадиях проектирования изделий применение дифференцированных расчетных методов определения технологической трудоемкости затруднено из-за отсутствия полностью разработанной технологической документации. Поэтому в этих условиях используют укрупненные расчетные методы определения трудоемкости.

Для сравнения достоверности полученной информации о прогнозируемой величине трудоемкости по укрупненным методам расчета проведено сравнение двух методов определения штучного времени для детали вал (рисунок 1)– расчетного на основе общемашиностроительных нормативов времени и укрупненного расчетного на основе квалиметрического подхода. В первом случае по этой детали имеется вся разработанная технологическая документация, во втором случае – имеются данные, которые можно определить по чертежу.

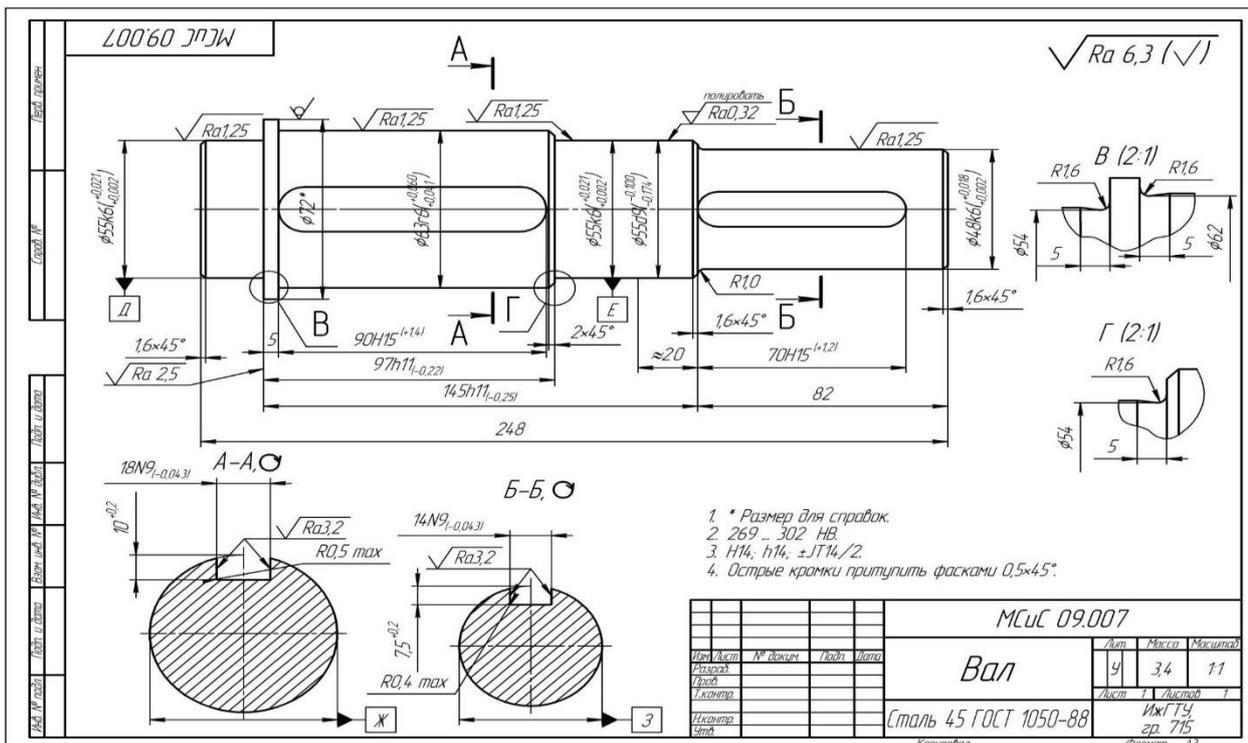


Рисунок 1 – Чертеж детали вал

Базируясь на методике укрупненного расчета трудоемкости на основе квалиметрического анализа деталей, получаемых обработкой резанием (д.э.н., профессор Ю.С.Перевощиков)[3] разработан алгоритм расчета трудоемкости механической обработки деталей.

На основании баз данных, содержащих конструкторско-технологические параметры (коды ЕСКД, диапазоны данных масс, параметров шероховатости поверхности и др.) разработан интерактивный справочник значений квалиметрических показателей геометрической формы детали; массы; материала; шероховатости поверхностей, а также

нормативной удельной трудоемкости и нормативных коэффициентов соотношения трудоемкости по видам выполняемых технологических операций.

В результате применения данного справочника становится возможным прогнозировать трудоемкость механической обработки путем внесения конструкторско-технологических параметров детали в техническую карту.

На рисунке 2 представлен пример заполнения технической карты детали вал.

|    | A   | B          | C                  | D  | E         | F         | G         |
|----|---|------------|--------------------|--|-----------|-----------|-----------|
| 1  | <b>Техническая карта детали</b>                       |            |                    |  |           |           |           |
| 2  | Количество размеров                                   | И=         | 20                 |  |           |           |           |
| 3  | в т.ч. внутренних размеров                            | ИВ=        | 2                  |  |           |           |           |
| 5  | Код ЕСКД  | 715413     | 715413             |  | 715413    |           |           |
| 7  | Квалиметрический показатель геометрической формы      | Кф=        | 1,415083727        |  |           |           |           |
| 8  | Группа материалов                                     |            |                    | Стали конструкционные с содержанием углерода, в % 0,25-0,6 |           |           |           |
| 9  | Шероховатость поверхности                             | Ra         | 5                  |  |           |           |           |
| 10 | Масса детали  | m          | 3                  |  |           |           |           |
| 11 | Квалиметрический показатель материала детали          | КМ=        | 1                  |  |           |           |           |
| 12 | Квалиметрический показатель шероховатости поверхности | KR=        | 0,572              |  |           |           |           |
| 13 | Квалиметрический показатель массы деталей             | Km=        | 1,507              |  |           |           |           |
| 14 | Общий квалиметрический показатель                     | Ko=        | 1,219807833        |  |           |           |           |
| 15 | <b>Технологический маршрут</b>                        |            |                    |  |           |           |           |
| 16 | Отрезная  | Токарная   | Фрезерная          | Сверлильная  | Расточная | Шлифоваль | Строгальн |
| 17 | 0   | 1          | 1                  | 0  | 0         | 0         | 0         |
| 19 | Сумма нормат. коэф-тов                                | $\sum P_i$ | 0,62               |  |           |           |           |
| 20 | <b>Заготовка</b>                                      |            |                    |  |           |           |           |
| 21 | прокат  | труба      | поковка, штамповка | отливка  |           |           |           |
| 22 | 1   | 0          | 0                  | 0  |           |           |           |
| 24 | Нормативная удельная трудоемкость                     | Tq=        | 0,37               |  |           |           |           |
| 25 | Число деталей в партии                                | n=         | 200                |  |           |           |           |
| 26 | Поправочный коэффициент на число деталей в партии     | Kn=        | 0,439886213        |  |           |           |           |
| 27 | Трудоемкость изготовления детали                      | T=         | 0,123090683        | 7,38544  |           |           |           |

Рисунок 2 – Техническая карта детали вал

В соответствии с группировкой кодов деталей в инструментальных и опытных цехах приведем расчетные данные по трудоемкости выборки деталей из группы 715000 (тела вращения с длиной свыше 2-х диаметров, шпиндели, оси, штоки, втулки, валы, буксы, гильзы, колонки, стержни), определенные по обшемашиностроительным нормативам [1, 2]. Предварительные расчеты трудоемкости необходимы для того, чтобы определить коэффициент соотношения расчетной трудоемкости по обшемашиностроительным нормативам ( $T_{о.н.}$ ) к трудоемкости, рассчитанной на основе квалиметрического подхода ( $T_{к.л.}$ ). Расчеты трудоемкостей деталей сведены в таблице 1.

Исходя из графика зависимости между трудоемкостями, представленного на рисунке 3, данный коэффициент составляет 1,1486, т.е. в среднем  $T_{к.л.}$  превышает  $T_{о.н.}$  на 14,86 %. Данный коэффициент является вполне приемлемым и позволяет производить уточняющие расчеты трудоемкости на основе использования квалиметрического анализа деталей.

Таблица 1 – Трудоемкость механической обработки деталей, определенная по обшемашиностроительным нормативам и на основе квалиметрического подхода

| Код ЕСКД      | Трудоемкость по машиностроительным нормативам, $T_{о.н.}$ мин | Трудоемкость на основе квалиметрического подхода, $T_{к.л.}$ мин |
|---------------|---|--|
| <b>715413</b> | 6,4875  | 7,3854   |
| 715613        | 7,4215  | 8,5693   |
| 715411        | 5,9157  | 6,8176   |
| 715111        | 2,1448  | 2,4477   |
| .....         | .....   | .....  |
| 715723        | 8,7515  | 10,0601  |
| 715221        | 3,9865  | 4,4842   |
| 715223        | 4,7984  | 5,6428   |
| 715321        | 5,1245  | 5,9253   |
| 715323        | 5,8745  | 6,5704   |
| 715121        | 4,2615  | 4,8661   |
| 715123        | 5,1548  | 5,885  |



Рисунок 3 – График зависимости трудоемкостей  
Список литературы:

1. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, обслуживания рабочего места и подготовительно-заключительного на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Среднесерийное и крупносерийное производство. — М.: НИИТруда, 1984. — 382 с.
2. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: Справочник: В 2-х т. /А.Д. Локтев, И.Ф. Гущин, В.А. Батуев и др. — М.: Машиностроение, 1991, Т.1. — 640 с.
3. Перевощиков, Ю.С. Отраслевой руководящий материал. Методика укрупненного расчета трудоемкости на основе квалиметрического анализа деталей, получаемых обработкой резанием в цехах и производствах, работающих в условиях полного хозрасчета.- Ижевск, 1988.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ РОТАЦИОННЫМ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ

Дыбайло А.В. – магистрант, Черданцев А.О. – инженер, Черданцев П.О. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Характерной чертой текущего состояния машиностроительной отрасли является увеличение доли многофункциональных четырёх- и пятикоординатных станков с ЧПУ в парке фрезерных станков. Такие станки обладают значительной технологической гибкостью, однако их стоимость по сравнению с трёхкоординатными станками значительно выше. Поэтому многие предприятия до сих пор эксплуатируют именно трёхкоординатные станки, их доля в станочном парке наиболее значительна.

Успешность предприятия на рынке в значительной мере зависит от широты номенклатуры выпускаемых изделий. Поэтому проблема повышения технологической гибкости станков с минимальными затратами является актуальной. В частности, представляется перспективной возможность повышения технологической гибкости трёхкоординатных станков, как новых, так и уже эксплуатирующихся, путём оснащения их дополнительным модулем, реализующим четвёртую координатную ось – ось вращения.

Это позволит осуществлять фрезерную обработку не только плоских поверхностей и уступов, но и различных поверхностей вращения, кулачков, винтовых пазов и т. п. В частности, становится возможным реализовать так называемое ротационное фрезерование (ротационная обработка) – фрезерование поверхности детали при её вращении вокруг собственной оси. Преимуществом этого способа обработки является возможность получить наружный профиль сложной детали, которая условно может быть отнесена к телам вращения, полностью за один переход без переустановки. Такой способ обработки применим к деталям с эксцентрическим профилем, при обработке тяжелых и некруглых валов, шеек коленчатых валов, тормозных колодок и т. д.

Эксплуатационные свойства деталей в значительной степени зависят от геометрических параметров качества обработанной поверхности, таких как шероховатость, отклонения формы, волнистость. Точность формы детали после ротационного фрезерования, как и чистота поверхности, во многом зависят от взаимного расположения инструмента и заготовки. Как и при торцовом фрезеровании, на качество обработанной поверхности значительное влияние оказывают режимы резания, однако существующие рекомендации для торцового фрезерования не могут быть применены для ротационного. Для случая фрезерования плоских поверхностей зависимости качества поверхностного слоя от режимов резания достаточно хорошо изучены [1; 2], но для случая ротационного фрезерования подобных исследований практически не проводилось, имеются лишь рекомендации общего плана по назначению режимов резания и отдельные советы по проектированию технологических наладок для ротационной обработки, например [3].

Для обеспечения требуемых геометрических параметров качества поверхности деталей, получаемых ротационным фрезерованием, целесообразно разработать модель процесса формирования микрорельефа обработанной поверхности, которая учитывала бы специфику этого процесса. С помощью такой модели можно, проведя серию виртуальных экспериментов, установить предварительный вид зависимостей различных параметров качества детали в зависимости от режимных параметров, конструктивно-геометрических параметров режущего инструмента, а также от взаимного расположения фрезы и заготовки.

Для решения этой задачи может быть адаптирована одна из существующих имитационных моделей торцового фрезерования, описанная в [2; 4].

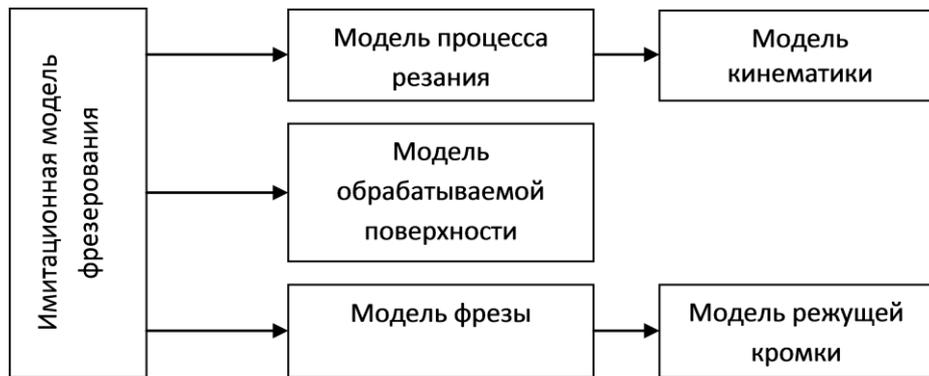


Рисунок 1 – Состав имитационной модели ротационного фрезерования

Имитационная модель процесса торцевого фрезерования состоит из нескольких блоков, как показано на рисунке 1.

Обрабатываемая поверхность представляется в виде следующих параметров:  $D_{заг}$  – диаметр заготовки;  $D_{дет}$  – диаметр детали;  $E$  – эксцентриситет и радиальных отрезков – высоты микронеровностей в узлах сетки, с помощью которых можно построить пространственную сеть, повторяющую форму поверхности (рисунок 2).

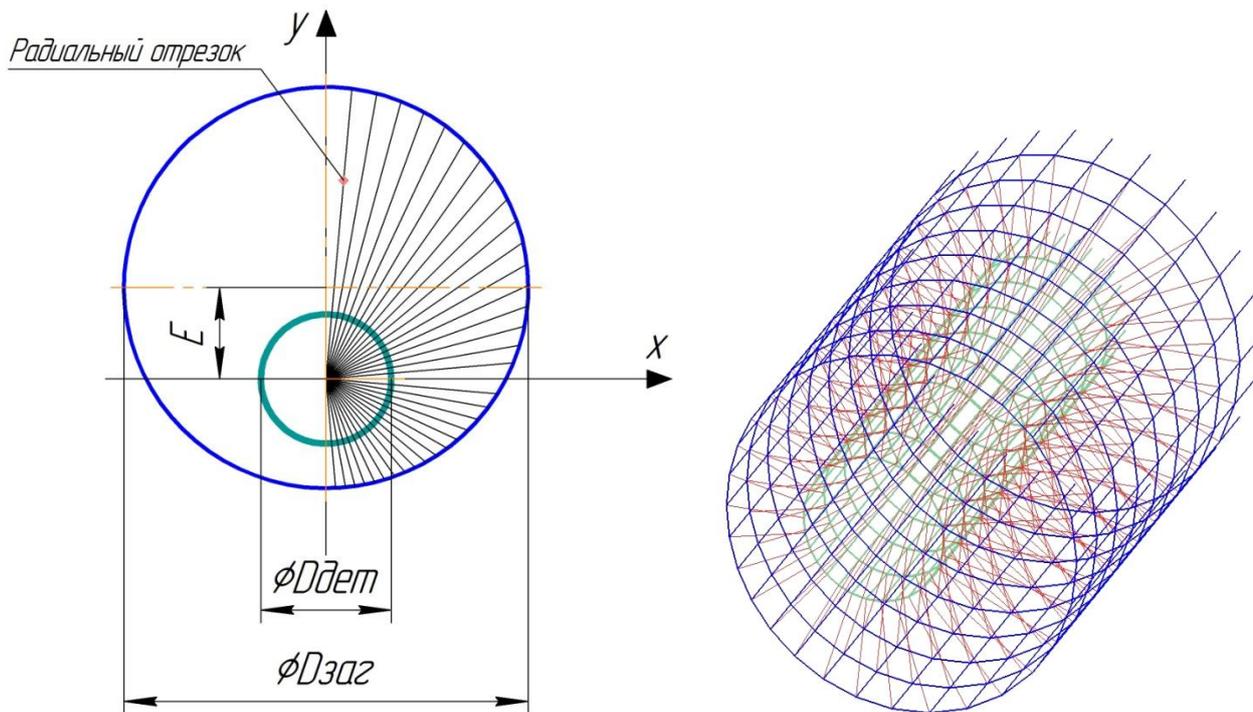
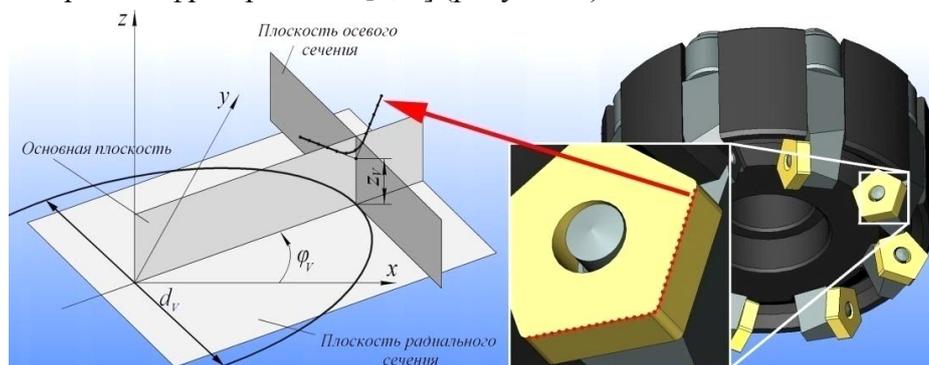


Рисунок 2 – Модель обрабатываемой поверхности

Остальные элементы имитационной модели идентичны модели-прототипу, описывающей торцевое фрезерование [2; 4] (рисунок 3).



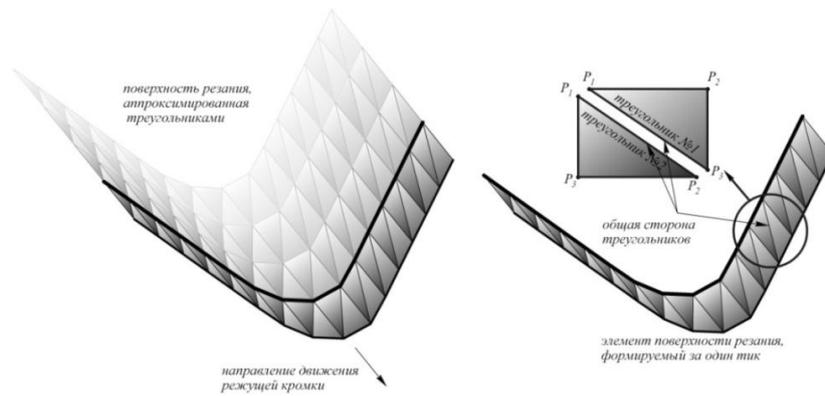


Рисунок 3 – Элементы имитационной модели: модель фрезы; кинематическая модель [4]

В основе вычислительной части модели лежит геометрическая задача поиска точки пересечения треугольника, являющегося элементом поверхности резания, и радиального отрезка из модели обрабатываемой поверхности (рисунок 4). Если существует точка пересечения радиального отрезка с треугольником, то его длина принимает новое значение.

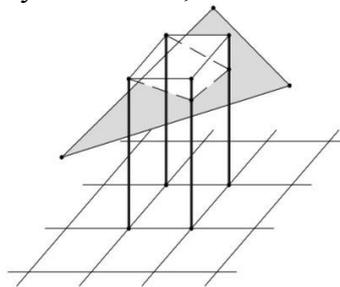


Рисунок 4 – Отсечение треугольником отрезков модели обрабатываемой поверхности

Полный расчет описывается многократно повторяющимися вложенными последовательностями действий. Для каждого шага по времени, для каждого зуба инструмента, для каждого отрезка его режущей кромки, для каждого расчетного отрезка решается описанная выше задача. Тем самым происходит постепенная имитация формирования поверхности детали. Один и тот же отрезок в процессе моделирования может подвергаться усечению несколько раз.

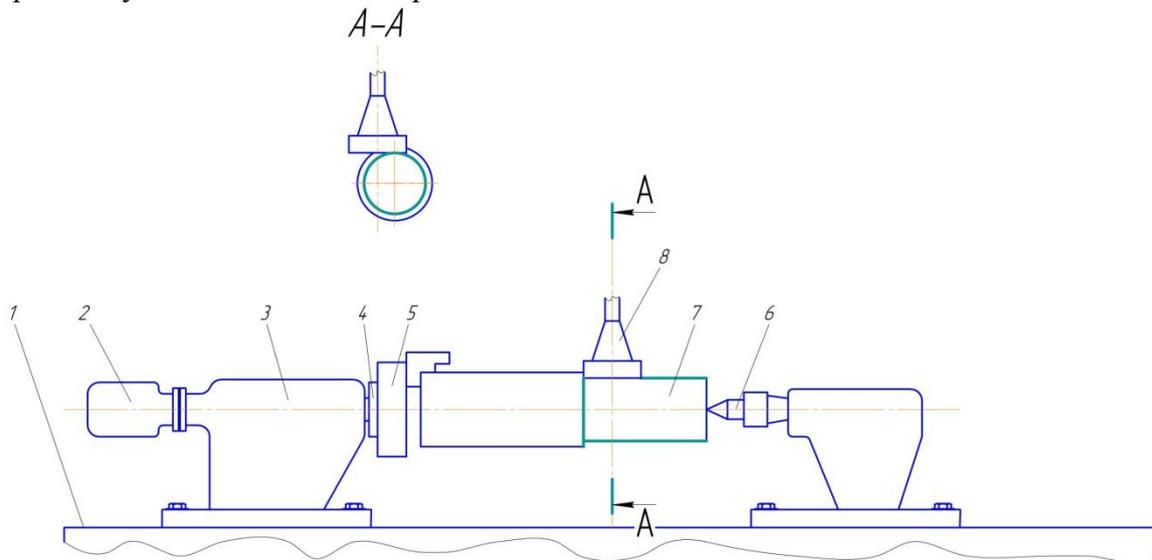


Рисунок 5 – Лабораторная установка (1 – стол фрезерного станка; 2 – электродвигатель; 3 – редуктор; 4 – шпиндель; 5 – трёхкулачковый патрон; 6 – задний центр; 7 – обрабатываемая деталь; 8 – фреза).

Описанная модель реализует кинематическое копирование геометрии режущих кромок. Результатом расчетов с использованием имитационной модели является цилиндрическая топограмма обработанной поверхности, несущая исчерпывающую информацию обо всех геометрических параметрах качества поверхности детали.

Результаты моделирования предполагается проверить на адекватность с помощью разработанной лабораторной установки [5], схематично представленной на рисунке 5.

Разработанная модель позволяет прогнозировать топографию обработанной поверхности и дает возможность оценивать геометрические параметры качества деталей обрабатываемых ротационным фрезерованием на этапе подготовки производства. Модель реализована в виде программного продукта, и может быть использована как для решения инженерных задач, так и для исследовательских целей. Предложенная конструкция установки позволяет осуществлять обработку путем ротационного фрезерования на трехкоординатных фрезерных станках, что увеличивает их технологическую гибкость.

Список литературы:

1. Марков А.М. Повышение производительности и обеспечение точности изготовления деталей с пространственно-сложными поверхностями путем совершенствования технологических систем. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Барнаул, 2002 г.

2. Хоменко В.А., Леонов С.Л., Некрасов В.Н., Черданцев А.О. Моделирование процесса формирования микротопографии обработанной поверхности при торцевом фрезеровании. – Вестник алтайской науки, №2 (том 1), Барнаул, 2013 г. – стр. 40-44.

3. [http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/general\\_turning/other-application-areas/turn-milling/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/general_turning/other-application-areas/turn-milling/pages/default.aspx)

4. Хоменко В.А., Черданцев А.О., Черданцев П.О. Оптимизация операции торцевого фрезерования по критерию максимальной производительности на основе имитационного моделирования. – Ползуновский вестник, №2, Барнаул, 2015 г. – стр.65-69.

5. Дыбайло А.В., Черданцев А.О., Черданцев П.О., Исследование процесса ротационного фрезерования. – Горизонты образования, №17, Барнаул, 2015 г. [http://edu.secna.ru/media/f/tm\\_tez\\_2015\\_.pdf](http://edu.secna.ru/media/f/tm_tez_2015_.pdf)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ВНЕДРЕНИЯ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО РОЛИКА ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ОБКАТЫВАНИЕМ В ДИНАМИКЕ

Иваньков А.Г. – студент, Буканова И.С. – к.т.н., доцент, Ятло И.И. - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

При разработке общей методологии проектирования инструмента для ОУО ППД её важнейшим этапом является определение геометрических параметров рабочей части инструмента исходя из картины формирования номинальной площади контакта в зоне обработки.

Одним из основных параметров режима ОУО ППД статическими методами является рабочее усилие обработки  $P$ . Для его расчета необходимо знать номинальную площадь контакта  $A_0$  и номинальное контактное давление  $P_k$  в каждой точке контакта.

Номинальная площадь контакта  $A_0$  определяется из геометрических соображений с учетом следа от предыдущего прохода. Профиль рабочей поверхности инструмента может иметь форму, достаточно сложно поддающуюся аналитическому описанию. Кроме того, современные тенденции предполагают дискретное описание формы сложных поверхностей инструмента. В связи с этим представляется целесообразным дискретное описание площадки контакта инструмента и обрабатываемой поверхности. Поверхность контакта представляется в виде набора из определенного количества элементарных площадок, каждая из которых характеризуется своим значением контактного сближения, соответствующей контактной

длиной, а также степенью упрочнения.

Особенность пластической деформации при ППД заключается в том, что очаг деформации формируется в некоторой области, занимающей малый объем по сравнению с объемом заготовки. Типичными задачами с такой расчетной схемой являются задачи о вдавливании индентора, например шарика, в полупространство, о скольжении шарика вдоль полупространства или качении по нему.

Следует отметить, что взаимодействие деформирующего элемента с поверхностью заготовки сопровождается образованием вокруг него пластических наплывов (волн) (рисунок 1). Следовательно, для очага деформации, возникающего при обработке ППД, характерно наличие не только контактных, но достаточно развитых внеконтактных зон.

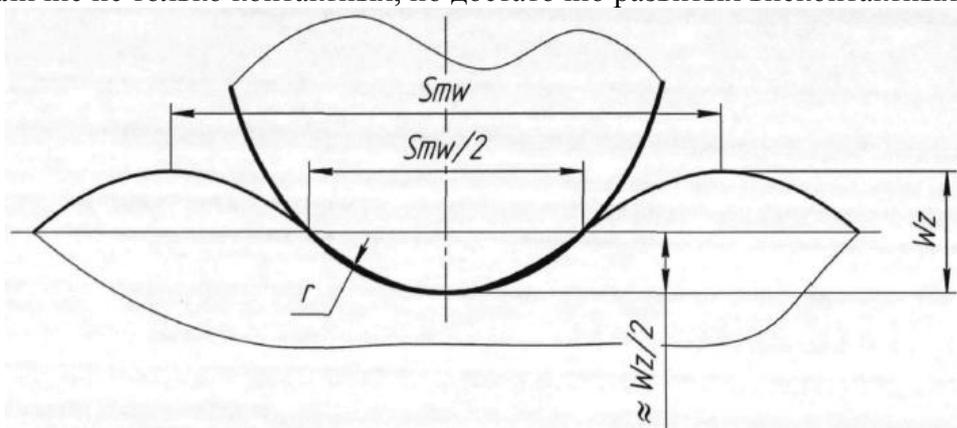


Рисунок 1 - Схема образования внеконтактных зон при обработке ППД.

Для обработки обкатыванием необходимо два движения: вращение обрабатываемой детали и продольная подача деформирующего элемента. При этом по разные стороны деформирующего элемента образуется двусторонний очаг деформации с неравномерным объемом пластических зон. Соотношение размеров контактных и внеконтактных зон определяется режимами обработки.

При обработке с продольной подачей микропрофиль, образовавшийся при данном обороте детали (первичный микропрофиль) вследствие пластического течения металла, искажается при следующем обороте, образуя вторичный микропрофиль, который и характеризует обработанную поверхность. Необходимо отметить, что пластическое течение происходит в области, ограниченной смежной впадиной. Тем не менее, при обработке с большими давлениями и малыми подачами эта область может захватывать несколько смежных микронеровностей, вызывая повторное искажение.

Описанный процесс может происходить только при обработке что, в свою очередь, указывает на различие процессов возникающих при статическом вдавливании и обработке заготовки. Этот факт многими исследователями не учитывается, что приводит к недостоверности результатов исследований. В связи с выше сказанным можно сделать вывод что глубина внедрения в статике отличается от глубины внедрения при обработке. Не учитывать этого нельзя, так как глубина внедрения непосредственно влияет на номинальную площадь контакта и показатели качества поверхностного слоя, такие как шероховатость поверхности, глубина упрочнения и других.

Для определения величины внедрения деформирующего элемента при обработке ППД, была предложена следующая схема проведения эксперимента (рисунок 2): на токарно-винторезный станок устанавливается заготовка, затем предварительно обтачивается. Не снимая заготовки, в резцедержатель устанавливается однороликовый обкатник упругого действия 1. Индикатор 2 через рычаг 3, контактирующий с деформирующим роликом 4 измеряет глубину вдавливания ролика в заготовку 5.

До начала обработки ролик внедряется в заготовку с заданным усилием. Снимаются показания индикаторов отжатия вала и глубины внедрения ролика. Затем производится обкатывание с заданной скоростью и подачей и снимаются показания индикаторов.

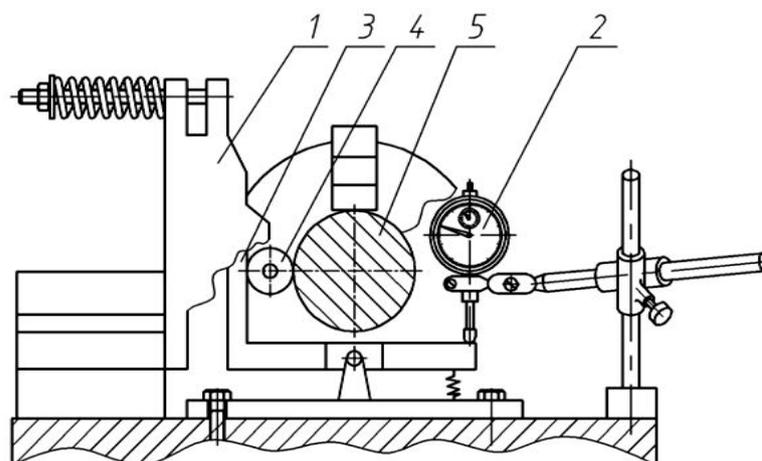


Рисунок 2 - Схема эксперимента. 1 – обкатчик; 2 – индикатор; 3 – рычажное устройство; 4– деформирующий ролик; 5 – обрабатываемая заготовка

При обработке экспериментальных данных учитывается отжатие вала. Результаты экспериментов свидетельствуют, что глубина внедрения деформирующего элемента увеличивается примерно на 20 % по сравнению со статическим внедрением ролика в обрабатываемую заготовку. Это следует учитывать при расчёте номинальной площади контакта. В свою очередь, это сказывается на контактном давлении при обработке. Таким образом, необходимо учитывать изменение глубины внедрения ролика во время обработки и с учетом этого назначать геометрические параметры деформирующего элемента, основные режимы обработки, такие как усилие деформирования, подача инструмента, скорость обкатывания и т.д.

## ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОВЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ МЕТОДАМИ ОБКАТКИ И ВЫГЛАЖИВАНИЯ

Ильиных Г.Г. – студент, Буканова И.С. – к.т.н., доцент, Ятло И.И. - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Одним из наиболее распространенных методов ППД является обкатка изделий шариками и роликами. Изучению процессов обкатки посвящены многие работы отечественных и зарубежных исследований. Хорошо известны работы Кудрявцева И.В., Папшева Д.Д., Шнейдера Ю.Г., Балтер М.А., Гурьева А.В., Бараца Я.И., Масляковой И.Д., Папшевой Н.Д. и других (здесь и далее приводится общая ссылка из обзора [1]).

Экспериментальное исследование и практика внедрения в производство процессов обкатки и выглаживания показывают их высокую эффективность. Эксплуатационные свойства изделий достигаются высокой степенью чистоты отделки поверхности, повышенной опорной способностью поверхности за счет округлой формы микронеровностей, упрочнением поверхностного слоя и образованием в нем благоприятных остаточных напряжений.

Исследование температурных полей в изделии позволили Папшеву Д.Д. определить глубину, где термические напряжения достигают предела текучести материала детали. Полученная для этой цели аналитическая зависимость имеет вид:

$$Z_{th} = \left[ \frac{0,736qE \cdot \alpha(t)}{\pi \nu c \gamma \sigma_{02}} \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где  $\alpha(t)$  - истинный коэффициент линейного расширения.

Отмечена более высокая температура при обработке многороликовым инструментом и при этом тангенциальные напряжения имели наибольшие спады на поверхности, а осевые напряжения имели на поверхности наибольшее значение. Делается предположение, что в

образовании максимума под поверхностью основную роль играет упругое восстановление поверхностного слоя.

Чепа П.А. и Андрияшиным В.А. для расчета температуры в любой точке полубесконечного тела при его нагреве движущимся нормально-сферическим источником мощностью

$$q = q_m e^{-k} R^2 \quad (2)$$

было получено следующее решение:

$$\theta(x, y, z, t) = \frac{q}{4\pi a c \gamma R} \exp\left(-\frac{ux}{2a}\right) \left[ 1 + \phi\left(\frac{z}{2\sqrt{at(t_0-t)}}\right) \right] \times \\ \times \left\{ \exp\left(\frac{vR}{2a}\right) \left[ \phi\left(\frac{R+v t_0}{2\sqrt{a t_0}}\right) - \phi\left(\frac{R+v t_0+ut}{2\sqrt{a(t_0+t)}}\right) \right] + \exp\left(-\frac{vR}{2a}\right) \left[ \phi\left(\frac{R-v t_0}{2\sqrt{a t_0}}\right) - \phi\left(\frac{R-v t_0-ut}{2\sqrt{a(t_0-t)}}\right) \right] \right\}. \quad (3)$$

где  $a$  - коэффициент температуропроводности;  $c\gamma$  - объемная теплоемкость;  $t_0$  - постоянная времени;  $t$  - время, для которого определяется температура точки;  $v$  - скорость перемещения источника;  $R$  - коэффициент сосредоточенности источника.

Для многих случаев обкатки тепловой источник считался быстро движущимся. В такой постановке задачи температура точек тела, расположенных в непосредственной близости к оси его перемещения, рассчитывалась по формуле:

$$\theta(y, z, t) = \frac{q}{2\pi\lambda v(t_0+t)} \exp\left[-\frac{y^2+z^2}{4a(t_0-t)}\right] \quad (4)$$

где  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности.

Расчет температуры при обработке реальных цилиндрических деталей производился по схеме быстро движущегося источника. Цилиндрическое тело приводилось к расчетной схеме путем развертки цилиндра в эквивалентную в тепловом соотношении пластину. Влияние ограниченности пластин учитывалось действием отраженных источников. Движение источника по винтовой линии заменялось кольцевыми витками с интервалом во времени:

$$t = \frac{2\pi R u}{v}, \quad (5)$$

где  $R_u$  - радиус цилиндра.

В соответствии с выбранной схемой, температура точки определялась суммарным циклическим воздействием множества источников теплоты, перемещающихся по пластине и смещенных друг относительно друга по оси  $y$  на величину подачи  $S$ . Расчетная формула была получена в виде соотношения:

$$\theta(R, \gamma, t) = \frac{q}{2\pi\lambda v} \sum_{i=1}^m \frac{\exp\left\{-\frac{Z^2 + [(i+1)S \pm Y]^2}{4a[t_0+t(i-1)t^i]}\right\}}{t_0+t(i-1)t^i}, \quad (6)$$

где  $Z$  и  $Y$  - координаты основных точек;  $t^i$  - время одного оборота изделия;  $m$  - количество оборотов источника, учитываемое при расчете.

Результаты аналитического исследования температурных полей, подтвержденные экспериментальными данными (измерение температуры производилось полусинтетической закладной термопарой изделие-электрод) показали, что температурное поле в изделии характеризуется высоким градиентом. Температура у поверхности изделия при отделочно-упрочняющей обработке достигала 150-350°C.

Исследование тепловых явлений процесса обкатки, выполненное Папшевым Д.Д., позволило разрешить частный случай, поэтому результаты анализа не могут быть использованы для широкого круга теплофизических задач ППД методом обкатки и выглаживания. Весьма существенное упрощение математической модели по сравнению с реальным процессом состоит прежде всего в неучтении инструмента, его формы и размеров, пренебрежение условиями теплообмена и окружающей средой, формой и размерами

контактной поверхности и рядом других особенностей процесса, которые могут исказить действительное температурное поле. Пренебрежение тепловым потоком в инструмент сказывается наиболее существенно на контактных температурах.

Такое допущение может привести к погрешности еще и потому, что при обкате происходит вращение инструмента – шарика и ролика. В пределах одного оборота фиксированная точка контактной поверхности инструмента выходит из прикосновения с изделием, успевает отдать теплоту в окружающую среду и уже охлажденной возвращается в область контакта с изделием.

Анализ теплофизики резания круглыми вращающимися резцами, выполненный Резниковым А.Н., который с известными оговорками можно перенести на рассматриваемый процесс, показывает, что в подобных случаях имеет место исключительно интенсивное охлаждение области контакта взаимодействующих тел, а вызванное этим снижение температуры контактных поверхностей не может быть достигнуто ни одним из методов искусственного охлаждения.

Повышение контактных температур выше допустимых пределов сказывается не только на упроченной поверхности, но и на прочности обкатного инструмента. Особенно это может сказаться при большой продолжительности процесса, в результате которой происходит значительное накопление теплоты в инструменте и повышении его температуры. Вызванное этим снижение твердости и контактной прочности индентора, как правило сказывается на эффективности упрочнения, стойкости инструмента и в результате на производительности процесса.

Влияние теплового фактора на снижение сжимающих напряжений на поверхности подтверждается также исследованиями Маркуса Л.И., которые показали, что при выглаживании деталей из сталей с низкой теплопроводностью на их поверхности могут возникать даже растягивающие напряжения.

Тепловые явления в процессе ППД, оказывающие влияние на формирование характера остаточных напряжений в упроченном слое и влияющие таким образом в известной мере на эксплуатационные свойства изделий, сказываются также и на производительности отделочно-упрочняющей обработки, поскольку скорость процесса может ограничиваться контактными температурами, а последние теплостойкостью и контактной прочностью материала инструмента.

Несмотря на большое влияние тепловых явлений на процесс ППД, их исследованию не уделялось еще должного внимания. Это можно объяснить известными трудностями, которые встают перед исследователями при попытке решить аналитически теплофизическую контактную задачу или определить температуру путем эксперимента в области контакта изделия с инструментом и в очаге деформации.

В связи с большими трудностями экспериментального измерения температуры при ППД, важное значение приобретают теоретические методы исследования температур и тепловых потоков в зоне обработки.

### **Выводы**

Из рассмотрения исследований, относящихся к отделочно-упрочняющей обработке методами обкатки и выглаживания, можно сделать вывод о недостаточной изученности теплофизики процесса ППД. Несмотря на широкое распространение в практике и большие перспективы, открывающиеся при использовании для упрочнения сверхтвердых и алмазных инструментов, большинство работ посвящены изучению лишь отдельных сторон теплофизики процесса без учета взаимосвязи целого комплекса явлений, сопровождающих ППД.

Недостаточная изученность физики процесса, отсутствие исследований об особенностях возникновения тепла в очаге деформации и теплообмена в приконтактной зоне не позволяют в полной мере использовать возможности ППД вообще и отделочно-упрочняющую обработку алмазными инструментами в частности.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ятло И.И. Формирование параметров качества поверхностного слоя предварительно упрочненных маломагнитных сталей при точении/ Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Барнаул. 2000. - 150 с.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БРОНЕБОЙНЫХ СЕРДЕЧНИКОВ

Лакосник А.С. – студент, Буканова И.С. – к.т.н., доцент, Ятло И.И. - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

На большинстве патронных заводов бронебойные сердечники изготавливают из шлифованной прутковой стали (серебрянки) на токарных прутковых автоматах, что требует значительного количества оборудования из-за низкой производительности (~ 4 шт./мин). Более производительным методом является получение сердечников методом холодной поперечно-винтовой прокатки, при котором один из валков выполняется профильным, а второй - гладким (рисунок 1). Холодная поперечно - винтовая прокатка – это высокоскоростной процесс обработки металлов давлением, похожий на хорошо известную накатку резьбы осевым методом, но отличается тем, что деформация изделия ведется до полного отделения детали от прутка. Предлагаемый метод получения деталей типа тел вращения выгодно отличается от традиционного процесса холодной штамповки и токарной обработки на станках-автоматах большей производительностью, экономией металла и точностью геометрической формы изделия.

За один оборот валков формируется одна заготовка, при этом достигается производительность ~ 60 шт./мин.

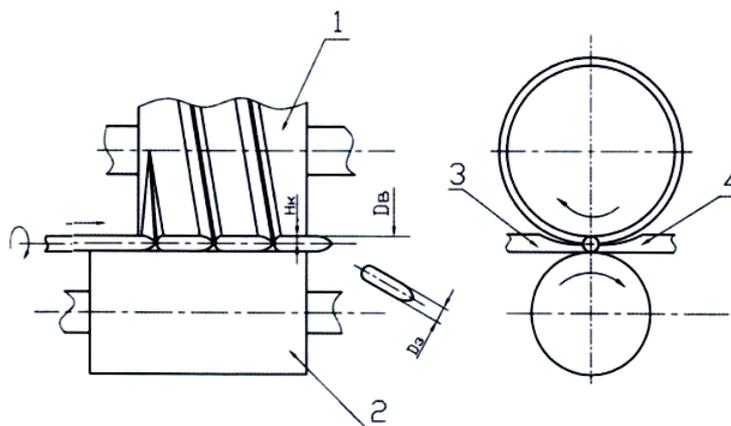


Рисунок 1 - Схема холодной поперечно-винтовой прокатки сердечника  
1 - профильный валок; 2 - гладкий валок; 3 и 4 - опорные поверхности

Винтовой выступ (реборда) на профильном валке возрастает, начиная с нуля до конечной величины. Заготовка, перемещаясь вдоль валка, окончательно формируется и отделяется от последующей, неокончательно сформированной заготовки. При этом должны выполняться условия:

- обжатие за один оборот заготовки не должно превышать допустимых величин;
  - отношение ширины перемычки к ее диаметру не должно превышать единицы;
- число циклов обжатия (число оборотов) заготовки должно быть минимально достаточным, в противном случае в осевой зоне заготовки образуется рыхлость.

Величина предельно допустимой величины обжатия за оборот валка определяется по формуле:

$$\delta = d_3/2n_{\Sigma},$$

где  $d_3$  - диаметр заготовки, мм;

$n_{\Sigma} = 0,8Dв/d_3$  – частота вращения заготовки,

где  $Dв$  - диаметр валка.

Бронебойное действие сердечников обеспечивается за счет их высокой твердости - не менее 63 HRC, поэтому, как правило, их изготавливают из высококачественных инструментальных углеродистых сталей У10А и У12А, химический состав которых приведен в таблице 1.

Таблица 1

| Сталь | Химический состав в% |           |           |       |
|-------|----------------------|-----------|-----------|-------|
|       | С                    | Mn        | Si        | Cr    |
| У10А  | 0,95 - 1,04          | 0,15-0,30 | 0,15-0,30 | <0,15 |
| У12А  | 1,15-1,24            | 0,15-0,30 | 0,15-0,30 | <0,15 |

Близкая по химическому составу сталь для сердечников применяется и за рубежом (таблица 2).

Таблица 2

| Страна, патрон               | Химический состав, % |      |      |      |      |      |       |      |       |
|------------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|
|                              | С                    | Cr   | Si   | W    | Mn   | V    | P     | Ni   | S     |
| США<br><i>50 Browning</i>    | 1,02                 | 0,54 | 0,25 | 0,23 | 0,33 | 0,35 | 0,022 | 0,2  | -     |
| Япония<br><i>12,7x81</i>     | 0,76                 | 0,33 | 0,30 | -    | 0,21 | -    | 0,032 | 0,44 | -     |
| Швеция<br><i>8 x 6 2</i>     | 0,85                 | 0,67 | 1,25 | -    | 0,83 | -    | 0,03  | -    | 0,026 |
| Германия<br><i>7,92 x 57</i> | 1,09                 | -    | 0,23 | -    | 0,38 | -    | 0,024 | -    | 0,022 |

Инструментальные углеродистые стали достаточно дешевы, но обладают рядом существенных технологических недостатков:

- низкой пластичностью, что затрудняет их изготовление методами пластической деформации;
- высокой склонностью к обезуглероживанию при нагреве без защитных сред;
- высокой вероятностью образования трещин, что требует трудоемкого визуального контроля каждого сердечника.

Кроме того, вследствие хрупкости закаленных сердечников при ударе пули по преграде под углом они часто ломаются при внедрении в преграду.

При стрельбе на бронепробитие патронами 7Н25 из пистолета ПМ на дальности 10 м сердечники из стали У10А пробивают плиту из стали 3 толщиной 5 мм.

## ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ОБРАБОТКИ, ОСНОВАННОГО НА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОВМЕЩЕНИИ ППД И ТОЧЕНИЯ

Лыткин В.А. – студент, Буканова И.С. – к.т.н., доцент, Ятло И.И. - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Технологический процесс изготовления детали, содержащий различные технологические методы, операции, переходы или проходы, это по существу единый комбинированный метод обработки, использующий в определенной последовательности дозированные энергетические воздействия, разнесенные во времени. Представляется, что совмещение в рамках одной технологической операции различных энергетических воздействий на материал, позволяет значительно повысить эффективность изготовления деталей, сократить время обработки, многократно увеличить производительность труда.

Однако сегодня нет достаточных знаний, как должны быть совмещены во времени и пространстве различные энергетические воздействия на материал отдельных технологических методов и способов обработки с тем, чтобы в результате однократного вложения комплекса энергий с разными амплитудно-частотными характеристиками получить все необходимые показатели, удовлетворить всем требованиям чертежа детали. Поэтому технологические процессы обычно строятся на принципе постадийности преобразования свойств материала; используется совокупность ряда методов, способов и средств, которые последовательно с разной интенсивностью энергетически воздействуют на обрабатываемый объект, поэтапно приближая получаемый результат обработки к желаемому. Отдельные элементы такого процесса определяются технологическим маршрутом изготовления детали.

Вместе с тем, в последние десятилетия разработан, опробован на практике и внедрен в промышленность целый ряд методов обработки, основанных на параллельном, последовательном или параллельно-последовательном совмещении различных видов энергетических воздействий на заготовку. Такие методы обработки получили название комбинированных и их можно рассматривать как определенный этап на пути создания малооперационных технологий.

Совмещение двух или более внешних энергетических воздействий в том или ином комбинированном методе обработки направлено, как правило, на получение технологических показателей обработки, которые не достигаются традиционным способом; усиление положительных характеристик базового метода обработки и снижение степени влияния присущих ему недостатков.

Общую энергию вложения в комбинированный технологический процесс по направлениям своего воздействия можно условно разделить на две неравные по величине доли, одна из которых ("полезная") участвует в преобразованиях свойств обрабатываемого материала и затрачивается на решение требуемых технологических задач, а другая ("вредная") - рассеивается, не производя полезного воздействия на обрабатываемый материал, или оказывает негативное влияние на процесс, например, вызывает повышенный износ инструмента, неблагоприятно отражается на свойствах материала поверхностного слоя и др.

При разработке комбинированных технологий, использующих два и более внешних источника энергии, одной из главных задач становится установление общих закономерностей, описывающих механизм взаимодействия и взаимовлияния энергетических составляющих при формировании технологических показателей обработки.

Рассмотрим особенности совместного действия внешних энергий и специфические закономерности их влияния на результирующие технологические показатели процесса резания применительно к резанию с предварительным поверхностным пластическим деформированием (ППД). Сущность метода заключается в целенаправленном изменении физико-механических свойств материала срезаемого слоя путем его предварительного пластического деформирования, осуществляемого в процессе резания дополнительным механическим источником энергии. В качестве такого источника энергии используют

различные методы ППД - накатывание поверхности резания роликом, выглаживание, центробежное упрочнение, дробеструйную обработку, чеканку. Таким образом, резание с предварительным ППД как комбинированный метод обработки использует два источника механической энергии - ППД и резание, отличающиеся физико-химическим механизмом воздействия на материал заготовки.

При накатывании роликом, воздействуя с усилием на поверхность резания, пластически деформирует срезаемый слой материала заготовки. В результате режущим инструментом удаляется материал, структура и физико-механические свойства которого отличаются от исходных. Таким образом, при обработке с ППД в зоне резания происходит *суммирование* двух последовательных деформаций материала, вызванных ППД и процессом резания.

Экспериментальными исследованиями установлено, что конечные напряженно-деформированные состояния материала в стружке при обычном резании и последовательном воздействии на срезаемый слой ППД и режущего инструмента практически совпадают. В предположении единой кривой течения  $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$  ( $\sigma_i$ ,  $\varepsilon_i$  - интенсивности напряжений и деформаций при сложном нагружении) это означает, что удельные работы пластического деформирования при обычном резании и резании с предварительным ППД примерно равны, т.е. и в том, и в другом случаях процесс преобразования материала срезаемого слоя в стружку требует одинаковых энергозатрат.

Это позволяет вскрыть физический механизм улучшения обрабатываемости резанием при применении предварительного ППД материала срезаемого слоя, объясняет причины повышения технико-экономических показателей обработки.

Предварительная деформация, исчерпывающая часть запаса пластичности обрабатываемого материала, является механизмом управления в широких пределах пластическими свойствами срезаемого слоя при резании, изменение которых позволяет активно воздействовать на параметры процесса и результаты обработки.

Холодное пластическое деформирование сопровождается структурными и фазовыми превращениями, изменением характеристик дислокационного строения. В результате возрастает сопротивление пластической деформации, повышаются значения предела упругости, текучести, прочности. Увеличивается также твердость металла. Одновременно изменяются такие свойства и характеристики, как внутреннее трение и затухание, плотность, ползучесть, релаксационные явления, критические температуры хрупкости, коэрцитивная сила, магнитная проницаемость и др. Вследствие пластической деформации возникает структурная анизотропия, формируются остаточные напряжения, возможно появление неоднородности физико-механических свойств материала в пределах рассматриваемой области.

Однако при этом взаимодействие режущего инструмента с образующимися при предварительном механическом воздействии на заготовку пластически деформированными (наклепанными) слоями материала сопровождается возрастанием силы резания, повышением интенсивности износа режущей части, снижением производительности обработки и, в ряде случаев, качества деталей.

В соответствии с этим, приведенные выше значения эффективности применения метода как средства повышения периода стойкости инструмента и производительности обработки достигаются лишь при определенных, *оптимальных* значениях удельной линейной нагрузки  $q$  (Н/мм) на поверхность резания, величина которой может существенно изменяться в зависимости от условий обработки. Например, на рисунке 1 показаны характерные экспериментальные кривые относительного изменения  $\eta_{Pz} = f(q)$  главной составляющей силы резания  $Pz$  от удельной нагрузки  $q$  ППД при различных величинах подачи  $S_0$  инструмента. Здесь  $\eta_{Pz} = (Pz - Pz_0) / Pz_0 \cdot 100\%$ ,

где  $Pz_0$  – главная составляющая силы резания при обработке с предварительным ППД;  
 $Pz$  – соответствующее значение силы при обычном резании.

Как видно из рисунка 1 зависимости  $\eta_{Pz} = f(q)$  имеют экстремальный характер. С увеличением нагрузки  $q$  (величины дополнительной энергии воздействия на срезаемый слой) эффективность метода сначала повышается, достигает максимума. При дальнейшем

увеличении нагрузки  $q$  на срезаемый слой сила резания  $P_{z0}$  при обработке с ППД увеличивается ( $\eta_{Pz}$  уменьшается), т.е. эффективность действия предварительного деформирования материала снижается и при повышенных значениях  $q$  становится отрицательным.

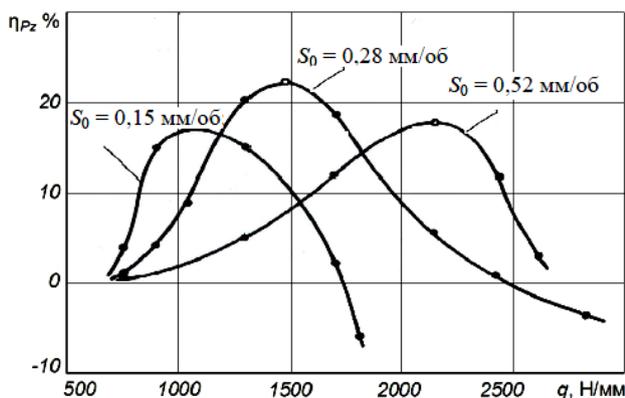


Рисунок 1 - Зависимость относительного изменения главной составляющей силы резания  $\eta_{Pz}$  от удельной нагрузки  $q$  при обработке с ППД стали 4X14H14B2M ( $v = 0,31$  м/с;  $t = 0,2$  мм)

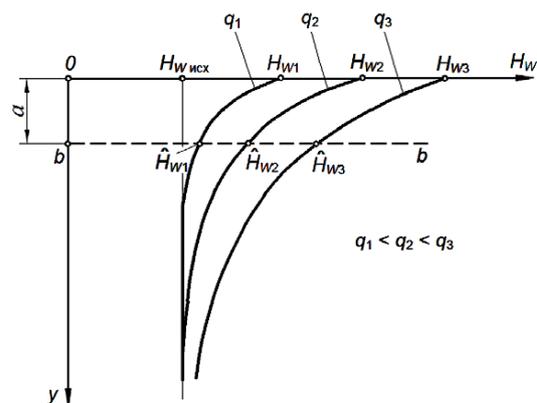


Рисунок 2- Кривые распределения твердости материала по толщине  $a$  срезаемого слоя

На рисунке 2 в качестве примера показаны типовые зависимости распределения микротвердости  $H_W$  по толщине  $a$  срезаемого слоя для трех разных нагрузок  $q$  ( $q_1 < q_2 < q_3$ ) при ППД накатным роликом. Как видно из рисунка 2, с повышением удельного давления  $q$  ППД увеличивается микротвердость материала срезаемого слоя (кривые  $H_{W1}-\hat{H}_{W1}$ ;  $H_{W2}-\hat{H}_{W2}$ ;  $H_{W3}-\hat{H}_{W3}$ ) и, в соответствии с этим, возрастает удельная работа его предварительного пластического деформирования, что должно сопровождаться положительным эффектом при резании с ППД (снижением силы и температуры резания и др.). Однако, увеличение твердости обрабатываемого материала на линии среза  $b-b$  ( $\hat{H}_{W1}$ ,  $\hat{H}_{W2}$ ,  $\hat{H}_{W3}$ ) оказывает отрицательное влияние на условия взаимодействия контактных поверхностей инструмента с материалом заготовки, увеличивает напряженность процесса резания. При повышенных линейных нагрузках  $q$  отрицательные факторы становятся преобладающими и вызывают сначала снижение эффективности процесса, а дальнейшее увеличение  $q$  приводит к отрицательному эффекту воздействия дополнительной энергии ППД (см. рисунок 1).

Таким образом, эффективность вложения дополнительных внешних энергий в комбинированных методах обработки зависит от многих факторов и результат такого воздействия на заготовку может изменяться в широких пределах. Оптимальные соотношения составляющих энергий для конкретных условий обработки (материал заготовки, состояние поверхностного слоя, режим обработки, технологическая среда и др.) обеспечивают *максимальный* технологический эффект. В противном случае большая часть дополнительной внешней энергии будет или рассеиваться, не производя необходимого полезного действия, или оказывать негативное влияние на процесс обработки.

Рассмотренный подход к оптимизации условий обработки, основанный на количественном сопоставлении энергий суммы внешних источников и оценки их влияния на эффективность процесса обработки, может быть использован при отработке и выборе режимных параметров для комбинированного метода обработки, основанного на последовательном совмещении ППД и точения.

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГРУППОВОЙ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ В РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЯХ СО ЗВЕНЬЯМИ–НЕСООСНОСТЯМИ

Моисеенко К.Л. - магистрант, Панов А.А. - к.т.н. доцент

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

Метод групповой взаимозаменяемости имеет весьма ограниченное применение для цепей, в которых составляющими звеньями являются несоосности поверхностей. Причиной является невозможность сортировки деталей на группы по нескольким параметрам, так как одни параметры детали могут непосредственно являться составляющими звеньями цепи, а другие являются формирующими для следующих звеньев. В то же время, если в составе приведенного звена отдельные составляющие звенья являются параметрами разных деталей, то для таких звеньев принципы метода групповой взаимозаменяемости применимы.

Для трехзвенной цепи с равными допусками составляющих звеньев ( $T_1=T_2=T$ ) при числе групп сортировки  $k=2$  и комплектации групп по существующей методике (1+1, 2+2) эффект от применения метода проявится только для первой группы (суммарное биение составит  $T_1/2 + T_2/2 = T$ ). Для второй группы биение составит  $2T$ , как и без сортировки.

Повышения точности можно добиться при комплектации 1+2; 2+1. При этом суммарное биение в обеих группах составит  $1,5T$  вместо  $2T$  без сортировки. При таком делении на группы и такой комплектации в собираемых группах окажется неодинаковое количество деталей, поскольку наиболее вероятный закон рассеяния для подобных звеньев (закон Релея) является асимметричным. Для обеспечения равенства количества деталей в группах граница групп должна, как показывают расчеты, составлять  $0,3423T$ . При таком делении в группы попадает по 50% деталей, а суммарное биение в обеих группах составит  $1,3423T$  вместо  $1,5T$  при делении на равные группы и  $2T$  при сборке без сортировки. Следовательно, такое деление на 2 группы является наиболее рациональным.

Подобный подход может быть использован и при сортировке на большее число групп. Условия установления границ принципиально те же:

По данной методике были рассчитаны границы групп  $x_i$ , оценено количество деталей в группах и поле рассеяния  $\omega_\Delta$  размеров замыкающего звена.

Полученные данные по величине  $\omega_\Delta$  сведены в общую диаграмму на рисунке 1.

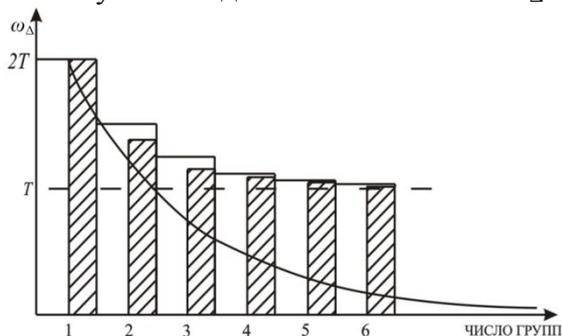


Рисунок 1 – Величина поля рассеяния замыкающего звена  $\omega_\Delta$  при различном числе групп  $k$  ( $m=3, T_1=T_2=T$ )

По диаграмме наглядно видно, что с увеличением числа групп поле рассеяния  $\omega_\Delta$  уменьшается, однако оно довольно быстро стремится к  $T$ , то есть, к половине суммы допусков составляющих звеньев.

Для анализа возможности использования метода в многозвенных цепях целесообразно предварительно рассмотреть трехзвенную цепь с неравными допусками составляющих звеньев.

Примем, что  $T_1 > T_2, T_2 = cT_1, (0 < c \leq 1)$ . Предположим, что  $T_1 = T = 1$ , тогда  $T_2 = c$  (рисунок 2).

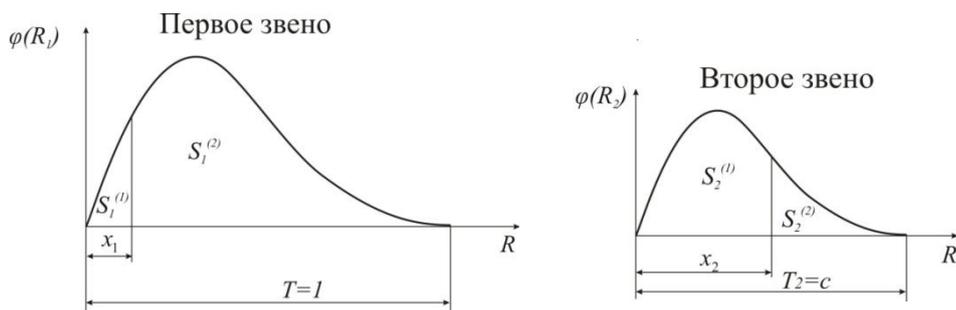


Рисунок 2 – Определение границ при  $k = 2$ ,  $T_1 \neq T_2$

Комплектация групп при сборке будет: 1+2; 2+1, как было установлено исследованиями. Сформулируем условия для установления границ групп:

$$S_1^{(1)} = S_2^{(2)}; \quad (1)$$

$$1+x_2=c+x_1. \quad (2)$$

Задаваясь рядом значений  $c$ , определяем границы групп и параметры замыкающего звена (таблица 1).

Величина поля рассеяния замыкающего звена  $\omega_\Delta$  при заданных условиях зависит не только от  $T_1$  и  $T_2$ , но и от их соотношения  $c$ . Уменьшение поля рассеяния можно оценить отношением полученного  $\omega_\Delta$  к полю рассеяния без сортировки, равному сумме  $T_1+T_2$ :

Относительная величина поля рассеяния:

$$K_\omega = \frac{\omega_\Delta}{\dot{O}_1 + \dot{O}_2}. \quad (3)$$

Таблица 1 – Границы групп и параметры замыкающего звена для  $k = 2$  и  $T_2 = cT_1$ .

| $c$ | $x_1$  | $x_2$  | $\omega_\Delta$ | $K_\omega$ |
|-----|--------|--------|-----------------|------------|
| 1   | 2      | 3      | 4               | 5          |
| 0   | 1      | 0      | 1               | 1          |
| 0,2 | 0,8490 | 0,0490 | 1,0490          | 0,8740     |
| 0,4 | 0,6985 | 0,0985 | 1,0985          | 0,7847     |
| 0,6 | 0,5660 | 0,1660 | 1,1660          | 0,7287     |
| 0,8 | 0,4480 | 0,2480 | 1,2480          | 0,6937     |
| 1,0 | 0,3423 | 0,3423 | 1,3423          | 0,6712     |

С уменьшением величины  $T_2$  и соотношения допусков  $c$  относительная величина поля рассеяния приближается к 1, поскольку абсолютное значение  $\omega_\Delta$  приближается к величине большего допуска  $T_1=T$ .

Подобным же образом можно установить границы групп и ожидаемую величину поля рассеяния замыкающего звена для числа групп  $k > 2$ .

На основании выполненных исследований можно определить принципиальный подход в применении метода для многозвенных цепей.

Звенья цепи следует предварительно объединить в два приведенных, так, чтобы суммы их допусков были как можно ближе по величине ( $c \rightarrow 1$ ). После сортировки комплектация групп должна быть такой же, как и в трехзвенных цепях. В цепи с  $m$  звеньями удалось объединить звенья так, чтобы  $T_1+T_2+\dots+T_j \approx T_{j+1}+\dots+T_{m-1}$ . После сортировки на  $k$  групп комплектация при сборке должна быть следующей (таблица 2).

Таблица 2 – Комплектация звеньев многозвенной цепи при  $k$  групп и  $T_1+T_2+\dots+T_j \approx T_{j+1}+\dots+T_{m-1}$ .

|   |     |       |       |       |     |
|---|-----|-------|-------|-------|-----|
| Группа замыкающего звена                          | 1   | 2     | ..... | $k-1$ | $k$ |
| Группа звеньев $R_1, R_2, \dots, R_j$             | 1   | 2     | ..... | $k-1$ | $k$ |
| Группа звеньев $R_{j+1}, R_{j+2}, \dots, R_{m-1}$ | $k$ | $k-1$ | ..... | 2     | 1   |

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что эффективность применения метода (степень снижения погрешности замыкающего звена) снижается с увеличением числа групп и с увеличением разницы допусков звеньев ( $T_1$  и  $T_2$  в трехзвенной цепи,  $T_{1np}$  и  $T_{2np}$  в многозвенной цепи). Тем не менее, на основании приведенных данных можно утверждать, что групповая взаимозаменяемость для цепей со звеньями-несоосностями применима и обеспечивает повышение точности замыкающего звена.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ БОЕПРИПАСОВ

Потапов Д.А., - магистрант, Некрасов В.Н., - к.т.н., доцент, Бондарь Е.Б., - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Производство боеприпасов к стрелковому и артиллерийскому вооружению, по существу, выделилось из технологии машино- и приборостроения.

Действительно, в самом общем случае технологический процесс изготовления выстрела (стрелкового, артиллерийского) включает в себя следующие составные части [1]:

а) технологические процессы изготовления элементов из конструкционных материалов (металлических и неметаллических);

б) технологические процессы изготовления пиротехнических составов и взрывчатых веществ;

в) технологические процессы сборки узлов (средств воспламенения, взрывателей, пуль, снарядов) и выстрела.

Выделение основ технологии металлических элементов боеприпасов в самостоятельный раздел определяется общностью свойств обрабатываемых исходных материалов; технологических и эксплуатационных свойств объектов технологии и готовых деталей; физико-механических явлений, протекающих в процессах технологической обработки заготовок и функционирования готовых деталей и их закономерностей; общностью технологии, структуры, организации производства и его управления и высоким удельным весом и значимостью производства металлических элементов в производстве боеприпасов в целом и его массовым характером.

Состав показателей назначения и надежности патронов определяется требованиями по обеспечению следующих качеств оружия: баллистических, боевых и производственно-экономических.

Основные баллистические качества оружия характеризуются настильностью траектории, начальной скоростью пули, наибольшим давлением пороховых газов, пробивным, убийным, останавливающим действием, величиной рассеивания пуль.

Боевые качества оружия в основном характеризуются массой и относительными размерами оружия и патронов, скорострельностью.

К производственно-экономическим требованиям относятся невысокая стоимость и распространенность материалов, применяемых для изготовления элементов патронов и патронов в целом, технологичность конструкции патрона и его элементов.

Целью технологии производства боеприпасов является анализ и разработка общих принципиальных основ рационального построения комплексных технологических процессов изготовления изделий с обеспечением их заданных свойств, включая изучение закономерностей протекания технологических процессов и выявление параметров, позволяющих интенсифицировать производство при повышении его качества и точности. При этом подразумевается, что комплексные процессы основаны на реализации выполняемых в определенной последовательности различных простых и комбинированных методов обработки, механической обработки давлением и резанием, тепловой, химической, термохимической и др.

### Литература:

1. Технология производства патронов стрелкового оружия. Ч. 1. Технологические основы проектирования патронов / Н.П. Агеев, Г.А. Данилин, В.П. Огородников; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2005. – 352 с.

## ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Сайганов А.Ю. - аспирант, Леонов С.Л. - д.т.н., профессор

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

Важнейшей проблемой отечественного машиностроения на современном этапе является получение заданного качества выпускаемой продукции. Основные показатели машин и приборов в значительной мере определяются эксплуатационными свойствами деталей и соединений, которые, в свою очередь, характеризуются состоянием поверхностного слоя, определяемым технологией изготовления.

Развитие технологии машиностроения сопровождается повышением требований к производительности, точности и качеству обработанных поверхностей. Появление высоколегированных, сверхпрочных, жаростойких материалов ставит эти вопросы еще более остро.

Современная лезвийная обработка идет по пути увеличения скорости резания и подачи инструмента вместе с уменьшением высоты снимаемого слоя. Развитием данной стратегии является высокоскоростная обработка (ВСО) - High speed cutting (HSC). Целесообразность ВСО отображают кривые Соломона (рисунок 1)[4]. Существует закономерность: высота резания не должна превышать 10% от диаметра фрезы [3]. Современные станки с ЧПУ допускают обработку деталей с частотой 18000-40000 об/мин [2].

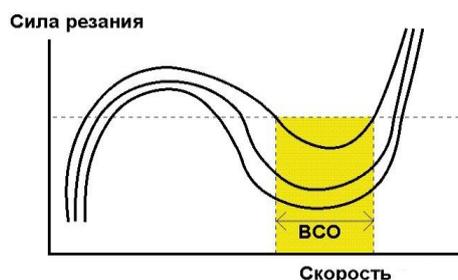


Рисунок 1 - Кривые Соломона

Особенностью обработки на таких высоких скоростях является перераспределение большей части выделяемой теплоты: 75% тепла отводится со стружкой, 20% - через инструмент и 5% - через обрабатываемую деталь [5]. Инструмент и деталь практически не нагреваются, поэтому в ВСО используется воздушное охлаждение, основная цель которого удаление стружки из зоны обработки. Сравнивая способы охлаждения при ВСО на рисунке 2 видно, что обдув воздухом эффективнее других способов, особенно охлаждения при помощи СОЖ. При этом деталь избегает термического поверхностного разупрочнения, исключается коробление.

Производительность и качество обработки зависит от множества факторов, которые определяются, как инструментом, так и оборудованием.

К инструменту предъявляются следующие требования [2]:

- биение не более 0,03 мкм;
- "минимальный вылет";
- максимальная жесткость;

возможно минимальная длина контакта с обрабатываемой деталью, что необходимо

- для снижения риска возникновения вибрации и уменьшения сил резания;

использование мелкозернистых марок твердых сплавов с многослойным покрытием;

- наличие специальной геометрии режущей части;
- симметричная форма инструмента, высокая точность и балансировка.

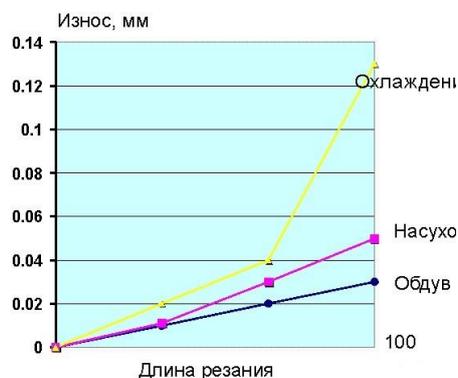


Рисунок 2 - Зависимость износа от способа охлаждения

Обеспечить жесткость крепления инструмента можно за счёт оправок. При ВСО применяют следующие виды оправок[2]: термооправки, "оправки с гидрозажимом", цанговые прецизионные оправки, высококачественная цанга.

Дополнительно для снижения вибрации возможна балансировка оправки.

При таких условиях повышается стойкость инструмента, а равномерная нагрузка позволяет увеличить силы резания за счёт большей скорости резания или подачи.

К станку, на котором производится высокоскоростная обработка, также предъявляются жесткие требования. Высокая частота вращения - от 18тыс. до 50-60тыс. об/мин вынуждает ставить моторшпиндели, отличающиеся: большей передачей крутящего момента, жесткостью, компактностью, скоростью вращения, коротким временем разгона, меньшими потерями энергии, меньшей массой. Особое внимание уделяется точности позиционирования органов исполнения станка. Точность перемещения и его контроль достигают за счёт отсутствия у моторшпинделя зубчатых или ремённых передач.

Стратегия высокоскоростной обработки предполагает быстрое перемещение инструмента. Скорость подачи при ВСО может достигать до 40-60 м/мин. Сложная траектория движения инструмента и большая подача предполагают большие ускорения, которые достигают величины 1-2g [7]. Такие ускорения достигаются при помощи линейных двигателей. Линейные двигатели не имеют сложных кинематических цепей для преобразования вращательного движения в поступательное, что повышает КПД и способствует высокой динамике перемещения и точному позиционированию.

Также одной из наиболее важных частей станка, влияющей на производительность ВСО, является организация системы ЧПУ. На станках с простой системой ЧПУ в буферной памяти находится один кадр программы. При переходе от одного кадра к другому из-за резкого изменения направления движения возникает динамический удар. С целью предотвращения удара система снизит скорость подачи и пройдёт точку перехода на наименьшей скорости. Решением проблем связанных с интерполяцией может стать переход к сплайн-методу.

Для предотвращения негативных явлений ЧПУ оснащают технологией предпросмотра ("Look Ahead"). Технология характеризуется количеством кадров, которые предпросматривает наперёд (500 и более), и даёт возможность выполнять расчеты для торможения на подходе к углу и разгона после поворота, более качественно производить обработку [6].

Также система ЧПУ и УП для ВСО должна удовлетворять следующим требованиям:

- регулирование скорости перемещения вдоль оси без ошибок для достижения высокой точности траектории;
- ограничение темпа ускорения по направлению траектории и по направлению оси для защиты станка;
- коррекция инструментов (длина, радиус, различные типы фрезы);
- автоматизированные функции сглаживания траектории;
- компенсация механически обусловленных ошибок;
- аналоговые приводы заменяются цифровыми.

В некоторых случаях недостатки ЧПУ можно снизить за счёт грамотного построения траектории перемещения инструмента при помощи САД-систем. Для обеспечения равномерной нагрузки и сохранения теплового баланса необходимо постоянное срезание слоя металла определённого объёма. Достигают постоянства за счёт сохранения величины угла перекрытия. На прямолинейных участках данный показатель постоянный. А при обработке углов (например, паза) угол перекрытия резко увеличивается. Вследствие чего резко увеличивается объём снимаемого слоя, силы и температура резания. Это приводит к сокращению стойкости инструмента, и может привести к поломке. Для того, чтобы исключить неблагоприятный режим резания применяют концепцию трохoidalной обработки. В результате повышается производительность оборудования и стойкость инструмента.

Недостатком трохoidalной обработки является непостоянная обработка. Часть времени фреза не обрабатывает деталь, а значит можно повысить производительность за счёт постоянного контакта детали и инструмента. Примером подобной стратегии обработки является стратегия Vortex, разработанная компанией Delcam. Результатом применения получается траектория обработки с более стабильными режимами резания.

Также разработана технология MachineDMA, которая учитывает индивидуальные особенности станка. При обработке криволинейной поверхности станок может снизить подачу для предотвращения чрезмерной нагрузки на инструмент. А также производительность стойки станка может не обработать большое количество кадров программы с мелким шагом. Технология MachineDMA позволяет избежать подобных ситуаций, не тратя каждый раз время на поэтапную ручную оптимизацию программы[5]. Оптимизация происходит за счёт анализа работы специального набора тестовых программ. Анализируются кинематические параметры, динамические характеристики и ограничения станка. Полученные результаты учитываются при построении траектории движения инструмента и назначении режимов резания. Недостатком технологии MachineDMA является:

- необходимость отработки тестовых программ на каждом станке;
- повторная отработка после ремонта, перенастройки или модернизации станка;
- программы для деталей индивидуальны для каждого станка и не взаимозаменяемы.

Применение технологии ВСО способно обеспечить высокое качество обработки и увеличить производительность на 50% и более. Но одновременно повышают требования к инструменту и оборудованию, которые продиктованы спецификой обработки: высокая скорость обработки, скорость подачи, малое время отработки кадра программы.

#### Литература

1. Возможности стратегии обработки Vortex от компании Delcam.//РИТМ. 2014. №10.
2. Воронин А. Ю. Высокоскоростное фрезерование [Электронный ресурс] / А. Ю. Воронин. — Режим доступа :[http://cccp3d.ru/index.php?app=core&m=attach&attach\\_id=32098](http://cccp3d.ru/index.php?app=core&m=attach&attach_id=32098).
3. Высокоскоростная обработка [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://insoftmach.ru/HSC.html>
4. Высокоскоростная обработка [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.delcam-ural.ru/cam/tehpodderjka>
5. Евченко К. Стратегия Vortex и технология оптимизации MachineDNA от компании Delcam [Электронный ресурс] / К. Евченко, Д. Маслов, А. Пинчук, С. Таликин. —Режим доступа : [http://www.umpro.ru/index.php?page\\_id=17&art\\_id\\_1=415&group\\_id\\_4=74](http://www.umpro.ru/index.php?page_id=17&art_id_1=415&group_id_4=74)
6. Мирошниченко В.Н., Бурлаченко А.С.. Высокоскоростная лезвийная обработка в машиностроении.// Электронный вісник нук. 2010. №5.
7. Особенности внедрения перспективной технологии высокоскоростного фрезерования (HSM/HSC) //Металлообработка и станкостроение. 2011. №1.
8. Стратегия фрезерования Vortex позволила компании Promolding сократить время обработки более чем на 80%.//Комплект: «ИТО». 2014. №7.
9. PowerMill [Электронный ресурс]. Режим доступа:<http://planetacam.ru/choice/powermill>

#### ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ И ИХ КЛЮЧЕВЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ

Смирнов А.В. - студент, Федоров В.А. - к.т.н., доцент

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

Одними из важнейших факторов, определяющих эксплуатационную надежность и срок службы деталей, являются свойства поверхностей этих деталей. Изнашивание деталей в машиностроении происходит, в основном, в результате трения их рабочих поверхностей. Чтобы повысить срок службы деталей, на ответственные поверхности наносится покрытие,

обладающее высоким уровнем защитных свойств, таких как: износостойкость, жаростойкость, коррозионная устойчивость.

Плазменное напыление – один из самых прогрессивных способов обработки поверхностей деталей для улучшения защитных свойств их поверхностей. Оно является одним из газотермических способов напыления покрытий, применяемого в технологии упрочнения и восстановления рабочих поверхностей деталей машин. *Плазменное напыление* относят к области сварки и резки. Для такого вида обработки применяют преимущественно порошковые материалы, а также проволоку, стержни, прутки.

Технологический процесс плазменного напыления состоит из предварительной очистки, подготовки поверхности детали, напыления и механической обработкой напыленных покрытий. Напыление происходит путем перемещения изделия относительно плазмотрона или наоборот. Скорость перемещения 2...30 мм/сек, расстояние между плазмотроном и изделием 100...150 мм, диаметр пятна напыления 10...25 мм, толщина покрытия 0,05...5,0 мм. Нагрев обрабатываемой детали не превышает 100-150 градусов.

Недостатками в технологии плазменного напыления являются:

- недостаточный в некоторых случаях уровень значений прочности сцепления покрытий с основой, обычно не более 15— 50 МПа при испытаниях на нормальный отрыв;
- наличие пористости (обычно в пределах 2—15%), которая препятствует применению многих плазменных покрытий в коррозионных средах без дополнительной обработки;
- невысокий коэффициент полезного использования энергии плазменной струи при нагреве порошка (2—8%);
- невозможность нанесения покрытий из тугоплавких материалов с температурой плавления около 2800°.

В 2011 году нашими коллегами из АлтГТУ им. И.И. Ползунова был разработан плазмотрон с подвижной зоной плазмообразования, которая позволяет подавать напыляемый порошок в необходимую область плазмы, выходящей из сопла плазмотрона, что позволяет регулировать пористость покрытия и прочность сцепления напыляемых частиц с основой.

Данная установка решает проблему с пористостью, которая в зависимости от материала и условий напыления может колебаться от 2 до 15 %. Эта проблема весьма актуальна и является одной из основных [1].

Самым универсальным среди способов газотермического напыления является плазменно-дуговой метод.

Он заключается в формировании на поверхности детали или изделия слоя из частиц порошка. Частицы обладают значительным запасом тепловой и кинетической энергии, полученной в результате их взаимодействия со струей дуговой плазмы.

Возможными дефектами плазменно-дугового способа нанесения покрытий является отслоение напыленного слоя, растрескивание покрытия, появление на поверхности крупных капель материала покрытия, капель меди, а также разнотолщинность покрытия выше допустимой.

С целью повышения адгезионной и когезионной прочности и других качественных характеристик, плазменные покрытия подвергают дополнительной обработке различными способами: обкатка роликами под током, очистка напыляемых поверхностей от окалины и удаление слабо сцепленных с основой или с предыдущим слоем частиц металлическими щетками в процессе самого напыления, струйно-абразивная и ультразвуковая обработка.

Одним из наиболее распространенных способов улучшения качества покрытий из самофлюсующихся сплавов является их оплавление.

Для оплавления используют индукционный или печной нагрев, нагрев в расплавах солей или металлов, плазменный, газопламенный, лазерный и другие методы нагрева. В большинстве случаев предпочтение отдают нагреву в индукторах токами высокой частоты (ТВЧ). Напыленные покрытия системы Ni-Cr-B-Si-C подвергают оплавлению при 920-1200 С с целью уменьшения исходной пористости, повышения твердости и прочности сцепления с металлом— основой.

Плазменное напыление имеет большой потенциал как в области машиностроения, так и в

области совершенствования технологии самих процессов, применяемых при данной обработке. Это один из наиболее эффективных методов обработки поверхностей деталей.

Список литературы:

1. Разработка технологии и оборудования для нанесения защитных композиционных покрытий способом плазменного напыления / Е.А. Сафронова, Е.О. Одинаев, В.А. Федоров; Барнаул, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2011 – 125с;
2. 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.;
3. Лашенко Г.И. Плазменное упрочнение и напыление.-К.: Екотехнология, 2003-65с.
4. Информационный портал: [www.ngpedia.ru](http://www.ngpedia.ru).
5. Информационный портал: <http://worldofmaterials.ru>.

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ НЕЖЕСТКИХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Пчелкина Н.А. - магистрант, Потапов И.С. - студент, Балашов А.В. - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Высокие упругие свойства материалов, из которых изготавливают нежесткие детали, малая их термоустойчивость, вибрации, возникающие при обработке тонкостенных изделий, создают трудности при производстве нежестких деталей.

Перечисленные проблемы обусловили специфичный подход к способам крепления нежестких деталей, жесткости стыковочных соединений инструмента со шпинделями станков и деталей с приспособлениями [1].

Для фрезерования тонкостенных профилей ( $t = 0,5 \dots 1$  мм) из цветных сплавов применяют магнитный способ крепления (рис. 1, б). На магнитной плите 6 устанавливают упорные планки 2 и 5. ферромагнитный ложемент 3, вкладывается в деталь 4, прижимает её к основанию плиты. Такая схема крепления применяется при обработке торцов профилей концевой фрезой 1.

П- и Т-образные стальные профили 1 (рис. 1, в) также закрепляют на магнитных либо электромагнитных плитах 2. при этом высокой точности способствует равномерное притяжение полок Т-образных профилей на магнитной плите с раздвижными крепежными элементами 2 (рис. 1, г).

При фрезеровании наклонных торцов высоких корытообразных деталей 2 (рис. 1, д), полученных из листовых деталей, устраняют вибрации стенок вблизи зоны резания армированием мочевиной 1. В армированном состоянии детали закрепляют планками 3.

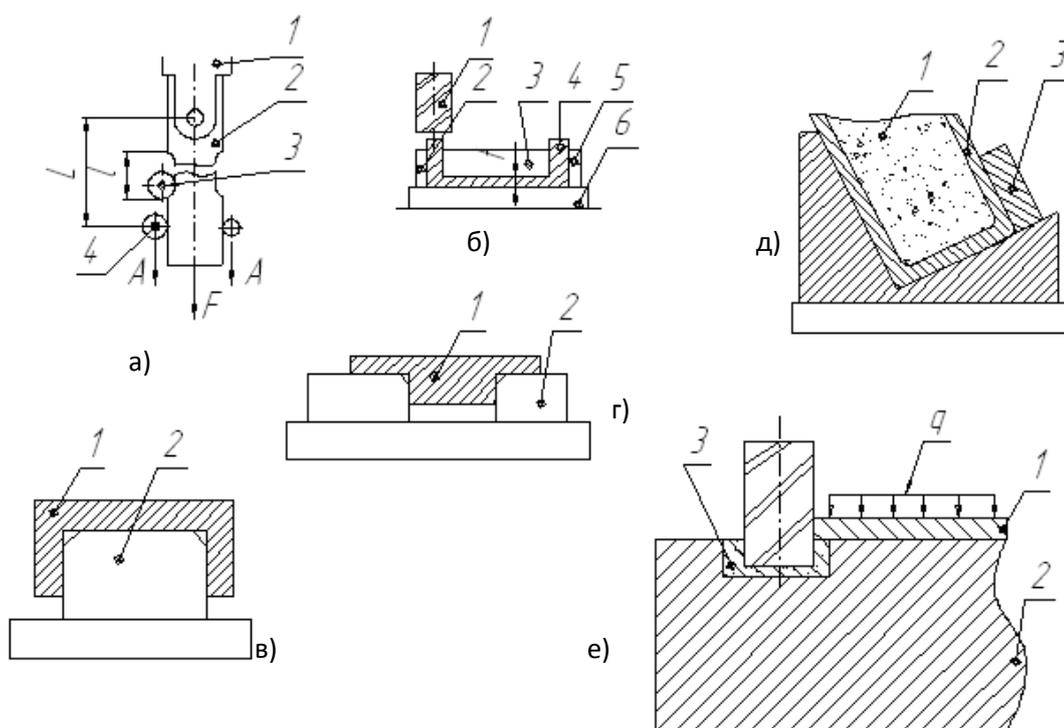


Рисунок 1 – Схема крепления при фрезеровании: а – длинномерных деталей; б, в – П-образных деталей; г – Т-образных деталей; д – коробчатых; е – листовых деталей

Другой способ устранения вибраций армированием показан на рисунке 1, е. Здесь в основании 2 приспособления по форме фрезеруемого контура детали 1 сделан паз, залитый мочевиной 3 толщиной 3 – 6 мм. Мочевина выполняет роль опоры, предотвращает упругую деформацию кромки детали и одновременно при вращении фрезы уменьшает её вибрацию. Поскольку мочевина легко обрабатывается, усилие фрезерования практически не повышается. По мере износа поверхность основания быстро восстанавливают подливкой расплавленной мочевины и направленным отверждением в перевернутом на 180° положении либо механической обработкой. Такие приспособления рекомендуется встраивать в вакуумные, магнитные и механические устройства.

Механическая обработка поверхностей длинномерных нежестких деталей производится следующим образом. На длинной нежесткой заготовке 1 (см. рис. 2, а) перед обработкой ее плоской поверхности выполняют поперечные канавки 2. Глубину  $t$  канавок 2 выбирают равной величине впоследствии снимаемого припуска, а расстояние  $l$  между ними - меньшим или равным ширине обрабатываемой детали. Общую длину  $L$  заготовки при этом можно делить на  $n$  равных участков. Подготовленную указанным способом заготовку закрепляют в приспособлении 3 на столе, например, вертикально-фрезерного станка и сообщают ей движение подачи  $S$  относительно вращающегося режущего инструмента 4, настроенного на снятие припуска величиной  $t$ . В результате обработки после раскрепления деталь деформируется и приобретает форму, изображенную на рис. 2, в.

Максимальная погрешность формы в продольном сечении при этом равна  $fl$  и не превышает погрешности формы в поперечном сечении детали. Указанное коробление  $fl$  значительно меньше величины коробления  $f$ , образующегося при обработке заготовки известным способом (см. рис. 2, б). Это объясняется тем, что коробление возникает в пределах длины  $l$  каждого из участков заготовки, а не на всей длине  $L$ , так как величина коробления пропорциональна квадрату длины обрабатываемого участка заготовки. Предложенный способ позволяет также за счет возможности съема больших по величине припусков повысить производительность обработки плоских поверхностей длинных нежестких деталей.

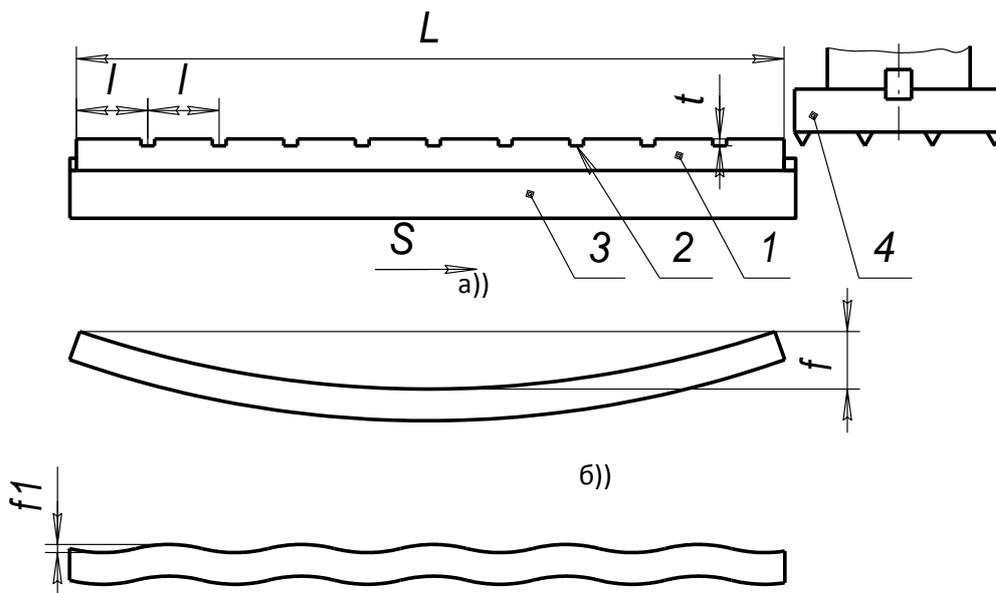


Рисунок 2 – Обработка длинных нежестких деталей

Коробчатые детали при отрезке облоя на вертикально-фрезерном станке (рис. 3) закрепляют магнитным способом. Для этого деталь 2 устанавливают на магнитную плиту в зону, ограниченную планками 3, в изделие вкладывают два или несколько ферромагнитных ложемента 4, которые взаимодействуют с магнитной плитой 5 и прочно закрепляют деталь. Отрезку облоя производят дисковой фрезой 1 толщиной 1 – 2 мм либо абразивным кругом.

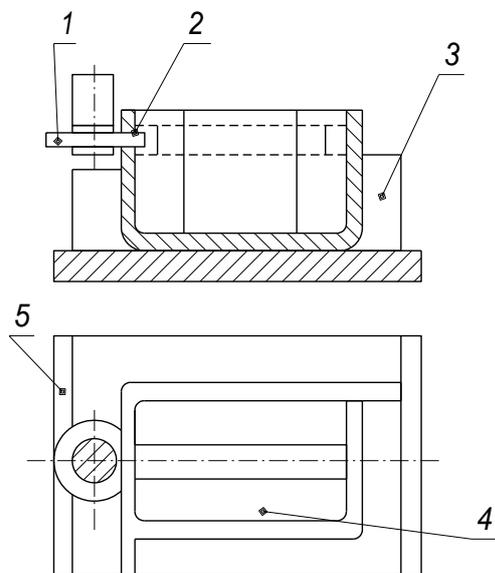


Рисунок 3 – Магнитное крепление коробчатых деталей при отрезке облоя на вертикально-фрезерном станке

Повышение фрезерования нежесткой поверхности корпусной детали можно достигнуть путем изменения подачи в процессе обработки в зависимости от жесткости технологической системы (рис. 4) [2].

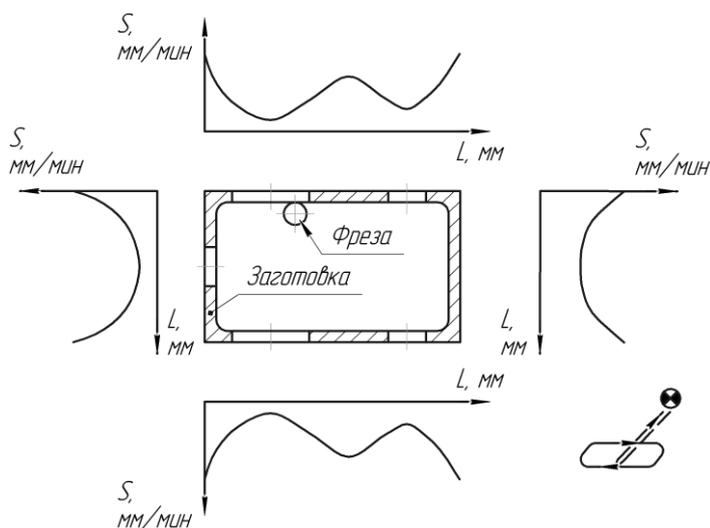


Рисунок 4 – Управление показателями точности фрезерования нежесткой детали подачей

Техническое решение предусматривает возможность управления показателями точности нежесткой детали посредством управления подачей инструмента или заготовки в зависимости от положения фрезы относительно нежесткой заготовки.

Обеспечение показателей точности может реализоваться путем управления жесткостью заготовки (рис. 5) [2].



Рисунок 5 – Управление показателями точности фрезерования нежесткой детали жесткостью заготовки

Техническое решение предусматривает возможность управления показателями точности нежесткой детали посредством предискажения обрабатываемой поверхности заготовки изгибом при помощи двух внешних сил  $P_1$  и  $P_2$  до обработки. Предискажение заготовки осуществляется на величину упругих отжатий заготовки, возникающих во время обработки, тем самым, компенсируя их и позволяя выдержать исследуемый линейный размер (толщину стенки) в пределах поля допуска.

Обеспечение показателей точности может реализоваться путем применения подводимых домкратов как с ручным закреплением подводимой опоры, так и автоматической.

Перед началом обработки детали на электромеханический привод подаётся напряжение (рис. 6).

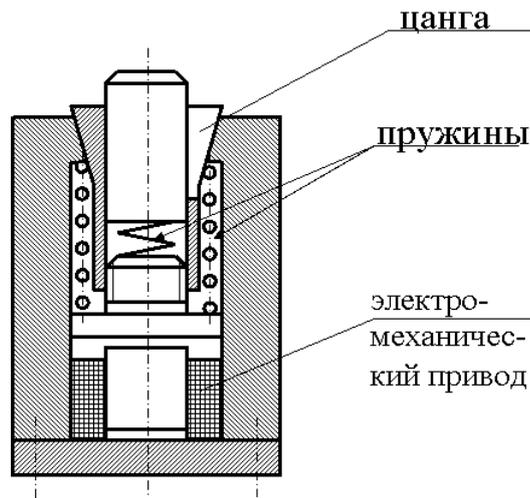


Рисунок 6 – Подводимый домкрат с автоматической фиксации опоры

Сердечник привода, перемещаясь, воздействует на цангу. Освобождённая подводимая опора под воздействием пружины самоустанавливается по внутренней поверхности нежесткой детали. Для закрепления опоры, с электромеханического привода снимается напряжение, сердечник привода возвращается в исходное положение. После чего посредством второй пружины цанга закрепляет опору.

Рассмотренные способы управления точность нежестких деталей имеют ограничения по конструктивным характеристикам корпусных деталей. Поэтому необходимо разработать методику выбора способа крепления, назначения режимов обработки, целесообразность армирования внутренней полости или предварительной подготовки нежесткой поверхности детали для фрезерования.

#### Литература

1. Куклев А. С., Тазетдинов М. М. Оснастка для обработки нежестких деталей высокой точности. – М.: Машиностроение, 1978.- 104с.
2. Балашов А.В., Потапов И.С., Жидецкая А.С. Выбор способа фрезерования нежестких корпусных деталей в условиях группового производства. В сборнике: Металлообрабатывающие комплексы и робототехнические системы - перспективные направления научно-исследовательской деятельности молодых ученых и специалистов Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор Гречухин А.Н.. г. Курск, 2015. С. 32-36.

#### ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

Сукаева Ф.М. - магистрант, Некрасов В.Н. - к.т.н., доцент

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

Тенденции современного машиностроения характеризуются повышением требований к эксплуатационным показателям машин. Шероховатость поверхности влияет на герметичность соединений, прочность посадок с натягом, трение и износ, контактную жесткость и т. д., поэтому для обеспечения эксплуатационных свойств деталей машин необходимо создать простые и достаточно точные средства прогнозирования влияния технологических факторов на шероховатость поверхности.

Одним из видов из таких средств являются математические модели, описывающие технологический процесс. Для описания процесса течения разработано достаточно большое количество как теоретических, так и эмпирических моделей. Но либо они слишком сложны, либо имеют ограниченный диапазон применимости.

В предлагаемой модели для описания микропрофиля обработанной поверхности при токарной обработке используется два блока. Один из них описывает детерминированную или систематическую составляющую, получаемую вследствие кинематического взаимодействия инструмента и заготовки. Для определения этой составляющей есть известные, хорошо формализованные математические модели. Для моделирования систематической составляющей использован фрагмент модели, разработанный на кафедре ТАП АлтГТУ, преподавателем Леоновым С.Л. и магистром Дударевым М.В. [1]. Другой блок описывает формирование случайной составляющей профиля, образующейся в результате деформации, вырывов, сколов обрабатываемого материала и других случайных факторов возникающих в зоне резания. Случайная составляющая проявляется, как правило, в виде субмикронеровностей случайным образом расположенных на систематическом профиле. Для определения случайной составляющей предлагается рассматривать субмикронеровности в виде маленьких равнобедренных треугольников, определяемых двумя параметрами: ширина основания  $b$  и высота треугольника  $h$  и шаг их относительного расположения  $p$  (рис. 1). Эти параметры ( $b$ ,  $h$ ,  $p$ ) носят случайный характер.

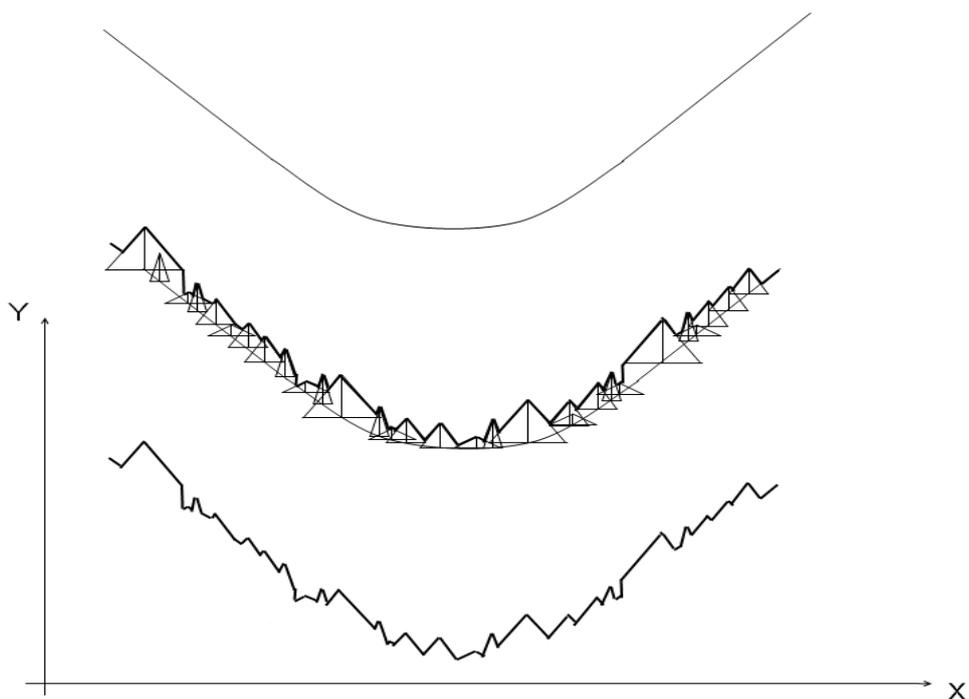


Рисунок 1 – Формирование микропрофиля поверхности при точении

При моделировании на детерминированную составляющую с шагом  $p$  будут накладываться треугольники со случайными параметрами. Далее профиль будет формироваться по точкам с максимальным значением координаты  $Y$ . В результате моделирования должна получиться такая картина: каждому треугольнику соответствует точка привязки на профиле  $(x_1; y_1, x_2; y_2, \dots, x_n; y_n)$ . Далее профиль будет формироваться по точкам с максимальным значением координаты  $Y$ . Для описания профиля треугольника привязанного к детерминированному профилю определены зависимости и заданы диапазоны расчета:

$$Y_i = \frac{2h}{b_i} x_j + h ; \quad (x_i - \frac{b_i}{2} \dots x_i)$$

$$Y_j = \frac{2h}{b_i} x_j + h ; \quad (x_i \dots x_i + \frac{b_i}{2})$$

Для построения микропрофиля обработанной поверхности при точении разработан алгоритм (рис. 2) последовательно реализующий блоки 1 и 2: формирование детерминированного профиля и случайной составляющей профиля.



Рисунок 2 – Алгоритм расчета микропрофиля обработанной поверхности при точении

Итогом работы алгоритма является графическое представление микропрофиля обработанной поверхности и значение шероховатости  $R_a$ .

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ШТАМПОВ, ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Коняев А.В. - магистрант, Аскалонова Т.А. - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г.Барнаул)

Основной деталью формообразующих штампов является матрица, служащая для образования формы будущего изделия. Эта деталь сложна в изготовлении, поскольку имеет рельефный, тесный рисунок, элементы почти не повторяются (рисунок 1). Кроме того требуется достичь высокую шероховатость поверхности в местах недоступных для шлифования.

Повышенные требования к качеству обработки поверхностей пуансонов и матриц штампа объясняются необходимой стойкостью штампа в работе, а точная взаимная подгонка пуансона и матрицы обеспечивает получение высококачественных деталей. Проблемой выполнения таких требований являются высокая трудоемкость обработки матрицы и повышенные затраты на режущий инструмент. Указанные требования обеспечиваются применяемым инструментом и режимами резания, это решающие факторы от которых зависят качество деталей и затраты на их изготовление.

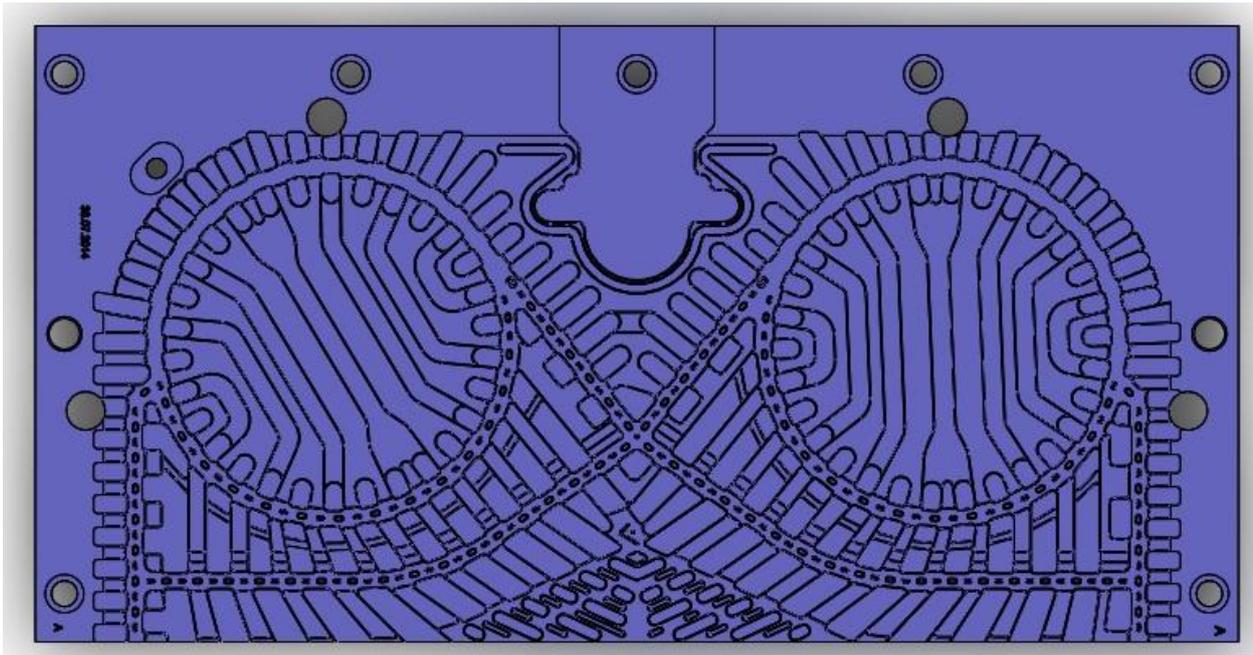


Рисунок 1. - Формообразующая матрица левая

Материал матрицы Сталь X12МФ, твердость 57-60HRC- характерная сталь для изготовления холодных штампов. Высокая твердость определяется высоким содержанием углерода. Стали с содержанием С 1,25-1,45 % являются сталями ледебуритного класса, то есть содержат в литом состоянии карбидную эвтектику, имеют после закалки твердость HRC 62-64.

Операция фрезерования канавок осуществляется на вертикально-фрезерном станке модели LEADWELL V 40 с максимальной скоростью вращения шпинделя 10000 об/мин, мощность привода 18,5 кВт. Инструментом для обработки канавок формообразующей матрицы служит концевая фреза Ø8мм из твердого сплава фирмы Hoffmann.

В производственных условиях фреза работает на режимах:

- обороты  $n=800$ об/мин;
- подача  $s=100$ мм/мин.

Исследование процесса фрезерования на этих режимах выявило невысокую стойкость фрез  $T=116$ мин (при этом на обработку одной детали требуется 4 фрезы диаметром 8мм, 3 фрезы диаметром 10мм и др.) и высокую трудоемкость  $T_{шт}=160$ часов. Кроме затрат на механообработку, велики затраты времени на создание управляющей программы для ЧПУ.

Исходя из выше сказанного, целью работы является повышение производительности обработки формообразующих штампов, путем выбора оптимальных траекторий инструмента, с учетом формы профиля и интенсификации режимов обработки.

Обзор современных средств автоматизации проектирования позволяет сделать вывод, что можно существенно сократить время создания управляющей программы, используя такие программы как SolidWorks, Siemens PLM NX 10.0.

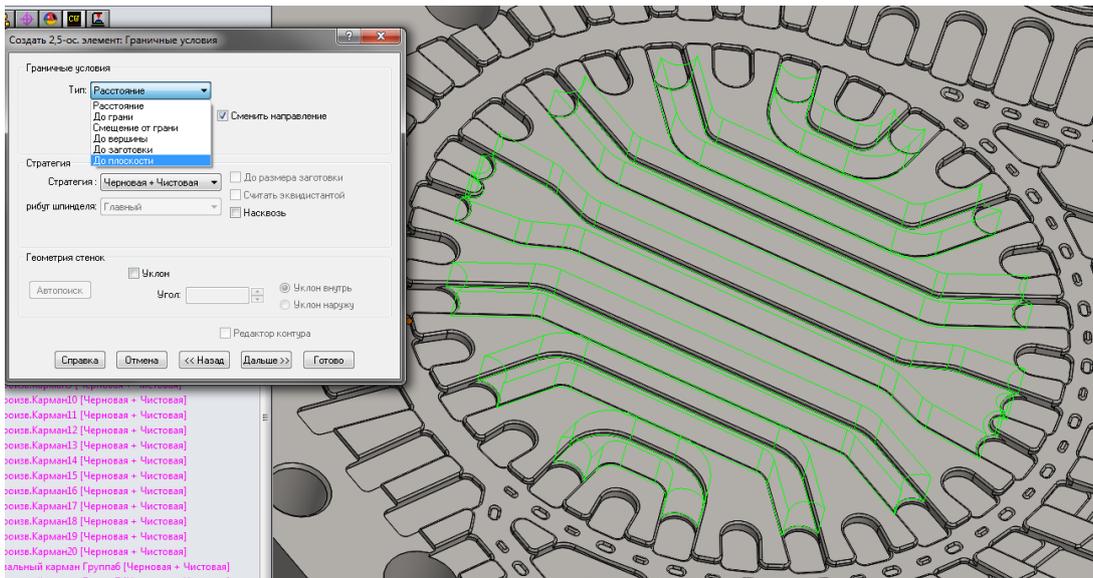


Рисунок 2 - Автоматизированное распознавание элементов детали с определением режимов резания и инструмента в модуле CAMWorks для SolidWorks.

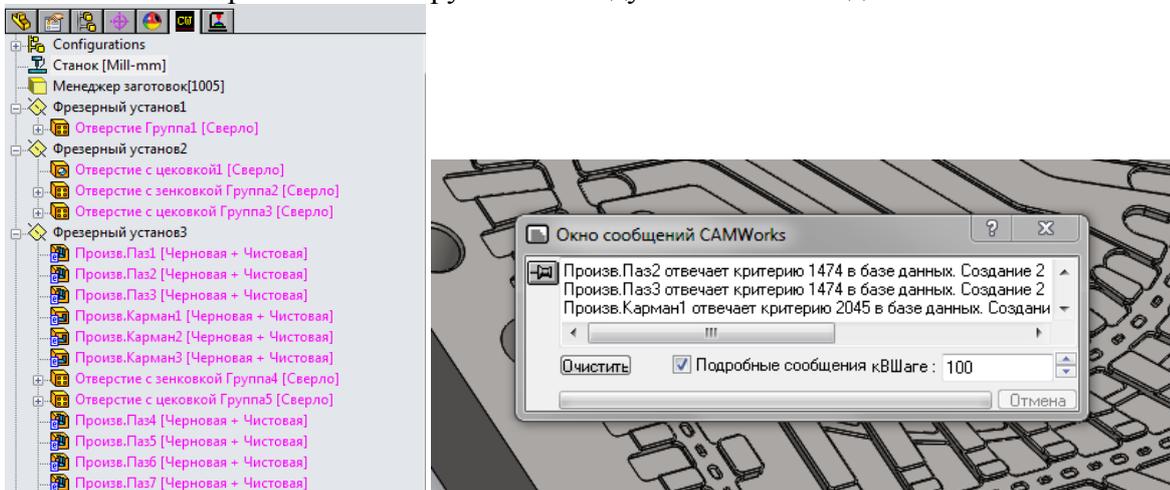


Рисунок 3 - Дерево элементов с планом обработки (слева) и создание операций по обработке (справа).

Преимуществом использования таких программ является сокращение времени на проектирование управляющей программы в несколько раз, в зависимости от сложности детали.

В результате использования программного модуля CAMWorks, опытный пользователь составляет программу для матрицы за 4-5 часов, когда программист, пользуясь программой MasterCAM тратит на это порядка 20-25 часов.

#### Литература:

1. - А. Степанов. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве// CAD/CAM/CAE observer №3.
2. ГОСТ 5950-2000. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
3. Изготовление штампов, пресс-форм и приспособлений 1974. Владимиров В.М. // М.: "Высшая школа"

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Соловьев Д.А. – магистрант, Иконников А.М. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В машиностроительной практике часто встречаются детали, поверхности которых имеют сложную пространственную форму, что значительно затрудняет их отделочную обработку. Крыльчатки вентиляторов и насосов, лопатки турбин, прессформы – эти и многие другие изделия нуждаются в полировании криволинейных исполнительных поверхностей. Применение высокопроизводительных методов полирования затруднено вследствие необходимости обеспечения оптимальных режимов резания и применения абразивного инструмента с необходимым радиусом кривизны рабочей поверхности. Высокая трудоёмкость изготовления абразивного инструмента и его низкая универсальность вынуждают разрабатывать другие методы отделочной обработки для обеспечения необходимых параметров качества обработанной сложнопрофильной поверхности, например, магнитно-абразивная обработка.

Обеспечение оптимальных режимов резания в процессе магнитно-абразивной обработки является технически сложной задачей. Для его реализации предлагается использовать разработанную математическую модель, входными данными которой являются необходимая шероховатость обрабатываемой сложнопрофильной поверхности, зернистость ферромагнитного порошка и конструктивно-геометрические параметры обрабатываемой детали. Выходными данными представленной модели являются оптимальный радиус рабочей поверхности магнитного индуктора, время обработки заданной поверхности, значение подачи и величина перекрытия.

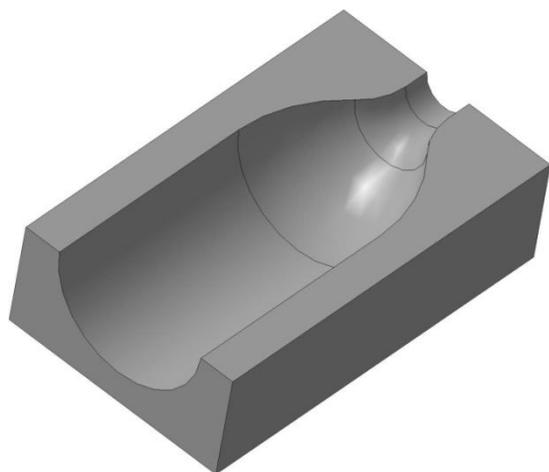


Рисунок 1 – Прессформа

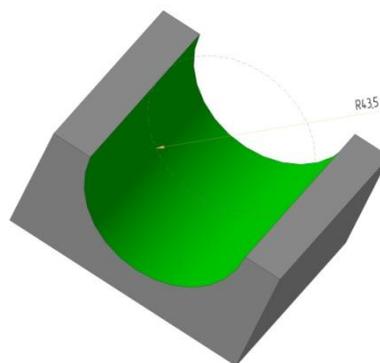


Рисунок 2 – Обрабатываемый элемент прессформы

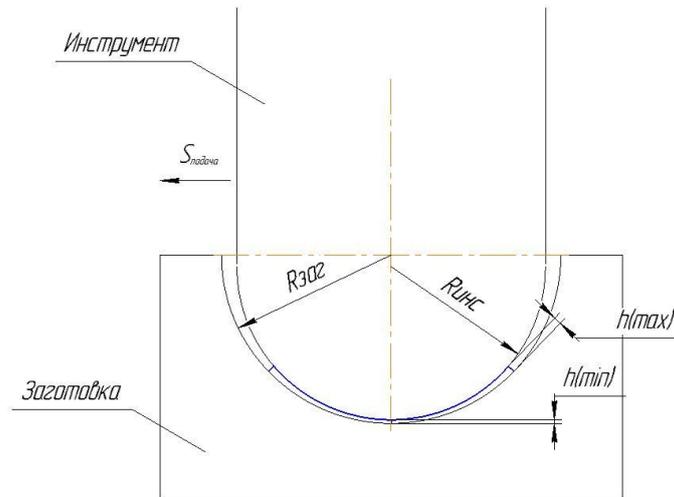
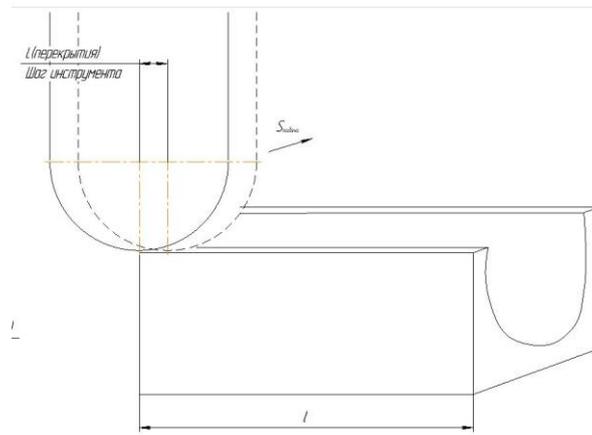


Рисунок 3 – Схема обработки

Радиус инструмента  $R_{инстр}$  не должен превышать минимального радиуса заготовки, при этом стоит учитывать рабочий зазор и стандартные значения параметров инструмента.

$$L_{ш. и} = \sqrt{R_{заг}^2 - (R_{заг} - h_{max} + h_{min})^2} \quad (1)$$

$$T_{(вр.обр.участка)} = \frac{l_{(дуги заг.)} * \left(\frac{l}{L_{ш. и.}} + 1\right) + 2l}{S} \quad (2)$$

$$S = \frac{l_{(дуги инстр.)} * R_{заг}}{t_{(р.к.)}/60} \quad (3)$$

$t_{(р. к.)}$  подбирается оптимальная при помощи средств MS Excel методом подбора для заданных параметров из формул

$$Ra_{max} = 0,0002 * \Sigma q^{-0,617} \quad (4)$$

$Ra_{max}$  - максимальное значение полученной шероховатости

$Ra_{max} \leq Ra_0$  не должна превышать требуемую шероховатость

Графическое представление имеет вид, представленный на рисунке 5

$$q = 6.53 * 10^{-7} * t_{(р.к.)}^{0,421} * h_{min}^{-2,011} * Za^{0,308} \quad (5)$$

$Za$  – зернистость порошка

$q$  – удельный съём материала

Все формулы и зависимости были записаны и оформлены в виде программы в среде MS Excel

|    | A  | B       | C | D           | E                       | F     | G |
|----|--|---------|---|-------------|-------------------------|-------|---|
| 1  | Исходные данные:                           |         |   |             | Полученные данные:      |       |   |
| 2  | Ra(0)                                      | 0,24    |   |             | R(инстр), мм            | 40    |   |
| 3  | Zo   | 250/315 |   |             | t(раб контакта), с      | 11,6  |   |
| 4  | R(заг) обрабатываемого, мм                 | 44      |   |             | s, мм/мин               | 274,1 |   |
| 5  |  |         |   |             | L(ш.и.), мм             | 12,66 |   |
| 6  | Количество участков заготовки и их радиусы |         |   |             | T(вр.обр. участка), мин | 7,6   |   |
| 7  | №  | R(y)    |   |             | РАСЧЕТ                  |       |   |
| 8  | 1  | 44      |   |             |                         |       |   |
| 9  | 2  |         |   |             |                         |       |   |
| 10 | 3  |         |   |             |                         |       |   |
| 11 | 4  |         |   |             |                         |       |   |
| 12 | 5  |         |   |             |                         |       |   |
| 13 | 6  |         |   |             |                         |       |   |
| 14 |  |         |   |             |                         |       |   |
| 15 | Дополнительные исх. данные                 |         |   | Для графика |                         |       |   |
| 16 |  |         |   | N(участков) | 10                      |       |   |
| 17 | l (длина участка), мм                      | 150     |   |             |                         |       |   |

Рисунок 4 – Интерфейс программы в MS Excel

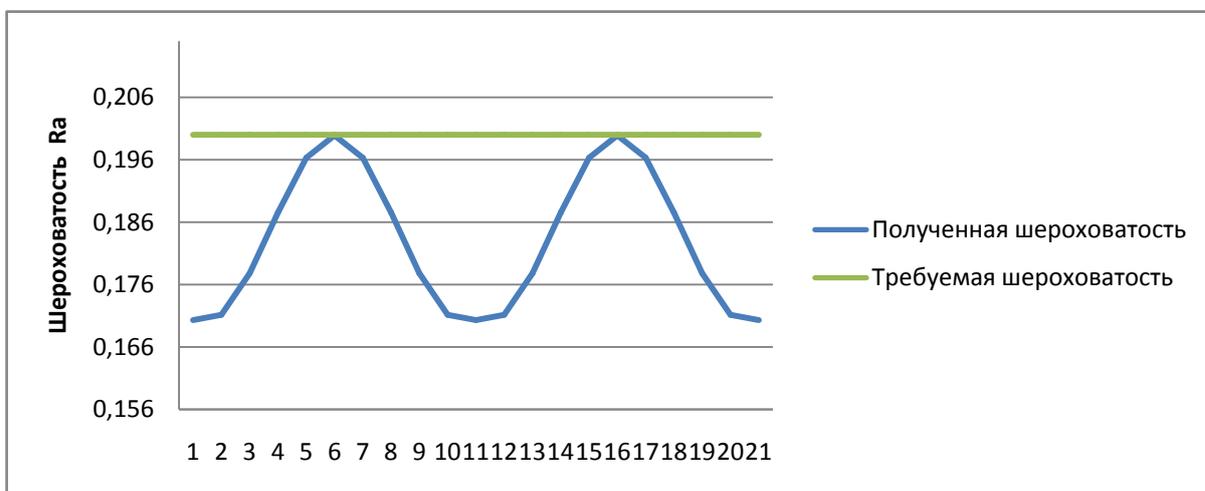


Рисунок 5 – График требуемой и полученной шероховатости детали

Разработанная программа для отделочной операции магнитно-абразивной обработки, позволяет подобрать инструмент, назначить технологические параметры (рабочий зазор, зернистость порошка, величину перекрытия, подачу и рассчитать время на обработку) которые используются при составление управляющей программы для станков с ЧПУ, с помощью САМ-систем (SprutCAM)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ АЛМАЗНЫХ ЗЁРЕН И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Жуков Э.А. – магистрант, Аскалонова Т.А. – к.т.н., доцент

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

Многими исследованиями установлено, что режущие свойства алмазных зёрен определяются формой, геометрией и физико-механическими свойствами. Теоретическими и экспериментальными работами ученых (Е.Н. Маслова, П.М. Ящерицына и т.д.) доказано, что все абразивные частицы имеют определенную геометрию, характеризующую углом заострения при вершине зерна  $\varepsilon$  и радиусом округления  $\rho$ . Проблема определения более точных фактических геометрических параметров и по сей день остаётся актуальной.

Угол заострения при вершине, радиус округления вершины, зернистость и многие другие параметра определяют в значительной степени производительность процесса шлифования и качество шлифованной поверхности. Были собраны многочисленные данные

по измерению угла заострения из работ [1], [2],[3], [4]и др. В этих работах указывается, что фактическая геометрия зёрен отличается от приводимых в литературе данных. Причиной этого является погрешность измерения углов по микрофотографиям. Целью данной работы является определение погрешности измерения с помощью 3Dмодели зерна.

Были спроектированы алмазные 3Dзёрна (рисунок 1), представленные в виде шара и прикреплёнными к нему разновысокими конусами с углами заострения  $\varepsilon=70^{\circ}$  и  $\varepsilon=90^{\circ}$ . На рисунке 1 изображена 3D модель с углом заострения равным  $90^{\circ}$ . Метод определения этого угла – это фотографирование зёрен в проходящем свете и замер углов заострения на получившихся проекциях.

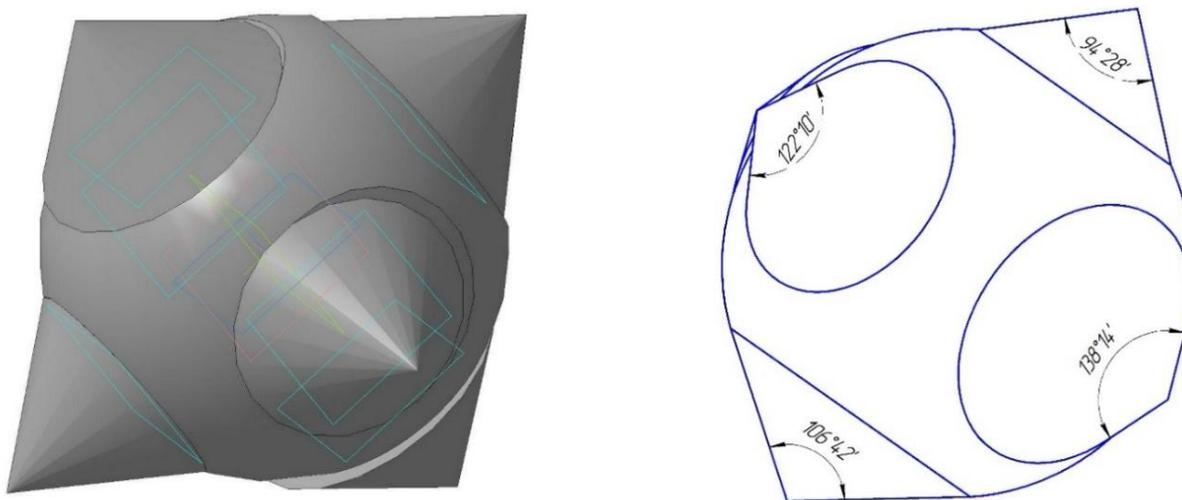


Рисунок 1. 3Dмодель алмазного зерна и её проекция на плоскость.

Измерения производились при помощи специальных шаблонов. Статистической обработкой результатов установлено, что характер распределения спроектированных углов заострения асимметричен, размеры углов имеют рассеивание в значительных пределах (рисунок 2).

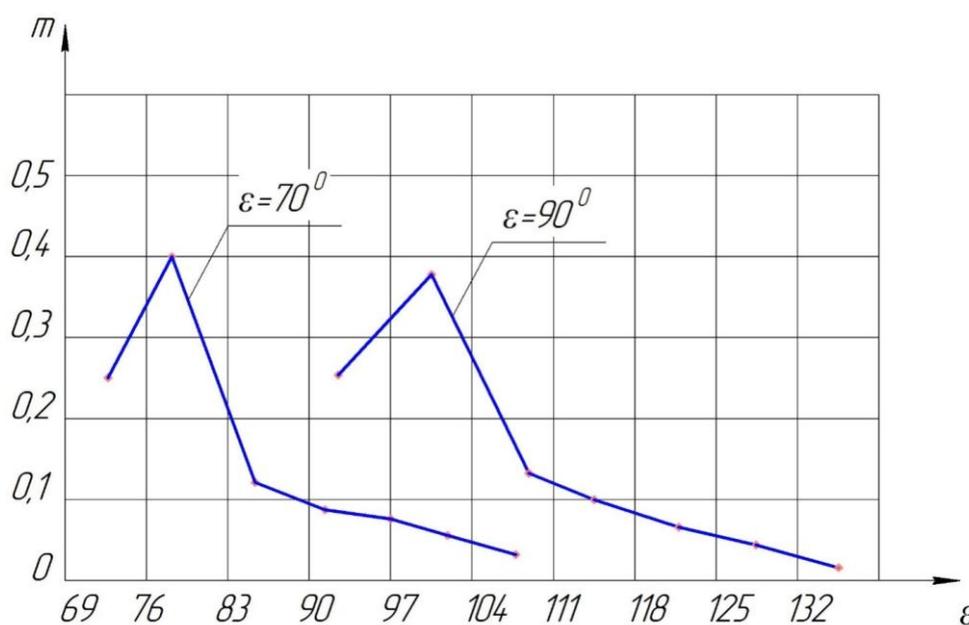


Рисунок 2. График распределения углов заострения у моделей зёрен.

Как видно из графиков, минимальные значения проекции приближаются к действительной величине угла, максимальное значение для модели  $\varepsilon=70^{\circ}$  составляет  $120^{\circ}$ , а для  $\varepsilon=90^{\circ}$  составляет  $140^{\circ}$ .

Таким образом подтверждается положение о том, что измерение углов заострения зёрен по их проекциям не даёт представления об их истинной величине. Среднее значение угла заострения, измеренное по проекциям, для модели с конусами  $\varepsilon=70^{\circ}$  составило  $\varepsilon_{\text{ср}}=83^{\circ}42'$ , а для  $\varepsilon=90^{\circ}$ ,  $\varepsilon_{\text{ср}}=104^{\circ}$ . Фактические значения углов заострения оказываются меньше измеренных проекций.

Собранные в литературных источниках данные по углам заострения  $\varepsilon$  были скорректированы с помощью выведенной поправки. При сравнении фактических углов и углов, замеренных по проекции, была определена поправка на метод определения, которая составила для углов заострения  $\varepsilon=70^{\circ}$   $\Delta=14,5\%$ , для углов  $\varepsilon=90^{\circ}$   $\Delta=22\%$ . По полученным результатам был построен график зависимости угла заострения  $\varepsilon$  от величины зернистости  $B$  (рисунок 3).

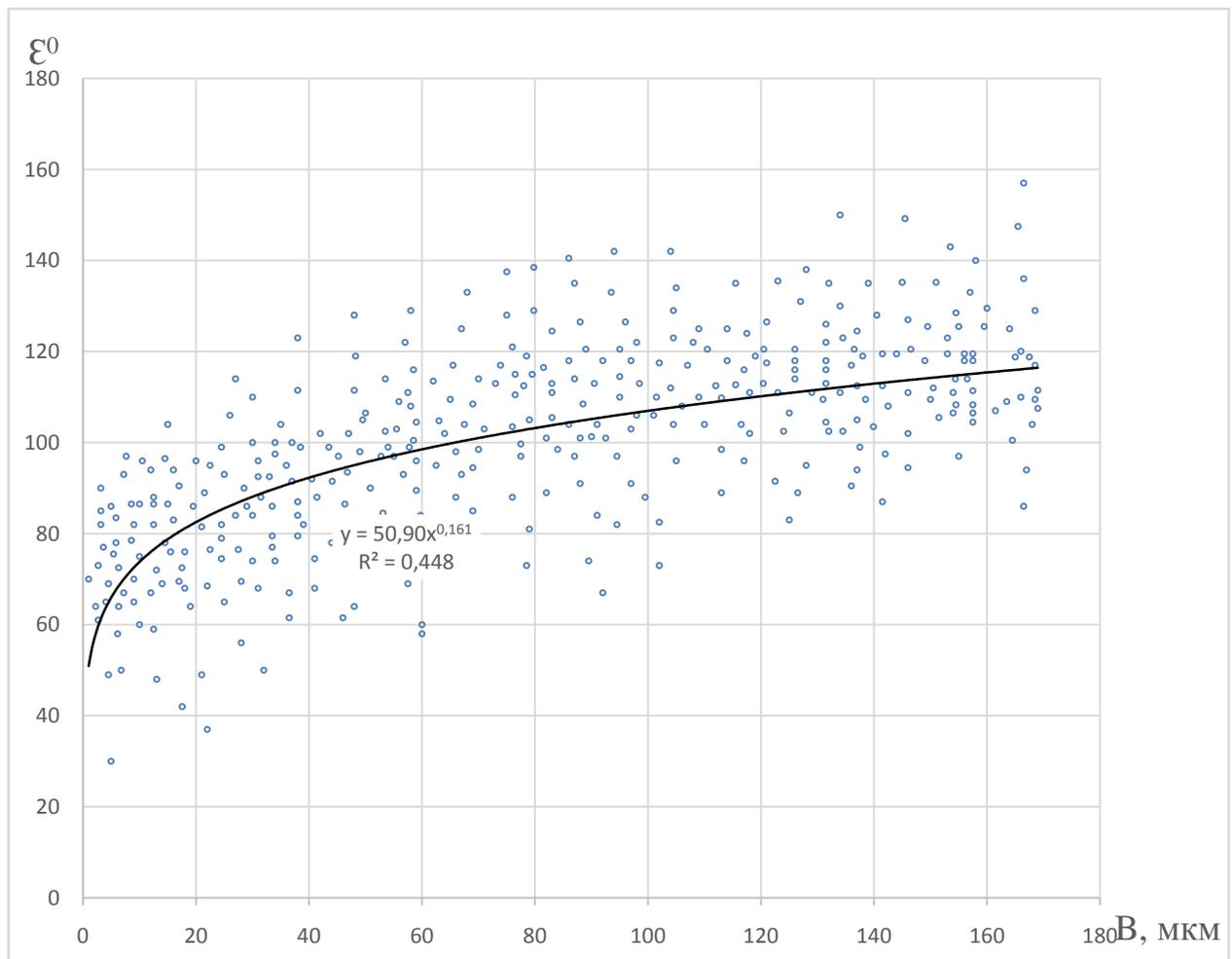


Рисунок 3. График угла заострения от ширины зерна.

Как видно из рисунка каждому значению зернистости  $B$  соответствует целый массив значений углов заострения. Причиной такого разброса является различные марки зёрен, данные о которых были найдены в литературных источниках. График был построен в программе Excel, что позволило автоматизировать получение линии тренда и коэффициента корреляции  $R^2=0,4483$ .

Полученные зависимости отражают тенденцию изменения углов заострения в зависимости от величины зёрен и могут быть использованы в дальнейших исследованиях режущей способности алмазных зёрен.

#### Литература

1. Е.А. Волочкова, А.П. Осипов, В.В. Федотов «Определение количества режуще-деформирующих зёрен в объёме поверхностного слоя абразивного инструмента» / Современные технологии в машиностроении, 2013, вып. 8. Физика и механика процессов обработки материалов.
2. Курдюков В.И. Основы абразивной обработки: учебное пособие. Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2014. 195 с.
3. Багайско, Ю.С. Формирование пористой структуры абразивных инструментов / Ю.С. Багайсков, В.М. Шумячер // Вестник СГТУ. - 2007.- Т. 1. - №2.- С. 31-37.
4. Осипов А.П., Федотов В.В. Методика экспериментального определения геометрических параметров абразивных зёрен. - Известия вузов. Машиностроение.- М: МВТУ им. Баумана, 2012, № 11, с. 69-73.

### БЕСКОНТАКТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМИ МЕТОДАМИ.

Иванов Н.В. – магистрант, Бувеч В.Н. – к.т.н., доцент

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

Оптико-электронными принято называть системы и устройства, в состав которых входят как оптические так и электронные узлы, причем и те и другие служат для выполнения основных задач, решаемых данным прибором, т.е. не являются вспомогательными звеньями (примеры вспомогательных звеньев – это элементы осветительных, отсчетных и т.п. устройств).

Сущность физических процессов, определяющих действие ОЭС (оптико-электронных систем), заключается в преобразовании одного вида энергии в другой и, в частности, энергии излучения оптического диапазона спектра в электрическую.

ОЭС могут быть квалифицированы по следующим признакам:

- Рабочей области спектра:

Ультрафиолетовая (1-380 нм), видимая (380-780 нм) и инфракрасная (780 нм-1 мм)

- Способу формирования информационного поля и типу источника излучения:

группа активных, в которых используется искусственный источник излучения

группа пассивных, воспринимающие собственное излучение объекта

- Способу обработки информации:

автоматические ОЭС

индикационные ОЭС, в которых информация выдается в виде, пригодном для принятия решения человеком-оператором

Основные признаки классификации не являются единственными. Приборы например, могут быть подразделены по характеру выполняемых функций на информационные, измерительные и следящие. Информационные приборы преобразуют с максимальной точностью все детали излучающего объекта и фона в электрический сигнал, по которому восстанавливается видимое изображение или исследуются характеристики излучения. Измерительные приборы предназначены для измерения только некоторых характеристик объектов при отображении их в воспринимаемом прибором излучении (размеров, прозрачности, скорости и т.д.). С помощью следящей группы осуществляется автоматическое регулирование технологических процессов и автоматическое сопровождение излучающих объектов.

## Обобщенная структура ОЭП.



Рисунок 1

Основными частями ОЭП являются:

источник излучения; приемник лучистой энергии; усилитель (усилительно-фильтрующее устройство); система автоматизации; регистрирующее устройство.

1. Источник излучения создает необходимый для работы прибора лучистый поток. Он может быть естественным или искусственным.

2. Оптическая система собирает необходимый для работы прибора лучистый поток, формирует изображение.

3. Объект измерения представляет собой какой-либо предмет или среду, о свойствах и параметрах которых необходимо получить информацию.

4. Приемник лучистой энергии служит для преобразования электромагнитной энергии оптического диапазона в электрическую энергию.

5. Усилитель увеличивает мощность полезного сигнала, действующего на его входе, и одновременно выполняет функции амплитудно-частотного фильтра. Усилитель используется также для подавления помех.

6. Система автоматизации прибора повышает его производительность и стабильность. Система автоматизации ускоряет процесс получения результатов.

7. Регистрирующие устройства предназначены для отображения результатов измерения.

ОЭС может быть использована для измерения геометрических размеров деталей в машиностроении. В частности она может быть применена для определения износа притира для финишной обработки отверстия корпуса распылителя. По мере износа притира, длина выступающей части оправки увеличивается и по ней можно судить о степени износа притира. Максимально допустимый износ может быть определен по максимально допустимой длине выступающей части оправки. В целях автоматизации процесса контроля износа притира предлагается применить ОЭС, которая будет измерять длину выступающей части оправки. Функциональная схема устройства для решения данной задачи представлена на рис.2

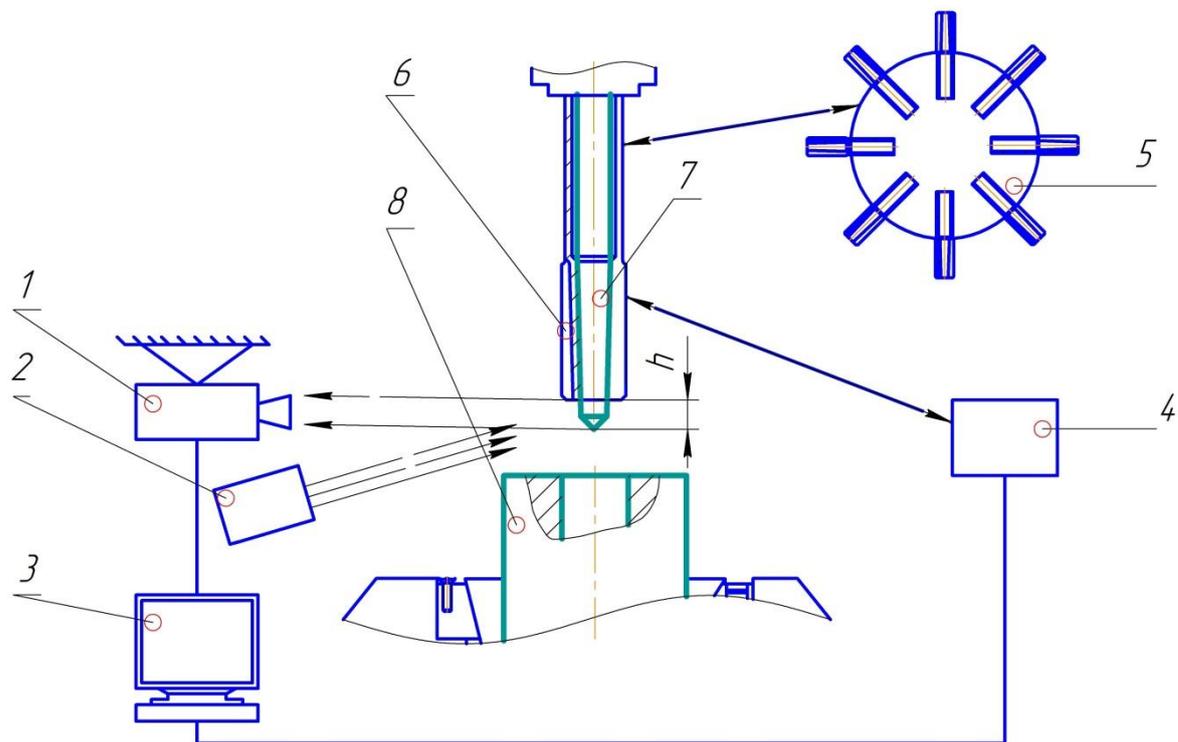


Рисунок 2 - Функциональная схема устройства автоматизации контроля износа и смены притира

- |                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| 1. видеокамера                     | 5.магазин инструментов  |
| 2.осветитель                       | 6.притир                |
| 3.УЧПУстанка                       | 7.оправка               |
| 4.механизм смены инструмента (МСИ) | 8.обрабатываемая деталь |

Принцип действия системы.

В качестве главного компонента системы выступает видеокамера 1, которая в режиме реального времени производит контроль инструмента. Осветитель 2 осуществляет подсветку выступающей части оправки, что обеспечивает изображение высокого качества. После включения осветителя, видеокамера фокусируется на выступающей части оправки. ПЗС – матрица видеокамеры преобразует изображение выступающей части оправки в электрический сигнал. С помощью аналога-цифрового преобразователя, который непосредственно встроен в видеокамеру, аналоговый сигнал преобразуется в цифровой и формируется видеосигнал. Цифровой видеосигнал подается в УЧПУ 3, где с помощью соответствующего программного обеспечения сравнивается с эталонным снимком. За эталон принимается максимально допустимая длина выступающей части оправки  $h_{max}$ . Сравнивая полученное изображение с эталонным компьютер УЧПУ принимает решение, заменить инструмент, если длина превышает допустимые значения или же продолжить его эксплуатацию. Если же УЧПУ принимает решение заменить инструмент, то он подает сигнал МСИ 4, который в свою очередь снимает, непригодный режущий инструмент и заменяет его на новый, который берет из инструментального магазина 5.

Достоинства данной ОЭС:

- 1.автоматизация технологического процесса
- 2.быстродействие контроля
- 3.бесконтактность метода

Список использованных источников:

- 1) Катус Г. П., Оптико-электронные системы обработки и информации, 1973. 448с.:ил
- 2) Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г., Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения, 2007. 192с.:ил

## ПОИСК МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ШКИВОВ КЛИНОРЕМЕННЫХ ПЕРЕДАЧ

Толмачев С.С. – магистрант, Аскалонова Т.А. – к.т.н., доцент

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

Шкив – это колесо, имеющее по окружности обод или канавку, которые необходимы для движения передачи по ремню от электродвигателя. Шкив передает усилие с ремня на ось или наоборот. Систему, в которой два шкива зафиксированы с ремнем неподвижно, называют ременной передачей. При помощи ремней снижаются нагрузки и воздействия вибраций на валы, а также передается движение между ними на различные расстояния.

По конструкции шкивы не имеют ничего сложного, а с их помощью достигается не только бесшумный, но и плавный ход. Шкивы приобрели очень широкое распространение и сегодня используются в различных сферах производства и промышленности.

Чтобы повысить износостойкость рабочих поверхностей шкивов на них наносятся различные виды покрытий, что широко применяется в настоящее время в машиностроении. Покрытия имеют следующие основные цели:

1. Повысить служебные свойства машин (износостойкость, усталостную прочность и т.д.)
2. Повысить сопротивляемость внешним воздействиям (коррозионную стойкость, сопротивляемость тепловым воздействиям и т.д.)
3. Придать изделию хороший декоративный вид.

Существуют различные методы и составы покрытий:

1. Наплавки и напыление материала на рабочие поверхности деталей.

Чтобы повысить служебные свойства деталей, на их рабочие поверхности наносится слой материала с высокими эксплуатационными свойствами. До недавнего времени этот метод имел широчайшее распространение в ремонтном деле для восстановления изношенных деталей. В настоящее время в связи с новыми тенденциями в эксплуатации машин до первого капитального ремонта и в связи с этим создания так называемых машин с «равнопрочными» узлами, эти методы начинают широко внедряться в машиностроение.

2. Нанесение защитно-декоративных покрытий.

Поверхности изделий как рабочие, так и нерабочие, соприкасающиеся с агрессивной средой или атмосферной, должны быть защищены антикоррозийными покрытиями. Нередко подобные покрытия преследуют и эстетические цели: создать для человека, использующего это изделие, ощущение комфорта, удобства в работе и т.д.

Существуют следующие методы нанесения покрытий на поверхности деталей машин: гальванические, химические, электрофизические, механико-пневматические, ионная имплантация и т.д. Применительно к шкивам клиноременных передач чаще всего используются газотермические напыления, полученные плазменными или детонационными технологиями.

В зависимости от состава покрытия применяются различные методы обработки:

1. Обработка лезвийным инструментом.

В практике лезвийной обработки закаленных сталей условия эффективного резания обеспечиваются с использованием твердосплавных и сверхтвердых инструментальных материалов. Применение такого подхода к покрытиям затрудняется следующими факторами:

- напыленные материалы имеют ограничения по прочности соединения с основным металлом;
- в пределах своей толщины покрытие, как правило, состоит из нескольких промежуточных слоев, полученных за несколько проходов газотермического напыления;

- покрытия содержат в своей структуре поры, поверхности раздела между частицами и слоями, твердые включения, которые являются зародышами возможного развития микро- и макротрещинами;

- напыленные материалы обладают значительными внутренними напряжениями, сконцентрированными на поверхностях раздела и дефектах строения покрытий. Перечисленные факторы в преобладающем большинстве случаев оказывают отрицательное действие на достижения требуемого качества рабочей поверхности детали при обработке.

## 2. Алмазно-абразивная обработка.

Шлифование получило наибольшее применение при окончательной механической обработке напыленных покрытий. Данный метод характеризуется высокой производительностью и точностью, возможностью обеспечения повышенных требований к параметрам формы и шероховатости рабочих поверхностей деталей. Подходы к вопросам обрабатываемости покрытий различных марок в данном случае имеют отличительные особенности. Это связано с выбором характеристики шлифовальных кругов и режимных параметров процесса. Абразивные круги имеют ограниченную область применения для обработки напыленных покрытий, так как не всегда обеспечивают режущую способность и стойкость. Для большинства износостойких покрытий, полученных газотермическим напылением, рекомендуется использование алмазных шлифовальных кругов.

Анализ приведенных методов обработки износостойких детонационных и плазменных покрытий показал, что у каждого из них есть своя оптимальная область использования.

Применительно к обработке рабочих поверхностей шкивов клиноременных передач важно не только выбрать метод обработки, но и определить рациональную технологию формообразования обрабатываемых поверхностей, а так же способ ее реализации, что требует дальнейших исследований.

## Литература

1. Бортенев С.С., Федыко Ю.П. Детонационные покрытия в машиностроении 1982г., с. 215.

2. Т.А. Аскалонова, Д.Н. Лысенко. Влияние геометрии алмазных зёрен на процесс резания – царапания. Материалы XI городской научно-практической конференции молодых учёных «Молодёжь – Барнаулу»; Барнаул: издательство АлтГТУ им. И. И. Ползунова, 2009 г., с. 11-12.

3. Технологическое обеспечение качества изготовления деталей с износостойкими покрытиями. С.П. Кулагин; С.Л. Леонов; Ю.К. Новоселов; Е.Ю. Татаркин : издательство Новосибирск. 1993г; с 209.

## КОНТРОЛЬ ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ И ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА МЕТОДАМИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СИГНАЛА

Сорокин К.С. – студент, Мозговой Н.И. – к.т.н., доцент

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

Современный уровень развития науки, техники и технологии предъявляет к изделиям, узлам и аппаратам повышенные требования по устойчивости к агрессивным среда, ударной прочности и долговечности при снижении массы и их себестоимости. В связи с этим нецелесообразно выполнять все детали машин из металла (стали, чугуна, алюминия и т.д.) и человечество вынуждено переходить в эру интенсивного использования композиционных материалов. Данные материалы составляют большую конкуренцию классическим материалам по прочности и серьезно выигрывают в удельном весе, стойкости к агрессивным средам, простоте в механической обработке. В связи с этим, проработка вопросов по производству и механической обработке композиционных материалов набирают актуальность. Производство деталей и их механическая обработка непосредственно связаны

с операциями контроля качества. В данной работе будут рассмотрены методы контроля труб из стеклопластиков на наличие внутренних напряжений и дефектов, подобно дефектоскопии сварных швов при сварке.

Структура стеклопластиков характеризуется степенью неоднородности, которая зависит от наличия дефектов, образующихся в процессе переработки материала в изделия, дефектов исходного сырья и дефектов, возникающих во время эксплуатации. Доминирующее влияние на качество материала оказывают технологические дефекты, образующиеся из-за несоблюдения режимов подготовки исходного сырья, состояния технологического оборудования, нарушения технологических регламентов (режимов нагревания, охлаждения, давления, скорости протяжки). Основные дефекты структуры стеклопластиков следующие: поверхностные вздутия, расслоения, трещины, коробление, повышенная пористость, раковины; смещения, поворот и коробление отдельных слоев армирующего материала; снижение адгезии связующего и наполнителя; неравномерность усадки материалов и т.д. Эти дефекты приводят к тому, что в материале (изделии) образуются участки со значительным расхождением прочностных свойств, появляются внутренние остаточные напряжения, нарушается ориентация армирующего волокна, появляются концентраторы напряжений. Своевременное выявление данных дефектов и прогнозирование остаточного ресурса инженерных конструкций позволит избежать экологических проблем при разрушении трубопроводов, человеческих жертв при эксплуатации техники и т.п. По данным министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации и международной независимой неправительственной экологической организации «Гринпис», потери нефти и нефтепродуктов за счет аварийных ситуаций колеблются от 17 до 20 млн. тонн ежегодно, что составляет около 4% добываемой в России нефти на данный момент. При стоимости 1т нефти 300\$ (при актуальной цене 1 барреля отечественной марки Brent приблизительно 40\$) ущерб экономике России, не считая экологического, составляет от 5.1 до 6 млрд \$. Только на территории Ханты-Мансийского автономного округа ежегодно проливается до 2 млн т. нефти вследствие значительного износа трубопроводов.

Для своевременного анализа и выявления износа трубопроводов был разработан программно-аппаратный комплекс для контроля внутренних дефектов и анализа остаточного ресурса инженерных конструкций и изделий из стеклопластиков методами ультразвукового сигнала с помощью нелинейного синтеза (рисунок 1), в основу которого положен принцип нелинейного синтеза (частота следования зондирующих импульсов УЗК – порядка 20000 Гц; диапазон изменения глубины выявленного дефекта в изделиях из стеклопластиков 1 – 9000 мм; передача данных при работе программно-аппаратного комплекса осуществляется при помощи GPS – связи).

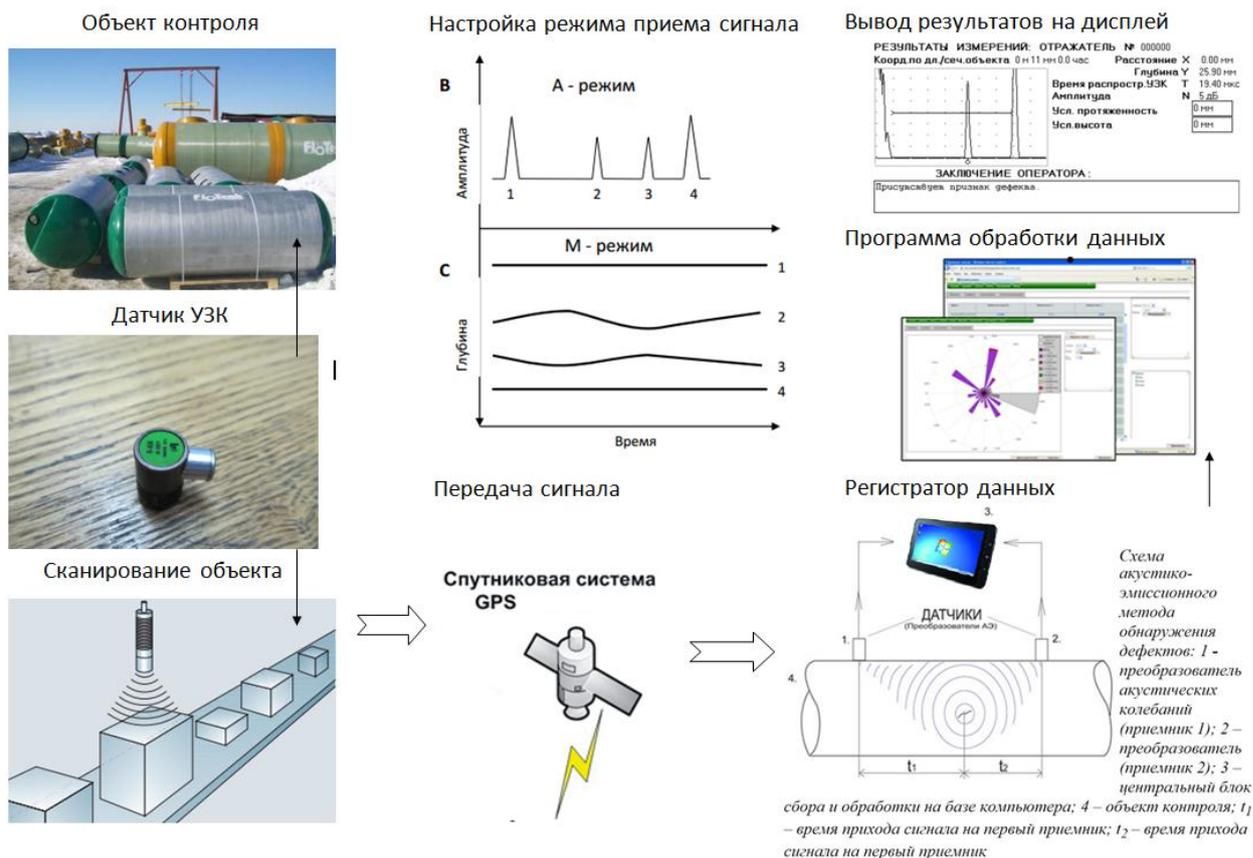


Рисунок 1. - Программно-аппаратный комплекс для контроля внутренних дефектов и анализа остаточного ресурса инженерных конструкций и изделий.

Уникальность предлагаемого решения состоит в том, что для дефектоскопии такого материала, как стеклопластик, не существует реальных аналогов. Можно с переменным успехом пользоваться приборами для дефектоскопии сталей, но получение результата в таком случае будет очень трудоемким и дорогим «удовольствием». Наиболее близким аналогом является ультразвуковой дефектоскоп УД2-102, диапазон измерения глубины выявленного дефекта в изделиях из стали 1 – 8850 мм. Наиболее близким зарубежным аналогом является STARMANS DIO 1000PA, глубина измерения в изделиях из стали 1 – 29000 мм. Отличительные признаки создаваемого продукта – это использование нелинейного синтеза для ультразвукового контроля, реализуемого дефектоскопом, возможность применения для инженерных конструкций и деталей из стеклопластика, передача данных при работе прибора с помощью GPS или Глонасс связи. Представленная идея не лишена смысла и перспективы, а так же способна принести экономический эффект.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕРСИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА В УСЛОВИЯХ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА

Циркунов П.Т. - студент, Семенов С.С. – студент, Калаев М.Е. - аспирант,  
 Гузеев В.В. - д.т.н., профессор  
 Северский технологический институт НИЯУ МИФИ (г. Северск)

В России официально сжигается около 20 млрд. м<sup>3</sup> попутного нефтяного газа (ПНГ) в год. С 1 января 2012 года в России вступило в силу постановление правительства, согласно которому действует требование об утилизации 95% ПНГ и, следовательно, компании смогут сжигать безболезненно для бюджета только не более 5% добытого ПНГ.

Давняя проблема российских независимых производителей нефти и газа в ограниченном доступе к газотранспортной системе РФ (ГТС), ее пропускной способности и

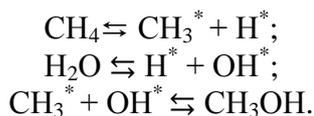
географическом факторе требует решения вопроса утилизации углеводородного сырья. Актуальность этой проблемы еще больше возрастает, когда речь заходит о сохранении окружающей среды и снижении потерь ценных энергетических ресурсов.

Существующие направления применения ПНГ не позволяют решить проблему рационального использования ПНГ для удаленных месторождений с небольшими запасами нефти и газа. В связи с этим, перспективным вариантом переработки ПНГ рассматривается его конверсия в продукцию, которую можно использовать непосредственно в местах добычи или транспортировать в жидком виде.

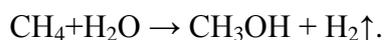
Наиболее распространенным способом получения жидкого топлива является синтез Фишера-Тропша. Хотя механизм данного процесса хорошо изучен, в мире работает только несколько заводов по производству синтетического жидкого топлива, что обусловлено низкой удельной производительностью, высокими капитальными и эксплуатационными затратами. Оборудование для данных процессов крупногабаритное, что осложняет его доставку в труднодоступные районы.

В качестве альтернативы синтеза Фишера-Тропша рассматривается плазмохимическая конверсия. Этот метод осуществляется за меньшее число стадий и протекает при низких температурах и давлении [1, 2], что снижает металлоемкость технологии.

В газовом разряде происходят разрушения молекул на радикалы и атомы, и последующие вторичные реакции. Например, из газообразных углеводородов образуются различные жидкие и твердые углеводороды. Рассмотрим возможный механизм реакции на примере метана – основного компонента ПНГ:



Суммарная реакция:



В результате этих процессов получается метанол, а также образуется водород – ценный реагент и высококалорийное топливо, которое можно использовать для частичного восполнения энергетических затрат.

Нами была спроектирована и собрана установка для осуществления конверсии метана, схема которой изображена на рисунке 1, позволяющая получать спирты и углеводороды ряда C5 и выше в лабораторных условиях.

В экспериментальный реактор подавали газы – метан и воздух из баллонов (1) через входной вентиль (3) и расходомеры (2). Смешение газов происходило в смесителе (4). Эксперимент осуществляли при наложении на газ в реакторе конверсии (6) импульсного электрического поля, с заданной полярностью, вырабатываемого генератором импульсного электрического тока (9), при напряжении на электродах 10-25 кВ и частотой 1 – 50 кГц.

Реактор конверсии (6) состоит из внешнего корпуса (диэлектрик), катода (8) и анода (7). В указанных интервалах изменения частоты и напряжения обеспечивается получение электрического поля с напряженностью до 5 МВ/м. Электрическое поле, получаемое при этих параметрах импульсного электрического тока, приводит к возникновению в газе электрических зарядов, ультрафиолетового излучения, которое свидетельствует о химической реакции.

- 1 – баллон с газом; 2 – расходомер; 3 – вентиль; 4 – смеситель; 5 – штуцер; 6 – корпус реактора конверсии (диэлектрик); 7 – анод; 8 – катод; 9 – импульсный источник питания; 10 – амперметр; 11 – вольтметр; 12 – холодильник; 13 – сборник продуктов конверсии

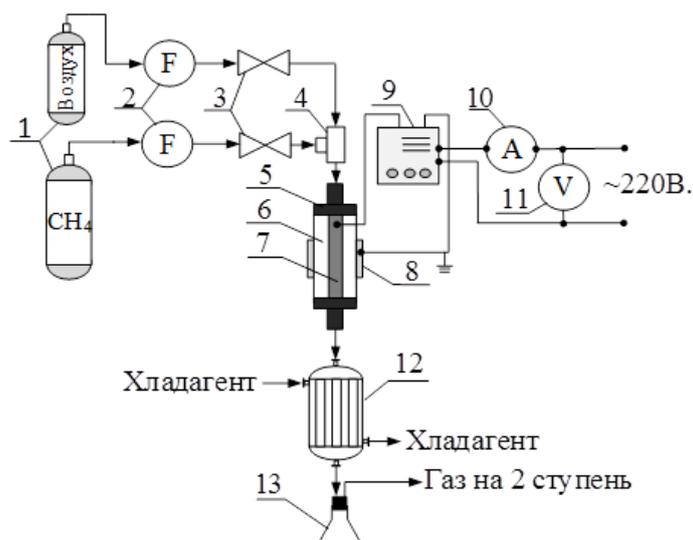


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Так как электрическое поле имеет направление, по этому направлению происходит заряд (ионизация) молекул газа, т.е. идет образование химически активных веществ, которые инициируют цепную химическую реакцию. При любых соотношениях значений частоты и напряжения, взятых из этих диапазонов, обеспечивается устойчивое протекание процесса конверсии газовой среды, без разрушения реактора конверсии и газа (образование золы). Выход продукта регулируется путем установки определенных соотношений напряженности электрического поля и частоты.

Для измерения тока и напряжения используется амперметр (10) и вольтметр (11). Продукты конверсии охлаждаются и конденсируются в холодильнике (12), конденсат собирается в сборнике (13). Оставшийся газ после реактора идет на вторую стадию.

Процесс конверсии метана осуществляется в межэлектродном пространстве реактора конверсии. Центральный электрод является анодом. Внешняя оболочка – стекло (диэлектрик), на нем располагается катод. При возникновении электрического поля между катодом и анодом происходит возбуждение молекул, находящихся в межэлектродном пространстве.

Нагрев в зоне реакций происходит за счет сопротивления диэлектрика и выделения тепла химическими реакциями. Для исследования процесса конверсии газа под действием электрического поля были проведены эксперименты с пропуском метана с разной скоростью через активную зону реактора.

Так как процесс конверсии метана и удлинение цепи – энергозатратный процесс, для затравки системы вводился воздух. При экспериментах с воздухом отработывали варианты с разной скоростью подачи газа и определением оптимальных энергетических затрат на выход продукта. Была установлена возможность конверсии метана в плазме с образованием обширных продуктов конверсии. В основном получались такие кислородосодержащие углеводороды, как спирты. Время пребывания газа в реакционной зоне определяло выход основного компонента – метанола. В пробах также были обнаружены следы предельных углеводородов ряда C5-C8.

Из проведенных экспериментов, было установлено, что меняя два параметра (мощность, подаваемая в систему; время нахождения газа в реакционной зоне) можно контролировать содержание основного компонента – метанола, а так же выход продуктов конверсии. Время пребывания газов в реакционной зоне контролировалось расходом каждого газа с помощью расходомеров.

При увеличении времени пребывания газа в реакционной зоне реактора конверсии, происходило уменьшение общего объема спиртов. Обусловлено это тем, что начинают преобладать паразитные реакции удлинения цепи, образуются другие вещества, более сложного строения, а также происходит разветвление уже образовавшихся веществ.

Оптимальным временем пребывания газа оказалось около 0,3 секунд, при этом общий выход спиртов составил 85-95%. При длительном нахождении газа в реакционной зоне масса пробы уменьшалась, так как образовывались смолянистые соединения на поверхности реактора конверсии.

Для контроля мощности установки использовали амперметр, вольтметр, а регулировку напряжения осуществляли с помощью латра. При увеличении мощности наблюдалось уменьшение выхода жидкого продукта конверсии и снижение содержания основного компонента – метанола в связи с увеличением цепных реакций в зоне реагирования, приводящим к образованию более тяжелых по массе веществ – смолянистых соединений, которые осаждались на стенках аппарата конверсии.

Таким образом, конверсия метана в холодной плазме возможна. При подборе оптимальных условий работы источника питания и расходов газа можно получить вещества требуемого состава.

В докладе более подробно будет рассмотрен механизм процесса конверсии метана в условиях барьерного разряда, приведены зависимости выхода углеводородов от подаваемой мощности и времени пребывания газа в реакционной зоне, а также показаны результаты хроматографического анализа проб после конверсии метана.

#### Список литературы

1. Liu C.-J., Xu G.-H., Wang T. // Fuel Processing Tech. 1999. V. 58. № 119.
2. Гончаров И.В., Веклич М.А. Бескислородная конверсия насыщенных углеводородов C1–C4 в условиях барьерного разряда // Химические науки. Фундаментальные исследования. 2014. № 9. С. 64-69.