

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ

Новиков О.О. – студент, Кряжев А.Ю. – аспирант, Кряжев Ю.А. – к.т.н., доцент,  
Афонин В.С. – к.т.н., доцент, Огневенко Е.С. – к.т.н.

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

Решающим фактором экономической эффективности применения станков с ЧПУ и ГПС является производительность и эксплуатационная надежность. В балансе производительности станков с ЧПУ и ГПС доля сбоев металлорежущего оборудования по инструменту занимает одно из главных мест. На сегодняшний день в машиностроении остаются недостаточно изученными вопросы, касающиеся динамических процессов, происходящих в упругих замкнутых технологических системах. Прежде всего, это вибрации или колебания, возникающие при резании материалов. Управление этими процессами является одним из резервов повышения производительности обработки и качества изделий [1].

Для обеспечения надежного функционирования технологической системы необходимо обеспечить автоматический контроль и диагностирование состояния всех звеньев системы. Анализ данной проблемы показывает, что реализация функций контроля должна в первую очередь осуществляться в рамках системы управления металлорежущим оборудованием за счет использования информации о протекании процессов непосредственно в зоне резания.

На основе анализа литературных источников [2...8]. сформулированы требования к элементам системы автоматического контроля состояния режущего инструмента. Обзор существующих методов и средств контроля состояния режущих инструментов показал, что все разработки можно разделить на две группы. К первой группе относятся методы контроля режущего инструмента и обрабатываемых деталей, реализуемые в перерывах между обработкой. Многие из этих методов, использующие лазерные измерители, оптические и пневматические датчики, внедрены в отдельных образцах или находятся на стадии экспериментальных исследований. Стадия широкого промышленного освоения свойственна лишь системам контроля с помощью датчиков касания. При высокой точности измерения эти методы лишены оперативности, как правило, снижают производительность обработки и требуют введения дополнительной измерительной позиции на станке. К второй группе относятся методы контроля в процессе резания, позволяющие обнаружить нарушение работоспособности инструмента за время, определяемое быстродействием измерительного преобразователя и средств обработки информации. Данные методы основаны на использовании силоизмерительных, электрических, термоэлектрических, виброакустических датчиков и датчиков температуры. Наибольшее распространение получили методы, основанные на измерении силы резания и вибраций технологической системы. Основными недостатками первого является необходимость перестройки шпиндельного узла или ходового винта и недостаточная чувствительность при обработке с малым съемом материала. Кроме того, все эти методы предполагают проведение продолжительных испытаний, определение значительных поправок и погрешностей. К недостаткам второго можно отнести зависимость диагностического сигнала от динамических характеристик упругой системы металлорежущего станка.

Проведенный анализ известных работ показал, что одним из перспективных методов диагностики состояния инструмента в процессе обработки является измерение параметров акустического излучения (АИ). Метод является технически простым, не изменяет конструкции металлообрабатывающего оборудования и обладает необходимой чувствительностью и быстродействием. Метод акустического излучения относится к акустическим методам неразрушающего контроля и технической диагностики. В основе метода лежит физическое явление излучения волн напряжений при быстрой локальной перестройке структуры материала. Метод акустического излучения, как структурно чувствительный, обеспечивает обнаружение процессов пластической деформации,

собственно разрушения и фазовых переходов. Указанные свойства акустического метода дают возможность формировать адекватную систему классификации дефектов и критерии оценки технического состояния объекта, основанные на реальном влиянии дефекта на прочность и работоспособность объекта [2]. Преимущества использования этого метода в качестве экспресс оценки состояния режущего инструмента состоит в отсутствии необходимости многочисленных и продолжительных опытов, а также предоставлением наиболее полной и точной информации о процессах, происходящих в зоне резания.

Обеспечить необходимую точность и производительность при высоком уровне надежности комплексных автоматизированных систем (станки с ЧПУ, ГПС) невозможно без использования устройств диагностики состояния режущих инструментов, которые должны распознавать и своевременно давать команду для замены изношенного инструмента или отключение движения подачи металлорежущего оборудования.

Проведённые нами исследования были направлены на изучение динамических процессов при работе осевого режущего инструмента (сверло, зенкер, развёртка и др.) и использование полученной информации при создании устройства диагностирования состояния режущего инструмента в процессе резания. Исследования проводили на наиболее применяемом осевом режущем инструменте – спиральном сверле.

Известно, что при работе спирального сверла практически всегда и, в особенности, при работе длинным сверлом, возникают упругие крутильные колебания инструмента. Эти колебания приводят к уменьшению стабильности процесса стружкообразования и контактирования рабочих поверхностей сверла с обрабатываемым материалом, что, в свою очередь, уменьшает стойкость инструмента.

Спиральное сверло представляет собой упругий завитой стержень, который при работе нагружается крутящим моментом и осевой составляющей силы резания. В процессе сверления в инструментальном материале возникают напряжения, вызываемые действием сил резания, а также сил трения между стружкой и поверхностью винтовых канавок, между ленточками сверла и стенками обрабатываемого отверстия, причем величина этих напряжений непрерывно изменяется из-за наложения на процесс резания упругих крутильных колебаний инструмента. При работе спиральное сверло, под действием крутящего момента, испытывает поперечные, продольные деформации и деформации кручения, что в свою очередь ведет к снижению точности и увеличению шероховатости обрабатываемого отверстия, к снижению стойкости инструмента. Параметр жесткости спирального сверла значительно ниже, чем у элементов станка, оснастки и заготовки, поэтому сверло является доминирующим упругим элементом, вызывающим колебания технологической системы, что снижает показатели качества обрабатываемого отверстия. В ранее проведенных исследованиях [1], установлено, что увеличение амплитуды осевых и крутильных колебаний сверла ведет к повышению интенсивности износа режущих кромок и ленточек, контактирующих с обрабатываемой заготовкой. В качестве примера исследований состояния осевого режущего инструмента в процессе резания рассматривается сверление условного отверстия глубиной 5 мм (материал заготовки – чугун СЧ 20) сверлом диаметром 10 мм (материал инструмента Р6М5) на различных режимах резания. Сверление производилось на станке 2Н135.

Диапазон регистрируемых частот ограничен значением 100 кГц. Регистрация параметров акустического излучения (АИ) осуществлялась методом додетекторного счета - подсчитывалось превышение уровня дискриминации (ограничения по амплитуде) отдельными осцилляциями сигнала. Додеткронный счет предпочтительнее в случае регистрации непрерывного АИ [7], характерной для обработки резанием. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.

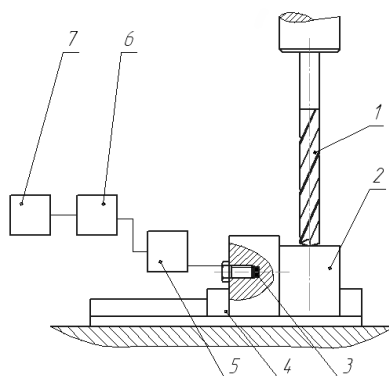


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки. 1 – спиральное сверло, 2 – образец для сверления, 3 – пьезокерамический датчик, 4 – зажимное приспособление станка, 5 – усилитель, 6 – АЦП, 7 – ЭВМ.

В качестве преобразователя АИ использовался пьезокерамический датчик на основе цирконаттитаната свинца ЦТС-19. Сигнал АЭ регистрировался посредством АЦП L-Card C780 (диапазон воспринимаемых частот до 100 кГц). Для обработки результатов использовались программные продукты: Adobe Audition, Stienberg WaweLab, Sound Forge, Adobe Photoshop. Целью экспериментов являлось изучение динамических процессов при работе осевого режущего инструмента. Был проведен подробный анализ спектрограмм амплитудно-частотных характеристик сигнала АИ процесса сверления чугуна СЧ 20, в ходе которого было выявлено смещение (отставание) во времени сигнала с режущей кромки сверла от её первоначального положения, определяемого по скорости резания (рис.2). Данное отставание - следствие раскручивания спирального сверла вокруг своей оси на некоторый угол  $\phi$ .

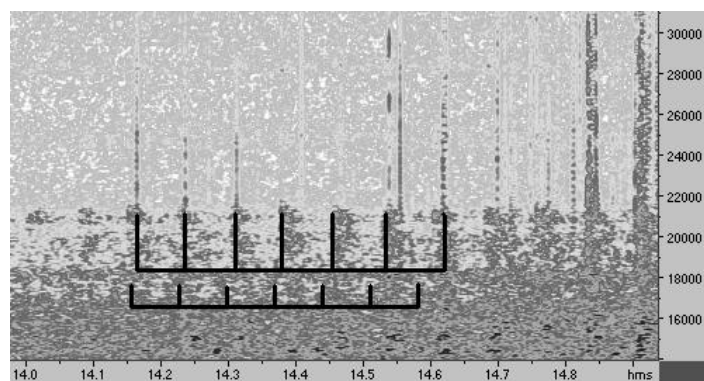


Рисунок 2 - Увеличенный участок спектрограммы, сверху риски соответствующие частотным всплескам от режущих кромок сверла, внизу – разметка, построенная по известной скорости резания

При этом наблюдается появление ярко выраженных частотных полос соответствующих работе режущих кромок и ленточек, что и позволило определить угол раскручивания спирального сверла. Отмечено увеличение отставания сигнала с режущих кромок нового или неизношенного сверла для исследуемых режимов резания в пределах от 0,008 до 0,011с, что соответствует углу раскручивания  $\phi$  равного 9,86...13,56°. Для изношенного спирального сверла и других осевых режущих инструментов углу раскручивания  $\phi$  к моменту отказа возрастает в 3...4 раза, что может быть использовано в качестве критерия отказа.

Результаты, полученные в ходе экспериментов можно использовать для анализа процесса обработки отверстий осевыми режущими инструментами, построения математических моделей колебания осевого режущего инструмента, а также для

диагностирования состояния режущего инструмента в процессе резания. Изложенный метод определения деформации спирального сверла сравнительно прост, не требует дорогостоящего оборудования, аналитический расчет легко реализуется на ЭВМ, отсутствует необходимость в сложном программном обеспечении.

В данной работе были использованы результаты проведенных экспериментов для разработки устройства диагностирования состояния осевых режущих инструментов в процессе работы (активный контроль). Для определения угла раскручивания осевого режущего инструмента вокруг своей оси на некоторый угол -  $\varphi$  при прохождении его режущей кромки вблизи пьезокерамического датчика необходимо обрабатывать сигнал датчика в соответствии с алгоритмом, представленным на рисунке 3.



Рисунок 3 - Алгоритм обработки сигнала пьезокерамического датчика.

Для обработки информативного сигнала АИ цифровыми методами необходимо привести его в цифровой вид при помощи аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Такое преобразование связано с частичной потерей информации. В соответствии с теоремой Найквиста выбранная частота дискретизации  $F_d$  отсекает все превышения частоты выше частоты  $F_d/2$  в процессе преобразования в цифровой код. Таким образом, при выборе  $F_d$  необходимо учитывать частотные полосы, которые в дальнейшем будут подвергнуты анализу. Непрерывный поток цифровых данных необходимо разбить на отдельные блоки, состоящие из определенного количества точек  $N$ , для дальнейшего анализа. Величина каждого блока связана с интервалом времени, за который происходит его заполнение информацией. До момента цифровой обработки каждого блока необходимо выделить в нем частотные полосы, содержащие полезные данные о положении режущих кромок инструмента. Такой подход легко реализовать с помощью полосового фильтра (фильтр с конечной импульсной характеристикой). Параметры  $f_{min}$  и  $f_{max}$  выбираются исходя из режима резания и других условий металлообработки.

Экспериментальные данные показывают, что при прохождении режущей кромки осевого инструмента, рядом с пьезокерамическим датчиком амплитуда ( $A$ ), генерируемых колебаний увеличивается. Для детектирования такой ситуации можно задать некоторое пороговое значение  $A$  и произвести подсчет числа осцилляций, превышающих данный порог в пределах информационного блока [9]. Для реализации задуманного достаточно задать смещение всех дискретных отчетов исходного сигнала на величину  $A$ , что приведет к смещению сигнала по оси ординат (вниз). Смещенную функцию нужно продифференцировать для подсчета количества локальных максимумов.

Для определения информационного блока, в течении которого зафиксировано максимальное количество превышений порогового значения  $A$  необходимо для каждого

блока сравнить его параметры с параметрами его соседей. При вычислении блока, соответствующего указанным критериям, можно с большой долей вероятности утверждать, что в этот момент режущая кромка осевого режущего инструмента прошла рядом с датчиком. Таким образом, в непрерывном потоке информации, генерируемой пьезокерамическим датчиком, разбитым на информационные блоки можно выделять те из них, в течении которых режущие кромки инструмента проходят на наименьшем расстоянии от пьезодатчика. Время начала и окончания каждого информационного блока легко вычисляется на основании его длины. Устройство, реализующее изложенный алгоритм состоит из представленных на рисунке 4 функциональных блоков.

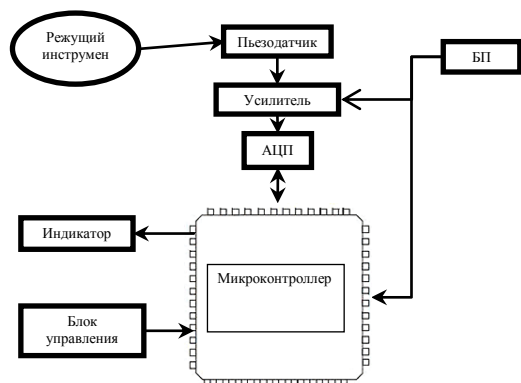


Рисунок 4. Блок- схема устройства диагностирования состояния осевого режущего инструмента в процессе работы.

Центральным элементом устройства является микроконтроллер, в обязанности которого входит цифровая обработка информации, поступающей с пьезодатчика и блока управления, задачей которого является управление элементами индикации и передача сигнала на замену режущего инструмента или корректировку режимов резания в системе ЧПУ станка.

#### ИСПОЛЬЗУЕМАЯ 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. Баранов В.М., Кудрявцев Е.М., Сарычев Г.А., Щавелин В.М. Акустическая эмиссия при трении. – М.: Энергоатомиздат, 1998 – 256 с.
3. Барзов А.А. Эмиссионная технологическая диагностика. Библиотека технолога. М.: Машиностроение, 2005. 384с.: ил.
4. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении / Н.А. Семашко, В.И. Шпорт, Б.Н. Марьин и др. Под общей ред. Д-ра техн. Наук, проф. Н.А. Семашко, канд. техн. Наук В.И. Шпорта. М.: Машиностроение, 2002. 240 с. ил.
5. ГОСТ 27655-88. Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения.
6. Иванов В.И., Быков С.П., Рябов А.Н. О критериях оценки степени опасности дефекта по параметрам акустической эмиссии // Дефектоскопия. №2. 1985. С. 62-68.
7. Баранов В.М., Губина Т.В. О регистрации непрерывной акустической эмиссии. // Дефектоскопия. 1988, №5, с. 91–93.
8. Ерминсон А.Л., Муравин Г.Б., Шип В.В. Акустико-эмиссионные приборы и системы // Дефектоскопия. №5. 1986. С. 3–12.
9. ГОСТ 27655-88. Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения.

## ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ

Кряжев А.Ю. – аспирант, Татаркин Е.Ю. – д.т.н., профессор, Кряжев Ю.А. – к.т.н., доцент,  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В современном машиностроении большое значение для металлообработки имеет автоматическое поддержание в рабочем состоянии всей технологической системы. Решение данной проблемы невозможно без широкого использования средств диагностирования и прогнозирования качества протекания технологического процесса при металлообработке. При этом важной задачей является не только оценка состояния станочного оборудования, оценка причин и места сбоя в работе всех составляющих звеньев технологической системы металлообработки, но и задача принятия оперативных решений по предупреждению и устранению отказов в работе данной системы. К задачам, решаемым средствами диагностирования и прогнозирования процесса металлообработки можно отнести:

1. Диагностика процесса резания и его оптимизация;
2. Диагностика состояния и контроль функционирования механизмов станочного оборудования;
3. Диагностика состояния обрабатываемой поверхности и контроль заданной точности обрабатываемой детали;
4. Диагностика состояния режущего инструмента и прогнозирование его стойкости.

Из перечисленных выше задач особо следует выделить задачу, которая до настоящего времени не получила полностью удовлетворительного решения – это задача прогнозирования стойкости и диагностика состояния режущего инструмента. Для успешного решения данной задачи необходимо дать ответ на вопрос об идентификации различного вида отказов режущего инструмента непосредственно в процессе резания. В настоящее время контроль силовых характеристик процесса резания (силы резания, крутящего момента и мощности резания) не решает до конца названную задачу, так как потребность на создание систем диагностирования состояния режущего инструмента и прогнозирования стойкости режущего инструмента возникает тогда, когда металлорежущие станки уже находятся в эксплуатации и никто не пойдет на их модернизацию с установкой динамометрических платформ или переделку ответственных узлов станка. Не решает до конца задачу контроля состояния режущего инструмента при металлообработке и контроль мощности процесса резания, так как для некоторых видов обработки резанием (например, обработка отверстий малого диаметра концевым инструментом) не удаётся надёжно фиксировать предположительную ситуацию и сам момент поломки режущего инструмента. Правильный выбор способа распознавания (идентификации) различных видов и причин отказа режущего инструмента основан на сравнительной оценке в основном двух факторов:

1. Информативность способа;
2. Простота и надёжность при установке на металлорежущем станке;
3. Возможность беспроводной передачи сигнала от датчика, установленного непосредственно около зоны резания.

По всем трём критериям в большинстве случаев, выбор делается в пользу виброакустического способа контроля или диагностирования процесса резания. Природа виброакустических колебаний очень сложная, но она компенсируется его высокой чувствительностью к изменению контактных процессов при резании и трении. Сигнал виброакустических колебаний в диапазоне до 20...30 кГц, возникающий в зоне резания, хорошо регистрируется в любой точке металлорежущего станка, не отделённой от зоны резания подвижными стыками. В проведённых исследованиях [1] установлено, что для чистовой токарной обработки при оценке износа полосы частот, обеспечивающие устойчивый результат, например, при всех скоростях резания, отношение эффективных амплитуд (спектральный максимум) в октавной полосе – 1 кГц для острого инструмента и октавной полосе 4 кГц для изношенного инструмента это отношение растёт с ростом износа

инструмента. Причём, подобное наблюдается и при работе свёрл, фрез, шлифовальных кругов. Но этот вопрос всё ещё требует, по мнению многих исследователей виброакустических колебаний, дополнительных исследований. Это связано, в первую очередь, с тем что, в настоящее время, не существует метода прогнозирования предельного износа режущего инструмента по параметрам виброакустического сигнала для известных параметров режима резания. Трудности в реализации метода диагностирования состояния режущего инструмента и прогнозирование его стойкости по параметрам виброакустического сигнала связаны с тем, что параметры виброакустического сигнала зависят:

1. От координат рабочего пространства;
2. От износа режущего инструмента;
3. От динамических явлений в процессе резания (непостоянство жёсткости технологической системы, фрикционные процессы взаимодействующих тел);
4. От условий крепления инструмента и конструкции вспомогательного инструмента [2].

Перечисленные выше факторы, осложняющие решение поставленной задачи - создание системы диагностики состояния режущего инструмента и прогнозирования его стойкости, должны учитываться и опираться на результаты экспериментальных исследований и базы данных с накопленной статистической информацией подобных исследований. Решение задачи прогнозирования стойкости режущего инструмента возможно с использованием нейронных сетей с самоорганизацией по Кохонену для выявления закономерностей в больших объёмах данных для задач контроля параметров качества обработанной поверхности детали, параметров режима резания, параметров виброакустического сигнала.

Список литературы:

1. Козочкин М.П. Особенности вибрации при резании материалов // СТИН. – 2009. - №1.- С. 29-35.
2. Кряжев Ю.А., Огневенко Е.С. Исследование колебательных процессов, возникающих при работе спирального сверла, с применением анализа акустического сигнала. «Технология машиностроения», - 2008.- №1 - С.28-29.

## ДИАГНОСТИКА И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИИ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Ильиных В.В. – студент, Кряжев А.Ю. – аспирант, Татаркин Е.Ю. – д.т.н., профессор Кряжев Ю.А. – к.т.н., доцент,

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

Обеспечение требуемого качества деталей при металлообработке неразрывно связано с задачей управления заданными параметрами микропрофиля обрабатываемой поверхности. Иголфрезерование является одним из наиболее перспективных видов отделочно-зачистной обработки [1] Основным преимуществом данного метода является низкая себестоимость обработки благодаря незначительным затратам на изготовление и эксплуатацию режущего инструмента. Однако, до сих пор не рассматривался вопрос о применении иглофрезерования на этапах чистовой обработки для получения поверхностей высокого качества.

В рамках поставленной задачи были проведены экспериментальные исследования процесса формирования поверхностного слоя и качества получаемой поверхности методом иглофрезерования. Проводилась обработка образцов, изготовленных из стали 45 с шероховатостями поверхностей  $Ra= 7...8$  мкм и  $Ra= 20...22$  мкм. Режущие элементы иглофрезы изготавливались из пружинной проволоки 9389-75, изготовленной из стали 65Г по ГОСТ 1050-88. Был спланирован проведен дробный факторный эксперимент с диапазоном варьирования входных параметров, показанных в таблице 1. Эксперимент проводился на вертикально-фрезерном станке марки 6Р13. Основной задачей эксперимента

являлось определение оптимальных режимов резания по критерию минимальной шероховатости поверхности и установление зависимостей параметров сигнала акустической эмиссии АЭ с параметрами шероховатости обрабатываемой поверхности.

Таблица 1 – Параметры дробного факторного эксперимента

№ образца	Длина режущих элементов $l$ , мм	Диаметр режущих элементов $d$ , мм	Частота вращения $n$ , об/мин	Подача $S_m$ , мм/мин
1	45	0,85	400	1250
2	45	0,85	160	100
3	45	0,35	400	100
4	45	0,35	160	1250
5	15	0,85	400	100
6	15	0,85	160	1250
7	15	0,35	400	1250
8	15	0,35	160	100

Повторяемость эксперимента  $M=5$ . Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1. Одновременно с процессом резания проводилась запись сигналов акустической эмиссии (САЭ). Запись осуществлялась с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) L-cardL780M с частотой дискретизации до 400кГц. Основной целью записи сигналов акустической эмиссии являлось – установить взаимосвязь между среднеарифметическим отклонением профиля обрабатываемой поверхности  $Ra$  и параметрами САЭ.

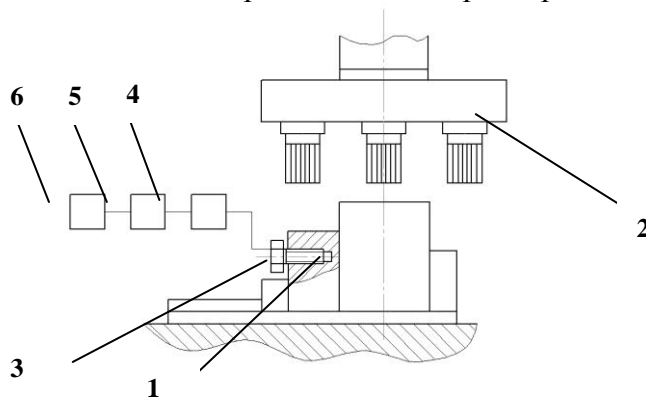


Рисунок 1. – Схема экспериментальной установки:

1 – образец для обработки; 2 – иглофреза; 3 – пьезокерамический датчик; 4 – усилитель; 5 – АЦП; 6 – ПЭВМ.

Измерение шероховатости проводилось на профилографе-профилометре «HOMMEL TESTER W55».

Проведение дробного факторного эксперимента позволило установить зависимость параметра шероховатости поверхности  $Ra$  от длины вылета режущих элементов  $l$ , диаметра режущих элементов  $d$ , скорости резания  $V$  и подачи  $S_m$ :

$$Ra = 0.6732 \cdot l^{0.1626} \cdot d^{-0.2647} \cdot V^{0.1576} \cdot S_m^{0.0935}, \text{ мкм} \quad (1)$$

$$Ra = 2.6541 \cdot l^{0.1268} \cdot d^{-0.2215} \cdot V^{0.1094} \cdot S_m^{0.1037}, \text{ мкм} \quad (2)$$

где  $l$  – длина режущих элементов, мм;



$d$  – диаметр режущих элементов, мм;  
 $V$  – скорость резания, м/мин;  
 $S_m$  – подача, мм/мин.

Выражения 1 и 2 справедливы при обработке образцов с шероховатостями поверхностей  $Ra=7\dots8$  мкм и  $Ra=20\dots22$  мкм соответственно.

Для амплитудного анализа САЭ использовалась программа «Adobe Audition», для построения графиков числа осцилляций превышающих порог ограничения по амплитуде использовалась разработанная программа «Статистика акустического сигнала», при этом выбор порога ограничения по амплитуде (уровня дискриминации) производился с учетом опыта предыдущих исследований [2,3].

Анализ САЭ позволил установить зависимость параметра шероховатости  $Ra$  от средней амплитуды  $A$  и интенсивности САЭ  $N$  [4] :

$$Ra = 0,0002 \cdot A^{5,796} \cdot N^{-0,7984}, \text{ мкм} \quad (3)$$

где  $A$  – средняя амплитуда САЭ (дБ);  
 $N$  – интенсивность САЭ ( $c^{-1}$ ).

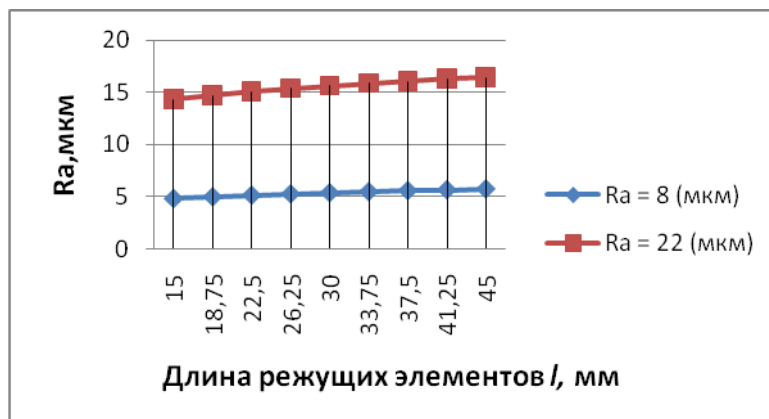


Рисунок 2. Зависимости шероховатости поверхности  $Ra$  от длины  $l$  режущих элементов ( $d=0,85$  мм,  $V=175,84$  м/мин,  $S_m=1250$  мм/мин)

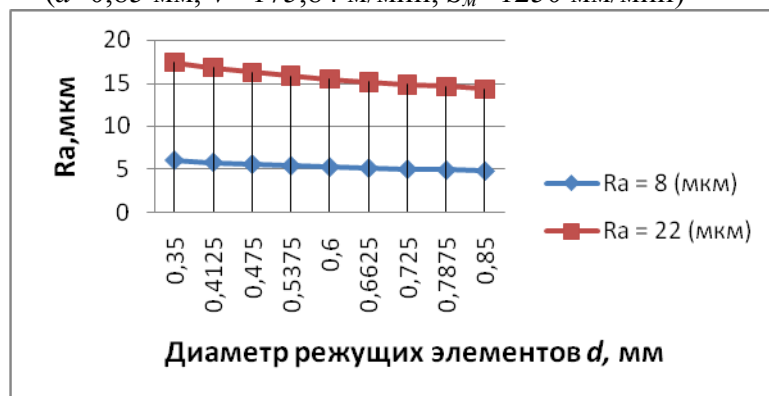


Рисунок 3. Зависимости шероховатости поверхности  $Ra$  от диаметра  $d$  режущих элементов ( $l=15$  мм,  $V=175,84$  м/мин,  $S_m=1250$  мм/мин)

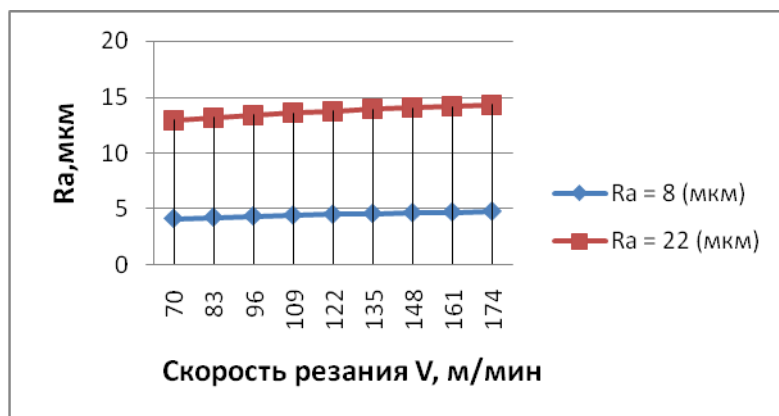


Рисунок 4. Зависимости шероховатости поверхности  $Ra$  от скорости  $V$  резания ( $l=15$  мм,  $d=0,85$  мм,  $S_m=1250$  мм/мин)

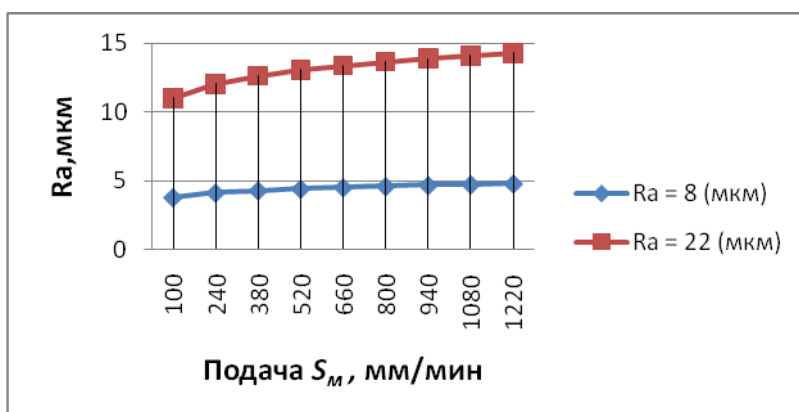


Рисунок 5. Зависимости шероховатости поверхности  $Ra$  от подачи  $S$  ( $l=15$  мм,  $d=0,85$  мм,  $V=175,84$  м/мин)

**Выводы:**

1. Для выбора режимов резания при иглофрезеровании по критерию качества обрабатываемой поверхности были получены математические модели (1), (2). Для обеспечения меньшей шероховатости обработанной поверхности при иглофрезеровании необходимо производить обработку на меньших подачах с режущими элементами меньшей длины и большего диаметра. Частоту вращения (скорость резания) при этом следует выбирать по критерию износа режущих элементов иглофрезы.

2. Установлены зависимости между  $N$  – интенсивность САЭ ( $c^{-1}$ ) (числом осцилляций  $C$ ), средней амплитудой  $A$  САЭ (дБ); и среднеарифметическим отклонением профиля обрабатываемой поверхности  $Ra$  (мкм). При этом наименьшей шероховатости поверхности соответствует наибольшее число осцилляций и наибольшая средняя амплитуда САЭ. Такую зависимость можно объяснить максимальной площадью контакта режущих элементов иглофрезы с обрабатываемой поверхностью. При этом рост числа осцилляций и средней амплитуды САЭ пропорционален объему поверхностных слоев материала, вовлеченных в деформацию.

3. Метод акустической эмиссии является перспективным направлением исследований процессов обработки материалов резанием, в том числе иглофрезерования.

**Список литературы:**

1. Ковшов, А. Н. Нетрадиционные методы обработки материалов [Текст] / А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров, В. М. Ярославцев. – М : МГОУ, 2007. – 211 с.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008611352 «Статистика акустического сигнала» (САС) [Текст] / Е. С. Огневенко, А. Ю. Новомирский, Ю. А. Кряжев ; заявитель и патентообладатель Алтайский гос. техн. ун-т.им. И. И. Ползунова. – заявка № 2008610344 от 01.02.2008 ; опубли. 18.03.2008.

3. Огневенко, Е.С. К вопросу о выборе уровня дискриминации при обработке сигналов акустической эмиссии [Электронный ресурс] / Е. С. Огневенко, Ю. А. Кряжев // Наука и молодежь – 2008 : 5-я Всероссийская науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Барнаул, АлтГТУ, апрель 2008 г.). – Барнаул. – 2008. – Режим доступа: [http://edu.secna.ru/media/f/mtoa\\_otm.pdf](http://edu.secna.ru/media/f/mtoa_otm.pdf).

4. Огневенко, Е.С. Технологические предпосылки использования сигнала акустической эмиссии для прогнозирования износа инструмента [Электронный ресурс] / Е. С. Огневенко, В. А. Терентьев, Ю. А. Кряжев // Наука и молодежь – 2008 : 5-я Всероссийская науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Барнаул, АлтГТУ, апрель 2008 г.). – Барнаул. – 2008. – Режим доступа: [http://edu.secna.ru/media/f/mtoa\\_otm.pdf](http://edu.secna.ru/media/f/mtoa_otm.pdf).

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ  
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЕГО ИЗНОСА МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ  
Горин Е.Ю. - аспирант, Кряжев А.Ю. – аспирант, Татаркин Е.Ю. – д.т.н., профессор, 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 коррекцией положения режущего инструмента по результатам измерения размеров детали на станке (активный контроль);
2. Обеспечивается коррекцией 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 рассматривается методика обеспечения заданной размерной точности и шероховатости обработанной поверхности путём прогнозирования технологической стойкости режущего инструмента на основе диагностирования его износа методом акустической эмиссии. Методика диагностирования технологической стойкости основана на зависимости износа рабочих поверхностей инструмента от времени его работы:  $h=f(T_n)$ , которая имеет три периода работы режущего инструмента в рациональных условиях: период приработки; период установившегося процесса резания; период отказа инструмента. На рисунке 1 показаны кривые износа для различных скоростей резания -  $V_i$  при условии, что прочие факторы- подача, глубина резания, геометрические параметры, физико-механические свойства инструментального обрабатываемого материала остаются неизменными. На практике применяют наиболее производительный и экономичный критерий оптимального износа, показанный на рисунке 1 в точках: 1; 3; 5 [1].

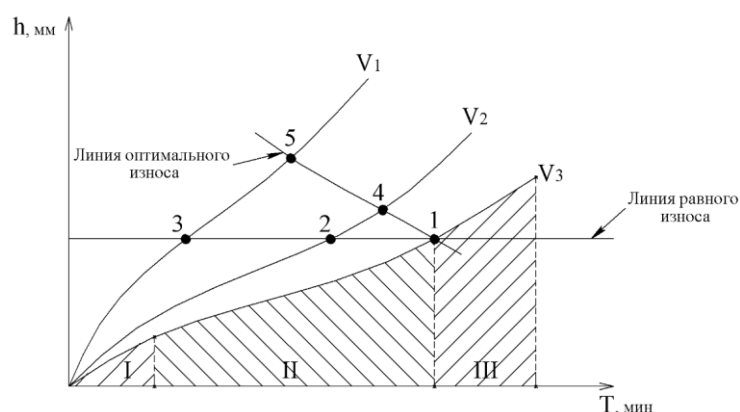


Рисунок 1. Кривые износа для различных скоростей резания: I – зона приработки режущего инструмента; II – зона установившегося износа; III- зона катастрофического износа.

В цеховых условиях при использовании критерия оптимального износа необходимо следить за состоянием износа режущих кромок инструмента и при достижении установленного критерия износа  $h_i$  ( $h_{\text{техн}}$ ,  $h_{\text{задн.}}$ ,  $h_{\text{передн.}}$ ) необходимо прекратить дальнейшую работу и изношенный инструмент заменить.

В период установившегося процесса резания кривая износа по экспериментальным точкам располагается случайно около прямой и может быть аппроксимирована линейной функцией (рисунок 2):  $h_i = K T_u + h_1$ , где  $h_1$  – износ приработки инструмента;  $T_u$  – достижимая стойкость инструмента до отказа по установленному критерию -  $h_i$ ;

$K$  – угловой коэффициент линейной интерполяции кривой износа инструмента в зоне установившегося процесса резания.

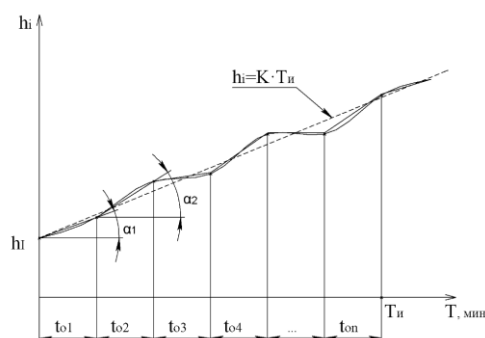


Рисунок 2. Зависимость установленного критерия износа для режущего инструмента –  $h_i$  от времени его работы в период установившегося (нормального) процесса резания.

Для прогнозирования стойкости инструмента -  $T_u$ , после обработки ряда деталей, нужно знать по какой зависимости развивается износ -  $h_i$ , т.е.  $K_{\text{ср}}$ , так как для обработки каждой детали износ -  $h_i$  будет колебаться при установившемся периоде работы около прямой –

$h_i = K T_u$ . Угловой коэффициент линейной интерполяции -  $K_i$  кривой износа инструмента на её участке, ограниченном периодом обработки одной детали -  $t_{oi}$  будет иметь случайные значения, а поэтому –  $K_{\text{ср}} = \sum K_i / i$  и с увеличением  $i$  количество обработанных деталей будет приближаться к угловому коэффициенту  $K$  прямой -  $h_i = K T_u$ . Исходя из вышесказанного следует, что прогнозирование -  $T_u$  должно обеспечить процесс определения -  $K_i$  и расчёт -  $K_{\text{ср}}$  в течении периода стойкости инструмента -  $T_u$ .

В соответствии с описанной методикой была разработана структура виброакустического прогнозирования состояния режущего инструмента, в которой используются наиболее универсальные диагностические параметры виброакустического (ВА) сигнала, возникающего в зоне резания.

В проведённых исследованиях установлено, что существует тесная связь силы резания с амплитудой вибраций. При всей сложности природы виброакустического (ВА) сигнала существует устойчивая зависимость параметров ВА сигнала от характера взаимодействия контактирующих тел при резании и трении [ 2,3,4]. Это обстоятельство и позволило в структурной схеме прогнозирования состояния режущего инструмента использовать пьезокерамический датчик для записи и анализа виброакустического сигнала (рисунок 3).

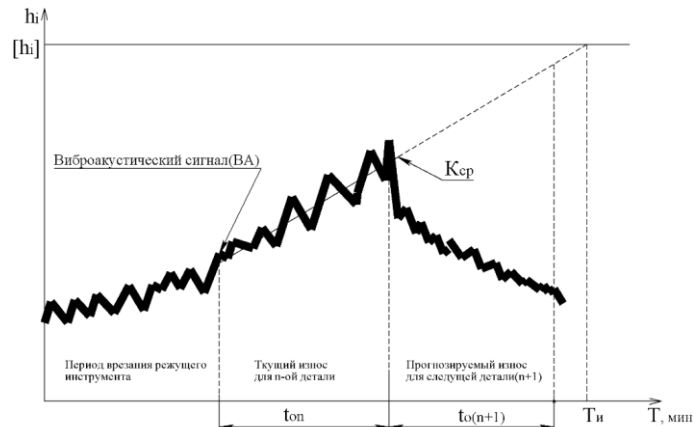


Рисунок 3. Построение прогнозируемого износа режущего инструмента для обработки последней детали за период стойкости инструмента –  $T_{и}$  по критерию установленного максимального допустимого износа инструмента -  $[h_i]$  с использованием анализа виброакустического сигнала.

В соответствии с описанной методикой была разработана структурная система виброакустического прогнозирования состояния режущего инструмента, представленная на рисунке 4.

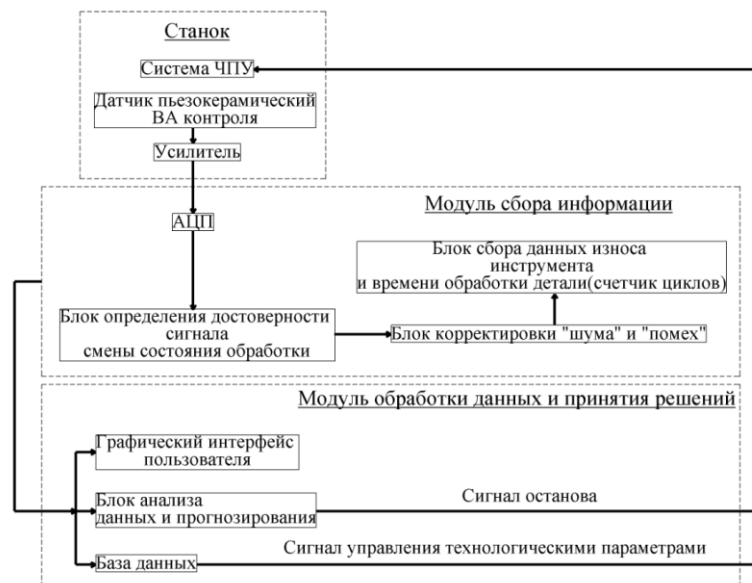


Рисунок 4. Структура системы виброакустического прогнозирования состояния режущего инструмента.

Информация с пьезодатчика через усилитель сигнала ВА поступает в аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и далее в блок определения достоверности ВА сигнала смены состояния обработки и блок корректировки «шума и «помех», где определяется момент начала и окончания процесса резания очередной детали по специальной компьютерной программе и программе «Статистика акустического сигнала» (САС) [ 5] рассчитываются параметры ВА сигнала (суммарный счёт, скорость счёта,

удельная скорость счёта и др.), по которым они сравниваются с  $\min$  и  $\max$  значениями, в зависимости от их взаимного расположения на начальном или окончательном этапе процесса резания. После чего, фиксируется момент установившегося периода резания и начинается сбор данных для прогнозирования, а в случае получения ВА сигнала выхода инструмента из зоны резания процесс сбора данных прекращается.

Для исключения случайных (ложных) ВА сигналов, несвязанных с изменением состояния обработки вводится дополнительный уровень контроля ВА сигнала – блок корректировки «шума» и «помех». Все «ложные» ВА сигналы анализируются в блоке программной корректировки, рассчитывается среднее значение по все данным. Входными

данными являются: 1. данные по установленному критерию износа инструмента -  $h_i$ , собранные в процессе обработки предыдущих деталей, т.е. по числу изготовленных деталей, определяемых по счётчику циклов; 2. время обработки поверхностей детали одним инструментом -  $t_{oi}$  (засекается в процессе обработки ВА сигнала пьезодатчиком);

3. максимальный допустимый износ инструмента -  $[h_i]$ ; 4. достижимая стойкость инструмента -  $T_u$  (определяется средняя по предыдущим инструментам, обработавшим до отказа по технологическому критерию -  $h_{техн}$ ).

Все данные, полученные в процессе резания и входные данные анализируются в блоке анализа данных и прогнозирования, где рассчитывается -  $K_{ср}$  - коэффициент наклона прямой с учётом значений коэффициента наклона, полученных при обработке предыдущих деталей и продолжает прямую износа на расстояние, соответствующее основному времени обработки данным инструментом-  $t_{o[n+1]}$  следующей детали -  $[n+1]$ .

В этом же блоке анализируется полученный прогнозом отрезок прямой износа на соответствие (пересечение) максимально допустимому износу инструмента-  $[h_i]$  или  $[h_{техн}]$  и выдаётся сигнал на остановку процесса обработки и смену изношенного инструмента.

Предложенная структура системы и методика виброакустического прогнозирования состояния режущего инструмента позволяют снизить процент брака и обеспечить требуемую точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей детали.

#### Список литературы:

1. Подураев, В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов [Текст], / В.Н. Подураев– М., «Высшая школа», 1974.–587 с.
2. Кряжев Ю.А., Огневенко Е.С. Исследование колебательных процессов, возникающих при работе спирального сверла, с применением анализа акустического сигнала. «Технология машиностроения», - 2008.- №1 – С.28-29.
3. Кряжев Ю.А. К вопросу о выборе уровня дискриминации при обработке сигналов акустической эмиссии [Электронный ресурс] / Е. С. Огневенко, Ю. А. Кряжев // Наука и молодежь – 2008 : 5-я Всероссийская науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Барнаул, АлтГТУ, апрель 2008 г.). – Барнаул. – 2008. – Режим доступа: [http://edu.secna.ru/media/f/mtoa\\_otm.pdf](http://edu.secna.ru/media/f/mtoa_otm.pdf).
4. Кряжев Ю.А. Технологические предпосылки использования сигнала акустической эмиссии для прогнозирования износа инструмента [Электронный ресурс] / Е. С. Огневенко, В. А. Терентьев, Ю. А. Кряжев // Наука и молодежь – 2008 : 5-я Всероссийская науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Барнаул, АлтГТУ, апрель 2008 г.). – Барнаул. – 2008. – Режим доступа: [http://edu.secna.ru/media/f/mtoa\\_otm.pdf](http://edu.secna.ru/media/f/mtoa_otm.pdf).
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008611352 «Статистика акустического сигнала» (САС) [Текст] / Е. С. Огневенко, А. Ю. Новомирский, Ю. А. Кряжев ; заявитель и патентообладатель Алтайский гос. техн. ун-т.им. И. И. Ползунова. – заявка № 2008610344 от 01.02.2008 ; опубл. 18.03.2008.

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМООБУЧАЮЩЕЙСЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

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

Важнейшей задачей современного машиностроения является задача обеспечения заданного качества изготовления деталей машин и механизмов. Сложность решения данной задачи обуславливается многообразием нестационарно изменяющихся физических факторов, сопровождающих технологический процесс механической обработки деталей и оказывающих влияние на показатели её поверхностного слоя. Трудности в реализации метода прогнозирования качества обрабатываемой поверхности детали связаны с тем, что качество обработанной поверхности детали зависит от воздействия на неё огромного количества физических факторов и их взаимодействия между собой. В данном случае физическими факторами воздействия на качество обработанной поверхности являются определённые функции, которые выполняют элементы технологической системы: станок; инструмент; станочное приспособление; деталь. Важнейшим звеном технологической системы в формировании микропрофиля обрабатываемой поверхности является звено деталь – режущий инструмент. Проведённые исследования по изучению связи между видом технологического процесса и характеристиками качества обработанной поверхности показывают, что наиболее универсальным высокоинформативным параметром, отражающим условия формирования микропрофиля обрабатываемой поверхности являются волны механических напряжений, генерируемые в зоне механической обработки и распространяющиеся по всем элементам технологической системы. Регистрация и обработка волн напряжений может осуществляться методом, основанном на приёме сигналов акустической эмиссии, который успешно используется в решении технологических задач, связанных с обработкой материалов резанием [1,2]. Но и при использовании акустической эмиссии имеются определённые трудности, связанные с тем, что сигнал акустической эмиссии зависит: 1. от координат рабочего пространства; 2. от износа режущего инструмента; 3. от динамических явлений в процессе резания (непостоянство жёсткости технологической системы, фрикционные процессы взаимодействующих тел); 4. от условий крепления инструмента и конструкции вспомогательного инструмента. Перечисленные выше факторы, осложняющие решение поставленной задачи - прогнозирование качества обработанной поверхности детали, должны учитываться и опираться на результаты экспериментальных исследований и базы данных с накопленной статистической информацией подобных исследований. Функции и связи элементов технологической системы: деталь – режущий инструмент и внешнего объекта (датчика виброакустического (ВА) сигнала) показаны на рисунке 1.

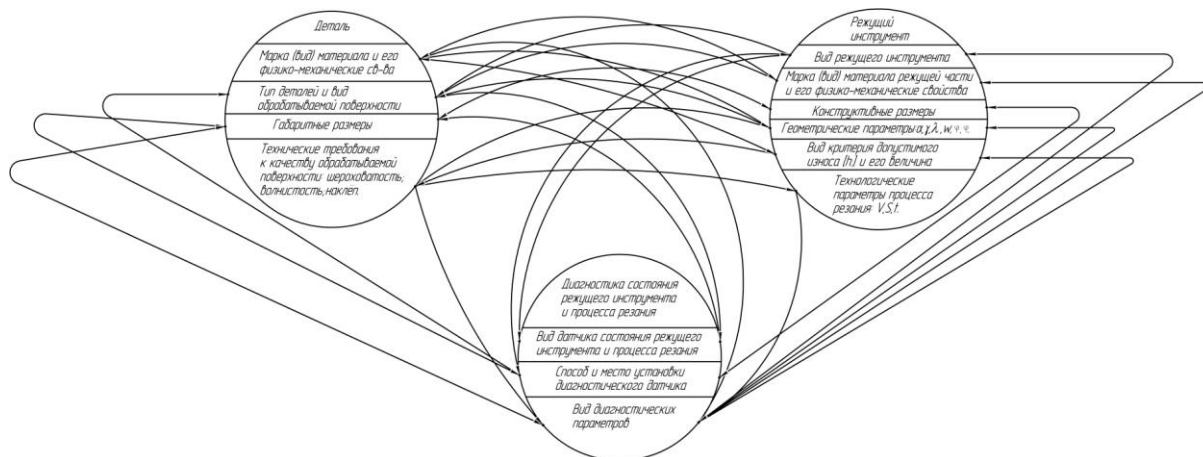


Рисунок 1. Функциональные связи элементов технологической системы: деталь – режущий инструмент и внешнего объекта (датчика виброакустического (ВА) сигнала).

Решение задачи прогнозирования качества обработанной поверхности детали возможно с использованием нейронных сетей с самоорганизацией по Кохонену для выявления закономерностей в больших объемах данных [3,4]. 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. Сети Кохонена относятся к самоорганизующимся нейронным сетям. Самоорганизующаяся сеть позволяет выявлять кластеры (группы) входных векторов, обладающих некоторыми общими свойствами. При этом выделяют сети с неупорядоченными нейронами (часто называемые слоями Кохонена) и сети с упорядочением нейронов (часто называемые самоорганизующимися картами).

Сеть Кохонена - это однослойная сеть, каждый нейрон которой соединен со всеми компонентами  $n$ -мерного входного вектора. Входной вектор - это описание одного из объектов, подлежащих кластеризации. Количество нейронов совпадает с количеством кластеров, которое должна выделить сеть. В качестве нейронов сети Кохонена применяются линейные взвешенные сумматоры. Каждый  $j$ -ый нейрон описывается вектором веса  $w$ . Входным вектором является  $x_i$ . В сетях Кохонена используется обучение без учителя. Для обучения сети принимаются механизмы конкуренции. При передаче на вход сети вектора  $x$  побеждает тот нейрон, вектор весов которого в наименьшей степени отличается от входного вектора (рисунок 2).

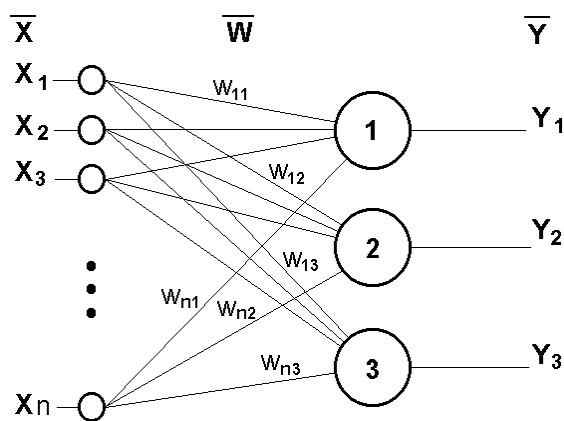


Рисунок 2. Структура нейронной сети Кохонена

Привлекательной чертой нейровычислений является единый принцип обучения нейросетей - минимизация эмпирической ошибки. Функция ошибки, оценивающая данную конфигурацию сети, задается извне - в зависимости от того, какую цель преследует обучение. Но далее сеть начинает постепенно модифицировать свою конфигурацию - состояние всех своих синаптических весов - таким образом, чтобы минимизировать эту ошибку. В итоге, в процессе обучения сеть все лучше справляется с возложенной на нее задачей. Обучаясь, нейросеть формирует некоторый навык решения неформализованной задачи классификации или прогнозирования. Этот навык можно оценить при помощи тестовой выборки - если точность решения тестовых задач достаточна с точки зрения пользователя, то полученная нейросеть может в дальнейшем использоваться в составе нейросетевой экспертной системы для решения задачи.

Таким образом, применение нейронных сетей, являющихся мощной вычислительной системой для прогнозирования качества обрабатываемой поверхности с использованием метода акустической эмиссии, позволяет рассмотреть все возможные функциональные связи в технологической системе режущий инструмент - деталь, а на основе обучающей выборки по результатам экспериментальных исследований и базы данных с накопленной



статистической информацией подобных исследований решить задачу обеспечения и управления качеством обрабатываемой поверхности при металлообработке.

Список литературы:

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., Огневенко Е.С. Технологические предпосылки использования сигнала акустической эмиссии для прогнозирования износа инструмента [Электронный ресурс] / Е. С. Огневенко, В. А. Терентьев, Ю. А. Кряжев // Наука и молодежь – 2008 : 5-я Всероссийская науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Барнаул, АлтГТУ, апрель 2008 г.). – Барнаул. – 2008. – Режим доступа: [http://edu.secna.ru/media/f/mtoa\\_otm.pdf](http://edu.secna.ru/media/f/mtoa_otm.pdf).

3. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника. - М.: Мир,1992. - 240 с.

4. Галушкин А.И. Теория нейронных сетей. Кн.1: Учеб. пособие для вузов / Общая ред. А.И. Галушкина. - М.: ИПРЖР, 2000. - 416 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ТОРЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Ануфриев Д. – магистрант, Попова Н.Ю. – магистрант, Черданцев А.О. – аспирант, Некрасов В.Н. – к.т.н, старший преподаватель

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

В условиях постоянно расширяющегося ассортимента выпускаемой продукции основным фактором, определяющим целесообразность приобретения изделий потребителем, является качество.

Для обеспечения высокого качества, производительности и низкой себестоимости металлообработки при фрезеровании торцевыми фрезами, необходимо обратить внимание на выбор инструмента и режимов резания. При фрезеровании в некотором диапазоне скоростей резания возникают вибрации, в результате которых снижается качество обработанной поверхности, которое проявляется в виде волнистости. Вибрации вызывают шум, снижают стойкость режущего инструмента, срок службы станка и производительность обработки.

Исходя из отрицательных воздействий вибрации инструмента на механообработку, вытекает необходимость прогнозирования параметров процесса обработки для непосредственного управления качеством деталей.

При резании вынужденные колебания оказывают наибольшее влияние в сравнении с остальными видами колебаний [1], они возникают под действием внешних периодических возмущающих сил, вследствие прерывистости процесса резания, неуравновешенности вращающихся масс, погрешностей изготовления и сборки передач и ритмичности работы близко расположенных машин.

Для моделирования процесса формирования микрорельефа фрезеруемой детали необходимо иметь модель вертикально-фрезерного станка с процессом резания и внешним воздействием в виде неровности поверхности детали.

Вертикально-фрезерный станок представим в виде трех-массовой модели:  $m_1$  – масса детали;  $m_2$  – масса фрезы в шпинделе;  $m_3$  – масса шпиндельной бабки (рис. 2.3).

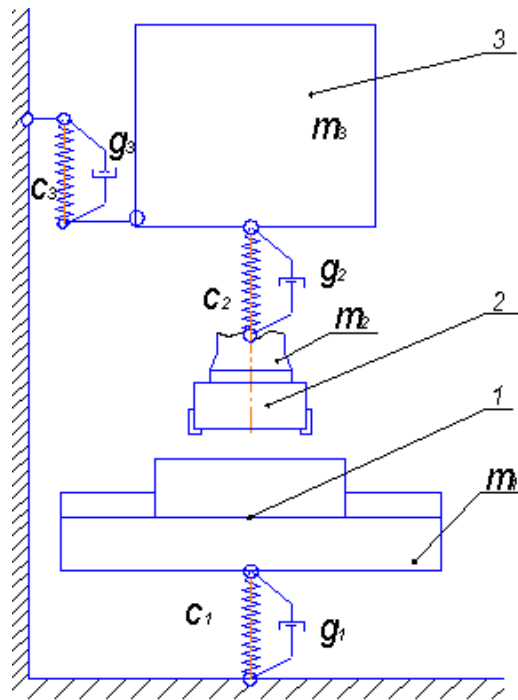


Рисунок 2.3 – Динамическая схема вертикально-фрезерного станка.

Деталь 1 через жесткость  $c_1$  и демпфер  $g_1$  присоединяется к станине. Пружина жесткостью  $c_2$  имитирует сопротивление внедренной фрезы 2 и характеризует его режущую способность. Масса  $m_2$  присоединена к шпиндельной бабке 3 через пружину жесткостью  $c_2$  и демпфер с коэффициентом демпфирования  $g_2$ . Масса  $m_3$  присоединена к станине через пружину жесткостью  $c_3$  и демпфер с коэффициентом демпфирования  $g_3$ .

Описание полученной схемы технологической системы с помощью уравнений динамического равновесия, позволит прогнозировать амплитуду колебаний в зависимости от периодически изменяющихся сил резания при торцевом фрезеровании.

Список литературы:

1. Кедров С. С. Колебания металлорежущих станков, М., «Машиностроение», 1978 с. с ил.

## СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕЖЕСТКИХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Жидецкая А.С. - магистрант, Цыганков А.В. - магистрант,

Балашов А.В. – к.т.н., доцент, Черепанов А.А. – к.т.н., доцент

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

Существующая тенденция к снижению материалоемкости выпускаемых изделий, возрастающие потребности промышленности в упругих устройствах обусловили непрерывный рост объема производства нежестких корпусных деталей высокой точности. Нежесткие корпусные детали применяются в широком классе машин. Наиболее известные области их применения - авиа- и судостроение, приборостроение и автомобилестроение. Здесь, наряду с показателями скорости, долговечности и КПД, большое внимание уделяется коэффициенту легковесности машин, который выражает отношение несущей способности конструкции к её массе.

Среди нежестких корпусных деталей наибольшие трудности в обработке создают детали типа пластин, плит, корпусов, а среди поверхностей, подвергаемых обработке – плоские поверхности. Анализ литературных источников, рабочих чертежей нежестких

корпусных деталей позволил выявить наиболее характерные требования по точности, предъявляемые к данным поверхностям: отклонения формы и взаимного расположения главных поверхностей – от 5 мкм до 50 мкм; точность линейных размеров (толщина стенки) – 7 – 10 квалитеты; параметр шероховатости,  $R_a$  – 0,32 – 2,5 мкм. Достижение данных требований без использования специально разработанных способов достижения требуемой точности весьма затруднительно. В настоящее время существуют различные способы управления показателями точности (СУПТ) при обработке плоских поверхностей нежестких корпусных деталей, однако все они требуют систематизации, позволяющей не только выбрать способ управления из уже имеющихся, но и разработать при необходимости новый патентоспособный способ управления точностью на основе систематизированных данных.

Для систематизации СУПТ целесообразно использовать методологию поискового конструирования и, в частности, метод синтеза технических решений (ТР) на И-ИЛИ - графе. Суть метода состоит в том, что информацию о прототипах и известных ТР представляют и записывают в виде связного графа. На основе И-ИЛИ – графа ТР и общего списка требований разрабатывается модель оценки синтезированных ТР, которая позволяет сравнивать различные варианты ТР, выбирать ТР, удовлетворяющие заданному списку требований, а также получать наилучшие ТР.

Граф  $G(X,U)$  включает в себя два типа множеств: множество вершин  $X$  и множество ребер  $U$ . Вершины графа описывают элементы и признаки ТР, выявленные в результате предварительных исследований. Ребра показывают иерархическую соподчиненность между элементами и признаками, а также принадлежность признаков элементам. Множество вершин  $X$  состоит из пары подмножеств  $X_1$  и  $X_2$ . Вершины подмножества  $X_1$  называются И-вершинами; они представляют собой элементы технических объектов, общие для всех ТР. Подмножество  $X_2$  составляют ИЛИ-вершины, которые объединяют альтернативные элементы и признаки, учитывающие особенности каждого из ТР. Особенности построения И-ИЛИ – графа подробно рассмотрены в [1].

И-ИЛИ-граф в первую очередь представляет интерес как средство компактного представления и хранения информации о многих известных ТР, полученных по результатам патентного поиска и из литературных источников. Однако, И – ИЛИ - графы, построенные на основе только известных ТР, часто содержат мало новых патентоспособных решений. Поэтому необходимо обеспечить расширение множества возможных технических решений. Такое расширение может осуществляться с помощью метода и фонда эвристических приемов [1].

На рисунке 1 представлен И-ИЛИ – граф способов управления показателями точности при обработке плоскостей нежестких корпусных деталей с учетом расширения множества возможных ТР. В разработанном И-ИЛИ-графе содержится около 3000 способов управления, отличающихся друг от друга, по крайней мере, хотя бы одним элементом или признаком. Структура И-ИЛИ – графа не является закрытой. Она предполагает свое дальнейшее дополнение по мере накопления новой информации по интересующей тематике.

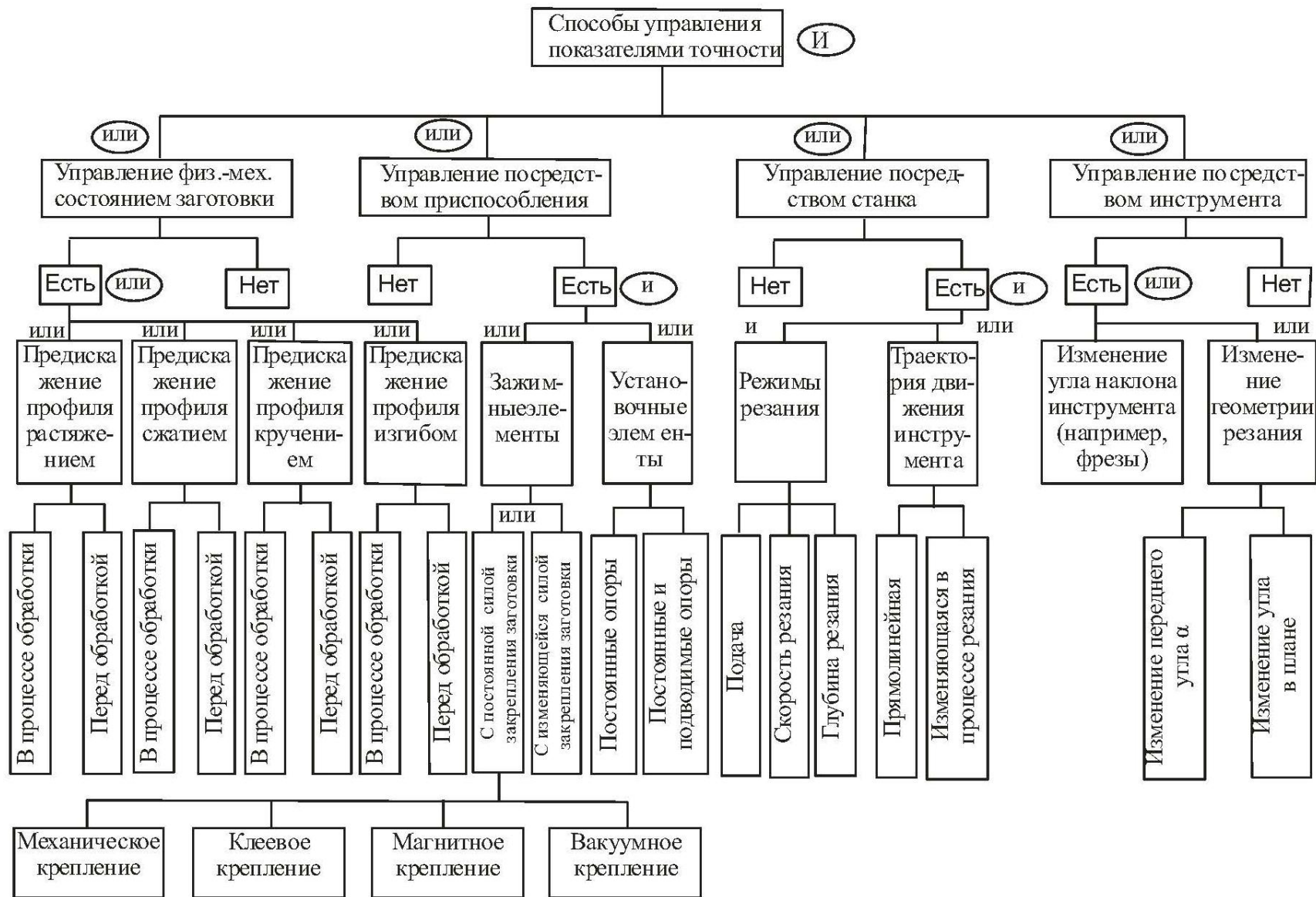


Рисунок 1- И-ИЛИ-граф способов управления показателями точности при обработке плоских поверхностей нежестких деталей

При формировании модели оценки технических решений, содержащихся в И-ИЛИ-графе, достаточно провести оценку элементов и признаков, соответствующих только висячим вершинам. Фрагмент матрицы соответствий основных элементов, используемых при создании СУПТ, приведен в таблице 1, где висячие вершины И-ИЛИ-графа оценивались по пятибалльной системе оценок, приведенной в таблице 2.

Таблица 1. Матрица соответствия (фрагмент)

Элемент		Требование			
		Производительность СУПТ	Гибкость СУПТ	Стоимость СУПТ	Обеспечение точности обработки
Управление физико-механическим состоянием заготовки	Предисказание профиля заготовки изгибом до обработки	4	3	4	5
	Предисказание профиля заготовки изгибом в процессе обработки	5	3	4	5
	.....				
Управление с помощью приспособления	Постоянные и подводимые опоры	5	3	4	5
	Постоянные опоры	4	4	5	3
	Постоянная сила закрепления, обеспечиваемая механическим креплением	4	5	5	3
	Постоянная сила закрепления, обеспечиваемая магнитным креплением	5	3	3	5
	.....				

Таблица 2. Система оценок вершин И-ИЛИ дерева

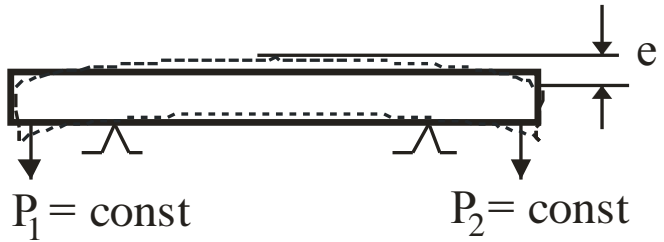
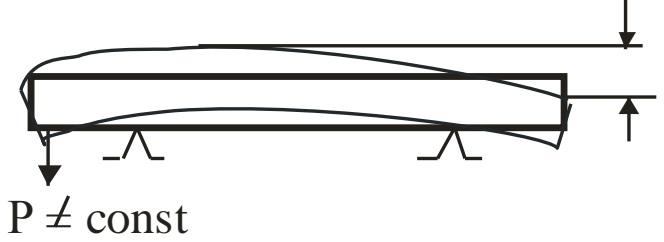
Оценка	Степень соответствия
5	Вершина отлично соответствует данному требованию
4	Вершина хорошо соответствует данному требованию
3	Вершина удовлетворительно соответствует данному требованию
2	Вершина плохо соответствует данному требованию
1	Вершина не соответствует требованию, но может быть включена в решение
0	Вершина не оценивается по данному требованию, но допускается в составе решений

После составления И-ИЛИ-графа следует синтез структуры технических решений, удовлетворяющих требованиям технического задания. Данная процедура весьма трудоемка и требует использования вычислительной техники. Результатом работы служат синтезированные структуры технических решений, которые выводятся на дисплей или принтер в виде иерархической последовательности совокупности описаний их основных

элементов. На основе выданных решений разрабатываются принципиальные схемы из осуществления.

В таблице 3 приведены принципиальные схемы реализации двух ТР, полученных в результате комбинаторного синтеза и обладающих новизной. Техническое задание формулировалось следующим образом: «Способ фрезерования плоскостей нежестких корпусных деталей, в котором обеспечение заданных показателей волнистости, плоскостности и толщины стенки осуществляется автоматически, за счет изменения физико-механического состояния заготовки перед обработкой или в процессе обработки».

Таблица 3 - Технические решения, полученные на И-ИЛИ - графе

Обозначение	Обеспечиваемый показатель точности	Принципиальная схема реализации технического решения
ТР-1	Толщина стенки Волнистость Плоскостность	
ТР-2	Толщина стенки Волнистость Плоскостность	

Представленное в таблице 3 первое техническое решение (ТР-1) предусматривает возможность управления показателями точности мало жесткой 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 «е», возникающих во время обработки, тем самым, компенсируя их и позволяя выдержать исследуемый линейный размер (толщину стенки) в пределах поля допуска.

Техническое решение ТР-2 позволяет управлять показателями точности мало жесткой детали при помощи изгиба обрабатываемой поверхности заготовки одной внешней силой  $P$  во время обработки, причем величина силы  $P$  изменяется в зависимости от положения фрезы в ходе резания. Данное техническое решение также позволяет выдержать необходимый размер в пределах поля допуска.

### Выводы

1. Разработанный подход к систематизации способов управления показателями точности обработки нежестких деталей, основанный на принципах поискового конструирования, позволяет не только выбрать требуемый способ управления из уже существующих, но и предложить новые способы управления точностью, являющиеся результатом комбинаторного синтеза структуры технических решений.

2. Предложенные способы управления показателями точности при фрезеровании плоских поверхностей нежестких деталей обладают признаками патентной чистоты и способны обеспечивать соблюдение требуемых точностных показателей в процессе обработки в автоматическом режиме.

Представленное в таблице 3 первое техническое решение (ТР-1) предусматривает возможность управления показателями точности мало жесткой детали посредством предсказания обрабатываемой поверхности заготовки изгибом при помощи двух внешних сил  $P_1$  и  $P_2$  до обработки. Предсказание заготовки осуществляется на величину упругих отжатий заготовки «е», возникающих во время обработки, тем самым, компенсируя их и позволяя выдержать исследуемый линейный размер (толщину стенки) в пределах поля допуска.

Техническое решение ТР-2 позволяет управлять показателями точности мало жесткой детали при помощи изгиба обрабатываемой поверхности заготовки одной внешней силой  $P$  во время обработки, причем величина силы  $P$  изменяется в зависимости от положения фрезы в ходе резания. Данное техническое решение также позволяет выдержать необходимый размер в пределах поля допуска.

#### **Выводы**

1. Разработанный подход к систематизации способов управления показателями точности обработки не жестких деталей, основанный на принципах поискового конструирования, позволяет не только выбрать требуемый способ управления из уже существующих, но и предложить новые способы управления точностью, являющиеся результатом комбинаторного синтеза структуры технических решений.

2. Предложенные способы управления показателями точности при фрезеровании плоских поверхностей не жестких деталей обладают признаками патентной чистоты и способны обеспечивать соблюдение требуемых точностных показателей в процессе обработки в автоматическом режиме.

Список литературы:

1. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с., ил.

### **УПРОЧНЕНИЕ ВАГОННЫХ ОСЕЙ НАКАТЫВАНИЕМ РОЛИКАМИ**

Дворникова Ю.Ю. – студентка, Дятчин Н.И. – к.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

От вагонных осей, работающих в условиях многоциклового знакопеременного напряжения, требуется высокая надежность, исключающая возможность разрушения вследствие появления усталостных трещин, которая может привести к авариям на железнодорожном транспорте с чрезвычайно тяжелыми последствиями. Для ее обеспечения оси, после окончательной механической обработки резанием, подвергают по всей длине в шейках, подступичных и предподступичных частях, а также в галтельных переходах от одних частей к другим, упрочнению роликами с последующим контролем магнитным и ультразвуковыми методами.

Поверхности, подлежащие упрочнению должны иметь шероховатости  $R_a$  не более: 6,3 мкм на подступичных и 12,5 мкм – на остальных частях; с припусками на диаметры под накатку, соответственно 0,04...0,06 и 0,06...0,08 мм.

Упрочнение накатыванием роликами осуществляется на специальных накатных или универсальных станках, оснащенных приспособлениями для двух роликов, нагружение которых осуществляется пневматически или гидравлически с автоматическим поддержанием требуемого усилия накатывания. Накатывание производится за один проход упрочняющим и выглаживающим роликами при подаче не более 0,7 мм/об и частоте вращения не более 220 об/мин при обильном смазывании индустриальным или трансформаторным маслами, подающимися по маслопроводу или с помощью масленок.

Накатывание цилиндрических поверхностей шеек и предподступичных частей оси должно производиться роликами с постоянной осью вращения диаметром 150...200 мм с

радиусом профиля  $19^{+1}$  мм и с усилием в пределах 24,5...26,5 кН, а галтелей шеек и подступичных частей – роликами с поворачивающейся осью вращения и комбинированными профилями по радиусам 5 и 13 мм с усилием накатывания 17,7...19,6 кН. Шероховатости Ra поверхностей после накатывания должны быть не более: 1,25 мкм – на шейках и подступичных частях и 2,5 мкм – на предподступичных и средних частях оси. Допускается производить повторное упрочнение накатыванием до трех раз при условии соблюдения требований к геометрическим параметрам соответствующих частей оси.

Для обеспечения требуемого качества упрочнения накатыванием при производстве осей и их ремонте осуществляют постоянный, периодический и неразрушающий (магнитопорошковый) виды контроля. После накатывания каждая ось подвергается неразрушающему контролю магнитопорошковым методом с целью выявления возможных отклонений в упрочненном слое при его резком обрыве: наплывов, трещин, расслоений и других поверхностных дефектов. При постоянном контроле производится оценка: параметров режима накатывания (усилия, величины подачи роликов и частоты вращения оси); размеров роликов и состояния их поверхности; геометрических параметров осей и состояния их поверхности до и после упрочнения. Состояние поверхности осей с целью выявления дефектов накатывания (наплывы металла, риски, перерывы на накатанной поверхности и шелушение), а также оценка их шероховатости по ГОСТ 2789 контролируются методом визуального осмотра.

Усилия накатывания контролируются по показаниям манометров, а величины подачи роликов и частоты вращения оси непосредственным измерением не реже одного раза в три месяца и после ремонта станка. Радиусы профилей роликов контролируют по шаблонам не реже одного раза в смену. Контроль увеличения твердости накатанной поверхности и глубины слоя металла с повышенной твердостью производится один раз в месяц на одной оси из 500 окончательно обработанных на продольных шлифах, вырезаемых из подступичных частей и шеек.

Технологическая инструкция по упрочнению вагонных осей накатыванием роликами разработана Научно-исследовательским институтом железнодорожного транспорта (ОАО «ВНИИЖТ»), представлена дирекцией Совета по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества, утверждена его Комиссией и введена 01.01.2012 г.

## НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СТЫКА ПРЕССОВОГО СОЕДИНЕНИЯ, УПРОЧНЕННОГО ДОРНОВАНИЕМ

Еремина О.Е. – магистрант, Буканова И.С. – к.т.н, старший преподаватель,  
Ятло И.И. – к.т.н., доцент

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

Основным критерием надежности прессовых соединений «втулка-корпус» являются величины осевого  $P_{oc}$  и тангенциального  $M_t$  сдвигов. В основном эти параметры зависят от величины контактного давления  $p_k$ . Известно, что процесс дорнования отверстия запрессованной втулки значительно увеличивает  $p_k$ .

В настоящей статье рассматриваются условия получения оптимального напряженно-деформированного состояния (НДС) сопрягаемых деталей в зависимости от величины натягов дорнования.

Натяг дорнования определяет одно из трех состояний деталей прессового соединения «втулка-корпус». Первое – втулка и корпус находятся в упругом режиме деформирования. Второе – втулка в упруго-пластическом, корпус – в упругом. Третье – втулка находится в пластическом а корпус – в упруго-пластическом режиме деформирования.

Рассмотрим соединение из однородного металла ( $E_1 = E_2$ ), а детали соединения имеют одинаковую твердость (состояние поставки), где  $E_1$  и  $E_2$  - соответственно модули упругости материала втулки и корпуса.



В первом случае упрочнения посадки нет. Это состояние характеризуется весьма малыми натягами дорнования ( $i_q$ ) и незначительной (по толщине стенки) упругой деформацией, которая исчезает после прохождения дорном отверстия.

Увеличение  $i_q$  вызывает появление остаточной деформации внутренних слоев стенки втулки. Следующие за ними наружные слои деформируются только упруго, а наружный диаметр ( $d_1$ ) втулки стремиться к увеличению. Появившиеся остаточные деформации сохраняются и по прекращении радиального давления дорна, препятствуя возвращению упругих слоев металла в первоначальное состояние. За счет этого в зоне стыка сопрягаемых поверхностей возникает дополнительное радиальное давление  $p_{вт}$  от деформации  $d_1$ .

Кроме того, внутренние слои отверстия корпуса деформируются упруго, сжимая втулку радиальным давлением  $p_{кор}$ , что увеличивает дополнительное радиальное давление.

Таким образом, зона стыка сопрягаемых поверхностей находится в напряженном состоянии за счет упругого расширения  $d_1$  втулки и упругого сжатия корпуса.

Следовательно, дорнование обеспечивает дополнительное давление равное

$$p_q = p_{вт} + p_{кор} \quad (1)$$

Общее давление  $p_k$  в зоне стыка будет состоять из радиального давления запрессовки  $p_з$  и дополнительного давления  $p_d$ :

$$p_k = p_з + p_d \quad (2)$$

Или

$$p_k = p_з + p_{вт} + p_{кор} \quad (3)$$

Так как  $P_p(M_T) = f(p_k)$ , то повышение их значений очевидно, а значит следует повышение прочности прессового соединения.

Рассмотренный случай состояния элементов соединения имеет наибольший эффект упрочнения посадки.

Дальнейшее увеличение натяга дорнования приводит к исчезновению упругой зоны деформирования, распространению на всю толщину стенки втулки пластической зоны и упруго-пластическому состоянию корпуса. В этом случае металл втулки исчерпал свои упругие свойства, а внутренняя поверхность корпуса, имея остаточную деформацию на поверхности стыка, снижает  $p_d$ . Упрочнение посадки происходит за счет незначительного увеличения площади контакта ( $F_k$ ).

При упрочнении дорнованием прессовых соединений «втулка-корпус», состоящих из одного материала, но в разных термических состояниях, можно получить различные результаты прочности. Это подтверждается результатами экспериментов (таблица 1).

Таблица 1

Вид термообработки и	Твердость корпуса НВ	Способ получения соединения	Усилие осевого сдвига
Состояние поставки	165	с натягом	3200
		с зазором	3400
Нормализация	170	с натягом	12700
		с зазором	12000
Закалка с отпуском	400	с натягом	12900
		с зазором	12200
Закалка	475	с натягом	13400
		с зазором	12100

Здесь втулки и корпус изготовлены из стали 40Х, но материалы втулки в состоянии поставки (НВ 165), а корпуса термообработаны на разных режимах. на разную твердость. Шероховатость  $R_a$  поверхности  $d_1$  втулки составляла 0,64мкм, а сопрягаемой поверхности корпуса – 0,32мкм,  $i_q = 0,4$ мм, натяг или зазор между сопрягаемыми поверхностями – 0,02...0,04мм.

Размеры соединений принимались:  $d_1/d_0=1,2$ ;  $D_1/D_0=1,4$ ,

где

$d_0, D_0$  - внутренние диаметры втулки и корпуса соответственно,

$d_1, D_1$  - наружные диаметры втулки и корпуса соответственно.

Из таблицы видно, что наименьшую прочность имеют соединения выполненные из материала в состоянии поставки и наибольшее – когда корпуса термообработаны до НВ 475, т.е. повышение прочности почти на 30%. Это наглядно подтверждает влияние упругого воздействия корпуса на увеличение дополнительного радиального контактного давления в стыке.

Прессовые соединения состоящие из различных материалов (или  $E_1 \neq E_2$ ) также могут находиться в трех рассмотренных НДС и с теми же эффектами упрочнения. Наибольший эффект упрочнения достигается когда втулка деформируется упруго-пластически, а корпус – упруго.

Однако, при  $E_1 > E_2$  дополнительное радиальное давление  $p_{вт}$  будет меньше при одном  $i_q$ , чем при  $E_1=E_2$ , т.к. упруго-деформированные наружные слои втулки оказывают большое давление на слои втулки с остаточной деформацией (упругий возврат), чем на упруго-деформированную внутреннюю поверхность корпуса (т.е.  $p_k$  меньше).

Наибольший эффект упрочнения посадки (наибольшее  $p_k$ ) достигается при  $E_2 > E_1$ , т.к. величина упругой (сжимающей) силы корпуса будет иметь наибольшую величину.

Если  $E_1 \gg E_2$ , то в стыке после дорнования может образоваться зазор, т.к. упругая деформация (усадка) наружной поверхности втулки ( $d_1$ ) будет больше чем упругая деформация внутренней поверхности корпуса ( $D_0$ ).

Таким образом, используя теоретические основы процесса дорнования отверстий, можно рассчитать режимы дорнования для получения нужного напряженно-деформированного состояния прессового соединения типа "втулка-корпус"

## СОЕДИНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛЕГКОСПЛАВНОГО МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ ПЛАСТИЧЕСКОГО СВЕРЛЕНИЯ

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

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

Современный этап развития машиностроения диктует высокие требования к изделиям по качеству обработанной поверхности, малозатратному по времени и средствам технологическому процессу, а так же безотходности производства. В связи с постоянным развитием промышленности объем применения цветных металлов и сплавов на их основе непрерывно растет. Одним из важных направлений развития современной техники является снижение массы и уменьшение размеров конструкций при сохранении их функциональных возможностей. Особое внимание этому уделяется при изготовлении изделий авиационной техники, космических аппаратов, наземного и водного транспорта.

Технологический процесс соединения деталей из легкосплавного материала (алюминиевый сплав), например, аргоно-дуговой сваркой, технологически сложен по причине высоких требований к подготовке соединяемых элементов и настройке оборудования. Наличие оксидной пленки на поверхности соединяемых элементов затрудняет процесс сварки и снижает прочностные характеристики шва, отсутствие цветов побежалости усложняет наблюдение за процессом при ручной сварке, высокая теплопроводность, наряду с низким модулем упругости приводит к недопустимым деформациям изделия. Применение защитных газов или флюсов при проведении сварочных работ ведет к удорожанию процесса, а нарушение самого технологического процесса ведет к уменьшению тепловой мощности дуги, увеличению ширины зоны расплавления, перегреву и короблению деталей. Следует также учесть особенности алюминиевых сплавов в части их предрасположенности к образованию пор и горячих трещин, которые образуются при кристаллизации расплава.

Проведенные в последние годы исследования показали, что для соединения конструкций из алюминиевых сплавов и других цветных металлов наиболее эффективной является технология перемешивающей сварки трением (ПСТ) [1]. Перемешивающая сварка трением (ПСТ) - процесс сварки в твердой фазе без расплавления металла. Вращающийся инструмент, специально разработанный для ПСТ, прижимается с усилием к поверхности стыка и перемещается вдоль него, выделяя тепло и деформируя материал, переводя его в сверхпластичное состояние. Таким образом, процесс соединения происходит за счет деформации и сверхпластичности материала. Данный способ позволяет получать стыковые и нахлесточные соединения деталей как плоского, так и круглого сечения. А одним из перспективных аспектов процесса является его возможная автоматизация.

В процессе исследования ПСТ западными и российскими учеными установлено, что деформация и перемешивание металла в твердой фазе зачастую создает микроструктуры более прочные, чем основной материал [3,4]. Обычно, прочность на растяжение и усталостная прочность соединения составляет 90% от этих характеристик для основного материала.

Качество и структура шва соединения в значительной степени зависит от параметров технологического процесса, таким образом, управление структурой за счет изменения технологических параметров является важнейшей задачей, от решения которой зависит расширение использования ПСТ.

Информационный анализ и контент-анализ процесса ПСТ свидетельствуют о том, что для промышленного применения метода требуется наличие специализированного инструмента и оборудования. В настоящее время основная доля промышленного комплекса страны сформирована на базе малых предприятий имеющих в наличии станочные парки первых поколений. Обновление парка зачастую для многих предприятий является невозможным по причине высоких финансовых затрат. В единичных случаях возможна некоторая модернизация станочного парка под современные технологические процессы.

Исходя из этого, была сформирована следующая задача: исследовать механизм образования соединения деталей из легкосплавного материала на базе технологических параметров процесса пластического сверления с применением станков фрезерного типа [2].

Параметры и режимы обработки напрямую зависят от обрабатываемого материала. Теплоемкость, теплопроводность, плотность, твердость, и температура плавления это исходные характеристики материала обрабатываемой детали, оказывающие влияние на протекание процесса перехода материала в пластичное состояние. Исходя из этого в качестве материала образцов выбран алюминий общего назначения или конструкционный алюминий.

Эксперимент с использованием опытных образцов проходил следующим образом: В шпинделе фрезерного станка 6М12П закреплен твердосплавный инструмент конической формы ( $\varnothing 9$ ,  $\alpha 45^\circ$ ), используемый в процессе пластического сверления в качестве пуансон-сверла. На рабочем столе надлежащим образом закреплены образцы подлежащие соединению. Для удобства закрепления (установки) в качестве натуральных образцов использованы два уголка изготовленных из конструкционного алюминия (20x20x4,0 мм). Линия стыка образцов задана в направлении продольного перемещения стола. Конус твердосплавного инструмента внедряется непосредственно в точку сопряжения двух деталей с осевой подачей  $S_y = 0,8$  мм/об и частотой вращения  $n = 1600$  об/мин (рисунок 1а). Внедрение инструмента происходит на глубину равную 50% его конической части, что соответствует  $S_{\text{конуса}} = 30$  мм<sup>2</sup>, осевая подача прекращается, инструмент продолжает вращение. Выдерживается интервал времени равный 2-3 секунды и задается радиальная подача детали -  $S_x = 0,63$  мм/об. Следует отметить, что 2-3 секунды времени необходимо для разогрева инструмента и заготовок, с целью создания более благоприятных температурных условий для протекания процесса (установлено экспериментально). После включения радиальной подачи, инструмент упирается в материал и разогревает данную область до температуры пластичного состояния. "Порция" нагретого таким образом материала под действием радиальной силы  $P_x$  и крутящего момента  $M_{кр}$  перемещается в сторону противоположную

движению инструмента, то есть за него (рисунок 1а, 1б). Перемещенная инструментом “порция” металла охлаждается и отвердевает, формируется новая волна (рисунок 1б). Тем самым происходит заполнение конуса образовавшегося в материале после внедрения инструмента и формирование соединительного шва. Процесс повторяется циклично, с перемещением новых “порций” металла (рисунок 1б). После прохождения заданного участка радиальная подача  $S_x$  прекращается, и инструмент выводится из зоны обработки, оставляя после себя впадину в виде профиля конуса (рисунок 2а).

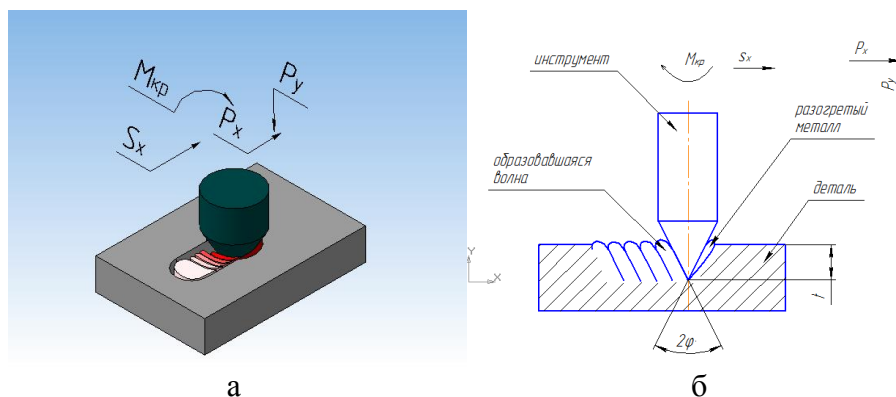


Рисунок 1 (а, б) Геометрическая модель процесса

Установлено, что в процессе эксперимента не весь объем разогретого металла возвращается в образуемую канавку. Так как обработка происходит при комнатной температуре ( $t_{\text{воздуха}}=24\text{ C}^\circ$ ), то поверхность металла быстро охлаждается и имеет также невысокую температуру. При прохождении инструмента, вследствие его вращательного движения и невысокой температуры поверхности металла, по правой стороне движения наблюдается образование тонкого слоя металла (облоя). Этот слой, охлаждаясь, застывает в виде неравномерного острого заусенца. Левый край остается ровным и имеет резкий обрыв (рис. 2а). Выявленная закономерность формирования геометрии соединительного шва напрямую связана с геометрией инструмента, что подлежит дальнейшему исследованию в направлении создания безотходного технологического процесса соединения легкосплавных деталей методом пластического сверления.

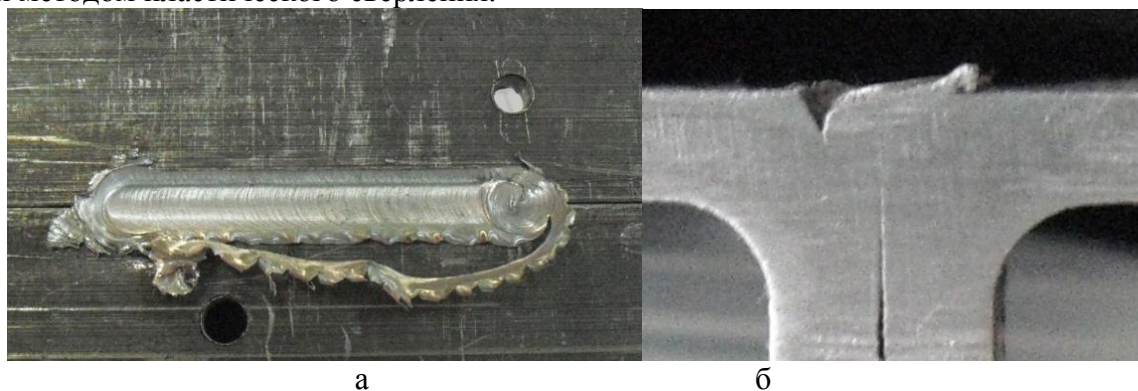


Рисунок 2 (а, б) Обработанная поверхность образца

При протекании процесса с подачей  $S_x < 0,63\text{ мм/об}$ , наблюдалось образование непластичной массы. Обработанная поверхность представляла собой массу из хаотично спеченной стружки. Это объясняется тем, что не была достигнута необходимая сила трения и соответственно температура.

Таким образом, после проведения ряда экспериментов была получена зависимость минимальных параметров для возможности осуществления процесса перехода материала обрабатываемой детали в пластичное состояние:

$$F_{\text{трения}} = f(S_{\text{контакта}}, F_{\text{прижатия}}, \mu_{\text{трения}}, \text{НВ})$$

$t = f(n_{\text{оборотов}}, S_{\text{контакта}}, \text{свойства металла})$

$\min F_{\text{трения}} = (S_{\text{конуса}}/2 * S_x * n_{\text{оборотов}}) / \text{НВ}$

Полученные результаты исследования формируют новые перспективы расширения области использования метода пластического сверления и ставят перед исследователями новые задачи по эффективному внедрению процесса соединения легкосплавных деталей методом пластического сверления на базе малых предприятий.

Список литературы:

1. Особенности технологии сварки трением с перемешиванием / А.П. Корневич и др. // Заготовительные производства в машиностроении. 2009.9. — С.7-14

2. Хоменко Владимир Валерьевич. Формообразование узлов крепления в тонкостенных деталях методом пластического сверления : Дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 : Барнаул, 2004 128 с. РГБ ОД, 61:04-5/3873

3. Штрикман М. М. — Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений. Ч. 1,2,3 Сварочное производство № 9,10,11 (874,875,876) 2007

4. Hartley P. Friction plug weld, repair of Space Shuttle external tank // Welding and metal fabrication. 2000. N 9.

## ХОЛОДНОЕ НАКАТЫВАНИЯ ШЛИЦЕВ НА ВАЛАХ МЕТОДОМ КОПИРОВАНИЯ

Лаптев О.В. – студент, Дятчин Н.И. – к.т.н., профессор

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

В последние десятилетия в промышленности освоен ряд высокопроизводительных методов накатывания шлицев на валах, новые способы их формирования в холодном состоянии заготовки, обеспечивающие высокую производительность обработки, малую шероховатость обработанной поверхности и ее поверхностное упрочнение (наклеп), а также благоприятное расположение его структуры при неизменной структуре сердцевины заготовки. Холодное формирование шлицевых профилей обычно осуществляется по двум кинематическим схемам: методу копирования и методу огибания (обкатки) профиля. Однако метод обкатки с успехом применяется лишь для накатывания мелких шлицев, поэтому для заданной детали наиболее подходящим является метод копирования, который и рассмотрен в исследовании наиболее подробно.

Метод копирования применяется для образования прямобочных, треугольных и эвольвентных шлицев со значительной высотой профиля (до 6 мм) и при небольшом количестве зубьев обрабатываемых деталей. При накатывании по данному методу профиль формообразующей части накатного инструмента полностью копирует профиль впадин накатываемых шлицев. При этом материал заготовки вытесняется в радиальном направлении от основания шлица к его наружной поверхности, а потому диаметр заготовки всегда меньше, чем диаметр готовой детали, удлинения которой практически не наблюдается. Благодаря кратковременному воздействию накатных роликов на деталь происходит равномерное «холодное течение» материала по периметру и длине профиля до получения требуемой его формы.

При накатывании шлицевых валов процесс осуществляется за счет силы  $P_x$ , перемещающей накатной ролик вдоль оси заготовки, рис. 1. При этом деформация осуществляется по сложному незамкнутому контуру, вследствие чего уширение металла заготовки при внедрении ролика затруднено и является не свободным, как при простой прокатке на гладких валках, а вынужденным. Особенности механики процесса обуславливают и существенное отличие по величине и распределению сил внешнего трения и удельных сил на контактной поверхности очага деформации. Причем максимум сил трения находится вблизи входа металла в очаг деформации и перед плоскостью выхода из него.

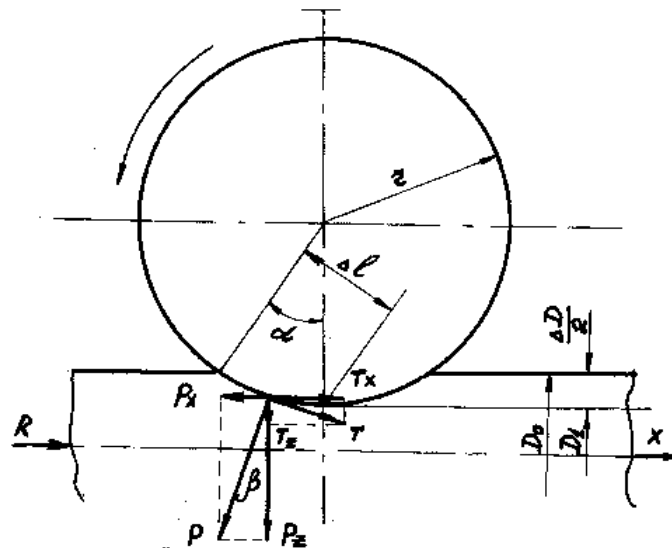


Рисунок 1 – Схема сил, действующих на накатной ролик при накатывании шлица методом копирования

Вследствие высоких контактных нагрузок и значительных сил трения на контактных поверхностях инструмента при деформировании исходного материала высокой прочности из сталей 45, 18 ХГТ и др. происходит разрушение рабочих поверхностей накатных роликов. Основные их виды: 1 – усталостное разрушение в виде кольцевых усталостных трещин по рабочему профилю ролика на глубине порядка 1 мм от поверхности; 2 – сквозные радиальные трещины; 3 – угловые поперечные трещины; 4 – выкрашивания по рабочему профилю.

Кольцевые усталостные трещины обусловлены энерго-силовой схемой процесса накатки шлицев и возникают независимо от марки инструментальной стали, из которой изготавливаются ролики. Они появляются симметрично на боковых поверхностях рабочего профиля на расстоянии, примерно равном половине высоты шлица. По мере прокатки эти трещины развиваются по длине и ширине и соединяются в одну общую кольцевую трещину, концентричную наружной поверхности ролика и его посадочного отверстия. Их развитие активизируется попаданием в них смазки и твердых частиц износа, взвешенных в ней, и сопровождается появлением по всей длине мелких выкрашиваний в виде точечного отшелушивания нагартованного слоя металла.

Сквозные радиальные трещины появляются вследствие возникновения в ролике рабочих напряжений, превышающих предел прочности материала, а также его неудовлетворительной структуры в виде карбидной неоднородности, низкого качестваковки и термической обработки. Характер излома от радиальной трещины является свидетельством того, что она образуется на поверхностях рабочего профиля в местах концентрации напряжений в зонах выкрашиваний, вмятин, рисок, прижогов и распространяется вглубь в направлении посадочного отверстия. В некоторых случаях радиальные трещины возникают из-за прогиба оси ролика, если она имеет низкую жесткость.

Работоспособность роликов в условиях эксплуатации характеризуют следующие критерии прочности: твердость, прочность при изгибе и ударная вязкость, которые определяют допустимые рабочие напряжения. Вместе с тем долговечность инструмента и его износостойкость определяются циклической прочностью (малоцикловой усталостью). Очевидно, чтобы повысить стойкость роликов необходимо обеспечить максимальные значения малоцикловой усталости при сохранении достаточно высоких показателей прочности и вязкости материала, из которого они изготовлены.

На практике накатные ролики чаще всего изготавливаются из быстрорежущей стали Р6М5, причем повышение их стойкости достигается снижением твердости закалки до 56–59

HRC при пониженных температурах 1140–1160°C, за счет чего достигается увеличение прочности, ударной вязкости и снижение малоциклового усталости.

Известно, что поверхностное упрочнение повышает выносливость рабочих частей инструмента и обеспечивает минимальный механический износ их контактных поверхностей. В частности, применение поверхностного упрочнения в виде азотирования и карбонитрирования повышает усталостную прочность и эксплуатационную стойкость роликов в 2–4 раза.

## СВЕРЛЕНИЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА В КОРПУСЕ ФОРСУНКИ

Ларионов М.А. – студент, Дятчин Н.И. – к.т.н., профессор

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

В корпусе форсунки 216 имеются два глубоких отверстия малого диаметра, длина которых превышает  $10d$  и обработка которых вызывает наибольшие сложности в технологическом процессе. Поэтому целью исследования являлся выбор наиболее подходящего инструмента для выполнения данной операции, который осуществлялся с помощью метода экспертных оценок существующих конструкций сверл: спирального, шнекового, лопаточного и ружейного. При этом был проведен технико-экономический анализ данных сверл с применением 4-балльной системы оценок по следующим показателям: 1 – эффективность удаления стружки из зоны резания; 2 – удобство подачи и отвода СОЖ из зоны резания; 3 – отсутствие увода оси сверла в процессе обработки; 4 – трудоемкость изготовления инструмента; 5 – стойкость инструмента; 6 – удобство переточки сверла; 7 – возможность обработки отверстия за один проход; 8 – точность и чистота полученного отверстия.

Наиболее эффективным, с точки зрения удаления стружки из зоны резания, является шнековое сверло, в котором этот эффект достигается увеличенным наклоном (до  $60^\circ$ ) стружечных канавок, по сравнению со спиральным сверлом, что позволяет сверлить отверстие за один проход без вывода инструмента. Поэтому по показателям 1 и 7 шнековому сверлу присвоены баллы 4. Ружейное сверло обеспечивает надежное удаление стружки путем вымывания СОЖ, подаваемого в зону резания под давлением, но лишь при обеспечении надежного дробления стружки, а также требует дополнительных устройств для направления сверла при засверливании и подачи СОЖ под высоким давлением. Поэтому по показателю 1 ему присвоен балл 2, а по показателю 7 – балл 4. Удаление стружки при сверлении глубоких отверстий спиральным сверлом затруднено и требует многократных выводов инструмента, поэтому по показателям 1 и 7 ему присвоены баллы, соответственно, 2 и 1. Недостатком лопаточного сверла является не только крайне неудовлетворительный отвод стружки, но и необходимость предварительной обработки заходной части отверстия для направления инструмента – соответствующие оценки 1 и 1.

По удобству подачи и отвода СОЖ из зоны резания наилучшим является ружейное сверло (балл 4), наихудшим – лопаточное сверло (балл 1), спиральному и шнековому сверлам присвоены баллы, соответственно, 2 и 3.

По отсутствию увода оси сверла в процессе обработки наилучшими являются ружейное и лопаточное (пушечное) сверла (балл 4), наихудшим – шнековое сверло (балл 1), спиральному сверлу присвоен балл 2.

Самым простым по конструкции и в изготовлении является лопаточное сверло (балл 4), остальные примерно равноценны по сложности, но отличаются по массовости изготовления и специализации производства, с учетом которых им были присвоены баллы: спиральному – 3, шнековому – 2 и ружейному – 1.

По стойкости наилучшим является спиральное сверло, имеющее возможность большего числа переточек до полного износа (балл 4), вторым признано ружейное сверло, наиболее

приспособленное для оснащения твердым сплавом (балл 3). Шнековому и лопаточному сверлам присвоены баллы, соответственно, 2 и 1.

Возможность обработки отверстия за один проход без предварительного засверливания и вывода инструмента в процессе резания обеспечивается только шнековым сверлом, которому присвоен балл 4. Для обработки отверстия ружейным сверлом необходимо предварительное засверливание его или применение направляющей втулки – балл 3. При обработке спиральным сверлом необходимо периодически выводить его из отверстия для удаления стружки – балл 2. Для окончательной обработки отверстия лопаточным сверлом необходимо предварительно засверлить его и просверлить спиральным сверлом, диаметром, равным примерно 0,7 диаметра отверстия – балл 1.

Что касается удобства переточек, то спиральное и шнековое сверла, имеющие симметричную заточку главных режущих кромок более просты в заточке и им присвоены баллы соответственно, 4 и 3. А лопаточное и ружейное сверла с несимметричным расположением главной и вспомогательной режущих кромок сложнее в заточке и им присвоены баллы соответственно, 2 и 1.

Наибольшую точность по диаметру и направлению оси обрабатываемого отверстия, а также наименьшую шероховатость его поверхности обеспечивают сверла одностороннего резания, лопаточное и ружейное, имеющие направляющие элементы, обеспечивающие не только самонаправление инструмента в процессе резания, но и выглаживание обрабатываемой поверхности при трении направляющих. При этом более совершенным является ружейное сверло с баллом 4, а лопаточному присвоен балл 3. Спиральное и шнековое сверла получили одинаковый балл 1.

В результате сравнительного анализа ружейное и шнековое сверла набрали практически одинаковое число баллов (21 и 20), спиральное – 16 и лопаточное – 13. Однако учитывая, что шнековые сверла диаметром менее 5 мм не производятся, то их можно использовать лишь для сверления центрального отверстия в корпусе форсунки. Топливопроводящие же отверстия диаметром 2 мм необходимо обрабатывать ружейными сверлами с применением системы внутреннего подвода СОЖ под давлением и наружного отвода стружки при условии ее стабильного дробления. Для производительного сверления таких отверстий спиральными сверлами необходимо использование станков с автоматизированным циклом обработки с периодическими выводами сверла для удаления стружки.

#### ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА НАКАТЫВАНИЯ ЧАСТИЧНО-РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА НА ПОВЕРХНОСТЯХ ПАР ТРЕНИЯ

Одинаев Е.О.- магистрант, Сафронова Е.А. – магистрант, Ятло И.И. – к.т.н., доцент,  
Буканова И.С. – к.т.н., старший преподаватель.

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

Одним из направлений повышения качества деталей машин является внедрение прогрессивных технологических процессов и методов формообразования. Важное место в проблеме надежности и долговечности машин отводится задаче повышения износостойкости деталей работающих в условиях трения. Эта задача может решаться конструктивно, путем уменьшения нагрузок, улучшения условий смазки и уплотнения, а также технологическими и эксплуатационными средствами. Анализ эксплуатации машин показывает, что износостойкость пар трения во многом обуславливается микрогеометрией поверхностного слоя деталей. Поэтому важной задачей является разработка и совершенствование технологических методов повышения эксплуатационных свойств поверхностных слоев пар трения.

Обеспечение достаточной маслосъемности и площади опорной поверхности деталей пар трения, является актуальной технологической задачей. Для обеспечения маслосъемности и площади опорной поверхности, предлагается нанесение частично-регулярного микрорельефа



нактыванием. Сложность заключается в том, что обеспечение перечисленных характеристик, должно обеспечиваться условиями и режимами обработки.

Накатывание частично-регулярного микрорельефа (ЧРМР) в виде конусных впадин шахматного расположения по ГОСТ 24773-81 профильными роликами на поверхностях контакта позволяет получить параметры микрорельефа, удовлетворяющие всем требованиям. Рельеф поверхности при накатывании профильными роликами формируется совокупностью впадин и наплывов, образующихся при воздействии деформирующего элемента ролика на поверхность контакта.

Моделирование внедрения индентора в упругопластический материал было выполнено с применением программного комплекса Solid Works Simulation. Индентор и образец рассматривались как тела вращения и задачу решали в осесимметричной постановке. Конечно-элементная модель, приведена на рисунке 1, геометрия впадины и наплыва по результатам моделирования – на рисунке 2.

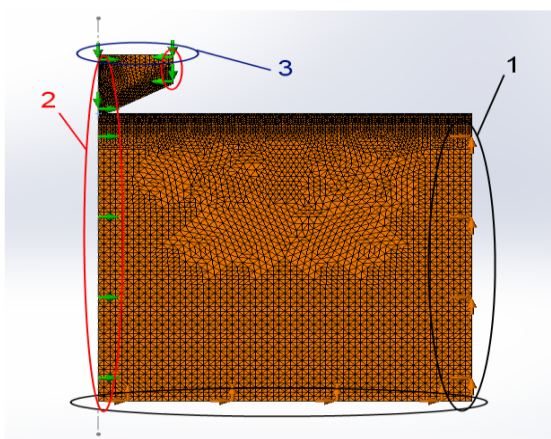


Рисунок 1 – Конечно-элементная модель с сеткой для дальнейших расчетов

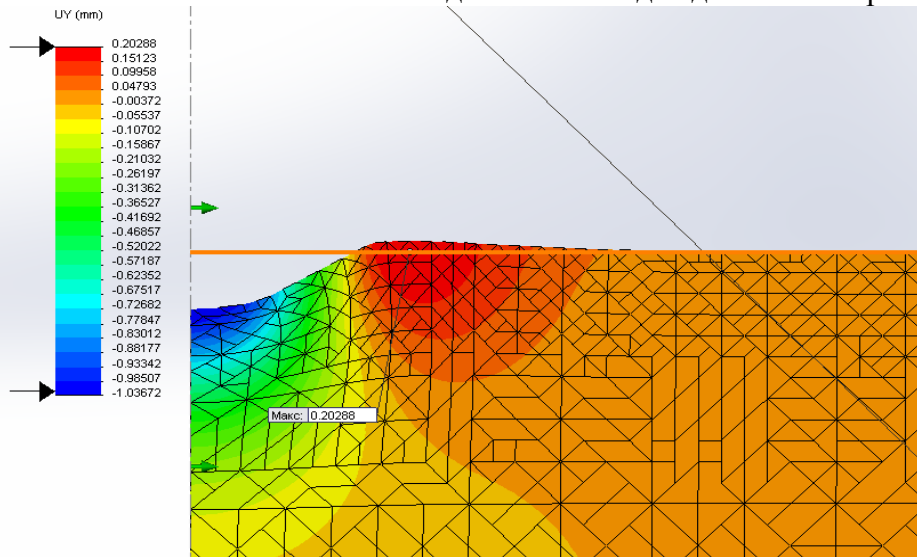


Рисунок 2 – Геометрия впадины и наплыва по результатам моделирования

После обработки результатов моделирования было выявлено, что профиль наплыва хорошо описывается уравнением:

$$y = a \cdot x^n \cdot e^{bx} \quad (1)$$

- где:  $y$  – высота наплыва;  $x$  – расстояние от оси конического индентора;  
 $a$ ,  $b$ ,  $n$  – коэффициенты, зависящие от глубины внедрения.

При этом было установлено, что для получения более достоверных значений коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $n$  необходимо разделить область внедрения индентора на два интервала глубины: до 0,3мм и более 0,3мм.

Для глубин до 0,3 мм зависимости изменения коэффициентов будут иметь вид:

$$a = 0,3697 \cdot \ln h_{\text{внедр.}} - 2,1916 \cdot h_{\text{внедр.}} + 1,2894 \quad (2)$$

$$b = 2,7662 \cdot \ln h_{\text{внедр.}} + 1,7476 \quad (3)$$

$$n = -3,7115 \cdot h_{\text{внедр.}} + 1,7781 \quad (4)$$

Для глубин более 0,3мм зависимости изменения коэффициентов будут иметь вид:

$$a = 0,1396 \cdot \ln h_{\text{внедр.}} + 0,01829 \cdot h_{\text{внедр.}} + 0,4092 \quad (5)$$

$$b = 0,74899 \cdot \ln h_{\text{внедр.}} - 0,7874 \quad (6)$$

$$n = -0,1943 \cdot h_{\text{внедр.}} + 0,94129 \quad (7)$$

Полученные зависимости позволяют построить кривую напльва, определить его максимальную высоту, рассчитать увеличение маслоёмкости микрорельефа за счёт образования напльвов и оценить повышение износостойкости поверхности путём накатывания ЧРМР.

На основе полученных данных, можно построить алгоритм расчёта геометрии напльва при выполнении технологической операции накатывания (рисунок 3). Данный алгоритм позволит рассчитывать параметры режима обработки с целью получения требуемой микрогеометрии поверхности.

При дальнейшем проведении исследований возможно получать поверхности с предсказуемыми параметрами: микрорельеф, износостойкость, характер упрочнения поверхностного слоя и его глубина, стойкость инструмента и т.д.

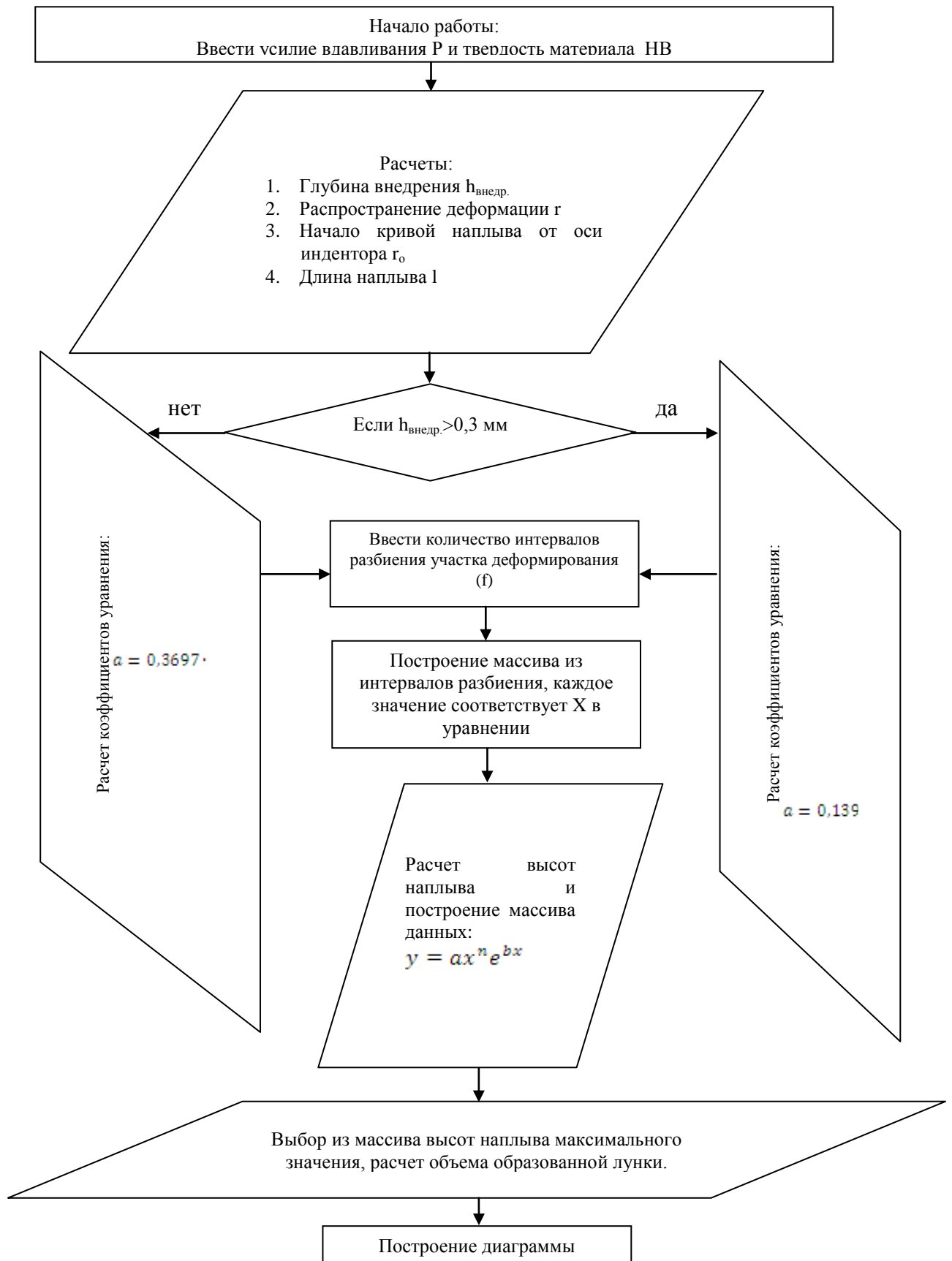


Рисунок 3 - Алгоритм расчета геометрии наплыва на поверхности упругопластического тела

## СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ ШЕСТИГРАННЫХ ОТВЕРСТИЙ

Пимкин В.Ю. – студент, Дятчин Н.И. – к.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Шестигранное отверстие можно обработать различными способами. Небольшое сквозное отверстие можно распилить слесарным способом, предварительно просверлив круглое, а большое можно расфрезеровать. Глухое можно выполнить пальчиковой фрезой на фрезерном станке, тоже предварительно просверлив круглое. Можно получить не только шестигранное, но и любой формы отверстие штамповкой (как горячей, так и холодной) на прессе – так выполняют в массовом производстве шестигранные отверстия в головках винтов с внутренним шестигранником «под ключ». Это самый производительный способ.

Шестигранное отверстие можно расточить (рассверлить, расфрезеровать) на токарном станке специальным пятигранным сверлом, похожим на пальчиковую фрезу, с помощью специального приспособления, снабженного направляющей втулкой (копиром), форма и размеры отверстия в котором соответствуют обрабатываемому шестигранному отверстию. Это можно выполнить также на сверлильном и фрезерном станках, снабженных аналогичной оснасткой (приспособлением и инструментом). По аналогичному принципу, с применением метода обкатки можно осуществлять обработку шестигранных отверстий на долбежном станке с помощью трех- или шестигранного долбяка.

В кандидатской диссертации к.т.н. Ломакина А.В. (05.02.07, 05.02.08) разработан и исследован технологический процесс получения многогранных отверстий методом качающегося прошивания в деталях на сверлильных и фрезерных станках, имеющих вращательные движения рабочего стола. При вращении шпинделя станка (рис. 112) происходит лишь колебательное движение оправки и инструмента вокруг центра  $O$ , а режущие кромки инструмента последовательно входят в соприкосновение с материалом обрабатываемого изделия, производя прошивку фасонного отверстия с точностью, на которую не влияет угол. Точки на режущей кромке инструмента совершают возвратно-поступательное движение за каждый оборот шпинделя, при этом контакт режущего инструмента и обрабатываемой детали происходит в одной точке, которая перемещается по замкнутому контуру фасонного отверстия, углубляясь на величину подачи за каждый оборот шпинделя. При обработке сквозных фасонных отверстий этим способом значительно сокращаются затраты на изготовление режущего инструмента, так как он имеет одну режущую кромку, прост в изготовлении и может применяться в мелкосерийном и индивидуальном производствах.

Новым изобретением (25.03.2013) является метод изготовления шестигранного отверстия ротационной прошивкой, в котором, главным движением резания является колебательное движение инструмента, обеспечиваемое конструкцией патрона. При прошивке шпиндель вращается, инструмент не вращается, а лишь совершает колебательные движения и осевую подачу. Ротационная прошивка является высокопроизводительным методом изготовления различных фасонных отверстий (квадратных, шестигранных, шлицевых и др.)

Но наиболее распространенным, особенно в серийном и массовом производстве, по-прежнему остается протягивание, причем конструкция протяжек имеет свои особенности. Режущая их часть чаще всего изготавливается по генераторной схеме резания. Калибрующая же часть выполнена по профильной схеме, при этом по всему контуру первых трех калибрующих зубьев рекомендуется выполнять мелкоразделительные канавки, расположенные на смежных зубьях в шахматном порядке относительно друг друга. При этом глубина стружкоразделительных канавок превышает подъем на зуб последнего режущего зуба на 0,1–0,2 мм, шаг между стружкоразделительными канавками составляет 2,8–3,0 мм, расстояние от точки перегиба многогранного профиля до первой стружкоразделительной канавки составляет 1,3–1,5 мм, угол профиля

стружкоразделительных канавок составляет  $45^\circ$ , радиус дна стружкоразделительных канавок выполняется равным 0,2 мм.

## ПОСТРОЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ТОРЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Попова Н.Ю. – магистрант, Ануфриев Д. – магистрант, Некрасов В.Н. – к.т.н, старший преподаватель, Черданцев А.О. – аспирант

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

При обработке заготовок на станках иногда возникают периодические колебательные движения (вибрации) элементов технологической системы: станок – приспособление – инструмент – деталь. [1] В этих условиях процесс резания теряет устойчивость.

Колебания инструмента относительно заготовки резко снижают качество обработанной поверхности: возрастает шероховатость; появляется волнистость; усиливается динамический характер силы резания; увеличиваются нагрузки на движущиеся детали и сборочные изделия.

Вибрации всегда сопровождают любой процесс механической обработки и являются одним из негативных факторов. Результатом вибраций является шум, плохое качество обработки, уменьшение периода стойкости инструмента, а также преждевременный износ узлов станка. Задача специалиста по механообработке задать параметры резания таким образом, чтобы максимально эффективно осуществить обработку с заданными требованиями к качеству и точности изделия.

С увеличением скорости резания вибрации сначала возрастают, а затем уменьшаются. При увеличении глубины резания амплитуда колебаний возрастает, а с увеличением подачи — уменьшается. С увеличением главного угла резца в плане  $\phi$  амплитуда колебаний уменьшается. Вибрации возрастают при увеличении радиуса  $r$  закругления резца. Износ резца по задней поверхности усиливает вибрации. Чем больше вылет резца из резцедержателя и меньше размеры державки резца в поперечном сечении, тем меньше жесткость системы и больше вибрации, причем чем выше скорость резания, тем интенсивнее влияние вылета резца на увеличение вибраций.

При резании вынужденные колебания оказывают наибольшее влияние в сравнении с остальными видами колебаний [2], они возникают под действием внешних периодических возмущающих сил, вследствие прерывистости процесса резания, неуравновешенности вращающихся масс, погрешностей изготовления и сборки передач и ритмичности работы близко расположенных машин. Вынужденные колебания устраняют, уменьшив величину возмущающих сил и повысив жесткость частей станка.

Принципиальная кинематическая схема движений и сечение срезаемого слоя припуска при торцовом фрезеровании представлены на рисунке 2. Два последовательных положения фрезы, которые отличаются подачей  $S_z$  на зуб, обозначены цифрами 1 и 3 соответственно, а траектории движения представлены окружностями. Таким образом, схема является упрощенной, так как на самом деле каждый зуб фрезы движется по циклоиде, аналогично схеме движений при цилиндрическом фрезеровании.

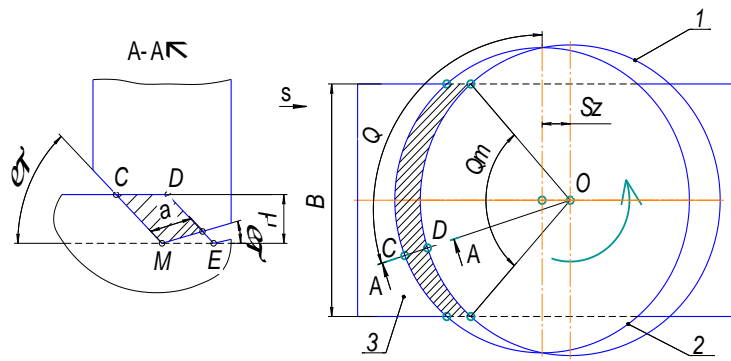


Рисунок 2- Схема поперечного сечения слоя материала

Фреза вращается вокруг вертикальной оси, обеспечивая главное движение резания, а деталь 3 выполняет движение продольной подачи  $S$ . [3] Положение CD режущего зуба фрезы определяется угловой координатой  $Q$ , которая обычно изменяется от положения диаметра фрезы, перпендикулярного к направлению подачи. Максимальный угол  $Q_m$  контакта зависит от ширины  $B$  фрезерования и при симметричном фрезеровании может быть определен по формуле:

$$Q_m = 2 \arcsin \left( \frac{B}{D_{\text{фр}}} \right),$$

Где  $D_{\text{фр}}$  – диаметр фрезы.

Площадь поперечного сечения срезаемого одним зубом слоя припуска обозначена темным фоном на рисунке (сечение A-A). С некоторым приближением поперечное сечение может быть заменено на параллелограмм CDEM. Тогда, учитывая, что  $CD = S_z H \sin Q$  получаем приближительную формулу расчета площади поперечного сечения срезаемого одним зубом слоя припуска:

$$F = s_z H \sin Q,$$

Где  $F$  – площадь поперечного среза,  $S_z$  – подача на зуб,  $H$  – глубина резания.

Количество зубьев фрезы, которые находятся в работе, постоянно изменяется от максимального  $m_{\text{max}} = 1 + Q_m z / 2\pi$  до минимального  $m_{\text{min}} = Q_m z / 2\pi$ . Таким образом,

суммарная площадь поперечного слоя припуска:

$$F_{\Sigma} = s_z H \sum_{i=1}^m \sin Q_i$$

Поскольку количество зубьев фрезы, выполняющих резание, и их углы контакта с заготовкой все время изменяются, то суммарная площадь срезаемого слоя также не является постоянной величиной.

При моделировании колебательных процессов в технологической системы наиболее удобно использовать её динамическую модель. Для того чтобы составить динамическую модель технологической системы вертикально-фрезерного станка, выделим в нем основные элементы составляющие колебательную группу (рис. 2).

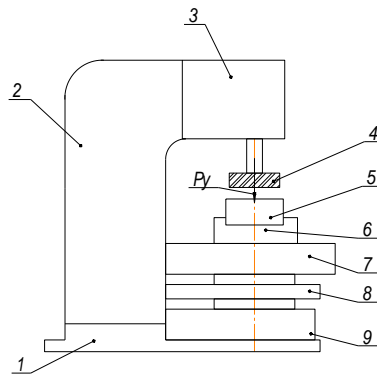


Рисунок 2 – Схематическая модель вертикально-фрезерного станка 675П  
 1 – Основание; 2 – Станина; 3 – Шпиндельная головка со шпинделем; 4 – Инструмент (фреза); 5 – Деталь; 6 – Приспособление; 7- Стол; 8 – Салазки; 9 – Консоль

Каждый из выделенных элементов обладает своей массой ( $m$ ), жесткостью ( $c$ ) и демпфирующей способностью ( $g$ ), оказывающими влияние на колебательные процессы технологической системы в целом. При построении динамической модели используем исследования Кедрова [4], где указывается, что при параллельном соединении демпфирующих элементов коэффициенты затухания складываются, а при последовательном - складываются величины, обратные коэффициентам затухания

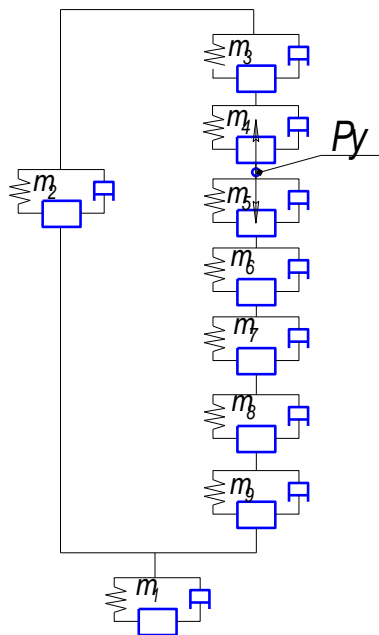


Рисунок 4 – Динамическая модель станка

Где:  $m_1$  – масса основания;  $m_2$  – масса станины;  $m_3$  – масса шпинделя;  $m_4$  – масса инструмента;  $m_5$  – масса детали;  $m_6$  – масса приспособления;  $m_7$  – масса стола;  $m_8$  – масса салазок;  $m_9$  – масса консоли.

Список литературы:

1. <http://www.delcam-ural.ru/cam/tehnologii>
2. <http://delta-grup.ru/bibliot/10/54.htm>
3. Петраков Ю. В., Драчёв О. И. Моделирование процессов резания: учебное пособие / Ю. В. Петраков, О. И. Драчёв. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 240 с.
4. Кедров С. С. Колебания металлорежущих станков, М., «Машиностроение», 1978 с. с ил.

## ВЫБОР СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПЛОСКОСТЕЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Толмачев А.А. – студент, Дятчин Н.И. – к.т.н., профессор

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

Корпусные детали имеют две группы ответственных поверхностей, определяющих качественные показатели: плоскости и отверстия под подшипники. В данной работе анализируются способы обработки поверхностей первой группы – плоскостей, для которых основными характеристиками являются их плоскостность, структура и микрогеометрия поверхностного слоя.

Обработка плоскостей осуществляется методами резания путем снятия стружки лезвийным инструментом (на строгальных, долбежных, фрезерных, протяжных, токарных, расточных, многоцелевых и шабровочных станках) и абразивным инструментом (на шлифовальных и полировальных станках), а также без снятия стружки путем отделочно-упрочняющей обработка поверхностным пластическим деформированием (накатыванием, обкатывание, выглаживанием, виброобработкой, динамическим упрочнением) и различными комбинированными методами.

**Строгание** находит большое применение в мелкосерийном и единичном производстве благодаря тому, что для работы на строгальных станках не требуется сложных приспособлений и инструментов. Строгание производится на поперечно-строгальных (при обработке поверхностей небольших размеров) и продольно-строгальных станках (для обработки плоскостей большой протяженности). Этот метод обработки является весьма гибким при переходе на другие условия работы. Однако он малопроизводителен, поскольку обработка выполняется однолезвийным инструментом (строгальными резцами) на умеренных режимах резания, а наличие вспомогательных ходов увеличивает время обработки. Кроме того, для работы на строгальных станках требуются рабочие высокой квалификации.

**Фрезерование** в настоящее время является наиболее распространённым методом обработки плоскостей и в массовом производстве практически вытеснило применявшиеся ранее строгание. Оно осуществляется на горизонтально-, вертикально-, универсально-, продольно-, карусельно-, барабанно-фрезерных станках, а также на многоцелевых и станках с ЧПУ. Основными видами фрезерования являются: цилиндрическое, торцовое, 2-тороннее и 3-стороннее. Наибольшее распространение получили торцовые фрезы, которые при диаметрах свыше 90 мм изготавливаются со вставными (быстрорежущими, металло- и минерало-керамическими пластинами-ножами) и называются фрезерными головками. Они обеспечивают значительное сокращение основного времени за счет применения скоростного и силового фрезерования. Скоростное фрезерование характеризуется повышением скоростей резания при обработке стали до 350 м/мин, чугуна – до 450 м/мин, цветных металлов – до 2000 м/мин при небольших подачах на зуб фрезы: 0,05–0,12 мм/зуб – при обработке сталей, 0,3–0,8 – при обработке чугуна и цветных сплавов. Силовое фрезерование характеризуется большими подачами на зуб фрезы. Тонкое фрезерование характеризуется малыми глубинами резания ( $t = 0.1$  мм), малыми подачами ( $S_z = 0.05 \dots 0.10$  мм) и большими скоростями резания.

**Протягивание.** Протягивание плоскостей осуществляется преимущественно на горизонтально- и вертикально-протяжных станках и благодаря высокой производительности и низкой себестоимости находит всё большее применение в крупносерийном и массовом производстве, вытесняя фрезерование. В массовом производстве все шире применяются высокопроизводительные многопозиционные протяжные станки, а также станки непрерывного действия.

**Шабрение** выполняют с помощью режущего инструмента, шабера, вручную или механическим способом путем соскабливания слоёв стружки толщиной 0,005 мм и менее, чем достигается высокая плоскостность (число пятен на площади 25x25 мм от 6-10 до 22) и шероховатость  $R_a = 1.25 \dots 0,08$  мкм. Шабрение вручную – малопроизводительный процесс,



требует большой затраты времени и высокой квалификации рабочего, но обеспечивает наиболее высокую точность.

**Шлифование** плоских поверхностей осуществляют на плоско-шлифовальных станках с крестовым или круглым столом как обычного исполнения, так и с ЧПУ. Плоское шлифование является одним из основных методов обработки плоскостей деталей машин для достижения высокого качества. В ряде случаев плоское шлифование может заменить фрезерование. Наряду с обеспечением требуемого высокого уровня шероховатости, этот метод обладает серьезными недостатками. Во-первых, вследствие высоких температур резания, в поверхностном слое возникают неблагоприятные остаточные напряжения, а также возможно возникновение прижогов поверхности, снижающих эксплуатационные свойства поверхностного слоя металла. Во-вторых, в результате выделения абразивной пыли при шлифовании без охлаждения, он является экологически небезопасным. Поэтому шлифование, как правило, производится с применением СОЖ.

**Полирование** плоскостей относится к методам отделочной обработки. В качестве абразивных инструментов применяют эластичные шлифовальные круги и шлифовальные шкурки.

**Доводка** плоскостей осуществляется на плоскодоводочных станках. Тонкую доводку плоских поверхностей производят притирами при давлении 20-150 кПа и небольшой (2-10 м/мин) скорости. С повышением давления и скорости производительность доводки повышается, но качество обработанной поверхности снижается.

**Целенаправленное формирование поверхностного слоя** с заданными свойствами является одной из важнейших задач технологического процесса механической обработки плоскостей. Припуски на обработку, а также последовательность выполнения операций устанавливают с учетом технологической наследственности так, чтобы сохранить в детали положительное качество (наклёп поверхностного слоя, высокую поверхностную твёрдость, остаточное напряжение сжатия и др.) и, наоборот, устранить отрицательные качества: дефектный слой, различные виды отклонения формы и расположения поверхностей, неблагоприятное распределение остаточных напряжений.

Качество плоскостей деталей машин определяется методами и режимами механической обработки, показатели которой могут быть улучшены путем применения как обычных методов, осуществляемых на оптимальных режимах, так и использованием специальных отделочно-упрочняющих методов обработки, основанных на пластическом деформировании поверхностного слоя. Благодаря этому создаётся наклёп, обеспечивается повышение твёрдости поверхностного слоя металла и формируются остаточные напряжения сжатия, которые повышают усталостную прочность корпусных деталей. Это способствует повышению их эксплуатационных свойств, что приводит к сокращению потребности в материалах, запасных частях и, в конечном счёте, к снижению расходов на изготовление и эксплуатацию машин.

Для технологического обеспечения качества плоскостей корпусных деталей имеет правильный выбор технологической оснастки и схемы закрепления (сил закрепления и координат их приложения), обеспечивающих минимальную деформацию деталей. Наиболее благоприятной является схема закрепления, соответствующая схеме закрепления корпуса при сборке его в готовой машине. Такая схема желательна не только на финишных, но и на предшествующих операциях механической обработки и должна быть использована при конструировании зажимных устройств корпусных деталей.