

## ПРОГРЕССИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ КОМБИНИРОВАННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ СО РЕЗАНИЯ И ППД<sup>1</sup>

*А.В. Потупец, Д.М. Рыжанков*

Представлен анализ существующих методов совмещенной обработки резанием и ППД. Дается описание разработанной автором конструкции, реализующей метод повышения точности СО валов путем разгрузки режущего и деформирующего элементов КИ на кинематически независимые узлы технологической системы, что позволило улучшить точность обработки валов по сравнению с классическими конструкциями. На основе анализа динамической модели обработки автор дал конкретные рекомендации по выбору рациональных параметров комбинированного инструмента.

Ключевые слова: комбинированный инструмент, размерно-совмещенное обкатывание

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Обработка металлов поверхностным пластическим деформированием (ППД) основана на свойстве тонкого поверхностного слоя и микронеровностей пластически деформироваться под действием приложенного к деформирующему элементу усилия.

Сущность обработки ППД состоит в том, что под давлением деформирующего элемента (ролик, шарик, алмазный выглаживатель и т. д.) металл выступов микрогребешков в месте контакта с деформирующим элементом сминается и перемещается впереди и сзади элемента, затекая в смежные впадины и выдавливая металл из впадин вверх. Образуется новая поверхность с микронеровностями, форма, высота и шаг которых определяются основными параметрами режима накатывания.

В результате ППД шероховатость поверхности уменьшается на два —четыре класса при обработке стали и на один — два класса — при обработке чугуна.

Особенностями микропрофиля, полученного при обработке ППД, являются: значительная однородность микронеровностей как по форме, так и по высоте; большая величина отношения шага микронеровностей к их высоте; особая форма микрогребешков; геометрическая зависимость между высотой выступов микронеровностей, величиной подачи и геометрическими параметрами деформирующего элемента при обработке ППД проявляется более четко, чем при обработке резанием. В связи с этим при обработке ППД можно достичь малых величин шероховатости даже при работе на изношенных и недостаточно жестких станках.

При обработке ППД изменяются не только шероховатость поверхности и размеры заготовки, но практически все физико-механические свойства поверхностного слоя металла, а также его структура: повышаются твердость, пределы упругости, текучести и прочности, а также усталостная прочность металла, одновременно снижаются показатели пластичности — относительное удлинение и ударная вязкость. При этом чем выше степень деформации, тем больше глубина деформированного упрочненного слоя.

---

<sup>1</sup> Статья подготовлена в ходе выполнения научно-исследовательской работы студентов на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты»

В настоящее время методы ППД для размерно-чистовой и упрочняющей обработки различных деталей машин находят все более широкое применение на заводах всех отраслей машиностроения и приборостроения.

Существует несколько способов обработки различных поверхностей деталей машин методом ППД, основанных на различных схемах деформирования металла в зоне контакта рабочих элементов инструмента с обрабатываемой поверхностью. В связи с этим разработано большое количество конструкций инструментов, имеющих в своем составе как режущий так и деформирующий элемент. Применение в обработке таких конструкций инструментов реализует метод совмещенной обработки (СО) поверхностей резанием и ППД с использованием комбинированных инструментов(КИ).

Применение СО позволяет в 2-3 раза увеличить производительность механической обработки, повысить усталостную прочность, контактную выносливость и износостойкость детали [1]. При этом обеспечивается шероховатость поверхности  $\sqrt{Ra0,63...0,10}$  мкм, достигается степень упрочнения поверхностного слоя на глубину 0,1...12 мм, в поверхностном слое формируются благоприятные напряжения сжатия [5, 6].

В развитие методов совмещенной обработки резанием и ППД большой вклад внесли работы П.С. Чистосердова, Г.М. Азаревича, А.М. Кузнецова, В.М. Смелянского, Ю.Г. Шнейдера и их учеников [2- 5].

Известно применение схем совмещенной обработки резанием и ППД для отделки внутренних поверхностей втулок, наружной поверхности валов, плоских и торцовых поверхностей [8].

Автором проанализирован метод повышения точности СО валов путем разгрузки режущего и деформирующего элементов КИ на кинематически независимые узлы технологической системы.

## **2. ТИПЫ КОМБИНИРОВАННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ (КИ) ДЛЯ СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКИ (СО) РЕЗАНИЕМ И ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ (ППД)**

Неуравновешенный КИ состоит, как правило, из корпуса и установленных в нем последовательно режущего и деформирующего элементов.

Характерными особенностями неуравновешенных КИ являются: простота конструкции, надежность в эксплуатации, малая себестоимость и возможность переналадки на другой типоразмер обрабатываемой детали [3, 4, 5]. Указанные преимущества неуравновешенных КИ открывают им перспективы широкого внедрения в ГПС.

Существующее многообразие КИ можно разделить на две группы: инструменты с упругой связью деформирующего узла с корпусом инструмента; инструменты с жесткой связью деформирующего узла с корпусом инструмента.

Инструменты второй группы более просты в изготовлении. Однако они не могут обеспечить равномерность упрочнения обрабатываемой поверхности детали вследствие имеющихся неточностей формы заготовки и погрешностей базирования. В связи с этим, КИ с жесткой связью деформирующего узла не нашли широкого применения.

Обработка деталей неуравновешенными КИ первой группы предпочтительнее, так как достигается равномерное упрочнение всей поверхности и уменьшается величина упругих перемещений инструмента и детали, снижающих точность обработки. Для обеспечения усилия деформирования в таких КИ предусмотрен силовой элемент, выполненный в виде пружины или пневматического или гидравлического механизмов.

Существуют конструкции неуравновешенных КИ как с расположением режущего

и деформирующего элементов в одной плоскости, так и в разных, смещенных по углу плоскостях. КИ с расположением режущего и деформирующего элементов в одной плоскости проще в эксплуатации и их легче переналаживать на другой тип обрабатываемого вала. Однако производительность обработки при использовании таких КИ несколько ниже, так как вершины режущего и деформирующего элементов удалены друг от друга на значительное расстояние вдоль оси заготовки. КИ с угловым смещением обрабатываемых элементов наоборот, обеспечивают повышение производительности обработки, но сложны в эксплуатации.

Значительное место в общей номенклатуре неуравновешенных КИ занимают КИ с чистовым режущим элементом [5]. КИ такого класса позволяют совместить в один технологический переход операции чернового снятия припуска, тонкого точения и окончательного поверхностного пластического деформирования сформированной поверхности. Производительность обработки при использовании такого инструмента (по отношению к отдельным методам обработки) повышается в три и более раз. Имеющий место в процессе СО размерный износ чернового резца при этом не приводит к потере точности, поскольку чистовой режущий элемент снимает минимальный припуск и окончательно формирует размер детали.

Общим недостатком рассмотренных инструментов является то, что режущий и деформирующий элементы в процессе СО входят в контакт с деталью последовательно. Вследствие этого в момент вступления в работу деформирующего элемента технологическая система нагружается усилием деформирования, что вызывает упругое смещение детали и инструмента также последовательно, что приводит к появлению на детали ступенек и тем самым снижает точность обработки.

Таким образом, проведенный анализ литературных источников показал, что существующие методы совмещенной отделочно-упрочняющей обработки резанием и ППД часто не удовлетворяют требованию обеспечения заданной точности размеров валов.

На основании изложенного, была поставлена задача повышения точности СО валов резанием и ППД на основе выбора рациональной схемы формообразования и динамических параметров комбинированного инструмента.

### **3 МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ВАЛА ПРИ СО НЕУРАВНОВЕШЕННЫМ КИ**

Одним из методов повышения точности СО деталей неуравновешенным КИ является метод предварительного нагружения технологической системы усилием деформирования, разработанный П.С.Чистосердовым и В.Г.Беляем [4, 5].

Суть метода состоит в том, что до начала обработки деформирующий элемент КИ вводят в контакт с дополнительным технологическим элементом, искусственно введенным в технологическую систему и нагружают ее (систему) усилием деформирования. Резец КИ настраивают на требуемый размер статической настройки. После этого детали сообщают вращение, а инструменту - движение осевой подачи. Первым в работу вступает режущий элемент и снимает с детали установленный припуск на обработку. Затем в контакт с полученной резцом поверхностью входит деформирующий элемент и окончательно формирует качественные характеристики обрабатываемой детали. Так как в процессе СО на технологическую систему действует постоянная сила, то упругих отжатый инструмента и детали не происходит. Снижение точности обработки в момент вступления в работу деформирующего элемента не наблюдается.

Следует отметить, что применение рассмотренного метода для обработки валов затруднено по следующим причинам:

- для каждой номенклатуры обрабатываемых валов необходим специальный технологический элемент;
- для обработки пригодны только гладкие валы (без уступов);
- отсутствуют экспериментальные данные, подтверждающие возможность применения метода для обработки валов.

Установленные недостатки снижают технологические возможности метода. В связи с этим его целесообразно применять в массовом и крупносерийном типах производства.

Особый интерес представляет метод повышения точности СО валов путем разгрузки режущего и деформирующего элементов КИ на кинематически независимые узлы технологической системы. Для реализации способа [6] разработано специальное устройство. Оно состоит из корпуса КИ, режущего и деформирующего элементов, направляющей линейки и вилки. Режущий и деформирующий элементы установлены в корпусе КИ. Консоли направляющей линейки жестко соединяют с центрами станка, а корпус с режущим элементом разгружают на рабочую поверхность направляющей линейки. Деформирующий элемент устанавливают в отверстие корпуса и разгружают на торцовую поверхность вилки, степень деформирования при этом задается пружиной, сжимаемой винтом. Вилка закреплена в резцедержателе.

Обрабатываемые детали закрепляют в центрах станка, сообщают вращение и перемещают резцедержатель вдоль поверхности обработки.

Первым в работу вступает режущий элемент и снимает установленный припуск на обработку. Затем в контакт с деталью входит деформирующий элемент, нагружая технологическую систему усилием деформирования. Так как направляющая линейка посредством консолей жестко связана с центрами станка, то при этом относительных упругих перемещений режущего элемента и детали не происходит, что обеспечивает высокую точность формообразования поверхности. Недостатком метода является то, что он может быть приемлем только для массового, крупносерийного производства и не приемлем для ГПС. Кроме того, высока себестоимость устройства, для осуществления метода, так как требуется модернизация используемого оборудования.

Широкие технологические возможности имеет способ СО, разработанный с участием доцента каф. МРСиИ Довгалева А.М., при котором осуществляют внесение поправки в размер настройки чистового резца неуравновешенного КИ [7].

Суть этого метода состоит в том, что поправку в размер динамической настройки чистового резца вводят после вступления в работу деформирующего элемента, когда на обрабатываемой поверхности детали образуется ступенька отжатия. Величина поправки, вносимая в размер динамической настройки, равна величине упругих отжатий в технологической системе, т.е.  $\Delta$ . В результате обеспечивается срезание ступенек с обрабатываемой поверхности детали. Точность обработки при этом существенно возрастает.

Преимуществом этого способа СО является то, что допустимое время внесения поправки достаточно велико. Это позволяет вносить поправку в размер динамической настройки чистового резца КИ самим оператором, причем в ручном режиме.

Однако отсутствие теоретических и экспериментальных исследований сдерживает широкое внедрение способа в производство.

#### **4. ДИНАМИКА ПРОЦЕССА СО ДЕТАЛЕЙ РЕЗАНИЕМ И ППД.**

При СО деталей резанием и ППД режущий элемент КИ, вследствие исходных погрешностей заготовки, срезает с поверхности детали неравномерный припуск.

Это приводит к периодическому изменению величины усилия резания. Непостоянное по величине усилие резания является возмущающей силой, вызывающей упругие перемещения детали и КИ друг относительно друга. Точностные параметры СО при этом существенно снижаются. Причем чем выше виброустойчивость технологической системы, тем лучше её динамическое качество и минимальны относительные упругие колебательные перемещения КИ и детали.

Для описания упругих перемещений детали и инструмента необходимо представить технологическую систему в виде механической модели, состоящей из определенных сосредоточенных масс, соединенных упругими и диссипативными связями.

Далее по известным методикам выводим уравнения логарифмическая амплитудной и фазовой характеристик динамической системы, позволяющие оценить влияние коэффициента  $K$ , характеризующего соотношение жесткостей упругих элементов системы, на запас устойчивости системы по фазе.

$$K = (c_1 + c_{np1})^2 / (c_1 + c_p + c_{np1}) \cdot (c_2 + c_p + c_{np1});$$

где  $c_1$ - жесткость закрепления детали;

$c_2$ - жесткость КИ;

$c_p$ - жесткость в зоне контакта детали и режущего элемента КИ;

$c_d$ - жесткость в зоне контакта детали и деформирующего элемента КИ;

$c_3$ - жесткость деформирующего узла КИ;

Анализ динамической модели разработанного метода повышения точности СО валов путем разгрузки режущего и деформирующего элементов КИ на кинематически независимые узлы технологической системы позволяет оценить влияние коэффициента  $K$ , характеризующего соотношение жесткостей упругих элементов системы на запас устойчивости системы по фазе, вывести аналитические зависимости для определения рациональных динамических параметров КИ, обеспечивающих повышение виброустойчивости системы, и соответственно улучшение точности получения диаметрального размера обрабатываемых валов.

#### Литература

1. Жасимов М.М. Управление качеством деталей при поверхностном пластическом деформировании.- Алма-Ата: Наука, 1986 – 208с.
2. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением / Л.А. Хворостухин и др. – М.: Машиностроение, 1988.- 144 с.
3. Патшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1978.- 152 с.
4. Чистосердов П.С. Комбинированные инструменты для совмещения процессов резания и поверхностного пластического деформирования. – М.: НИИмаш, 1975.- 45с.
5. Чистосердов П.С. Комбинированные инструменты для отделочно-упрочняющей обработки.- Мн.: Беларусь, 1977 – 124 с.
6. А.С. 1180246 СССР, МКИ<sup>4</sup> В24В39/00. Устройство для совмещенной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием./ Я.М. Сургунт, А.М. Довгалева (СССР). - №368710/25-27; Заявлено 06.01.84; Оpubл. 23.09.85, Бюл.№35. – 2с.: ил.
7. А.С. 1247249 СССР, МКИ<sup>4</sup> В24В39/00. Способ комбинированной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием./ Я.М. Сургунт, А.М. Довгалева (СССР). - №3801651/25-27; Заявлено 17.10.84; Оpubл. 30.07.86, Бюл.№27. – 2с.: ил.
8. Смелянский В.М., Васильев В.А. Особенности размерообразования при совмещенном обкатывании.// Автомобильная промышленность. – 1982. - №3. – с. 28-30.
9. Потупец А.В. Интенсификация процесса совмещенной обработки резанием и ППД.// 43 студенческая научн. техн. конф. тез. докл. 22-26 мая 2007 г. – Могилев, 2007.- с.138.
10. Рыжанков Д.М., Потупец А.В. Интенсификация процесса совмещенной обработки резанием и ППД.// Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы международной научн.-техн. Конф., Могилев, 19-20 апреля 2007г.: В 3-х ч. Ч.1. – Могилев, 2007.- с.95.

*6 А.В. Потупец, Д.М. Рыжанков*

---

**Потупец Александр Валентинович**

Студент машиностроительного факультета  
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв  
Тел.: +375(29)742 57 89

**Рыжанков Дмитрий Михайлович**

Ст. преподаватель кафедры металлорежущие станки и инструменты  
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв  
Тел.: +375(222) 26-60-31