

# ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ И ППД<sup>1</sup>

*С.Н. Близнюк, А.М. Довгалев*

Представлен анализ существующих методов совмещенной обработки резанием и ППД. Дается описание разработанного упруго-силового метода комбинированной обработки, позволяющий использовать упругие свойства технологической системы для повышения точности получения диаметрального размера высокоточных шеек валов при их обработке на станках токарной группы без применения операций шлифования.

Ключевые слова: Совмещенная обработка, ППД, комбинированный инструмент, размерно-совмещенное обкатывание.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей задачей для машиностроения Республики Беларусь является повышение конкурентоспособности выпускаемых изделий с целью их активного продвижения на рынки стран СНГ и дальнего зарубежья. Решение этой задачи предусматривает повышение долговечности, надежности, точности изготавливаемых изделий и снижение их себестоимости.

Долговечность деталей машин во многом определяется состоянием их поверхностного слоя, непосредственно участвующего в работе и формируемого на финишных операциях технологического процесса. Среди известных способов повышения эксплуатационных свойств поверхностей деталей наиболее эффективным является метод поверхностного пластического деформирования (ППД), в два и более раза увеличивающий износостойкость и долговечность упрочняемой детали [1, 2].

Поверхностное пластическое деформирование повышает усталостную прочность, контактную выносливость и износостойкость деталей. При упрочнении методом ППД изменяется микроструктура и физико-механические свойства поверхностного слоя металла: повышается его микротвердость и прочность, возникают благоприятные остаточные напряжения смятия, формируется выгодная топография микронеровностей [1, 2].

Большой вклад в разработку теоретических основ упрочнения деталей машин методами ППД внесли И.В. Кудрявцев, Е.Г. Коновалов, Д.Д. Папшев, Ю.Г. Проскуряков, Ю.Г. Шнейдер, П.Г. Алексеев, В.М. Торбило, Л.А. Хворостухин, В.М. Смелянский, А.П. Минаков, Н.П. Филонов, М.М. Жасимов и многие другие [1-5].

В настоящее время накоплен большой объем информации об исследованиях существующих разновидностей методов ППД, инструментов и упрочняющих устройств, доказывающих неоспоримое преимущество применения ППД в технологических процессах изготовления деталей машин. Однако известные методы ППД в машиностроении находят лишь ограниченное применение. Невостребованность методов ППД в большей мере вызвана увеличением себестоимости изготовления детали, поскольку в технологический процесс вводится дополнительная операция отделочно-упрочняющей обработки. В связи с этим для исследователей и инженерно-технических работников весьма актуальной задачей является разработка высокопроизводительных технологий упрочняющей обработки, приемлемых для реальных условий производства.

Одним из эффективных методов отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей, удовлетворяющим указанным требованиям относится метод совмещенной

---

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

обработки резанием и ППД, позволяющий операции резания и поверхностного пластического деформирования совместить в один технологический переход [5, 6]. Применение совмещенной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием позволяет в 2-3 раза увеличить производительность механической обработки, повысить усталостную прочность, контактную выносливость и износостойкость детали [6]. При этом обеспечивается шероховатость поверхности  $\sqrt{Ra}0,63...0,10$  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 [7, 8].

Известно применение схем совмещенной обработки резанием и ППД для отделки внутренних поверхностей втулок, наружной поверхности валов, плоских и торцовых поверхностей [6].

Автор впервые предложил использовать метод совмещенной обработки резанием и ППД для формообразования на валах высокоточных шеек под подшипники [9]. Это позволило сделать технологический процесс изготовления валов малооперационным, исключить операцию шлифования шеек и существенно снизить себестоимость изготовления деталей.

## 2. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ И ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ (ППД)

Известные схемы совмещенной обработки резанием и ППД, в зависимости от функций выполняемых режущим и деформирующим элементами, условно можно разделить на три группы.

Первая группа. Режущий элемент комбинированного инструмента в процессе обработки осуществляет снятие с детали припуска на обработку и обеспечивает точность размера формируемой поверхности. Деформирующий элемент прижимается силой деформирования к обрабатываемой поверхности посредством пружины, осуществляет ее поверхностное пластическое деформирование и формирует требуемые качественные характеристики поверхностного слоя.

Эти схемы совмещенной обработки широко исследованы, нашли наибольшее практическое применение, реализуются на станках токарной группы, обеспечивают точность обработки по 8-9 квалитетам, позволяют осуществлять отделочно-упрочняющую обработку гладких поверхностей [5, 6].

Вторая группа. Точность размеров обрабатываемой поверхности и качественные характеристики поверхностного слоя обеспечивают деформирующие элементы. При этом деформирующие элементы установлены “жестко” к обрабатываемой поверхности и настроены на размер обработки. В процессе поверхностного пластического деформирования поверхности деформирующие элементы образуют перед собой волну деформированного металла высотой  $h$ . Режущий элемент в процессе размерно-совмещенного обкатывания подрезает волну деформированного металла и тем самым обеспечивает постоянный натяг деформирования по длине обработки а также стабильные качественные характеристики упрочненного поверхностного слоя [7, 8].

Методы совмещенной обработки этой группы разработаны относительно недавно и находят применение для упрочнения поверхностей мало жестких валов с прямолинейной образующей [7]. Для реализации этих методов совмещенной обработки требуется специальное оборудование с высокой радиальной и осевой жесткостью, жесткие раскатники охватывающего типа.

Третья группа. Режущий и деформирующий элементы обеспечивают точность размеров, а деформирующий элемент в то же время, осуществляет формирование качественных характеристик упрочняемого слоя детали. Схемы совмещенной обработки третьей группы используются при упрочняющей обработке внутренней поверхности

штулок с помощью комбинированного инструмента, содержащего корпус, резец и жесткий раскатник. При этом точность обработки соответствует 8-9 квалитетам [6].

Таким образом, проведенный анализ литературных источников показал, что существующие методы совмещенной отделочно-упрочняющей обработки резанием и ППД не применяются для обработки высокоточных шеек валов.

На основании изложенного, была поставлена задача разработать новый упругосиловой метод комбинированной обработки резанием и ППД, который позволил бы обрабатывать высокоточные шейки валов по 6-7 квалитетам на станках токарной группы без применения операций шлифования [9, 10]. При этом было предложено для повышения точности обработки использовать упругие свойства технологической системы.

### **3. УПРУГОСИЛОВОЙ МЕТОД КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ И ППД**

Разработанный упругосиловой метод комбинированной обработки позволяет использовать упругие свойства технологической системы для повышения точности получения диаметрального размера поверхности формообразуемой режущим инструментом [9, 10]. Если в традиционных методах совмещенной обработки резанием и ППД упругие перемещения детали и режущего инструмента приводят к снижению точности обработки, то в разработанном способе обработки наоборот искусственно вызывают упругое смещение детали на режущий инструмент, нагружая ее силой деформирования.

В результате все детали обрабатываемой партии нагружаются постоянной по величине номинальной силой деформирования, что приводит к стабилизации величины упругого смещения всех деталей на режущий инструмент и калиброванию обрабатываемых поверхностей. При этом точность получения диаметрального размера поверхностей деталей не зависит от исходной точности поверхности заготовки, величины припуска на обработку и находится в пределах 6-7 квалитетов [10].

Для реализации предложенного метода отделочно-упрочняющей обработки разработаны специальные деформирующие инструменты. Инструменты содержат деформирующий элемент (иглу), сепаратор, сдвоенную подшипниковую опору, ось, ползун, ограничитель, корпус, силовую пружину, пружину возврата, винт, упор, гайку. Данный инструмент предназначен для отделочно-упрочняющей обработки шеек вала, под установку подшипников. В связи с этим деформирующий элемент расположен консольно, с возможностью вращения в дополнительной подшипниковой опоре, а его форма представляет собой сочетание цилиндрической и конической поверхностей.

Способ осуществляется следующим образом. Обрабатываемую деталь устанавливают в центрах токарного станка. Образующую режущего элемента размещают параллельно обрабатываемой поверхности шейки на расстоянии  $N$  от оси центров станка. Величину расстояния  $N$  определяют из соотношения:

$$N = \frac{D_{ср}}{2} + y, (1)$$

где  $D_{ср}$  - средний диаметр обработки;  $D_{ср} = (D_{max} + D_{min})/2$

$D_{max}$  и  $D_{min}$  – соответственно наибольший и наименьший допустимые размеры обрабатываемой поверхности;

$y$  - величина упругого смещения закрепленной в центрах детали 1 под действием номинальной величины силы деформирования.

Величина  $y$  определяется из выражения:

$$y = \frac{P_{деф.н}}{j}, (2)$$

где  $P_{деф.н}$  - номинальная величина силы деформирования

$j$  - жесткость центров станка, Н/мм.

Подставив значение (2) в выражение (1), окончательно получим величину настроечного размера  $N$ :

$$N = \frac{D_{ср}}{2} + \frac{R_{деф.н}}{j}, (3)$$

С противоположной стороны детали в резцедержателе станка закрепляют корпус деформирующего инструмента. Детали сообщают вращение. Исполнительным механизмом, например мотор-редуктором, поворачивают винт упрочняющего инструмента, осуществляют сжатие силовой пружины, вводят деформирующий элемент в контакт с поверхностью шейки и нагружают деталь силой деформирования. Силу деформирования увеличивают от нуля до номинального значения  $R_{деф.н}$ . Под действием силы деформирования деталь упруго смещается на режущий элемент. При этом в начальный момент реализации способа с обрабатываемой поверхностью шейки взаимодействует деформирующий элемент, осуществляя ее поверхностное пластическое деформирование. При достижении упругих отжатий детали величины равной расстоянию между образующей режущего элемента и обрабатываемой поверхностью в работу вступает режущий элемент. При этом имеет место совмещенная обработка шейки резанием и поверхностным пластическим деформированием, причем глубина деформированного поверхностного слоя превышает величину припуска на режущем инструменте. Когда величина упругих отжатий детали станет равной  $y = R_{деф.н}/j$ , режущий элемент выполнит функцию калибрования поверхности шейки и обеспечит диаметральный размер  $D_{ср}$ . С этого момента времени в контакте с обрабатываемой поверхностью шейки находится только деформирующий элемент, осуществляя окончательную отделочно-упрочняющую обработку.

Осуществим анализ математического выражения (2). Расположенный в числителе параметр  $R_{деф.н}$  имеет постоянное значение для всех деталей обрабатываемой партии, т.к. упор упрочняющего инструмента всегда обеспечивает сжатие силовой пружины на одинаковую величину  $\Delta x$ . Стоящий в знаменателе параметр  $j$  характеризует жесткость центров станка и в рассматриваемый момент времени когда осуществляется обработка является величиной постоянной для всех обрабатываемых деталей. Отношение постоянных величин обеспечивает стабильное значение параметра  $y$  определяющего величину упругих отжатий деталей в процессе обработки.

Таким образом, разработанный упругосиловой метод совмещенной обработки резанием и ППД позволяет стабилизировать величину упругих отжатий деталей и осуществлять калибрование шеек валов в одинаковый размер, причем независимо от их исходного диаметрального размера.

#### Литература

1. *Жасимов М.М.* Управление качеством деталей при поверхностном пластическом деформировании.- Алма-Ата: Наука, 1986 – 208с.
2. *Яцерицин П.И., Минаков А.П.* Упрочняющая обработка нежестких деталей в машиностроении.- Мн.: Наука и техника, 1986 – 215 с.
3. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением / *Л.А. Хворостухин и др.* – М.: Машиностроение, 1988.- 144 с.
4. *Папшев Д.Д.* Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1978.- 152 с.
5. *Чистосердов П.С.* Комбинированные инструменты для совмещения процессов резания и поверхностного пластического деформирования. – М.: НИИмаш, 1975.- 45с.
6. *Чистосердов П.С.* Комбинированные инструменты для отделочно-упрочняющей обработки.- Мн.: Беларусь, 1977 – 124 с.
7. *Смелянский В.М., Васильев В.А.* Особенности размерообразования при совмещенном обкатывании.// Автомобильная промышленность. – 1982. - №3. – с. 28-30.
8. А.С. 1286395 СССР, МКИ<sup>4</sup> В24В39100. Способ размерно-совмещенного обкатывания./ *Я.М. Сургунт, А.М. Довгалев* (СССР). - №3954138/25-27; Заявлено 30.01.87; Опубл. 30.01.87, Бюл.№4. – 2с.: ил.
9. *Близнюк С.Н.* Упругосиловой метод комбинированной обработки резанием и ППД.// Республиканская научн. техн. конф. аспирантов, магистрантов, студентов: тез. докл. 26 января 2006 г. – Могилев, 2006.- с.25.
10. Положительное решение на выдачу патента Республики Беларусь по заявке № а19980997. Способ комбинированной обработки тел вращения./ *Довгалев А.М и др.* (РБ). № а 19980997/25-27; Заявлено 02.11.98.

**Близнюк Сергей Николаевич**

Студент машиностроительного факультета  
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв  
Тел.: +375(29)742 57 88

**Довгалев Александр Михайлович**

Доцент кафедры металлорежущие станки и инструменты, канд. техн. наук  
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв  
Тел.: +375(222) 23-63-12