

## ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН СОВМЕЩЕННОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКОЙ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИЕМ И ППД

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

В современных экономических условиях необходимо учитывать высокую рыночную конкуренцию и ограниченность сырьевой базы Республики Беларусь. Это предопределяет необходимость интенсивного поиска высокопроизводительных мало- и безотходных, ресурсосберегающих и экологически чистых технологий изготовления деталей машин.

Для защиты от коррозии на поверхности деталей машин наносятся защитные гальванические хромоникелевые покрытия. До 70% затрат на нанесение покрытий заключается в подготовке поверхностей деталей перед нанесением покрытий: черновом и декоративном трехкратном шлифовании. В результате такой обработки достигается шероховатость поверхности  $Ra\ 0,63-0,02$  мкм; незначительное повышение микротвердости при глубине упрочненного слоя 4-6 мкм. Применяемая технология подготовки поверхности перед нанесением гальванопокрытий имеет ряд существенных недостатков: высокая трудоемкость обработки; высокая трудоемкость изготовления кругов для декоративного шлифования; возможность образования дефектов поверхностного слоя материала деталей, которые впоследствии приведут к отслаиванию покрытия; формирование в поверхностном слое после шлифования остаточных напряжений растяжения; повышенное загрязнение окружающей среды в результате образования частиц износа абразива, приводящее к необходимости их удаления специальными очистными устройствами.

Таким образом, необходим поиск новых способов обработки для подготовки поверхностей деталей перед нанесением гальванопокрытий.

В машиностроении все большее применение находит иглофрезерование. Это процесс резания, осуществляемый податливыми проволочными элементами, спрессованными в пакет цилиндрической или торцовой формы с плотностью набивки 75-85%. В результате обработки иглофрезерованием возможно изменение исходной топографии поверхности деталей: уменьшение шероховатости и волнистости. При иглофрезеровании имеет место не только формообразование поверхности деталей, но и упрочнение поверхностного слоя за счет наклепа, а также формирование остаточных напряжений сжатия. Одной из особенностей иглофрезерования является возможность использования образующейся металлической стружки в порошковой металлургии. Наряду с указанными технологическими возможностями высокая производительность и долговечность инструмента позволяют эффективно использовать иглофрезерование для формообразующей и упрочняющей обработки деталей машин.

Формообразование и упрочнение поверхности деталей машин возможно в результате применения безотходного экологически чистого процесса обработки поверхностей пластическим деформированием (ППД).

Для формообразования и упрочнения поверхности применяются совмещенные и комбинированные процессы обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием (ППД)

В БГПА на кафедре "Технология машиностроения" были выполнены исследования, результаты которых легли в основу создания совмещенного и комбинированного способов обработки иглофрезерованием и ППД для подготовки поверхности деталей перед нанесением гальванопокрытий.

Эксперименты проводили на цилиндрических образцах диаметром 22 мм из стали 45. Иглофрезерование осуществляли инструментом диаметром 150 м, шириной рабочей части 22 м, диаметром и вылетом проволочных элементов соответственно 0,32 и 14 мм. Иглофрезе устанавливали по упругой схеме. Аналогичным образом был установлен однорольковый обкатник для обработки ППД.

Выбор указанной схемы установки инструментов обусловлен следующим. При жесткой схеме установки иглофрезы и деформирующего инструмента усилие прижатия к обрабатываемой поверхности не является постоянным, а колеблется в зависимости от биения и погрешностей формы заготовок. В результате возможно формообразование неоднородной шероховатости поверхности, а при малых натягах - появление необработанных участков.

Сравнительное исследование коррозионной стойкости после нанесения хромоникелевого гальванопокрытия проводили на образцах, поверхность которых была подготовлена: иглофрезерованием, иглофрезерованием и последующим обкатыванием, а также по существующей технологии - многократным шлифованием.

В соответствии с ГОСТ 9.908-85 показателем коррозионной стойкости является скорость убыли массы

$$V_m = (m_0 - m_1) / S \tau, \text{ кг/мм}^2, \quad (1)$$

где  $m_0$  - первоначальная масса образца, г;

$m_1$  - масса образца после удаления продуктов коррозии, г;

$S$  - площадь поверхности образца, мм<sup>2</sup>;

$\tau$  - время испытаний, ч.

Определяли также проникаемость  $\Pi$ , мм/год, т.е. толщину слоя металла, подвергнутого коррозии /8/:

$$\Pi = (V_m \times 10^3) / \rho, \quad (2)$$

где  $\rho$  - плотность металла, г/см<sup>3</sup>.

В качестве дополнительного показателя коррозионной стойкости было использовано количество коррозионных центров  $n$  на 100 мм<sup>2</sup>.

Результаты серии экспериментов позволили определить значения параметров качества поверхности после иглофрезерования и последующего ППД обкатыванием. Значения параметров качества поверхности, полученные в результате проведенных экспериментов, приведены табл. 1 и 2.

В табл. 1 и 2 приняты следующие обозначения:  $W_{пр}$  и  $W_{поп}$  - продольная и поперечная волнистость, соответственно;  $H_{\mu}$  - микротвердость поверхностного слоя;  $U_n$  - степень наклепа;  $h_n$  - глубина наклепа;  $\sigma$  - величина остаточных напряжений сжатия;  $h_{\sigma}$  - глубина залегания остаточных напряжений.

Результаты сравнительных испытаний коррозионной стойкости приведены в табл. 3.

Анализ представленных результатов исследования влияния обработки иглофрезерованием, иглофрезерованием и ППД свидетельствуют о следующем (см. табл. 1 и 2). Сочетание предшествующего иглофрезерования с последующей обработкой ППД позволяет значительно улучшить топографию обработанной поверхности, увеличить величину и глубину залегания повышенной микротвердости (наклепа) и сжимающих остаточных напряжений. Это в свою очередь обеспечивает коррозионную стойкость хромоникелевого покрытия аналогичную для случая подготовки поверхности многократным шлифованием (см. табл. 3).

Таблица 1

## Параметры топографии поверхности

Состояние поверхности	Rmax, мкм	Rz, мкм	Ra, мкм	Sm, мкм	S, мкм	W пр, мкм	W поп, мкм
Исходная (до обработки)	20,2	14,9	4,8	218	196	1,41	54
Иглофрезерованная	14,4	7,3	1,42	363	273	1,25	43
Иглофрезерованная +ППД	4,9	2,4	0,48	647	319	0,95	29

Обеспечение высокой коррозионной стойкости гальванопокрытия совмещенной обработкой иглофрезерованием ППД объясняется формообразованием оптимальной топографии поверхности деталей, упрочнением поверхностного слоя и образованием в нем остаточных напряжений сжатия.

Представленные результаты предопределили целесообразность разработки способов совмещенной и комбинированной обработки иглофрезерованием и ППД

Для создания способа совмещенной обработки иглофрезерованием и ППД необходимо было решить ряд задач.

Таблица 2

## Физико-механические свойства поверхностного слоя

Состояние поверхности	H <sub>ц</sub> , МПа	U <sub>н</sub> %	h <sub>н</sub> , мм	σ, МПа	h <sub>σ</sub> , мм
Исходная (до обработки)	1400	-	-	-	-
Иглофрезерованная	1810	13	0,03	564	0,06
Иглофрезерованная и +ППД	2655	32	0,12	750	0,09

Таблица 3

## Результаты сравнительного исследования влияния метода обработки на коррозионную стойкость

Состояние поверхности	Показатели коррозионной стойкости		
	Vm, кг/м год	П, мм/год	n, шт.
Иглофрезерованная	0,472-1,430	0,060-0,160	25-29
Иглофрезерованная +ППД	0,584-0,835	0,070-0,118	26-27
Шлифованная	0,637-0,876	0,080-0,110	24-25

В существующих устройствах для комбинированной обработки режущие и деформирующие элементы работают с одинаковыми минутными подачами. При этом регламентирующими элементами являются деформирующие.

Применение в качестве режущих элементов иглофрез характеризуется значительной разницей контакта этих и деформирующих инструментов с обрабатываемой поверхностью /1, 2/. Следствием этого является существенное различие подач, обеспечивающих требуемую шероховатость поверхности. Выбор подачи, допускаемой деформирующим инструментом, в этом случае снижает производительность обработки. Кроме этого, невысокие круговые подачи иглофрез регламентируют скорости обкатывания деформирующих инструментов. Учитывая, что величина круговой подачи иглофрез меньше скорости обкатывания в 20-40 раз /2/, применение в рассматриваемом случае традиционных зависимостей режимов комбинированной обработки резанием и ППД не обеспечивает высокой производительности процесса.

В связи с этим для разработки способа совмещенной обработки были установлены зависимости оптимального сочетания режимов обработки указанных процессов, позволяющих устранить отмеченные недостатки.

Для определения зависимости, согласующей движение иглофрез и деформирующих элементов относительно детали, исходя из равенства минутных подач иглофрез и деформирующих элементов можно записать

$$S_{Ои} N_{Ои} Z_{и} = S_{Од} N_{Од} Z_{д}, \quad (3)$$

где  $S_{Ои}$  и  $S_{Од}$  - подача на одну иглофрезу и один деформирующий элемент, мм/иглф; мм/д. эл, соответственно;

$N_{Ои}$  и  $N_{Од}$  - частота вращения иглофрезы и деформирующего элемента соответственно в движении круговой подачи иглофрезы и главном движении деформирующего элемента, об/мин.

$Z_{и}$  и  $Z_{д}$  - количество иглофрез и деформирующих элементов, шт;

Тогда частота вращения  $N_{Ои}$ , в мм/об иглфрезы будет равно

$$N_{Од} = (S_{Ои} N_{и} Z_{и}) / (S_{Од} Z_{д}). \quad (4)$$

Минимально возможная частота вращения деформирующего элемента определяется его максимально возможной подачей, превышение которой приведет к появлению на поверхности детали необработанных участков

$$N_{д\ мин} = (S_{Ои} Z_{и} N_{и}) / (S_{Од\ макс} Z_{д}). \quad (5)$$

Максимально возможную подачу деформирующего элемента  $S_{Од\ макс}$  определяли на основе зависимости /1/

$$S_{Од\ макс} = R_{пр} \sqrt{2R_{пр} i - i^2}. \quad (6)$$

где  $i$  - натяг в системе обрабатываемая поверхность - деформирующий элемент, мм;

$R_{пр}$  - радиус профиля деформирующего элемента в продольном сечении, мм.

Упругое последствие высота и неравномерность исходного микрорельефа учитывается в величине подачи коэффициентом коррекции  $K=0,6-0,7/3$ :

$$S_{Од\ мин} = (0,6 - 0,7) R_{пр} \sqrt{2R_{пр} i - i^2}. \quad (7)$$

Величину подачи одной иглофрезы  $S_{Ои}$  целесообразно принимать равной

$$S_{Ои} = (0,2-0,4) N_{и}, \quad (8)$$

где  $N_{и}$  - ширина рабочей части иглофрезы, мм.

Это связано с тем, что при подаче равной ширине иглофрезы в результате упругой деформации проволочных элементов снижается эффективность процесса резания и преобладает процесс пластического деформирования.

Используя формулы (7) и (8) получим

$$N_{Од\ мин} = (0,28-0,66) N_{и} Z_{и} N_{и} / (R_{пр} \sqrt{2R_{пр} i - i^2} Z_{д}). \quad (9)$$

При этой частоте вращения деформирующих элементов обеспечивается обработка поверхности без пропуска локальных участков. Однако шероховатость и волнистость поверхности будут максимальными. Для снижения шероховатости поверхности следует уменьшить подачу деформирующих элементов в 3,3-3,5 раза /1/. Это приведет к соответствующему увеличению частоты вращения деформирующих элементов без уменьшения минутной подачи, а, следовательно, производительности обработки.

Окончательно формула (9) примет вид

$$N_{Од\ мин} = (0,92-2,31) N_{и} N_{и} Z_{и} / (R_{пр} \sqrt{2R_{пр} i - i^2} Z_{д}). \quad (10)$$

Разработанные способы совмещенной и комбинированной обработки защищены авторскими свидетельствами: а.с. №1310182 и а.с. №1355467.

### Выводы

1. Установлено, что иглофрезерование и последующая обработка ППД обкатыванием обеспечивает качество поверхности (топографию и физико-механические свойства) аналогичное формируемому в результате многократного шлифования.
2. Показано, что коррозионная стойкость гальванопокрытия, нанесенного на поверхность, подготовленную иглофрезерованием и обкатыванием такая же, как и при подготовке поверхности многократным шлифованием.
3. Выявлены кинематические особенности и определены условия оптимального сочетания режимов иглофрезерования и ППД обкатыванием для разработки способов совмещенной и комбинированной обработки этими методами.
4. Разработанные способы совмещенной и комбинированной обработки иглофрезерованием и ППД для подготовки поверхности перед нанесением гальванопокрытий характеризуются высокой производительностью, малоотходностью и экологической чистотой.

УДК 621.9

А.И. Бачанцев, В.И. Туромша

## ОБОСНОВАНИЕ И НАЗНАЧЕНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССА ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

При выборе режимов резания для черновой и получистовой обработки традиционно рекомендуется задаваться глубиной резания и назначать её максимально возможной для снятия основного припуска. Это объясняется повышением производительности, так как припуск снимается за один проход. Следующий этап - выбор подачи, причём её тоже рекомендовано назначать максимальную, в зависимости от глубины резания и учитывая различные факторы, например размеры державки резца, максимальное усилие привода подачи, прочность пластины твёрдого сплава и другие. Затем рассчитывается скорость резания с учётом глубины резания и подачи. По выбранным режимам резания рассчитывается мощность резания и проверяется соответствие её мощности станка. Чаще всего режимы обработки приходится корректировать в сторону снижения. Корректировка режимов обработки под мощность станка говорит о том, что они могут быть не оптимальны с точки зрения производительности, в частности для станков с ЧПУ, полуавтоматов и автоматов. Для выбора оптимальных режимов обработки по производительности необходимо рассмотреть влияние параметров режима резания на машинное время.

Известно, что машинное время при точении может быть выражена формулой (1):

$$T_{\text{маш}} = \frac{L}{S * n} * \frac{\delta}{t} \text{ мин. ,} \quad (1)$$

где  $t$  – глубина резания, мм.;

$L$  – длина обработки за один проход, мм. ;

$S$  – подача, мм/об;