

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ НАКЛЕПА ЗАГОТОВОК ИЗ ЧУГУНОВ

Белорусский национальный технический университет  
ОО «Ист Юропан Партс»  
РУП «Минский тракторный завод»  
Минск, Республика Беларусь

Повышение эффективности промышленного производства, ускорение темпов роста и производительности – одна из важнейших технико-экономических задач. Современное машиностроение требует создания и внедрения перспективных технологических процессов изготовления деталей машин с высокими эксплуатационными показателями их рабочих поверхностей. Одним из основных физико-механических свойств поверхностного слоя, определяющим эксплуатационные характеристики деталей машин, и в первую очередь износостойкость, являются твердость. Степень влияния на величину износа деталей в период приработки поверхностной твердости  $H_u$  и глубины наклепа  $h_n$ , полученных в результате механической обработки, достигает 50...55 % [1].

Одним из перспективных методов обработки для формирования качества поверхности и эксплуатационных показателей деталей машин является иглофрезерование. Режущими элементами иглофрезы являются проволочные элементы малого диаметра с плотностью упаковки до 40...80 %. Материал проволочных элементов – легированные пружинные стали 51ХФА, 60С2А, 65С2ВА и др. Особенность геометрии режущих элементов иглофрезы – незначительный радиус округления режущей кромки, которая в процессе работы самозатачивается. Это обеспечивает при реверсировании вращения инструмента его работу без переточек. Иглофрезерование может использоваться для: выполнения ряда операций заготовительного цикла, например, при обработке полос и лент, выравнивании или удалении сварных швов, удалении грата и ржавчины с металлических поверхностей, выравнивании внутренних поверхностей труб; удаление дефектных поверхностных слоев, например, обезуглероженных; подготовки поверхностей под последующее нанесение покрытий; полустойкой и чистовой обработки поверхностей деталей машин, в том числе для формирования геометрической структуры и упрочнения поверхности. Глубина обработки, зависящая от параметров процесса, позволяет полностью удалить дефектный слой толщиной 0,2...0,3 мм. Благодаря малому поперечному сечению и значительной податливости проволочных элементов обеспечивается возможность удаления слоя металла равномерной толщины с фасонной поверхности. При формировании геометрической структуры поверхности иглофрезерование осуществляется в режиме микрорезания в зоне взаимодействия режущих элементов с поверхностью заготовки. Достижимая высота микронеровностей находится в пределах  $Ra$  100...0,40 мкм и определяется сочетанием технологических факторов. Варьирование параметров режима обработки иглофрезерованием: скорость резания ( $v$ , м/мин), подача ( $S_{пр}$ , мм/мин), натяг ( $i$ , мм) позволяет управлять формированием качества поверхности, а, следовательно, и эксплуатационными показателями обработанной поверхности.

Расширение области применения иглофрезерования ограничивается недостаточностью данных влияния параметров режима на формирование геометрической структуры и упрочнение обработанной поверхности. Это в значительной степени относится к деталям из чугунов.

Исследовали влияние параметров режима иглофрезерования: скорости резания ( $v$ ), подачи ( $S$ ) и натяга ( $i$ ) в системе «обрабатываемая поверхность - рабочая поверхность иглофрезы» на изменение микротвердости поверхностного слоя. Обрабатываемые материалы – чугуны: СЧ15, СЧ25 (ГОСТ 1412-85), ВЧ50 (ГОСТ 7293-85). Из указанных материалов были изготовлены образцы (15x20x10 мм). Обработку плоских поверхностей образцов иглофрезерованием выполняли на горизонтально-фрезерном станке 6Н82Г.

Применяли иглофрезу диаметром  $D = 125$  мм, шириной  $B = 20$  мм и плотностью набивки проволочных элементов 80 %. Диаметр единичного проволочного элемента (микрорезца)  $d = 0,3$  мм, вылет  $l = 20$  мм. Для моделирования влияния параметров режима иглофрезерования на изменение микротвердости поверхности использовали математическое планирование эксперимента. При планировании применяли метод ЛП<sub>1</sub> – последовательностей [2]. В этом случае точки реализации экспериментов располагаются в многомерном пространстве таким образом, чтобы их проекции на оси  $X_1$ - $X_2$ ,  $X_2$ - $X_3$ , ...,  $X_i$ - $X_j$  располагались на равном расстоянии друг от друга. Координаты точек рассчитывали из условия  $X_{min} = 0$  и  $X_{max} = 1$ . Матрица планирования эксперимента представлена в табл. 1.

Таблица 1. Матрица планирования эксперимента

Фактор	Точки исследований						
	1	2	3	4	5	6	7
$X_1$	0,500	0,250	0,750	0,875	0,375	0,625	0,125
$X_2$	0,500	0,750	0,250	0,625	0,125	0,375	0,875
$X_3$	0,500	0,250	0,750	0,125	0,625	0,375	0,875

При решении технологических задач для моделирования исследуемого процесса широко используются уравнения множественной регрессии

$$y = C \prod x_i^{m_i} \quad \text{и} \quad y = \exp(b_0 + S b x_i).$$

Их можно привести к линейному виду путем логарифмирования с последующим использованием метода наименьших квадратов. В случае применения ПЭВМ была использована методика Д. Полларда [3].

Результаты ранее выполненных исследований [4] позволили выбрать следующие значения параметров режима иглофрезерования принятые за  $X_{max} = 1$  в данном эксперименте:  $v = 280$  м/мин, подачу  $S = 390$  мм/мин и натяг  $i = 0,30$  мм. Реализованные сочетания параметров режима иглофрезерования в соответствии с матрицей планирования приведены в табл. 2.

Таблица 2. Условия проведения опытов

Опыт	$X_1$ - скорость резания $v$ , м/мин	$X_2$ - подача $S$ , мм/мин	$X_3$ - натяг $i$ , мм
1	140	195	0,15
2	70	292	0,08
3	210	98	0,22
4	255	244	0,04
5	105	49	0,19
6	175	146	0,11
7	35	341	0,26

Измерения микротвердости выполняли при помощи микротвердомера мод. ПМТ-3 по стандартной методике. Величина статической нагрузки  $P$  0,981 Н (100 г). Значение микротвердости определяли по формуле:

$$H_{\mu} = \frac{1854 \times 10^4}{(kd)^2} \text{ МПа,}$$

где  $P$  – нагрузка, г;

$d$  – диагональ отпечатка, делений;

$k$  – индивидуальный коэффициент прибора,  $k = 0,3$ .

Исходное (до обработки) среднее значение микротвердости образцов: СЧ15 -  $H_{\mu}$  3817 МПа; СЧ 25 –  $H_{\mu}$  4093 МПа; ВЧ50 -  $H_{\mu}$  2973 МПа.

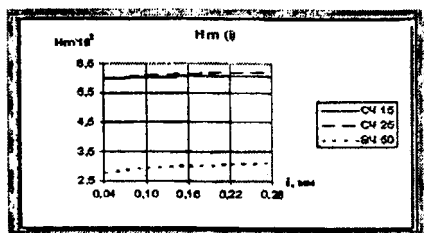
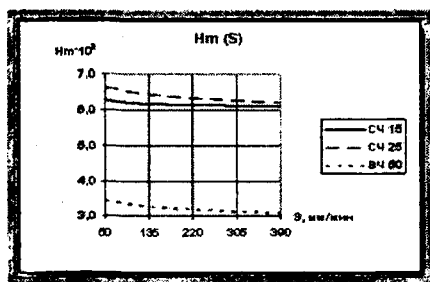
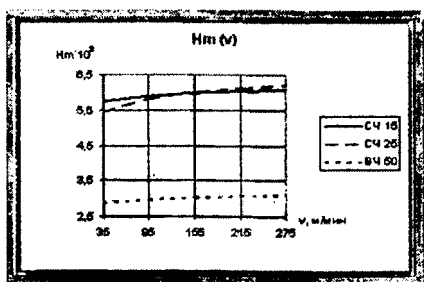


Рисунок 2 - Одномерные сечения функции отклика влияния параметров режима иглофрезерования на формирование наклепа:

а – скорости обработки  $v$ ;

б – продольной подачи  $S$ ;

в – натяга  $i$

После иглофрезерования микротвердость поверхности образцов из исследуемых материалов зафиксирована в следующих пределах  $H_{\mu}$  4124...7377 МПа. Результаты исследования влияния сочетания параметров режима иглофрезерования на формирование наклепа представлены на рис. 1

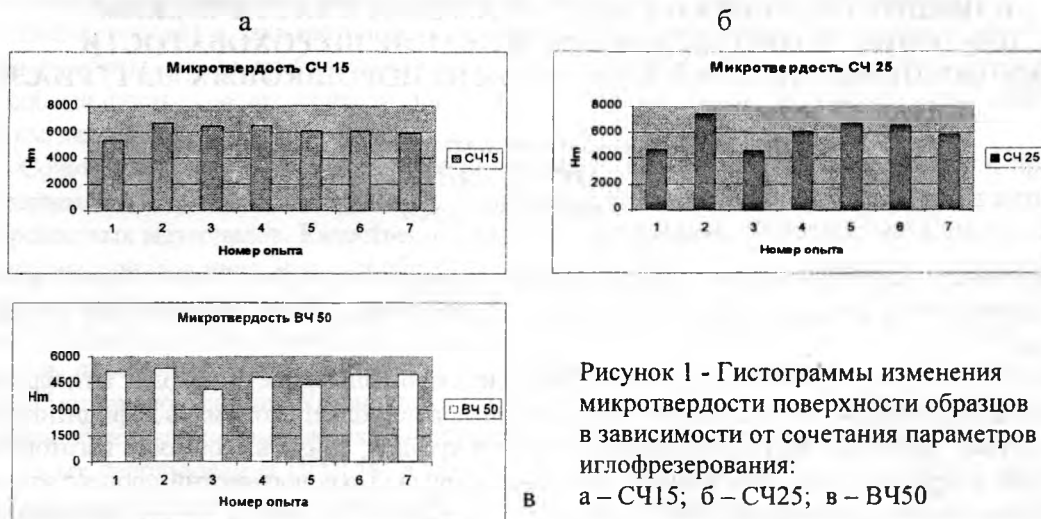


Рисунок 1 - Гистограммы изменения микротвердости поверхности образцов в зависимости от сочетания параметров иглофрезерования:

а – СЧ15; б – СЧ25; в – ВЧ50

Предварительный анализ результатов эксперимента свидетельствует о том, что минимальное значение микротвердости поверхности ( $H_{\mu}$  5367 МПа) для образцов СЧ15 получено в первом опыте ( $v = 140$  м/мин;  $S = 195$  мм/мин;  $i = 0,15$  мм); образцов СЧ25 ( $H_{\mu}$  4529 МПа) и ВЧ25 ( $H_{\mu}$  4124 МПа) зафиксирована после иглофрезерования в третьем опыте ( $v = 210$  м/мин;  $S = 98$  мм/мин;  $i = 0,22$  мм). Максимальная микротвердость для всех исследуемых марок чугунов СЧ15 ( $H_{\mu}$  6670), СЧ25 ( $H_{\mu}$  7377 МПа) и ВЧ50 (5300 МПа) сформирована во втором опыте ( $v = 70$  м/мин;  $S = 292$  мм/мин;  $i = 0,08$  мм).

Одномерные сечения функции отклика представлены на рис. 2.

После обработки экспериментальных данных были разработаны математические модели влияния параметров режима иглофрезерования на формирование микротвердости поверхности в виде уравнений регрессии (1) – (3):

$$\text{СЧ15} \quad H_{\mu} = 5720 v^{0,028} S^{-0,014} i^{0,009} \text{ МПа}; \quad (1)$$

$$\text{СЧ25} \quad H_{\mu} = 5380 v^{0,064} S^{-0,032} i^{0,020} \text{ МПа}; \quad (2)$$

$$\text{ВЧ50} \quad H_{\mu} = 3740 v^{0,0328} S^{-0,051} i^{0,059} \text{ МПа}. \quad (3)$$

Разработанные модели позволяют осуществить прогнозирование и оптимизацию процесса иглофрезерования, а также управление процессом обработки для обеспечения требуемой микротвердости поверхности деталей в зависимости от их эксплуатационного назначения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев П.П. Формирование шероховатости поверхности при обработке поверхностей пластической деформацией. Технология машиностроения. – Тула, 1977. – С. 13-17.
2. Ящерицын П.И., Махаринский Е.И. Планирование эксперимента в машиностроении. – Мн.: Высшая школа, 1985. – 286 с.
3. Поллард Д. Справочник по вычислительным методам статистики/ Пер. с англ. В.С.Занадворова. М.: Финансы и статистика, 1982. - 344 с.
4. Баршай И.Л. Обеспечение качества поверхности и эксплуатационных характеристик деталей при обработке в условиях дискретного контакта с инструментом. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 246 с.