

- заявл. 30.03.07; опубл. 30.10.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 5. – С. 206.
7. Аксиально-поршневая гидромашина: пат. 3902 Респ. Беларусь, МПК7 F 15B 11/22 / В.А. Коробкин, А.Я. Котлобай, А.Н. Ивановский, Ю.А. Андрияненко, Б.А. Лупцов, А.А. Котлобай; заявитель Республиканское унитарное предприятие «Минский тракторный завод». – № и 20070163; заявл. 05.03.07; опубл. 30.10.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 5. – С. 205.
8. Коробкин, В.А. Обоснование параметров агрегата дозирования гидропривода строительных и дорожных машин / В.А.Коробкин, А.Я.Котлобай, Ю.А.Андрияненко, А.А.Котлобай // Строительная наука и техника. – 2007. – № 4. – С. 51 – 57.
-

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВОК ИЗ ЧУГУНОВ

Баршай И.Л., Шелег В.К., Гончаров С.П. (БНТУ, РУП «Минский тракторный завод»)

Повышение конкурентоспособности промышленной продукции, выпускаемой в Республике Беларусь, предопределяет необходимость интенсивного поиска эффективных научно-технических решений по увеличению срока службы машин, механизмов и оборудования за счет разработки и применения высокопроизводительных мало- и безотходных, ресурсосберегающих и экологически чистых технологий.

Качество поверхности в значительной степени определяет эксплуатационные характеристики деталей машин. По данным [1] методы формирования качества поверхности деталей машин составляют 10...20 % общей трудоемкости их изготовления. Приведенные далее в этой работе результаты анализа технологических процессов изготовления деталей машин в различных отраслях машиностроения показали, что такой обработке подвергаются 85...95 % выпускаемых деталей. Обработка проволочным инструментом, в частности, иглофрезой является перспективным методом для формирования качества поверхности деталей.

Формирование топографии и геометрической структуры поверхности при иглофрезеровании осуществляется в режиме микрорезания в зоне взаимодействия режущих элементов с поверхностью заготовки. При иглофрезеровании, кроме уменьшения высоты микронеровностей до Ra 40 мкм, в поверхностном слое формируется наклеп. Степень наклепа иглофрезерованной поверхности достигает 40 % [2]. Варьирование параметров режима иглофрезерования позволяет управлять формированием качества обработанной поверхности детали, а, следовательно, ее эксплуатационными показателями.

Исследовали влияние параметров режима иглофрезерования: скорости резания (v), подачи (S) и натяга (i) в системе «обрабатываемая поверхность - рабочая поверхность иглофрезы» на формирование качества поверхности. Обрабатываемые материалы – чугуны: СЧ15, СЧ25 (ГОСТ 1412-85), ВЧ50 (ГОСТ 7293-85). Из указанных материалов были изготовлены призматические образцы (15x20x10 мм). 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, свободный вылет $l = 20$ мм. Обработку плоских поверхностей образцов иглофрезерованием выполняли на горизонтально-фрезерном станке 6Н82Г.

При изучении топографии поверхности был использован комплекс для микро- и макроанализа поверхности на базе микроскопа МКИ-2М-1 с увеличением до 1200 крат, преобразователя изображения с помощью цифровой камеры «Никон» с разрешением 4,5 миллиона пикселей и последующей передачей изображения на ПЭВМ. Оценку геометрической структуры поверхности осуществляли на основе действующего в настоящее время комплекта междуна-

родных норм – ISO-3274:1997 и ISO 4287:1998. Под «геометрической структурой» понимается объединение всех неровностей поверхности. При проведении экспериментов определяли формирование следующих характеристик геометрической структуры поверхности в зависимости от параметров режима иглофрезерования: среднего арифметического отклонения профиля Ra , стандартного отклонения профиля Rq , высоту десяти точек отклонений от регулярного профиля Rz , максимальную высоту выступов профиля Rp , максимальную глубину впадин профиля Rv , среднюю ширину элементов профиля RSm , относительную опорную длину профиля $Rmr(c)$. Определение этих характеристик осуществляли с помощью мобильного прибора класса точности 1 «Hommel tester» T500. Микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3.

Разработку математических моделей влияния параметров режима иглофрезерования на изменение исследуемых параметров качества поверхности выполняли на основе математического планирования эксперимента [3]. Применяли метод ЛП_т – последовательностей. 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 рассчитывались из условия $X_{min} = 0$ и $X_{max} = 1$. Пример проекции 7 точек на оси X_1 и X_2 изображен на рис. 1. Результаты ранее выполненных исследований [4] позволили выбрать следующие значения параметров режима иглофрезерования принятые за основной уровень в данном эксперименте: $v = 280$ м/мин; подачу $S_{пр} = 420$ мм/мин и натяг $i = 0,3$. Матрица планирования эксперимента (условия проведения опытов) представлена в табл. 1, а условия проведения опытов приведены в табл. 2.

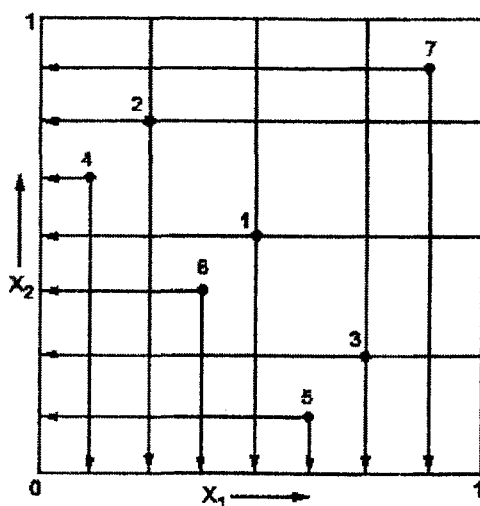


Рисунок 1. Проекция 7 точек на оси X_1 и X_2

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

$$y = C \prod x_i^{m_i} \text{ и } y = \exp(b_0 + S b_i x_i). \quad (1)$$

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

Таблица 2. Условия проведения опытов

Номер опыта	X_1 - скорость резания v , м/мин	X_2 - подача S , мм/мин	X_3 - натяг i , мм
1	140	210	0,15
2	70	135	0,08
3	210	170	0,22
4	255	530	0,04
5	105	35	0,19
6	175	210	0,11
7	35	85	0,26

Их можно привести к линейному виду путем логарифмирования с последующим использованием метода наименьших квадратов. В случае применения ПЭВМ можно воспользоваться методикой Д. Полларда [5]

$$x = \begin{Bmatrix} 1 \dots x_1 \\ \dots \\ 1 \dots x_i \\ \dots \\ 1 \dots x_n \end{Bmatrix}; y = \begin{Bmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_i \\ \dots \\ y_n \end{Bmatrix}; Y = \begin{Bmatrix} Y_1 \\ \dots \\ Y_i \\ \dots \\ Y_n \end{Bmatrix}; b = \begin{Bmatrix} b_0 \\ b_i \end{Bmatrix}. \quad (2)$$

Тогда

$$Xb = \begin{Bmatrix} b_0 + b_i x_1 \\ \dots \\ b_0 + b_i x_i \\ \dots \\ b_0 + b_i x_n \end{Bmatrix}; Yb = \begin{Bmatrix} b_0 + b_i x_1 \\ \dots \\ b_0 + b_i x_i \\ \dots \\ b_0 + b_i x_n \end{Bmatrix}. \quad (3)$$

Критерий минимизации записывается, как

$$(y - Xb)^T (y - Xb) \rightarrow \min. \quad (4)$$

Расчетные значения Y рассматриваемой функции равны

$$Y = Xb. \quad (5)$$

Рассматривая матрицу $S = X^T X$ и вектор $X^T y$, можно заметить, что S имеет порядок 2×2 , а размерность вектор-столбца $X^T y$ равна 2. Таким образом

$$S = \begin{Bmatrix} n \dots \dots \sum_{i=1}^n x_i \\ \dots \\ \sum_{i=1}^n x_i \dots \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{Bmatrix}; X^T y = \begin{Bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{Bmatrix}. \quad (6)$$

Тогда уравнения метода наименьших квадратов в матричном виде могут быть записаны, как

$$b = S^{-1} X^T y. \quad (7)$$

На рис. 2 изображена топография поверхности образцов из СЧ25 до обработки. Топография поверхности образцов до иглофрезерования из других исследуемых марок чугунов аналогична приведенной.

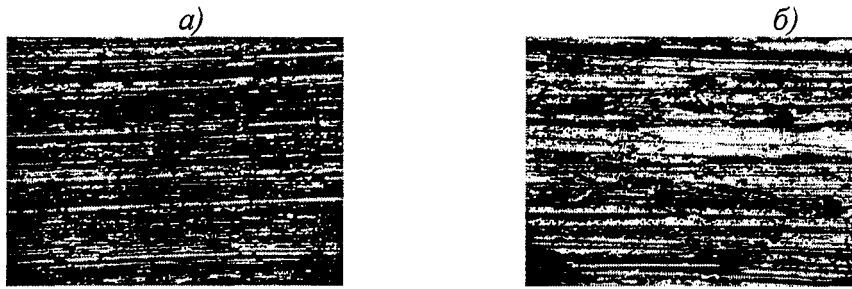


Рисунок 2. Фототопографии поверхности образцов из СЧ25 до иглофрезерования:
а) ($\times 65$); б) ($\times 250$)

На рис. 3 представлены фотографии топографии поверхности образцов после иглофрезерования. Изучение топографии обработанной поверхности образцов позволяет сделать вывод о том, что после иглофрезерования следы от проволоочных элементов на поверхности произвольно изменяют свое направление. На поверхности формируются расположенные случайным образом выступы и впадины, риски. Поверхность образцов из исследованных марок чугунов после иглофрезерования стала более гладкой, без резких впадин и выступов.

Минимальные значения исследуемых характеристик геометрической структуры получены при обработке образцов из высокопрочного чугуна ВЧ50 в 4 – м опыте, а для образцов из СЧ15 и СЧ25 – в 5 - м. Полученные результаты объясняются тем, что при обработке хрупких материалов, какими являются чугуны, наряду со срезом отдельных частиц металла происходит их сдвиг и беспорядочное хрупкое скалывание от основной массы металла, увеличивающее шероховатость поверхности. Повышение скорости резания уменьшает скалывание частиц материала и обрабатываемая поверхность становится более гладкой. Хрупкость чугуна марки ВЧ50 превышает хрупкость чугунов марок СЧ15, поэтому иглофрезерование с высокой скоростью резания и подачи (см. табл. 2, опыт 4) обеспечило минимальные значения высотных параметров геометрической структуры поверхности образцов из чугуна марки ВЧ50.

Геометрическая структура обработанной поверхности зависит от углов проволоочного элемента инструмента (γ и α), формируемых в процессе обработки [3]. Значения этих углов определяются его упругой деформацией. В свою очередь упругая деформация проволоочных элементов зависит от параметров режима обработки. Увеличение значений параметров режима обработки приводит к росту углов γ и α . Так, в частности, при формировании переднего угла $\gamma > (-20^\circ)$ процесс микрорезания переходит в субмикрорезание и пластическое деформирование обрабатываемой поверхности.

Рост скорости обработки v способствует снижению высотных Ra , Rz , Rt , Rp , Ry , Rq , Rc и шаговой RSm характеристик геометрической структуры 1,5...3,6 раза по сравнению с исходными (до обработки) значениями. Выявленный характер изменения характеристик геометрической структуры в зависимости от скорости v объясняется присущим обработке проволочным инструментом "краевым" эффектом [3]. Этот эффект заключается в следующем. Крайние со стороны обрабатываемой поверхности проволоочные элементы (микрорезцы) имеют изгиб в направлении подачи заготовки больший, так как обладают меньшей жесткостью, чем весь пакет проволоочных элементов. В результате они формируют микроцарапины на обрабатываемой поверхности. Повышение продольной подачи S ведет к увеличению исследуемых характеристик геометрической структуры, что связано с переходом процесса субмикрорезания к микрорезанию. Повышение натяга i в системе «обрабатываемая поверхность - рабочая поверхность инструмента» способствовало увеличению всех исследуемых характеристик геометрической структуры. Рост указанного этого параметра приводит к превалирующему влиянию процесса микрорезания и в меньшей степени пластического деформирования обрабатываемой поверхности, вызываемого ударным воздействием проволоочных элементов инструмента.

Исходное (до обработки) среднее значение микротвердости образцов: СЧ15 – $H\mu$ 3817 МПа; СЧ 25 – $H\mu$ 4093 МПа; ВЧ50 - $H\mu$ 2973 МПа. После иглофрезерования микротвердость

поверхности образцов из исследуемых материалов зафиксирована в следующих пределах $H\mu$ 4124...7377 МПа.

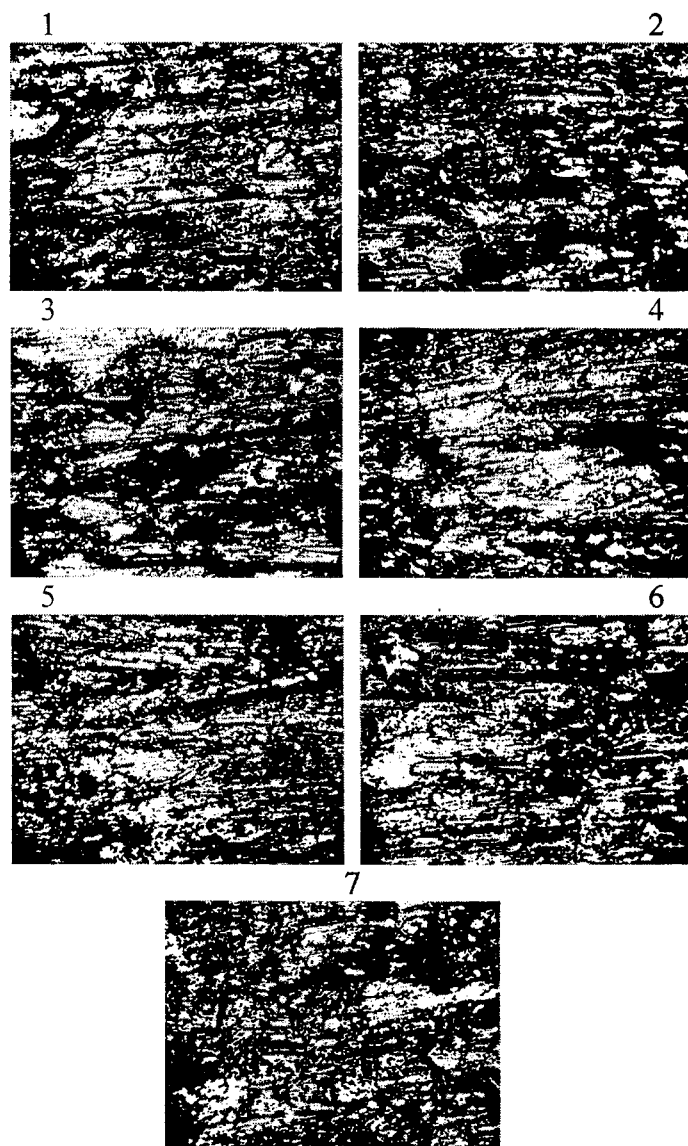


Рисунок 3. Фототопографии поверхности образцов из СЧ25 после иглофрезерования (цифры соответствуют номерам опытов табл. 2) ($\times 250$):

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). Таким образом, степень наклепа для исследованных марок чугунов после иглофрезерования достигает: СЧ15 – 78 %; СЧ 25 – 80 %; ВЧ50 – 78 %.

На основе полученных результатов были разработаны математические модели (8) - (31) влияния параметров режима обработки на изменение исследуемых характеристик геометрической структуры поверхности и микротвердости поверхности.

СЧ25

$$Ra = 2,53v^{-0,006}S^{0,0151}i^{0,084}; \quad (8)$$

$$Rq = 3,15v^{0,005}S^{0,041}l^{0,085}; \quad (9)$$

$$Rz = 15,7v^{0,021}S^{-0,023}i^{0,028}; \quad (10)$$

$$Rp = 6,95v^{0,022}S^{-0,006}i^{0,050}; \quad (11)$$

$$Rv = 9,83v^{0,0195}S^{-0,037}i^{0,008}; \quad (12)$$

$$RSm = 15,7v^{0,021}S^{-0,023}i^{0,028}; \quad (13)$$

$$Rmr(50) = 58,5v^{0,063}S^{-0,055}i^{-0,023}; \quad (14)$$

$$H\mu = 5280v^{0,064}S^{-0,0321}i^{0,020}; \quad (15)$$

СЧ15

$$Ra = 2,06v^{0,011}S^{0,141}i^{0,285}; \quad (16)$$

$$Rq = 2,82v^{0,020}S^{0,107}l^{0,262}; \quad (17)$$

$$Rz = 14,1v^{-0,006}S^{0,087}i^{0,195}; \quad (18)$$

$$Rp = 4,66v^{-0,010}S^{0,159}i^{0,221}; \quad (19)$$

$$Rv = 9,83v^{-0,005}S^{0,048}i^{0,189}; \quad (20)$$

$$RSm = 0,0458v^{-0,061}S^{0,193}i^{0,027}; \quad (21)$$

$$Rmr(50) = 118v^{-0,190}S^{-0,019}i^{-0,016}; \quad (22)$$

$$H\mu = 5720v^{0,028}S^{-0,014}i^{0,009}; \quad (23)$$

ВЧ50

$$Ra = 3,42v^{0,080}S^{-0,114}i^{0,055}; \quad (24)$$

$$Rq = 4,29v^{0,073}S^{-0,104}l^{0,068}; \quad (25)$$

$$Rz = 21,4v^{0,039}S^{-0,096}i^{0,067}; \quad (26)$$

$$Rp = 8,67v^{0,060}S^{-0,070}i^{0,097}; \quad (27)$$

$$Rv = 13v^{0,017}S^{-0,121}i^{0,037}; \quad (28)$$

$$RSm = 0,156v^{-0,051}S^{0,095}i^{0,166}; \quad (29)$$

$$Rmr(50) = 116v^{-0,069}S^{-0,114}i^{-0,104}; \quad (30)$$

$$H\mu = 3740v^{-0,0328}S^{0,051}i^{0,059}; \quad (31)$$

Одномерные сечения функций отклика разработанных моделей представлены на рис. 4-7.

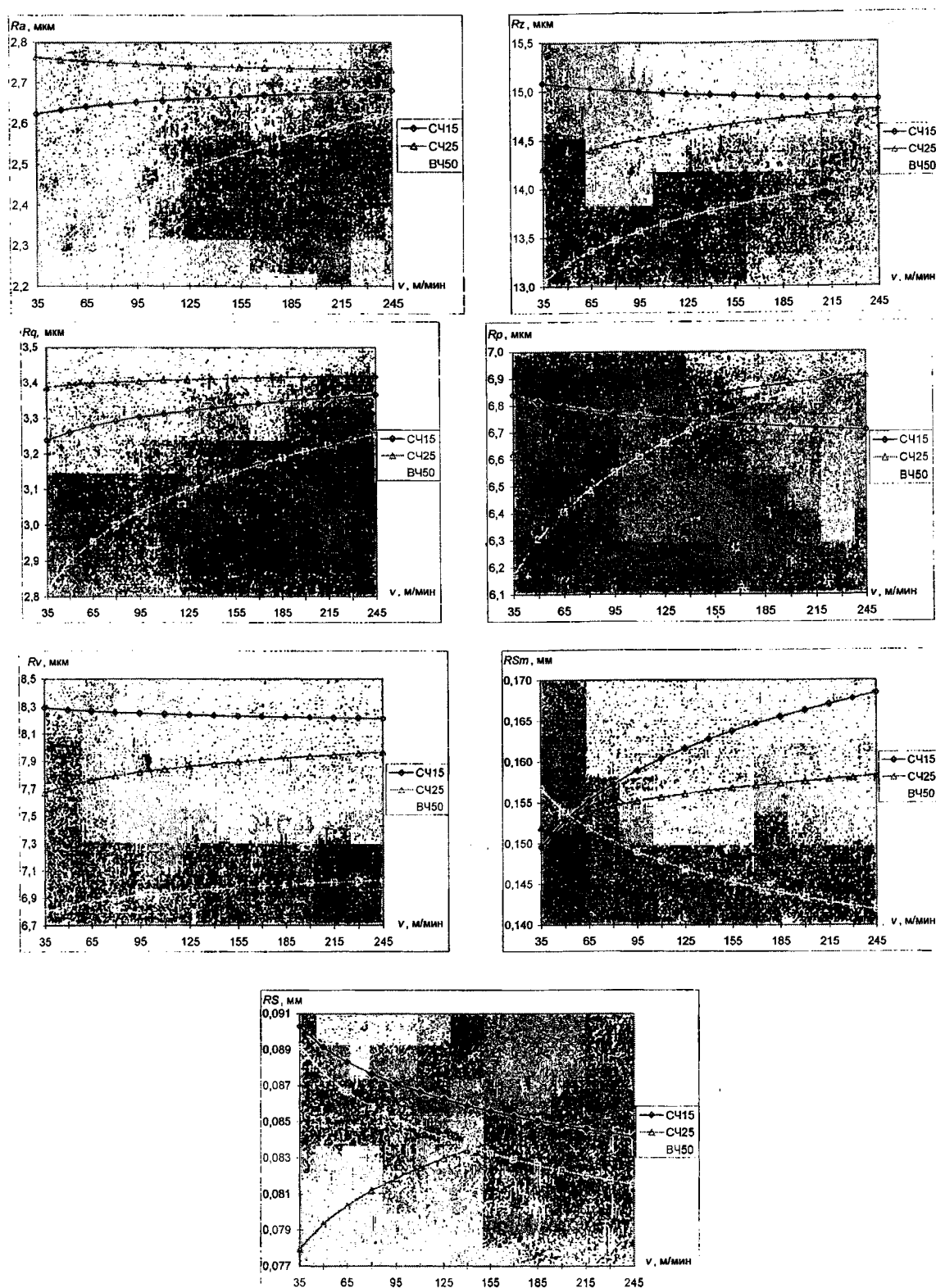


Рисунок 4. Влияние скорости резания v на изменение характеристик геометрической структуры поверхности

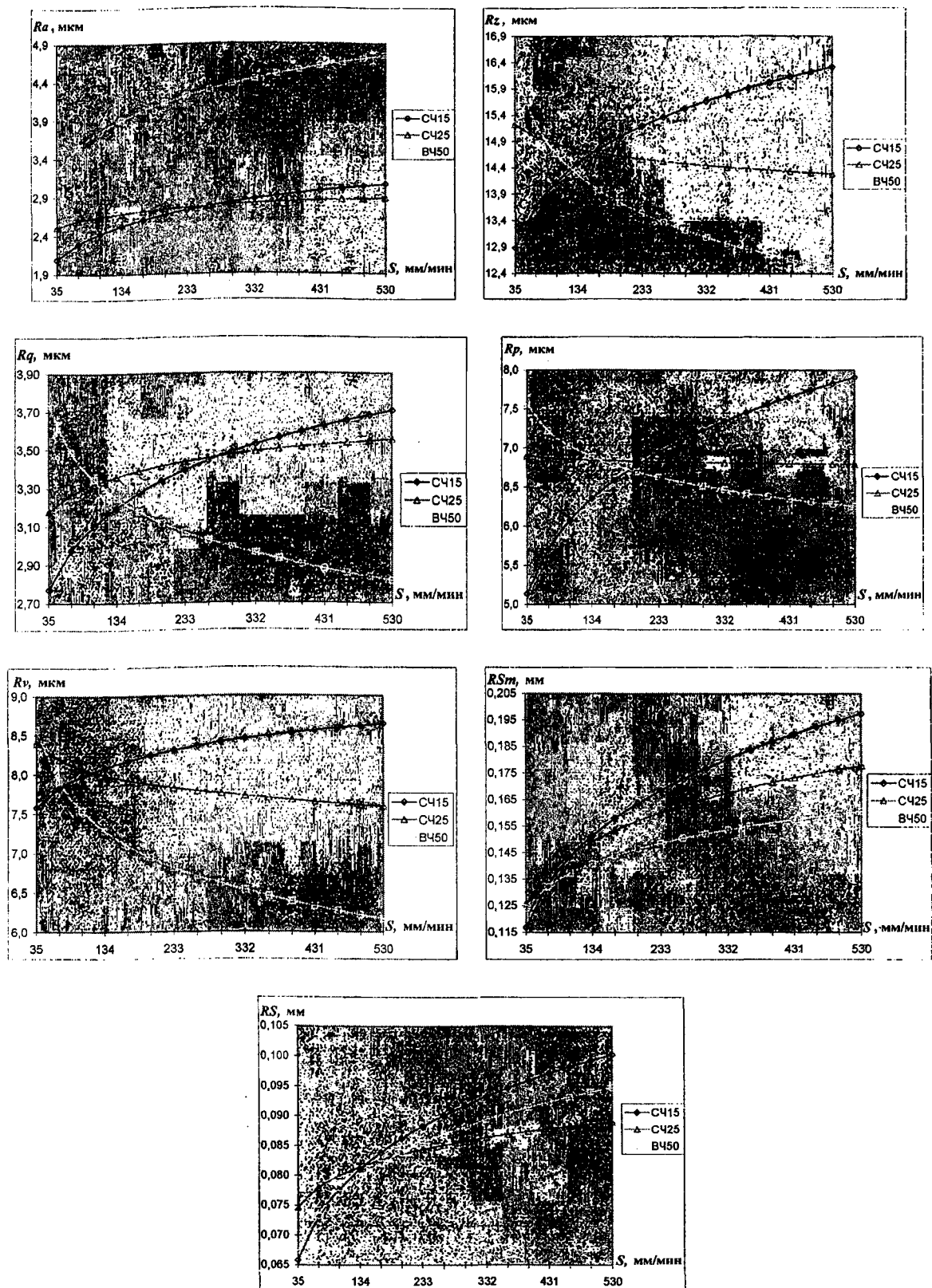


Рисунок 5. Влияние подачи S на изменение характеристик геометрической структуры поверхности

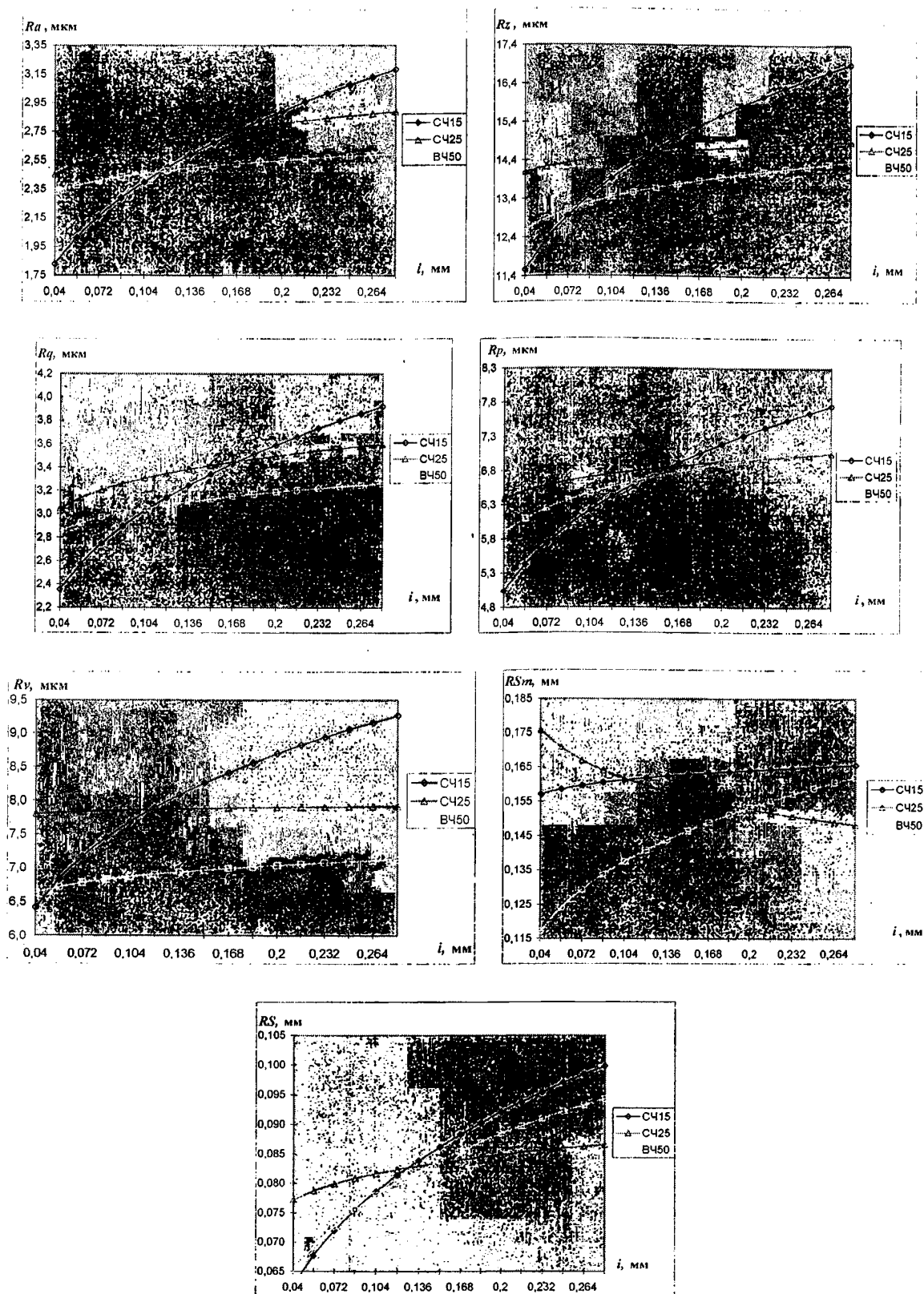


Рисунок 6. Влияние натяга i на изменение характеристик геометрической структуры поверхности

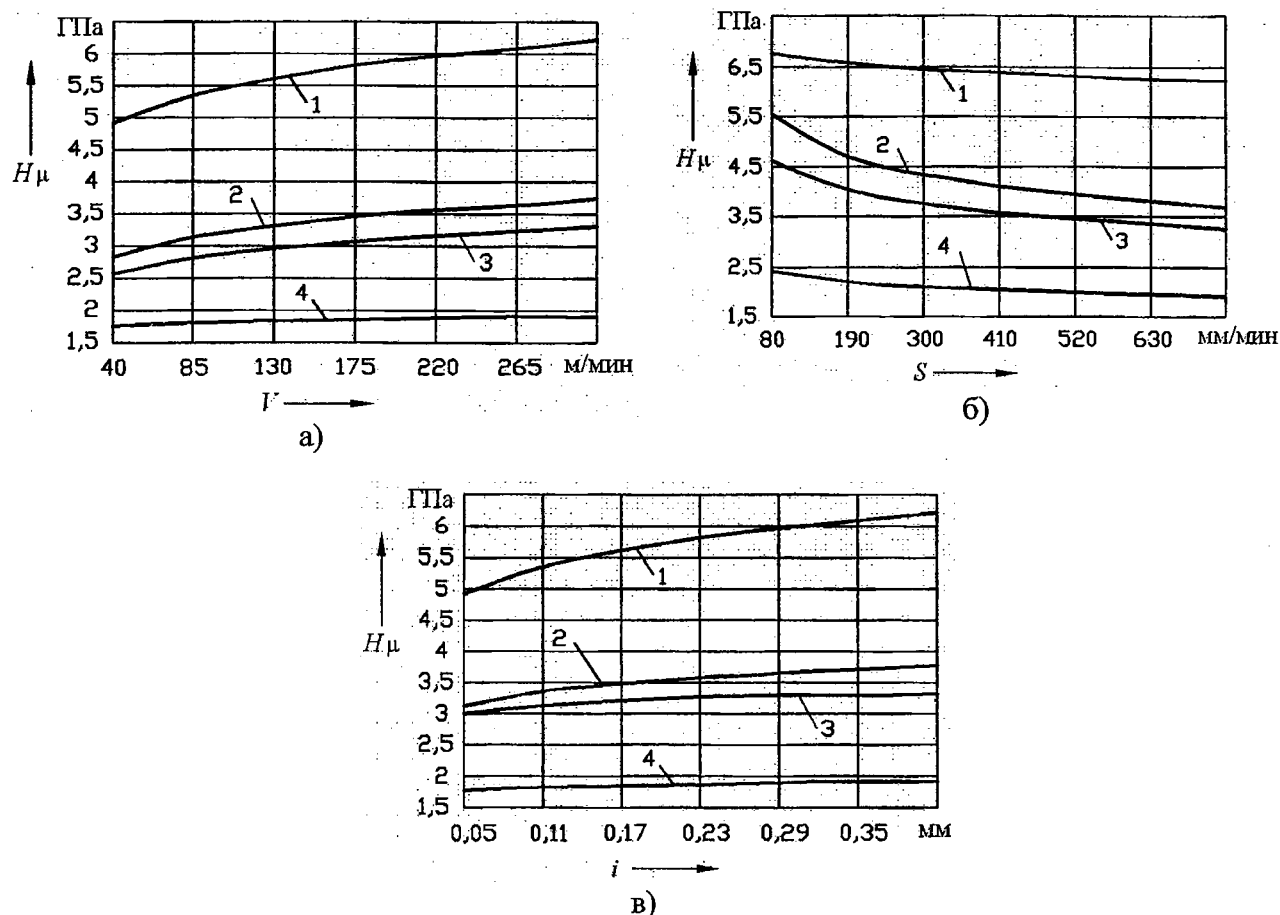


Рисунок 7. Влияния параметров режима иглофрезерования на формирования наклепа: а) скорости обработки v ; б) подачи S ; в) натяга i

Разработанные модели позволяют осуществить прогнозирование и управление процессом иглофрезерования для обеспечения требуемой геометрической структурой и микротвердостью поверхности деталей из чугуна в зависимости от их эксплуатационного назначения.

Литература

1. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
2. Перепичка Е. В. Очистно-упрочняющая обработка изделий щетками. - М.: Машиностроение, 1989. - 136 с.
3. Ящерицын П.И., Махаринский Е.И. Планирование эксперимента в машиностроении. – Мн.: Высшая школа, 1985. – 286 с.
4. Баршай И.Л. Обеспечение качества поверхности и эксплуатационных характеристик деталей при обработке в условиях дискретного контакта с инструментом. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 244 с.
5. Поллард Д. Справочник по вычислительным методам статистики/ Пер. с англ. В.С.Занадворова. М.: Финансы и статистика, 1982. - 344 с.