

## ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов В.А., Иванов И.А., Мрочек Ж.А. Вакуумно-плазменные способы формирования защитных и упрочняющих покрытий. – Мн.: Издательство НПО «Интеграл», 1998. – 285 с.
2. Фролов И.С., Мрочек Ж.А., Иващенко С.А. Повышение триботехнических характеристик деталей из немагнитных материалов нанесением композиционных вакуумно-плазменных покрытий // Материалы международной 53-й науч.-техн. конф. проф., препод., научн. работн. и аспирантов Белорус. госуд. политехн. академии: В 4-х ч. – Мн., 1999. - Ч. 1 - С. 179.
3. Конструирование композиционных вакуумно-плазменных покрытий для особых условий эксплуатации / И.С. Фролов, С.А. Иващенко, Ж.А. Мрочек // Машиностроение. – Мн., 2012. – Вып. 26. – Т.2. - С. 95-100.

УДК 621.793

Шелег В.К.<sup>1)</sup>, Белоцерковский М.А.<sup>2)</sup>, Коновалова Е.Ф.<sup>1)</sup>

### **ВЫБОР РЕЖИМОВ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

*1) Белорусский национальный технический университет*

*2) Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси*

*Минск, Беларусь*

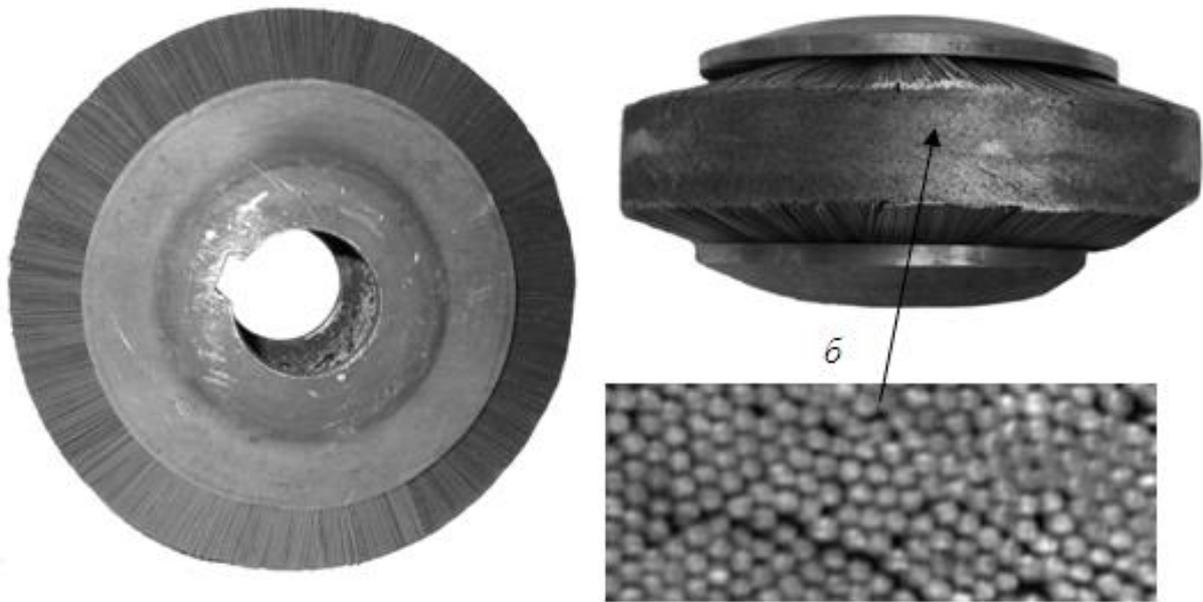
*В статье представлены результаты исследований, посвященных определению режимов иглофрезерования, обеспечивающих максимальную величину шероховатости поверхностей сталей, чугунов и латуни ЛС64-2. Предполагается использование иглофрезерования для подготовки поверхности металлов перед газотермическим напылением.*

**Введение.** Технологию иглофрезерования применяют, как правило, для удаления окалины, зачистки сварных и литейных швов, подготовки поверхности под нанесение гальванопокрытий, а также для упрочнения поверхности на глубину до 0,3 мм [1]. Учитывая простоту реализации иглофрезерования, возможность автоматизации, экономические и экологические показатели, было предложено использовать этот метод для подготовки поверхности металлов перед газотермическим напылением.

Предварительная обработка поверхности основы в технологиях газотермического напыления является одним из основных факторов, обеспечивающих высокую прочность сцепления покрытия с основой, т.к. в большинстве случаев соединение напыленного покрытия с материалом детали происходит в результате механического зацепления. Для того, чтобы напыляемые частицы, которые ударяются и деформируются об основу, прочно сцеплялись с напыляемой поверхностью, основа должна иметь определенную шероховатость. Как правило, рекомендуют методы подготовки поверхности, которые обеспечивают величину  $Ra$  не менее 15 – 20 мкм [2]. Таким образом, основной задачей исследований явилось определение режимов иглофрезерования, позволяющих получить максимальные значения шероховатости обрабатываемых металлических поверхностей.

**Материалы, оборудование и методика исследования.** Обрабатываемый материал: конструкционные стали – сталь 45 (ГОСТ 1050-88), 12ХН3А (ГОСТ 4543-71), чугуны СЧ15, СЧ25 (ГОСТ 1412-85), ВЧ50 (ГОСТ 7293-85) и латунь ЛС64-2 (ГОСТ 1020-77). Из указанных материалов были изготовлены призматические образцы (15x20x10 мм). Обработку плоских поверхностей образцов иглофрезерованием выполняли на горизонтально-фрезерном станке 6Н82Г. Для обработки стали и чугуна использовали иглофрезу (рисунок 1) диаметром  $D = 125$  мм, шириной  $B = 20$  мм и плотностью набивки проволоочных элементов 75...85%. Диаметр единичного проволоочного элемента  $d = 0,3$  мм, вылет  $L = 20$  мм. Для обработки латуни применяли иглофрезу диаметром  $D = 105$  мм.

Для оценки шероховатости поверхности после иглофрезерования был использован, действующий в настоящее время комплект международных норм, характеризующих геометрическую структуру обработанной поверхности – ISO 3274:1997 и ISO 4287:1998. Определяемый параметр –  $Ra$  – средняя арифметическая высота профиля (arithemical mean deviation of the assessed profile).



*a* *б*  
*a, б* – внешний вид; *б* – вид на рабочую поверхность (x 20)  
 Рис. 1. – Иглофреза

Измерение характеристик шероховатости поверхностей образцов после иглофрезерования выполняли на профилометре М2. При исследовании топографии поверхности был использован комплекс для микро- и макроанализа поверхности на базе микроскопа МКИ-2М-1 (НПО «Планар») с увеличением до 1200 крат и преобразователя изображения с помощью цифровой камеры «Никон» с разрешением 4,5 млн. пиксель и последующей передачей изображения на ПЭВМ.

Для определения влияния параметров режима иглофрезерования на изменение характеристик топографии поверхности использовали математическое планирование эксперимента [3]. При планировании исследований применяли метод ЛПт – 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  $X_{max} = 1$ . Ранее выполненные исследования позволили выбрать значения параметров режима иглофрезерования, в том числе и принятые за основной уровень в данном эксперименте [4-7]. Условия проведения опытов приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Условия проведения опытов**

Обрабатываемый материал	Параметры режима иглофрезерования			Значения параметров режима иглофрезерования принятые за основной уровень $X_{max} = 1$		
	Скорость резания $V$ , м/мин	Подача $S$ , мм/мин	Натяг $i$ , мм	Скорость резания $V$ , м/мин	Подача $S$ , мм/мин	Натяг $i$ , мм
Сталь	41...290	82...578	0,06...0,39	330	660	0,44
Чугун	35...255	49...341	0,08...0,26	280	390	0,30
Латунь	21...82	35...270	0,07...0,48	102	300	0,55

При решении технологических задач для моделирования исследуемого процесса широко используются уравнения множественной регрессии. Их можно привести к линейному виду путем логарифмирования с последующим использованием метода наименьших квадратов. В случае применения ПЭВМ можно воспользоваться методикой Д. Полларда [8]

**Результаты работы и их обсуждение.** На основе полученных результатов были разработаны математические модели (1) – (6) влияния параметров режима обработки на изменение исследуемой характеристики геометрической структуры поверхности:

Сталь 12ХН3А

$$Ra = 8,52v^{-0,300} S^{0,126} i^{0,106} ; \quad (1)$$

Сталь 45

$$Ra = 19,2v^{-0,166} S^{-0,51} i^{-0,137} \quad (2)$$

СЧ15

$$Ra = 2,06v^{0,011} S^{0,1411} i^{0,285} \quad (3)$$

СЧ25

$$Ra = 2,53v^{-0,006} S^{0,0151} i^{0,084} \quad (4)$$

ВЧ50

$$Ra = 3,42v^{0,080} S^{-0,114} i^{0,055} \quad (5)$$

ЛС64-2

$$Ra = 34,8v^{-0,240} S^{-0,276} i^{-0,188} \quad (6)$$

Одномерные сечения функций отклика представлены на рисунках 2-4.

Максимальная величина параметра шероховатости  $Ra$ , достигаемая в процессе иглофрезерования, составляет для сталей около 6 мкм, для чугунов около 3,6 мкм, для латуней – 4,8 мкм.

Анализ полученных результатов показал, что для увеличения значения шероховатости для стали 12ХН3А необходимо уменьшение скорости  $v$  иглофрезерования, но на величину шероховатости стали 45 и чугуна (СЧ15, СЧ20, ВЧ50) изменение значения скорости значительного влияния не оказывает. Для получения больших значений исследуемых характеристик шероховатости необходимо повышение продольной подачи  $S$  для чугуна СЧ15 и уменьшение продольной подачи для чугуна ВЧ50. Для чугуна СЧ20 и сталей изменение значения подачи  $S$  на величину параметра шероховатости влияния практически не оказывает. Увеличение натяга  $i$  в системе «обрабатываемая поверхность - рабочая поверхность иглофрезы» способствует росту исследуемой характеристики шероховатости для стали 12ХН3А и чугуна СЧ15. Для стали 45, чугуна СЧ20 и ВЧ50 изменения значений  $Ra$  незначительны. Для латуни для увеличения параметра шероховатости  $Ra$  необходимо уменьшение всех параметров процесса иглофрезерования (скорости резания  $v$ , подачи  $S$ , натяга  $i$ ).

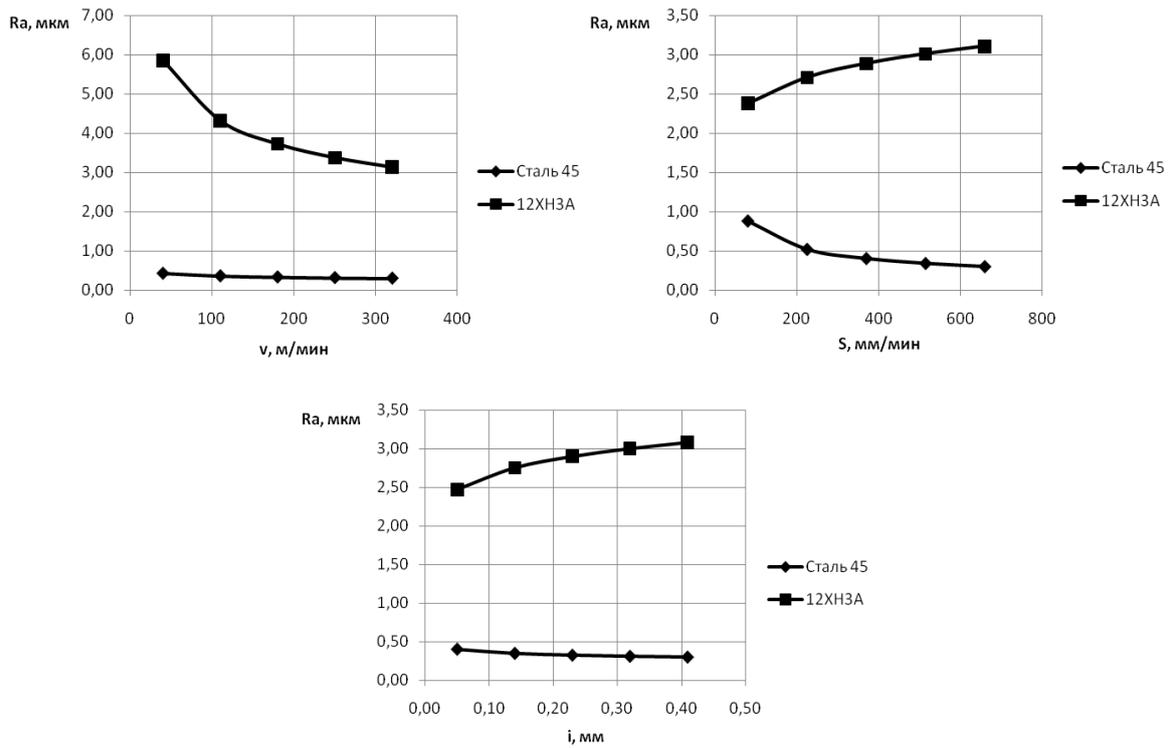


Рис. 2. – Влияние скорости резания  $v$ , подачи  $S$ , натяга  $i$  на изменение шероховатости поверхности  $Ra$  для сталей

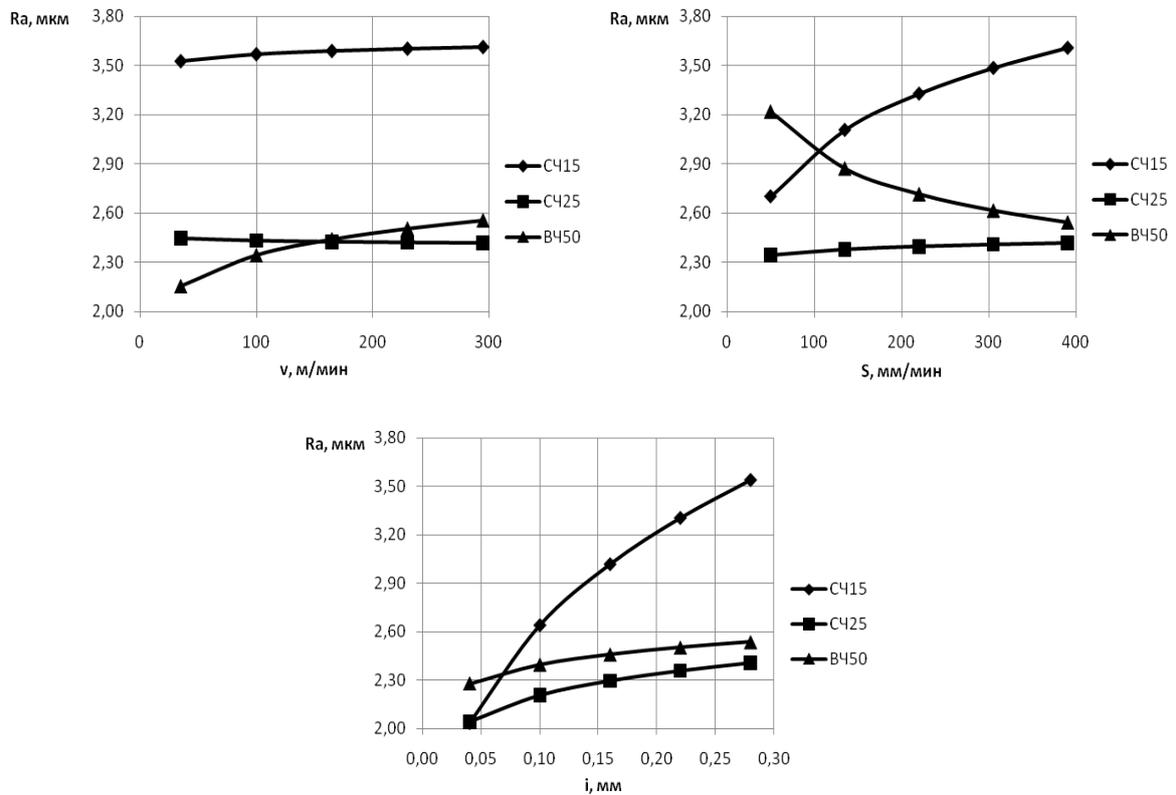


Рис. 3. – Влияние скорости резания  $v$ , подачи  $S$ , натяга  $i$  на изменение шероховатости поверхности  $Ra$  для чугуна

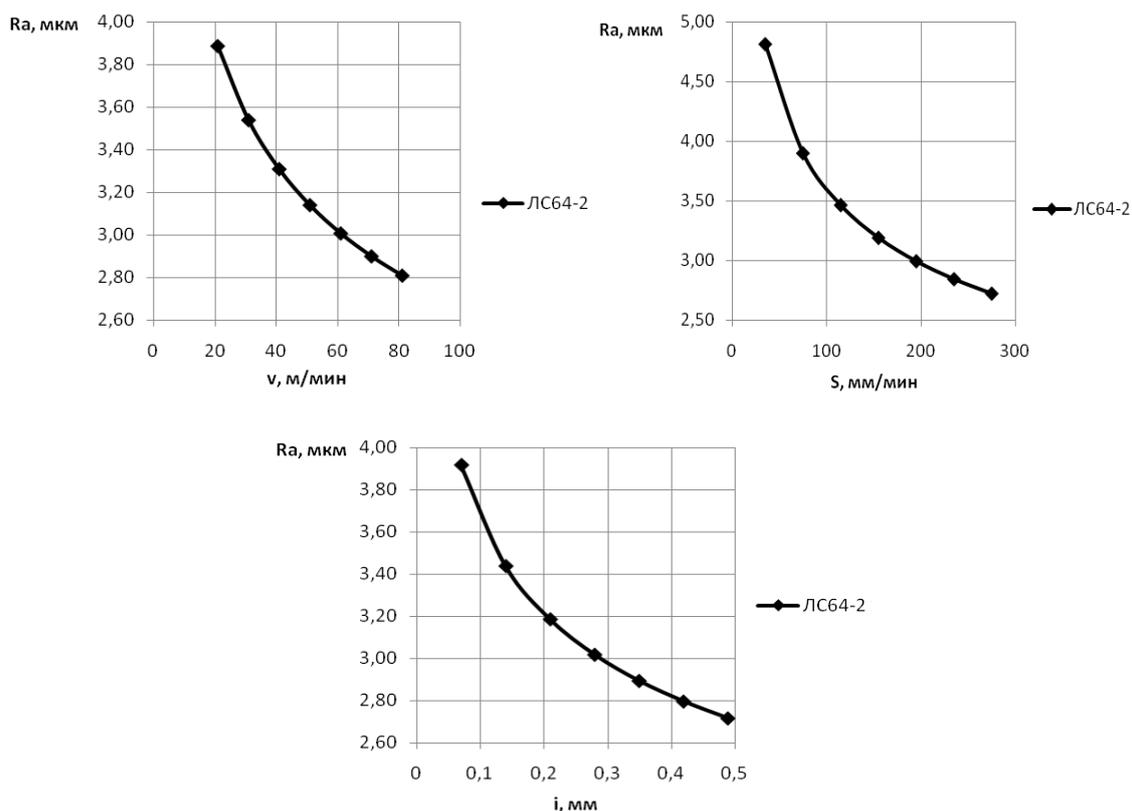


Рис. 4. – Влияние скорости резания  $v$ , подачи  $S$ , натяга  $i$  на изменение шероховатости поверхности  $Ra$  для латуни

**Заключение.** В результате выполненных исследований установлено влияние режимов иглофрезерования на величину шероховатости поверхностей сталей, чугунов и латуни ЛС64-2. Показано, что максимальная величина параметра шероховатости  $Ra$ , достигаемая в процессе иглофрезерования, составляет для сталей около 6 мкм, для чугунов около 3,6 мкм, для латуней – 4,8 мкм. Полученные данные свидетельствуют о том, что иглофрезерование не сможет обеспечить условия, необходимые для реализации технологий газотермического напыления металлических и металлокерамических покрытий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Формирование качества поверхности и эксплуатационных характеристик деталей при иглофрезеровании и комбинированной обработке иглофрезированием и поверхностным пластическим деформированием : монография / И. Л. Баршай, В. К. Шелег, Е. Э. Фельдштейн. -Минск : БНТУ, 2009. – 231 с.
2. Калита, В.И. Методы оценки подготовки поверхности деталей под газотермическое напыление / В.И. Калита, Л.Х. Балдаев, В.А. Лупанов [и др.] // Технология металлов. 2005. №4. С. 31–33.
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. – с. 246.
5. Баршай И.Л., Гончаров С.П. Формирование шероховатости поверхности при иглофрезеровании. - Машиностроение. Сб. научн. трудов. Вып. 22. – Мн.: БНТУ, 2007. – С. 356-358.
6. И.Л. Баршай, А.В. Бирич, С.П. Гончаров, Е.Ф. Скробот. Формирование качества поверхности деталей из чугуна при иглофрезеровании. – III Международная научно-техническая конференция «Современные методы и технологии создания и обработки материалов». – Мн.: ФТИ НАН Беларуси, 2008.
7. И.Л. Баршай, В.К. Шелег, Е.Ф. Скробот, С.П. Гончаров. Исследование и моделирование влияния иглофрезерования на формирование шероховатости поверхности заготовок из стали 12ХНЗА. – Сборник научных трудов VII международной научно-технической конференции «Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин». – Новополоцк: ПГУ, 2009.
8. Поллард Д. Справочник по вычислительным методам статистики/ Пер. с англ. В.С.Занадворова. М.: Финансы и статистика, 1982. - 344 с.