

УДК621.7.001.573:004

**И. Л. Баршай**, доктор технических наук, профессор (БНТУ);  
**А. С. Глубокий**, магистрант (БНТУ)

### МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТАЛИ ПРИ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИИ

Данная работа относится к отрасли машиностроения. Рассматривается такой способ обработки, как иглофрезерование, которая имеет схожие черты с фрезерованием и шлифованием. Иглофрезерование может использоваться в качестве отделочной операции. Для того чтобы получить требуемые геометрические параметры поверхности, необходимо правильно выбрать режимы резания. Режимы резания в иглофрезеровании являются: скорость резания, подача и натяг в системе инструмент – заготовка. В данной статье изучается влияние режимов резания на геометрические параметры. В частности, установлено, что рост скорости резания и снижение подачи ведут к увеличению значений параметров шероховатости. Также построена модель оптимизации для выбора оптимальных режимов резания при заданной величине конкретного параметра шероховатости.

My thesis is concerned with Machine Building and needle milling. Needle milling is similarly with milling and abrasion. Needle milling can be used for finishing operation. It necessary to chose right cutting conditions for getting required roughness. Cutting conditions are speed, feed and tension in system of tool and workpiece. The influence of cutting conditions to roughness is research in this article. It was received, that increasing of cutting speed and feed leads to a reduction of surface roughness. The model of optimization for choosing right cutting conditions to obtain required roughness is boiled.

**Введение.** При обработке проволочным инструментом, как и абразивной, имеет место дискретный контакт с обрабатываемой поверхностью. По характеру физических процессов, протекающих в зоне взаимодействия инструмента с поверхностью заготовки, различают: зачистную, отделочно-зачистную и отделочно-упрочняющую обработку. В качестве проволочного инструмента используют щетки и иглофрезы [1–8].

В данной работе рассмотрено влияние обработки иглофрезерованием на формирование и оптимизацию геометрической структуры поверхности стальных деталей.

Иглофрезерование характеризуется микрорезанием в зоне взаимодействия режущих элементов с поверхностью заготовки. Достигаемая высота микронеровностей находится в пределах  $Ra$  100...0,32 мкм и определяется сочетанием технологических факторов [9, 10]. Иглофрезерование в значительной степени подобно процессам фрезерования и шлифования, т. к. при всех указанных способах обработки имеет место дискретный контакт инструмента с обрабатываемой поверхностью. Кроме этого, с фрезерованием иглофрезерование сближает и то, что резание производится металлическими проволочными элементами, с процессом шлифования – количество режущих элементов, наличие, а иногда и размеры стружки [9].

**Основная часть.** Параметры режима обработки иглофрезерованием – *скорость резания* ( $v$ , м/мин), *подача* ( $S_{пр}$ , мм/мин), *натяг* ( $i$ , мм). При иглофрезеровании цилиндрических по-

верхностей различают продольную ( $S_{пр}$ , мм/об) и круговую ( $S_{кр}$ , м/мин) подачи.

*Натяг* ( $i$ ) – устранение зазора в системе «инструмент – обрабатываемая поверхность» и создание нагрузки. Натяг в системе поверхность иглофрезы – обрабатываемая поверхность создают относительным перемещением обрабатываемой заготовки и (или) иглофрезы. При этом созданный натяг всегда больше глубины резания.

*Скорость резания* – один из основных технологических факторов, определяющих эффективность работы иглофрезы. Этот фактор в основном зависит от вязкости обрабатываемого материала. Обычно принятые технологические факторы обработки в настоящее время уточняют экспериментально в зависимости от конкретных условий иглофрезерования и требуемого качества поверхности [9].

Положительной особенностью иглофрезерования является возможность последующего использования металлической стружки, составляющей в отдельных случаях до 5% массы обрабатываемой детали. Стружку применяют в порошковой металлургии. Это обстоятельство свидетельствует о возможности создания мало- и безотходных процессов изготовления деталей машин в результате применения иглофрезерования.

Установлено [9, 10], что при иглофрезеровании кроме уменьшения высоты микронеровностей до  $Ra$  0,4 мкм в поверхностном слое формируются остаточные напряжения сжатия, величина которых в зависимости от технологических факторов обработки достигает на по-

верхности  $\sigma_z = -200...800$  МПа. Глубина их распространения от поверхности составляет 80...120 мкм. Степень наклепа иглофрезерованной поверхности повышается на 34...50% [11]. Выявлено также [10], что наиболее интенсивное влияние иглофрезерование оказывает на изменение свойств поверхностных слоев с глубиной распространения до 0,01 мм.

В данной работе рассматривается влияние параметров режима обработки ( $V$ ,  $S$ ,  $i$ ) на геометрические параметры поверхности деталей из стали 12ХНЗА. Данная сталь часто применяется для деталей, работающих в условиях трения-изнашивания. В таких условиях геометрические параметры поверхности играют немаловажную роль.

Рассматривается влияние на следующие геометрические параметры:

$Ra$  – средняя арифметическая высота профиля (*arithemical meande viation of the assessed profile*) – средняя арифметическая абсолютных значений высот  $Z(x)$  профиля внутри элементарного отрезка  $lr$ .

$Rz$  – высота неровностей по 10 точкам – сумма средних арифметических абсолютных отклонений точек пяти наибольших минимумов и пяти наибольших максимумов профиля в пределах базовой длины внутри элементарного отрезка  $lr$ .

$Rq$  – средняя квадратическая высота профиля (*root mean square deviation form the assessed profile*) – средняя квадратическая абсолютных значений высот  $Z(x)$  профиля внутри элементарного отрезка  $lr$ .

$Rsm$  – средняя ширина элементов профиля (*mean width of the profile elements*)  $X(s)$ , находящихся внутри элементарного отрезка.

Для планирования эксперимента составляется матрица. На ее основании получают условия проведения опыта.

Для определения влияния параметров режима иглофрезерования на изменение характеристик топографии поверхности использовали математическое планирование эксперимента. При нахождении уравнений множественной регрессии важно правильно выбрать координаты экспериментальных точек. В этом случае весьма перспективно использование ЛПТ последовательностей. Суть этого метода заключается в том, что точки располагаются в  $n$ -мерном пространстве таким образом, чтобы их проекции на любую грань  $n$ -мерного гиперкуба лежат как можно более равномерно. В этом случае точки реализации экспериментов располагаются в многомерном пространстве таким образом, чтобы их проекции на оси  $X_1-X_2$ ,  $X_2-X_3$ , ...,  $X_{i-1}-X_i$  располагались на равном расстоянии друг от друга. Координаты точек рассчитывались из

условия  $X_{\min} = 0$  и  $X_{\max} = 1$ . Матрица планирования экспериментов (условия проведения) представлена в табл. 1. Реализованные сочетания параметров режима иглофрезерования в соответствии с матрицей планирования приведены в табл. 2.

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	169	330	0,22
2	84	530	0,11
3	253	170	0,34
4	295	400	0,06
5	127	85	0,28
6	211	270	0,17
7	42	690	0,39

При использовании специальной программы для ПЭВМ были получены координаты экспериментальных точек для 3 факторов, причем в случае уменьшения числа факторов достаточно отбросить соответствующую строку. Координаты точек в таблице приведены в нормализованном виде.

Результаты ранее выполненных исследований позволили выбрать следующие значения параметров режима иглофрезерования, принятые за основной уровень в данном эксперименте:  $v = 338$  м/мин; подача  $S = 660$  мм/мин и натяг  $i = 0,45$ .

В тех случаях, когда характер исследуемых зависимостей неизвестен, при решении технологических задач для моделирования исследуемого процесса широко используются уравнения множественной регрессии [12, 13].

По результатам опытов построены гистограммы изменения параметров  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $Rq$  и  $Rsm$ , а также 12 графиков зависимости этих показателей от параметров режима обработки.

Средствами Excel построена модель оптимизации высотного параметра  $Rz$ . При выборе необходимого значения подбираются оптимальные параметры режимов обработки с использованием известных формул расчета геометрических параметров. Модель строится ис-

ходя из накладываемых ограничений на параметры обработки.

**Заключение.** Предварительный анализ результатов эксперимента свидетельствует о том, что минимальные значения исследуемых высотных характеристик шероховатости поверхности после иглофрезерования получены при следующих параметрах режима обработки:  $v = 127$  м/мин;  $S = 85$  мм/мин;  $i = 0,28$  мм; максимальные – при  $v = 42$  м/мин;  $S = 690$  мм/мин;  $i = 0,39$  мм (см. табл. 2, 7-й опыт). Минимальные значения шаговой характеристики  $RSm$  были зафиксированы в четвертом опыте при обработке на следующих режимах:  $v = 295$  м/мин;  $S = 400$  мм/мин;  $i = 0,06$  мм, максимальные – в седьмом опыте. Минимум значения относительной опорной длины профиля  $Rmr(c)$  на уровне 50% был получен в шестом опыте ( $v = 211$  м/мин;  $S = 270$  мм/мин;  $i = 0,17$  мм); максимум – во втором ( $v = 84$  м/мин;  $S = 530$  мм/мин;  $i = 0,11$  мм).

### Литература

1. Сулима, А. М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А. М. Сулима, В. А. Шулов, Ю. Д. Ягодкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
2. Алексеев, П. П. Формирование шероховатости поверхности при обработке поверхностей пластической деформацией. Технология машиностроения / П. П. Алексеев. – Тула, 1977. – С. 13–17.
3. Костецкий, Б. И. Трение, износ и смазка в машинах / Б. И. Костецкий. – Киев: Техника, 1970. – 395 с.
4. Улиг, Г. Г. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику / Г. Г. Улиг, Р. У. Реви. – Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1989. – 456 с.
5. Салуквадзе, В. С. Иглофрезерная обработка поверхности металлов / В. С. Салуквадзе, В. С. Коптев // Экспресс-информация, сер. ХМ-9. – М.: ЦНИТИхимнефтемаш, 1986. – № 2. – С. 8.
6. Жоров, Ю. С. Качество поверхностного слоя иглофрезерованного металла // Физика и технология упрочнения металлов: тез. докл. Третьего заседания постоянного семинара «Физико-технологические проблемы поверхности металлов». – Л.: Румб, 1984. – С. 45.
7. Баршай, И. Л. Формирование топографии поверхности деталей из стали 12ХНЗА при иглофрезеровании / И. Л. Баршай, Е. Э. Фельдштейн, С. П. Гончаров // Вестник БНТУ. – 2007. – № 4. – С. 9–15.
8. Моделирование влияния иглофрезерования на формирование наклепа / И. Л. Баршай [и др.] // Машиностроение: сб. науч. тр. – Минск: Технопринт, 2007. – Вып. 23. – С. 10–12.
9. Баршай, И. Л. Моделирование влияния иглофрезерования на формирование геометрической структуры поверхности заготовок из чугуна / И. Л. Баршай, А. В. Бирич, С. П. Гончаров // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревооб- раб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 276–279.
10. Баршай, И. Л. Моделирование влияния иглофрезерования на формирование наклепа заготовок из чугунов / И. Л. Баршай [и др.] // Машиностроение: сб. науч. трудов. – Минск: БНТУ, 2009. – Вып. 24. – С. 103–105.
11. Гусак, А. А. Справочник по высшей математике / А. А. Гусак, Г. М. Гусак. – Минск: Навука і тэхніка, 1991. – 480 с.
12. Балашевич, В. А. Основы математического программирования: учеб. пособие для инженер.-экон. и экон. специальностей / В. А. Балашевич. – Минск: Выш. шк., 1985. – 173 с.
13. Костеневич, Л. С. Математическое программирование: Информационные технологии оптимальных решений: учеб. пособие / Л. С. Костеневич. – Минск: Новое издание, 2003. – 424с.

Поступила 25.02.2013