

НАСЛЕДОВАНИЕ РАЗМЕРНОЙ ТОЧНОСТИ, ПОГРЕШНОСТЕЙ ФОРМЫ И МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИИ

In a article results of modeling of a technological heredity of dimensional accuracy, errors of the form and a roughness of a surface of details are stated at needle milling.

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 деталей оказывает существенное влияние на их эксплуатационные показатели: износо- и коррозионную стойкость, усталостную прочность и др. К таким технологиям относятся, в частности, способы финишной обработки в условиях дискретного контакта заготовки с инструментом. Дискретный контакт между режущим контуром и обрабатываемой поверхностью заготовки возникает, если формообразующая поверхность (режущая кромка) инструмента имеет прерывистый профиль. Характерным представителем таких технологий является иглофрезерование.

Процесс иглофрезерования основан на снятии припуска с помощью значительного количества микролезвий. Форма иглофрезы подобна форме шлифовального круга или щетки. Обрабатываемая деталь и инструмент совершают относительные движения, аналогичные фрезерованию или шлифованию. При этом фреза всегда имеет вращательное движение, а остальные движения зависят от условий обработки. Иглофрезерование может использоваться для: выполнения ряда операций заготовительного цикла, например, при обработке полос и лент, выравнивании или удалении сварных швов, удалении грат и ржавчины с металлических поверхностей, выравнивании внутренних поверхностей труб [1]; удаления дефектных поверхностных слоев, например обезуглерожженных; подготовки поверхностей под последующее нанесение покрытий [2, 3]; полустоговой и стоговой обработки поверхностей деталей машин, в том числе для обеспечения шероховатости поверхности, наиболее хорошо удерживающей смазку [2–4].

Режущими элементами иглофрезы являются иглы – проволочные элементы малого диаметра с высокой (до 0,9) плотностью упаковки. Материал проволочных элементов – легированные пружинные стали 51ХФА, 60С2А, 65С2ВА и др. Особенность геометрии режущих элементов фрезы – незначительный радиус округления режущей кромки, которая в процессе работы

самозатачивается. Это обеспечивает при реверсировании вращения инструмента его работу без переточек и без задержек в процессе обработки.

В начале обработки устанавливается натяг, т. е. расстояние, на которое сближаются иглофреза и обрабатываемая деталь от плоскости их касания во взаимно перпендикулярном направлении. Натяг в режиме зачистки поверхности плоских деталей составляет 0,1–0,7 мм, а в режиме резания – 0,8–1,5 мм [2]. Благодаря натягу обеспечиваются упругая деформация (изгиб) проволочных элементов, образование рабочих углов и режущих кромок, суммарное силовое воздействие проволочных элементов на обрабатываемую поверхность металла.

Расширение области применения иглофрезерования ограничивается недостаточностью данных о механизме взаимодействия единичного проволочного элемента (микрорезца) и группы проволочных элементов с обрабатываемой поверхностью, силовых характеристиках процесса, формировании топографии и физико-механических свойств обработанной поверхности, влиянии обработки на эксплуатационные показатели деталей. Отсутствуют исследования о прогнозировании результатов обработки.

Прогнозирование результатов обработки возможно на основе моделирования технологической наследственности [5].

Моделирование наследования параметров точности и микрогеометрии поверхности при иглофрезеровании осуществляли с помощью корреляционно-регрессионного анализа с применением методик, изложенных в работах [6].

Точность образцов до и после иглофрезерования определяли по изменению диаметрального размера D и погрешностей формы: отклонение от круглости $\Delta_{кр}$ и цилиндричности $\Delta_{ц}$.

Микрогеометрию поверхности до и после обработки оценивали следующими параметрами: R_{max} – наибольшая высота неровностей профиля; R_z – высота неровностей профиля по десяти точкам, R_a – среднее арифметическое отклонение неровностей профиля, R_p – высота сглаживания; t_p – относительная опорная длина профиля (где p – значение уровня сечения профиля).

Исходными данными для анализа явились результаты измерения исследуемых параметров микрогеометрии до и после обработки.

Если рассеивание исследуемых параметров до (на входе) и после обработки (на выходе) описывается законом нормального распределе-

ния, то корреляционная связь между входом и выходом является линейной, и уравнение регрессии имеет следующий вид [6]:

$$\bar{Y} = a + b\bar{X}, \quad (1)$$

где \bar{Y} и \bar{X} – математические ожидания исследуемого параметра микрогеометрии на входе и выходе изучаемого процесса обработки, соответственно; a – свободный член уравнения, определяющий часть величины исследуемого параметра, образующуюся при обработке; b – наследуемая часть значения рассматриваемого параметра.

При $0 < b < 1$ имеет место частичный перенос значений параметра или частичное (неполное) изменение при обработке.

Разность $(1-b)$ показывает, какая часть значения параметра на входе изменяется при обработке, т. е. на выходе. Эта разность является коэффициентом изменения параметра [6].

Для расчета коэффициентов уравнения (1) была использована методика [6].

Проверку достоверности выборочного коэффициента корреляции выполняли на основе расчета t -критерия Стьюдента. Оценку адекватности уравнения регрессии выполняли на основе расчета F -критерия Фишера [6].

Использование дисперсионного анализа позволило дифференцировать выходное (после обработки) значение дисперсии (S_y^2) рассматриваемых параметров качества на наследуемую с предшествующей обработки (A) и полученную непосредственно при данной обработке (B) части [5, 6].

Иглофрезерование образцов из стали 10 осуществляли на горизонтально-фрезерном станке 6Н82Г с использованием изготовленной оригинальной оснастки, позволяющей осуществить вращение образцов с установленной скоростью (круговой подачей). При обработке применяли следующие значения параметров режима: скорость резания $V = 150$ м/мин, продольная подача $S_{пр} = 6,2$ мм/об, круговая подача $S_{кр} = 2,9$ м/мин, усилие прижатия иглофрезы к обрабатываемой поверхности $P = 0,20$ кН. Результаты предварительных исследований позволили сделать вывод о том, что при этих значениях параметров режима обработки обеспечивается минимальная шероховатость обработанной поверхности.

Использовали иглофрезу диаметром 150 мм, шириной 20 мм и плотностью набивки проволоочных элементов 75–85%. Диаметр проволоочного элемента 0,3 мм, вылет 20 мм.

При обработке была применена упругая схема установки инструмента.

Обработке были подвергнуты 5 партий образцов по 50 штук в каждой партии.

Результаты предварительного статистического анализа подтвердили выдвинутую гипотезу о нормальности распределения исследуемых параметров до и после иглофрезерования.

Сравнение математических ожиданий диаметрального размера D , погрешностей формы $\Delta_{кр}$ и $\Delta_{ц}$ до и после иглофрезерования свидетельствуют о следующем. В процессе обработки не происходит существенного изменения математического ожидания значений исследуемых параметров точности.

Поле рассеивания значений параметра D после иглофрезерования уменьшается незначительно – на 3–9%. Результаты расчета технологических полей рассеивания значений диаметрального размера соответствуют 11 качеству точности. Существенно сокращаются поля рассеивания значений погрешностей формы: $\Delta_{кр}$ – на 52–58% и $\Delta_{ц}$ – в 1,8–2,4 раза. Таким образом, иглофрезерование, не являясь размерной обработкой, позволяет уменьшить погрешности формы.

Результаты моделирования наследования рассматриваемых параметров размерной точности (диаметральный размер образцов D) и погрешностей формы: отклонение от круглости ($\Delta_{кр}$) и цилиндричности ($\Delta_{ц}$) свидетельствуют о наличии тесной корреляционной зависимости между значениями этих параметров до и после иглофрезерования. На это указывают значения коэффициентов корреляции (табл. 1) [3].

Результаты расчета параметров моделей наследования рассматриваемых характеристик качества при иглофрезеровании приведены в табл. 2.

Статистическая проверка гипотезы позволила сделать вывод об адекватности полученных линейных моделей наследования рассматриваемых параметров при иглофрезеровании.

Погрешности формы после иглофрезерования ($\Delta_{кр}$ и $\Delta_{ц}$) в силу податливости проволоочных элементов и применяемой упругой схемы установки инструмента в значительной мере определяются входными значениями до обработки. На это указывают результаты определения наследуемой части суммарной дисперсии параметров: $\Delta_{кр} - B = 92-98\%$; $\Delta_{ц} - B = 90-93\%$ (см. табл. 1).

Анализ указанных данных свидетельствует о том, что при иглофрезеровании не происходит существенного перераспределения входных (до обработки) значений $\Delta_{кр}$ и $\Delta_{ц}$ параметров. Об этом свидетельствуют значения коэффициентов корреляции.

Установлено, что формирование микро рельефа поверхности при иглофрезеровании связано непосредственно с самой обработкой и в меньшей степени с наследованием исходной шероховатости. Это обусловлено имеющим место при иглофрезеровании процессом микрорезания поверхности. Свидетельством этого являются результаты дисперсионного анализа исследуемых параметров шероховатости до и после иглофрезерования. Так, для R_{max} доля дисперсии, обусловленная непосредственно процессом иглофрезерования, $A = 58-63\%$, а для $R_a - A = 61-80\%$ (см. табл. 1).

Таблица 1
**Результаты корреляционного
и дисперсионного анализов
технологической наследственности**

Параметр	Коэффициент корреляции r	Доля значения дисперсии параметра, %	
		A	B
D	0,72–0,76	51–63	37–49
$\Delta_{кв}$	0,87–0,98	2–8	92–98
$\Delta_{ц}$	0,84–0,96	7–10	90–93
R_{max}	0,79–0,86	58–63	37–42
R_a	0,88–0,92	61–80	20–39
R_p	0,70–0,88	58–69	31–42
t_{50}	0,76–0,85	55–67	33–45

Таблица 2
**Результаты расчета параметров моделей
технологической наследственности**

Параметр	Коэффициенты уравнения регрессии		Коэффициент исправления (1-b)
	a	b	
D	5,91	0,76	0,24
$\Delta_{кв}$	0,02	0,70	0,30
$\Delta_{ц}$	0,03	0,41	0,59
R_{max}	3,14	0,85	0,15
R_a	0,36	0,14	0,86
R_p	0,35	0,15	0,85
t_{50}	8,47	0,86	0,14

Таким образом, на основе корреляционно-регрессионного анализа выявлено наличие технологической наследственности в формировании размерной точности, погрешностей формы и шероховатости поверхности при иглофрезеровании. Регрессионные модели наследования указанных параметров качества описываются полиномом первой степени. В результате дисперсионного анализа установлено, что обеспечение требуемой шероховатости поверхности может быть достигнуто в результате оптимального сочетания условий иглофрезерования.

Литература

1. Zapf H. Nadelfräsen-Ein neues spanendes Bear-beitungsverfahren // Fertigungstechnik und Betrieb. – 1977. – V. 27. – № 4. – S. 218–219.
2. Абугов А. Л. Иглофреза для подготовки поверхности под покрытие // Станки и инструмент. – 1990. – № 10. – С. 19.
3. Баршай И. Л. Обеспечение качества поверхности и эксплуатационных характеристик деталей при обработке в условиях дискретного контакта с инструментом. – Мн.: УП «Техно-принт», 2003. – С. 243.
4. Гавриленко И. Г. Способ плавно-прерывистого иглофрезерования // Станки и инструмент. – 1993. – № 4. – С. 23–26.
5. Ящерицын П. И., Рыжов Э. В., Аверченков В. И. Технологическая наследственность в машиностроении. – Мн.: Наука и техника, 1977. – 256 с.
6. Солонин И. С. Математическая статистика в технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1972. – 215 с.