

УДК 621.8

И. Л. Баршай, д-р техн. наук, профессор БНТУ; Н. П. Иванова, канд. хим. наук, доцент БГТУ;
Е. Э. Фельдштейн, д-р техн. наук, профессор, Зеленогурский университет (Польша);
С. П. Гончаров, инженер-технолог, РУП МТЗ

ВЛИЯНИЕ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИЯ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ СТАЛИ 12ХН3А

In article results of researches of influence needle milling on corrosion resistance steel 12ХН3А are stated.
It is established, that the topography of a surface formed at processing provides increase of corrosion resistance.

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. Известно [1], что 12 % вариаций коррозии объясняется шероховатостью поверхности. Обеспечение снижения шероховатости поверхности деталей машин может быть достигнуто за счет иглофрезерования. Этот способ обработки 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 [2, 3]. Игофрезерование в значительной степени подобно процессам фрезерования и шлифования, так как при всех указанных способах обработки имеет место дискретный контакт инструмента с обрабатываемой поверхностью. Кроме этого, иглофрезерование с процессом фрезерования сближает то, что резание производится металлическими проволочными элементами; с процессом шлифования – количество режущих элементов, наличие, а иногда и размеры стружки [9].

Обработку иглофрезерованием плоских поверхностей образцов из сталей марок 45 и 12ХН3А выполняли на горизонтально-фрезерном станке 6Н82Г. Использовали иглофрезу диаметром $D = 125$ мм, шириной $B = 20$ мм и плотностью набивки проволочных элементов 75–85 %. Диаметр единичного проволочного элемента $d = 0,3$ мм, вылет $L = 20$ мм. Для определения влияния параметров режима игло-фрезерования на изменение ха-

рактеристик топографии поверхности использовали математическое планирование эксперимента [4]. При планировании исследований применяли метод ЛП_τ-последовательностей. В этом случае точки реализации экспериментов располагаются в многомерном пространстве таким образом, чтобы их проекции на оси $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ располагались на равном расстоянии друг от друга. Координаты точек рассчитывались из условия $X_{\min} = 0$ и $X_{\max} = 1$.

Результаты ранее выполненных исследований [5] позволили выбрать следующие значения параметров режима иглофрезерования, принятые за основной уровень в данном эксперименте: $v = 338$ м/мин (X_1); подачу $S = 660$ мм/мин (X_2) и натяг $i = 0,45$ (X_3).

Реализованные в соответствии с матрицей планирования сочетания параметров режима иглофрезерования приведены в таблице.

Таблица

Условия проведения опытов

Опыт	X_1	X_2	X_3
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

В тех случаях когда характер исследуемых зависимостей неизвестен, при решении технологических задач для моделирования исследуемого процесса широко используются уравнения множественной регрессии:

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

Их можно привести к линейному виду путем логарифмирования с последующим использованием метода наименьших квадратов. При применении ПЭВМ можно воспользоваться методикой Д. Полларда [6]. В этом случае находят матрицу X , векторы y , Y и b в виде

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

Тогда

$$Xb = \begin{pmatrix} b_0 + b_i x_1 \\ \dots \\ b_0 + b_i x_i \\ \dots \\ b_0 + b_i x_n \end{pmatrix};$$

$$y - Xb = \begin{pmatrix} y_1 - b_0 - b_i x_1 \\ \dots \\ y_i - b_0 - b_i x_i \\ \dots \\ y_n - b_0 - b_i x_n \end{pmatrix}.$$

Критерий минимизации записывается, как

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

Расчетные значения Y данной функции равны

$$Y = Xb.$$

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,

$$S = \begin{pmatrix} n \dots \sum_{i=1}^n x_i \\ \dots \\ \sum_{i=1}^n x_i \dots \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{pmatrix}; X^T y = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \dots \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{pmatrix}.$$

Уравнения метода наименьших квадратов в матричном виде могут быть записаны как

$$b = S^{-1} X^T y.$$

На первом этапе исследований определяли влияние параметров режима иглофрезерования на изменение высотной характеристики Ra ше-

роховатости поверхности образцов Ra . Измерение Ra до и после обработки образцов выполняли на компьютеризованном приборе TR-200. При исследовании топографии поверхности был использован комплекс для микро- и макроанализа поверхности на базе микроскопа с увеличением до 1200 крат и преобразователя изображения с помощью цифровой камеры «Никон» с разрешением 4,5 миллиона пикселей и последующей передачей изображения на ПЭВМ.

Изменение шероховатости поверхности в зависимости от сочетания параметров режима иглофрезерования показано на рис. 1. Анализ результатов изменений шероховатости поверхности свидетельствует о следующем.

Рост скорости обработки способствует снижению Ra в 1,5–3,5 раза. Выявленный характер изменения высоты микронеровностей в зависимости от скорости обработки объясняется присущим иглофрезерованию «краевым» эффектом [3]. Этот эффект заключается в следующем. Крайние со стороны обработанной поверхности проволочные элементы (микрорезцы) имеют больший изгиб в направлении подачи заготовки, так как обладают меньшей жесткостью, чем весь пакет проволочных элементов. В результате они формируют микроцарапины (следы их движения) на обрабатываемой поверхности.



Рис. 1. Изменение шероховатости поверхности образцов стали 12XН3А при иглофрезеровании: (по оси абсцисс номера опытов в соответствии с таблицей)

Кроме того, в связи с увеличением силы резания устанавливаются оптимальные значения углов γ и α . Сочетания параметров режима иглофрезерования, реализованные в ходе эксперимента в соответствии с его планом (см. таблицу), расположены таким образом, что в опыте 7 обработка велась с максимальной подачей ($S = 690$ мм/мин). В этом опыте в связи с ростом подачи сократилось время контакта проволочных элементов с обрабатываемой поверхностью, что привело к увеличению высоты микронеровностей.

Увеличение натяга i в системе «обрабатываемая поверхность – рабочая поверхность иглофрезы» способствовало росту всех исследуемых

характеристик шероховатости. Увеличение указанного параметра режима обработки приводит к преобладающему влиянию процесса микрорезания и в меньшей степени пластического деформирования обрабатываемой поверхности, вызываемого ударным воздействием проволочных элементов иглофрезезы.

На рис. 2 представлена топография поверхности образца из стали 12ХН3А, имеющего минимальную шероховатость после иглофрезерования (опыт 5, см. табл. 1).



Рис. 2. Топография поверхности образца после иглофрезерования $\times 250$ (опыт 5, см. табл. 1)

Изучение топографии обработанной поверхности позволяет сделать вывод о том, что после иглофрезерования следы от проволочных элементов на поверхности произвольно изменяют свое направление. На поверхности формируются расположенные случайным образом выступы, впадины, риски.

В процессе иглофрезерования в результате силового воздействия проволочных элементов в поверхностном слое материала формируется наклеп. Результаты исследований формирования наклепа представлены на рис. 3.



Рис. 3. Изменение микротвердости поверхности образцов стали 12ХН3А при иглофрезеровании (по оси абсцисс номера опытов в соответствии с табл. 1)

Изучение коррозионной стойкости образцов из исследуемой стали проводили весовым методом путем полного погружения трех образцов в коррозионную среду в течение 24 часов при температуре $(18 \pm 1)^\circ\text{C}$. В качестве коррозионной среды применяли 3 %-ный раствор хлорида натрия, при приготовлении которого использовали реактив «х. ч.» и дистиллированную воду. Объем коррозионной среды устанавливали в зависимости от величины поверхности всех образцов из расчета 30–50 мл раствора на 1 см^2 испытуемой поверхности. Исследуемые образцы предварительно обезжиривали в щелочном растворе состава, г/л: NaOH – 5–15; $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 15–35; Na_2CO_3 – 15–35 при температуре $60\text{--}80^\circ\text{C}$ в течение 5–20 мин, затем травили в солянокислом растворе (150–200 г/мл) с ингибитором коррозии КИ-1 (5–7 г/л) при температуре $18\text{--}40^\circ\text{C}$ в течение 1–3 мин.

Образцы промывали, высушивали на воздухе и взвешивали; изолировали участки поверхности. После коррозионных испытаний с образцов снимали продукты коррозии в 5 %-ном растворе гидроксида натрия с гранулированным цинком при температуре $80\text{--}90^\circ\text{C}$ в течение 10–15 мин [7]; образцы промывали, высушивали и взвешивали с точностью $\pm 0,1$ мг на аналитических лабораторных весах ВЛР-200г. Весовой показатель коррозии K_m ($\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$) определяли по формуле [8]

$$K_m = (m_0 - m_1) / S \cdot \tau,$$

где m_0 – первоначальная масса образца, г; m_1 – масса образца после удаления продуктов коррозии, г; S – площадь поверхности образца, мм^2 ; τ – время испытаний, ч.

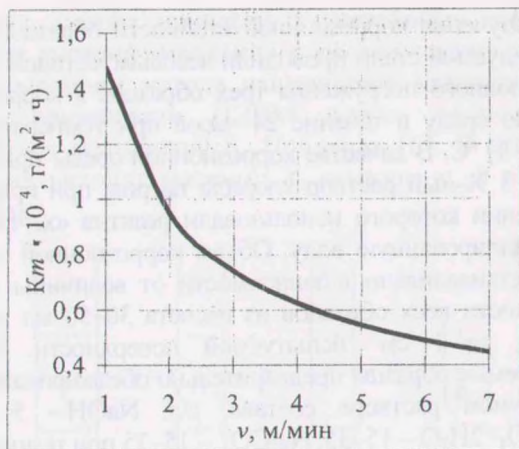
В результате реализации матрицы планирования была разработана модель влияния параметров иглофрезерования на коррозионную стойкость стали 12ХН3А

$$K_m = 0,0024v^{-0,583} S^{-0,107} t^{-0,503}.$$

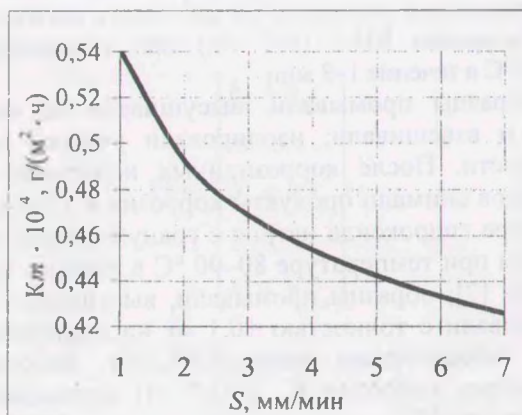
Анализ разработанной модели свидетельствует о том, что увеличение всех параметров режима иглофрезерования способствует повышению коррозионной стойкости стали 12ХН3А. Одномерные сечения функции отклика, соответствующие разработанной модели, изображены на рис. 4.

Рост коррозионной стойкости после иглофрезерования объясняется тем, что на гладкой поверхности формируется более плотная и однородная пленка оксидов, защищающих металл от коррозии.

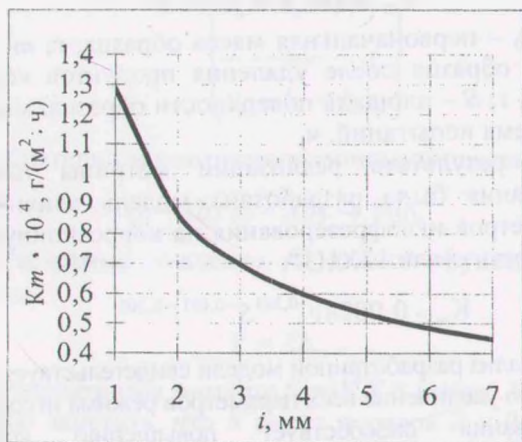
Сглаживание неровностей исходной поверхности приводит к заполнению впадин микро рельефа, устранению рисков, царапин, микро трещин, где концентрируются и откуда начинают разрушающее действие вещества, вызывающие коррозию; в результате коррозионная стойкость повышается. При образовании пленок на поверхности имеет значение соответствие кристаллографической структуры металла и пленки.



а



б



в

Рис. 4. Одномерные сечения функций отклика влияния параметров режима иглофрезерования на коррозионную стойкость:
а – скорость резания, б – продольная подача, в – натяг

Скорость коррозии максимальна на дефектах структуры, переходных областях и границах путей проникновения коррозионных сред внутрь

металла. Образование наклепа до определенного предела на поверхности стали способствует завальцовыванию поверхностных микротрещин. В этих условиях наклепанный поверхностный слой может обладать достаточно высокой коррозионной стойкостью [9].

Таким образом, установлено, что иглофрезерование позволяет повысить коррозионную стойкость стали 12ХН3А за счет формирования определенной микрогеометрии и наклепа обработанной поверхности.

Разработанная математическая модель позволяет прогнозировать, управлять и оптимизировать параметры режима иглофрезерования с целью повышения коррозионной стойкости деталей из исследованной марки стали.

Литература

- Кулаков, Ю. М. Отделочно-зачистная обработка деталей / Ю. М. Кулаков, В. А. Хрульков. – М.: Машиностроение, 1979. – 216 с.
- Салуквадзе, В. С. Иглофрезерная обработка поверхности металлов / В. С. Салуквадзе, В. М. Коптев // Экспресс-информация, Сер. ХМ-9. – М.: ЦНИТИхимнефтемаш, 1986. – № 2. – С. 8.
- Салуквадзе, В. С. Изменение свойств в поверхностном слое сплавов при иглофрезерной обработке / В. С. Салуквадзе, И. А. Другова // Расчет, сооружение и эксплуатация магистральных газопроводов. – М.: ВНИИСТ, 1980 – С. 93–102.
- Ящерицын, П. И. Планирование эксперимента в машиностроении / П. И. Ящерицын, Е. И. Махаринский. – Минск: Высш. шк., 1985. – 286 с.
- Баршай, И. Л. Обеспечение качества поверхности и эксплуатационных характеристик деталей при обработке в условиях дискретного контакта с инструментом / И. Л. Баршай. – Минск: УП Технопринт, 2003. – 246 с.
- Поллард, Д. Справочник по вычислительным методам статистики / Д. Поллард; пер. с англ. В. С. Занадворова. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 344 с.
- Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы, сплавы, покрытия металлические. Методы удаления продуктов коррозии после коррозионных испытаний: ГОСТ 9.907-83. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 9 с.
- Единая система защиты от коррозии и старения. Методы коррозионных испытаний. Общие требования: ГОСТ 9.905-82. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 5 с.
- Ящерицын, П. И. Чистовая обработка деталей в машиностроении / П. И. Ящерицын, А. Н. Мартынов. – Минск: Наука, 1983. – 210 с.