

# ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

# 3

1989

# МАШИНОСТРОЕНИЕ

СОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ

О ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
Государственного комитета СССР  
по народному образованию

раздел  
**МАШИНОСТРОЕНИЕ**

не освещаются результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных работниками высших учебных заведений и научных учреждений, по разработке и конструированию машин, энергетическому и транспортному машиностроению, технологии машиностроения, организации экономики машиностроительного производства; материалы научных конференций, симпозиумов, рассчитан на преподавателей, аспирантов и научных работников высших учебных заведений, научно-исследовательских учреждений, конструкторских и проектных организаций.

Число номеров в год — 12 номеров в год.  
Распространяется только по подписке.  
Подписная цена на год — 18 рублей.

Журнал принимается без ограничения всеми отделениями, конторами, отделениями и агентствами печати, а также общественными уполномоченными на предмет высших учебных заведений, учреждений и организаций.

Для подписки необходимо ссылаться на индекс 70370 «Юношечка».

тавный редактор), В. И. Красненьков (зам. главного  
 кнев (зам. главного редактора), М. П. Александров,  
 А. Алфутов, Г. Ф. Баладин, С. И. Богомолов,  
 Г. Бургвиц, И. В. Валишвили, А. Г. Григорьянц,  
 Г. Домбровский, В. И. Комиссаров, Е. Н. Ланской,  
 Минкевич, Г. А. Николаев, Е. А. Попов, А. С. Про-  
 н, Д. Н. Ренетов, С. Г. Роганов, В. И. Усюкин,  
 Я. Е. Фаробин, К. В. Фролов

твенный секретарь А. И. СЫЧКОВА  
 Корректор И. Е. ПАВЛОВА

(АНИЕ МВТУ им. Н. Э. Баумана

Адрес редакции:

2-я Бауманская, 5, МВТУ им. Н. Э. Баумана  
 Тел. 267-03-54

СТИЯ ВУЗОВ. МАШИНОСТРОЕНИЕ»

$$\alpha(t = 60/n_{\lambda}) = \sqrt{\frac{4\pi}{h} S_n S_{\text{вп}} \left( \frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_{\lambda}} \right)} - \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_{\lambda}} \right) S_{\text{вп}}^2. \quad (19)$$

Таким образом, обработка ФТ состоит из  $N$ -го числа временных циклов, каждый из которых включает время резания  $t_p$ , определяемое по (18), и время холостого хода  $t_{\text{хх}}$ , обусловленное выходом одного режущего лезвия из контакта раньше, чем вступает другое. В течение  $t_p$  толщина срезаемого слоя — величина переменная, она увеличивается от нуля до максимума за первый оборот детали после контакта, а затем постепенно уменьшается до нуля.

На рис. 3 представлена зависимость  $a = a(t)$  при ФТ с различным числом режущих лезвий инструмента. Очевидно, что условия резания улучшаются с увеличением числа режущих лезвий, так как выравнивается нагрузка на инструмент по времени. При определении ТСС при ФТ цилиндрических поверхностей тел вращения получено выражение, аналогичное (17). Совпадение результатов объясняется принятым выше допущением  $R_x = (R_2 + R_1)/2$ . Численные расчеты показали, что использование данного допущения дает удовлетворительные значения по точности при условии, что длина торцовой поверхности не превышает 20% от габаритов детали.

**Выводы**

1. ТСС при ФТ торцовых и цилиндрических поверхностей тел вращения может определяться по одной зависимости (17).
2. ТСС уменьшается по величине и по времени с увеличением числа режущих лезвий.

Статья поступила 8 февраля 1988 г.

621.914.1

**ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИЕМ**

Асп. А. Л. АБУГОВ, канд. техн. наук, доц. И. Л. БАРШАН

*Приводятся результаты исследований влияния параметров режима иглофрезерования на микротвердость поверхности детали и глубину упрочненного слоя. Представлены модели репрессивного анализа, полученные в результате реализации центрального композиционного ортогонального плана. Приведено решение контрольной задачи по определению параметров режима обработки для получения максимальной микротвердости поверхности при заданной глубине упрочненного слоя.*

К одной из физико-механических характеристик качества обработанной поверхности детали относится микротвердость. Было проведено исследование влияния параметров режима иглофрезерования на эту характеристику качества поверхности детали и глубину упрочненного

максимальную микротвердость поверхности при заданной глубине упроченного слоя.

Трубные детали в состоянии поставки из стали Ст. 10 (ГОСТ 1050-74) диаметром 22 мм обрабатывались иглофрезой диаметром 150 мм, шириной рабочей части 22 мм, при вылете игл соответственно 14 и 0,32 мм. Иглофреза была установлена на универсально-фрезерном станке модели 6М82. Использовались специальные устройства и делительная головка с гитарой зубчатых колес. С помощью специального устройства вращательное движение от шпинделя станка передавалось на оправку иглофрезы, инструмент устанавливался по упругой схеме и прижимался к обрабатываемой поверхности пружиной [1]. Делительная головка сообщала детали вращение. Жесткость пружины составляла 20 кН/м.

Чтобы определить влияние параметров режима обработки на характеристики поверхностного упрочнения, применяли центральный композиционный ортогональный план (ЦКОП) [2]. Интегралы варьирования факторов составляли (в скобках приведено кодированное обозначение фактора): скорость резания  $V(X_1)$ —1—4 м/с, продольная подача  $S_{пр}(X_2)$ —2,5—10 мм/об, круговая подача  $S_{кр}(X_3)$ —23—74 мм/с, усилие прижатия иглофрезы к обрабатываемой поверхности  $P(X_4)$ —150—250 Н. Микротвердость измеряли на приборе «Akashi-MVK» вдавлившем алмазного наконечника под действием нагрузки 0,245 Н. Исходная микротвердость составляла  $H_{П0,0,245} = 1500$ —1550 МПа.

В результате реализации ЦКОП были получены модели регрессионного анализа второго порядка

$$H_{П} = 1660,33 - 48,85X_3 + 139,2X_4 + 63,75X_1X_4 - - 66,25X_2X_3 + 218,4X_1^2 + 94,9X_4^2; \quad (1)$$

глубины упроченного слоя  $h$

$$h = 0,0414 - 0,0115X_1 - 0,0122X_3 + 0,0165X_4 - 0,0209X_1X_2 - - 0,0216X_1X_3 + 0,0366X_1X_4 - 0,0176X_2X_3 - 0,0276X_3X_4 + 0,0815X_1^2. \quad (2)$$

После перехода от безразмерных значений факторов к натуральным (1) и (2) приняли вид:

$$H_{П} = 3536 - 10,9V + 33,5S_{пр} + 39,98S_{кр} - 14,5P + 0,014VP - - 11,47S_{пр}S_{кр} + 0,027V^2 + 0,038P^2; \quad (3)$$

$$h = 9,7 \cdot 10^{-2} - 3,93 \cdot 10^{-3}V + 1,82 \cdot 10^{-2}S_{пр} + 1,06 \cdot 10^{-1}S_{кр} + + 1,56 \cdot 10^{-4}P - 6,18 \cdot 10^{-5}VS_{пр} - 1,56 \cdot 10^{-4}VS_{кр} + 8,14 \cdot 10^{-6}VP - - 3,05 \cdot 10^{-3}S_{пр}S_{кр} - 3,58 \cdot 10^{-1}S_{кр}P - 10^{-6}V^2. \quad (4)$$

Адекватность полученных моделей подтверждается критерием Фишера при 5%-ном уровне значимости.

Анализ (3) и (4) показал, что с увеличением скорости резания микротвердость поверхности  $H_{П0,245}$  и глубина упроченного слоя  $h$  первоначально снижается, а затем растет (рис. 1). Это объясняется тем, что первоначально с ростом скорости резания повышается температура в зоне контакта иглофрезы — поверхность детали. Степень влияния температурного фактора при малых скоростях резания значительно превышает влияние силового (ударного) фактора. Дальнейшее увеличение скорости резания способствует преобладанию ударного воздействия игл на поверхность детали в момент относительного контакта, что приводит

к росту микротвердости поверхности и глубины упрочненного слоя. Характер воздействия подавленных угл инструмента на обрабатываемую поверхность детали с повышением скорости резания близок к явлениям, возникающим при упрочняющей обработке щетками. Увеличение продольной и круговой подач практически не изменяет положения минимума  $H_{0.025}$  и незначительно смещает минимум  $h$  в сторону больших значений скорости резания. Увеличение усилия прижатия углофрезы к обрабатываемой поверхности несколько смещает минимум  $H_{0.025}$  и  $h$  в области меньших скоростей резания.

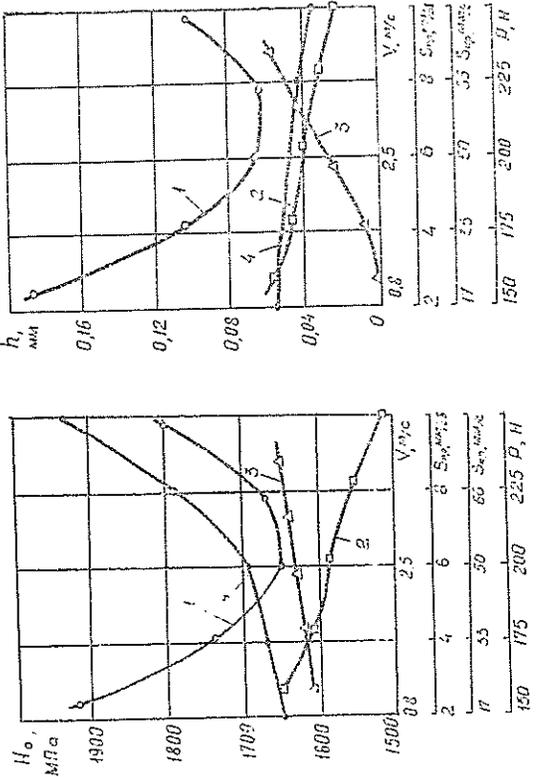


Рис. 1. Зависимость микротвердости поверхности (а) и глубины упрочненного слоя (б) от скорости резания (1), продольной подачи (2), круговой подачи (3), усилия прижатия углофрезы к обрабатываемой поверхности (4): 1 —  $S_{kr}=2.5$  мм/об,  $S_{kr}=74$  мм/с,  $P=150$  Н; 2 —  $V=2.5$  м/с,  $S_{kr}=74$  мм/с,  $P=150$  Н; 3 —  $V=2.5$  м/с,  $S_{kr}=2.5$  мм/об,  $P=150$  Н; 4 —  $V=2.5$  м/с,  $S_{kr}=2.5$  мм/об,  $S_{kr}=74$  мм/с

Зависимость  $H_{0.025} = f(S_{kr})$  является монотонной, однако в зависимости от величины круговой подачи может быть как возрастающей, так и убывающей. При малых значениях круговой подачи указанные зависимости возрастающая, при значениях в средней части исследуемой области (приблизительно  $S_{kr} = 49$  мм/с) микротвердость поверхности практически не изменяется с увеличением продольной подачи; при больших значениях  $S_{kr}$  — убывающая зависимость. Аналогичен характер изменения микротвердости поверхности от круговой подачи; при малых значениях продольной подачи ( $S_{kr} = 2.5$  мм/об) зависимость возрастает, с дальнейшим увеличением продольной подачи зависимость приобретает монотонно убывающий характер. Указанный характер зависимостей объясняется взаимным влиянием продольной и круговой подачи на протяженность траектории движения режущего конца углы по поверхности детали и положение углы во время этого движения. Скорость резания и усилие прижатия углофрезы к обрабатываемой поверхности не оказывают влияния на характер зависимостей  $H_{0.025} = f(S_{kr})$  и  $H_{0.025} = f(S_{kr})$ .



увеличение угла наклона приводит к увеличению скорости резания, продольная и круговая подача не оказывают влияния на характер изменения зависимости  $H_{Г,0,25} = f(P)$ .

Зависимость  $h = f(P)$  при малых скоростях резания монотонно убывает, с увеличением скорости резания возрастающая. Остальные параметры режима обработки не оказывают влияния на характер изменения зависимости  $h = f(P)$ .

В пределах интервалов варьирования факторов микротвердость поверхности детали составляет 1600—2560 МПа при глубине упрочненного слоя 0,01—0,24 мм.

Для определения параметров режима обработки, обеспечивающих достижение максимальной микротвердости поверхности при заданной глубине упрочненного слоя, была решена компримиссная задача с наименьшим методом неопределенных множителей Лагранжа [3].

Составлялась вспомогательная функция

$$F(X_1, X_2, X_3, X_4, \lambda_1, \lambda_2) = H_0(X_1, X_2, X_3, X_4) + \quad (5)$$

$$+ \lambda_1 (h(X_1, X_2, X_3, X_4) - h) + \lambda_2 (X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + X_4^2 - \rho^2)$$

В (5)  $H_0(X_1, X_2, X_3, X_4)$  и  $h(X_1, X_2, X_3, X_4)$  — соответственно (1) и (2);  $\rho$  — радиус сферы, ограничивающей исследуемую область;  $\lambda_1, \lambda_2$  — вспомогательные переменные. Дифференцируя вспомогательную функцию (5) по переменным  $X_1, X_2, X_3, X_4, \lambda_1, \lambda_2$ , получили систему нелинейных уравнений, корни которой находили методом Ньютона [4].

Для решения компримиссной задачи была разработана программа на языке FORTRAN-IV, реализованная в подсистеме диалоговой обработки системы виртуальных машин (ПДО СВМ) на ЭВМ ЕС-1035. Блок-схема алгоритма программы приведена на рис. 2.

В результате расчетов установлено, например, что максимальная микротвердость поверхности при глубине упрочненного слоя  $h = 0,05$  мм составляет  $H_0 = 1710$  МПа и достигается при следующих параметрах режима обработки:  $V = 2$  м/с,  $S_{г,р} = 5,4$  мм/об;  $S_{г,р} = 23$  мм/с,  $P = 192$  Н, а максимальная микротвердость поверхности при глубине упрочненного слоя  $h = 0,1$  мм составляет  $H_0 = 2160$  МПа и достигается при  $V = 1$  м/с,  $S_{г,р} = 10$  мм/об,  $S_{г,р} = 23$  мм/с,  $P = 250$  Н.

### Выводы

1. Установлено, что при иглофрезеровании и упругой схеме установки иглофрезы степень упрочнения поверхности детали составляет до 70% при глубине упрочненного слоя 0,01—0,24 мм.
2. Отмечен целнейный характер изменения характеристик поверхностного упрочнения в зависимости от параметров режима иглофрезерования.
3. Установлено, что характер изменения характеристик поверхностного упрочнения существенно зависит от эффектов взаимодействия параметров режима обработки.
4. Показано, что возможно технологическое управление сочетаниями характеристик поверхностного упрочнения с помощью параметров режима обработки.

