

В результате обработки экспериментальных данных по методу наименьших квадратов получена расчетная формула (1) зависимости глубины наклепанного слоя от режимов резания.

$$\hat{h} = \frac{0,263}{\sqrt{0,70 s_{0,09} d_{0,02}}} \quad (1)$$

Установлено, что наибольшее влияние на глубину наклепа поверхностного слоя стали 12Х21Н5Т оказывает скорость резания (рис. 2). При увеличении ее от 5 до 10 м/мин повышается температура резания, что приводит к разупрочнению поверхностных слоев, и глубина наклепа уменьшается от 100 до 68 мкм. Увеличение подачи и диаметра сверла в исследуемых пределах незначительно влияет на изменение глубины наклепанной поверхности, так как в этом случае температура в зоне резания повышается меньше, чем при увеличении скорости резания. Следовательно, ее разупрочняющее действие меньше и глубина наклепа уменьшается менее интенсивно. Полученные данные хорошо согласуются с результатами исследований [1].

Таким образом, изменяя скорость резания при сверлении стали 12Х21Н5Т от 5 до 10 м/мин и подачу от 0,05 до 0,13 мм/об, а, следовательно, силы и температуру в зоне резания, можно получить глубину наклепа поверхностного слоя в пределах 50—100 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Я к о б с о н М.О. Шероховатость, наклеп и остаточные напряжения при механической обработке. — М., 1956.

УДК 621.919.1

Н.И.ЖИГАЛКО

ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СКОРОСТНОГО ПРОТЯГИВАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Протягивание, как высокопроизводительный и сравнительно точный процесс обработки, получает все более широкое распространение. Особенно эффективным является его применение при обработке деталей сложных профилей, изготовленных из нержавеющей, жаростойких и жаропрочных труднообрабатываемых сталей

и сплавов. Однако обработка указанных материалов до настоящего времени осуществляется фрезерованием, шлифованием и в отдельных случаях протягиванием с низкими скоростями резания (v до 1...5 м/мин).

Повышение скоростей резания до 30...50 м/мин является одним из резервов повышения производительности процесса протягивания и уменьшения шероховатости протянутой поверхности (до 7...8 класса), а также открывает возможности широкого использования более износостойких твердосплавных протяжек. В связи с этим были проведены исследования основных характеристик процесса скоростного протягивания представителей основных групп труднообрабатываемых сталей и сплавов (30ХГСА, 70СЗА, 20ХЗМВФ (ЭИ415), 2Х13 (ЭЖ2), 4Х12Н8Г8МФБ (ЭИ481), 3Х19Н9МВТ (ЭИ572), ВТ8, ЖС6К) с НВ до 300...400 даН/мм². Опыты осуществлялись на скоростных протяжных станках и стендах конструкции СКБ ПС в широком диапазоне скоростей резания ($v = 1...100$ м/мин) и толщины среза (подъемов на зуб протяжки $s_z = 0,01...0,2$ мм).

Передние и задние углы зубьев протяжек изменялись в широких пределах: $\gamma = -15...+20^\circ$, $\alpha = 30^1...7^\circ$. Протягивание производилось быстрорежущими (Р18, Р6М5, Р9К5Ф2, Р18Ф2К8М) и твердосплавными (Т5К12В, Т5К10, Т14К8, ВК6М, ВК100М, ВК15М) протяжками. Обработка осуществлялась как всухую, так и с использованием при низких скоростях протягивания СОЖ со смазывающими, а при высоких — с охлаждающими свойствами.

Опыты производились с использованием однофакторного и многофакторного эксперимента. В результате выполнения комплексных экспериментов были измерены составляющие сил резания P_z , P_y , P_x , определен уровень температур в зоне резания, установлен характер износа и уровень скоростей протягивания, изучены основные характеристики качества протянутой поверхности (шероховатость, микротвердость, напряжения) и влияние СОЖ на указанные характеристики, а также исследован процесс срезания и размещения стружки в канавках протяжки.

Ниже в качестве примера приводятся уравнения регрессии для расчета температуры резания $T^\circ\text{C}$ и тангенциальной составляющей силы резания P_z при протягивании сплава на никелевой основе ЖС6К:

$$T = 698,8 - 78,9X_1 + 61,3X_2 - 48,4X_3 - 10X_1X_2 - 162,5X_1X_3 + 50X_2X_3 - 106,6X_1^2 - 99,7X_2^2 + 50,04X_3^2;$$

$$P_z = 60,1 - 25,4X_1 + 21,25X_2 + 30,5X_3 - 18,8X_1X_2 - \\ - 13,3X_1X_3 + 19,8X_2X_3 + 28,9X_1^2 + 55,2X_2^2 - 12,8X_3^2,$$

где X_1, X_2, X_3 — независимые переменные v, s_z, γ в нормализованном виде.

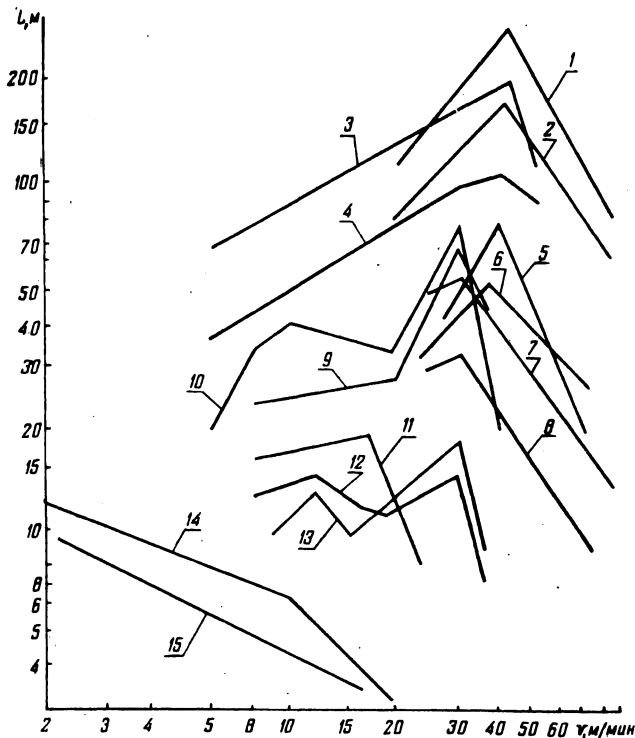


Рис. 1. Зависимость линейной стойкости протяжек от скорости резания при обработке жаропрочных материалов при $s_z = 0,05$ мм:

1, 2, 9 — сталь 2Х13 протяжками из Т5К10, Т5К12В и Р18Ф2К8М; 3, 4 — сплав ВТ8 протяжками из ВК6М и ВК8; 5, 6, 12, 13 — сталь ЭИ415 протяжками из Т14К8, Т5К10, Р18 и Р9К5Ф2; 7, 8, 11 — сталь ЭИ572 протяжками из Т14К8, Т5К10 и Р18К5Ф2; 10 — сталь 70С3А протяжкой из Р18; 14, 15 — сплав ЖС6К протяжками из ВК15М и ВК8.

С увеличением скоростей резания с 1...5 до 30...80 м/мин минутная, или временная, стойкость протяжек из быстрорежущей стали и твердого сплава по аналогии с обработкой конструкционных сталей и чугуна повышенной прочности чаще всего уменьшается.

ется, однако их линейная стойкость (суммарная длина протягивания) при определенных режимах обработки может повышаться.

Из рис. 1 видно, что в зависимости от свойств обрабатываемого материала и режимов обработки наибольшую линейную стойкость ($L = 200, 150, 55, 45, 10$ м) имеют твердосплавные протяжки соответственно при протягивании мартенситной нержавеющей стали 2Х13 (при $v = 40...50$ м/мин), титанового сплава ВТ8 (при $v = 25-50$ м/мин), перлитной стали ЭИ415 ($v = 30...45$ м/мин), аустенитной стали ЭИ572 ($v = 25...40$ м/мин) и литейного сплава на никелевой основе ЖС6К ($v = 2...10$ м/мин). Некоторое увеличение линейной стойкости быстрорежущих протяжек (L до $15...20$ м) наблюдается также при обработке сталей ЭИ415 и ЭИ572 с небольшой толщиной среза (a до $0,05...0,06$ мм).

Кривые зависимости высоты неровностей протянутой поверхности от скорости резания $R_z = f(v)$ (рис. 2) при обработке конструкционных и особенно жаропрочных сталей и сплавов имеют горбообразный характер, что связано в большой степени с образованием нароста, который имеет наибольшие размеры при обработке конструкционных сталей со скоростями протягивания $v = 15...30$ м/мин, а для жаропрочных сталей с повышенными механическими характеристиками скорости уменьшаются до $v = 5...15$ м/мин. Несколько иную форму имеет кривая $R_z = f(v)$ при обработке сталей со структурой зернистого перлита (например, ШХ15). Здесь при малых скоростях протягивания (v до $5...10$ м/мин) на обработанной поверхности имеются поперечные углубления, что связано с разрывами обрабатываемого материала. В целом при высоких скоростях резания ($v > 20...50$ м/мин) шероховатость протянутой поверхности (7—8 класс) практически не зависит от свойств обрабатываемого материала, подъема на зуб и степени износа зубьев протяжки.

По результатам многофакторных экспериментов получены уравнения для расчета высоты неровностей обрабатываемой поверхности. Ниже в качестве примера приводится уравнение в нормализованном виде для сплава ЖС6К:

$$R_z = 2,28 + 0,098X_1 + 0,39X_2 + 0,348X_3 + 0,165X_1X_2 + 0,177X_1X_3 + 0,14X_2X_3 + 0,098X_1^2 + 0,04X_2^2 + 0,45X_3^2 - 0,132X_4^2.$$

Известно, что состояние поверхностного слоя протянутой поверхности (глубина и степень наклепа, микротвердость, остаточные напряжения) оказывает влияние на эксплуатационные свойства деталей машин. С увеличением скорости протягивания уменьшаются микротвердость и глубина наклепанного слоя (рис. 3).

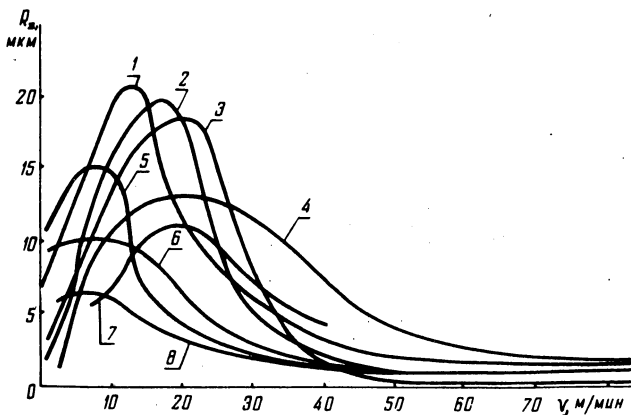


Рис. 2. Зависимость высоты неровностей от скорости резания при протягивании:

1, 2, 3 – стали ЭИ415 при $S_Z = 0,15$; 0,1 и 0,05 мм; 4, 5 – сталей 40 и ЭИ572 при $S_Z = 0,05$ мм; 6 – ЭИ736Ш с $S_Z = 0,05$ мм; 7 – 70С3А при $S_Z = 0,15$ мм; 8 – ВТ8 с $S_Z = 0,1$ мм.

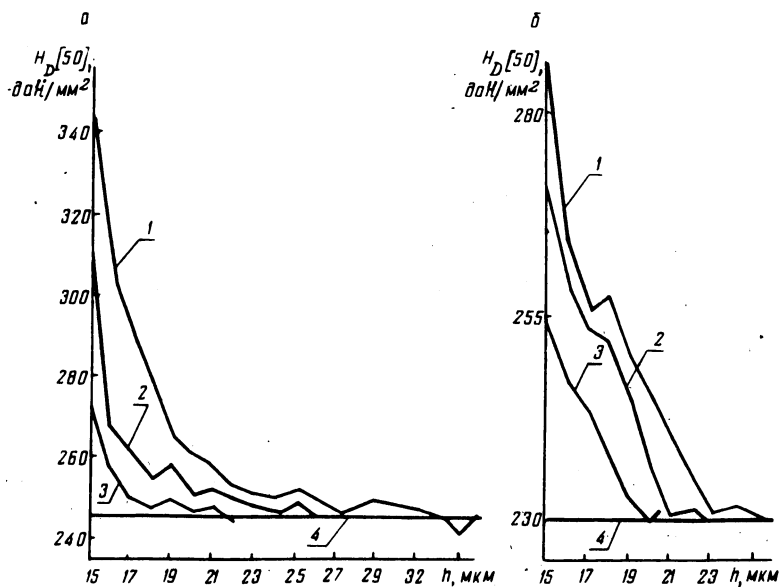


Рис. 3. Зависимость микротвердости и глубины наклепа от скорости протягивания при обработке:

а – стали ЭИ415, б – стали 45 с $S_Z = 0,05$ мм; 1, 2, 3 – при скоростях резания 5, 20 и 60 м/мин; 4 – исходный металл.

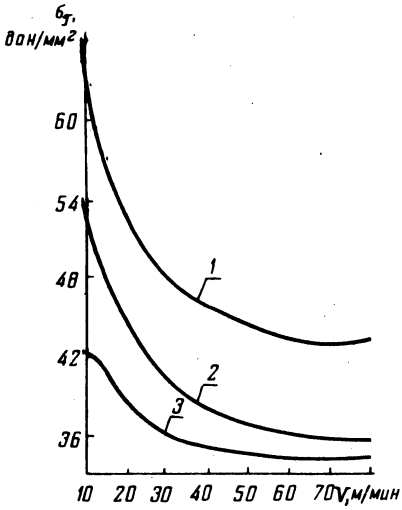


Рис. 4. Влияние скорости резания на величину остаточных напряжений при протягивании с $s_z = 0,05$ мм сталей: 1 – ЭИ415; 2 – 2Х13, 3 – 45.

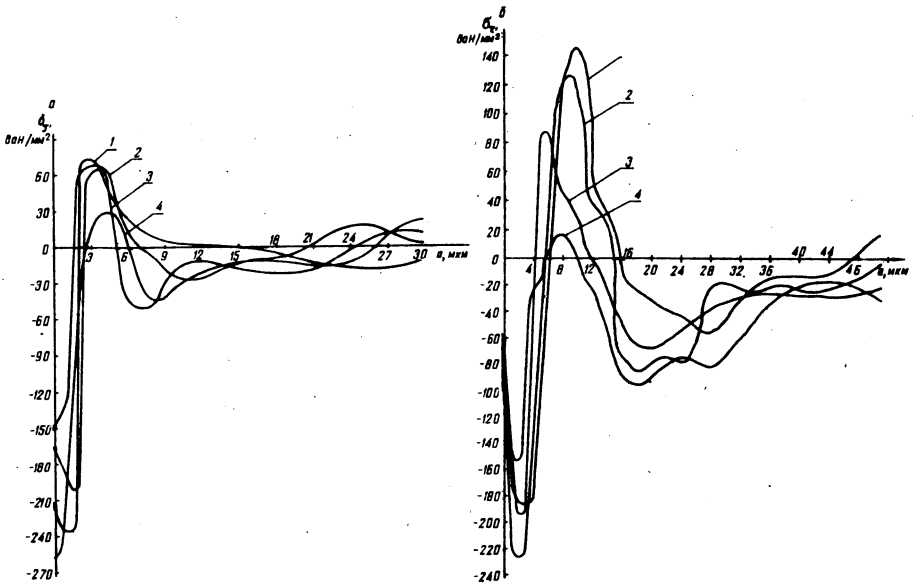


Рис. 5. Остаточные напряжения σ_r на различной глубине протянутой поверхности при обработке с $s_z = 0,06$ мм со скоростями резания: 1, 2, 3, 4 – 20, 10, 5, 2 м/мин : а – стали ЭИ572; б – ЖС6К.

На величину остаточных тангенциальных напряжений, кроме других факторов, большое влияние оказывает скорость резания (рис. 4). С увеличением ее обычно повышается температура в зоне резания и уменьшаются силы резания. Последние оказывают влияние на величину и знак остаточных напряжений, формируемых в поверхностном слое протянутой поверхности. При возрастании скорости резания свыше 10...20 м/мин наблюдается монотонное уменьшение остаточных напряжений. Максимальные по величине напряжения бывают при обработке конструкционных сталей при v до 20...30 м/мин, а для жаропрочных сталей ЭИ415 и 2Х13 — при $v = 10$ и 5 м/мин. К тому же при повышенных скоростях резания (рис. 5) эпюра тангенциальных напряжений характеризуется более глубоким проникновением в металл ветвей растягивающих и сжимающих напряжений, т.е. кривые зависимости величины напряжений σ_{τ} от глубины их проникновения a для повышенных скоростей смещены вправо. Это явление в большей степени наблюдается у сплава ЖС6К по сравнению со сталью ЭИ572, что объясняется повышенными физико-механическими характеристиками сплава по сравнению со сталью.

При исследовании процесса срезания и размещения стружки в канавках протяжки было установлено увеличение наружного диаметра срезаемых стружечных валиков с увеличением скорости резания (рис. 6). В связи с этим при конструировании протяжек для обработки с высокими скоростями резания величину минимального коэффициента заполнения канавок протяжки стружкой следует увеличивать до 4...5.

Полученные данные по комплексным исследованиям всех характеристик процесса скоростного протягивания позволяют сделать следующие выводы.

1. При обработке жаропрочных сталей и сплавов твердосплавными протяжками с повышенными скоростями резания обеспечивается повышение стойкости протяжек.

2. С увеличением скоростей протягивания с 1...5 до 20...60 м/мин обеспечивается уменьшение шероховатости обработанной поверхности с 4...6 по 7...8 класс. Уменьшаются также микротвердость и остаточные напряжения в протянутой поверхности.

3. Твердосплавные протяжки необходимо оснащать более прочными твердыми сплавами марок ВК15М, ВК6М, ВК100М, ТТ7К12, Т5К12В, Т5К10, Т14К8. Зубья следует затачивать и доводить алмазными кругами с $\gamma = 5...10^{\circ}$ и $\alpha = 4...6^{\circ}$ и упрочняющими фасками по передней поверхности $f_n = 0,05...0,2$ мм с $\gamma_{\Phi} = -5...15^{\circ}$ и по задней f_3 до 0,1 мм с $\alpha_{\Phi} = 1-3^{\circ}$. Подъемы на черновые зубья протяжек не должны превышать $s_z = 0,02...0,08$ мм.

Размеры стружечных (междузубых) канавок следует рассчитывать с учетом минимального коэффициента заполнения $K = 4...5$.

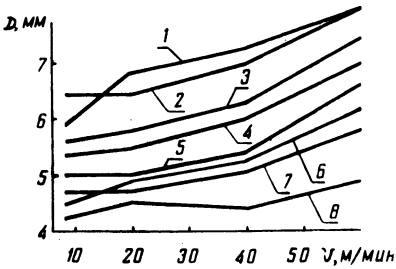


Рис. 6. Зависимость изменения диаметра стружечного валика от скорости резания при $S_Z = 0,1$ мм, $v = 60$ м/мин и при различных размерах стружечных канавок:
 1, 3, 4, 6 — сплав ЖС6К с $h = 7, 6, 5, 4$ мм; 2, 5, 7, 8 — сталь ЭИ572 с $h = 7, 6, 5, 4$ мм.

Рекомендуется по возможности применять протяжки со свободным отводом стружки. Последние имеют повышенную стойкость по сравнению с обычными. Для восприятия ударной нагрузки первые один-два зуба протяжек делаются усиленными с увеличенным в 1,2...1,5 раза шагом.

УДК 621.933.015

В.И.ШАГУН, В.Г.СОЛОНЕНКО

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ МАШИННЫХ МЕТЧИКОВ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЗЬБЫ В ЧУГУНЕ

Шероховатость поверхностей резьбы сказывается на износостойкости резьбовых пар движения, жесткости стыков скрепляемых деталей и других показателях работоспособности узлов машин. Поэтому изыскание путей управления шероховатостью практически важно. С целью решения этой задачи выполнены эксперименты по изучению влияния параметров конструкции метчика на шероховатость боковых поверхностей нарезаемой им резьбы.

Сквозную резьбу М16х2 длиной 25 мм в образцах из чугуна СЧ 18—36 нарезали на вертикально-сверлильном станке 2А125 методом самозатягивания со скоростью 10 м/мин с применением керосина в качестве СОЖ. Метчики четырехперые разных конструкций, а именно, метчики генераторной схемы резания: тип А — затылованные по профилю на всей ширине пера; тип Б — затылованные по профилю на 2/3 ширины пера; тип М — с бочкообразными зубьями на ведущей части [1] на базе метчиков типа А;