

М 534920  
Министерство высшего и среднего специального образования СССР  
Московское  
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени  
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

САМОФАЛОВ Юрий Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ НАРУЖНОГО ПРОТЯГИВАНИЯ СТАЛЕЙ  
БЫСТРОРЕЗУЩИМИ ПРОТЯЖКАМИ

( 05.03.01. — Процессы и машины обработки мате-  
риалов резанием; автоматические линии )

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена  
Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им.  
Н.Э.Баумана

Научный руководитель - кандидат технических наук  
доцент ПОКРОВСКИЙ В.П.

Официальные оппоненты: - доктор технических наук  
профессор ПОДУРАЕВ В.Н.  
кандидат технических наук  
доцент ДОБРОНОВИЧ К.В.

Ведущее предприятие: - Липецкий тракторный завод

Защита состоялась " " "

на  
по  
уч  
ски  
по  
им

1978 г.  
в К 053.15.15  
го технического  
05, 2-я Бауман-  
грах, заверенные  
теке МВТУ

1978 г.

М 334980

МЕЩЕРЯКОВ Р.К.

Актуальность проблемы. Повышение эффективности производства, улучшение качества труда и выпускаемой продукции является одной из главных задач десятой пятилетки. Решение ее связано с дальнейшим развитием и совершенствованием машиностроения - основы технического перевооружения всех отраслей народного хозяйства. Особое внимание при этом уделяется созданию уникальных станков, расширению производства металлообрабатывающего инструмента, внедрению высокоэффективных технологических процессов. В обработке металлов резанием к таким процессам относится протягивание.

Процесс протягивания легко автоматизировать, что особенно важно в связи с переходом к комплексной механизации и автоматизации производственных процессов. Возможность изготовления деталей сложной конфигурации, получение высокого класса точности и требуемой шероховатости обработанной поверхности, высокая производительность - все это расширяет область применения протяжек и требует более глубокого изучения процесса наружного протягивания и, в первую очередь, вопросов повышения эксплуатационных свойств инструмента.

Основным резервом повышения производительности процесса протягивания является применение для изготовления режущего инструмента новых марок быстрорежущей стали, отличающихся повышенными значениями теплостойкости, износостойкости и прочности, лучшими технологическими свойствами.

Целью работы является разработка научно обоснованных рекомендаций по выбору марок быстрорежущей стали для изготовления протяжного инструмента повышенного качества, назначение рациональных режимов его эксплуатации с учетом требований к точности размеров и шероховатости обработанной поверхности.

Методы исследования. В работе применена методика комплексного исследования процесса наружного протягивания, включающая изучение линейного износа, износа по массе и интенсивности изнашивания инструмента, параметров шероховатости обработанной поверхности и точности протягиваемых пазов, зоны стружкообразования и микротвердости обработанной поверхности с применением универсальной контрольно - измерительной аппаратуры и созданных специальных приспособлений. Математическая обработка результатов экспериментов проводилась с использованием

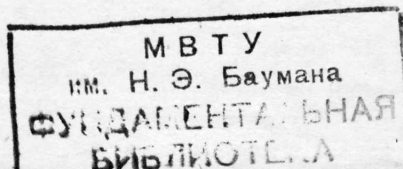


теории вероятности и математической статистики.

Научная новизна работы заключается в разработке методики комплексного исследования эксплуатационных свойств протяжек из различных быстрорежущих сталей применительно к наружному протягиванию. В результате проведенных исследований определены вид и характер износа, изучено влияние химического состава быстрорежущей стали и отдельных легирующих элементов на режущие свойства протяжек в условиях свободного и несвободного резания. Установлено влияние режимов резания, степени изношенности режущих лезвий и наростообразования на состояние обработанной поверхности и точность протягиваемых пазов, показана роль нароста при срезании тонких стружек. Экспериментально выявлены и математически описаны зависимости стойкости и пути резания от скорости резания для протяжек из двенадцати исследованных марок стали в диапазоне скоростей  $U = 1,5 \dots 9,0$  м/мин. Даны научно обоснованные рекомендации по выбору марок стали для изготовления протяжек повышенного качества и режимов резания с учетом обеспечения заданных параметров шероховатости при обработке конструкционной стали 45.

Практическая ценность. В работе доказана возможность дальнейшего повышения производительности процесса наружного протягивания и качества обработанной поверхности. Даны рекомендации по выбору марок стали для изготовления протяжного инструмента, работающего в условиях свободного и несвободного резания. Исследованы режущие свойства и установлены рациональные условия эксплуатации протяжек из быстрорежущей стали марок: P18, P12Ф3, P12Ф2К8М3, P12Ф3К10М3, P12Ф5М, P9М4К8, P9Ф5, P9К10, P8МЗК6С, P6Ф2К8М5, P6М5, P6М5К5. Получены формулы для расчета стойкости протяжек в диапазоне скоростей резания  $U = 1,5 \dots 9,0$  м/мин. Полученные стойкостные зависимости будут использованы ОРГПРИМИНСТРУМЕНТОМ Министерства станкостроительной и инструментальной промышленности при разработке нормативов по режимам резания.

Апробация работы. Основные разделы работы доложены и обсуждены на научных семинарах кафедры "Теория механической обработки и инструментов" МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1975-1977 гг., на XXVIII и XXIX научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Ядановского металлургического ин-



ститута в 1977 и 1978 гг., на республиканском семинаре "Прогрессивные конструкции режущего инструмента" в 1976 г. (г. Киев), на республиканской научно-технической конференции "Прогрессивные методы обработки металлов режущим инструментом" в 1976 г. (г. Еланов), на республиканском научно-техническом семинаре "Оптимизация процессов резания труднообрабатываемых материалов лезвийным инструментом" в 1978 г. (г. Еланов).

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов по главам и общих выводов, содержит 118 страниц машинописного текста, 86 рисунков и 26 таблиц. В списке используемой литературы 112 наименований.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

#### Литературный обзор. Цель и задачи исследования. (Глава I)

Анализ опубликованных работ по исследованию процесса наружного протягивания конструкционных материалов показал, что режущие свойства протяжного инструмента, с целью определения оптимальных марок стали для конкретных условий эксплуатации, мало изучены, а из некоторых марок W-Mo-V-Co группы в этом аспекте вообще не рассматривались.

В условиях непрерывного роста требований к точности размеров и качеству поверхностей деталей машин, получаемых протягиванием, представляют несомненный интерес исследования закономерностей износа и стойкости протяжек, изготовленных из быстрорежущих сталей различного химического состава. Использование при этом новых методических приемов позволит более глубоко раскрыть физическую сущность процесса изнашивания.

На основании анализа литературных данных поставлены задачи настоящего исследования:

1. Разработать методику комплексного исследования износостойкости наружных протяжек.

2. Создать специальную экспериментальную установку по обеспечению проведения данных исследований.

3. Изучить влияние содержания легирующих элементов на режущие свойства протяжек; исследовать стойкость протяжек из быстрорежущих сталей с различным содержанием вольфрама и с добавками кобальта, молибдена, ванадия и кремния.

4. Установить характер влияния режимов резания и степени изношенности режущих лезвий на шероховатость и микротвердость

обработанной поверхности, а также на точность получаемых размеров.

5. Влияние экономической эффективности использования быстрорежущей стали различных марок для изготовления наружных протяжек повышенного качества.

#### Методика и оснастка для экспериментальных исследований

(Глава 2). Для исследований выбраны 12 марок быстрорежущей стали: P18, P1243, P1242K8M3, P1243K10M3, P1245M, P9M4K8, P9K10, P945, P6M3K6C, P642K6M5, P6M5, P6M5K5. Марки стали подобраны по химическому составу в соответствии с установленным при исследовании режущих свойств других инструментов или ожидаемым положительным влиянием на износостойкость включенных в них легирующих элементов.

Протяжки изготовлены на Московском инструментальном заводе, термообработка их проведена под контролем ИЗЛ. Геометрические параметры режущих зубьев, параметры режима заточки и характеристики кругов выбраны в соответствии с нормативными рекомендациями ВНИИ и НИИТАвтопрома.

В качестве обрабатываемого материала использовалась наиболее распространенная в машиностроении конструкционная сталь 45.

Стойкостные исследования протяжек проводились на вертикально-протяжном станке мод. 775 с тяговым усилием 0,1 Мн, оснащенном специально спроектированными и изготовленными приспособлениями для крепления секций протяжки и автоматической подачи заготовки. Это позволило проводить параллельно исследование износостойкости девяти протяжек из различных марок стали, работающих в условиях свободного и несвободного резания, при работе станка в режиме непрерывного цикла.

Измерение и фотографирование износа осуществлялось при помощи приспособления, выполненного на базе инструментального микроскопа МИР-1 и микрофотонасадки МФН-4. Перед началом каждой серии экспериментов зубья протяжки фотографировались со стороны задней поверхности по главному и вспомогательным режущим лезвиям для сопоставления степени изношенности поверхностей в процессе работы.

В качестве СОЖ использовался сульфидфрезол с расходом 18-20 л/мин.

Основная серия экспериментов по исследованию износостойкости протяжек из быстрорежущих сталей различного химического состава проведена при скоростях резания  $V = 1,5; 3,0; 5,0; 7,0; 9,0$  м/мин и подъемах на зуб  $S_z = 0,1$  мм.

Измерение параметров шероховатости обработанной поверхности в поперечном и продольном направлениях осуществлялось на профилографе-профилометре мод. 201 завода "Калибр".

Степень наклепа поверхностного слоя оценивалась по изменению микротвердости поверхности после обработки на приборе ПМТ-3.

### Исследование стойкости протяжек. (Глава 3).

Анализ результатов измерения параметров износа по всем лезвиям, шероховатости обработанной поверхности и точности получаемых размеров позволили установить следующие критерии затупления:

1) для протяжек, работающих по схеме свободного резания - величина износа по задней поверхности  $h_3 = 0,3$  мм;

2) для протяжек, работающих по схеме несвободного резания - величина износа по уголку  $h_y = 2,0$  мм.

Для протяжек, изготовленных из двенадцати марок быстрорежущей стали, построены кривые максимального линейного износа по задней поверхности  $h_{3\max}$  от времени резания  $T$ . На основании кривых износа и принятого критерия затупления  $h_3$  получены функциональные зависимости стойкости  $T$  от скорости резания  $V$ .

Исследования зависимости скорость - стойкость выявили, что с ростом скорости резания стойкость протяжек из всех исследованных марок монотонно убывает.

Зависимость  $T = f_1(V)$  аппроксимирована по методике, предложенной профессором Г.И. Грановским, функцией вида

$$T = a \cdot v^b \cdot e^{cv}, \quad (I)$$

где  $e$  - основание натурального логарифма;

$a$  - постоянный коэффициент, учитывающий влияние различных факторов на стойкость инструмента;

$b, c$  - показатели степени.

Значения  $a$ ,  $b$  и  $c$ , полученные на основании аналитической обработки экспериментальных данных, приведены в табл. I.

Наряду с зависимостями  $T = f_1(V)$ , сравнительный ана-

лиз эксплуатационного ресурса протяжек осуществлен на основе суммарной длины рабочего пути, пройденного лезвиями инструмента до принятого критерия затупления. В отличие от зависимостей скорость - стойкость, функциональные зависимости пройденного пути от скорости резания  $L = v \cdot T = f_2(v)$  имеют ярко выраженный экстремум при скоростях 4...6 м/мин для протяжек из всех исследованных марок стали.

Таблица I

| Марка стали | Постоянный коэффициент | Показатели степени |        |
|-------------|------------------------|--------------------|--------|
|             |                        | a                  | b      |
| PI8         | 714,14                 | -0,0890            | -0,228 |
| PI24B       | 975,25                 | -0,1373            | -0,231 |
| PI2Ф2К8М3   | 427,85                 | -0,0715            | -0,184 |
| PI2Ф3К10М3  | 546,60                 | -0,4060            | -0,104 |
| PI2Ф5М      | 665,35                 | -0,0656            | -0,214 |
| P9M4K8      | 596,50                 | -0,1180            | -0,197 |
| P 9 Ф 5     | 637,50                 | -0,0030            | -0,254 |
| P9K10       | 765,51                 | -0,0079            | -0,215 |
| P8M3K6C     | 606,62                 | -0,0088            | -0,223 |
| P6Ф2К8М5    | 530,53                 | -0,0150            | -0,183 |
| P 6 М 5     | 635,64                 | -0,0036            | -0,223 |
| P6M5K5      | 682,17                 | -0,0079            | -0,228 |

Дополнительная оценка режущих свойств протяжек из исследованных марок стали по сравнению с протяжками из PI8 проведена по изменению коэффициента относительной стойкости при конечной величине износа

$$K' = \frac{T_{Px} - T_{PI8}}{T_{PI8}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $K'$  - коэффициент относительной стойкости, %;

$T_{Px}$ ,  $T_{PI8}$  - стойкость протяжек из исследуемой марки стали и из марки PI8 соответственно.

Исследование режущих свойств протяжек в условиях свободного резания показало следующее: ванадий повышает износостойкость и его оптимальное содержание в стали - 2,2...3,5%; кобальт незначительно улучшает режущие свойства (при  $v \leq 7$  м/мин) молибден положительно влияет на износостойкость при содержании

его в стали I,0...I,5%. Лучшие результаты по износостойкости получены для сталей с содержанием углерода 0,95-0,96%.

Проведены исследования режущих свойств протяжек из сталей марок: P18, P12Ф3, P12Ф3K10M3, P12Ф3M, P9K10, P6Ф2K8M5, P6M5, P6M5K5 в условиях несвободного резания. Получены зависимости стойкости и пути резания от скорости резания для углового перехода протяжек из исследованных марок стали при скоростях протягивания  $V = 3,0; 5,0; 7,0; 9,0$  м/мин. Эти зависимости выражаются уравнением

$$T_y = \frac{C_1}{V^{m_1}}, \quad (3)$$

где  $T_y$  - стойкость протяжек для углового перехода, мин;

$C_1$  - постоянный коэффициент;

$m_1$  - показатель степени.

Значения  $C_1$  и  $m_1$  для исследованных марок стали приведены в таблице 2.

Таблица 2

| Марка<br>стали | $C_1$ | $m_1$ | Марка<br>стали | $C_1$ | $m_1$ |
|----------------|-------|-------|----------------|-------|-------|
| P12Ф3          | 530   | 0,73  | P6Ф2K8M5       | 450   | 0,66  |
| P12Ф3K10M3     | 220   | 0,37  | P 6 M 5        | 196   | 0,44  |
| P12Ф3M         | 287   | 0,60  | P6M5K5         | 345   | 0,54  |
| P9K10          | 378   | 0,67  | P 1 8          | 275   | 0,60  |

Для условий несвободного резания, когда затруднен теплоотвод из зоны резания, более высокую стойкость имели протяжки из сложнолегированных сталей P6Ф2K8M5, P6M5K5, P12Ф3K10M3 и кобальтовой P9K10, основное преимущество которых - более высокая теплопроводность за счет легирования кобальтом. Износостойкость данных сталей была выше, чем ванадиевых во всем исследованном диапазоне режимов резания.

Анализ результатов стойкостных исследований протяжек из быстрорежущей стали различного химического состава позволил определить лучшие марки: кобальтовую P9K10 и ванадиевую P12Ф3 для условий свободного резания, сложнолегированные P6Ф2K8M5 и P6M5K5 - для условий несвободного резания.

Процесс изнашивания характеризуется диспергированием массы изношенной части тела инструмента. Оценивая величину износа только линейными параметрами (измерение максимальной величины

его), невозможно в достаточной степени выявить особенности такого сложного физического процесса, каким является износ рабочей части инструмента. По этой причине степень изношенности протяжек, помимо линейного износа, оценивалась массой изношенной части в мг. Очевидно, режимы резания, при которых изношенная масса инструмента минимальна, и будут являться наиболее экономичными, с точки зрения максимальной суммарной стойкости протяжек, так же, как и стали, имеющие при прочих равных условиях, минимальную изношенную массу.

Масса изношенной части задней поверхности зубьев протяжек  $M_3$  подсчитывалась по формуле

$$M_3 = \frac{1}{2} \lambda_i b \left( \sum_{i=1}^n h_i \right)^2 \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \cos^3 \gamma}{\cos^3(\alpha + \gamma)}, \quad (4)$$

где  $\lambda$  - плотность инструментального материала;

$b$  - длина рабочего участка лезвия инструмента;

$h_i$  - величина линейного износа по задней поверхности в  $i$ -той точке;

$n$  - число замеров линейного износа вдоль лезвия  
( $n = 20 - 25$ );

$\alpha$  и  $\gamma$  - задний и передний углы инструмента.

Для подсчета изношенной массы углового перехода протяжек предложена формула

$$M_y = \frac{1}{3} \lambda_i \cdot l_y^2 \cdot h_y \left( 1 - \frac{\gamma}{4} \right), \quad (5)$$

где  $l_y$  и  $h_y$  - линейные величины износа по угловому переходу.

На основании проведенных измерений, используя формулы (4), (5), определена масса изношенной части инструментального материала как вдоль главного, так и вспомогательных лезвий зубьев протяжек. Получены функциональные зависимости  $M_3 = f(L)$ ,  $M_y = f(L)$ , а также  $M_3 = f(V)$ ,  $M_y = f(V)$  и  $M_{\text{сум}} = f(V)$ .

Зависимости износа по задней поверхности и уголкам от пути резания аппроксимированы формулами вида

$$M_3 = c_2 \cdot L^x; \quad (6)$$

$$M_y = c_3 \cdot L^y. \quad (7)$$

Износ по массе в большинстве случаев возрастает с увеличением пути резания по плавной вогнутой кривой, а зависимости изношенная масса - скорость резания имеют экстремальный ха-

ракти. Установлено, что существуют зоны скоростей, при которых масса изношенного инструментального материала минимальная, причем эти зоны для протяжек из исследованных марок стали различны.

Анализ результатов оценки линейного износа и износа по массе показал, что в большинстве случаев зоны минимального износа по массе соответствуют зонам максимальной производительности по пути резания на графиках  $L = f_2(v)$ . При работе на таких режимах обеспечивается обработка максимального количества деталей за период стойкости инструмента.

В качестве дополнительной оценки режущих свойств быстрорежущих сталей различного химического состава использована интенсивность изнашивания. Интенсивность нарастания изношенной массы выражается первой производной функциональных зависимостей  $M_z = f(L)$  и  $M_y = f(L)$ . Продифференцировав выражения (6) и (7) по  $L$ , получим

$$\frac{dM_z}{dL} = c_2 \cdot x \cdot L^{x-1} = c_4 \cdot L^x; \quad (8)$$

$$\frac{dM_y}{dL} = c_3 \cdot y \cdot L^{y-1} = c_5 \cdot L^y. \quad (9)$$

Формулы (8) и (9) отражают интенсивность нарастания изношенной массы соответственно по задней поверхности и угловому переходу протяжек.

Сравнение кривых на графиках, выражающих функциональные зависимости  $\frac{dM_z}{dL} = f(v)$ ,  $\frac{dM_y}{dL} = f(v)$  и  $L = f_2(v)$ , показало, что зоне максимальной производительности по пути резания соответствуют зоны постоянной интенсивности изнашивания. В такие периоды износ протяжек характеризуется не только минимальным диспергированием инструментального материала, но и равномерностью износа вдоль режущего лезвия с отклонением от средней величины, не превышающей  $\pm 0,02$  мм. Минимальную интенсивность изнашивания углового перехода имели протяжки из сталей Р6Ф2К8М5 и Р6М5К5. Это доказывает необходимость легирования кобальтом сталей, предназначенных для инструмента, работающего при несвободном резании.

Результаты исследования закономерностей линейного износа, износа по массе и интенсивности изнашивания протяжек из исследованных марок стали позволили выявить лучшие марки для работы в условиях свободного и несвободного резания: Р12Ф3, Р9К10, Р6М5К5 и Р6Ф2К8М5, а также режимы эксплуатации, соот-

ветствующие максимальной производительности. Данные марки стали целесообразно использовать для изготовления других видов инструментов, работающих при аналогичных условиях эксплуатации.

С целью более полного изучения режущих свойств протяжек при различных нагрузках режущего лезвия проведены дополнительные стойкостные исследования при подъемах  $S_x = 0,005...0,1$  мм и скоростях протягивания 5,0 и 7,0 м/мин.

При работе с малыми толщинами срезаемого слоя на процесс стружкообразования существенное влияние оказывает округление режущего лезвия, вызванное износом. Поэтому при проведении исследований фиксировалась не только величина линейного износа  $h_3$ , но также измерялся радиус округления режущих лезвий  $\rho$  в зависимости от длины обработанной поверхности. Исследования показали, что величина радиуса округления  $\rho$  в начальный момент возрастает весьма интенсивно: от исходного 13...18 мкм до 28...36 мкм, в зависимости от марки стали. Резкое увеличение  $\rho$  приводит к тому, что зубья протяжек с подъемом  $S_x = 0,005$  мм перестают резать после прохождения пути  $L = 5...20$  м, а с  $S_x = 0,01$  мм - после пути резания  $L = 30...75$  м. Износ в этот период ведет к существенному увеличению радиуса округления, происходит опускание режущей кромки зуба и уменьшение его высоты.

На основании проведенных исследований установлено влияние толщины срезаемого слоя на износ протяжек из стали марок: P1243, P9K10, P18, P6M5, P12F5M, P9F5, P6M5K5, P6F2K8M5. Кривые, полученные для идентичных условий при  $v = 5,0$  и  $7,0$  м/мин и равной площади срезаемого слоя  $L \times B = \text{const}$ , аппроксимированы формулой вида

$$h_3 = c_s \cdot S_x^n \quad (10)$$

Для получения максимальной производительности процесса наружного протягивания можно рекомендовать для изготовления протяжек стали следующих марок:

а) P1243, P9K10, P9F5, P6M5K5 и P6F2K8M5 (при  $v = 5$  м/мин и  $S_x = 0,03...0,04$  мм);

б) P6M5 и P12F5M (при  $v = 5$  м/мин и  $S_x = 0,05$  мм).

#### Состояние поверхностного слоя (Глава 4)

В главе приводятся результаты исследования шероховатости и микротвердости обработанной поверхности и точности полу-

чаемых размеров в зависимости от режимов протягивания и степени изношенности режущих лезвий инструмента.

Оценка шероховатости обработанной поверхности в поперечном, продольном направлениях и боковой поверхности паза осуществлялась в соответствии с ГОСТ 2789-73 по высотным и шаговым параметрам на основании обработки профилограмм.

Получены зависимости параметров поперечной шероховатости от скорости резания, подъема на зуб и длины протягивания. Наиболее существенное влияние на величину поперечной шероховатости оказывает подъем на зуб. Величина поперечной шероховатости возрастает с увеличением пути резания, так как при этом растет величина износа по задней поверхности. Для получения минимальной шероховатости в поперечном направлении необходимо протягивание осуществлять при скоростях резания  $U = 1,5 \dots 3,0$  м/мин.

Продольная шероховатость по величине в  $1,5 \dots 2$  раза меньше поперечной. Однако в некоторых случаях продольная шероховатость может резко возрасти и превзойти по своей величине поперечную шероховатость. В такие моменты на обработанной поверхности появляются повреждения типа "муар" и достаточно регулярные повреждения в виде чешуек.

Исследование процесса стружкообразования по микрофотографиям корней стружек, позволило обнаружить явление наростообразования, сопровождающее процесс протягивания. Явление наростообразования обнаружено во всем исследованном диапазоне режимов резания. Нарост образуется даже при скорости резания  $U < 1,5$  м/мин, а высота его изменяется в пределах  $h_n = 0,06 \dots 0,25$  мм, причем большие значения  $h_n$  соответствуют и большим значениям толщины срезаемого слоя. Радиус округления вершины нароста  $r_n$  уменьшается пропорционально изменению толщины срезаемого слоя от  $r_n = 0,06$  мм при  $S_x = 0,12$  мм, до  $r_n = 0,014 \dots 0,008$  мм при  $S_x = 0,03$  мм. Срезание тонких стружек в этом случае происходит за счет уменьшения радиуса округления вершины нароста, величина которого почти в 3 раза меньше толщины срезаемого слоя и в  $1,3 \dots 1,5$  раза меньше радиуса округления режущего лезвия инструмента.

Защитая инструмент от преждевременного изнашивания и уменьшая угол резания, нарост вместе с тем отрицательно ска-

зывается на шероховатости обработанной поверхности: полное или частичное разрушение его приводит к образованию дефектов на обработанной поверхности и ухудшает ее шероховатость.

Процесс наружного протягивания является статистически устойчивым и обеспечивает точность обрабатываемых пазов (ширина  $B$ ) по 2-му классу с шероховатостью стенок в пределах  $R_a = 1,1 \dots 1,7$  мкм (при  $h_y < 2,0$  мм).

Пластическая деформация поверхностного слоя оценивалась двумя показателями: глубиной наклепанного слоя  $h_c$  и степенью наклепа  $N$

$$N = \frac{H_{M1} - H_M}{H_M} \cdot 100\%, \quad (11)$$

где  $H_{M1}$  - микротвердость, измеренная на поверхности;

$H_M$  - микротвердость исходного металла.

Измерение микротвердости на наклонных микрошлифах с нагрузкой на инденторе 100 гс показало, что увеличение скорости резания от 1,5 до 9,0 м/мин не оказывает существенного влияния на изменение глубины наклепа поверхностного слоя. Исследованиями установлено, что при толщине срезаемого слоя  $S_x = 0,1 \dots 0,12$  мм и указанных скоростях резания микротвердость находилась в пределах  $H_{M1} = 340 \dots 370$  кгс/мм<sup>2</sup>, степень наклепа составляла 42..45%, а глубина наклепанного слоя  $h_c = 40 \dots 55$  мкм. Глубина слоя, претерпевшего пластическую деформацию, пропорциональна толщине срезаемого слоя и примерно соответствует половине величины подъема на зуб.

#### Экономическое обоснование выбора марок быстрорежущей стали для изготовления наружных протяжек повышенного качества. (Глава 5).

Оценка экономической эффективности применения быстрорежущей стали различных марок в сравнении с P18 проведена при всех исследованных скоростях протягивания по изменяющейся величине стойкости инструмента. Исследования показали, что экономия в этом случае получается за счет уменьшения затрат на эксплуатацию протяжек и уменьшения их расхода, а также за счет сокращения непроизводительного расхода времени на техническое обслуживание рабочего места.

Расчеты показывают, что применение протяжек, изготовлен-

ных из стали P12Ф3 и P9K10, при обработке конструкционной стали 45, взамен протяжек из стали P13, обеспечивает максимальный экономический эффект на комплект инструмента (5-7 шт) при работе на скорости резания  $V = 9,0$  м/мин, соответственно 598 и 675 рублей, а применение протяжек из стали марок P6M5K5 и P6Ф2K8M5 - соответственно 268 и 518 рублей.

## О Б Ш И Е В Ы В О Д Е

1. Разработана методика, позволяющая проводить сравнительный анализ режущих свойств наружных протяжек из различных марок быстрорежущей стали, основанная на изучении линейного износа, износа по массе и интенсивности изнашивания инструмента.

2. Определен характер износа зубьев протяжек из быстрорежущих сталей при работе в условиях свободного и несвободного резания в диапазоне скоростей резания  $V = 1,5...9,0$  м/мин и подъемов на зуб  $S_x = 0,005...0,1$  мм. Установлены критерии затупления протяжек из условия обеспечения необходимой шероховатости обработанной поверхности и точности получаемых размеров. Показано влияние содержания легирующих элементов на износостойкость протяжек.

3. Экспериментально выявлены и математически описаны зависимости стойкости  $T$  и пути резания  $L$  от скорости резания  $V$  для протяжек из двенадцати исследованных марок стали. Зависимости  $T = f_1(V)$  с высокой степенью точности аппроксимируются уравнением экспоненты.

4. Получены зависимости стойкости от скорости резания для углового перехода протяжек, работающих в условиях несвободного резания.

5. Предложены формулы для подсчета массы изношенного инструментального материала различных участков зубьев протяжек.

6. Выбор рациональных режимов эксплуатации наружных протяжек из различных марок стали целесообразно проводить с использованием зависимостей  $M_z = f(V)$ ,  $M_y = f(V)$  и  $L = f_2(V)$ , имеющих экстремальный характер. Скорость рабочего хода протяжного станка выбирать в зоне максимальной производительности, а скорость замедленного рабочего хода из условия обеспечения минимальной шероховатости обработанной поверхности.

7. Получены частные зависимости, отражающие износ зубьев протяжек от изменения толщины срезаемого слоя. Установлено, что первоначальный износ протяжек с малыми подъемами на зуб идет преимущественно за счет увеличения радиуса округления режущего лезвия инструмента. Даются практические рекомендации по назначению подъемов на зуб для наружных протяжек.

8. Изучено влияние нароста в исследованном диапазоне режимов резания на образование микрорельефа протянутой поверхности. Показано, что срезание тонких стружек происходит с помощью нароста за счет уменьшения радиуса округления его вершины.

9. Установлено влияние режимов резания и величины износа режущих лезвий инструмента на параметры шероховатости и микротвердость обработанной поверхности.

10. Результаты выполненной работы использованы на ПО "Владимирский тракторный завод им. А.А. Жданова" и на Ждановском ремонтно-механическом заводе; переданы для практической реализации на Московский инструментальный завод. Ожидаемый экономический эффект от внедрения протяжек из новых марок быстрорежущей стали только на Владимирском тракторном заводе при протягивании наружных поверхностей шатуна и крышки двигателя составит 3500-4000 руб в год.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ опубликовано в следующих работах:

1. Ю." Самофалов, Исследование режущих свойств наружных протяжек из быстрорежущих сталей различных марок. Материалы IV научно-технической конференции молодых ученых и специалистов, ЗИЛ, М., 1976, с.160-161.

2. Ю.И. Самофалов, В.П. Покровский, Выбор марки быстрорежущей стали для изготовления протяжек повышенного качества. "Известия вузов", "Машиностроение", №8, 1976, с.120-123.

3. В.П. Покровский, Ю.И. Самофалов, Стойкостные исследования наружных протяжек из различных марок быстрорежущих сталей. Сб. "Прогрессивные методы обработки металлов лезвийным инструментом", Киев, 1976, с.17.

4. Ю.И. Самофалов, Влияние легирующих элементов на режущие свойства наружных протяжек из быстрорежущих сталей различного химического состава. Сб. "Повышение технологической надежности механической обработки металлов", КузПИ, Кемерово, 1977, с.13.-137.

16

*Ю.И. Самофалов*

Л-71848. Подп. к печ. 23.06.78г., объем 1,0 п.л.

Тип. МВТУ им. Баумана, тир. 100 экз. Зак. № 341