

М334308

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н.Э.Баумана

НА ДОМ
ВЫДАЕТСЯ

Стебеньков Юрий Николаевич

На правах рукописи

И С С Л Е Д О В А Н И Е
режущих свойств концевых фрез из быстрорежущих
сталей при обработке серого чугуна

Специальность 05.03.01-
процессы и машины обработки
материалов резанием;
автоматические линии

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва

1978

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

Научный руководитель - кандидат технических наук
доцент БАКЛУНОВ Е.Д.

Официальные оппоненты - доктор технических наук
профессор ЦВИС Ю.В.
кандидат технических наук
АНДРЕЕВ В.Н.

Ведущее предприятие - Московский инструментальный завод
(МИЗ)

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 1978г.
на заседании специализированного Совета по технологии машино-
строения МВТУ им. Н.Э. Баумана К 053.15.15.

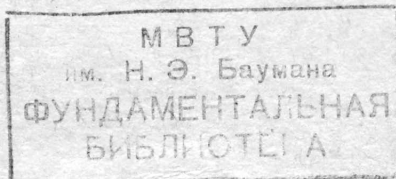
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке училища

тех, заверенной печатью
005, 2-я Бауманская ул.,

_____ 1978г.

мш МЕЩЕРЯКОВ Р.К.

М 334308



Актуальность проблемы. Повышение производительности труда и улучшение качества выпускаемой продукции - основные задачи, стоящие перед народным хозяйством в 10-ой пятилетке.

В металлообрабатывающей промышленности решение поставленных задач связано, в частности, с применением прогрессивных металлорежущих инструментов и инструментальных материалов, обладающих повышенными режущими свойствами, повышением качества изготовления металлорежущих инструментов и применением научно-обоснованных нормативов по назначению режимов резания. В свете этих задач в настоящее время в связи с созданием гаммы марок быстрорежущей стали актуальными являются исследования, обеспечивающие выбор оптимальной марки быстрорежущей стали для конкретных условий обработки и получение научно-обоснованных рекомендаций для разработки нормативов по режимам резания.

Применение сверхтвердого абразивного материала-эльбора-вскрывает дополнительные резервы повышения режущей способности инструментов на основе улучшения качества затачиваемых рабочих поверхностей.

Исследование режущих свойств инструментов, заточенных эльборовыми шлифовальными кругами, позволяет выявить области рационального применения эльборового затачивания.

Цель исследования. Целью данного исследования является разработка научно-обоснованных рекомендаций для выбора оптимальной марки быстрорежущей стали при фрезеровании концевыми фрезами серого чугуна, исследование влияния эльборового затачивания на режущие свойства концевых фрез, а также создание научно-обоснованных рекомендаций для разработки нормативов по режимам резания.

Методы исследования. Исследование режущих свойств концевых фрез из различных марок быстрорежущей стали проводилось на базе экспериментальных исследований некоторых физических факторов, оказывающих существенное влияние на режущие свойства концевых фрез, а также стойкостных исследований при фрезеровании серого чугуна. При выполнении настоящей работы были проведены температурное исследование при фрезеровании уступа и плоскости методом "естественной термопары", исследование качества поверхностного слоя рабочих граней концевых фрез, заточенных электрокорундовыми и эльборовыми шлифовальными кругами, исследование изнашивания зубьев концевых фрез в начальном и основном периодах работы с

использованием оптических измерительных приборов.

Научная новизна. В разработанной методике исследования использован ряд показателей, которые позволили дать комплексную оценку режущих свойств концевых фрез при фрезеровании серого чугуна. Применение такого показателя оценки режущих свойств, как интенсивность изнашивания, позволяет оценить износостойкость быстрорежущих сталей, что даёт возможность прогнозировать режущие свойства концевых фрез в широком интервале изменения параметров режима резания.

Дано научное обоснование различия характера стойкостных зависимостей при фрезеровании уступа и при фрезеровании плоскости.

Установлено влияние специфики процесса резания при фрезеровании на изнашивание режущей части зубьев концевых фрез.

Дано математическое описание процесса изнашивания режущей части зубьев концевых фрез из быстрорежущих сталей при фрезеровании серого чугуна.

Практическая ценность. Разработаны научно обоснованные рекомендации по выбору марки быстрорежущей стали для изготовления концевых фрез и средств формирования их режущей части при обработке серого чугуна.

Установлены максимально допустимые скорости резания при фрезеровании уступа и плоскости, а также интервалы предпочтительной скорости резания.

Получены обобщённые стойкостные зависимости, которые могут быть использованы в качестве научно обоснованных рекомендаций при разработке нормативов по режимам резания.

Апробация работы. Основные положения работы доложены на 2-х конференциях молодых учёных Восточно-Сибирского технологического института (апрель 1975г., апрель 1976г.), на конференции молодых учёных и специалистов ЗИЛ НИИАВТОПРОМа (февраль 1976г.), на межвузовской конференции КБТУ (июнь 1976г.) и на научных семинарах кафедры "Теория механической обработки и инструмента" МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Объём работы. Исследованная работа изложена на 146 страницах машинописного текста, включающих в себя введение, шесть глав, выводы по каждой главе и общие выводы. В работе имеется 165 рисунка, 40 таблиц, список литературы из III наименований.

В первой главе дан анализ состояния вопроса, цель, задачи и

методика проведения исследований.

Анализ результатов научно-исследовательских работ и опыта промышленного использования быстрорежущей стали различных марок для изготовления инструментов целевого назначения показывает, что применение научно-обоснованных рекомендаций по выбору оптимальной марки быстрорежущей стали и эльборового затачивания способствует повышению режущей способности инструментов.

В то же время выявлено, что в проведенных научно-исследовательских работах, справочной литературе, а также в ГОСТ 19265-73 отсутствуют научно-обоснованные рекомендации по выбору оптимальной марки быстрорежущей стали при фрезеровании концевыми фрезами серого чугуна. Это позволило определить цель исследования, которая включает решение следующих задач:

1. Исследование температурной напряженности процесса фрезерования серого чугуна концевыми фрезами в зависимости от марки быстрорежущей стали, режимов резания, условия фрезерования и метода затачивания.

2. Исследование характера и закономерности протекания изнашивания зубьев концевых фрез из быстрорежущих сталей в зависимости от скорости резания.

3. Исследование зависимости стойкости концевых фрез из исследуемых марок быстрорежущей стали от скорости резания.

4. Исследование режущих свойств концевых фрез из типичного представителя быстрорежущих сталей в зависимости от основных параметров режима резания с целью получения научно-обоснованных рекомендаций для разработки нормативов по режимам резания.

5. Исследование влияния эльборового затачивания на режущие свойства концевых фрез из различных марок быстрорежущей стали при обработке серого чугуна.

6. Исследование влияния исходного качества затачиваемых поверхностей инструмента, получаемого при различных средствах формирования режущей части, на стойкость.

7. Исследование экономической эффективности от использования быстрорежущей стали различных марок взамен Р18 для изготовления концевых фрез и применения эльборовых шлифовальных кругов.

В процессе экспериментальных исследований использовались четырехзубые фрезы диаметром 30 мм, конструкция и размеры согласно ГОСТ 17026-71.

Режущая часть концевых фрез была изготовлена из основных представителей марок быстрорежущей стали, предусмотренных ГОСТом

19265-73: P18, P12, P6M3, P6M5, P14Ф4, P18K5Ф2, P9K5, P10K5Ф5.

Геометрические параметры зубьев фрез, параметры режима заточки и характеристики кругов выбраны в соответствии с нормативными рекомендациями. Для получения стабильных результатов все фрезы были отобраны по группам твердости.

Исследования проводились при фрезеровании уступа и плоскости на вертикально-фрезерном станке методом встречного фрезерования. Обработываемый материал - серый чугуны СЧ 21-40.

Установлены интервалы скорости резания: при фрезеровании уступа - от 19 м/мин до 50 м/мин, при фрезеровании плоскости - от 19 м/мин до 60 м/мин. Остальные параметры режима резания: глубина резания - 6 мм, ширина фрезерования - 6 мм, подача на зуб - 0,175 мм.

Исследование влияния параметров режима резания на режущие свойства концевых фрез проводились при фрезеровании уступа концевыми фрезами из P6M5. Параметры режима резания: скорость резания - 37 м/мин, глубина резания - от 3 мм до 12 мм, ширина фрезерования - от 3 мм до 12 мм, подача на зуб - от 0,06 мм до 0,175 мм.

За критерий затупления принята величина износа по главной задней поверхности цилиндрических зубьев фрез $h_z = 0,3$ мм.

Оценка режущих свойств производилась по показателям:

1. Величина стойкости при различных скоростях резания:

$$T = f(V), [мин].$$

2. Длина фрезерования при различных скоростях резания:

$$L = f'(V), [м].$$

3. Величина приращения стойкости ΔT :

$$\Delta T = (T_x - T_{P18}), [мин].$$

4. Коэффициент относительной стойкости K :

$$K = \frac{\Delta T}{T_{P18}} \cdot 100, [\%].$$

5. Величина приращения стойкости ΔT_A :

$$\Delta T_A = T_A - T_{25A}, [мин].$$

6. Коэффициент относительной стойкости K_A :

$$K_A = \frac{\Delta T_A}{T_{25A}} \cdot 100, [\%].$$

7. Интенсивность линейного изнашивания при текущем значении величины износа h_z :

$$I = \frac{h_z}{L} = \frac{h_z}{V \cdot T \cdot \pi / 360^\circ} \cdot [мм/м].$$

8. Интенсивность линейного изнашивания при конечной величине износа:

$$I = \frac{h_2}{L_k} = \frac{h_2}{V \cdot T \cdot \psi / 360^\circ}, [\text{мм/м}].$$

Использование этих показателей позволило дать комплексную оценку режущих свойств концевых фрез из быстрорежущих сталей при фрезеровании серого чугуна.

Во второй главе приведены результаты исследования влияния технологических средств заточки на качество рабочих поверхностей режущей части зубьев концевых фрез и результаты температурных исследований,

Качество рабочих поверхностей оценивалось их шероховатостью (R_a), радиусом округления режущих лезвий (ρ) и состоянием поверхностного слоя.

В результате проведенных исследований установлено, что шероховатость рабочих поверхностей при эльборовом затачивании значительно ниже, чем при электрокорундовом. Применение эльборового затачивания также способствует уменьшению и радиуса округления режущих лезвий, величина которого оказывает существенное влияние на изнашивание зубьев концевых фрез. При этом уменьшение шероховатости рабочих поверхностей и радиуса округления режущих лезвий зависит от марки быстрорежущей стали.

Состояние поверхностного слоя оценивалось по микротвердости и количеству аустенита второго рода. При различном значении величины микротвердости в зависимости от марки быстрорежущей стали область пониженной микротвердости и глубина ее залегания при эльборовом затачивании значительно меньше чем при электрокорундовом. Содержание аустенита второго рода в поверхностном слое при эльборовом затачивании меньше, чем при электрокорундовом. Таким образом, применение эльборового затачивания улучшает качество рабочих поверхностей по всем показателям, причем наиболее это выражено у фрез из PI4Ф4, PI2, PIOK5Ф5.

Температурными исследованиями установлено, что величина температуры резания и интенсивность ее нарастания при увеличении скорости резания зависит от марки быстрорежущей стали. Большие значения температуры резания характерны для быстрорежущих сталей ванадиевой группы, меньшие — кобальтовой группы. При скоростях резания от 50 м/мин до 60 м/мин температура резания

достигает величины теплостойкости быстрорежущей стали. При фрезеровании уступа температура резания выше, чем при фрезеровании плоскости, особенно в интервале скорости резания от 40м/мин до 60м/мин. Влияние перечисленных факторов на температуру резания в значительной мере должно определить и стойкостные показатели концевых фрез. Исследование влияния подачи, глубины резания и ширины фрезерования на температуру резания позволило получить обобщенную зависимость температуры резания от параметров режима резания:

$$\theta = C_{\theta} \cdot V^a \cdot t^b \cdot S_z^c \cdot B^n, [^{\circ}\text{C}]. \quad (I)$$

Анализ показателей степени a , b , c и n показывает, что наибольшее влияние на температуру резания оказывает скорость резания. Из остальных параметров режима резания наиболее существенное влияние на температуру резания оказывает подача.

Значение показателя степени a в значительной мере зависит от химического состава марки быстрорежущей стали.

Показатели степени b , c и n с определенным допущением были приняты постоянными для всех исследованных марок быстрорежущей стали.

В третьей главе представлены результаты исследования режущих свойств концевых фрез из исследованных марок быстрорежущей стали.

Экспериментальные исследования характера и закономерности протекания износа зубьев концевых фрез были проведены на фреззах, заточенных электрокорундовыми шлифовальными кругами при фрезеровании уступа и плоскости.

Установлено, что скорость изнашивания и характер износа режущей части зубьев концевых фрез различны и зависят от физико-механических свойств быстрорежущей стали, режимных факторов и условия фрезерования.

Исследование зависимости стойкости фрез от скорости резания показало, что при фрезеровании уступа стойкость фрез с увеличением скорости резания до 40м/мин монотонно снижается, при скорости резания 50м/мин стойкость резко падает вследствие катастрофического износа по "уголку". При фрезеровании плоскости при скорости резания 50м/мин стойкость фрез значительно выше, чем при фрезеровании уступа; при скорости резания 60м/мин стойкость фрез очень мала ввиду оплавления режущего лезвия.

В интервале скорости резания от 19м/мин до 40м/мин зависи-

мость стойкости от скорости резания при фрезеровании уступа аппроксимирована степенной функцией вида:

$$T = 5000 - \frac{C_T}{(50 - V)^m}, [\text{мин.}] \quad (2)$$

Значения постоянного коэффициента C_T и показателя относительной стойкости m отражают различное влияние скорости резания на режущие свойства концевых фрез из быстрорежущих сталей различного химического состава.

Во всём исследованном диапазоне скорости резания аппроксимация зависимости стойкости фрез от скорости резания произведена рядами Фурье:

$$T = f(x) = a_0 + a_1 \cos x + a_2 \cos 2x + \dots + b_1 \sin x + b_2 \sin 2x + \dots \quad (3)$$

Для определения коэффициентов Фурье a_i и b_i был применен приближенный гармонический анализ по формулам Бесселя.

Зависимость стойкости от скорости резания при фрезеровании плоскости аппроксимирована показательной-степенной функцией, предложенной д.т.н. профессором Грановским Г.И. :

$$T = C' \cdot V^b \cdot e^{c \cdot V}, [\text{мин.}] \quad (4)$$

Значения постоянного коэффициента C' и показателей степени b и c зависят от химического состава быстрорежущей стали.

Исследованиями установлено, что величины приращения стойкости и коэффициента относительной стойкости зависят от режима резания, условия фрезерования, а также от величины износа по главной задней поверхности режущей части зубьев фрез. Последнее является следствием различного состояния поверхностного слоя по глубине и изменения этого состояния в процессе изнашивания.

Установленная математическая зависимость коэффициента относительной стойкости от скорости резания позволяет прогнозировать изменение режущих свойств фрез из исследованных марок быстрорежущей стали:

при фрезеровании уступа

$$K = \left[1 - \frac{C_K}{(50 - V)} \right] \cdot 100, [\%]; \quad (5)$$

при фрезеровании плоскости

$$K = (C_K \cdot V^b \cdot e^{c \cdot V} - 1) \cdot 100, [\%]. \quad (6)$$

На основании проведенных исследований установлены марки бы-

острорежущей стали, имеющие наибольшие значения коэффициента относительной стойкости как при постоянной, так и переменной величине износа.

Исследование длины фрезерования и интенсивности изнашивания показали, что их зависимость от скорости резания имеет экстремальный характер, что дало возможность определить интервал предпочтительной скорости резания при фрезеровании уступа и плоскости.

Оценка работоспособности фрез по длине фрезерования применима для конкретных условий обработки, оценка по интенсивности изнашивания, характеризующая износостойкость быстрорежущей стали, даёт возможность прогнозировать работоспособность фрез в широком интервале типоразмеров концевых фрез.

Исследование протекания объёмного изнашивания позволило установить, что величина объёмного износа при постоянной величине максимального линейного износа зависит от марки быстрорежущей стали и скорости резания.

В результате проведенных исследований установлен интервал предпочтительной скорости резания: для фрез из сталей Р9К5 и Р18К5Ф2 - от 30 м/мин до 35 м/мин, для фрез из остальных исследованных марок быстрорежущей стали - от 32 м/мин до 37 м/мин. Наилучшие режущие свойства при фрезеровании уступа и плоскости в интервале скорости резания от 19 м/мин до 30 м/мин показали фрезы из Р9К5, а в интервале от 30 м/мин до 37 м/мин - фрезы из Р10К5Ф5. Фрезы из Р6М5 имеют лучшие режущие свойства, чем фрезы из Р18 в интервале скорости резания от 19 м/мин до 40 м/мин.

В четвёртой главе представлены результаты исследования режущих свойств концевых фрез, заточенных эльборовыми шлифовальными кругами при фрезеровании уступа. Анализ результатов исследования качества рабочих поверхностей позволил сделать вывод, что при эльборовом затачивании скорость изнашивания режущей части зубьев должна быть меньше, чем при электрокорундовом, особенно в начальном периоде работы. Экспериментальные исследования подтвердили это предположение. Установлено, что основной резерв повышения стойкости при эльборовом затачивании создаётся в начальном периоде работы. В основном периоде скорость изнашивания режущей части зубьев при эльборовом затачивании также ниже, чем при электрокорундовом, поскольку лучшее состояние поверхностно-

го слоя обеспечивает большее влияние как сдерживающий фактор на развитие фаски износа по задней поверхности цилиндрического зуба фрезы. В результате этого стойкость концевых фрез при эльборовом затачивании выше, чем при электрокорундовом для всех исследованных марок быстрорежущей стали. При этом характер зависимости стойкости фрез от скорости резания при эльборовом затачивании существенно не изменяется.

В интервале скорости резания от 19 м/мин до 49 м/мин для аппроксимации зависимости стойкости концевых фрез, заточенных эльборовыми шлифовальными кругами, от скорости резания была использована функция вида:

$$T_A = 5000 - \frac{C_T}{(50 - V)^m}, [\text{мин}]. \quad (7)$$

Во всём исследованном диапазоне скорости резания был использован ряд Фурье:

$$T_A = f(x) = a_0 + a_1 \cos x + a_2 \cos 2x + \dots + b_1 \sin x + b_2 \sin 2x + \dots \quad (8)$$

Оценка влияния эльборового затачивания на режущие свойства концевых фрез производилась по приращению стойкости ΔT_A и коэффициенту относительной стойкости K_A . Исследованиями установлено, что величина этих показателей зависит от марки быстрорежущей стали, режима обработки и величины износа. С увеличением скорости резания значения ΔT_A и K_A уменьшаются. При малых величинах износа K_A имеет значительно большие значения, что указывает на доминирующее влияние качества заточенной поверхности на изнашивание в начальном периоде работы.

В результате математической обработки получена формула:

$$K_A = \left[1 - \frac{C_{K_A}}{(50 - V)^m} \right] \cdot 100, [\%]. \quad (9)$$

Различные значения коэффициента C_{K_A} и показателя относительной стойкости m , характеризуют влияние эльборового затачивания в зависимости от физико-механических свойств быстрорежущей стали.

Исследования зависимостей длины фрезерования и интенсивности изнашивания от скорости резания показали, что при эльборовом затачивании повышается работоспособность концевых фрез и износостойкость быстрорежущих сталей. При этом интервал предпочтительной скорости резания остаётся неизменным.

При исследовании объёмного изнашивания было установлено, что фрезы, заточенные эльборовыми шлифовальными кругами, имеют мень-

шую скорость объемного изнашивания, но величина объемного износа при постоянной величине максимального линейного износа не зависит от метода затачивания, а определяется скоростью резания и физико-механическими свойствами быстрорежущей стали.

В результате проведенных исследований установлено, что наибольшее повышение режущих свойств при затачивании эльборовыми шлифовальными кругами имеют фрезы из быстрорежущей стали марок P12, P14P4 и P10K5P5.

В пятой главе приведены результаты исследования влияния основных параметров режима резания на режущие свойства концевых фрез из P6M5, заточенных электрокорундовыми и эльборовыми шлифовальными кругами. Зависимость стойкости концевых фрез от глубины резания и ширины фрезерования носит монотонно убывающий характер, причем с увеличением глубины резания уменьшение стойкости более интенсивно, чем при увеличении ширины фрезерования. Зависимость стойкости концевых фрез от величины подачи носит экстремальный характер: при увеличении подачи от 0,06 мм/зуб до 0,09 мм/зуб стойкость возрастает, при дальнейшем увеличении подачи стойкость падает.

Стойкость фрез, заточенных эльборовыми шлифовальными кругами, выше стойкости фрез, заточенных электрокорундовыми кругами, во всем интервале изменения глубины резания, подачи и ширины фрезерования. При этом величины ΔT_l и K_l уменьшаются с увеличением параметров режима резания.

Исследования зависимостей стойкости концевых фрез по фактическому времени работы фрезы T_f и интенсивности изнашивания I показали, что с увеличением подачи и ширины фрезерования стойкость T_f уменьшается, а интенсивность изнашивания увеличивается. При увеличении же глубины резания стойкость T_f увеличивается, а интенсивность изнашивания уменьшается.

В результате анализа этих закономерностей получен экспериментально-аналитическая формула, которая дает математическое описание процесса изнашивания зубьев концевых фрез при фрезеровании с различной глубиной резания:

$$T = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{h_a}{2I_0 \cdot \frac{1000V}{D} + I_0(10 \cdot V \cdot \alpha \cos \frac{D-2t}{D} \cdot (\frac{t}{t_0})^{1/2}} \right], \quad (10)$$

где I_0 - интенсивность изнашивания при фрезеровании, мм/об;

- Ie** - интенсивность изнашивания в процессе резания при глубине резания t - t_1 , мм/м;
V - скорость резания, м/мин;
D - диаметр фрезы, мм;
t - глубина резания, мм;
y - показатель степени, учитывающий влияние подачи на стойкость.

В результате проведенных исследований получены частные зависимости стойкости концевых фрез из Р6М5 от основных параметров режима резания, выраженные степенными функциями.

С учетом результатов предыдущих исследований принято допущение, что показатели степени в этих формулах, учитывающие влияние глубины резания, подачи и ширины фрезерования на стойкость концевых фрез из Р6М5, остаются постоянными для фрез из всех исследованных марок быстрорежущей стали.

На основе обобщения результатов экспериментальных исследований получены зависимости показателей оценки режущих свойств концевых фрез из исследованных марок быстрорежущей стали от основных параметров режима резания:

1. Зависимость стойкости от параметров режима резания:

$$T = \frac{C_T}{V^{1/m} \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^z} \quad (II)$$

2. Зависимость длины фрезерования от параметров режима резания:

$$L = 42,4 \cdot \frac{C_T}{V^{(1/m)-1} \cdot t^x \cdot S_z^{(y)-1} \cdot B^z} \quad (12)$$

3. Зависимость стойкости по фактическому времени работы от параметров режима резания:

$$T_0 = \frac{C_T'}{V^{1/m} \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^z} \quad (13)$$

4. Зависимость стойкости концевых фрез от параметров режима резания при различных значениях допустимой величины износа:

$$T = \frac{C_T'' \cdot h_n^m}{V^{1/m} \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^z} \quad (14)$$

Полученные результаты могут быть использованы в качестве научно-обоснованных рекомендаций при разработке нормативов по

режимам резания.

В шестой главе приведены результаты экономических исследований эффективности применения концевых фрез из исследованных марок быстрорежущей стали для фрезерования серого чугуна и применения эльборового затачивания.

Оценка экономической эффективности применения быстрорежущей стали различных марок и внедрения эльборового затачивания производилась по двум вариантам:

1. При постоянных значениях скорости резания и переменной стойкости фрез.
2. При переменной скорости резания и постоянной величине стойкости.

Исследованиями установлено, что наибольшая эффективность применения концевых фрез из исследованных марок быстрорежущей стали, а также эффективность эльборового затачивания достигается за счет повышения производительности труда на основе увеличения скорости резания и снижения затрат на эксплуатацию фрез.

Общие выводы

1. Проведенные исследования показали, что использование серии показателей для оценки режущих свойств концевых фрез из исследованных марок быстрорежущей стали при обработке серого чугуна СЧ21-40 дали возможность комплексной оценки работоспособности концевых фрез.

2. Установлено, что условия фрезерования и метод затачивания при обработке концевыми фрезами серого чугуна влияют на температуру резания.

3. Выявлено, что при фрезеровании уступа характер зависимости стойкости концевых фрез от скорости резания отличается от характера аналогичной зависимости при фрезеровании плоскости. При этом установлено, что максимально допускаемая скорость резания при фрезеровании уступа - 50 м/мин, а при фрезеровании плоскости - 60 м/мин.

4. Установлен интервал предпочтительной скорости резания: для концевых фрез из быстрорежущих сталей Р9К5 и Р18К5Ф2 - от 30 м/мин до 35 м/мин; для фрез из быстрорежущих сталей Р18, Р12, Р6М3, Р6М5, Р14Ф4 и Р10К5Ф5 - от 32 м/мин до 37 м/мин.

5. Установлено, что наилучшими режущими свойствами в интервале скорости резания от 19 м/мин до 30 м/мин обладают фрезы из Р9К5

($K=78-85\%$), а в интервале скорости резания от 30 м/мин до 37 м/мин - фрезы из P10K5Ф5 ($K=75-30\%$).

Фрезы из P6M5 в интервале предпочтительной скорости резания имеют значение $K=10-15\%$.

6. Исследования показали, что при затачивании эльборовыми шлифовальными кругами режущие лезвия и рабочие грани концевых фрез имеют лучшие показатели по всем исследованным параметрам качества.

7. Выявлено, что концевые фрезы, заточенные эльборовыми шлифовальными кругами, имеют лучшие режущие свойства, чем фрезы, заточенные электрокорундом, при этом основной резерв повышения стойкости создается в начальном периоде работы фрезы.

8. Установлено, что фрезы из P12, P14Ф4 и P10K5Ф5 имеют наибольшее улучшение режущих свойств при эльборовом затачивании ($K=15-20\%$ в интервале предпочтительной скорости резания).

Фрезы из P6M5 имеют значение $K=4-5\%$.

9. Разработаны эмпирические формулы, выражающие зависимость показателей оценки режущих свойств концевых фрез от скорости резания, что даёт возможность произвести расчётный анализ по выбору оптимальной марки быстрорежущей стали и эффективность применения эльборового затачивания для конкретных условий обработки.

10. Получены обобщённые стойкостные зависимости, которые могут быть использованы как научно обоснованные рекомендации при разработке нормативов по режимам резания.

11. Техничко-экономические исследования показали: наибольший экономический эффект достигается при замене фрез из P18 фрезами из P9K5 ($\Delta\epsilon=1000-2000$ руб.) и P10K5Ф5 ($\Delta\epsilon=1500-2500$ руб.); наибольший экономический эффект от применения эльборового затачивания достигается для фрез из P10K5Ф5 ($\Delta\epsilon=700-1500$ руб.).

12. Результаты проведенных исследований по эффективности применения эльборового затачивания концевых фрез из P18, P6M5, P9K5 и P14Ф4 при применении оптимальных режимов резания были опробованы в производственных условиях и внедрены на Улан-Удэнском ордена Ленина локомотиво-вагоноремонтном заводе с годовой экономической эффективностью около 3000 руб.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Стебеньков Ю.Н., Баклунов Е.Д. Исследование влияния лез-

гирующих элементов на режущие свойства концевых фрез из быстро-
режущих сталей при обработке серого чугуна СЧ 21-40.

Тезисы докладов на IУ научно-технической конференции молодых
учёных и специалистов ЗИЛ-НИИАВТОПРОМА. М., 1976

2. Баклунов Е.Д., Стебеньков Ю.Н. Повышение режущих свойств
концевых фрез, заточенных эльборовыми шлифовальными кругами.

Тезисы докладов республиканской научно-технической конферен-
ции "Роль учёных и специалистов в повышении качества продукции
и эффективности производства". Нальчик, 1976

3. Стебеньков Ю.Н., Баклунов Е.Д. Выбор марки быстрорежущей
стали при фрезеровании концевыми фрезами серого чугуна.

Статья депонирована НИИМАШ в справочно-информационном фонде.

Реферат опубликован в РЖ "Технология машиностроения",
реф. IIA48-76

4. Баклунов Е.Д., Стебеньков Ю.Н. Исследование режущих
свойств концевых фрез из некоторых марок быстрорежущей стали
при обработке серого чугуна.

"Проблемы прочности, надёжности и долговечности элементов
машин и металлорежущего инструмента".

Бурятское книжное издательство, Улан-Удэ, 1977