

1545531

Московский орден Ленин, Октябрьской
Революции и Трудового Красного Знамени
государственный технический университет
им. Н.Э.Баумана

На правах рукописи

СОЗИНОВ
Алексей Иванович

Теоретические основы повышения
эффективности черновой обработки
резанием заготовок из титановых
сплавов

Специальность 05.03.01 - процессы механической и
физико-технической обработки;
станки и инструменты

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва 1994

Созин

Работа выполнена на Калужском филиале Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Карасев В.Е.
доктор технических наук,
профессор Ямников А.С.
доктор технических наук,
профессор Ярославцев В.М.

Ведущее предприятие: АО "Калужский двигатель"

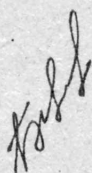
Защита состоится "21" сентября 1994 г. на заседании совета Д 053.15.04 при Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., дом 5.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный гербовой печатью, просим направлять по указанному адресу. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Телефон для справок: 267-09-63.

Автореферат разослан "19" июля 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного
совета Д 053.15.04



Усов В.А.

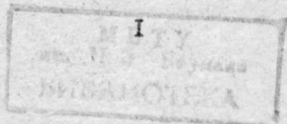
1545531

Повышение эффективности черновой обработки связано с увеличением скорости съема металла при обеспечении заданного качества обработки и минимальных затратах.



1545531

Созинов А.И. Теоретические



Однако накопленный опыт обработки готового металла, имеющего однородные физико-механические свойства, оказывается недостаточным при его использовании в заготовительном производстве. Поэтому работы, направленные на повышение эффективности черновой обработки заготовок являются актуальными.

Диссертация посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию взаимосвязи металлургических факторов, определяющих характер и объем срезаемого припуска, физических сторон процесса чернового резания, экономических параметров, характеризующих условия обработки и решению, на этой основе, проблемы повышения скорости съема металла за счет освоения новых кинематических схем черновой обработки, разработки высокопроизводительного режущего инструмента и оборудования.

В реферируемой работе эта проблема решена с позиций современных достижений науки о резании металлов, металлостроения, тепловых процессов, прочности и долговечности твердых сплавов, а также других смежных отраслей науки и техники.

Ц е л ь р а б о т ы - повышение скорости съема металла в процессах черновой обработки заготовок из титановых сплавов при обеспечении заданных параметров качества и минимальных затратах, на основе выбора рациональных способов формообразования заготовок, кинематических схем резания, разработки специального металлорежущего инструмента и оборудования.

Н а у ч н а я н о в и з н а р а б о т ы заключается в установлении взаимосвязи способа формообразования заготовок из титановых сплавов, физико-механических свойств и геометрических параметров срезаемого припуска, кинематической схемы его срезания, параметров режущего инструмента и режимов резания, на основании которой найдены рациональные условия черновой обработки заготовок, обеспечивающие повышенную скорость съема металла, при заданном качестве обработки и минимальных затратах.

А в т о р з а щ и щ а е т .

Научные основы прогнозирования эффективности методов формообразования промежуточных заготовок-слитков, кованных,

катаных заготовок с учетом параметров их последующей черновой механической обработки.

Результаты экспериментального и теоретического определения взаимосвязи характера пластической деформации и разрушения материала в процессах механических испытаний на сжатие и в процессах резания с учетом физико-механических свойств материала, температурных и скоростных условий деформирования.

Результаты комплекса теоретических и экспериментальных исследований, связывающие функциональные зависимости процесса резания с основными физико-механическими свойствами обрабатываемого и инструментального материалов с учетом метода формообразования заготовок, группы прочности обрабатываемых сплавов и способов обработки.

Теоретические основы интенсификации процессов чернового резания за счет нагрева заготовок с учетом ограничений, накладываемых высокой химической активностью титановых сплавов при повышенных температурах.

Теоретическую оценку долговечности режущих многогранных твердосплавных пластин, основанную на схеме накопления усталостных повреждений в процессе срезания неравномерного припуска.

Расчетно-экспериментальные методы определения силовых и температурных параметров процесса чернового резания на операциях точения и фрезерования поверхностей вращений.

Расчетно-экспериментальные методы и результаты определения характера изнашивания режущего инструмента в зависимости от условий его эксплуатации и технологических требований на обработку.

Новые способы черновой обработки заготовок, конструкции специального высокопроизводительного режущего инструмента, методы повышения его стойкости, новые способы стружколомания в процессе резания.

Практическая ценность и реализация результатов работы заключается:

- в разработке базы исходных данных и пакета прикладных программ для решения задачи по выбору рационального метода

формообразования промежуточных литых, кованных, катаных заготовок и способов их последующей черновой обработки на основании сравнения альтернативных вариантов и их ранжирования по обобщенному показателю эффективности;

- в разработке методики выбора рациональных параметров многогранных режущих твердосплавных пластин и условий их эксплуатации по критерию усталостной долговечности;

- в использовании результатов работы при разработке ОСТ 1.52600-82, ТУ 4819979, ТУ 4818-89-80 на заготовки для твердосплавных режущих пластин и специальный режущий инструмент для тяжелого резания, при запуске и внедрении в производство механизированных линий по обточке слитков, кованных и катаных прутков; механизированной линии фрезерования слябов на металлообрабатывающем заводе г. В.Салда, механизированных линий по обточке дисков на металлургическом заводе г.Чебаркуль, механизированной линии по изготовлению образцов для механических испытаний на металлургическом комбинате г.Ступино;

- в разработке технических заданий для ГСКБ тяжелых фрезерных станков г.Ульяновск на специальное оборудование и режущий инструмент для фрезерования поверхностей вращения крупных кольцевых заготовок по заказу ПО "Ижорский завод", г.С.Петербург;

- в разработке и внедрении руководящих технических материалов по способам обработки, режимам резания, режущему инструменту, методам повышения его стойкости при черновой обработке заготовок из титановых сплавов на предприятиях авиационной отрасли;

- в разработке новых способов, оборудования, режущего инструмента и оснастки для черновой обработки заготовок, новых методов дробления стружки в процессе резания.

Материалы выполненной работы используются так же в учебном процессе при подготовке студентов по специальности 12.02.

Полученные результаты реализованы в заготовительном производстве при механической обработке слитков, кованных, катаных, штампованных заготовок, в том числе в П.О. Металло-

обрабатывающий завод г.В.Салда; Металлургический завод, г.Чебаркуль; Металлургические заводы г.Ступино, Кулебаки; в заготовительных цехах машиностроительных заводов, а так же в ряде проектных институтов при разработке нового оборудования и режущего инструмента для черновой обработки труднообрабатываемых сплавов.

А п р о б а ц и я р а б о т ы. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на Всесоюзных научно-технических конференциях: "Проблемы обрабатываемости жаропрочных сплавов резанием" г.Уфа, 1975 г. , "Автоматизация исследований, проектирования и испытаний сложных технических систем" г.Калуга, 1989 г. , "Проблемы повышения качества, надежности и долговечности машин" г.Брянск, 1990 г. , на республиканской конференции "Совершенствование технологических процессов изготовления деталей машин" г.Курган, 1991 г. , на межвузовской научно-технической конференции: "Прогрессивные технологии и конструкции, механизация и автоматизация производственных процессов в машиностроении и приборостроении" г.Калуга, 1987 г. , на региональных научно-технических конференциях и совещаниях: "Совершенствование механической обработки деталей из труднообрабатываемых материалов" г.Омск, 1982 г. , "Интенсификация процессов предварительной обработки жаропрочных и титановых сплавов" г.Чебаркуль, 1983 г. , "Вклад ученых и специалистов области в развитие научно-технического прогресса" г.Калуга, 1984 г. , "Проблемы научно-технического прогресса и бригадных форм организации труда" г.Калуга, 1987 г. , "Прогрессивная технология механосборочного производства" г.Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1989 г. , на региональной научно-технической конференции "Автоматизация исследований" г.Калуга, 1993 г. .

П у б л и к а ц и и. По результатам работы автором опубликованы 64 печатные работы, получено 23 авторских свидетельства на изобретения.

О б ъ ъ м р а б о т ы. Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, выводов, списка литературы и приложений.

Материал изложен на 454 страницах, содержит 158 рисунков и 29 таблиц на 154 страницах, список литературы из 160 наименований на 15 страницах, приложения на 46 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выполнен обзор работ, внесших большой вклад в решение проблемы повышения производительности процессов резания труднообрабатываемых материалов, развития способов механообработки, рационального использования режущего инструмента, в т.ч. работы А.А. Авакова, П.И. Бобрка, П.Н. Белянина, Г.И. Грановского, Д.М. Гуревича, А.М. Дальского, Н.Н. Зорева, В.Д. Кузнецова, В.А. Кривоухова, М.И. Клушина, В.Е. Карасева, Т.Н. Лоладзе, А.Д. Макарова, М.И. Нестерова, В.А. Остафьева, А.С. Проникова, В.Н. Подураева, А.Ф. Прохорова, М.Ф. Палетки, П.Н. Резникова, С.С. Силина, П.И. Ташлицкого, Г.Л. Хаета, А.О. Этин, А.С. Ямникова, В.М. Ярославцева и других ученых.

Специфические особенности резания титановых сплавов — высокие удельные давления на контактных поверхностях инструмента, повышение температуры резания, связанные с их низкой пластичностью, теплопроводностью и температуропроводностью, дали основание выделить их в особый класс труднообрабатываемых материалов. В основу классификации, предложенной рядом авторов (П.Г. Петруха, С.В. Егоров, А.Д. Чубаров и др.), положено, принятое в металлведении деление титановых сплавов на α , β , $(\alpha + \beta)$ — структуры. Отмечается, что лучшей обрабатываемостью резанием обладают сплавы с β — структурой, а для улучшения обрабатываемости рекомендуется термическая обработка и защитные среды, способствующие получению благоприятных для обработки резанием структурных форм металла.

В процессах чистовой, получистовой обработки титановых сплавов, имеющих однородные физико-механические свойства, используются, в основном, традиционные способы резания. Повышение производительности при этом достигается, главным образом, за счет увеличения режимов резания, однако темпы роста режимов резания быстро снижаются.

Условия резания значительно ухудшаются при черновом резании, при обработке по корке, образующейся в процессе металлургических переделов в связи с высокой химической активностью титановых сплавов при их нагреве в атмосфере воздуха.

Высокая твердость, истирающая способность дефектного металла, неравномерность срезаемого припуска обуславливают высокие контактные нагрузки на режущий инструмент, создаются благоприятные условия для развития адгезионных и усталостных явлений, приводящих к его разрушению.

Количество дефектов на поверхности металла, отклонения геометрических параметров заготовок, физико-механические свойства поверхностного слоя зависят от технического уровня основных технологических процессов их производства, состояния технологического оборудования, инструмента и, составляя предмет самостоятельного изучения в металлургических лабораториях, являются одним из наиболее важных факторов процесса чернового резания, обуславливающих его эффективность.

Имеющаяся в литературе информация по параметрам качества заготовок в виде коэффициентов весовой точности КВТ, коэффициента использования металла КИМ и коэффициента выхода годного КВГ недостаточна для выбора оптимального способа получения заготовок. Системный анализ предусматривает выбор способа получения заготовок во взаимосвязи с другими факторами, способствующими повышению эффективности труда, снижению материалоемкости, повышению производительности и улучшению качества изделий. Среди этих факторов важное значение имеет выбор способа, технологических и экономических параметров последующей размерной обработки.

Такой системный подход получил теоретическое обоснование в работах А.М.Дальского, В.М.Ярославцева, Ю.М.Ермакова, М.Г.Афонькина, М.В.Магницкой и др.

Проблема увеличения скорости съема металла методами ме-

ханической обработки имеет особую остроту с одной стороны - в связи с тенденцией выполнения их в потоке основных металлургических операций. С другой стороны - в связи с тем, что резервы повышения производительности при использовании традиционных способов резания практически исчерпаны. Как показывает анализ современного состояния металлообработки, достижение этой цели возможно лишь на пути освоения способов с принципиально новой кинематикой и схемой срезания припуска.

Анализ и классификация методов черновой обработки заготовок из титановых сплавов, выполненные в реферируемой работе на основе обобщения литературных данных, производственного опыта, а так же проведенных автором лабораторных испытаний, позволили выделить способы, наиболее эффективные по критериям производительности и стоимости. Среди них - фрезерование поверхностей вращения, бесцентровое точение катаных валов многолезцовыми головками, многолезцовая обточка слитков, поковок с использованием технологического тепла и ряд других. Однако реализация этих методов в производственных условиях связана с ограничениями, накладываемыми характером срезаемого припуска, инструментом и оборудованием и, следовательно, с необходимостью определения физических параметров процесса резания, прочности и износостойкости режущего инструмента, которые для условий чернового резания исследованы недостаточно.

Неоднозначно решается вопрос выбора метода интенсификации процесса резания. Несмотря на то, что черновая обработка с нагревом обрабатываемого материала хорошо известна (Т.Н. Лоладзе, А.Н. Строшков, М. Мерчант и др.), обработка титановых заготовок с нагревом, в силу особых физико-механических свойств этих сплавов, требует теоретического обоснования выбора рациональных методов обработки, режимов нагрева и резания, обеспечивающих наряду с увеличением скорости съема металла стабильное качество как обработанной поверхности, так и срезанной стружки и возможность использования ее в шихту. Повышение скорости съема металла, резкое увеличение сечения срезаемой стружки, выдвигают проблему управления ее формой и размерами, особенно актуальную для условий автоматизированного производства. Решение этих вопросов на протяжении ряда лет занимало внимание многих отечественных и зарубежных

ученых, установлены основные факторы, способствующие дроблению стружки в процессе резания, однако информационная база по стружколоманию в процессе чернового резания находится в стадии начального формирования.

Снижение затрат на черновую обработку является важным условием повышения ее эффективности. Выполнение этого условия возможно при оптимизации режимов обработки, основанной на достоверной информации о стойкостных зависимостях и экономических взаимосвязях процесса обработки. Однако анализ литературных данных показывает, что в большинстве случаев соответствующие стойкостные зависимости получены без учета способа производства заготовок, состояния их поверхностного слоя, а в некоторых случаях – и группы прочности обрабатываемых сплавов.

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На этапе прогнозирования выбор рациональных методов черновой обработки производился на основе комплексного анализа технико-экономической эффективности альтернативных вариантов формообразования заготовок, в которых черновая механическая обработка являлась органической частью всего процесса. В связи с отсутствием надежной нормативной базы эта часть работы выполнялась с использованием экспертных методов теории принятия оптимальных решений.

На этапе разработки процессов черновой обработки для различных видов заготовок и их оптимизации в качестве целевой функции (ЦФ) были приняты приведенные затраты. Оптимизируемыми параметрами являлись производительность и себестоимость. Переменными параметрами были v , s , t . Для получения зависимостей ограничений, накладываемых на переменные и их функции был выполнен большой объем теоретических и экспериментальных исследований, включавших в себя параметры, связанные с напряжениями и деформациями в процессе резания, с износом и стойкостью инструмента, качеством обработки.

В качестве обрабатываемого материала использовались слитки и деформированные полуфабрикаты: слэбы, кованые и катаные

валы, штампованные и кованные диски, кольца из серийных титановых сплавов – представителей четырех групп прочности, согласно общепринятой в металловедении титановых сплавов классификации. Физико-механические свойства, химсостав этих сплавов, закономерности структурных изменений при различных условиях их термообработки соответствовали стандартам.

Был принят следующий порядок выполнения экспериментальных исследований:

1. Изучение характера пластической деформации и разрушения обрабатываемого материала в процессе механических испытаний и в процессе резания. Механические испытания производили при сжатии образцов в режиме статической ($\dot{\epsilon} = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$) и динамической ($\dot{\epsilon} = 1,1 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$) скоростей нагружения в условиях нагрева и охлаждения образцов в диапазоне температур $(-196 + 600)^\circ\text{C}$. Характер напряженно-деформированного состояния в процессе резания изучался при строгании образцов с использованием метода координатных сеток. Изучалась усадка стружки, угол условной плоскости сдвига в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого слоя и режимов резания, в том числе – при воздействии на обрабатываемый материал искусственного нагрева и низкотемпературного охлаждения $(-196^\circ + 600)^\circ\text{C}$. Расчет параметров напряженно-деформированного состояния производился на основе имеющихся решений плоской задачи пластичности при свободном прямоугольном резании.

2. Определение силовых и температурных параметров процесса резания при точении выполнялось на токарном станке модели РТИ65, оборудованном теристорным электроприводом для бесступенчатого регулирования скорости резания, специальным трехкомпонентным динамометром, высокочастотной установкой для обработки с нагревом, вибросуппортом и устройством для измерения температуры резания методом естественной термопары. Расчет средних значений сил и контактных нагрузок на передней поверхности инструмента выполнялся методом экстраполяции сил резания на нулевую толщину срезаемого слоя.

Силы резания при фрезеровании поверхностей вращения изучались с помощью однозубой фрезы с резцом-динамометром на специально созданной установке для фрезерования кольцевых заготовок, оснащенной карусельным столом $D=1000$ мм и фрезер-

ным модулем ($N = 40$ кВт).

Для определения суммарных значений сил, действующих на фрезу, выполнялся теоретический расчет изменения параметров срезаемого слоя при повороте зуба фрезы и их влияния на составляющие силы резания.

3. Изучение влияния условий резания на характер износа режущего инструмента выполнялось методами моделирования на установках для истирания контактирующей пары, на специальной маятниковой установке для изучения силы адгезионного взаимодействия стружки с резцом и путем изучения износа как функции времени резания непосредственно при обработке реальных заготовок на металлорежущих станках.

В качестве показателей износа использовались приведенный износ, интенсивность износа и линейный износ.

Изучалось влияние на износ режимов резания, геометрии режущего инструмента, нагрева и охлаждения зоны резания, в том числе низкотемпературного.

При моделировании адгезионных явлений изучалось влияние параметров резания v , S_z , t , видов твердых покрытий, марок твердых сплавов на величину удельных давлений, коэффициент трения, площадь контакта, прочность схватывания стружки с резцом.

4. Определение стойкостных зависимостей проводилось в производственных условиях. Обрабатывались слитки, кованые, катаные валы, диски, кольца, слябы на токарных, токарно-карусельных, бесцентрово-токарных и фрезерных станках. Заготовки, отобранные для обработки, контролировались по глубине и твердости дефектного слоя, твердости основного металла, отклонениям формы поверхностей. В качестве инструментального материала использовался сплав ВКЗ, который наряду со сплавами этой же группы ВКЗТа, ВК12Та, показал при отборочных испытаниях лучшие режущие свойства.

Полученные ранее зависимости износа инструмента от условий резания позволили составить план проведения стойкостных исследований $N = 2^3$ в наиболее благоприятных для каждой группы заготовок условиях резания. Критерий затупления определялся исходя из условий безотказной работы инструмента в течении заданного времени:

$$P(T_3) = 0,5 + \Phi\left(\frac{h_{кр} - J_h \cdot T_3}{\sqrt{G_y \cdot T_3}}\right)$$

где Φ - табулированная функция Лапласа,
 J_h - интенсивность изнашивания,
 G_y - среднее квадратическое отклонение интенсивности изнашивания,
 T_3 - заданный период стойкости.

Принимая $T_3 = 20$ мин, $P(T_3) = 0,9$ решаем уравнение относительно $h_{кр}$ для титановых сплавов различных классификационных групп прочности.

Достаточное число дублирований опытов n определялось из условия обеспечения с заданной вероятностью P максимально допустимого отклонения среднего значения стойкости от истинного. Полученные результаты опытов подвергались статистическому анализу.

5. Управление формой и размерами стружки. Методический подход к решению задачи заключался в разработке классификатора способов стружколомания и стружек, определении основных факторов, влияющих на получение фракций необходимой длины ($l \leq 100$ мм) при точении различных классификационных групп заготовок.

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЧЕРНОВОЙ ОБРАБОТКИ

В основу решения этой задачи положена разработка метода выбора рационального способа формообразования заготовок, теоретический анализ усталостной долговечности режущих твердосплавных пластин, разработка теоретических основ обработки титановых сплавов с нагревом, аналитическое определение характера износа и сил резания как функции угла поворота зуба фрезы в условиях чернового фрезерования поверхностей вращения.

1. Задача выбора рационального метода формообразования заготовок на этапе прогнозирования решалась путем системного анализа большого числа показателей, характеризующих весь производственный цикл получения заготовок, включая операции черновой механической обработки. Среди основных показателей -

трудоемкость и стоимость, производительность, КИМ, КВТ, КВГ. Разработана структурная схема решения задачи с использованием метода расстановки приоритетов, основанная на определении обобщенного показателя эффективности каждого из альтернативных вариантов, что позволяло ранжировать эти варианты.

Для определения **весовых** коэффициентов по каждому из показателей использовались нормативные материалы, данные технических отчетов и другие источники. При отсутствии таковых использовались методы экспертных оценок. В связи с отсутствием исходных материалов по технико-экономическим показателям многих методов черновой обработки титановых заготовок (Flow-peeling, фрезерование поверхностей вращения валов, дисков, колец и др.) были выполнены производственные испытания этих методов с оценкой их по производительности процесса резания в единицах площади обработанной поверхности $Q_M = v \cdot S$, ($\text{мм}^2/\text{мин}$) или объема срезанной стружки $Q_M = v \cdot S \cdot t$, ($\text{мм}^3/\text{мин}$). В дальнейшем, таким образом, задача выбора метода формообразования заготовок с учетом их черновой обработки рассматривалась как задача получения заготовки заданной точности при условии наибольшей производительности и наименьшей стоимости.

При этом группу рассматриваемых вариантов получения заготовок $X_1 \dots X_m$ располагали в ряд по степени выраженности какого либо одного (из многих) критериев C_j . Строилась матрица сравнений $F = \| C_{ij} \|$

$$F = \begin{bmatrix} C_{11}; C_{12}; \dots C_{1n} \\ C_{21}; C_{22}; \dots C_{2n} \\ \dots \dots \dots \\ C_{n1}; C_{n2}; \dots C_{nn} \end{bmatrix}$$

где $i = j = 1, 2, \dots, n$.

$$C_{ij} = \begin{cases} 1+y, & \text{если } X_i > X_{i+1} \\ 1,0, & \text{если } X_i = X_{i+1} \\ 1-y, & \text{если } X_i < X_{i+1} \end{cases}$$

где $y = ((K-1)/(K+1)) + \sqrt{0,05/m}$

$$K = X_{i \max} / X_{i \min}$$

m - число сравниваемых вариантов.

Определялась итерированная значимость вариантов первого порядка, как сумма значений критериев данного способа

$$Q_i(1) = \sum_{j=1}^n C_{ij}$$

На второй итерации за значимость варианта принималась итерированная значимость первого порядка.

$$Q_i(2) = \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot Q_i(1)$$

В качестве окончательных значений приоритетов принимались их нормированные значения $q_i(j)$:

$$q_i(j) = Q_i(j) / \sum_{i=1}^n Q_i(j)$$

Для решения этой задачи с помощью ЭВМ составлена программа.

2. Теоретический анализ усталостной долговечности режущих твердосплавных пластин, работающих в условиях тяжелых циклических нагрузок ($N = 5 \times 10^5 + 9 \times 10^5$ циклов при $T = 15 + 20 \text{ мин}$) содержал несколько этапов. Условия нагружения режущих пластин определялись обработкой осциллограмм и приведением параметров внешней нагрузки к симметричному циклу. Зависимость напряженного состояния режущих пластин от условий нагружения определялась с использованием метода фотоупругости. Расчет напряжений выполнялся по разности касательных напряжений. Переход от модели к натуре — с помощью масштабных коэффициентов. В качестве расчетной схемы усталостной долговечности была принята модель суммирования усталостных разрушений в зоне, равноудаленной от режущих кромок пластин, в основе которой положено правило Майнера: разрушение происходит после $P_1, \dots, P_k$ циклов соответствующих напряжений $\sigma_{N_1}, \dots, \sigma_{N_k}$, если сумма отдельных повреждений равна единице:

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = 1$$

В соответствие с принятой моделью суммирования усталостных разрушений

$$\begin{aligned} \sum \frac{n_i}{N_i} &= Q = \int \frac{n_c f(\sigma) d\sigma \cdot \sigma^m}{N_0 \cdot \sigma \cdot 1q} = \\ &= \frac{n_c}{a_p N_0 \cdot \sigma \cdot 1q} \cdot \int_{\sigma_{\min}}^{\sigma_{\max}} \sigma^m f(\sigma) d\sigma \quad \text{или} \\ Q(T) &= \frac{n_c}{a_p \cdot N_0 \cdot \sigma \cdot 1q} \cdot \int_{\sigma_{\min}}^{\sigma_{\max}} \sigma^m f[\sigma(T)] d\sigma \end{aligned}$$

где $Q(T)$ - доля усталостного повреждения,
 $q(T)$ - доля усталостного повреждения на единицу времени,

n_c - число циклов на осциллограмме за ед. времени,

T - время непрерывного резания,

a_p - степень кумулятивного повреждения ($a_p = 0,71 + 1,49$),

N_0 - базовое число циклов предела усталости,

m - коэффициент, учитывающий угол наклона кривой усталости,

σ_{-1q} - предел усталости.

С учетом того, что $q = dQ/dT$ - доля усталостного повреждения в единицу времени $dQ = qdT$, а $Q = \int_0^T q(t) dt$ или $\int_0^{T_{разр}} q(t) dt = a_p$ - уравнение условия разрушения.

То Полученные результаты указывают пути совершенствования режущего инструмента: сокращение числа режущих кромок, снижение величины критерия затупления, оптимизация формы и размеров пластины.

3. Определены теоретические основы черновой обработки титановых сплавов с нагревом. Показано, что повышение толщины среза при обработке с нагревом осуществляется за счет снижения сопротивления обрабатываемого материала сдвигу в зоне условной плоскости сдвига. При этом условием работоспособности режущего инструмента при любой, практически осуществляемой толщине среза, является известное (Т.Н.Лоладзе) выражение:

$$\tau_F \leq 0,223 \sigma_u$$

где σ_u - предел прочности инструментального материала на сдвиг в реальных температурных условиях контакта.

Температурные зависимости τ_F получены автором при испытании обрабатываемого материала на сжатие.

Наиболее благоприятными для процесса резания температурными условиями являются условия, соответствующие максимальному значению коэффициента запаса пластической прочности инструмента n .

$$n \approx \frac{HV_4}{HV_m}$$

Исходя из известных из теории пластичности соотношений

$$\tau_F = \frac{1}{6} H\sqrt{m}, \text{ получаем}$$
$$n \geq \frac{H\sqrt{m}}{6 \tau_F}$$

Пользуясь полученными соотношениями для n и τ_F можно определить оптимальную, по условиям прочности инструмента, температуру нагрева для каждой группы титановых сплавов.

Ограничением максимальных значений температуры нагрева является возрастание химической активности сплавов и связанные с этим неблагоприятные изменения структуры обработанного материала и срезаемой стружки при температуре, превышающей 500°C . Исходя из этого область рациональных сочетаний режима резания и нагрева определялась с учетом ограничений, накладываемых прочностью инструмента и условиями окисления металла.

Условия получения неокисленной стружки при обработке с индукционным нагревом заготовок до 500°C определялись из расчета

$$\theta_{\text{об}} = \theta_w + \theta_{\text{доп}} \leq 500^\circ\text{C} \quad (1)$$

где $\theta_{\text{об}}$ — общая температура стружки,

θ_w — средняя, по объему, температура стружки без учета нагрева заготовки,

$\theta_{\text{доп}}$ — дополнительная температура, связанная с нагревом заготовки до 500°C .

Располагая данными по мощности тепловых потоков, их форме и размерам, на основании имеющихся решений для θ_w и $\theta_{\text{доп}}$ (Д.К.Исгер, Н.И.Резников, П.И.Вобрик), определяли режимы обработки, соответствующие условиям (1)

Получение уравнения для определения температуры в любой точке плоской крупной заготовки при фрезеровании с индукционным нагревом осуществлялось в несколько этапов:

а) Получение уравнения для случая линейного, непрерывно

действующего теплового источника, перемещающегося со скоростью

см/с, дающего температуру в точке (y, z):

$$\theta = \frac{q}{2\pi\lambda_0} \exp\left(-\frac{S(y-y_1)}{2a_0}\right) K_0\left[\frac{S}{2a_0} \sqrt{(y-y_1)^2 + (z-z_1)^2}\right]$$

где $K_0(u)$ - условное обозначение специальной функции, графическое представление которой имеется (П.И.Бобрин).

б) Повышение температуры от тепла, выделяющегося по полосе шириной dy_1 составит:

$$d\theta = \frac{q dy_1}{2\pi\lambda_0} \exp\left(-\frac{S(y-y_1)}{2a_0}\right) K_0\left[\frac{S}{2a_0} \sqrt{(y-y_1)^2 + z^2}\right]$$

Интегрируя по всей ширине площадки, получим:

$$\theta = \frac{q}{2\pi\lambda_0} \int_0^{\ell} \exp\left(-\frac{S(y-y_1)}{2a_0}\right) K_0\left[\frac{S}{2a_0} \sqrt{(y-y_1)^2 + z^2}\right] dy_1$$

$$\text{в) После замен: } \frac{S \cdot \ell}{2a_0} = N; \quad \frac{S \cdot y}{2a_0} = N \cdot \frac{y}{\ell} = N'; \quad d = \frac{S \cdot z}{2a_0}$$

применяя фиктивные отраженные источники и обозначив интеграл в формуле через J получили окончательную формулу, выраженную в безразмерных критериях:

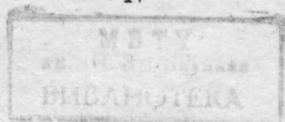
$$\theta = \frac{2q}{\pi \cdot C_0 \cdot \delta \cdot S} \cdot J\left(N; \frac{y}{\ell}; d\right) \quad (2)$$

При фрезеровании титановых сплавов 3,4 групп прочности с нагревом принимаем $S < 0,2$ см/с. Длина индуктора и величина $y = 2+3$ см. Принимая $a_0 = 0,05$ см²/с, получаем $0 < N < 6$. Для расчета θ в любой точке достаточно, задаваясь z , определить d , затем по d , N и $\frac{y}{\ell}$ определить значение J .

Анализ полученных результатов позволяет отметить, что характер распределения температуры по глубине сильно зависит от критерия N . При значениях $0,05 < N < 6$, характерных для черновой обработки титановых сплавов, заготовка прогревается на глубину 7+15 мм, что не оказывает вредного влияния на структуру обработанного металла, поскольку не превышает величину срезаемого припуска.

4. Определены мгновенные значения толщины срезаемого слоя на вершине режущего зуба при фрезеровании поверхностей вращения:

$$a_1 = S_z \cdot \sin \theta \sin \varphi_p$$



1545531

и в точке α_2 , определяющей ширину срезаемого слоя:

$$\alpha_2 = S_z \frac{R_3}{R_3 - t + \delta} \cdot \frac{x_2}{\sqrt{x_2^2}} \cdot \sin \left\{ \varphi + \alpha_2 \operatorname{tg} \left[\frac{x_2 \cdot (R\varphi - h_0)}{R_3 - t - z_2} \cdot \frac{x_2}{\sqrt{x_2^2 + y_2^2}} \right] \right\}$$

где $\delta = \sqrt{h^2 + (R_3 - t)^2} - (R_3 - t)$ $\alpha_{cp} = (\alpha_1 + \alpha_2)/2$

После расчета значений параметров срезаемого слоя в зависимости от угла поворота зуба фрезы θ получено выражение для определения сил резания, как функции угла поворота зуба фрезы:

$$P_z = C_{p_z} \cdot \left(S_z \sin \theta \cdot \sin \left\{ \varphi + \sin \theta \left[\frac{h_0 - R\varphi(1 - \sin \theta)}{R\alpha} \right] \right\} \right) \chi_{p_z} \cdot \sqrt{z_{p_z}} \quad (3)$$

$$\cdot \left(\frac{t - \sqrt{[h_0 - R\varphi(1 - \sin \theta)]^2 + R\alpha^2} + R\alpha}{\sin \left\{ \varphi + \sin \left[\frac{h_0 - R\varphi(1 - \sin \theta)}{R\alpha} \right] \right\}} \right) \chi_{p_z} \cdot \sqrt{z_{p_z}} \quad (3)$$

Аналогичные выражения получены для P_y и P_x .

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ОГРАНИЧИВАЮЩИХ МАКСИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

1. При испытании образцов на сжатие найдены значения параметров, необходимых для теоретического определения напряжения сдвига τ_F по формуле А.М.Розенберга и А.Н.Еремина:

$$\tau_F = \frac{\sigma_0}{\rho_0 \cdot \epsilon_m} \cdot \left(e^{\frac{\rho_0 \epsilon}{1.5}} - 1 \right)$$

где σ_0 - условный предел текучести, Н/м²,

ρ_0 - показатель политропы напряжений, характеризующих влияние деформации материала на его упрочнение,

ϵ - относительный сдвиг.

2. В условиях прямоугольного свободного резания установлено влияние микротвердости и структуры обрабатываемого материала на интенсивность пластических деформаций. Получены зависимости параметров процесса резания от условий обработки, в том числе - силы резания, удельного давления, площади пластического контакта и усадки стружки. Отмечено, что при глубине резания, меньшей толщины дефектного слоя, элементы стружки мало деформированы. По мере перехода к основному металлу повышается сплошность стружки и ее усадка, уменьшается угол сдвига, интенсивность деформации увеличивается.

Определены температурные зависимости параметров процесса пластической деформации при резании основного материала. Показано, что изменение температуры обрабатываемых образцов

сопровождалось перераспределением величины истинных деформаций сжатия, растяжения и сдвига. Влияние температурного фактора на величину истинных деформаций, например, для сплава СТ4, характеризуют отношения:

$$\frac{\epsilon_{y \max}(600^{\circ}\text{C})}{\epsilon_{y \min}(-180^{\circ}\text{C})} = 1,6; \quad \frac{\epsilon_{y \max}(600^{\circ}\text{C})}{\epsilon_{y \min}(-180^{\circ}\text{C})} = 1,45$$

а соотношение скоростей деформации составило:

$$\frac{\dot{\epsilon}_i(-180^{\circ}\text{C})}{\dot{\epsilon}_i(600^{\circ}\text{C})} = 1,2 \div 1,3$$

Установлены зависимости интенсивности напряжений $\bar{\sigma}_i$ и интенсивности деформаций $\dot{\epsilon}_i$ от температуры испытаний в диапазоне температур $-180 + 600^{\circ}\text{C}$. На основании полученных закономерностей распределения $\bar{\sigma}_i$ и $\dot{\epsilon}_i$ была определена работа деформаций $W = \int \bar{\sigma}_i \cdot d\epsilon_i$. Показано, что соотношение удельных работ деформаций при температуре -180°C ; 20°C ; 600°C составляло $0,78:1,0:1,15$.

Сопоставление полученных данных показало, что низкотемпературное охлаждение образцов способствует снижению удельной работы деформации, а нагрев — уменьшению удельных давлений (за счет увеличения площади пластического контакта стружки с резцом). Полученные результаты использованы для прогнозирования обрабатываемости заготовок.

3. Выполнены исследования силовых и температурных нагрузок в процессе точения со срезанием стружек крупного сечения.

Получены формулы для расчета температуры резания и составляющих силы резания при точении и фрезеровании для представителей 4-х групп материалов ВТИ-1, ОТ4, ВТ6, ВТЗ-1 и поправочные коэффициенты, учитывающие влияние износа инструмента. Анализ полученных результатов показал, что с износом инструмента составляющие P_y и P_x интенсивно возрастают и при значениях $h_g \geq 2,5$ мм могут превышать P_x . Существенный рост составляющих силы резания и изменение их соотношения приводит к увеличению значения равнодействующих R и неблагоприятному изменению угла ее действия, что, в конечном итоге, приводит к ухудшению условий нагружения системы СПИД.

4. Исследованы температурно-силовые характеристики процесса чернового фрезерования поверхностей вращения. В том

числе получены значения составляющих силы резания, действующих на различных, по ширине режущей кромки участках.

1. На участке поверхностного слоя, $b = 1,41 \div 4,23$ мм.

$$P_z = 2083 \cdot a^{0,74} \cdot b^{0,83} \cdot v^{0,05} \quad (H)$$

$$P_y = 1400 \cdot a^{0,35} \cdot b^{0,38} \cdot v^{0,09} \quad (H)$$

$$P_x = 1163 \cdot a^{0,39} \cdot b^{0,43} \cdot v^{0,08} \quad (H)$$

2. На участке основного материала $b = 4,23 \div 7,05$ мм.

$$P_z = 1833 \cdot a^{0,8} \cdot b^{0,99} \cdot v^{0,06} \quad (H)$$

$$P_y = 702 \cdot a^{0,37} \cdot b^{0,89} \cdot v^{0,1} \quad (H)$$

$$P_x = 585 \cdot a^{0,41} \cdot b^{0,9} \cdot v^{0,1} \quad (H)$$

5. Установлены закономерности износа режущего инструмента. Получены результаты истирания пары ВКЗ-ВКЗ-I на модулирующей установке в зависимости от скорости скольжения V , температуры нагрева заготовки титановых сплавов T° , удельного давления P .

Величина приведенного износа составляла:

При истирании по основному металлу

$$J_o = 0,03 \cdot P^{0,72} / T^{0,6} \cdot v^{0,4}$$

При истирании по корке

$$J_K = J_o \left(\frac{HV_K}{HV_o} \right)^{0,75} \quad (4)$$

где HV_o, HV_K - твердость основного материала и корки.

Получены закономерности изменения приведенного износа при точении заготовок, в зависимости от глубины, подачи и скорости резания. Показано, что износ резко возрастает при глубине резания, меньшей толщины дефектного слоя и стабилизируется при глубине резания, превышающей её.

Кривые зависимости приведенного износа от подачи, скорости резания, геометрических параметров резца, имеют четко выраженный экстремальный характер.

Минимальные значения приведенного износа соответствовали режимам обработки, геометрическим параметрам инструмента, создающим наиболее благоприятные по износостойкости, условия резания.

Влияние нагрева заготовок на износ инструмента определяется изменением соотношения твердости инструментального и обрабатываемого материалов, которое вносит нагрев заготовок, а так же благоприятным характером распределения тепла по глубине заготовки (при высокочастотном индукционном нагреве). Сделан вывод о том, что нагрев заготовок до 500°C позволяет снизить износ в 1,2-1,5 раза, а область его использования - обработка высокопрочных сплавов (4 группа прочности).

Изучено влияние на линейный износ охлаждения зоны резания, в том числе, низкотемпературными составами (жидкий азот (-196°C)), (углекислота (-70°C)), антифриз (-40°C)), водная СОЖ (2°C), сжатый воздух). Лучшие результаты получены при охлаждении водными СОЖ при температуре $+2^{\circ}\text{C}$. Несколько менее эффективно снижает износ охлаждение сжатым воздухом. Низкотемпературное охлаждение жидким азотом, снижая температуру резания, заметного влияния на интенсивность износа не оказывало.

6. Исследованы зависимости прочности адгезионных связей стружки с резцом, площади контакта и удельных давлений от параметров режима резания v , s , t , геометрии режущего инструмента, продолжительности контакта, температуры предварительного нагрева заготовки, а так же эффективность использования различных СОЖ и твердых покрытий рабочих поверхностей резца.

Показано, что абсолютное значение силы схватывания возрастало пропорционально росту площади контакта. Снижение величины переднего угла до значений $\chi = -10^{\circ}$ и более повышало силу адгезионного схватывания. При срезании поверхностного слоя (корки) сила адгезионного схватывания резко уменьшалась по мере перехода от основного металла к корке. При температуре нагрева заготовок до $500^{\circ}+600^{\circ}\text{C}$ прочность адгезионной связи снижалась до 4 раз от первоначальной (20°C), а темп роста температуры резания снижался. Отмечено, что отдельные виды твердых покрытий, например, никель-фосфорное покрытие, способны резко (до 5 раз) снизить силу адгезионной связи стружки-резец.

7. Найдены максимальные значения режимов резания, обеспечивающие получение дробленой стружки в процессе резания сплавов всех 4-х групп прочности. Наиболее надежное стружколомание происходило при работе до $h_2 \leq 2$ мм резцами с накладными

стружколомателями и передней поверхностью реза, определяемой параметрами $\psi = 45^\circ$; $l = (7 \pm 2)a$; $f = a/5$; $\chi_p = -(5-20)^\circ$; где ψ – угол наклона стружколомающего порошка, l – расстояние от него до режущей кромки, f – величина упрочняющей фаски.

8. Стойкостные исследования. Получены математические модели, связывающие стойкость инструмента с основными параметрами режимов резания, с учетом способов формообразования заготовок, группы прочности сплавов, методов обработки.

Например, точение слитков резцами сборной конструкции, $h_3 = 2,5 \text{ мм}$; $t = 5 \div 7 \text{ мм}$; охлаждение – воздух. Станок мод I65.

1 группа прочности
$$V = 60 \div 90 \text{ м/мин}; S = 1,2 \div 1,8 \text{ мм/об.} \quad T = \frac{14490}{\sqrt{1,35 \cdot S^{0,53} \cdot t^{0,2}}} \quad (\text{мин})$$

2 группа прочности
$$V = 30 \div 60 \text{ м/мин}; S = 0,8 \div 1,2 \text{ мм/об.} \quad T = \frac{798}{\sqrt{1,2 \cdot S^{0,6} \cdot t^{0,18}}} \quad (\text{мин})$$

3 группа прочности
$$V = 20 \div 40 \text{ м/мин}; S = 0,6 \div 0,8 \text{ мм/об.} \quad T = \frac{364}{\sqrt{1,2 \cdot S^{0,71} \cdot t^{0,18}}} \quad (\text{мин})$$

4 группа прочности
$$V = 8 \div 20 \text{ м/мин}; S = 0,2 \div 0,6 \text{ мм/об.} \quad T = \frac{285}{\sqrt{0,85 \cdot S^{0,8} \cdot t^{0,15}}} \quad (\text{мин})$$

ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЧЕР- НОВОГО ТОЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК

Работа выполнялась в направлении освоения рациональных способов обработки заготовок, специального режущего инструмента и оборудования для их реализации, разработки режимов резания, метода их интенсификации и оптимизации процесса резания по параметрам производительности и стоимости.

1. На основе разработанных специальных многогранных режущих твердосплавных пластин для тяжелого резания создана гамма конструкций сборной инструмента, позволяющая:

Значительно повысить стойкость при работе в условиях экстремальных нагрузок неравномерного характера за счет:
– выбора рациональной формы и размеров режущих пластин по критериям усталостной долговечности.

- возможности использования режущих пластин с заранее созданными характеристиками, такими как форма передней поверхности и геометрия режущей части, обеспечивающие снижение выкрашиваний, сколов в процессе резания, получение дробленой стружки.

Существенно снизить расход твердого сплава за счет переточки и многократного использования сменных режущих пластин путем применения специальных вставок и принятой системы их базирования в державке резца.

Снизить вспомогательное время за счет смены изношенных пластин без снятия корпуса инструмента со станка.

Уменьшить затраты на восстановление режущего инструмента.

II. Разработаны специальные многорезцовые режущие головки для обработки катаных заготовок на бесцентрово-токарных станках, обеспечивающие многократное увеличение производительности за счет повышения суммарного сечения среза и надежное дробление стружки в процессе резания.

Разработаны специальные резцовые головки с плавающими резцовыми блоками, позволяющие срезать равномерный припуск при обработке заготовок с повышенными отклонениями их геометрической формы.

III. Определены оптимальные условия черного точения с нагревом заготовок.

Найдена область рациональных сочетаний режимов нагрева и режимов резания из условий увеличения в 2-4 раза скорости съема стружки при обеспечении заданного качества обработанного металла и стружки.

Определены рациональные условия использования технологического тепла при точении слитков, поковок.

Разработана лабораторная установка для точения крупных заготовок с индукционным нагревом. Выполнен комплекс исследований по определению оптимальной геометрии режущего инструмента, зависимостям его скорости от режимов резания.

Разработаны установки для локального электроконтактного нагрева заготовок при точении на центровых и бесцентрово-токарных станках.

IV. С целью повышения эффективности процесса резания, с учетом экономических показателей процесса и выявления

ничений, накладываемых обрабатываемым металлом, инструментом и оборудованием, разработана математическая модель процесса точения, выполнен расчет технических ограничений и найдены оптимальные режимы обработки для вариантов точения валов с прямыми и обратными срезами по критериям наибольшей производительности и наименьших приведенных затрат.

У. Выполнен сравнительный расчет эффективности обработки кольцевых заготовок методами точения и фрезерования. В качестве (И.Э.) были приняты приведенные затраты. Показано, что применение способа фрезерования поверхностей вращения кованых заготовок взамен точения является одним из наиболее эффективных путей повышения производительности и снижения стоимости обработки.

Одновременно решается проблема получения транспортабельной стружки, удобной для дальнейшей ее переработки и использования в шихту.

ГЛАВА 6. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ ЗАГОТОВОК

В настоящее время накоплен значительный материал, освещающий теоретические основы применения метода фрезерования тел вращения в различных областях машиностроения. (А.И.Каширин, М.Е.Юхвид, А.О.Этин, Э.Л.Мархасин, А.А.Петросянц, Л.Н.Коган, Г.М.Шейнин, В.П.Аксенов, Э.Р.Рыжов, В.С.Полехин, А.Я.Котляров, Ю.В.Иванов и др.). Многие зарубежные станкостроительные фирмы оснащают металлорежущие станки дополнительным фрезерным суппортом для фрезерования поверхностей вращения. Особенно перспективен данный метод при черновой обработке крупных заготовок из труднообрабатываемых сплавов. Как показано в исследованиях ряда авторов (А.О.Этин, Э.В.Рыжов, В.С.Полехин и др.) преимущества этого метода могут быть многократно увеличены (в 5-7 раз) при условии оптимизации процесса фрезерования. Ниже приведены результаты работы в этом направлении, выполненные в реферируемой работе при обработке заготовок типа валов и колец.

Г. Найдены оптимальные кинематические схемы срезания припуска при обработке заготовок типа валов и колец, обеспечивающие наибольшую длину контакта режущей части фрезы с заготовкой, концентрацию режущих элементов с максимальным съемом ме-

тала, при учете ограничений, накладываемых качеством обработанных поверхностей.

2. Разработано экспериментальное оборудование для фрезерования поверхностей вращения длинномерных валов $\varnothing 60 + 200$ мм и заготовок типа колец, диаметром более 1000 мм. Установки отличались высокой мощностью фрезерных головок ($N > 40$ кВт), жесткостью СПИД, безлюфтовым приводом вращения заготовок и точностью их круговой подачи. Установка для фрезерования валов, кроме того, была оснащена гидравлическим следящим люнетом, обеспечивавшим, при фрезеровании длинномерных валов ($\varnothing 140$ мм $L = 1,8$ м) стабильность положения оси заготовки. При нагрузках $25 + 30$ кН величина смещения оси составляла не более 25 мкм.

3. Разработана гамма унифицированных сборных твердосплавных фрез для тяжелого резания на основе подбора режущих твердосплавных пластин по критериям усталостной долговечности, разработанным в разделе 3.2 данной работы. Определены рациональные конструктивные и геометрические параметры фрез, обеспечивающие возможность черновой обработки при $S_z = 0,7$ мм/зуб.

4. Изучены особенности износа режущего инструмента, характер образующейся стружки, получены стойкостные зависимости в широком диапазоне режимов резания. Показано, что в условиях фрезерования поверхностей вращения приведенный износ инструмента по сравнению с плоским фрезерованием при аналогичных условиях (по объему срезанной стружки) снижается в связи с благоприятными условиями входа и выхода фрезы.

5. Выполнено аналитическое определение силовых параметров процесса резания, расчет ограничений режимов резания, установлена взаимосвязь режимов обработки с экономическими показателями процесса резания. На основе полученных данных составлена таблица оптимальных значений режимов резания для представителей заготовок 4-х групп прочности и разработан алгоритм их расчета.

ГЛАВА 7. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ

Реферируемая диссертация связана с выполнением координационных планов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ министерства авиационной промышленности, научно-

исследовательского института двигателестроения (НИИД), МГТУ им. Н.Э.Баумана, выполненных совместно с Верхне-Салдинским производственным объединением "Металлообрабатывающий завод", Чебаркульским и Ступинским металлургическими заводами и рядом других предприятий авиационной отрасли, энергомашиностроения и тяжелого машиностроения.

Основная часть работы по внедрению выполнялась в соответствии с планами комплексной целевой темы №929 "Исследование, разработка технологии и оборудования, организация специализированных участков и цехов, освоение процессов механической обработки заготовок деталей двигателей в условиях металлургических заводов авиационной отрасли" (приказ министра А.П. от 11.02.72 № 43, приказ по НИИД от 11.04.72 № 90, Мероприятия по ВСМОЗ, утвержденные министром 24.02.70. Руководитель работы А.И.Созинов). Данная работа была направлена на разработку методов и средств, обеспечивающих полный цикл черновой обработки заготовок непосредственно на металлургических предприятиях, снижение трудоемкости обработки, повышение ее производительности, повышение выхода годного, снижения расхода твердого сплава и повышения уровня механизации операций механической обработки.

В соответствии с координационными планами совместных работ с участием автора, была разработана необходимая нормативно-техническая документация, выполнены ОКР, изготовлено необходимое оборудование, режущий инструмент и внедрены:

1. На Верхнесалдинском производственном объединении "Металлообрабатывающий завод":

- механизированная линия ТСП-I по обработке заготовок лопаток;
- механизированная линия по обработке слитков с индукционным нагревом заготовок;
- механизированная линия по фрезерованию слябов, в том числе - с индукционным нагревом заготовок;
- специализированные токарно-карусельные станки мод. КС-522 для обточки заготовок дисков;
- прогрессивный режущий инструмент, средства охлаждения зоны резания, оптимальные режимы резания.

2. На Ступинском металлургическом комбинате внедрена механизированная линия по изготовлению образцов из труднообрабаты-

ваемых сплавов для металлографических исследований.

3. На Чебаркульском металлургическом заводе, Калужском моторостроительном объединении и на ряде других предприятий разработаны технические задания на организацию заготовительных цехов по механической обработке труднообрабатываемых сплавов, внедрен специальный режущий инструмент для обработки заготовок дисков, валов, повышен технический уровень использования станков с ЧПУ в заготовительном производстве.

4. Разработан экспериментальный образец специального карусельно-фрезерного станка для фрезерования поверхностей вращения крупных кольцевых заготовок. Разработаны технические задания для Ульяновского ГСКБ тяжелых фрезерных станков на разработку гаммы специальных карусельно-фрезерных станков для предприятий энергомашиностроения. Создаваемые станки намечено использовать для высокопроизводительной черновой обработки кольцевых заготовок, вместо используемых в настоящее время для этой цели токарно-карусельных и токарно-лобовых станков.

Уменьшение общих затрат на механическую черновую обработку резанием только за счет совершенствования методов обработки, режущего инструмента и их рациональной эксплуатации по данным предприятий, составило более 10%. Экономический эффект от внедрения этих мероприятий только по ПО ВСМОЗ составил более 3 млн.руб.

Рост производительности, надежности технологических процессов черновой обработки обусловил возможность организации в условиях заготовительного производства гибких механизированных линий с непрерывным потоком операций по изготовлению конечного продукта (например, заготовок лопаток турбин на ПО ВСМОЗ).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

На базе теоретически и экспериментально полученных закономерностей чернового резания, заготовок из титановых сплавов и экономических взаимосвязей, характеризующих условия их обработки, решена научная проблема повышения производительности процесса чернового резания при обеспечении заданного качества и минимальных затратах.

Выявлены следующие основные направления повышения эффективности черновой обработки:

- металлургическое, связанное с улучшением качества поверхности заготовок, определяющего физико-экономические свойства, величину и характер срезаемого припуска;
- кинематико-технологическое, связанное с выбором рационального способа черновой обработки и схемы срезания припуска;
- инструментально-конструкторское, связанное с разработкой специального, высокопроизводительного режущего инструмента и оборудования;
- оптимизация процесса резания, связанная с установлением соотношения между отдельными критериями, такими как производительность и стоимость обработки.

Разработан механизм реализации предложенных направлений, в том числе:

- Предложена методика, разработана структурная схема и программа решения задачи выбора рационального способа формообразования заготовок с учетом их черновой механической обработки, основанная на определении обобщенного показателя эффективности альтернативных вариантов и их ранжирования.
- Разработан классификатор черновых способов обработки и их сравнение по критерию скорости съема металла при заданных параметрах качества и минимальных затратах, позволяющих осуществить выбор оптимальной, для каждого вида заготовок, кинематической схемы обработки.
- Предложена методика расчета усталостной долговечности многогранных режущих пластин, позволяющая, с минимальными затратами, определять пути разработки оптимальных, для черного резания, конструктивных параметров многогранных режущих пластин, критериев их износа и условий эксплуатации.
- На основе разработанных специальных многогранных твердосплавных режущих пластин для тяжелого резания созданы конструкции специального высокопроизводительного инструмента, многолезвонных режущих головок для обработки заготовок на токарных, токарно-карусельных, бесцентрово-токарных, строгальных и фрезерных станках.
- Разработаны экспериментальные образцы оборудования для точения голов с индукционным нагревом заготовок, для фрезерования поверхностей вращения заготовок. Разработаны и переданы в промышленность технические задания на специальное

- оборудование для черновой обработки заготовок колец, дисков.
- Разработана методология определения предельных режимов резания, экономически взаимосвязанных с выявлением ограничений, накладываемых параметрами обрабатываемых заготовок, физическими параметрами процесса резания, инструментом и оборудованием.

Использование перечисленных путей повышения эффективности черновой обработки основывалось на следующих научных выводах и результатах исследований:

- В условиях динамических испытаний на сжатие образцов обрабатываемого материала получены значения характеристик обрабатываемого материала и параметров пластической деформации, позволяющие решать проблему аналитического определения напряжений сдвига и силовых параметров процесса резания титановых сплавов.
- Изучен характер пластических деформаций обрабатываемого материала в зависимости от его физико-механических свойств и условий резания. Получены количественные данные о влиянии условий резания, в том числе схемы срезания припуска, нагрева и низкотемпературного охлаждения, геометрических параметров режущего инструмента, на элементы механики процесса резания, позволяющих прогнозировать наиболее эффективные методы улучшения обрабатываемости.
- Теоретически и экспериментально, с использованием методов моделирования, определены закономерности силового и температурного нагружений режущего инструмента и его износа в процессе резания, изучено изменение полей напряжений в режущих пластинах в зависимости от их износа. Найдены значения его интенсивности в зависимости от режимных параметров процесса резания. Получены зависимости параметров адгезионного взаимодействия стружки с резцом в зависимости от условий резания и найдены методы повышения стойкости инструмента за счет снижения его адгезионного износа.
- Разработаны теоретические основы интенсификации процессов резания путем повышения толщины среза в 2-3 раза за счет разупрочнения обрабатываемого материала при его нагреве или использовании технологического тепла, при условии обеспечения заданного качества обработанного металла и стружки.

- Разработаны условия повышения эффективности обточки катаных валов за счет увеличения подачи в 2-6 раз без превышения критической толщины срезаемого слоя при работе резцами с малыми углами в плане ($\varphi \leq 6^\circ$) при уравнивании сил резания и получение дробленой стружки, пригодной для использования в шихту.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Созинов А.И. Влияние способов получения заготовок на качество поверхности и структуру припуска при черновой обработке титановых сплавов/МВТУ (Калужский филиал). - Калуга, 1989. - 104с. ил. - Библиогр.: 8 назв. - Деп. в ВНИИТЭМР 1989, № 8.

2. Созинов А.И., Иванов Ю.В. Особенности процесса резания поверхностного слоя титановых полуфабрикатов//Труды МВТУ. - 1989. - №28. - С.21-36.

3. Созинов А.И., Иванов Ю.В., Строшков А.Н. Фрезерование крупных заготовок из труднообрабатываемых сплавов//Станки и инструмент. - 1991. - №2. - С.15-17.

4. Созинов А.И., Строшков А.Н. Повышение эффективности черновой обработки заготовок из титановых сплавов. - М.: Металлургия. - 1990. - 120с.

5. Созинов А.И., Лобанов В.М. Выбор оптимальных условий бесцентрового точения титановых полуфабрикатов/МВТУ (Калужский филиал). - Калуга 1989. - 116с.: ил. - Библиогр.: 12 назв. - Деп. в ВНИИТЭМР 1989, № 10.

6. Созинов А.И., Котляров А.Я., Иванов Ю.В. Определение усталостной долговечности многогранных режущих пластин при случайном характере внешней нагрузки//Известия ВУЗов. - Машиностроение, 1984. - № 8. - С.152-155.

7. Созинов А.И., Виденко Ю.Н. Основные закономерности процесса чернового резания титановых сплавов при обработке с нагревом и низкотемпературным охлаждением/МВТУ (Калужский филиал). - Калуга, 1989. - 103с.: ил. - Библиогр.: 6 назв. - Деп. в ВНИИТЭМР. 1989, № 8.

8. Бобрин П.И., Созинов А.И. Исследования процесса фрезерования титановых сплавов с нагревом//Труды НИИТ, 1968. - № 264. - 60с.

9. Иванов Д.В., Созинов А.И. Особенности износа инструмента при черновом фрезеровании поверхностей вращения заготовок из титановых сплавов.// Совершенствование технологических процессов изготовления деталей машин : Тез.докл.Республ.науч.-техн.конф. - Курган, 1991. - С.105-107.

10. Созинов А.И., Годин Н.Л., Лобанов В.М., Строшков А.Н. Механическая обработка литых, кованных, катаных заготовок из титановых сплавов со срезанием стружек крупного сечения//Труды НИАТ, 1971. - № 321. - 50с.

11. Созинов А.И., Лобанов В.М., Котляров А.Я. Сборные резцы для черновой обработки титановых сплавов//Станки и инструмент. - 1978. - № 5. - С.24-26.

12. Иванов Д.В., Созинов А.И. Физические особенности процесса фрезерования поверхностей вращения заготовок из труднообрабатываемых сплавов/МВТУ Калужский филиал. - Калуга, 1989. - 40с.: ил. - Библиография: 6 назв. - Деп. в ВНИИТЭМР 27.02.89. - № 68.

13. Созинов А.И., Годин Н.Л. Механическая обработка литых, кованных и катаных заготовок из титановых сплавов со срезанием стружек крупного сечения//Труды НИАТ. - 1971. - № 321. - 50с.

Типография МВТУ им. Н.Э. Баумана
354... тираж 100 экз.
Подписано в печать 28.06.91 г.