

М 87166

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

Иванов Юрий Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ
ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Специальность 05.03.01. - Процессы механической и физико-
технической обработки, станки и
инструменты

Иванов

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

Москва, 1993 г.

Работа выполнена в Калужском филиале Московского Государственного технического университета имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент Созинов А.И.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Чернянский П.М.
кандидат технических наук
Баранчиков В.И.

Ведущее предприятие - Ульяновское станкостроительное ПО
тяжелых и уникальных станков

Защита состоится "25" марта 1993 г. на заседании
специализированного Совета К.053.15.15. в Московском Государ-
ственном техническом университете имени Н.Э.Баумана по адресу:
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ
имени Н.Э.Баумана.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный
печатью учреждения, просим направить по указанному адресу.

Телефон для справок: 263-65-14.

Автореферат разослан "23" февраля 1993 г.

Ученый секретарь специализированного
Совета кандидат технических наук,
доцент

Р.К.Мещеряков

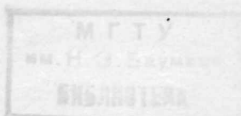
1987/8/166

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1087166

Иванов Ю.В. Исследование



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

А к т у а л ь н о с т ь. По мере решения проблем ликвидации избыточных припусков на заготовках, черновая размерная обработка, изменяя свой характер, останется важным звеном технологий заготовительного производства как метод, отличающийся высокой универсальностью.

Наиболее распространенными заготовками являются тела вращения. Около 32% заготовок этого класса составляют заготовки, у которых диаметр значительно превышает длину, т.е. кольца, диски, зубчатые колеса и т.п.. Около 25% деталей, изготовление которых связано с использованием карусельных станков, составляют крупногабаритные, диаметр которых превышает 320 мм.

Основная часть крупных заготовок типа колец изготавливается методами свободнойковки и раскатки. Операции их черновой обработки характеризуются высокой трудоемкостью и низкой производительностью. Это прежде всего относится к обработке заготовок из титановых сплавов, что определяется свойствами как самих титановых сплавов, так и альфированного слоя на их поверхности.

Одним из основных направлений развития технологии изготовления деталей машин является расширение области применения новых эффективных методов обработки. Такими методами обработки коротких поверхностей вращения могут стать методы их фрезерования, в частности при обработке крупных заготовок — метод торцового фрезерования, при этом образуются короткие стружки, не требующие их дополнительной переработки.

В ряде случаев при обработке стальных заготовок, в том числе с прерывистыми поверхностями вращения, данный метод находит успешное применение. Наряду с этим необходимо учитывать существенное отличие по обрабатываемости титановых сплавов от сталей и отсутствие оборудования, способного в полной мере реализовать данный метод обработки.

Таким образом, исследование и разработка процесса торцового фрезерования поверхностей вращения крупных заготовок из титановых сплавов является актуальной задачей, направленной на повышение эффективности обработки таких заготовок и распространение метода торцового фрезерования тел вращения на данную область.

Ц е л ь р а б о т ы. Исследовать особенности метода торцового фрезерования наружных поверхностей вращения крупных кольцевых заготовок из титановых сплавов, получить данные об особен-

ностях износа и стойкости инструмента, установить целесообразность замены точения торцовым фрезерованием, получить необходимые данные и разработать рекомендации для создания специального оборудования, реализующего данный метод обработки.

О с н о в н ы е п о л о ж е н и я м е т о д и к и и с с л е д о в а н и й. В работе использованы аналитические и экспериментальные методы исследований, базирующиеся на основных положениях теории резания металлов.

При исследовании использовались как традиционные (определение интенсивности деформаций, установление связи между параметрами срезаемого слоя и силами резания, стойкостные испытания), так и вновь разработанные методики (определение параметров срезаемого слоя, определение формы износа режущей части, исследования стружкообразования при срезании различных слоев поверхностного слоя заготовки, имеющих различные свойства по его глубине).

Результаты эксперимента обрабатывались вероятностно-статистическими методами. При обработке результатов использовалась ЭВМ.

Экспериментальные исследования осуществлялись как на универсальном металлорежущем оборудовании (5С-33, 7307Г), так и на специальной установке, созданной из отдельных стандартных узлов, при этом использовались специально разработанные приспособления (для мгновенного прекращения процесса резания, для измерения сил и температуры резания) и режущий инструмент, а также современная измерительная аппаратура.

Н а у ч н а я н о в и з н а. Разработана методика определения значений толщины и ширины срезаемого слоя в зависимости от угла поворота зуба фрезы при торцовом фрезеровании наружных коротких поверхностей вращения, заключающаяся в нахождении координат точек, определяющих значения этих параметров. На основании этой методики получены зависимости для определения составляющих силы резания, действующих на зуб фрезы, в зависимости от угла ее поворота.

Разработана методика исследования влияния поверхностного дефектного слоя на элементы механики процесса резания, основанная на изучении закономерностей изменения процесса стружкообразования и сил, действующих на режущий клин, при последовательном срезании слоев, расположенных на различной глубине от поверхности заготовки. При этом установлено, что при обработке крупных кованых заготовок из титановых сплавов в пределах дефектного слоя изменяется характер стружкообразования, а удельные силы имеют макси-

мальные значения в районе дефектного слоя на некотором удалении от поверхности заготовки.

Разработана модель оценки формы износа режущей части инструмента при изменяющихся вдоль режущей кромки условиях контакта с удаляемым слоем, имеющим по своей глубине различные физико-механические свойства. Установлено, что характер износа зубьев фрезы при обработке кольцевых заготовок из титановых сплавов по корке зависит от величины смещения оси фрезы относительно оси заготовки.

Разработан способ обработки коротких поверхностей вращения торцевой фрезой, зубья которой расположены на нескольких рядах концентрических окружностей с одинаковым вылетом и с режущими кромками с внутренней стороны.

П р а к т и ч е с к а я ц е н н о с т ь. Показана целесообразность замены точения наружных поверхностей вращения крупных кольцевых заготовок из титановых сплавов торцовым фрезерованием, которое позволит увеличить производительность обработки (в 1,5 - 2 раза), снизить затраты на их изготовление (в 1,5 - 2 раза), обеспечивает образование коротких транспортируемых стружек, обеспечивает получение экономического эффекта.

Полученные данные о силовых параметрах процесса торцового фрезерования позволяют выбрать основные технические характеристики и выполнить динамические расчеты, необходимые при проектировании вновь создаваемого специального оборудования.

Предложенный впервые способ обработки коротких поверхностей вращения торцевой фрезой позволяет повысить производительность обработки и увеличить стойкость инструмента.

Р е а л и з а ц и я р а б о т ы. Выполнен комплекс работ по подготовке к промышленному внедрению исследованного метода, включающий в себя:

- разработку и создание опытно-промышленной установки;
- разработку конструкций торцовых фрез;
- разработку разделов технического задания на создание специализированного гарусельно-фрезерного станка.

Результаты работы приняты для использования и внедрения на Верхнесалдинском металлургическом ПО им.В.И.Ленина, в Ульяновском ГСКБС, ПО "Ижорский завод".

А п р о б а ц и я р а б о т ы. Результаты работы докладывались на межвузовской конференции "Прогрессивные технологии и конструкции, механизация и автоматизация производственных про-

цессов в машиностроении и приборостроении" (Калуга, 1987г.), на всесоюзной конференции "Автоматизация исследований, проектирования и испытаний сложных технических систем" (Калуга, 1989г.), на региональной конференции "Прогрессивные материалы, технологии и конструкции в машино- и приборостроении" (Калуга, 1990г.), на республиканской конференции "Совершенствование технологических процессов изготовления деталей машин" (Курган, 1991г.), на региональной конференции "Автоматизация исследований, проектирования и испытаний сложных технических систем и проблемы математического моделирования" (Калуга, 1991г.), на научном семинаре кафедры "Металлорежущие станки и инструменты" Калужского филиала МТУ им.Н.Э. Баумана (Калуга, 1991г.), на научном семинаре кафедры "Процессы и инструментальные системы механической и физико-химической обработки" МТУ им.Н.Э.Баумана (Москва, 1991г.).

П у б л и к а ц и я. По материалам исследований опубликовано 9 работ, получено авторское свидетельство на изобретение.

Ст р у к т у р а и о б ъ е м р а б о т ы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и приложений. Содержит III страниц машинописного текста, 66 рисунков, 10 таблиц и библиографию из 122 наименований литературных источников.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отмечена необходимость развития современной технологии лезвийной черновой обработки и создания на этой основе современного оборудования, инструмента и оснастки для заготовительного производства, а также целесообразность замены в определенных условиях традиционных токарных процессов фрезерованием.

В первой главе определен объект исследований, выполнен анализ геометрических параметров заготовок класса "тела вращения", обрабатываемых на токарно-карусельных станках, обоснована актуальность темы.

В работах Боброва В.Ф., Кривошхова В.А., Подураева В.Н., Полетики М.Ф., Резникова Н.И. и др. рассмотрены особенности черновой обработки заготовок из титановых сплавов. В тоже время данных об особенностях обработки отдельных титановых сплавов, в т.ч. ПТ-ЗВ, ПТ-ЗМ, недостаточно.

Анализ работ Розенберга Ю.А., Кривошхова В.А., Куфарева Г. Л., Чубарова А.Д. и др. показал, что особенности стружкообразования при срезании припуска, состоящего как из основного металла, так и дефектного слоя, что имеет место при черновой обработке ти-

тановых сплавов, и их влияние на условия работы инструмента не рассматривались.

В работах Грановского Г.И., Этин А.О., Мархасина Э.Л., Петросянца А.А. рассмотрены возможные методы обработки наружных поверхностей вращения, при этом для крупных деталей при снятии значительных припусков предпочтение отдается методу торцового фрезерования.

Поскольку имеются существенные особенности обработки титановых сплавов, для решения вопроса о целесообразности замены точения торцовым фрезерованием указанных заготовок сведений об особенностях этого процесса недостаточно. Анализ ранее выполненных исследований Каширина А.И., Духида М.Е., Мархасина Э.Л., Шейнина Г.М., Аксенова В.П., Рыжова Э.Р., Полежаева В.С., Созинова А.И., Котлярова А.Я. и др. не позволяет в полной мере определить возможности эффективного применения метода торцового фрезерования поверхностей вращения и особенности протекания данного процесса в условиях чернового резания при обработке крупных кольцевых заготовок из титановых сплавов со срезанием неравномерных припусков.

В работах Клушина А.С., Семенова Г.И., Сафронова А.А., в проспектах фирм "Wohlenberg" (ФРГ), "СНД Бланско" (ЧССР), "Toshiba" (Япония) отмечается положительный опыт использования данного метода в отдельных видах создаваемого оборудования. При этом для широкого его распространения, особенно при обработке труднообрабатываемых материалов, имеется ряд сдерживающих причин:

- отсутствие специального оборудования достаточной жесткости и мощности;
- недостаточно данных о силовых параметрах процесса;
- недостаточно сведений об особенностях работы инструмента, его износе и стойкости.

Анализ работ Боброва В.Ф., Этин А.О., Шейнина Г.М., Травина А.И. и др. показал, что для торцового фрезерования коротких поверхностей вращения отсутствует методика по определению параметров срезаемого слоя в зависимости от угла поворота зуба фрезы, знание которых необходимо для определения действующих сил и характера их изменения в процессе обработки.

На основании работ Кривоухова Б.А., Пушных В.А., Сбоева В.Н. установлено, что при обработке по корке титановых сплавов на низких режимах резания лимитирующим износом является износ инструментом по задней грани. Исследования Зорева Н.Н., Андреева Г.С.,

Бетанели А.И., Куклина Л.Г., Остафьева В.А., Таллицкого Н.И., Третьякова И.П., Усачева П.А. свидетельствуют, что стойкость твердосплавного инструмента при прерывистом резании ниже чем при точении, что обуславливается явлениями, сопровождающими переходные процессы при входе и выходе инструмента. В тоже время, учитывая особенности изменения параметров срезаемого слоя при торцовом фрезеровании поверхностей вращения и возможность их регулирования при переходных процессах, а также то, что черновое точение указанных заготовок можно только условно считать непрерывным процессом, необходимо проведение стойкостных исследований для решения вопроса об эффективности того или другого метода обработки.

В рассмотренной литературе отсутствуют также исследования особенностей характера износа инструмента в условиях изменяющейся ширины среза, когда припуск состоит как из основного металла, так и дефектного слоя.

На основании литературного обзора сделаны выводы и поставлены задачи исследования.

Во второй главе описаны методики экспериментальных исследований и средства их проведения.

Основная часть экспериментальных исследований проводилась на кованых заготовках колец диаметром 1000...1550мм и высотой 200...400мм из титановых сплавов ПТ-3В, ПТ-3М с $\sigma_s = 700...900\text{МПа}$.

В качестве инструмента использовались резец и торцовая фреза с механическим креплением режущей пластины (а.с.622585) из твердого сплава ВК8. Исследования проводились без нанесения на пластину износостойких покрытий и без применения СОЖ.

Геометрические параметры инструмента выбирались на основании априорных данных, исследований Созинова А.И., Котлярова А.Я. и производственного опыта.

При проведении исследований определялось достаточное число дублирований опыта, а полученные результаты подвергались статистическому анализу с проверкой воспроизводимости опытов по критерию Кохрена, значимости коэффициентов по критерию Стьюдента и адекватности найденной зависимости по критерию Фшера.

Исследования влияния поверхностного слоя на элементы механики процесса резания выполнялись на образцах вырезанных из кольцевой заготовки $\varnothing 2500\text{мм}$ из титанового сплава ПТ-3В, полученной свободной ковкой. Структура поверхностного слоя изучалась и фотографировалась на микроскопе ММР-4, его глубина определялась измерением микротвердости на шлифах перпендикулярных поверхности заго-

товки через каждые 0,05мм на микротвердомере ПМТ-3 с нагрузкой 100г. Исследование стружкообразования проводили при строгании по схеме свободного резания на поперечнострогальном станке 7307Г. При этом использовали метод координатных сеток. База сетки составляла 0,15мм. Для мгновенного прерывания процесса резания использовалось специальное устройство, работающее по принципу откидного резца. Для мгновенного выхода резца из под стружки использовалась энергия взрыва пороха. На образце выделялись срезаемые слои толщиной 0,45мм с различной микротвердостью в зависимости от глубины их залегания от поверхности образца. Степень пластической деформации оценивалась по искажению делительной сетки, которая определялась по фотографиям корней стружек, увеличенных в 200 раз. Расчет интенсивности деформации осуществлялся по методике Пашкова П.О. и Смирнова-Алиева Г.А.. Силы резания при проведении данных исследований измерялись динамометром УДМ-600 и записывались с помощью осциллографа Н117/1. На инструментальном микроскопе измерялась площадка контакта по передней поверхности режущей пластины путем измерения площади стертой омедненной поверхности и определялась величина удельной силы.

При определении влияния параметров срезаемого слоя и скорости резания на составляющие силы резания и температуру резания при торцовом фрезеровании наружной цилиндрической поверхности заготовки исследования проводились на специальной опытно-промышленной установке, при этом диаметр заготовки составлял 1000мм, а высота 200мм. Измерение сил производилось с помощью динамометра УДМ-1200, установленном на планшайбе с помощью специального кронштейна. При вращении планшайбы режущая пластина резца, закрепленного в динамометр, имитировала зуб фрезы, диаметр которой составлял 360мм. Для снятия показаний на свободный конец фрезерной головки устанавливался специальный токоъемник. Резание велось острым инструментом. Износ по задней грани не превышал 0,2мм. За математическую модель описания связи принимались степенные зависимости. Диапазон изменения ширины срезаемого слоя разбивался на два поддиапазона, что определялось величиной поверхностного дефектного слоя. Варьируемыми факторами являлись толщина, ширина срезаемого слоя и скорость резания. Заданное значение скорости резания устанавливалось с помощью сменных шкивов. При проведении исследований использовался метод планирования эксперимента при этом составлялся план $N = 2^3$. Для дальнейшей обработки с осциллограмм брались максимальные значения сил, соответствующие заданной тол-

щине, ширине среза и скорости резания.

Температура измерялась методом естественной термопары. Величина сил и температуры записывалась осциллографом НН7/1. Естественную термопару тарировали на специальной установке, при этом разогрев места контакта твердосплавного стержня с электродами, выполненными из материала обрабатываемой заготовки, осуществляли при помощи электрического тока. Тарирование осуществлялось на режиме охлаждения. По результатам тарирования строился график.

Стойкостные испытания проводились по схеме однофакторного эксперимента. При точении исследования проводились в производственных условиях на токарно-карусельном станке 5С-33. Заготовка имела диаметр 150 мм и высоту 400 мм. Варьируемыми факторами были подача и скорость резания. За критерий износа был принят износ по задней поверхности величиной 1 мм. При торцовом фрезеровании исследования проводились на специальной опытно-промышленной установке, при этом заготовка имела диаметр 1000 мм и высоту 200 мм. Фреза имела диаметр 370 мм. Конструкция режущей части фрезы была аналогичной конструкции режущей части резца. При исследовании фреза оснащалась только одним зубом. Смещение оси фрезы относительно оси заготовки составляло 163 мм. Варьируемыми факторами были скорость резания, подача на зуб и глубина резания. За критерий износа, как и при точении, был принят износ по задней поверхности величиной 1 мм. Численные значения показателей степени и коэффициентов определялись графо-аналитическим путем.

Исследования влияния величины смещения фрезы относительно оси заготовки на характер износа зуба фрезы проводились на опытной установке при фрезеровании аналогичной заготовки. Путь резания во всех случаях оставался постоянным. После резания снималась топография изношенной поверхности на микроскопе ММР-4.

В третьей главе изложены результаты теоретического анализа исследуемого процесса.

Разработана методика расчета значений параметров срезаемого слоя в зависимости от угла поворота зуба фрезы θ . Ширина срезаемого слоя определялась как длина отрезка между точками 1 и 2 с координатами (x_1, y_1, z_1) и (x_2, y_2, z_2) . Для точки 1:

$x_1 = R_f \cdot \sin \theta$, $y_1 = R_f \cdot \cos \theta$, $z_1 = 0$, где R_f — радиус фрезы. Точка 2 являлась пересечением трех поверхностей: цилиндрической заготовки, конической фрезы и плоскости, проходящей параллельно оси фрезы через главную режущую кромку. Совместное решение уравнений трех этих поверхностей сводилось к решению

уравнения четвертой степени:

$$x^4 + bx^3 + cx^2 + dx + f = 0$$

где

$$b = 2B/A; c = (2A \cdot C + B^2 - 4 \cdot K^2)/A^2; d = (2B \cdot C - 2KN)/A^2; f = (C^2 - N^2)/A^2;$$

при этом

$$A = - \frac{tg^2 \varphi [1 + ctg^2(\theta + \lambda)] + 1}{2tg\varphi(R_3 - t - tg\varphi \cdot R\varphi)};$$

$$B = \frac{(R\varphi - h) - tg^2 \varphi \cdot ctg(\theta + \lambda) \cdot R\varphi \cdot \sin \theta \cdot [ctg \theta - ctg(\theta + \lambda)]}{tg\varphi \cdot (R_3 - t - tg\varphi \cdot R\varphi)};$$

$$C = \frac{R_3^2 - (R\varphi - h)^2 - tg^2 \varphi \cdot R\varphi^2 \cdot \sin^2 \theta [ctg \theta - ctg(\theta + \lambda)]^2 - (R_3 - t - tg\varphi \cdot R\varphi)^2}{2tg\varphi \cdot (R_3 - t - tg\varphi \cdot R\varphi)};$$

$$K = ctg(\theta + \lambda); \quad N = R\varphi \cdot \sin \theta [ctg \theta - ctg(\theta + \lambda)],$$

t - глубина срезаемого слоя.

Для решения данного уравнения разработана программа.

Мгновенное значение толщины срезаемого слоя определялось:

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

где

$$\varphi_p = \varphi + \arctg [h \cdot \sin \theta / (R_3 - t)]; \quad h = h_0 - R\varphi \cdot (1 - \sin \theta);$$

$$a_2 = S_z \cdot \frac{R_3}{R_3 - t + \delta} \cdot \frac{X_2}{\sqrt{X_2^2 + Y_2^2}} \cdot \sin \left\{ \varphi + \arctg \left[\frac{X_2 - (R\varphi - h_0)}{R_3 - t - Z_2} \cdot \frac{X_2}{\sqrt{X_2^2 + Y_2^2}} \right] \right\},$$

где

$$\delta = \sqrt{h^2 + (R_3 - t)^2} - (R_3 - t);$$

$$a_{cp} = (a_1 + a_2) / 2.$$

Получены зависимости для нахождения составляющих силы резания и предложена методика определения суммарных значений сил, действующих на технологическую систему, в зависимости от угла поворота зуба фрезы.

Известно, что величина износа по задней поверхности аппроксимируется функцией вида $h_3 = C_h \cdot L_p^K$, где L_p - путь, пройденный режущей кромкой инструмента, а также, что в условиях истирания величина износа пропорциональна величине давления (p) и твердости (H). Тогда при допущении, что начальная эпюра давлений при изнашивании инструмента имеет незначительное перераспределение, основанном на положении о том, что между шириной фаски износа и силами резания соблюдается примерно пропорциональная зависимость, имели: $h_3 = C_h \cdot H(\epsilon) \cdot p(\epsilon) \cdot L_p^K$.

При повороте зуба фрезы изменяется ширина среза, что определяет перемещение слоев припуска вдоль режущей кромки на вели-

чину S (рис. I). Суммарный износ складывается из отдельных величин износа, возникающих под действием элементарных участков эппр, действующих на протяжении, соответствующем этим участкам, доли пути, проходимой режущей кромкой, для нахождения которой строились гистограммы распределения общего пути режущей кромки вдоль участка с изменяющейся шириной срезаемого слоя. Общий износ инструмента в точке X от воздействия всего участка давлений и твердости определялся выражением:

$$h_x = C_h \cdot \left(\frac{M \cdot L_p}{S} \right)^K \cdot \left[\int_{\ell_1}^{\ell_2} (H(\ell) \cdot p(\ell))^{1/K} \cdot \varphi(X - \ell) \cdot d\ell \right]^K,$$

где M – число равных частей, на которое разбивалась величина S ; $\varphi(X - \ell)$ – функция, характеризующая часть пути, пройденного режущей кромкой, приходящейся на участок гистограммы шириной S/M , для точек припуска с координатой ℓ .

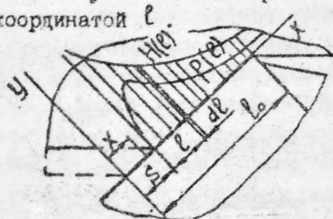


Рис. I. Перемещение срезаемого слоя вдоль режущей кромки

В результате расчетов, выполненных на ЭВМ, было установлено, что форма изношенной поверхности и величина износа определяются величиной смещения фрезы относительно заготовки.

Проведена оценка влияния диаметра фрезы на производительность. Анализировалось выражение основного технологического времени, полученное А.О.Этин, при этом считали величину окружного шага зубьев для различных типоразмеров фрез постоянной. Было установлено, что при увеличении диаметра фрезы снижается производительность. Сделан вывод, что для обработки наружной цилиндрической поверхности кольцевой заготовки при выбранном узле крепления пластины диаметр фрезы должен быть наиболее близким по значению высоте заготовки, при этом необходимо учитывать условие обеспечения заданного отклонения от прямолинейности обрабатываемого профиля.

В четвертой главе даны результаты экспериментальных исследований.

Исследования особенностей срезаемого припуска крупных кованых заготовок из титановых сплавов и их влияния на элементы ме-

ханики процесса резания позволили определить основные параметры дефектного слоя (структуру, глубину залегания, изменение микротвердости по глубине), а также характер изменения и основные параметры процесса стружкообразования. Установлено, что при срезании верхних слоев заготовки элементы стружки мало деформированы, их размеры и текстура беспорядочны, при срезании более глубоких слоев увеличивались сплошность стружки, интенсивность деформации, объем деформированного металла, уменьшался угол сдвига. При последовательном срезании слоев заготовки, от лежащих у ее поверхности до расположенных на глубине 1,5...1,8 мм, сила P_z росла. При срезании более глубоких слоев она несколько уменьшалась, после чего оставалась постоянной. Сила P_y при больших углах φ изменялась незначительно. Наибольшее ее значение соответствовало глубине залегания срезаемых слоев 0,9...1,5 мм от поверхности заготовки. При срезании более глубоких слоев увеличивалась площадь контакта стружки с передней поверхностью инструмента. Значения удельных сил на контактных поверхностях инструмента имели максимальное значение при срезании слоев заготовки на глубине 0,8...1,2 мм от ее поверхности. Таким образом, при срезании дефектного слоя вдоль режущей кромки инструмента стружка имела сразу несколько типов, режущий клин имел максимальную нагруженность в районе дефектного слоя на некотором удалении от поверхности заготовки.

По результатам исследования влияния параметров срезаемого слоя и скорости резания на составляющие силы резания и температуру резания при торцовом фрезеровании наружной цилиндрической поверхности были получены зависимости:

при изменении ширины срезаемого слоя от 1,41 мм до 4,23 мм

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

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

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

$$\theta^{\circ}C = 427 \cdot a^{0,19} \cdot b^{-0,03} \cdot v^{0,28},$$

и от 4,23 мм до 7,05 мм

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

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

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

$$\theta^{\circ}C = 349 \cdot a^{0,2} \cdot b^{0,08} \cdot v^{0,3}.$$

В пределах дефектного слоя его свойства оказывали влияние на изменение сил при увеличении ширины среза, причем в большей степени на P_x и P_y .

В результате стойкостных испытаний при точении, построенные

в логарифмических координатах, частные функциональные зависимости $T(V)$ и $T(S)$, имели явно выраженные два участка с различным наклоном. Для каждого были получены следующие зависимости:

$$T = 41691 \cdot V^{-4,74} \cdot S^{-3,54} \text{ (мин)}; \quad T = 622 \cdot V^{-2,17} \cdot S^{-1,4} \text{ (мин)},$$

а также уравнение линии разделяющей области их действия:

$$V = 5,15 \cdot S^{-0,83}.$$

Определяющим износом был износ по задней поверхности, который с увеличением подачи и скорости резания начинал сопровождаться износом передней поверхности. При торцовом фрезеровании на основании найденных частных зависимостей $T(V)$, $T(S)$, $T(t)$ были получены зависимость определяющая стойкость зуба фрезы и зависимость стойкости всей фрезы: $T_{\phi} = 9544 \cdot V^{-3,5} \cdot S^{-1,66} \cdot t^{-0,2} \cdot 2\pi / (\beta + \beta_1)$, где $(\beta + \beta_1)$ — угол контакта фрезы с заготовкой. Износ развивался с образованием проточки на участке контакта с поверхностным слоем заготовки.

Исследования влияния смещения фрезы относительно оси заготовки на характер износа показали, что проточина менее выражена и величина износа минимальна, когда ширина срезаемого слоя при повороте зуба фрезы изменяется от нуля до максимального значения и снова до нуля. Погрешность между экспериментальными и расчетными значениями формы изношенной поверхности в среднем составила не более 12%.

По результатам экспериментальных исследований сделаны выводы.

В пятой главе выполнена оценка эффективности метода торцового фрезерования в сравнении с точением.

Сравнение проводилось при оптимальных в конкретных условиях режимах обработки для каждого метода при обработке заготовок диаметром 1550 мм, высотой 400 мм и глубине припуска 15 мм. Оптимальные режимы определялись из двух условий: обеспечения наименьшего штучного времени ($t_{шт}$) и обеспечения минимальной технологической себестоимости (c). Были получены выражения для определения оптимального значения скорости резания при заданном значении подачи.

По данным Гуревича Я.Л., Баранчикова В.И. и др. при точении заготовок из титановых сплавов на карусельных станках рекомендуется величина подачи $S = 0,6 \dots 0,8 \text{ мм/об}$. С учетом наличия корки была принята подача $S = 0,6 \text{ мм/об}$, при торцовом фрезеровании рекомендуется подача $S_2 = 0,15 \text{ мм/зуб}$.

При выбранных значениях подач были построены зависимости стойкости, штучного времени и технологической себестоимости от скорости резания для обоих методов обработки и определены значения оптимальной скорости резания.

Результаты сравнительного анализа показали, что метод торцового фрезерования коротких поверхностей вращения может быть успешно применен при обдирке крупных кольцевых заготовок из титановых сплавов, что дает повышение производительности, снижение затрат на обработку при достаточной стойкости торцовой фрезы и обеспечивает получение экономического эффекта. Эффективность метода возрастает с увеличением высоты заготовки. Метод обеспечивает образование коротких транспортабельных стружек, что улучшает условия работы, не требует затрат на дополнительную ее переработку и создает благоприятные условия для автоматизации процесса.

В шестой главе излагаются материалы по реализации и внедрению метода торцового фрезерования поверхностей вращения крупных кольцевых заготовок.

Для реализации метода была создана опытно-промышленная установка, на которую разработано подробное техническое описание, спроектированы и изготовлены несколько конструкций торцовых фрез. Разработан способ фрезерования коротких поверхностей вращения торцовой фрезой, который обеспечивает высокую производительность при благоприятном изменении параметров срезаемого слоя для зубьев фрезы, работающих по корке, что повышает стойкость всего инструмента. На данный способ получено авторское свидетельство на изобретение.

Результаты работы приняты к использованию на Калужском турбинном заводе и Верхнесалдинском металлургическом производственном объединении в следующем виде:

- технических заданий опытного оборудования;
- РТИ по фрезерованию поверхностей вращения из титановых сплавов;
- конструкций режущего инструмента.

Ожидаемый экономический эффект при этом составил по ПО "КТЗ" - 35 тыс. руб., по ВСМПО - 31 тыс. руб.

Результаты работы были также использованы при разработке технического задания на создание опытного образца специального карусельно-фрезерного станка (СКФС). Разработчик станка Ульяновское ГСКБ фрезерных станков совместно с ВНИТИ Энергомаш (г. Санкт-Петербург) и Калужским филиалом МГТУ им. Н.Э. Баумана. Опытный образец предназначен для ПО "Ижорский завод" (г. Санкт-Петербург,

Колпино). Изготовитель станка УСПОТУС (г. Ульяновск). Экономический эффект от производства и использования СКФС составил в расчете на один станок 376 тыс. руб. в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе изложен комплекс теоретических и экспериментальных исследований основных параметров процесса торцового фрезерования поверхностей вращения крупных кольцевых заготовок из титановых сплавов, являющихся основанием для разработки технологии, специального оборудования и инструмента, реализующих данный процесс.

1. Разработана методика расчета параметров срезаемого слоя, мгновенных значений сил резания, действующих на зуб фрезы и мгновенных суммарных сил, действующих на технологическую систему, в зависимости от угла поворота зуба фрезы, необходимая для выполнения динамических расчетов и выбора технических характеристик создаваемого оборудования, а также выбора параметров технологической схемы обработки. Разработана программа их расчета.

2. Разработана методика исследования влияния поверхностного дефектного слоя на элементы механики процесса резания. Установлено, что при срезании его более глубоких слоев изменяется тип стружки, увеличивается ее сплошность, усадка, объем деформированного металла, интенсивность деформации и уменьшается угол сдвига. Таким образом, при срезании дефектного слоя вдоль режущей кромки инструмента стружка имеет сразу несколько типов. Также установлено, что удельные силы вдоль режущей кромки инструмента имели максимальное значение в районе дефектного слоя на некоторой удалении от поверхности заготовки.

3. Получена расчетная зависимость для оценки формы износа режущей части инструмента при изменяющихся вдоль режущей кромки условиях контакта инструмента с удаляемым слоем, имеющим различные по глубине физико-механические свойства. Установлено, что на характер износа и его величину оказывает влияние характер изменения ширины среза при повороте зуба фрезы, которым можно управлять величиной смещения фрезы относительно оси заготовки.

4. Установлено, что при обработке коротких поверхностей вращения для выбранного узла крепления режущих пластин торцовая фреза с диаметром близким по значению высоте заготовки обеспечит более высокую производительность и благоприятное изменение пара-

метров срезаемого слоя. Однако при выборе диаметра фрезы необходимо также учитывать условие обеспечения заданного отклонения от прямолинейности обрабатываемого профиля.

5. Экспериментально получены зависимости влияния параметров срезаемого слоя и скорости резания на составляющие силы резания при торцовом фрезеровании наружной цилиндрической поверхности кованных кольцевых заготовок из титановых сплавов с $\delta_s = 700 \dots 900$ МПа (ПТ-3В, ПТ-3М).

6. Получены стойкостные зависимости в сравниваемых методах обработки, на основании которых выполнен сравнительный анализ методов, показана эффективность применения торцового фрезерования для крупных кольцевых заготовок из титановых сплавов взамен точения.

7. В ходе выполнения работы создана опытно-промышленная установка, являющаяся экспериментальным образцом создаваемого оборудования, разработаны конструкции торцовых фрез. На основании результатов исследований предложен способ обработки коротких поверхностей вращения торцовой фрезой, на который получено авторское свидетельство на изобретение.

8. Результаты работы приняты к использованию на ПП "Калужский турбинный завод", Верхнесалдинском металлургическом ПО им. В.И.Ленина. Ожидаемый экономический эффект при этом составил соответственно 35 тыс. руб. и 31 тыс. руб.. Результаты работы были так же использованы при разработке технического задания на создание опытного образца специализированного карусельно-фрезерного станка для предварительной обработки кольцевых заготовок в Ульяновском ГСКБ фрезерных станков и ВНИТИ Энергомаш (г. Санкт-Петербург). Экономический эффект от производства и использования станка в расчете на один станок составил 376 тыс. руб. в год.

Основное содержание диссертации отражено в работах:

1. Фрезерный модуль для черновой обработки поверхностей вращения из труднообрабатываемых материалов / А.И.Созинов, Ю.В.Иванов, А.Н.Строшков и др. // Информ. листок КИТЦНТИП (Калуга). - 1988. - №263-88. - 3с.

2. Установка для черновой обработки заготовок типа колес, дисков, шайб методом фрезерования тел вращения / А.И.Созинов, Ю.В.Иванов, А.Н.Строшков и др. // Информ. листок КИТЦНТИП (Калуга). - 1988. - №263-88. - 3с.

3. Иванов Ю.В., Созинов А.И. Приспособление для получения

корней стружек // Информ. листок ЮТДИТИП (Калуга). - 1988. - №270-88. - 2с.

4. Созинов А.И., Иванов В.В. Исследование процесса обработки методом фрезерования тел вращения крупных кольцевых заготовок из титановых сплавов // Автоматизация исследований, проектирования и испытаний сложных технических систем: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - Калуга, 1989. - С.217 - 218.

5. Созинов А.И., Иванов В.В. Особенности процесса резания поверхностного слоя титановых полуфабрикатов // Труды МВТУ. - 1989. - №528. - С.21 - 36.

6. Иванов В.В., Созинов А.И. Физические особенности процесса фрезерования поверхностей вращения кольцевых заготовок из труднообрабатываемых сплавов / МВТУ (Калужский филиал). - Калуга, 1989. - 40с.: ил. - Библиогр.: 6 назв. - Деп. в ВНИИТЭИР 27.02.89, №68.

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

8. Иванов В.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.

9. Силовое фрезерование поверхностей вращения / А.И.Созинов, В.В.Иванов, Г.В.Зуев и др. // Совершенствование технологических процессов изготовления деталей машин: Тез. докл. Республ. науч.-техн. конф. - Курган, 1991. - С.107 - 108.

10. А.С. 1704957 А1 СССР, МКИ³ В23 С5/06. Способ обработки поверхностей вращения торцевой фрезой / В.В.Иванов, А.И.Созинов (СССР). - № 4734481/08 (94887); Заявлено 10.07.89; Опубл. 15.01.92, Бюл. №2. - 3с.: ил.