

У 440920

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

АХМЕДОВ Хеладин Амир оглы

УДК.621.9.01:62-187.4

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОСТАТОЧНЫМИ
НАПРЯЖЕНИЯМИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ
ФОРМЫ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ВЫСОКОТОЧНЫХ ГИЛЬЗ

Специальность 05.02.08 - технология машиностроения

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

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э. Баумана.

- Научный руководитель - заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор Дальский А.М.
- Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор Юдин Д.Л.
- кандидат технических наук, доцент Древаль А.Е.
- Ведущее предприятие - НПО Оргстанкинпром

Защита состоится "20" января 1986 г. в 14-30 час. на заседании специализированного Совета К 053.15.15 МВТУ им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва Б-5, 2-я Фруманская, 5. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Ваш от _____ с _____ подписанный печатью, пр _____ Авто _____

УЧЁН
кандидат

КОВ Р.К.

Л №97795

Тираж 10

М 4410920

и 1 п.л.

анская, 5

Актуальность проблемы. В решениях партии и правительства сформулированы задачи, стоящие перед отечественным машиностроением, в которых первостепенное значение придается дальнейшему повышению качества и надежности выпускаемых машин и оборудования. Решение этих задач неразрывно связано с увеличением точности обработки деталей машин.

В этой связи в проекте Основных направлений экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года предусмотрено существенное расширение выпуска металлорежущих станков высокой и особо высокой точности, что чрезвычайно важно для технического перевооружения машиностроения.

Одной из важнейших задач технологии прецизионного машиностроения на современном этапе является разработка более эффективных технологических процессов изготовления деталей, обеспечивающих не только достижение высокой точности при минимуме затрат, но и сохранение первоначальных показателей точности в течение всего срока службы.

Одним из основных факторов, приводящих к потере первоначальной точности машин, является релаксация остаточных напряжений, возникающих в процессе изготовления детали, которая вызывает отклонения их формы и размеров с течением времени.

Для большинства деталей машин обычной точности влияние остаточных напряжений на стабильность формы и размеров не представляет особого интереса, так как при их изготовлении допускают сравнительно большие допуски. Однако данный вопрос приобретает особо важное значение для технологии прецизионного машиностроения и, в частности, станкостроения, где к деталям предъявляются очень высокие требования в отношении точности формы и размеров.

Среди факторов, определяющих качество машин и их узлов, особое место занимает точность формы входящих в них деталей. Увеличение отклонений их формы, вызываемое релаксацией остаточных напряжений, неизбежно приводит к снижению надёжности прецизионного изделия в целом, например, металлорежущего станка.

В этой связи особый интерес представляет изучение изменений формы высокоточных гильз, как одних из наиболее широко распространенных в прецизионном машино- и станкостроении. Гильзы сравнительно часто используются в качестве корпусной детали для прецизионных узлов. Они из-за своей малой жесткости в наиболее



значительной степени подвержены деформациям под действием остаточных напряжений. Поэтому от качественного изготовления гильз во многом зависит надёжность работы всего прецизионного изделия.

На основании вышеизложенного можно утверждать, что проблема увеличения стабильности формы высокоточных гильз является актуальной и ее решение имеет большое народнохозяйственное значение.

Цель исследования. Изучение закономерностей влияния технологически остаточных напряжений на отклонения формы и, на основании полученных результатов, разработка рекомендаций по управлению напряженным состоянием высокоточных деталей технологическими методами для повышения стабильности их формы.

Методы исследования. Поставленные в работе теоретические задачи решались с применением методов теории упругости, сопротивления материалов и теории технологической наследственности. Экспериментальные исследования по определению остаточных напряжений проводились на специально разработанной установке для электрохимического травления поверхностных слоев и одновременно замера деформации образцов непрерывным тензометрированием. Для изучения структуры, химического и фазового состава материала использовались металлографический, химический и рентгенографический анализы. Измерения отклонений формы гильз проведены на высокоточном оборудовании – кругломере "TALYROND -2". Обработка экспериментальных данных по определению остаточных напряжений осуществлялась с помощью ЭВМ.

Научная новизна. Комплексный подход к изучению вопросов формирования остаточных напряжений и исследование их эволюции в ходе технологического процесса изготовления деталей типа высокоточных гильз с позиции теории технологической наследственности позволили определить пути повышения стабильности их формы. Разработана специальная методика определения остаточных напряжений в тонкостенных деталях типа высокоточных гильз при их неравномерном распределении и выведены соответствующие расчётные зависимости. Теоретически и экспериментально исследовано влияние неравномерности припусков и схем закрепления при обработке резанием на характер распределения остаточных напряжений и отклонения формы высокоточных гильз с течением времени.

Практическая ценность. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны технологические

рекомендации, которые позволяют:

- повысить стабильность формы высокоточных деталей типа гильз за счёт целенаправленного формирования остаточных напряжений;
- выбирать оптимальные вид заготовки, метод и режимы финишной обработки, а также оснастки для изготовления высокоточных гильз с точки зрения уменьшения уровня и неравномерности распределения остаточных напряжений;
- использовать различные технологические факторы для управления остаточным напряженным состоянием высокоточных гильз с тем, чтобы повысить стабильность их формы.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации докладывались на научных семинарах кафедр "Технология металлов" МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1971-1984 г.г., совместном заседании секций литейного производства, резания и режущих инструментов и технологии механической обработки и сборки МГП НТО Машпрома в 1971 г., на Республиканских научно-технических конференциях в 1977 и 1980 г.г. в г. Баку, а также на научно-технических конференциях Азербайджанского политехнического института им. Ч. Ильдрима в 1975-1984 г.г.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, общих выводов, списка литературы и приложений, изложена на 262 страницах, в том числе содержит 146 страниц машинописного текста, 113 рисунков, 18 таблиц, список литературы из 122 наименований и приложений на 2 страницах.

Первая глава посвящена рассмотрению современных представлений о технологических остаточных напряжениях в поверхностных слоях деталей после различных операций технологического процесса начиная с заготовительных и вопросов их влияния на выходные параметры деталей машин. Установлено, что вопросы формирования остаточных напряжений в деталях машин изучены многими авторами. Однако результаты этих работ во многих случаях имеют разрозненный и противоречивый характер, что предопределило комплексное изучение проблемы установления закономерностей формирования остаточных напряжений в ходе всего технологического процесса с целью управления остаточным напряженным состоянием гильз для повышения стабильности их формы.

На основании анализа условий работы высокоточных гильз и литературных данных были поставлены следующие задачи исследования:

- определение условий возникновения отклонений формы высокоточных гильз в результате релаксации остаточных напряжений;
- разработка специальной методики и вывод соответствующих расчётных формул для определения остаточных напряжений при их неравномерном (несесимметричном) распределении по окружности гильз;
- исследование эволюции остаточных напряжений в ходе технологического процесса;
- изучение влияния обработки резанием с неравномерным припуском на распределение напряжений;
- определение характера распределения напряжений в зависимости от схем закрепления гильз при обработке резанием;
- изучение влияния методов и режимов финишной обработки на уровень остаточных напряжений;
- исследование деформаций (отклонений формы) гильз с течением времени в зависимости от условий их обработки;
- разработка на базе результатов исследований рекомендаций по технологическому обеспечению стабильности формы высокоточных гильз.

В качестве представителей объектов исследования выбраны корпуса (гильзы) высокооборотных прецизионных электро- и пневмошпинделей витришлифовальных станков с частотой вращения 6000...300000 об/мин. Гильзы имеют допуски на отклонения формы осевых поверхностей не более $1...2$ мкм, изготавливаются из стали 20Х, широко применяемой для прецизионных деталей.

Во второй главе рассмотрены теоретические предпосылки технологического обеспечения стабильности формы высокоточных гильз. Проведен анализ условий возникновения отклонений их формы с течением времени под действием технологических остаточных напряжений. Изменение формы высокоточных деталей в условиях эксплуатации и длительного хранения происходит главным образом в результате неравномерной релаксации остаточных напряжений, возникающих в них в процессе изготовления и неравномерного протекания возможных структурно-фазовых превращений в их материале. Следует отметить, что эти факторы во многих случаях оказывают совместное влияние на отклонения формы деталей.

Согласно современным представлениям, главными причинами релаксации технологических остаточных напряжений являются сдвигово-дислокационные и диффузионно-дислокационные процессы, сопро-

воздающиеся переходом материала детали от термодинамически неравновесного состояния в равновесное. Такой переход вызывает неизбежные деформации деталей. Превалирующая роль указанных процессов при релаксации напряжений определяется главным образом температурой эксплуатации детали и уровнем исходных остаточных напряжений в ней. Температура при эксплуатации высокоточных гильз из стали 20Х, исследуемых в настоящей работе, не превышает 50...80°C. При таких температурах обменно-диффузионные процессы оказывают незначительное влияние на релаксацию напряжений. Поэтому решающим фактором, контролирующим процесс релаксации, в данном случае следует считать уровень исходных остаточных напряжений в гильзах. Известно, что с увеличением уровня напряжений повышается скорость и интенсивность их релаксации.

Теоретический анализ остаточного напряженного состояния высокоточных гильз показывает, что если их поперечное и продольное сечения, а также эпюры остаточных напряжений симметричны относительно главных центральных осей этих сечений, то отклонения формы гильз с течением времени не возникают. Однако в реальных условиях обработки гильз их поперечное и продольное сечения, а также эпюры остаточных напряжений по целому ряду причин не являются симметричными относительно главных центральных осей этих сечений. Поскольку скорость релаксации зависит от уровня напряжений, то в данном случае релаксация прежде всего начинается на тех участках гильз, где действуют максимальные напряжения. В результате релаксация напряжений по всему объему материала протекает с разной скоростью и интенсивностью, что приводит к нарушению равновесия поля остаточных напряжений и возникновению на разных участках гильз различных по величине неуравновешенных внутренних силовых факторов (моментов и сил), вызывающих неизбежные отклонения их формы. При прочих равных условиях величины отклонений формы гильз будут тем больше, чем больше разница величин неуравновешенных моментов и сил, возникающих на разных их участках.

Значительное влияние на процесс релаксации может оказывать градиент остаточных напряжений, определяемый характером их распределения в сечениях детали. Анализ показывает, что для повышения стабильности формы высокоточных гильз обработке их поверхностей следует осуществлять методами и режимами, обеспечивающими

ми наименьший градиент напряжений по глубине поверхностного слоя материала.

Неосесимметричное распределение напряжений в основном обусловлено снятием неравномерных припусков, всегда сопровождающим процесс механической обработки резанием. Главными причинами снятия неравномерных припусков являются наличие пространственных отклонений поверхностей заготовок от правильной геометрической формы, погрешности установки, деформации от сил закрепления и после термической обработки. В ряде случаев неравномерность напряжений может быть обусловлена конструктивными элементами в виде отверстий, канавок, лысок и пр., большинство которых обычно располагается не симметрично относительно осей гильз, а также дефектами материала (трещины, неметаллические включения и пр.), являющимися концентраторами напряжений.

В процессе снятия неравномерного припуска степень пластической деформации материала на разных участках обрабатываемой поверхности различна вследствие изменения сил резания и температуры за один оборот детали или инструмента. Наиболее интенсивно силовому и тепловому воздействиям подвергаются участки с максимальным припуском. Поэтому после обработки разные участки гильз обладают различной дислокационной структурой и поверхностный слой их материала на этих участках наклепывается в различной степени, что является основной причиной неравномерного распределения остаточных напряжений.

Анализ показывает, что неравномерность распределения остаточных напряжений в высокоточных деталях типа гильз проходит через весь комплекс выполняемых технологических операций, включая заготовительные, т.е. наследуется от предыдущих операций. Это свидетельствует о необходимости комплексного подхода к решению поставленной задачи, т.е. исследования эволюции остаточных напряжений в ходе технологического процесса изготовления высокоточных гильз. Эволюцию напряжений безусловно следует рассматривать с позиций теории технологической наследственности, с тем чтобы на основе выявленных закономерностей формирования остаточных напряжений при последовательно выполняемых операциях технологического маршрута путём целенаправленного технологического воздействия управлять напряженным состоянием гильз для повышения стабильности их формы.

В связи с вышеизложенным важной задачей, решаемой в насто-

ийей главе работы является разработка специальной методики и вывод расчётных формул для определения остаточных напряжений, неравномерно распределённых в высокоточных гильзах. Следует отметить, что существующие методы разработаны только для случая равномерного распределения остаточных напряжений и не всегда приемлемы для исследования эволюции остаточных напряжений в ходе технологического процесса изготовления гильз, в особенности высокоточных.

Разработанная методика базируется на методе Н.Н. Давиденкова и методе колец и полосок и является их развитием. В отличие от этих методов по разработанному методу напряжения определяются в отдельных секторах гильз и на основе полученных данных выявляется полная картина их распределения по окружности гильз.

Процесс деформирования гильз с течением времени усложняется, если одновременно с релаксацией остаточных напряжений протекают структурно-фазовые превращения в их материале. Например, увеличение объема материала поверхностного слоя в результате распада остаточного аустенита, а также его уменьшение вследствие снижения степени тетрагональности мартенсита, вызывает деформации. Особое опасение вызывает неравномерность протекания этих превращений, приводящая к дополнительным изменениям формы гильз.

Отклонения формы с течением времени высокоточных гильз, используемых часто в качестве корпусных деталей прецизионных узлов, например, высокооборотных электрошпинделей внутришлифовальных станков, в поперечном и продольном сечениях приводят к изменению взаимного положения сопрягаемых деталей. В результате снижается надёжность работы прецизионных изделий. Так, появление перекоса осей внутреннего и наружного колец подшипников качения и увеличение овальности гнезд под подшипники приводят к изменению контактных давлений по углу поворота. Это вызывает интенсивный неравномерный износ поверхностей колец и шариков и, как следствие этого, увеличение величины биения исполнительного органа — вала электрошпинделя. В результате действительная траектория ротационного движения установленного на нем шлифовального круга отличается от заданной. Таким образом, происходит непосредственное снижение точности обрабатываемой детали.

Теоретическим анализом установлено, что основными предпо-

силками для технологического управления напряженным состоянием высокоточных гильз с целью повышения стабильности их формы являются: повышение точности формы заготовок, использование для их закрепления при механической обработке резанием зажимных устройств, обеспечивающих более равномерное силовое нагружение, обработка наружной и внутренней поверхностей гильз с режимами, приводящими к одинаковым по величине и знаку остаточным напряжениям. Вместе с тем важное значение имеет выбор оптимальных методов и режимов обработки с точки зрения наименьшего уровня возникающих напряжений, более тщательное проведение цементации и поверхностной закалки гильз и проектирование высокоточных гильз с симметричным расположением конструктивных элементов относительно их осей.

Необходимо отметить, что в настоящее время из-за отсутствия подробных и достаточно точных данных о свойствах обрабатываемого материала, заготовок, параметрах релаксации остаточных напряжений и структурно-фазовых превращений, не представляется возможным установление аналитически точной количественной связи между напряжениями и отклонениями формы гильз для случая неравномерного распределения остаточных напряжений в них. Поэтому исследование данных вопросов экспериментальным путем наиболее приемлемо и эффективно.

Третья глава посвящена экспериментальному подтверждению теоретических положений и предпосылок технологического обеспечения стабильности формы высокоточных гильз путем управления их напряженным состоянием в ходе технологического процесса. Эксперименты проводились по этапам и охватывали вопросы, связанные с эволюцией остаточных напряжений в ходе технологического процесса изготовления гильз и их деформациями (отклонениями формы) с течением времени в зависимости от условий обработки.

Для определения остаточных напряжений в гильзах была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка. Снятие слосов материала с поверхностей образцов на установке производилось электрот. влением, а деформации образцов измерялись непрерывным тензометрированием высокочувствительной аппаратурой и автоматически записывались на диаграммной бумаге самописцем.

Вырезка и разрезка образцов производились электроискровым способом. Изменение среднего диаметра кольцевых образцов до и после разрезки по образующей осуществлялось на микроскопе

УИМ-2I, а измерение прогибов плоских образцов - с помощью специального приспособления с индикатором часового типа с ценой деления I мкм.

Шероховатость поверхностей измерялась на профилографе-профилометре мод. 20I завода "Калибр". Металлографический анализ структуры материала проводился на микроскопе МИМ-7. Определение количества остаточного аустенита производилось рентгенографически на установке УРС-50ИМ.

Изменение формы (отклонения от круглости поперечного сечения и от прямолинейности образующих) высокоточных гильз с течением времени измерялось кругломером мод. "TALYROND-2" в термоконстантном помещении. Образцы в период испытаний хранились в том же помещении в специальном контейнере при вертикальном расположении их осей.

С целью изучения влияния вида заготовки на уровень остаточных напряжений в высокоточных гильзах исследовались три вида заготовок из стали 20Х: прокат (круглый, сплошной), поковка (с отверстием) и труба (толстостенная). Все заготовки до механической обработки были в состоянии поставки, т.е. нормализованы. Химический состав и физико-механические характеристики материала заготовок соответствовали ГОСТ 4543-7I. Все образцы для каждого вида заготовки изготавливались из металла одной плавки.

Обработка различного вида заготовок из одного и того же материала по единому технологическому процессу при постоянных режимах привела к возникновению в гильзах остаточных напряжений различного уровня.

Для более ясного представления об изменении напряженного состояния гильз при переходе от одной операции к другой, остаточные напряжения в образцах определялись после каждой операции технологического процесса, т.е. рассматривалась эволюция напряжений в ходе технологического процесса. При точении наименьшие остаточные напряжения возникли в образцах из трубы

$\sigma_{\text{max}} = 441 \text{ МПа}$, а наибольшие - в образцах изковки
 $\sigma_{\text{max}} = 562 \text{ МПа}$. Максимальное значение остаточных напряжений у образцов из проката составляло $\sigma_{\text{max}} = 514 \text{ МПа}$. Однако после термической обработки и шлифования разница в максимальных значениях остаточных напряжений несколько уменьшается, но сохраняется наследственная связь. Например, после оконча-

тельного шлифования максимальные значения остаточных напряжений у образцов из поковки $\sigma_{\theta max} = -237$ МПа, из проката $\sigma_{\theta max} = -211$ МПа, из трубы $\sigma_{\theta max} = -158$ МПа.

При всех операциях технологического процесса, включая заготовительную, наименьшие остаточные напряжения возникают в образцах из трубы. Поэтому, с целью уменьшения изменения формы высокоточных гильз в качестве предпочтительной заготовки для их изготовления рекомендуется использовать толстостенные трубы. Трубная заготовка выгодна также с точки зрения экономии металла и производительности.

Для изучения влияния вида и режимов обработки на уровень остаточных напряжений в высокоточных гильзах исследовались пять видов окончательной (финишной) обработки: круглое шлифование (тонкое) обычными абразивными кругами, круглое шлифование алмазными кругами, круглое шлифование торцом чашечного алмазного круга, суперфиниширование и алмазное выглаживание.

Эксперименты проводились на идентичных образцах-гильзах, изготовленных по единому технологическому процессу из стали 20Х для всех исследуемых видов обработки. Заготовки для всех образцов отрезались из одного прутка (проката) во избежание влияния различия химического состава металла отдельных плавок.

Исследовались те сочетания элементов режимов различных видов обработки, которые позволяют получить одинаковую шероховатость поверхности ($Ra = 0,16...0,08$ мкм) с наибольшей производительностью, с наименьшим расходом инструментального материала и пр.

Результаты экспериментов показали, что наименьшие по величине остаточные напряжения возникают при тонком шлифовании обычными абразивными кругами $\sigma_{\theta max} = 125$ МПа и $\sigma_{z max} = 90$ МПа, а наибольшие - при алмазном выглаживании $\sigma_{\theta max} = -800$ МПа и $\sigma_{z max} = -850$ МПа.

Следовательно, для финишной обработки высокоточных гильз можно рекомендовать метод тонкого шлифования обычными абразивными кругами.

При суперфинишировании и особенно при алмазном выглаживании поверхностный слой материала гильз подвергается интенсивной пластической деформации, что приводит к возникновению сжимающих напряжений высокого уровня. Эти виды окончательной обработки целесообразно применять для деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок и износа, где влияние сжимающих оста-

точных напряжений благоприятно.

Экспериментально подтверждено положение о том, что снятие неравномерного припуска (например, эксцентричного) приводит к неравномерному распределению остаточных напряжений по окружности гильзы. При растачивании образцов-гильз с эксцентричным припуском, в зависимости от величины снимаемого припуска, на разных участках (секторах) гильз возникают остаточные напряжения различной величины (рис. 1). В данных экспериментах разница максимальных величин остаточных напряжений на разных участках гильз составляла 0...80 МПа.

Разница в величинах остаточных напряжений, возникающих на различных участках гильз еще больше при шлифовании с неравномерным припуском (рис. 2). В проведенных экспериментах эта разница составляла 0...210 МПа.

Экспериментально установлено, что на неравномерность распределения остаточных напряжений по окружности гильз влияет также схема их закрепления при механической обработке резанием. Для изучения этого вопроса все существующие схемы закрепления гильз были подразделены на две группы: закрепление сосредоточенными силами, приложенными с равным шагом и закрепление распределенными силами постоянной интенсивности. С целью сравнительной оценки из первой группы было выбрано закрепление в трехкулачковом патроне, а из второй — закрепление в патроне с гофрированными втулками при внутреннем шлифовании гильз.

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что при закреплении гильз в трехкулачковом патроне в процессе шлифования возникают остаточные напряжения, неравномерно распределенные вдоль окружности гильз. Наибольшие напряжения возникают в направлении действия сил закрепления (кулачков) — $\sigma_{\theta \max} = 480$ МПа. В свободных участках гильз, расположенных между местами приложения сил закрепления (кулачков) возникают наименьшие остаточные напряжения — $\sigma_{\theta \min} = 350$ МПа.

При шлифовании гильз, с установкой их в патроне с гофрированными втулками возникают остаточные напряжения, практически равномерно распределенные по окружности. Это объясняется тем, что в данном случае гильза вследствие осесимметричного нагружения получает равномерную упругую деформацию в радиальном направлении. В результате это при обработке снимаются более равномерные слои материала, степень пластической деформации

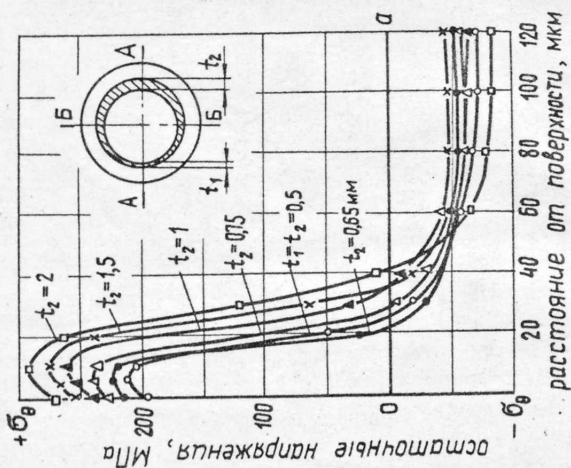


Рис. 1. Эпюры распределения остаточных напряжений, возникающих при растяжении с неравномерным припуском

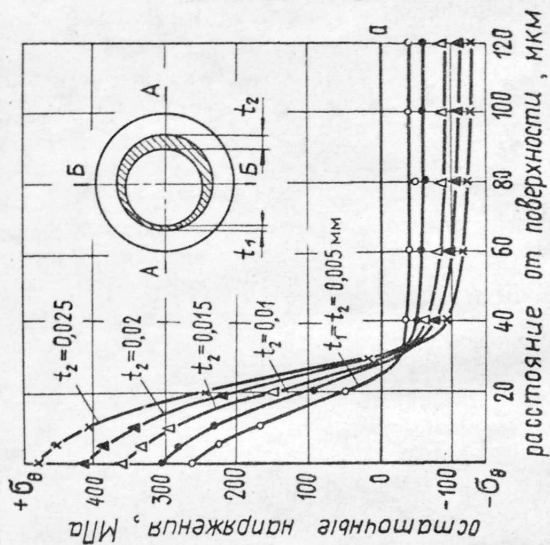


Рис. 2. Эпюры распределения остаточных напряжений, возникающих при внутреннем шлифовании с неравномерным припуском

всех участков гильз получается примерно одинаковой, что приводит к более равномерному распределению остаточных напряжений по окружности гильзы. Поэтому патроны и оправки с гофрированными втулками имеют неоспоримые преимущества для закрепления высокоточных гильз при обработке.

Изучение влияния релаксации остаточных напряжений на стабильность формы высокоточных деталей с течением времени проводилось на корпусах скоростных электро- и пневмошпинделей, представляющих собой высокоточные гильзы, а также на полых гладких цилиндрических образцах.

Корпуса изготавливались по двум вариантам: по заводскому типовому технологическому процессу и по технологическому процессу, разработанному на основании результатов проведенных теоретических исследований и экспериментов на предыдущих этапах.

По сравнению с заводским технологическим процессом в отличие от заводского вместо трехкратного проводилось двухкратное шлифование при одинаковой шероховатости обработанных поверхностей, точности формы и размеров корпусов. С целью уменьшения уровня возникающих остаточных напряжений в качестве предпочтительной заготовки для изготовления корпусов использовалась толстостенная труба и были изменены режимы их точения, растачивания, предварительного и окончательного шлифования. Для получения симметричных эпюр распределения остаточных напряжений по сечению корпусов, обработка их наружной и внутренней поверхностей производилась при одинаковых режимах. Кроме того закрепление корпусов при шлифовальных операциях осуществлялось с помощью патронов и оправок с гофрированными втулками.

Результаты измерений показали, что отклонения формы гильз, обработанных в соответствии с заводским технологическим процессом, с течением времени увеличиваются и у большинства из них они превышают допуски на точность формы, тогда как гильзы, изготовленные по предложенному технологическому процессу, имеют высокую стабильность формы.

Экспериментами, проведенными на гладких образцах — гильзах установлено, что с увеличением неравномерности распределения и разности в уровнях напряжений в наружном и внутреннем поверхностных слоях, с течением времени растут величины отклонений их формы, как в поперечном, так и в продольном сечениях.

Результаты экспериментов подтвердили правильность основ-

ных теоретических предпосылок обеспечения стабильности формы высокоточных гильз: уменьшение уровня остаточных напряжений и неравномерности их распределения правильным выбором заготовок, методов и режимов обработки, оснастки. Таким образом, представляется возможным управление технологическими остаточными напряжениями для повышения надёжности высокоточных гильз.

В четвёртой главе даны практические рекомендации по технологическому обеспечению стабильности формы высокоточных деталей типа гильз, разработанные на основании результатов проведенных в настоящей работе исследований. Рекомендации внедрены на Московском заводе скоростных прецизионных электроприводов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В результате выполнения всего комплекса операций технологического процесса изготовления в высокоточных гильзах возникают остаточные напряжения, способные привести с течением времени к отклонениям их формы, снижающим надёжность прецизионных изделий.

2. Теоретически и экспериментально доказано, что основополагающей причиной возникновения отклонений формы высокоточных гильз с течением времени является неравномерность распределения остаточных напряжений в них.

3. Разработан метод определения остаточных напряжений для более общего случая — неосесимметричного их распределения в тонкостенных цилиндрических деталях типа гильз, втулок, колец. Для выявления истинной картины распределения напряжений в высокоточных гильзах следует пользоваться методикой и формулами, предложенными в настоящей работе.

4. Режимы предварительной и финишной обработки наружной и внутренней поверхностей высокоточных гильз необходимо назначать исходя из условий возможного наведения в поверхностных слоях остаточных напряжений, одинаковых по величине и знаку.

5. При обработке по одному и тому же технологическому процессу и режимам, но из заготовок, полученных различными методами, наименьшие по величине остаточные напряжения возникают в гильзах из горячекатанной трубы по сравнению с гильзами, изготовленными из круглого проката и поковок. Поэтому в качестве предпочтительной заготовки для изготовления высокоточных гильз

рекомендуется трубная заготовка.

6. Для уменьшения уровня возникающих остаточных напряжений режимы обработки предварительных операций технологического процесса изготовления высокоточных гильз следует выбирать исходя из условий снижения силового и теплового воздействия на материал заготовок. Наружную и внутреннюю поверхность гильз из стали 20Х предпочтительно обрабатывать на режимах: скорость резания - $V = 95...110$ м/мин, подача - $S = 0,39...0,47$ мм/об, глубина резания - $t = 1...2$ мм.

7. Неравномерность распределения остаточных напряжений в гильзах, вызванная обработкой резанием с неравномерным припуском, имеет наследственную природу. Поэтому необходимо регламентировать неравномерность припуска на всех стадиях технологического процесса изготовления высокоточных гильз. Для уменьшения отклонений формы гильз второго качества точности с течением времени в диапазоне внутреннего диаметра $\phi 60...80$ мм неравномерность припуска на чистовую токарную обработку не должна превышать $0,25...0,5$ мм, а на окончательное шлифование - $0,005...0,010$ мм.

8. Теоретически и экспериментально установлено, что расчёт припусков на обработку резанием высокоточных гильз необходимо вести с учётом неравномерности припусков, что требует разработки специальной методики их расчёта.

9. Для уменьшения неравномерности в распределении остаточных напряжений при обработке резанием высокоточных гильз необходимо отказаться от закрепления их сосредоточенными силами. Закрепление гильз на всех этапах технологического процесса следует производить только осесимметричными распределёнными силами. Для закрепления высокоточных гильз при обработке рекомендуются патроны и оправки с гофрированными втулками.

10. Финишную обработку высокоточных гильз из стали 20Х следует производить методом тонкого шлифования абразивными крупами. При прочих равных условиях этот метод обеспечивает, по сравнению с другими методами, наиболее благоприятные эпюры остаточных напряжений с точки зрения уменьшения отклонений формы гильз с течением времени.

II. На основании проведенных исследований разработаны практические рекомендации по повышению стабильности формы высокоточных гильз технологическими методами в процессе их изго-

товления.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Ахмедов Х.А., Царенко В.П. К вопросу о выборе заготовок для высокоточных деталей типа гильз. - Изв. вузов. Машиностроение, 1972, № 4, с. 176-181.

2. Ахмедов Х.А. Остаточные напряжения, возникающие в высокоточных тонкостенных гильзах при различных видах окончательной обработки. - Тр./МВТУ им. Н.С. Баумана, 1973 г., № 167, с. 167-175.

3. Ахмедов Х.А., Селиванов Н.М. Влияние удаления неравномерного припуска на распределение остаточных напряжений в высокоточных гильзах. - Изв. вузов. Машиностроение, 1977, № 5, с. 180-182.

4. Ахмедов Х.А. Влияние схемы закрепления деталей на их остаточные напряжения. - Эффективные технологические процессы производства машин: Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. - Баку, 1977, с. 30-31.

5. Ахмедов Х.А. Влияние удаления неравномерного припуска на долговечность деталей машин. - Прогрессивные методы повышения долговечности деталей нефтяного оборудования: Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. - Баку, 1980, с. 36-37.

Ахмедов

