

На правах рукописи



Буканова Ирина Сергеевна

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЫШЕННОЙ
НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
ТИПА «КОРПУС – ВТУЛКА»

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Барнаул – 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (АлтГТУ)», г. Барнаул

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Татаркин Евгений Юрьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Леонов Сергей Леонидович,
ФГБОУ ВПО «Алтайский
государственный технический
университет им. И.И.Ползунова»,
профессор кафедры

кандидат технических наук, доцент
Беляев Вячеслав Николаевич,
ОАО ФНПЦ «Алтай»,
начальник лаборатории

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва», г. Кемерово

Защита состоится 18 мая 2012 г. в 12 ч. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д.212.004.01 при ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» по адресу: 656038, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46; факс (3852) 290-765; e-mail: yoshevtsov@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Автореферат разослан «13» апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Ю.О. Шевцов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Неподвижные соединения типа «корпус - втулка» нашли широкое распространение в различных механизмах и узлах машин. Критериями оценки их нагрузочной способности являются сопротивление действию момента проворота $M_{пр}$ и осевому сдвигу $P_{ос}$. В настоящее время при производстве машин применяются различные способы получения неподвижных соединений: прессовый, тепловой, гидропрессовый, с использованием ультразвука и другие. Анализ литературных источников показал, что одним из наиболее эффективных способов получения неподвижных соединений, в которых материал одного элемента обладает более высокими пластическими свойствами, является дорнование. Для повышения прочности неподвижных соединений используют различные технологии: увеличение натяга, ультразвуковое вибронакатывание, введение промежуточных сред, сглаживающе-упрочняющую обработку и др. Выявлено, что для повышения прочности неподвижных соединений целесообразно создание микрорельефа на внутренней поверхности охватываемой детали накатыванием профильными роликами. Этот метод обладает простотой кинематики процесса и высокой производительностью. До настоящего времени нет конкретных рекомендаций по технологии сборки таких соединений; по методам нанесения микрорельефа и по оптимизации его параметров. Не разработаны конструкции инструмента для нанесения микрорельефа. В связи с этим разработка мероприятий, направленных на повышение нагрузочной способности неподвижных соединений путем нанесения частично-регулярного микрорельефа на внутреннюю поверхность охватываемой детали и последующего дорнования охватываемой детали, является актуальной.

Цель работы - обеспечение повышенной нагрузочной способности узлов машин путем совершенствования технологии сборки неподвижных соединений. Для достижения цели были поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Аналитически установить взаимосвязь конструктивно - геометрических параметров накатников и режимов накатывания с параметрами микрорельефа;
2. Разработать имитационно - стохастическую модель формирования частично-регулярного микрорельефа (ЧРМР) и на её основе создать алгоритм проектирования операции накатывания;
3. Исследовать процесс заполнения нанесенного микрорельефа материалом втулки при дорновании моделированием напряжённо-деформированного состояния соединения методом конечных элементов;
4. Экспериментально установить зависимости давления и натяга в соединении, остаточных деформаций элементов соединения и параметров дорна от натяга дорнования и монтажного зазора;
5. Разработать алгоритм проектирования технологии получения неподвижных соединений с повышенной нагрузочной способностью и инструмен-

тальное обеспечение для нанесения ЧРМР на поверхность охватывающей детали;

6. Провести промышленную апробацию результатов исследования.

Методы исследования. Теоретические исследования проводились на базе научных основ технологии машиностроения, теории резания, системного анализа, сопротивления материалов, теории пластичности и упругости, методов конечных элементов и математического моделирования. В исследованиях применен аппарат теории оптимизации и теории вероятности.

Достоверность и обоснованность полученных результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью разработанных математических моделей, их адекватностью по известным критериям оценки изучаемых процессов, сходимостью полученных теоретических результатов с данными эксперимента и промышленной апробации, а так же с результатами исследований других авторов.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Аналитически установлено влияние конструктивно-геометрических параметров накатников и режимов накатывания на параметры микрорельефа, определяющих повышенную нагрузочную способность неподвижных соединений.

2. Получены расчетные зависимости для определения вероятности получения заданной фактической площади частично-регулярного микрорельефа от режимов накатывания.

3. Установлена взаимосвязь остаточной деформации втулки в радиальном направлении от режимов дорнования и конструктивных параметров дорна.

4. Установлен критерий назначения параметров операции дорнования в зависимости от давления в соединении, соответствующего максимальному заполнению впадин нанесенного микрорельефа.

Практическая значимость и реализация результатов работы.

1. Предложенный алгоритм проектирования технологии получения неподвижных соединений с повышенной нагрузочной способностью нашел применение в учебном процессе – при изучении дисциплин «Оптимизация металлообработки» и «Отделочно-упрочняющие методы обработки» магистрантами направления 150900 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» в ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

2. Разработаны конструкции накатников для создания оптимального микрорельефа на внутренней поверхности охватывающей детали неподвижного соединения.

3. Разработана конструкция расточной оправки для чистовой обработки внутренней поверхности охватывающей детали (патент на изобретение RU № 2227084. МПИ В 23 В 29102).

4. Результаты исследования прошли промышленную апробацию в ООО «Сибирские Производственные Технологии». Ожидаемый экономический эффект технологических разработок составляет 160550 рублей.

Апробация работы. Основные результаты, представленные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались на межрегиональной научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии в машиностроении» г.Бийск., 2002г., международной научно-технической конференции «Современные технологические системы в машиностроении» г.Барнаул, 2003 г., 4-й Всероссийской юбилейной научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии в машиностроении», г. Бийск, 2004г., на 4-й, 6-й, и 7-й Всероссийских научно-практических конференциях «Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе», г. Новосибирск, 2006 г., 2008 г. и 2009 г., на 5-й, 7-й и 8-й Всероссийских научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь» г. Барнаул, 2008 г., 2010 г., 2011 г., на научных и методических семинарах кафедр «Общая технология машиностроения» и «Технология автоматизированных производств» ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова» в период с 2002 по 2011г.

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 27 печатных работах, 3 из которых опубликованы в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ. Получен один патент на изобретение.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, библиографического списка, включающего 102 наименований, и приложения. Работа изложена на 146 листах машинописного текста, содержит 80 рисунков, 17 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, изложены суть поставленной научной задачи.

В первой главе дается анализ современного состояния вопроса получения неподвижных соединений (НС) типа «корпус - втулка» и обеспечения их требуемой нагрузочной способности. При изготовлении НС широко применяются отделочно-упрочняющие технологии. Изучению и развитию этого вопроса посвящены работы многих исследователей: В.Ю. Блюменштейна, А.Н. Исаева, С.А. Зайдеса, Ю.Г. Проскурякова, Х.М. Рахмянова, О.А. Розенберга, А.Г. Сулова, Ю.Г. Шнейдера, П.И. Ящерицына и других ученых. Предлагаемые на сегодняшний день решения, как правило, относятся к частным случаям, поэтому дальнейшее накопление экспериментальных данных, изучение особенностей влияния различных факторов на нагрузочную способность НС имеет важное научное значение.

Рассмотрены существующие методы получения НС. Проведен анализ факторов, влияющих на прочность НС: физико-механические свойства контактирующих поверхностей и их микрогеометрические параметры; конструктивные особенности элементов НС; напряженно - деформированное состояние элементов, входящих в НС.

Рассмотрены и проанализированы существующие методы повышения прочности таких соединений. Повышение нагрузочной способности регуляризацией микрорельефа контактирующих поверхностей деталей представляет особый интерес, т. к. он свободен от недостатков других методов. Были рассмотрены вопросы, посвященные классификации микрорельефов и граничные условия их получения, а также существующие методы нанесения микрорельефа. Выявлено, что высокой производительностью, простотой кинематики процесса обладает метод накатывания микрорельефа профильными роликами. Применение этого метода ограничено лишь малоизученностью, т.к. нет точных рекомендаций по созданию инструмента для нанесения оптимального микрорельефа (по размерам, форме, взаиморасположению). Отсутствуют технологические рекомендации по выбору режимов накатывания (подача, усилие вдавливания). В конце главы сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе приведены результаты аналитических исследований образования частично-регулярного микрорельефа (ЧРМР). Проведен анализ процесса единичного взаимодействия деформирующего элемента с поверхностью охватываемой детали (рис. 1, а).

Установлено, что вершина деформирующего элемента, имеющего форму конуса, внедряясь в поверхность отверстия корпуса на глубину h , описывает траекторию удлиненной гипоциклоиды (гипотрохоиды) (рис. 1, б).

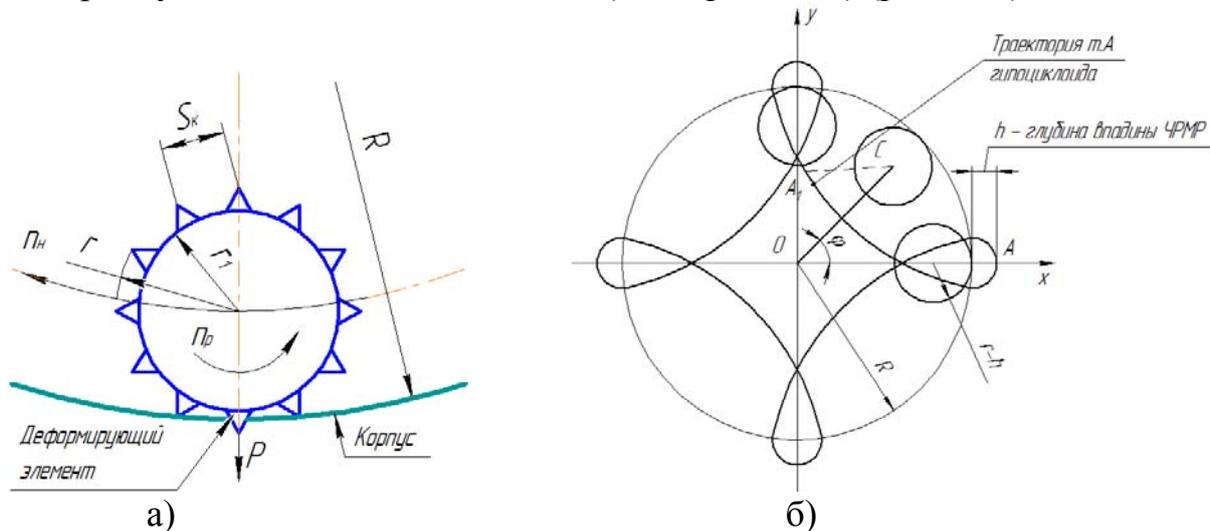


Рисунок 1 - Схема процесса накатывания ЧРМР

а) схема взаимодействия деформирующего элемента с поверхностью охватываемой детали; б) траектория движения деформирующего элемента.

Вершина деформирующего элемента, внедренная в поверхность отверстия охватываемой детали, описывает дугу (от начала касания обрабатываемой поверхности до максимального заглубления h) и увеличивает размер единичной регулярно расположенной впадины микрорельефа в направлении вращения деформирующего ролика. В результате впадина имеет в плане форму эллипса с полуосями a и b (рис. 2).

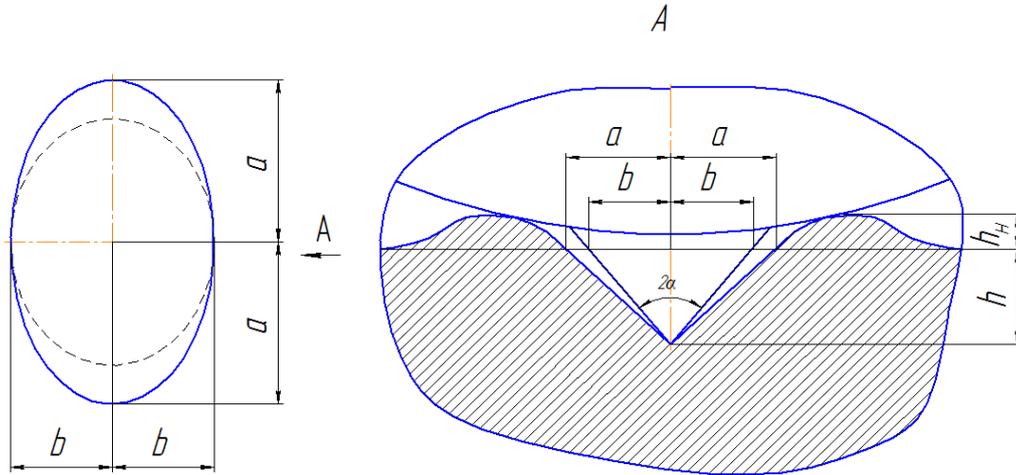


Рисунок 2 - Формирование впадины микрорельефа

Площадь единичной впадины микрорельефа:

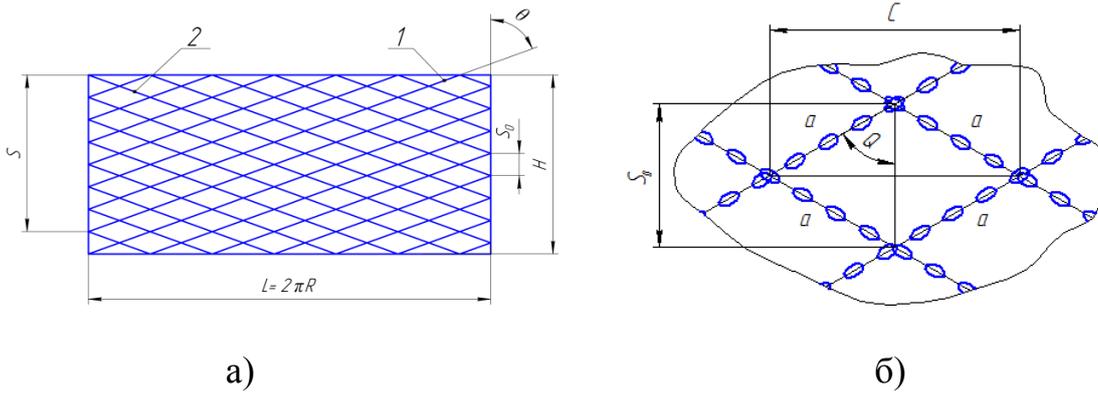
$$F_1 = \pi ab = \pi h^2 \operatorname{tg} \alpha \left[\operatorname{tg} \alpha + \frac{1-m}{m} \sqrt{\frac{2h}{(1-m)(mR - mh + h)}} \right], \quad (1)$$

где $m = \frac{r-h}{R}$

При анализе формирования установившейся поверхности ЧРМР накатыванием учитываются не только конструктивно-геометрические параметры деформирующего элемента, но и накатного ролика и накатника в целом. Основные факторы, оказывающие влияние на параметры ЧРМР, следующие: r - радиус деформирующего ролика, R_1 - радиус отверстия в корпусе, $h_1 = r - r_1$ - высота деформирующего элемента ролика, K - число деформирующих элементов по периметру ролика, K_1 - число рядов деформирующих элементов в накатнике, S_k - круговой шаг неровностей, S_0 - осевой шаг неровностей, S - осевая подача накатника, H - высота корпуса.

При вращении накатника вокруг своей оси и равномерном перемещении вдоль оси с подачей S каждый ряд деформирующих элементов ролика будет описывать на внутренней поверхности охватывающего элемента соединяющую винтовую линию с радиусом R и шагом, равным величине осевой подачи S . Если развернуть внутреннюю поверхность корпуса на плоскость (рис. 3, а), то линия 1 будет представлять траекторию единичных неровностей при прямом ходе накатника, а линия 2 - при обратном.

Таким образом, установившаяся поверхность ЧРМР будет представлять сетку из траекторий единичных неровностей при прямом и обратном ходе накатника. Исходя из рис. 3 и конструктивно-геометрических параметров накатника рассчитывается количество единичных впадин микрорельефа N_1 .



а) Рисунок 3 - Развертка поверхности отверстия корпуса (а)
и единичная ячейка сетки микрорельефа (б)

Количество единичных впадин микрорельефа $N_1 = \frac{KK_1H}{\pi rS} \sqrt{S^2 + 4\pi^2 R^2}$ (2)

Общая площадь, занимаемая регулярными неровностями:

$$F_H = N_1 F_1 = \frac{h^2 KK_1 H}{rS} \sqrt{S^2 + 4\pi^2 R^2} \left[\operatorname{tg} \alpha + \frac{1-m}{m} \sqrt{\frac{2h}{(1-m)(mR - mh + h)}} \right] \quad (3)$$

Увеличение несущей способности неподвижного соединения за счет «шпоночного эффекта» при условии полного заполнения впадин микрорельефа определяется напряжениями среза:

$$\tau_{cp} = \frac{P_{oc}^{um}}{F_H} \quad (4) \quad \tau_{cp} = \frac{M_{np}^{um}}{F_H R} \quad (5)$$

Осевая сдвигающая сила P_{oc}^{um} и момент проворота M_{np}^{um} , на которые увеличивается нагрузочная способность соединения за счет «шпоночного эффекта»:

$$P_{oc}^{um} = [\tau_{cp}] F_H \quad (6) \quad M_{np}^{um} = [\tau_{cp}] R F_H \quad (7)$$

Расчет фактической площади частично регулярного микрорельефа произведен путем стохастического имитационного моделирования процесса его накатывания. Расчет проводился на основе исходных данных общей площади, занимаемой регулярными неровностями на поверхности отверстия корпуса.

Фактическая площадь, занимаемая неровностями ЧРМР, меньше общей площади на величину площади наложившихся друг на друга неровностей при прямом и обратном ходе накатника.

Фактическая площадь является случайной величиной и в результате стохастического моделирования будет получено N ее значений. Это дает возможность построить гистограмму распределения этого параметра и поставить задачу обеспечения заданной точности ее получения. На рис. 4 приведена гистограмма распределения суммарной фактической площади, занимаемой впадинами микрорельефа $F_{ф}$.

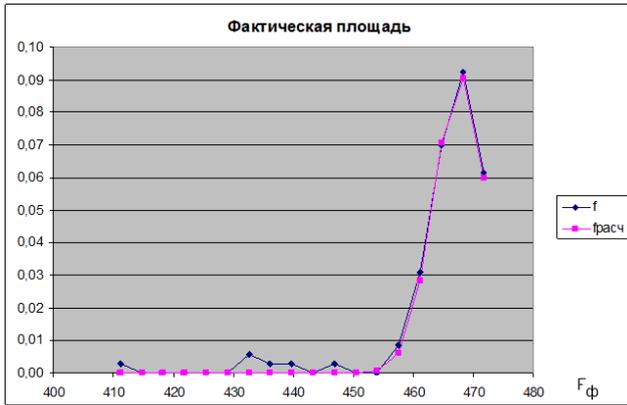


Рисунок 4 – Гистограмма распределения фактической площади

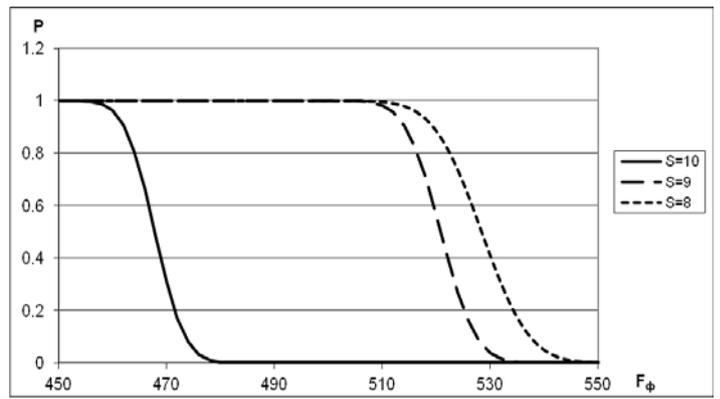
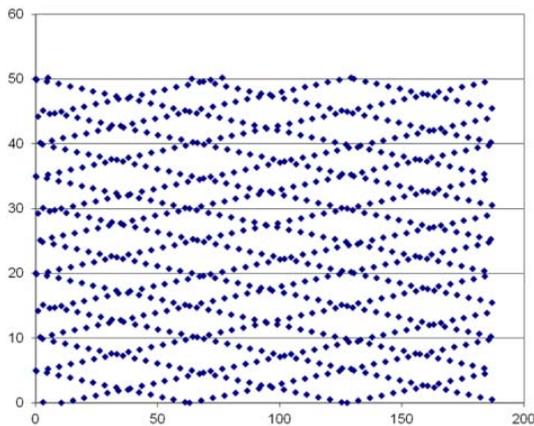
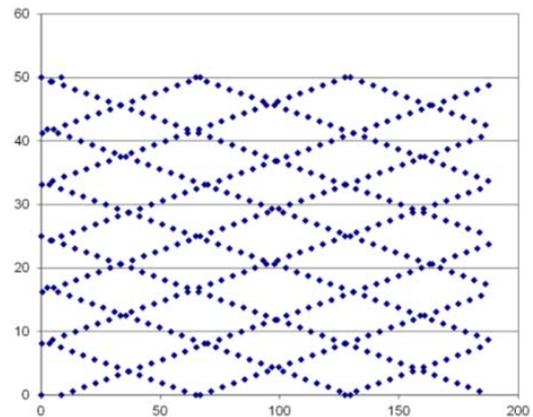


Рисунок 5 – Вероятность получения фактической площади, занимаемой ЧРМР от величины подачи

При необходимости получения большей площади (при одних и тех же исходных данных для расчета) требуется изменение режимов накатывания (рис. 6) или изменения конструкции накатных роликов.



а) $S = 8$ мм/об



б) $S = 10$ мм/об

Рисунок 6 – Два варианта сетки микрорельефа при имитационном моделировании процесса накатывания ЧРМР

Алгоритм проектирования операции накатывания представляет собой алгоритм оптимизации с критерием обеспечения заданной площади. Параметрами оптимизации являются либо элементы конструкции накатника, либо подача.

Фактическая площадь, занимаемая неровностями сформированного микрорельефа и рассчитанная по результатам стохастического моделирования, после подстановки в зависимости (6) и (7) позволяет оценить повышение прочности неподвижного соединения типа «корпус - втулка» за счет дополнительного «шпоночного эффекта».

По результатам расчета можно построить номограммы выбора режимов накатывания, обеспечивающих заданную фактическую площадь.

В третьей главе изложена методика и результаты моделирования напряженно-деформированного состояния НС типа «корпус - втулка». Методы исследования основаны на теории метода конечных элементов (МКЭ). В настоящей работе производилось моделирование пластического течения материала втулки с использованием процедур нелинейного анализа Cosmos Works Advanced Professional. В качестве модели пластического течения принята модель Мизеса с изотропным упрочнением и использованием кривых упрочнения материала втулки при холодной деформации. По результатам моделирования определялись эквивалентные напряжения и деформации сопряжения, а также давления в сопряжении, при которых происходило полное заполнение профиля ЧРМР охватывающей детали (рис. 7).

Величина давлений в стыке соединения P_c позволяет определить минимальный натяг дорнования i_d (рис. 8), обеспечивающий наиболее полное заполнение впадин микрорельефа и, соответственно, требуемую прочность НС. Полученные результаты моделирования представляют собой базу данных для определения натяга дорнования.

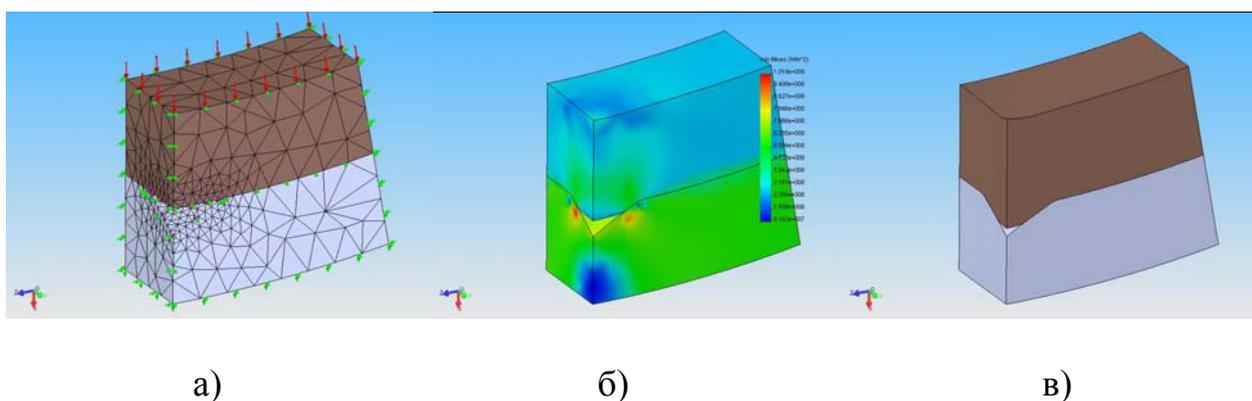


Рисунок 7 – Последовательность итерационных вычислений от исходной сетки МКЭ - (а), до полного заполнения неровности микрорельефа - (в)

Анализ результатов моделирования показал, что максимальное заполнение неровностей микрорельефа при минимальных давлениях в стыке соединения происходит, когда форма впадины имеет конусный вид с углом 120° .

В четвертой главе приводятся результаты экспериментальных исследований процесса создания неподвижного соединения повышенной нагрузочной способности, накатыванием частично-регулярного микрорельефа на внутреннюю поверхность корпуса с последующим дорнованием втулки. Изложена методика и условия проведения эксперимента.

Сборка неподвижного соединения осуществляется установкой втулки с зазором и последующим дорнованием, в процессе которого материал втулки, пластически деформируясь, заполняет впадины микрорельефа на поверхности охва-

тывающей детали. Наибольшая прочность соединения при прочих равных условиях наступает при полном заполнении профиля микрорельефа.

Выбор натяга при сборке НС дорнованием определяется требуемой нагрузочной способностью соединения, видом и геометрическими параметрами микрорельефа, величиной монтажного зазора при сборке. Минимальный требуемый натяг должен обеспечить полное заполнение профиля микрорельефа, максимально возможный натяг определяется толщиной стенки втулки и физико-механическими характеристиками её материала. Накатывание ЧРМР осуществлялось на станке с ЧПУ мод. 2Н118Ф2.

Экспериментальные исследования по дорнованию НС проводились на универсальной испытательной машине ЦДМ 10/91. На нижний рамочный держатель машины устанавливалось приспособление для дорнования, имеющее индикаторы для измерения упругих и остаточных деформаций. При экспериментальных исследованиях использовались однозубые и многозубые дорны из стали Р6М5. Дорны имели рабочую и направляющую части, задний хвостовик отсутствовал – применялись специальные толкатели, устраняющие перекося дорна в отверстиях.

Корпуса по внутренней, а втулки по внутренней и наружной поверхности изготавливались с шероховатостью $R_a=3,2$ мкм. Механическая обработка образцов проводилась по следующей технологии: обтачивание, сверление, и растачивание. На конструкцию расточной оправки для обработки внутренней поверхности корпуса получен патент на изобретение RU № 2227084. Предложенный инструмент повышает точность обработки отверстий за счет постоянства глубины резания.

В качестве образцов для экспериментов были приняты: корпуса - сталь 40Х, $D_1=80$ мм, $D_0=56$ мм, $L=47$ мм; втулки - бронза О5Ц5С5 и латунь ЛС59-1, $d_1=56$ мм, $d_0=49$ мм, $L=47$ мм. У экспериментальных образцов для определения $M_{пр}$ на одном из торцов имелись пазы для соединения с оправкой. Длина сопрягаемых поверхностей принималась равной 14 мм. Это вызвано тем, что увеличение длины сопряжения может привести к возрастанию крутящего момента и срезу пазов втулки, контактирующих с выступами оправки.

Для обеспечения различных натягов дорнования использовались корпуса и втулки разных диаметров (от 22 мм до 76 мм). Геометрические макро - и микроотклонения внутренней поверхности тонкостенных втулок, обработанных дорнованием, контролировались с помощью кругломера Talugond, а шероховатость поверхности измерялась с помощью профилографа-профилометра модели 252 (завод “Калибр”). Для контроля неподвижных соединений на усилие распрессовки использовались специальное контрольное приспособление и испытательная машина типа ЦДМ–10/91. Исследования по определению величины момента проворота проводились на машине К-50 для испытаний образцов на кручение.

В настоящее время широкое применение нашло использование метода конечных элементов для восстановления диаграммы σ - ϵ по данным индентирования (диаграмма вдавливания P-h). При индентировании применяют разнообраз-

ные типы инденторов (шар, пирамиды, конусы) с разными углами заточек этих инденторов. Моделирование внедрения индентора в упругопластический материал было выполнено с применением программного комплекса ANSYS. Индентор и образец рассматривались как тела вращения и задачу решали в осесимметричной постановке. Известно, что диаграмма вдавливания конического индентора может быть аппроксимирована квадратичной зависимостью в виде $P=ch^2$, (8)

где P - усилие внедрения, h -глубина внедрения, c - числовой коэффициент

По результатам моделирования для индентора с углом $2\alpha=120^\circ$ и стали 40X

(HB=217-249) была получена зависимость : $h = \sqrt{\frac{P}{HB^{0,404}}}$ (9)

Среднее отличие экспериментальных и расчетных данных составляет 6,68%, что подтверждает адекватность построенной конечно-элементной модели. Зависимость (9) служит для определения площади единичной микронеровности и площади, занимаемой ЧРМР.

Результаты моделирования НДС и пластического течения материала втулки использовались для определения натяга дорнования i_d (рис. 8) .

Зависимость остаточной диаметральной деформации втулки от значений относительного натяга при дорновании получена в результате математического планирования эксперимента.

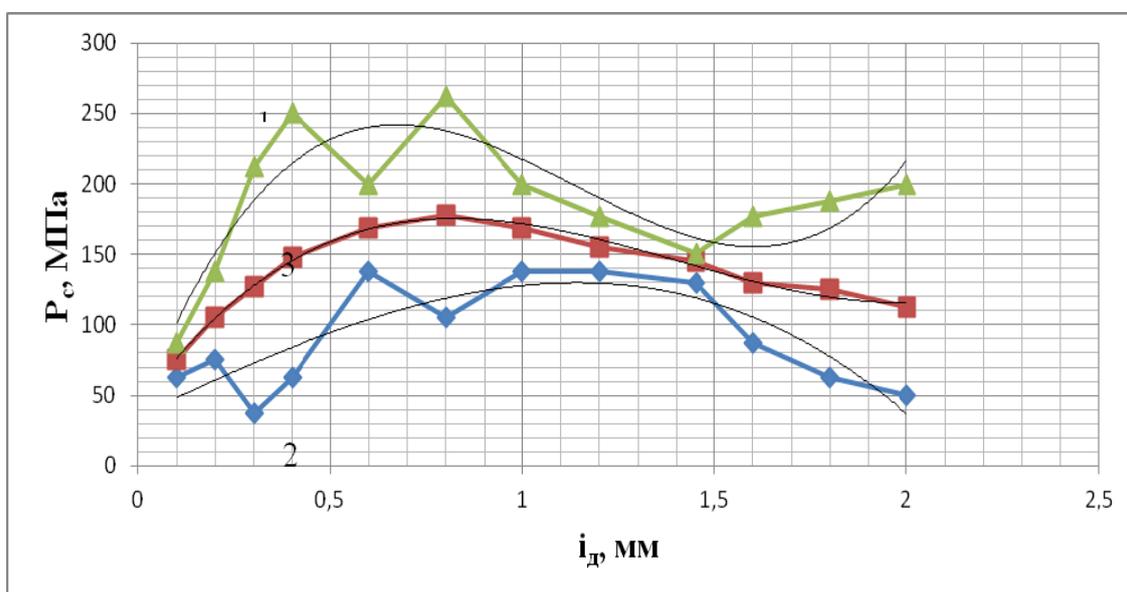


Рисунок 8 – Зависимости давления P_c на поверхности сопряжения от натяга дорнования i_d ; 1 – рассчитанная по экспериментальным смещениям наружной поверхности корпуса ($P_c = 216,34i_d^3 - 739i_d^2 + 701,7i_d + 38,361, R^2 = 0,752$); 2 – рассчитанная по экспериментальным смещениям внутренней поверхности втулки ($P_c = -26,897i_d^3 - 11,037i_d^2 + 130,3i_d + 35,466, R^2 = 0,7129$); 3 – Рассчитанные по зависимости $P_{к-в}$ ($P_c = 77,079i_d^3 - 324,14i_d^2 + 376,99i_d + 41,76, R^2 = 0,9896$).

Корпус – сталь 40X, втулка – БрО5Ц5С5

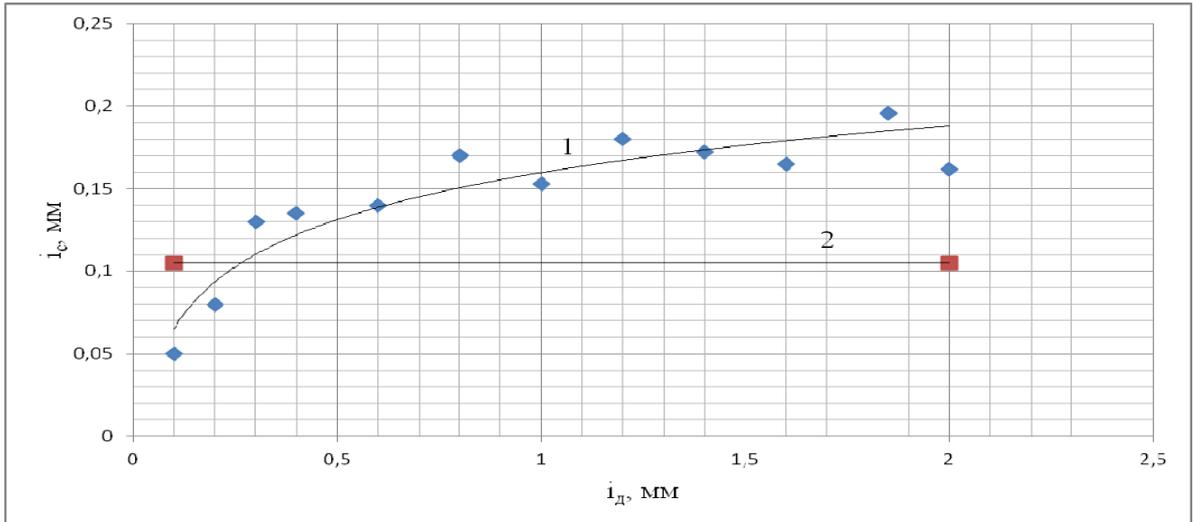


Рисунок 9 – 1 – Зависимость деформационного натяга i_c ($i_c = 0,0411\ln(i_d) + 0,1597, R^2 = 0,8686$) в соединении от натяга дорнования i_d ($i_d = e^{24,33i_c - 3,8856}$); 2 – средний геометрический натяг посадки.

Корпус – сталь 40X $D_0 = 56\text{мм}$; втулка – БрО5Ц5С5 $d_0 = 49,5\text{мм}$

Деформационный натяг в соединении образуется вследствие перераспределения напряжений после дорнования. Экспериментально полученные результаты (рис. 9) свидетельствуют, что деформационный натяг связан с натягом дорнования логарифмической зависимостью.

Экспериментальные зависимости (рис. 10) усилия распрессовки и момента проворота от параметров микрорельефа и режимов дорнования подтверждают, что применение накатывания ЧРМР на внутреннюю поверхность корпуса с последующим дорнованием втулки увеличивает прочность соединения по усилию распрессовки в 1,4 раза и в 1,3 раза – по моменту проворота для относительной площади, занимаемой ЧРМР, равной 0,05.

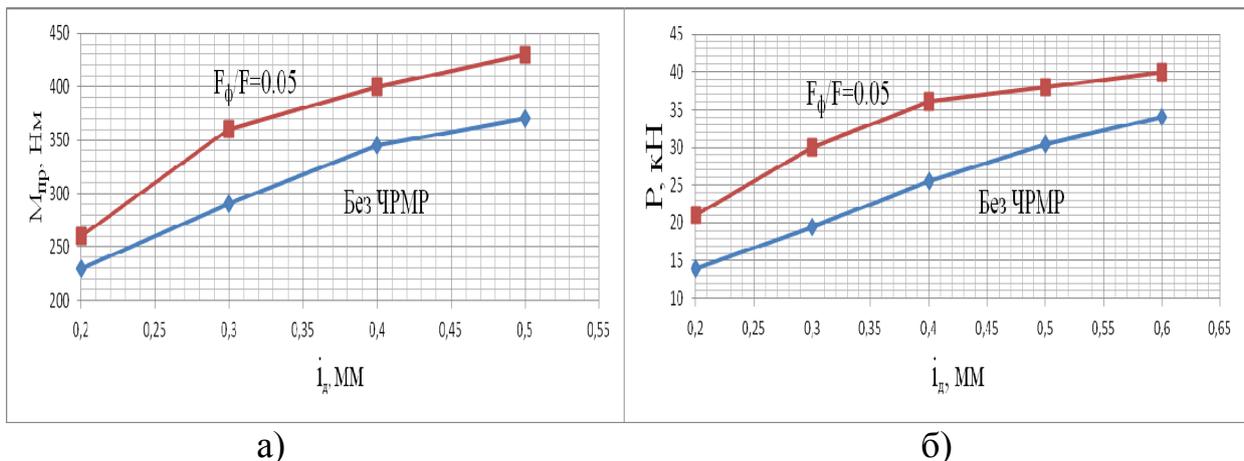


Рисунок 10 – а) Зависимость момента проворота ($M_{пр}$) от натяга дорнования; б) Зависимость усилия распрессовки (P_p) от натяга дорнования; материалы: втулки – латунь ЛС59-1, корпуса – сталь 40X; ($d_0 = 20\text{ мм}$; $d_1/d_0 = 1,6$; $D_1/D_0 = 1,4$)

В пятой главе изложен алгоритм проектирования технологии получения НДС типа «корпус - втулка» с повышенной нагрузочной способностью, позволяющий определить конструктивно-геометрические параметры накатного инструмента и режимы накатывания, деформационный натяг в соединении, минимально необходимый натяг дорнования и параметры дорна.

Для регуляризации микрорельефа охватываемой детали (корпуса) неподвижного соединения используется один из методов ППД – накатывание. Данный метод нанесения ЧРМР позволяет получать поверхность с дискретными регулярными микронеровностями шахматного расположения по ГОСТ 24773. Для нанесения ЧРМР в виде конусных и пирамидальных неровностей разработаны конструкции накатников с нежесткой связью деформирующих элементов. Кроме того, были разработаны конструкции полужестких накатников для нанесения микрорельефа в отверстиях определенного размера.

Разработанный алгоритм сводится к следующему. Вводятся исходные данные для проектирования: геометрические параметры корпуса и втулки; характеристики их материалов; требуемые усилия распрессовки и момент проворота, которые необходимо обеспечить в неподвижном соединении. Производится расчет прочности неподвижного соединения без ЧРМР и сравнение фактических усилий распрессовки и момента проворота с требуемыми в соединении. При невозможности обеспечения требуемых характеристик неподвижного соединения без ЧРМР, проводится расчет параметров ЧРМР: глубина микрорельефа, размеры единичной впадины, площадь занимаемая микрорельефом. Определяются конструктивно-геометрические параметры накатного инструмента. По результатам стохастического моделирования процесса накатывания рассчитывается фактическая площадь микрорельефа и определяются параметры накатывания (подача, усилие вдавливания). Исходя из базы данных давлений в соединении, полученной моделированием НДС, проводится расчет натяга в неподвижном соединении с ЧРМР и фактически обеспечиваемых усилий распрессовки и момента проворота, которые сравниваются с требуемыми. При обеспечении параметров прочности производится расчет геометрических параметров дорна.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Установлено, что единичная неровность микрорельефа имеет в плане форму эллипса, размер полуосей которого зависит от геометрических параметров деформирующего ролика, диаметра отверстия корпуса и глубины впадины неровности. Получены аналитические зависимости влияния конструктивно-геометрических параметров накатников и режимов накатывания на параметры микрорельефа.

2. Разработана имитационно - стохастическая модель формирования ЧРМР и создан на её основе алгоритм проектирования операции накатывания.

3. На основе моделирования НДС соединения численными методами, установлены значения эквивалентных напряжений и деформаций а также давлений

в соединении, при которых происходит полное заполнение впадин нанесенного микрорельефа материалом втулки. Значения давлений служат для определения величины деформационного натяга в соединении и натяга дорнования.

4. Разработанные конструкции инструмента позволяют создавать требуемый ЧРМР в виде конусных или пирамидальных неровностей.

5. Экспериментально установлены зависимости давления и натяга в соединении, остаточных деформаций элементов соединения и параметров дорна от натяга дорнования и монтажного зазора, подтверждающие повышение прочности неподвижных соединений.

6. Предложенный алгоритм проектирования технологии получения неподвижных соединений с повышенной нагрузочной способностью позволяет на основе моделирования напряженно-деформированного состояния соединения определить минимально необходимый натяг дорнования и параметры дорна.

7. Результаты исследования прошли промышленную апробацию в ООО «Сибирские Производственные Технологии». Ожидаемый экономический эффект технологических разработок составляет 160550 рублей.

Основные результаты работы изложены в следующих публикациях:

В изданиях рекомендуемых ВАК РФ:

1. Буканова И. С. Технологическое обеспечение повышенной несущей способности неподвижных соединений типа «корпус-втулка» [Текст] / И. С. Буканова, Е. Ю. Татаркин, И. И. Ятло // Ползуновский вестник. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. – № 1/2. – С. 183-187.

2. Буканова И. С. Моделирование процесса накатывания частично-регулярного микрорельефа для определения его фактической площади [Текст] / И. С. Буканова, И. И. Ятло // Ползуновский вестник. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2012. – № 1/1. – С. 42-46.

3. Буканова И. С. Определение вероятности обеспечения фактической площади частично-регулярного микрорельефа при накатывании [Текст] / И. С. Буканова, Е. Ю. Татаркин // Обработка металлов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – № 1. – С. 34-38.

Публикации в других изданиях:

4. Пат. 2227084 Российская Федерация, МПК В23 В29/02. Расточная оправка [Текст] / А. В. Балашов, И. С. Буканова, Н. В. Дудина, Е. Ю. Татаркин, В. А. Федоров, А. А. Черепанов; заявитель и патентообладатель Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – № 2002119601/022002119601/02; заявл. 17.07.02; опубл. 20.04.04, Бюл. № 16. – 3 с.

5. Татаркин Е. Ю. Методика проектирования операции сборки неподвижных соединений типа «корпус-втулка» с повышенной прочностью [Текст] / Е. Ю. Татаркин, И. С. Буканова, И. И. Ятло // Вестник Алтайского научного центра Сибирской академии наук высшей школы. – 2009. – № 9. – С. 91-93.

6. Ятло И. И. Повышение качества неподвижных соединений типа «корпус-втулка» формируемы дорнованием [Текст] / И. И. Ятло, И. С. Буканова // Ресурсосберегающие технологии в машиностроении: сборник трудов 4-й Всероссийской юбилейной научно-практической конференции. – Бийск, 2004. – С. 26-27.

7. Гавриленко Д. С. Моделирование напряжённо-деформированного состояния неподвижных прессовых соединений типа «втулка-корпус» [Текст] / Д. С. Гавриленко, И. С. Буканова, И. И. Ятло // Наука и молодёжь: 2-я Всероссийская научно-технической конференция студентов, аспирантов и молодых учёных. – Барнаул, 2005. – С. 62-63. – Секция «Информационные технологии», подсекция «Технология машиностроения». – Режим доступа: <http://edu.secna.ru/media/f/2oamp.pdf>.

8. Холодов Д. А. Определение площади единичной впадины микрорельефа, наносимого на внутреннюю поверхность охватывающей детали неподвижного соединения типа «корпус-втулка» накатыванием [Текст] / Д. А. Холодов, И. С. Буканова, И. И. Ятло // Молодёжь – Барнаулу: материалы XI научно-практической конференции (17-20 ноября 2009 г.). – Барнаул, 2010. – Т. 1. – С. 279-281.

9. Холодов Д. А. Повышение несущей способности неподвижного соединения типа «корпус-втулка» формированием частично-регулярного микрорельефа на внутренней поверхности корпуса [Текст] / Д. А. Холодов, И. И. Ятло, И. С. Буканова // Наука и молодёжь-2010: 7-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. – Барнаул, 2010. – С. 35-38. – Секция «Машиностроение», подсекция «Общая технология машиностроения». – Режим доступа: http://edu.secna.ru/media/f/otm_pdf.

10. Холодов Д. А. Расчет фактической площади частично-регулярного микрорельефа путем моделирования процесса его накатывания [Текст] / Д. А. Холодов, И. С. Буканова, И. И. Ятло // Наука и молодёжь-2011: 8-я Всероссийская научно-техническая конференция. – Барнаул, 2011. – С. 23-26. – Секция «Машиностроение», подсекция «Общая технология машиностроения». – Режим доступа: http://edu.secna.ru/media/f/otm_pdf.

Подписано в печать 12.04.2012. Формат 60x84 1/16.

Печать – цифровая. Усл.п.л. 0,93.

Тираж 100 экз. Заказ 2012 – 231

Отпечатано в типографии АлтГТУ,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46
тел.: (8–3852) 29–09–48

Лицензия на полиграфическую деятельность

ПЛД №28–35 от 15.07.97 г.