

Тольятти 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт машиностроения
(наименование института полностью)
Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»
(наименование кафедры)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
к.т.н., доцент

_____ Н.Ю. Логинов
(подпись)
« ____ » _____ 2017 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
выполнения магистерской диссертации

Студента Телевных Александра Сергеевича
по теме «Исследование параметров, влияющих на качество образования
резьбового профиля накатыванием»

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Введение	09.01.17- 31.01.17	31.01.17	Выполнено	
Глава 1 Аналитический обзор научно- технической литературы по теме образования резьбовых поверхностей путем накатывания	01.02.17- 11.03.17	11.03.17	Выполнено	
Глава 2 Технология изготовления детали типа болт в производственных условиях	12.03.17- 14.04.17	14.04.17	Выполнено	

Глава 3 Экспериментальные исследования	15.04.17- 05.05.17	05.05.17	Выполнено	
Заключение	06.05.17- 12.05.17	12.05.17	Выполнено	
Список используемой литературы	13.05.17- 19.05.17	19.05.17	Выполнено	

Руководитель выпускной
квалификационной работы

(подпись)

Н.М. Бобровский

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

А.С. Телевных

(И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

(наименование кафедры)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой _____ Н.Ю. Логинов

«___» _____ 2017г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

направление подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение

машиностроительных производств»

направленность (профиль) «Технология автоматизированного машиностроения»

Студент Телевных Александр Сергеевич гр. ТМм-1501

1. Тема «Исследование параметров, влияющих на качество образования
резьбового профиля накатыванием» _____

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы «09» июня
2017 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе _____

4. Содержание выпускной квалификационной работы (объем 90-130 с.)

Титульный лист.

Задание. Календарный план. Аннотация. Содержание.

Введение

*1) Аналитический обзор научно-технической литературы по теме образования резьбовых
поверхностей путем накатывания*

2) Технология изготовления детали типа болт в производственных условиях

3) Экспериментальные исследования

Заключение. Список используемой литературы.

Приложения:

Оглавление

Введение.....	6
Глава 1 Аналитический обзор научно-технической литературы по теме образования резьбовых поверхностей путем накатывания	10
1.1 Резьбовые соединения в машиностроении.....	10
1.2 Производственный процесс накатывания винтовых профилей.....	13
1.3 Способы накатывания наружных резьб.....	16
1.4 Основные проблемы при накатывании резьбы, влияющие на качество изделия	32
Глава 2 Технология изготовления детали типа болт в производственных условиях.	39
2.1 Применение детали в авиастроении.....	39
2.2 Технологический процесс детали в производстве.....	43
2.3 Анализ проблем с последующим определением задач диссертационной работы.....	45
Глава 3 Экспериментальные исследования.....	50
3.1 Методика определения случайных погрешностей накатанной резьбы	50
3.2 Прогнозирование точности резьбы болтов, формируемых накаткой двумя роликами	61
3.3 Анализ влияния параметров процесса накатывания резьбы болтов роликами на точность основных размеров и формы резьбовой части болтов	69
3.4 Исследование влияния условий и режимов накатывания на физико- механические свойства резьбы	74
3.5 Анализ влияния диаметра заготовки под накатывание резьбы на получаемый профиль резьбы	76
3.6 Исследование влияния поверхностных дефектов на качество резьбы.....	81
Заключение	83
Список используемой литературы:	86
Приложение	90

Введение

Актуальностью темы диссертационной работы является то, что современные промышленные предприятия страдают из-за ухудшения качества и работоспособности машин и механизмов. Многие предприятия ищут эффективные и малозатратные методы, которые помогут не только увеличить технический уровень производства, но и увеличить качество машин и механизмов. Решение данных проблем поможет определить рентабельность их эксплуатации, а также оптимизировать материальные и трудовые ресурсы для выпуска новых изделий. В современных условиях надежность изделия определяют качеством резьбовых соединений. Они составляют около 15-20% от общего количества разных соединений в современных машинах и имеют большое применение в изделиях машиностроительной отрасли. В некоторых областях промышленности доля резьбовых соединений может достигать до 70% всех соединений.

Большие темпы развития машиностроения основаны на внедрении современных и прогрессивных методов обработки металлов на производстве. Это помогает повысить производительность труда в несколько раз и применить более рациональные методы по использованию материала для производства деталей. Один из путей развития прогрессивной технологии в машиностроении является замена обработки резанием на обработку металлов давлением в холодном состоянии. Так как при использовании метода нарезания нужный профиль делается путем снятия стружки режущим инструментом, а при накатывании – пластической деформацией. Главными преимуществами накатывания по сравнению с обработкой резанием есть высокая производительность, постоянство получения более точных размеров резьбы, более высокая усталостная прочность на получаемых деталях, а также метод накатывания приводит к существенной экономии металла.

В современной промышленности широкое применение находят стержневые крепежные изделия с накатанной резьбой (болты, винты,

шпильки и т.п.). Особенно важную роль данные изделия играют в авиационном строении. Так как самолет как транспортное средство должен обеспечивать безопасность полета, надежность, а также соответствовать определенным показателям летно-технических характеристик. А авиационный крепеж является составной частью конструкции самолета. Качество и эффективность являются основополагающими свойствами летательного аппарата, где материал крепежных деталей в конструкции самолетов выбирается в зависимости от назначения и условий работы узлов. В состав крепежных деталей могут входить различные материалы и сплавы, углеродистые и легированные стали, а также нержавеющие и инструментальные материалы, латунь, алюминий медь, бериллий, титан и никель. Применение процесса резания для образования резьбы, на подобных деталях, является довольно сложной и трудоемкой работой, также данный процесс не обеспечит, полученную резьбу, необходимыми физико-механическими свойствами. В связи с этим актуально будет использование метода пластической деформации (накатывание). Данный метод будет одним из эффективных для обработки шлицев и резьбы.

Разрушение резьбовых соединений приводит к аварийным и внеплановым остановкам машин, вследствие чего увеличивается время простоя оборудования и финансовые затраты. Это происходит из-за того, что многие предприятия сталкиваются с проблемами в процессе резьбонакатывания, которые связаны с низким качеством изделия, это выражается в плохом оформлении выступов резьбы и в образовании задиров и отслоений во впадинах резьбовой поверхности. Образование задиров и отслоений можно уменьшить, а то и вовсе устранить, если применить рациональные схемы и режимы деформирования. В связи с этим актуальной задачей является поиск эффективных технологий и оптимальных режимов накатывания резьбы. Вследствие этого решение вышеизложенного вопроса представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

Объектом исследования является технология изготовления наружной резьбовой поверхности накатыванием на заготовках из широко распространенной в авиастроении легированной конструкционной стали 30ХГСА, имеющей множество аналогов.

Предметом исследования станет образование наружных дефектов на поверхности резьбы в процессе изготовления с использованием метода накатки в производственных условиях.

Целью диссертационной работы является повышение качества наружного резьбового профиля посредством устранения факторов в технологии изготовления наружных резьбовых поверхностей, влияющих на образование наружных дефектов резьбы.

Методика исследований: при решении поставленных задач были использованы теоретические и экспериментальные методы исследований. Теоретические исследования включали в себя научный анализ и обобщение современной теории и практики технологии машиностроения и обработки металлов. Экспериментальные исследования заключались в проведении опытов в соответствии с разработанным планом экспериментальных исследований и в обработке полученных результатов статистическими методами, а также с использованием математической статистики в современных программных средах. Экспериментальные опыты проводились в производственной измерительной лаборатории ОАО «Авиакор» с использованием специально разработанных приспособлений, методов и средств измерения.

Достоверность научных положений и рекомендаций подтверждена достаточной сходимостью результатов теоретических и лабораторных исследований, а также опробованием их в промышленных условиях.

Апробация работы. Главные положения диссертационной работы обсуждались и докладывались на: XVIII Международной студенческой

заочной научно-практической конференции «Научное сообщество студентов XXI столетия» (г. Новосибирск, 2017 г.).

Реализация результатов работы. Результаты исследований, представленные в настоящей работе, могут быть применены на предприятиях авиа и машиностроения.

Краткое содержание диссертационной работы.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость, определены основные положения, выносимые на защите.

В первой главе проведен аналитический обзор научно-технической литературы по теме образования резбовых поверхностей путем накатывания. На основе проведенного анализа определены особенности процесса накатывания резьбы и основные проблемы.

Во второй главе изучена технология изготовления детали типа болт в производственных условиях и разобраны наиболее распространенные виды встречаемых наружных дефектов образуемых на поверхности накатываемой резьбы в процессе накатки. На основе проведенного анализа сформулирована цель и задачи диссертационного исследования.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований факторов образования наружных дефектов резьбы при образовании резьбы методом накатывания, целью которых являлось нахождение зависимостей и закономерностей влияния технологических факторов на параметры качества и точности резбовых поверхностей.

В заключение предложены практические рекомендации по технологии изготовления наружных резбовых поверхностей в производственных условиях для повышения качества накатываемого профиля.

Глава 1 Аналитический обзор научно-технической литературы по теме образования резьбовых поверхностей путем накатывания

1.1 Резьбовые соединения в машиностроении

Резьбовые соединения это один из самых известных элементов в детали машины. Преимуществом таких элементов является высокая надежность и прочность. Данное крепление отвечает за неизменность положения детали, которая составляет сборочную единицу какого либо оборудования или машины. Также резьбовое соединение отличается удобством сборки и разборки, имеет большой ряд типоразмеров различных резьбовых деталей, а также легко взаимозаменяется. Несмотря на то, что резьбовое соединение регламентировано различными нормативными документами и стандартами, ее стараются модифицировать и разработать новую и улучшенную модель крепления.

Резьбовые соединения – наиболее широко используемые соединения. В зависимости от поверхности, на которой расположена резьба, различают следующие виды:

- цилиндрические,
- конические,
- наружные,
- внутренние.

Профили резьбы в сечении плоскостью, проходящей через ее ось, бывают (рис.1.1):

- треугольные,
- упорные,
- трапецеидальные,
- прямоугольные,
- круглые.

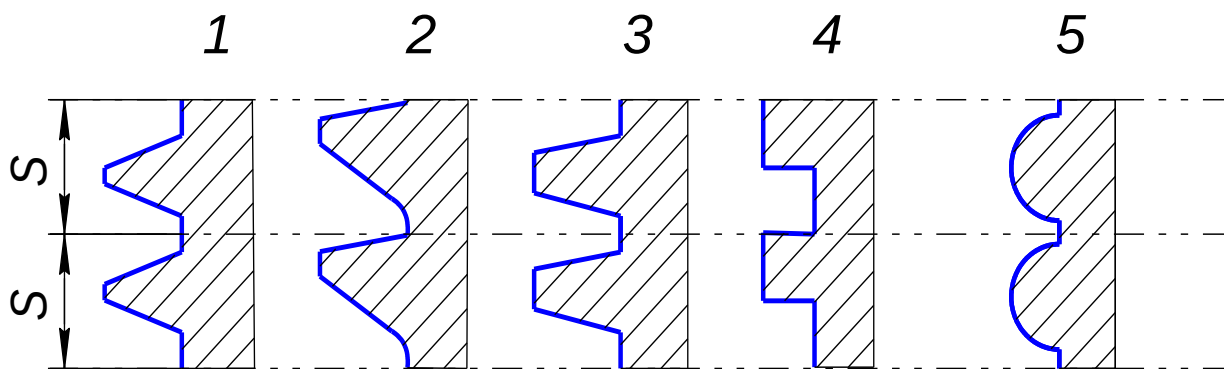


Рисунок 1.1 – Профили резьбы в сечении плоскостью

Также резьбовые соединения различаются по направлению винтовой линии на левую и правую резьбу. По числу заходов они подразделяются на однозаходовые и многозаходовые (двухзаходовые, трехзаходовые); по назначению они различаются на крепежные и ходовые.

Основные параметры резьбового соединения показаны на рисунке 1.2, где d , d_1 , d_{cp} – соответственно наружный, внутренний и средний диаметр; h – рабочая высота профиля; S и α – соответственно шаг и угол профиля.

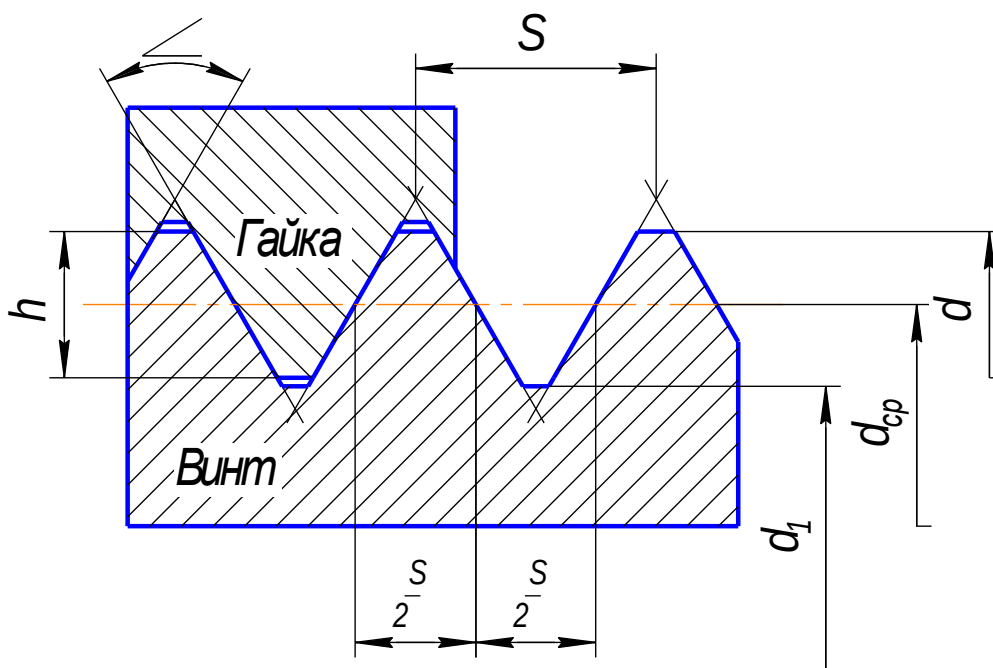


Рисунок 1.2 – Основные параметры резьбового соединения

Если рассматривать различные профили резьб с точки зрения их прочности, то следует иметь в виду, что при одном и том же внутреннем диаметре d_1 и шаге резьбы S наиболее прочной будет резьба с треугольным профилем. Менее прочная резьба упорная; еще менее прочная – трапецеидальная; относительно самой слабой должна быть прямоугольная резьба; у круглой – повышенная динамическая прочность благодаря наличию плавных закруглений.

Существует несколько способов формообразования резьбы:

- Литье под давлением, прессование, штамповка (в зависимости от материала: металл, пластмасса, стекло)
- Накатывание, выдавливание (путем выдавливания винтовых выступов)
- Электроэрозионный
- Обработка резанием

Наиболее часто используемые методы резьбоформирования – накатка и обработка резанием [6].

Накатка резьбы – обработка детали без снятия стружки с усилием, превышающим предел текучести, что делает процесс необратимым. Резьба накаткой имеет ряд технических преимуществ, таких как:

- Точность профиля резьбы
- Прочность резьбы
- Высокое качество боковой поверхности
- Высокая скорость и производительность

Кроме того резьба накаткой имеет и недостатки:

- Высокие требования к пластичности материала
- Высокая стоимость инструментов и расходных материалов (накатных роликов)

Поэтому накатка резьбы применяется только в случаях больших объемах серийного производства.

Обработка резанием – холодная обработка детали профильным резцом, гребенкой или фрезой со снятием стружки с обрабатываемой заготовки.

1.2 Производственный процесс накатывания винтовых профилей

Рассмотрим процесс накатывания резьбы роликами. Данный процесс основан на принципах радиальной подачи. На рисунке 1.3 описан сам процесс накатывания резьбы: подвижный ролик (2) подается в сторону заготовки (3) и неподвижному ролику (1). Для образования резьбы задействованы оба ролика в одинаковой мере. В связи с этим ролики перемещаются к центру заготовки на необходимое расстояние, которое равняется высоте ножки резьбы. Но должны соблюдаться следующее условие: диаметр заготовки должен равняться среднему диаметру резьбы. Сама резьба получается в том случае когда витки роликов сближаются и вдавливаются в заготовку образуя резьбу.

Ролики производят процесс вращения только в одну сторону с определенной одинаковой скоростью, и принуждают заготовку совершать вращательные движения без скольжения. Для того чтобы правильно сформировать резьбу во время процесса накатывания между заготовкой и роликами не должно быть скольжения. Установка заготовки происходит следующим методом: ее устанавливают на опорную линейку (4) при этом она упирается торцом в упор (5). На рабочей части линейки имеется пластина из твердого сплава. Это помогает увеличить ее износостойкость. Во время процесса накатки возможно выталкивание заготовки из роликов вверх. Чтобы избежать этого необходимо центр заготовки поместить выше, чем линия центра ролика примерно на 0,1 - 0,3 мм для винтов и на 0,2 - 0,9 мм для метчиков. Находиться между роликами заготовке во время процесса накатывания помогает линейка. Когда формирование резьбы закончится, то и

Technical diagram of a two-roller mill. The top part shows a plan view of two rollers (1 and 2) rotating in opposite directions (n and in). The central shaft (3) has a diameter d_{cp} . The distance between the roller centers is L . The bottom part shows a cross-section of the shaft (5) supported by bearings, with a label "Ход ролика" (roller stroke) indicating the movement of the rollers.

Во время процесса накатывания подвижный ролик и заготовку необходимо обильно охлаждать при помощи сульфохрезола или веретенным маслом.

Для того чтобы витки двух роликов попали в накатываемую резьбу их смещают на 0,5 шага [8].

14

достигнуть несколькими способами. Первый способ это когда ролики имеют одинаковый размер и процесс вращения имеет разное число оборотов. Второй способ это когда ролики с разными диаметрами создают вращение с равными числами оборотов ($n_1=n_2$) или скоростями окружности ($v_1=v_2$).

В любом из перечисленных способов направление вращения роликов должно быть одинаково. Рассмотрим рисунок 1.4, на нем изображен второй способ накатывания резьбы. Он происходит путем подачи заготовок (3) в свободное пространство между роликами. Подача осуществляется либо автоматически, либо вручную. Затем ролик с большим диаметром (1) и с большей окружной скоростью затягивает заготовку в свободное пространство между роликами (1 и 2). После того как заготовка закрепилась между роликами происходит процесс вращения и одновременное перемещение заготовки со скоростью которая равняется разности половины окружных скоростей роликов. Также необходимо обратить внимание на то, чтобы было правильно выбрана пропорция между средним диаметром большого ролика D_{cp1} и ведомого (меньшего) D_{cp2} и между средними диаметрами ведущего ролика D_{cp1} и резьбы заготовки d_{cp} .

Согласно данным, полученным опытным путем, заготовка подается самостоятельно вниз, если соблюдается условие: $D_{cp1}/D_{cp2} = 1,10 : 1,25$. Это означает что малый ролик (ведомый) должен производить меньшее число заходов, чем ведущий.

$$D_{cp1} = d_{cpi}, \quad (1.1)$$

где i – количество заходов выбираемое от условия равенства углов подъема резьбы ролика и заготовки. Во время выбора количества заходов необходимо принять во внимание условие захватывания заготовки роликами. Данное условие зависит от коэффициента трения и количества оборотов заготовки, которые необходимы для полного накатывания резьбы.

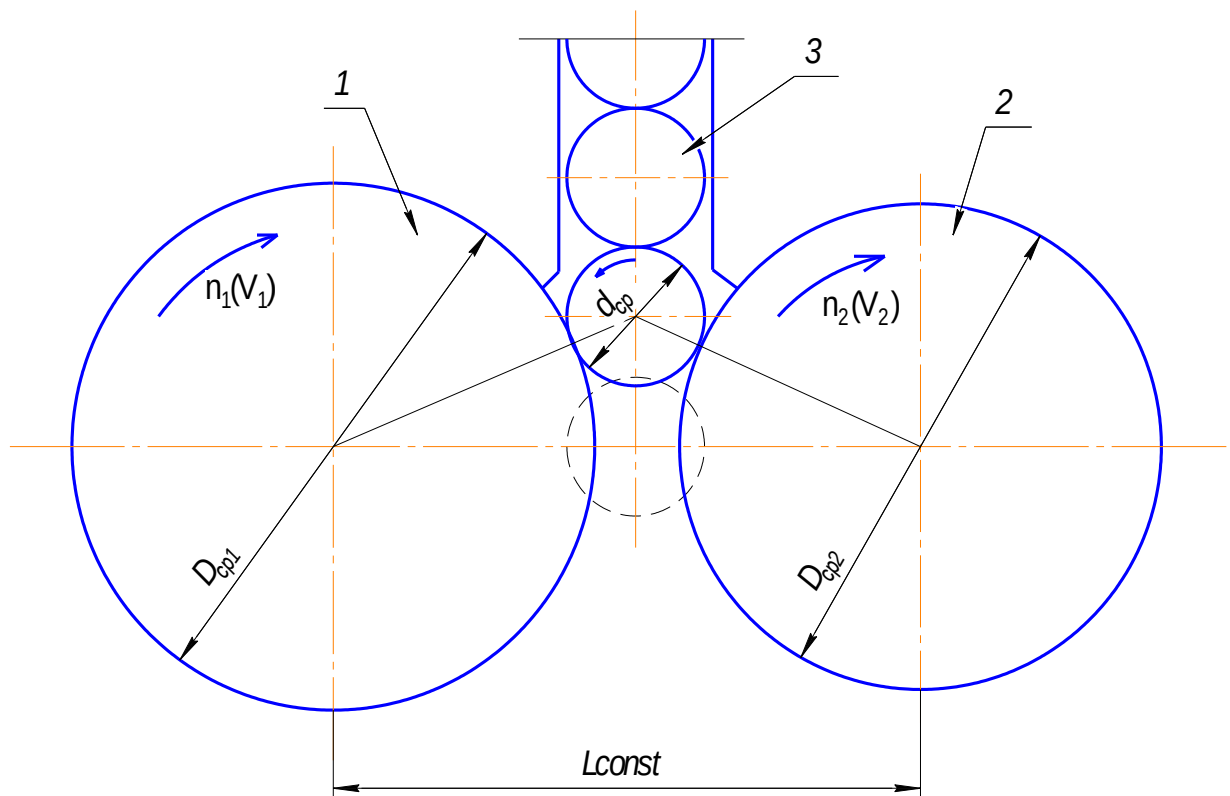


Рисунок 1.4 – Процесс накатывания резьбы роликами с различными диаметрами

1.3 Способы накатывания наружных резьб

В современной промышленности для того чтобы изготовить стержневые изделия с резьбой можно использовать различные способы накатывания. Первый способ это накатывание плоским инструментом (плашками), второй способ это накатывание приводным цилиндрическим инструментом и последний способ это накатывание бесприводным инструментом цилиндрической формы с имеющимися на нем вращающимися резьбонакатными головками.

Накатывание плоскими плашками отличается от накатывания приводным цилиндрическим инструментом наличием только тангенциальной подачи инструмента на заготовку. Накатывание же приводным цилиндрическим инструментом производится с различными направлениями

подачи, а именно: тангенциальной, радиальной, продольной (осевой) или комбинированной (радиально-осевой).

Метод накатывания плоскими плашками можно разделить на несколько разновидностей:

- накатывание подвижной и неподвижной плашкой;
- накатывание подвижной и двумя неподвижными плашками;
- накатывание неподвижной плашкой и подвижной с несколькими заборными частями;
- накатывание плашкой которая имеет специальные вставки [10].

Существуют несколько способов накатывания наружной резьбы с помощью плоских плашек с тангенциальной подачей. Рассмотрим их краткую схему и рекомендуемую область применения.

Первый не малоизвестный и часто применяемый способ это накатывание при помощи двух плашек, одна из которых подвижная, а вторая неподвижная (рисунок 1.5). Чтобы применить данный метод необходимо поместить заготовку между подвижной и неподвижной плашкой. Боковые стороны плашек состоят из прямолинейных поверхностей. Данные поверхности сделаны под углом подъема резьбы и соответствуют поперечным сечениям профиля резьбы. Подвижная плашка движется прямолинейно, совершая возвратно-поступательные движения. Вращение заготовки вокруг своей оси происходит за счет тангенциального усилия.

Для того чтобы, нанесенный на плашку, негативный профиль резьбы передался на обрабатываемую заготовку необходимо применить радиальное усилие, которое должно быть направленно перпендикулярно оси заготовки.

Достаточная длина калибрующих частей плашки, а также возможность применения с максимальной точностью ползуна с направляющими позволяет получать резьбы 1-го класса точности. Это является основным преимуществом применения данного способа.

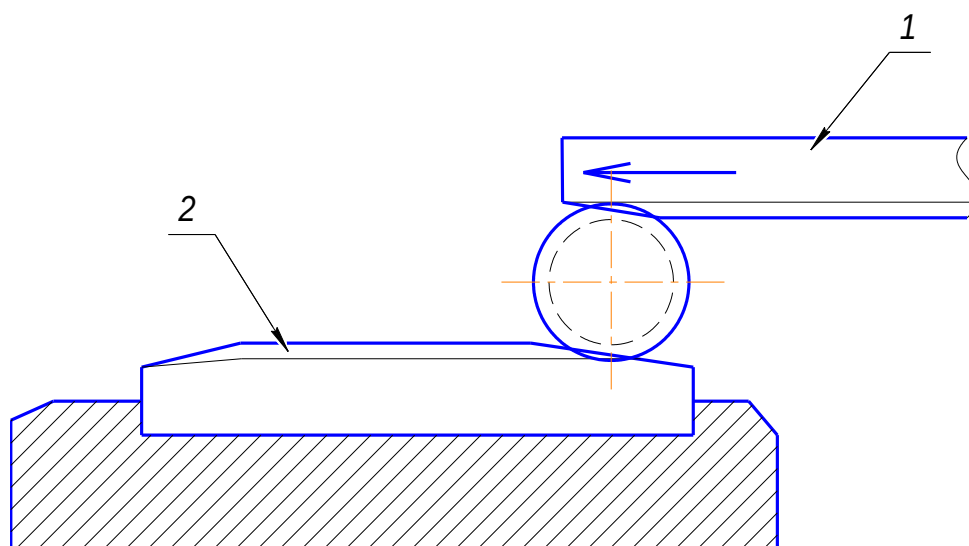


Рисунок 1.5 – Накатывание двумя плашками: 1 – подвижная плашка, 2 – неподвижная плашка

Данный метод применяют для того, чтобы изготовить такие детали как: болт, винт, шпилька, шуруп и другие цилиндрические изделия с резьбой или рифлениями треугольного или трапецеидального профиля [3].

Второй известный способ накатывания – это накатывание тремя плашками. Одна из плашек является неподвижной, а две других подвижные (рис. 1.6 а и 1.6 б). Данный метод помогает увеличить производительность работы в 2 раза. Для того чтобы произвести накатывание резьбы тремя плашками необходимо подать заготовку к двум неподвижным плашкам. Процесс накатывания резьбы на одной заготовке осуществляется во время прямого хода подвижной плашки, а при обратном движении на другой заготовке.

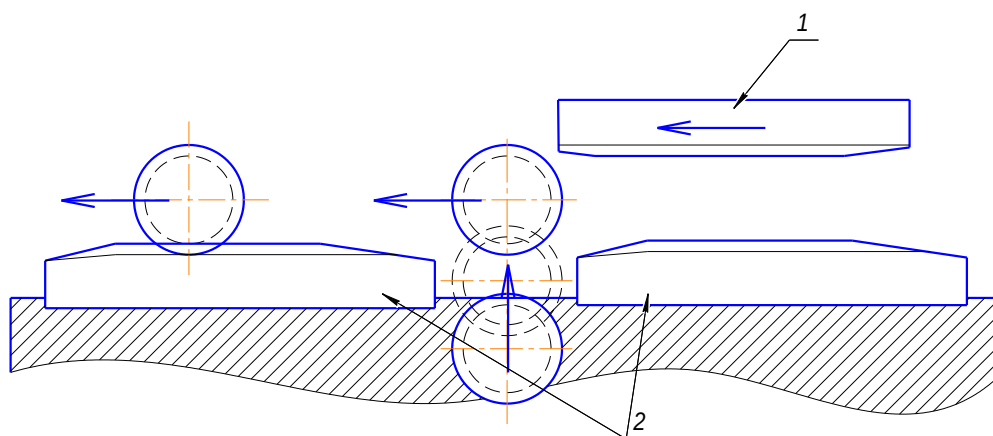


Рисунок 1.6 а – Накатывание тремя плашками. Прямой ход: 1 – подвижная плашка, 2 – неподвижные плашки

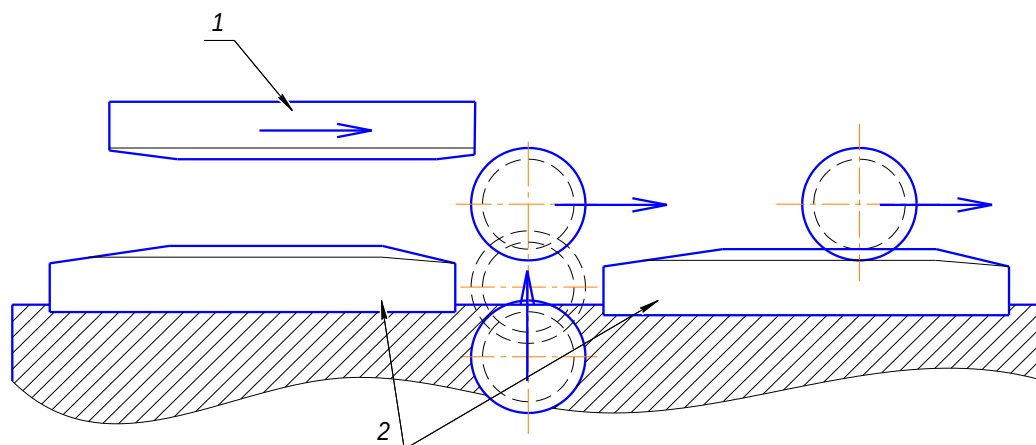


Рисунок 1.6 б – Накатывание тремя плашками. Обратный ход: 1 – подвижная плашка, 2 – неподвижные плашки

Данный метод, также как и накатывание двумя плашками, применяется для изготовления таких деталей как: болт, винт, шпилька, шуруп и другие цилиндрические изделия с резьбой или рифлениями треугольного или трапецеидального профиля.

Третий метод накатывания – это накатывание специализированными плашками, одна из которых будет неподвижна, а вторая плашка будет подвижна с несколькими заборными частями. Механизм специализированной подвижной плашки состоит из двух профилированных

заборных частей и позволяет проводить процесс накатывания за проход сразу двух заготовок (рисунок 1.7)

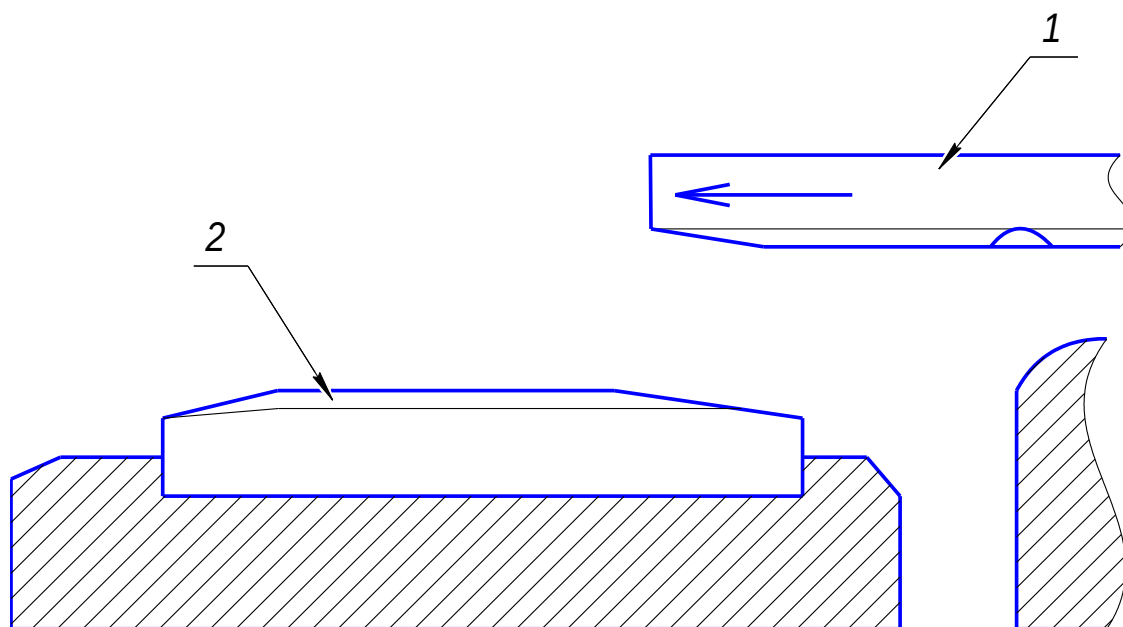


Рисунок 1.7 – Накатывание специализированными плашками: 1 – подвижная плашка с несколькими заборными частями, 2 – неподвижная плашка

Данный метод накатывания используется для изготовления только таких деталей как: болты, шурупы, винты, шпильки и иные цилиндрические изделия.

Последним методом накатывания наружных резьб плоскими плашками с тангенциальной подачей будет являться метод накатывания плашками со специализированными вставками. В данном методе длина вставок соответствует длине накатываемой резьбы большого диаметра (рисунок 1.8).

Данный метод позволяет одновременно накатывать резьбу на нескольких цилиндрических заготовках, таких как болт. Цилиндрические заготовки должны иметь различные диаметры, и различаться примерно на 0,25 – 0,6 мм.

Теперь рассмотрим несколько способов накатывания резьбы цилиндрическим инструментом. Данный процесс накатывания осуществляется за счет тангенциальной, радиальной, комбинированной или продольной подачи инструмента на обрабатываемую нами заготовку.

Тангенциальная подача заготовок выполняется различными инструментами:

- вращающимися резьбовыми роликами с резьбовыми сегментами;
- затылованными роликами;
- ролики, которые имеют различные окружные скорости вращения.

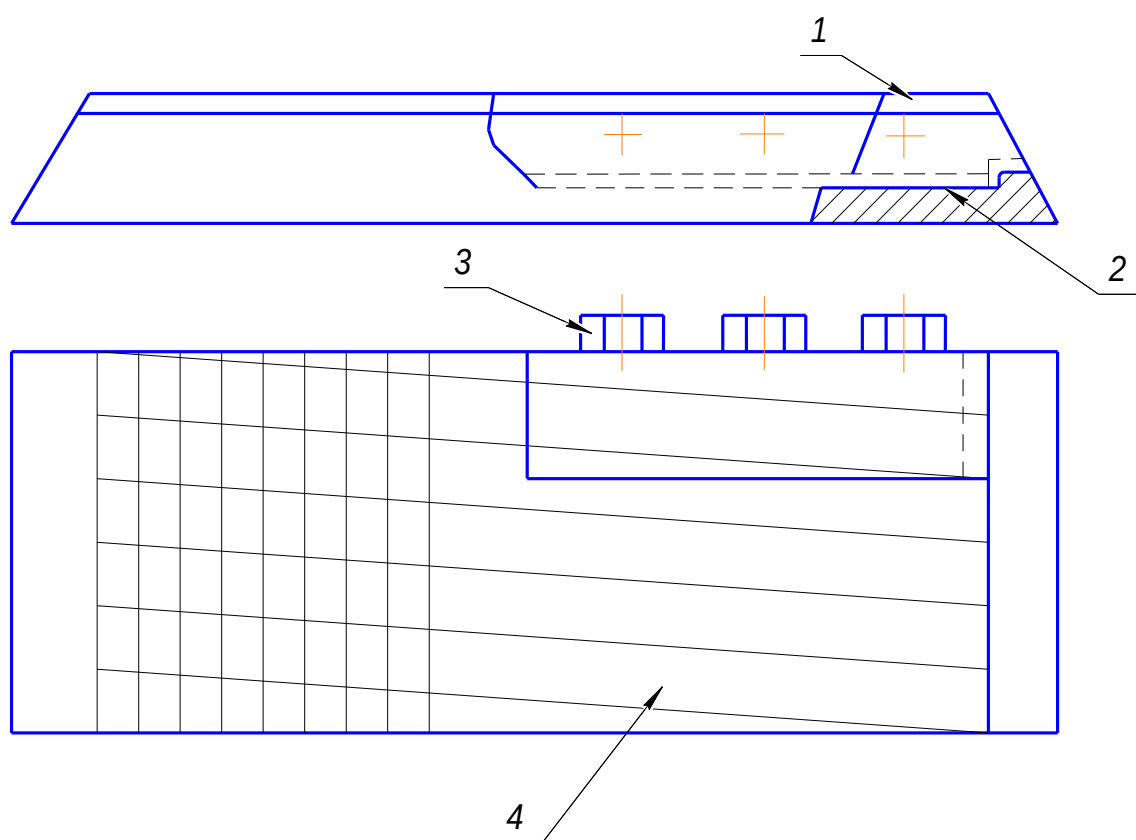


Рисунок 1.8 Плашки со специальными вставками: 1 – специальные вставки, 2 – паз, 3 – болт, 4 – плашка

Существуют две разновидности схем накатывания: накатывание приводным цилиндрическим инструментом и накатывание не приводным

цилиндрическим инструментом с тангенциальной подачей. Начнем свой обзор с накатывания приводным цилиндрическим инструментом [13].

Первым способом накатывания приводным цилиндрическим инструментом является способ накатывания с тангенциальной подачей. Он разделяется на несколько видов:

1. накатывание при помощи вращающегося резьбового ролика и резьбовых сегментов (подвижные или неподвижные ролики) – планетарный процесс накатывания (рисунок 1.9 а и 1.9 б). Данный процесс резьбонакатывания производится на планетарных станках. Особенностью данного метода является то, что должно быть соответствие между профилем накатываемой резьбы и наружной поверхности накатанного ролика, а также между внутренней поверхностью сегмента. Во время процесса накатки заготовка должна находиться между рабочей поверхностью ролика и сегментов. Нужно принять во внимание то, что при увеличении сегмента уменьшается путь накатывания и соответственно увеличивается производительность процесса, который имеет прямую зависимость от номинального диаметра резьбы при накатке и от состояния пластичности обрабатываемого материала заготовки. Широкое применение на производстве этот метод не находит вследствие высокой стоимости оборудования и инструмента, что делает его экономически нецелесообразным.

Данный вид накатывания применяется в крупносерийном и массовом производстве для изготовления таких деталей как: болт, шпильки, винты и т.д. Данные детали имеют резьбу второго и третьего класса точности.

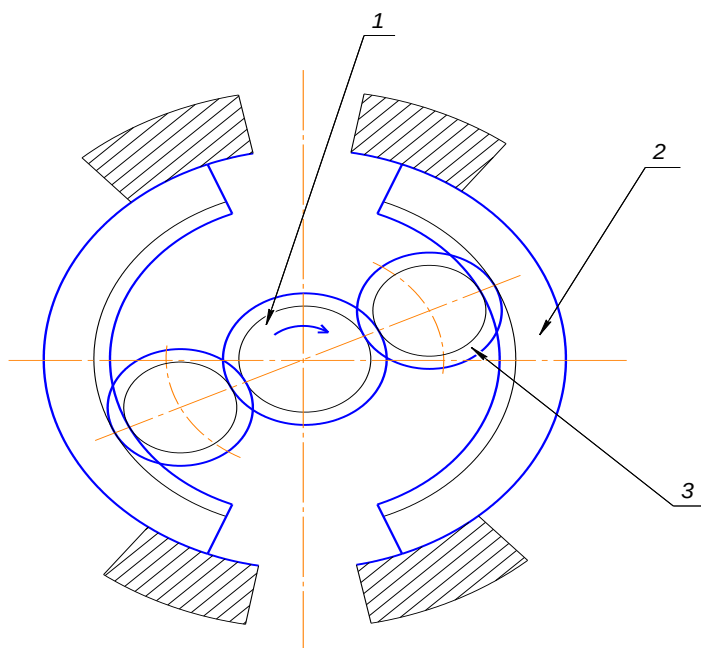


Рисунок 1.9 а – Планетарный процесс накатывания: 1 – неподвижные сегменты; 2 – вращающийся резьбовой ролик; 3 – обрабатываемые детали

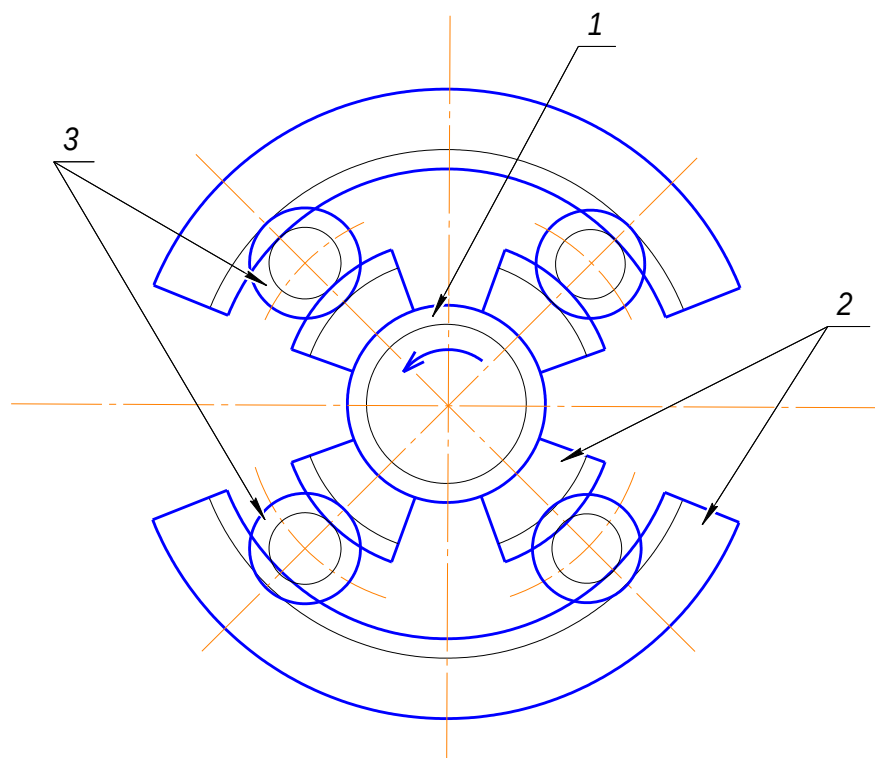


Рисунок 1.9 б – Планетарный процесс накатывания: 1 – вращающийся резьбовой ролик; 2 – подвижные сегменты; 3 – обрабатываемые детали

2. Накатывание специализированными (затылованными) роликами (рисунок 1.10). Затылованные ролики отличаются наличием на рабочей поверхности одного или обоих роликов следующих частей: выемка, заборная часть, калибрующая часть и сбрасывающая. Выемка профилирующей поверхности не имеет и служит как для введения обрабатываемой заготовки в зону накатывания так и отвода заготовки по окончании процесса накатывания резьбы. Сбрасывающая и калибрующая части обладают полным профилем резьбы. Заборная часть же, вследствие затыловки по высоте, имеет неполный профиль. Так как в сближении роликов при накатывании резьбы нет необходимости, значительно упрощается кинематическая схема резьбонакатного станка.

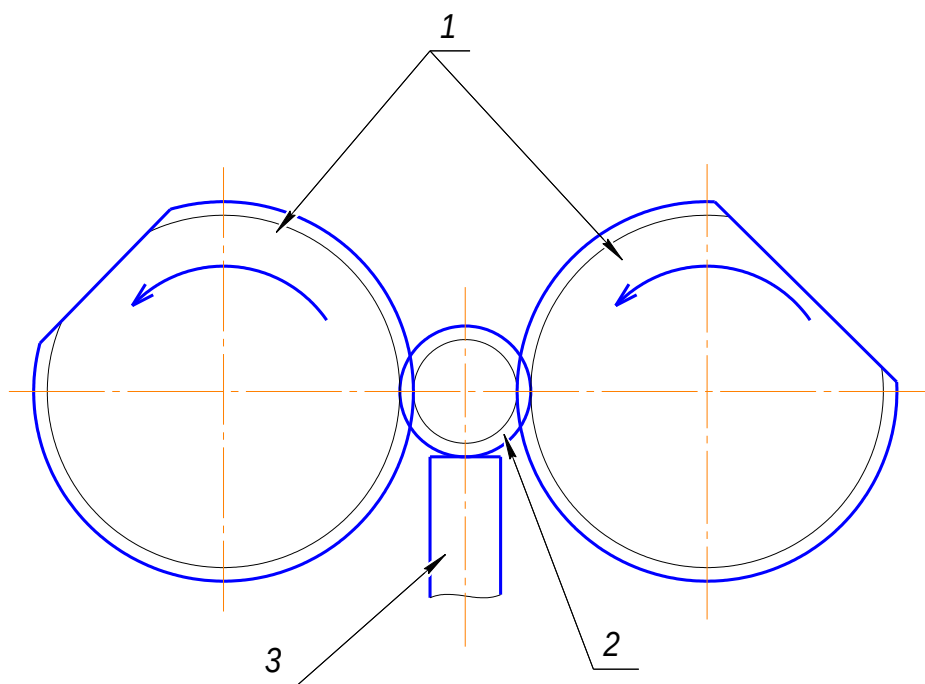


Рисунок 1.10 – Накатывание затылованными роликами: 1 – вращающиеся затылованные резьбовые ролики; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – нож

Данный способ накатывания используется для производства таких деталей как: винты, пустотелые резьбовые детали, болты, метчики, резьбовые

калибры и иные изделия с конической и цилиндрической резьбой треугольного трапецеидального и круглого профиля.

3. накатывание при помощи роликов с различным диаметром окружности, но имеющие одинаковое число оборотов (рисунок 1.11).

Данный метод используется для накатывания мелких шлицев, рифлений, зубьев, различных режущих инструментов (развертки, концевые фрезы и др.), а также используют для калибровки вращающихся тел, для полирования, правки валиков и других схожих деталей, а также для того, чтобы создать кольцевые выступы и канавки. Также накатывание роликами с различным диаметром используют для накатывания различных профилей: ромбической, прямой и угловой формы.

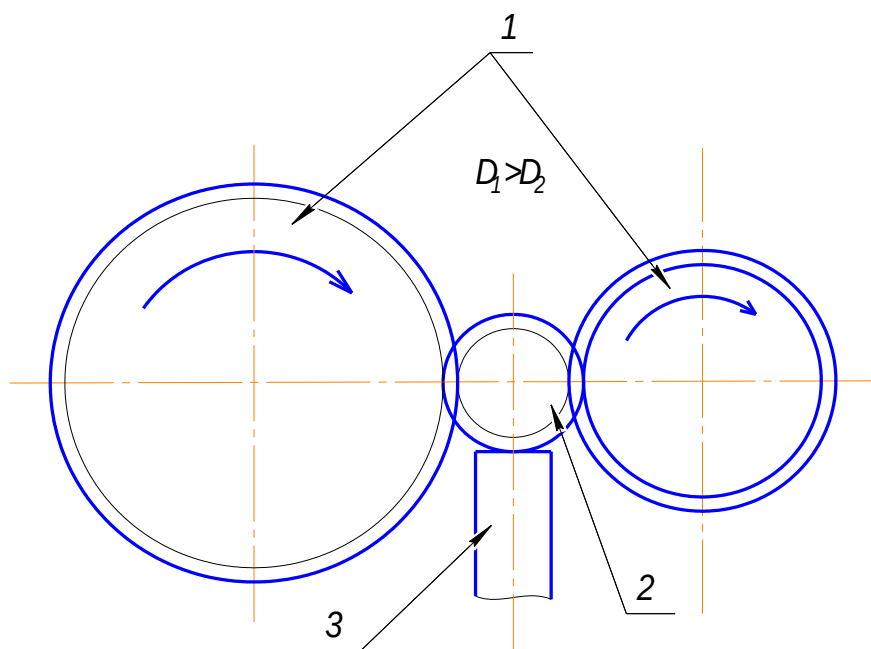


Рисунок 1.11 – Ролики с различным диаметром, но с одинаковым числом оборотов: 1 – вращающиеся резьбовые ролики различных диаметров; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – нож

4. накатывание роликами с одинаковым диаметром, но с разным количеством оборотов (рисунок 1.12). Данный метод, также как и метод накатывания при помощи роликов с различными диаметрами окружности,

используется для накатывания мелких шлицев, рифлений, зубьев, различных режущих инструментов (развертки, концевые фрезы и др.), а также используют для калибрования вращающихся тел, для полирования, правки валиков и других схожих деталей, а также для того, чтобы создать кольцевые выступы и канавки. Накатывание роликами с различными диаметрами используют для накатывания различных резьбовых профилей: ромбической, прямой и угловой формы.

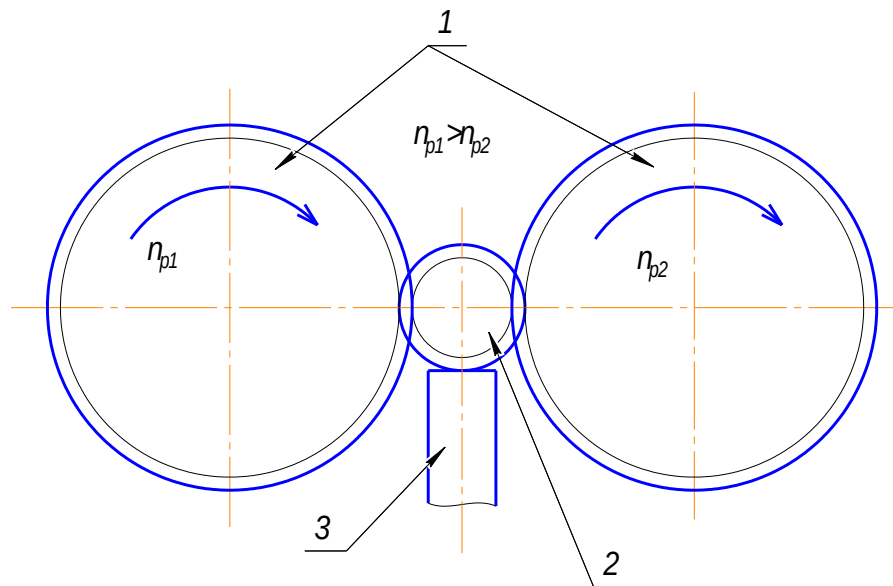


Рисунок 1.12 – Ролики с одинаковыми диаметрами, но с различным числом оборотов: 1 – вращающиеся резьбовые ролики одинакового диаметра; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – нож

Вторым способом накатывания приводным цилиндрическим инструментом является способ накатывания с радиальной подачей. Он также имеет несколько разновидностей:

1. накатывание при помощи одного ролика с винтовой нарезкой (рисунок 1.13). Данный метод используют в накатывании головки болта, для резьбонакатывания участка позади буртика, а также для других деталей с относительно не длинным стержнем, которые в основном состоят из металлов цветных сплавов.

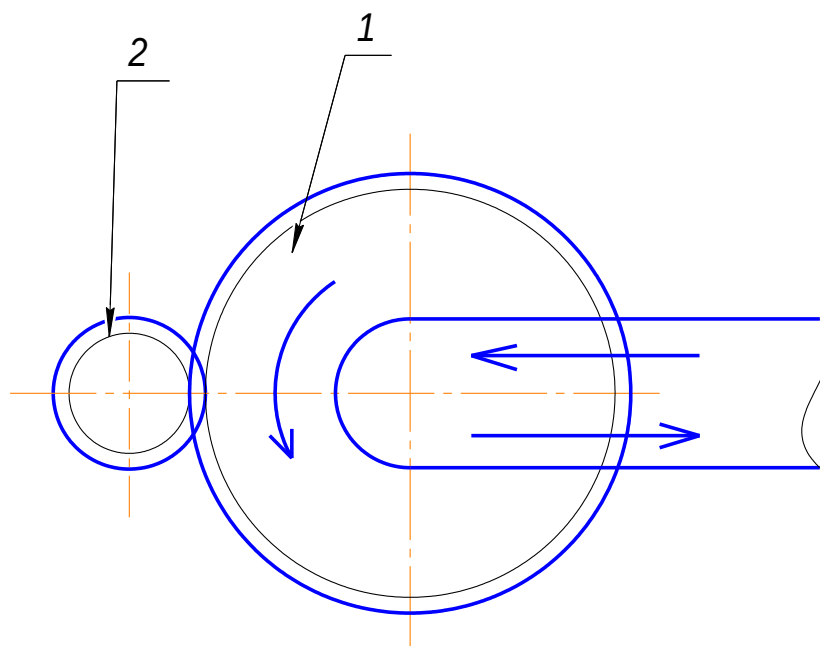


Рисунок 1.13 – Накатывание с радиальной подачей одним роликом с винтовой нарезкой: 1 – вращающийся ролик; 2 – обрабатываемая деталь

2. накатывание двумя многозаходными роликами с винтовой нарезкой (рисунок 1.14).

Данный метод используется для накатывания резьбы на следующие детали: болты, винты, шпильки и иные детали. Также данный способ используют для создания метчиков, микрометрических и ходовых винтов, а также для резьбовых калибров.

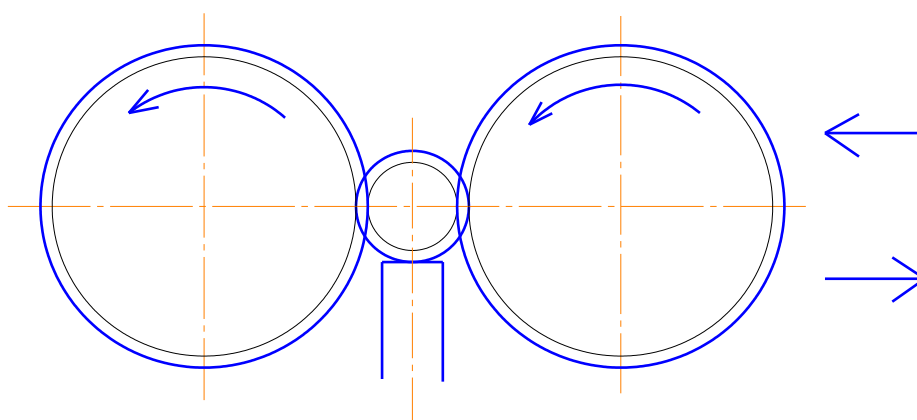


Рисунок 1.14 – Накатывание с радиальной подачей многозаходными роликами с винтовой нарезкой

3. накатывание при помощи трех роликов с винтовой нарезкой (рисунок 1.15).

Способ накатывания с тремя роликами используют для того, чтобы накатывать резьбу не только на специальных резьбонакатных станках.

Третий способ накатывания – это накатывание при помощи продольной (осевой) подачи одним, двумя или тремя роликами с кольцевой нарезкой. Данный способ имеет аналогичные схемы как при работе с радиальной подачей (рисунки 1.13, 1.14, 1.15).

Во время обработки заготовки способом осевой подачи инструмента перемещение происходит при помощи вращения роликов за счет ввинчивания или вывинчивания самой заготовки. Процесс накатывания происходит двумя или тремя роликами с кольцевой нарезкой. Процесс накатывания происходит путем движения заготовки вдоль собственной оси, однако неизменным остается расстояние между осями роликов.

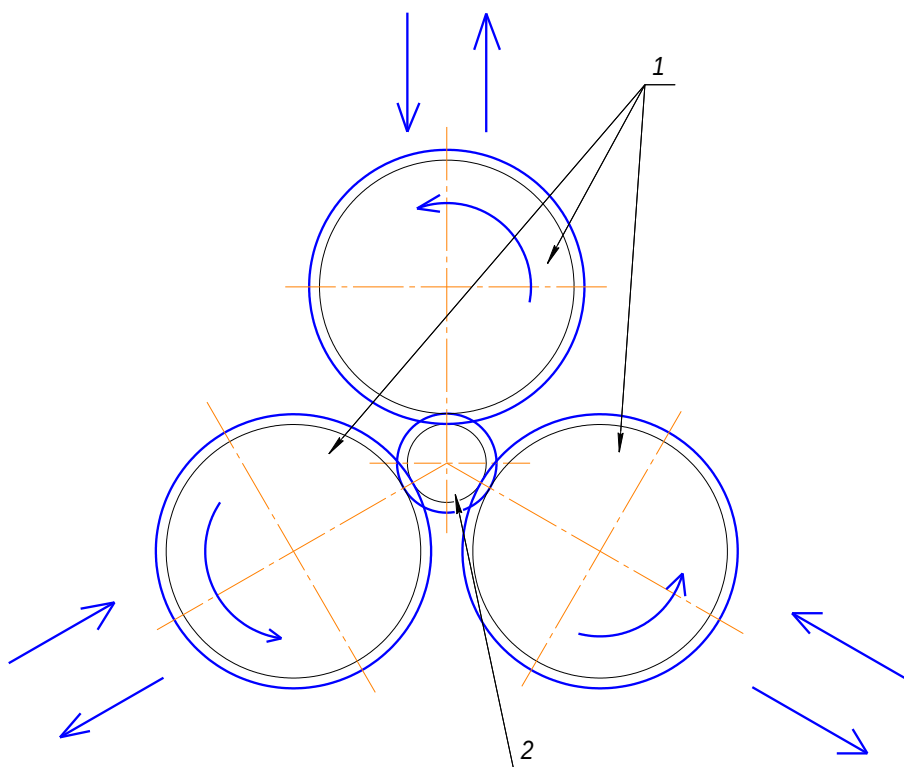


Рисунок 1.15 –Накатывание с радиальной подачей при помощи трех роликов с винтовой нарезкой: 1 – вращающиеся ролики с винтовой нарезкой; 2 – обрабатываемая деталь

Преимуществом данного способа накатывания является то, что накатывать резьбу на заготовку можно любой длины, данный процесс не зависит от ширины роликов.

Четвертый и последний способ разновидности накатывания приводным цилиндрическим инструментом является радиально-осевой способ. Данный способ характеризуется нулевым углом подъема нарезки ролика. Применяется конструкция роликов с кольцевой нарезкой. Данная конструкция выглядит следующим образом: оси роликов имеют наклон в сторону оси накатываемой детали под углом подъема резьбы $\alpha_u = \gamma$ (рисунок 1.16). Данный способ используется только для изготовления длинных видов резьбы.

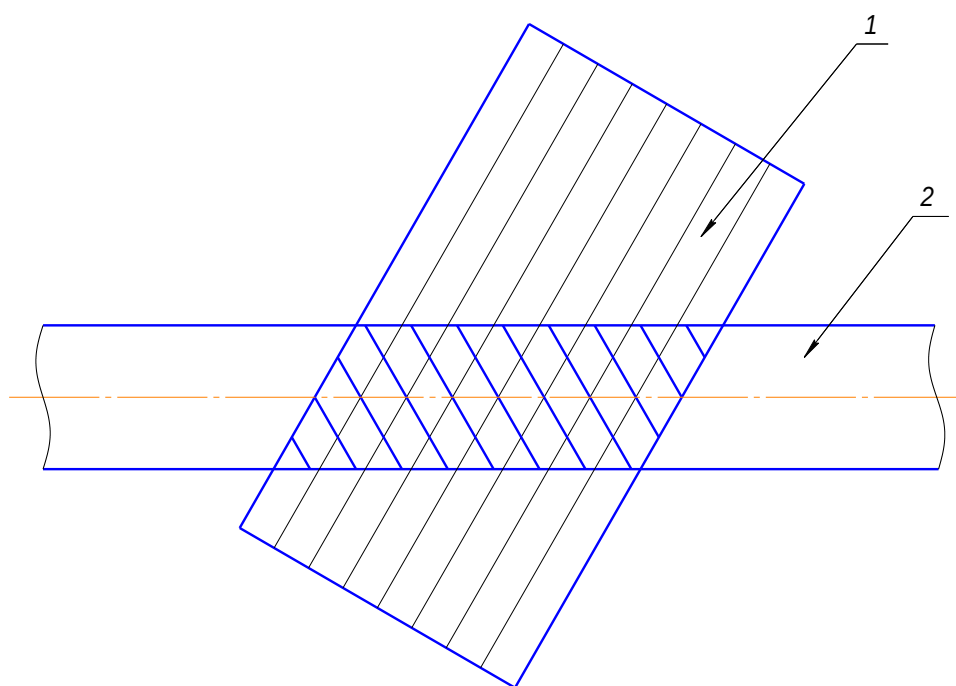


Рисунок 1.16 – Радиально-осевой способ накатывания: 1 – ролик с кольцевой нарезкой; 2 – обрабатываемая деталь

Второй разновидностью схем накатывания является накатывание не приводным цилиндрическим инструментом с тангенциальной подачей при помощи вращающихся резьбонакатных головок (рисунок 1.17).

Данный метод используется для создания протяженных цилиндрических резьб трапецеидальных и треугольных форм профилей на неподвижно установленной детали. Также этот метод применяется для создания таких деталей которые по своей конфигурации не имеют возможность обрабатываться на резьбонакатных станках (например тройники). При использовании данного метода точность резьбы в массовом производстве будет соответствовать второму классу.

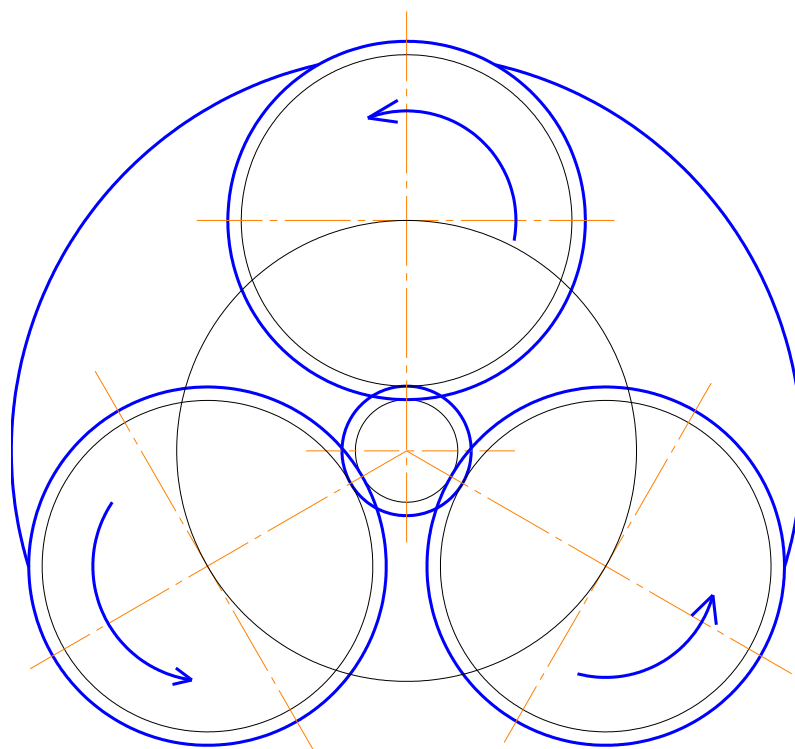


Рисунок 1.17 – Накатывание вращающимися резьбонакатными головками

В современном мире стоит вопрос о технологическом обеспечении и повышении качества резьбовых соединений. Много лабораторных исследований и трудов было опубликовано на данную тему. Данные труды подразделяются на следующие классификации:

— технологические методы изготовления и сборки резьбовых соединений,

— повышение качества резьбовых соединений.

Существует много авторов, которые посвятили свои работы непосредственно этим научным направлениям.

Многие авторы посвятили свои исследования вопросам, касающимся технологии изготовления резьбы. Данными авторами являются Кузнецова В.П., Древаля А.Е., Матвеева В.В., Ланщикова В., Никифорова А.Д., Меньшакова В.М., Петрикова В.Г., Стешкова А.Е., Сгаврова В.А., Фрумина Ю.Л., Ямникова А.С., Якухина В.Г.

В то время, как авторы Березина С.Я., Вороненко В.П., Гельфанда М.Л., Гусева А.А., Замятина В.А., Иосилевича Г.Б., Корсакова В.С, Новикова М.П., и многие другие направили свой интерес на исследование сборки резьбовых соединений.

Так же были рассмотрены вопросы обеспечения и повышения качества резьбовых соединений авторами И.А. Биргера, Д. В. Бушенина, Н.Е. Жуковского, Г.Б. Иосилевича, Р.Р. Мавлютова, З.Х. Мустаева, Д.Н. Решетова, А.И. Якушева. Работы данных авторов изучают конструкторское обеспечение качества резьбовых соединений.

Разобрав основные способы накатывания резьбы, мы выяснили, что популярным и часто применяемым способом в машиностроении является накатывание цилиндрическими роликами с винтовой нарезкой. Рассмотрим данный процесс более подробно. Теория накатывания резьбы берет свое начало примерно с конца 40-х – начала 50-х годов 20 века. Исследованию данной теории посвятили свое время немецкие ученые В. Нясер, Х. Апель, Г. Монтаг, и Д. Кениг, австралийский ученый Т. Форрес, японские ученые И. Есимото, А. Ямамото, а также американский ученый Д. Даллас.

В 40-х – 70-х годах российские ученые А.П. Губин, В.Г. Дейнеко, В.И. Загурский, Ю.Л. Фрумин, изучали формирование наружной резьбы. Также за

последние десять лет большой вклад в изучении теории и практики накатывания резьбы внесли такие авторы, как А. З. Журавлев, В. Г. Якухин и другие.

Работы Э.П. Лугового, Ю.А. Миропольского и М.И. Писаревского занимают особенное место в теории накатывания наружной резьбы. Труды этих ученых посвящены анализу всех известных способов формирования наружной и внутренней резьбы. Также они описали конструктивные особенности накатанного оборудования, разработали методику расчетов процесса накатывания, а также различные требования к инструменту.

Авторы Э.П. Луговой и Ю.А. Миропольский проанализировали показатели качества и технический уровень накатанного оборудования. Но, к сожалению, область получения изделия с накатанной резьбой высокого качества изучена не до конца.

1.4 Основные проблемы при накатывании резьбы, влияющие на качество изделия

Прогнозирование и классификация возникающих дефектов при накатывании резьбы — один из основных элементов современной технологии производства крепежных изделий, позволяющих обеспечить необходимое качество.

Во время процесса накатывания цилиндрическая заготовка, которая имеет равный наружный диаметр со средним диаметром резьбы, совершает вращательные движения между рабочими поверхностями инструмента, имеющими заданный профиль. Резьбовые гребни накатного инструмента плавно вводятся в поверхностный слой заготовки, образуя при этом впадины, а выдавленный металл смещается в радиальном направлении, образуя на заготовке гребни резьбы.

Для получения резьбового профиля на крепежных деталях применяется разнообразный резьбообразующий инструмент: резьбонакатные плоские

плашки, ролик-ролик и ролик-сегмент. Конструкции резьбообразующего инструмента также разнообразны и зависят от типа, а также производителя инструмента.

В плоских плашках используется, как правило, три рабочие зоны: заборная зона, обеспечивающая захват заготовки и предварительное профилирование; калибрующая зона, обеспечивающая получение окончательных геометрических размеров резьбы; зона сброса, позволяющая без залипания освободить заготовку из резьбообразующего инструмента.

В резьбонакатных роликах и роликах-сегментах может отсутствовать строгое разделение на рабочие зоны.

Накатывание резьбы сопровождается формоизменением поверхностного слоя заготовки, в результате чего на первом этапе получается овальное сечение; на втором этапе формирования резьбы, происходящей в калибрующей части инструмента, она приобретает форму окружности.

При использовании в качестве инструмента ролика-ролика или ролика-сегмента овальность устраняют на конечном участке резьбообразующей поверхности.

Дефекты, которые присутствуют на практике во время накатывания резьбы, связаны с механическим воздействием в данном процессе. Во время процесса накатывания могут появиться следующие дефекты:

- выкрашивание металла;
- шелушение металла;
- отслаивание металла;
- вырывание поверхностного слоя металла;
- растрескивание металла;
- образование поверхностных дефектов (закаты, складки, наслоения, заусенцы и т.п.), которые могут влиять на статистическую и циклическую прочность соединения резьбы.

Одна из главных причин образования дефектов во время механического процесса накатки, является условия формирования профилей резьбы. Профиль резьбы создается, при помощи многократного и последовательного копирования профиля инструмента (подвижной и неподвижной плашек, роликов, ролика и сегмента).

Выдавливание профиля осуществляется в связи с перераспределением элементарных объемов металла исследуемой заготовки, которые вытесняются рабочими витками резьбообразующего инструмента. При этом поверхность выдавливаемой резьбы соприкасается с рабочей поверхностью одной, а через каждые пол оборота другой частью инструмента.

Можно предположить, что в процессе выдавливания профиля возможно появление симметричной и ассиметричной деформации. Появление данных деформаций зависит от путей прохождения рабочих витков инструмента по поверхности накатываемой резьбы. Они либо совпадают, либо не совпадают.

Во время симметричной деформации возможно образование дефектов в вершине полного профиля резьбы. Так же дефекты могут появляться в различных местах профиля резьбы. Это зависит от того, на какую величину вершина профиля инструмента будет смещаться в каждом цикле деформации тела заготовки.

На практике нарушение симметрии деформации металла, во время накатывания резьбы, происходит в следующих ситуациях:

- из-за неточной наладки резьбообразующего инструмента, то есть установки инструмента с неправильным смещением по шагу резьбы;
- из-за низкого качества изготовления резьбообразующего инструмента, как по шагу резьбы, так и по форме профиля и углу наклона витков;
- в результате накатывания с полным заполнением профиля витков резьбообразующего инструмента;

— при недостаточной точности и жесткости конструкции резбонакатного станка.

Неточная наладка станка, особенно установка резбообразующего инструмента по торцевому биению и шагу резьбы нарушает симметричность деформации металла, так как пути прохождения витков инструмента не совпадают. Данные действия приводят к созданию больших дефектов, таких как: закаты, складки, наслоения и т.д.

Практика показала, что резбообразующий инструмент, который имеет погрешность угла подъема рабочих витков или по шагу, независимо от степени заполнения контура инструмента, формирует поверхностные дефекты в виде различных складок.

Это объясняется тем, что во время каждого цикла создания профиля резьбы вершина витка одного резбообразующего инструмента из пары смещается относительно другого.

Прерывание волокон и появление поверхностных дефектов (например, наслоений) в основании витков происходит из-за течения поверхностных слоев металла в заполненном контуре осевого направления во время накатывания резьбы. Данные дефекты также появляются, если устранить любые другие причины, которые сопутствуют ассиметричному деформированию металла в процессе формирования профиля резьбы.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что на образование поверхностных дефектов влияет расхождение путей рабочих витков инструмента по поверхности заготовки, которое нарушает симметрию деформации металла накатыванием в заполненном контуре рабочих витков инструмента, приводящее к осевому смещению слоев металла на поверхности [16].

Пережатка и складки на боковых поверхностях профиля резьбы и по внутреннему диаметру резьбы возникают в большинстве случаев потому, что

настройка резбонакатного инструмента не обеспечивает одинаковой врезки частей инструмента в поверхность заготовки.

Этот дефект возникает как при использовании плоских плашек, так и при формировании резьбы с использованием роликов и роликов-сегментов.

Вследствие этого предварительно накатанный одной частью инструмента профиль резьбы подвергается боковому смещению другой частью инструмента.

В процессе накатки резьбы подобный дефект может постоянно повторяться, так как возникающая на боковых сторонах профиля резьбы перекатка распространяется спиралеобразно вплоть до радиуса основы.

Возникновение подобного дефекта связано со следующими причинами:

- неточная настройка резьбообразующего инструмента;
- различные углы наклона резьбы на применяемом резьбообразующем инструменте;
- большой люфт в суппортах крепления резьбообразующего инструмента;
- несоответствие диаметров работающих в паре резьбообразующих роликов.

Перекатка, иначе говоря, образование складок на боковых сторонах и на основе профиля резьбы, снижает ее усталостную прочность. Вследствие этого дефекты подобного рода, возникающие на резьбовых соединениях, не могут быть пронормированы только полем допусков.

Одним из наиболее важных условий обеспечения качества при накатывании резьбы является правильный выбор режимов накатывания: усилия, скорости и величины подачи. Эти параметры в большей степени зависят от размеров накатываемой резьбы и механических свойств накатываемого материала.

Качество накатываемой резьбы и ее точность зависит от окружной скорости, от времени накатывания, а также от радиальной скорости подачи инструмента.

При увеличенной скорости и величине подачи наблюдается шелушение, и даже отслоение резьбы от тела детали при механических испытаниях.

Такие дефекты образуются во время внешнего воздействия и не связаны с механическим процессом пластической деформации во время накатывания резьбы, поэтому причины их образования можно выделить в отдельную группу.

Данные повреждения появляются во время разрушения витков резьбового инструмента. Малые выкрашивания существенно увеличивают шероховатость поверхности впадин накатанной резьбы, крупные образуют критические поверхностные дефекты.

Также возможны и мелкие механические повреждения. Они появляются за счет попадания различных твердых частиц в область контакта резьбообразующего инструмента и заготовки. Такими частицами может служить какая-либо мелкая стружка абразивы или что-то иное. Данные материалы могут находиться в смазочно-охлаждающей жидкости или непосредственно на поверхности обрабатываемой заготовки или инструмента.

Царапины, забоины и другие дефекты, как правило, образуются в результате соударения деталей при падении с большой скоростью в технологическую тару.

Следует обратить внимание и на поверхностные дефекты, присутствующие на заготовке, их вид будет немного изменен из-за деформации металла во время процесса накатывания, но они неизбежно остаются на резьбе готового изделия.

При значительных дефектах на поверхности заготовки, таких как штамповочные трещины, волосовины, закаты и др., качественное изготовление резьбы может быть невозможным.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что основными факторами, оказывающими влияние на качество изделия при накатывании резьбы, являются:

1. Качество используемого материала;
2. Качество заготовки для накатывания резьбы;
3. Качество изготовления применяемого резьбообразующего инструмента;
4. Качество настройки резьбонакатного автомата и качество наладки резьбообразующего инструмента (квалификация работников);
5. Выбор оптимальных режимов накатывания резьбы, зависящих от параметров применяемого материала и качества изготовления заготовки;
6. Техническое состояние оборудования.

Глава 2 Технология изготовления детали типа болт в производственных условиях.

2.1 Применение детали в авиастроении

В данной работе главное внимание уделено совершенствованию процесса накатки высокопрочных болтов, играющих особенно важную роль в авиационном строении, как ответственная высоконагруженная деталь. Применение высокопрочные болты находят в металлических конструкциях для соединения и крепления высоконагруженных ответственных резьбовых соединений, применяемых в авиастроении и эксплуатируемые в макроклиматических районах с умеренным и холодным.

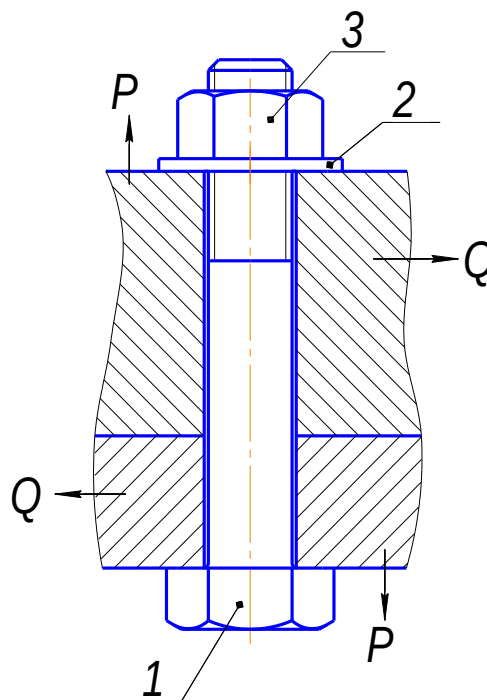


Рисунок 2.1 – Соединение болтовое: 1 - болт; 2 - шайба; 3 - гайка.

Разъемные соединения являются распространённым типом резьбового соединения, с помощью болта и гайки. Как правило, детали соединяются болтом в отверстии сопрягаемых деталей с зазором, с последующей затяжкой гайкой, создавая усилия сжатия, препятствуя расхождению стыка под

действием сил относительного поперечного сдвига (Q) и осевых сил (P), за счет возникающего между деталями сил трения (Рисунок 2.1). Длина болта определяет толщину пакета соединения.

Для исследования возьмем за пример высокопрочный болт М20-90 кд ОСТ1-31103-80 (рис.2) с шестигранной головкой и увеличенным размером под ключ для металлических конструкций. Который имеет основной вариант исполнения и представляет собой деталь, состоящую из шестигранной головки с размером «под ключ» 30 мм с допуском по $h12$ и стержня с неполной метрической резьбой длиной 90 мм ($\pm 0,5$ мм) до головы. Под «головой» радиус $R1,5$. Стержень имеет со стороны конца часть с правой резьбой номинальным диаметром М20 длиной 28 мм, шагом 1,5 мм и полем допуска без кадмиевого покрытие, а другая, гладкая, часть выполнена с диаметром, равным номинальному диаметру резьбы с допуском $-0,75$ и длиной 62 мм. Кадмированию подвергают наиболее ответственные детали самолётов, кораблей и др. Особенность кадмиевого покрытия заключается в том, что оно является анодным и применяется для защиты стали от коррозии в атмосфере и морской воде электрохимически; в пресной воде - механически. Высота шестигранной головки болта равна 12 мм с допуском по $h14$. Шероховатость основных размеров: $Rz\ 20$. Марка стали: 30ХГСА. Термическая обработка: $G_{в} = 1079...1275$ МПа ($110...130$ кгс/мм²), при изотермической закалке: $G_{в} = 1078...1422$ МПа ($110...145$ кгс/мм²). Сталь 30хгса является легированной конструкционной сталью, созданная для нужд авиации, однако благодаря своим добротным качествам и характеристикам стала одним из самых используемых материалов в машиностроении. В состав стали 30ХГСА вошли такие легирующие элементы как: хром, марганец и кремний. При сокращении латинских названий этих элементов мы и получили название 30ХГСА, еще одним названием данной стали стало – «хромансиль». Ближайшими аналогами хромансиля могут являться стали марок: 25ХГСА, 35ХГСА, 35ХМ, 40ХН, 40ХФА.

Маркировка стали 30ХГСА расшифровывает состав стали, где число на первом месте показывает процент содержания углерода выраженного в сотых долях и составляет 3%, что соответствует норме для класса среднелегированных сталей (низколегированная – до 2,5%, среднелегированная – от 2,5% до 10%, высоколегированная – от 10%). «Х», «Г» и «С» обозначают, содержание легирующих элементов в стали. В состав вошли такие элементы как: хром, марганец и кремний. Отсутствие после буквенных обозначений легирующих элементов чисел означает, что их процентное содержание в стали составляет приблизительно 1%. Если в конце маркировки стоит символ «А», то это будет означать принадлежность к категории высококачественных сталей. Химический состав стали 30ХГСА содержит: углерод - от 0,28 до 0,34%, кремний - от 0,9 до 1,2%, марганец - от 0,8 до 1,1%, никель - не более 0,3%, сера - не больше 0,025%, фосфор - менее 0,025%, хром от 0,8 до 1,1%, медь - менее 0,3%.

Теоретически резцы и профили могут быть накатаны на любом пластически деформируемом материале. Однако стабильность процесса накатывания, выполнение требований, предъявляемых к качеству, точности и прочности накатываемых изделий, обеспечение экономически целесообразной стойкости инструмента, надежности и производительности оборудования определяют необходимые требования к свойствам материала заготовки. Прочность и коррозионная устойчивость стали 30 ХГСА придает содержание хрома. Сопротивление ударным нагрузкам обеспечивает марганец, а также усиливает прочность сплава и способствует износостойкости стали 30ХГСА. Кремний в составе стали необходим для придания ударной вязкости. Для улучшения физических свойств стали 30ХГСА необходимо произвести закалку материала при температуре от 550 до 660 °С. Это дает возможность для изготовления не только высокопрочных авиационных, но и необходимых в машиностроении деталей. Такие как: валы, фланцы, оси, различные сварные конструкции, разного рода крепеж,

рычаги и многое другое. Сталь 30ХГСА имеет относительно небольшую стоимость, не смотря на использование недефицитных легирующих элементов, при этом обладая высокой прочностью (предел прочности после закалки достигает до 2800 МПа), износостойкостью и превосходными показателями ударной вязкости. После закалки из стали 30ХГСА при деформации из аустенита выделяется углерод, тем самым облегчая подвижность дислокаций в кристаллах мартенсита. После проведения данных процедур сталь становится пластичнее и прочнее по сравнению с первоначальными свойствами. Расчетные разрушающие нагрузки на разрыв болтов из стали 30ХГСА с резьбой М20 по ОСТ 1 31100-80.

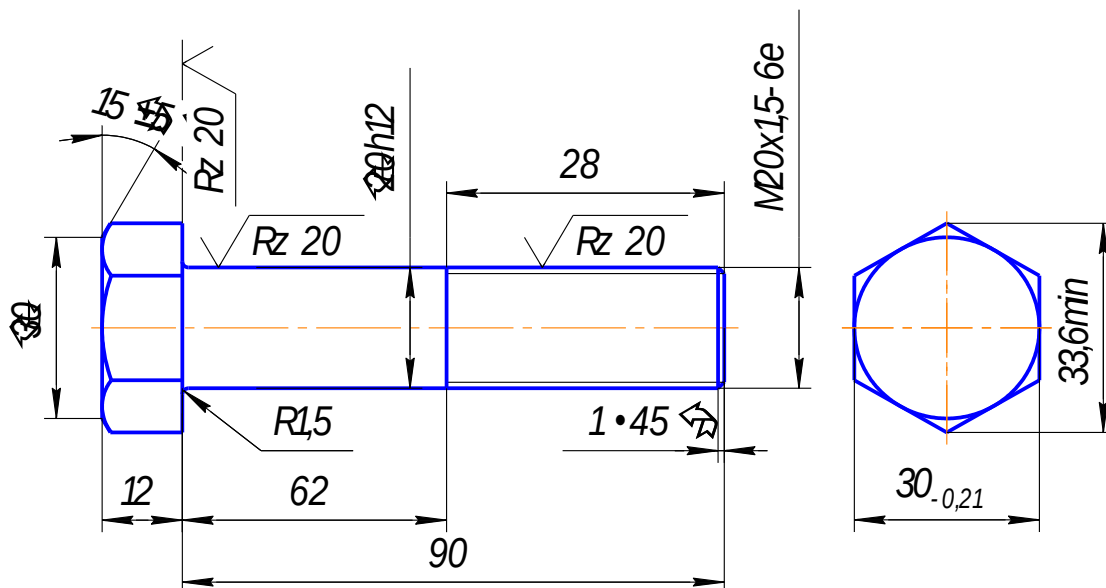


Рисунок 2.2 - Болт М20-90 кд ОСТ1-31103-80

На сегодняшний день в сфере машиностроения часто применяются различные резьбовые соединения. В настоящее время часто применяется метрическая резьба, которая имеет в применении номинальные диаметры от 1 до 600 мм с шагом от 0,25 до 6 мм. Исходным профилем метрической резьбы является равносторонний треугольник (угол при вершине 60°), теоретическая высота профиля которого составляет $H=0,866025404P$. Вершина треугольника срезана, впадина профиля резьбы имеет плоскую или

закругленную форму. Закругленная форма предпочтительней. На рисунке 2.3 изображены наружный, внутренний и средний диаметр резьбы.

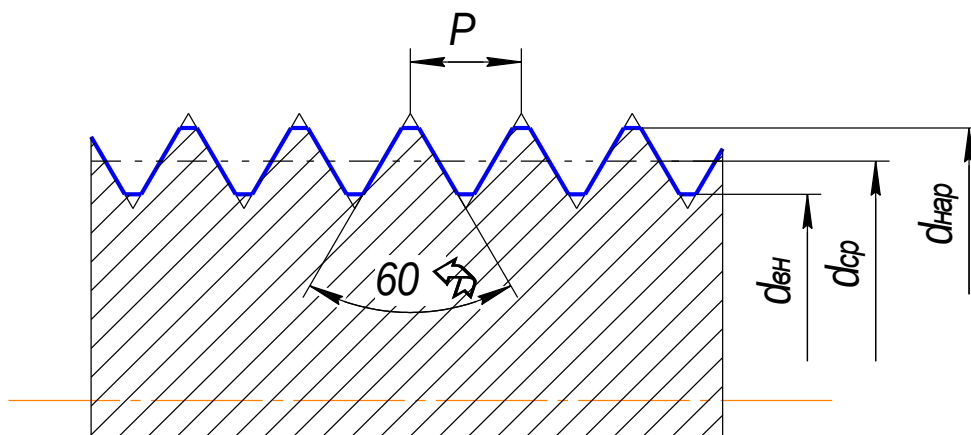


Рисунок 2.3 - Профиль метрической резьбы

2.2 Технологический процесс детали в производстве

ОАО «Авиакор» - на котором в процессе практики были разработаны основные разделы предстоящей диссертационной работы, а также собрана необходимая информация и материалы для её написания, является предприятием которое занимается серийным производством гражданских и военных самолетов, путем сборки деталей, узлов и агрегатов, изготовленных в условиях собственного производства. В условиях данного производства заготовки для болтов заготавливаются из горячекатаного круглого проката. Далее процесс обработки заготовки состоит из:

- операции холодной штамповки на комплексном оборудовании ЛЗ46.31.100 (Комплекс автоматический для холодной штамповки деталей типа болт);
- образования резьбы двумя приводными цилиндрическими роликами на станке А9518Б;
- термической обработке в термопечи ПКМ4.8.4/М камерного типа;
- пескоструйной обработке в камере КСО-110ИСФР;
- нанесения антикоррозионного металлизационного кадмиевого покрытия.

Рассмотрим каждый этап процесса обработки заготовки более подробно. Объемную холодную штамповку применяют для изготовления различных деталей сложной формы, но имеющие небольшие размеры, которые состоят из металлов и обладаю высокой пластичностью. Процесс объемной штамповки является ни чем иным, как пластическая деформация детали, который схож с процессом горячей штамповки. Стоит заметить, что отсутствие нагрева позволит получить детали с более точными размерами и с более чистой поверхностью. Процесс холодного выдавливания происходит следующим образом: металл переходит в пластичное состояние под действием высокого давления и перетекает в зазор между пуансоном и матрицей.

Резьба образуется в процессе накатывание двумя приводными цилиндрическими роликами на станке А9518Б (Рисунок 2.4). Преимущества данного способа заключается в универсальности процесса. Данный способ открывает широкий диапазон диаметров для накатывания резьбы в пределах от 2 мм – до 200 мм и шагом резьбы от 0,35мм – до 16 мм, неограниченная длина участка заготовки под резьбонакатывание (до 2000 мм и больше), относительно большой предел прочности материала – до 1500 МПа, точность накатанной резьбы соответствует полю допуска 4h и выше, достаточная простота конструкции оборудования. Станок А9518Б универсален и предназначен для холодного накатывания различных видов резьбы, червяков, рифлений; косозубых колес с мелким модулем, а также для правки и калибровки тел цилиндрической и сферической формы. Процесс накатывания заключается в обкатывание профиля резьбы с поверхности цилиндрических роликов по поверхности заготовки, сопровождаемый принудительным вращением роликов и радиальным перемещением одного из них под действием определенного усилия, подаваемого гидроприводом подач. Заготовка находится между роликами на ноже, при этом вращаясь в результате подаваемых на нее прижимных усилий и сил трения, которые

возрастают прямопропорционально внедрению профиля роликов в тело заготовки и образованию на поверхности профиля резьбы отраженного на роликах [27].

Далее заготовка проходит термическую обработку в термопечи ПКМ4.8.4/М камерного типа и последующую пескоструйную обработку в камере КСО-110ИСФР для чистки снятия окалины, получения необходимой шероховатости, а так же для подготовки поверхности для нанесения антикоррозионного металлизационного покрытия кадмием.



Рисунок 2.4 - Профиленкатной двухроликовый полуавтомат А9518Б

2.3 Анализ проблем с последующим определением задач диссертационной работы.

Процесс накатки является одним из узких мест в технологии изготовления болтов. Данный процесс приводит к образованию таких дефектов как:

- отслоение во впадинах формируемой резьбы;
- образование задиров, возникающие из-за проскальзывания инструмента во время обработки заготовки;

– возникновение пустоты в центральных зонах. Это происходит из-за неудачной схемы напряженно-деформированного состояния, а также в связи с появлением растягивающих напряжений в осевых зонах заготовки.

На основании анализа промышленного опыта на ОАО «Авиакор» установлено, что при формировании резьбы на высокопрочных болтах М20-90кдОСТ1-31103-80 холодной накаткой с использованием двухроликовых станков появляются наружные и внутренние дефекты [22].

К наружным дефектам относятся:

- задиры по выступам накатываемого профиля. Причиной появления задиров является налипание металла на поверхность формообразующего инструмента, это происходит если рабочая поверхность является недостаточно чистой, а также из-за отсутствия качественной смазки. Также задиры могут появиться из-за неправильной установки и настройки инструмента;

- отпечатки заходов винтовых калибров валков (роликов) на боковых сторонах профиля. Данный дефект образуется из-за неправильного изготовления заходов профиля валков, а также из-за наличия люфтов кинематической цепи привода валков. Также дефект может появиться из-за отсутствия правильной установки валков;

- подрезка зуба и вдавливание срезанного металла во впадину профиля. Причина появления данного недостатка кроется в неточной угловой и осевой настройке валков, а также при острых вершинах деформирующих гребней заборного конуса валков;

- появление трещин во впадине профиля. Появление трещин зависит от чрезмерного количества металла в калибрах валков во время заниженного межцентрового расстояния последних. Трещины и вскрытие полости заготовки образуются во время накатки профиля на заднем конце заготовок с глубокой центровкой или заниженным межцентровым расстоянием валков;

- отслоение (шелушение) металла по профилю. Отслоение металла на обрабатываемой заготовке совершается из-за того что существуют различные поверхностные дефекты заготовки (например: трещины, перенаклеп верхнего слоя металла, риски, обезуглероженный слой).

Внутренние дефекты включают в себя образование пустот в осевой части накатанной заготовки, а также образование трещин.

Вовремя накатывания изделия с винтовой поверхностью может произойти осевая вытяжки металла. Это происходит из-за одностороннего действия калибров валков на концах накатываемой заготовки. Это приводит к тому, что крайние 1,5-2 витка заготовки не имеют полной высоты. Так как передний конец заготовки обладает конусообразной формой, то имеет всегда наибольший участок с неполной высотой профиля. Это приводит к тому что при увеличении высоты и шага профиля с винтовой поверхностью увеличивается и длина участка заготовки имеющая неполную высоту профиля.

В зависимости от движений заднего конца заготовки между валками происходит постепенное увеличение растяжки шага профиля, вместе с этим происходит уменьшение наружного и внутреннего диаметра. Данные изменения происходят из-за упругих деформаций узлов накатного механизма и изменения межцентрового расстояния между ними по мере продвижения заднего конца заготовки между ними [20].

Проанализировав литературные источники и практический опыт ОАО «Авиакор» можно сделать несколько выводов:

1. Характерной особенностью способов формирования резьбы накаткой в некоторых случаях является появление таких поверхностных дефектов как: отслоения и неравномерность покрытия поверхности сформированной резьбы. Наличие заготовки с несоответствующей чистотой поверхности может привести к образованию поверхностных дефектов. В связи с этим одним из важных и актуальных исследований является поиск рациональной

технологии накатки резьбы, которая поможет предотвратить образование поверхностных дефектов.

2. Во время процесса резьбонакатки в зонах, которые примыкают к оси заготовки, иногда возникает растягивающее напряжения. Данное напряжение приводит к образованию рыхлостей и пустот, это снижает качество изделий. Результаты моделирования процесса накатки резьбы с использованием современного метода исследования (метод конечных элементов) позволят получить достоверные данные о напряженно-деформированном состоянии в накатываемой заготовке. Это дает возможность выявить оптимальные режимы накатывания резьбы, которые помогут исключить образование рыхлостей и пустот в осевой части.

3. При накатке резьбы в результате колебаний конструктивно-технологических параметров (размеры исходных заготовок, механические свойства применяемых сталей, условия трения, температура и т.п.) изменяются усилия в системе «станок-инструмент-заготовка», что вызывает колебания размеров накатанных резьб. При недостаточной жесткости системы «станок -инструмент-заготовка» и широком диапазоне колебаний вышеотмеченных параметров возможен выход размеров накатанной резьбы за поле регламентированных допусков, что приводит к образованию брака. Поэтому разработка надежной методики прогнозирования точности резьбы позволит определить рациональные значения жесткости системы «станок-инструмент-заготовка», при которых обеспечивается получение изделий с качественной резьбой.

4. Необходимо соблюдать рекомендацию по использованию резьбонакатных роликов, определяющей сроки их своевременной замены, согласно которой ресурс работы инструмента составляет (10000 деталей).

Целью диссертационной работы является повышение качества наружного резьбового профиля посредством устранения факторов в

технологии изготовления наружных резьбовых поверхностей, влияющих на образование наружных дефектов резьбы.

Проведенный анализ исследований позволил получить новые научные знания о процессе накатывания резьбы. Применение полученного практического опыта поможет увеличить эффективность процессов изготовления стержневых изделий с резьбой.

Опираясь на полученные знания, сформулируем актуальные задачи диссертационной работы.

Задачи работы:

- исследовать кинематический процесс накатки, и определить рациональные способы и режимы деформации, которые послужат минимальному проскальзыванию инструмента относительно заготовки;

- подготовить компьютерную модель процесса резьбонакатки, а также необходимо установить напряженно-деформированное состояние в деформируемой заготовке и режимы деформирования, которые помогут снизить появление пустот в осевой части накатанного участка, а также предотвратить образование рыхлости накатанного участка;

- необходимо произвести разработку методики прогнозирования точности резьбы которая зависит от различных колебаний диаметра исходной заготовки, условий трения и жесткости системы «станок-инструмент-заготовка», а также от механических свойств исследуемой стали;

- разработать рациональные режимы накатки резьбы на болтах М20-90кдОСТ1-31103-80, и провести испытания полученных разработок в производственных условиях ОАО «Авиакор».

Глава 3 Экспериментальные исследования

3.1 Методика определения случайных погрешностей накатанной резьбы

Точность резьбы зависит от колебаний процесса накатывания. Это могут быть как размер заготовки под накатку, свойства материала и другие, которые вызывают колебания усилий накатывания. Немаловажным фактором является жесткость силовой системы «СИЗ» (станок-инструмент-заготовка). Для создания определённого технологического процесса накатывания резьбы можно установить влияние данных колебаний на размер получаемой резьбой. Резьбонакатной инструмент работает в условиях интенсивного стирания рабочей поверхности. Износ зависит от внешних воздействий: температуры инструмента, скорости накатки, марки стали изделия и другие. Влияние на износ оказывает касательное напряжение, действующие на поверхность заготовки и инструмента.

Для этого необходимо разработать модели и методы, применение к расчетам процессов накатывания. Благодаря этим моделям и методам можно позволить определять деформированное состояние в накатываемой заготовке.

Под точностью изготовления деталей понимается степень значений параметров, которые существуют в технической документации (ГОСТ, ОСТ, ТУ, чертеж).

Точность резьбы определяется по следующим параметрам:

- а) точность размеров
- б) точность резьбовой части
- в) расположение поверхности

Размеры детали: номинальный диаметр резьбы, шаг резьбы, внутренний, средний, наружный диаметры и другие определяются соответствующими допусками.

Отклонениями являются овальность в поперечном сечении. В продольном же считаются конусность и изогнутость.

Погрешностью изготовления таких деталей является влияние физико-механических и технологических условий процесса накатывания. Каждое условие вызывает погрешность изготовления детали.

К таким условиям относятся:

- 1) Погрешность неточности исходной заготовки и свойств материала заготовки.
- 2) Погрешность резбового инструмента;
- 3) Погрешность температуры заготовки;
- 4) Погрешности настройки станка;

Для изготовления крепежных деталей с резьбой на станках можно воспользоваться следующими методами: статистическим и расчетно-аналитическим.

Статистический метод - это суммарная погрешность. Определяется путём измерения и обработки заготовки.

Расчётно-аналитический метод показывает фактор на величину прибыли использования ресурсов.

Расчётно-аналитический метод по сравнению со статистическим имеет преимущество в том, что при использовании этим методом, даётся возможность анализировать технологический процесс и метод воздействия на него, с целью достичь требуемой точности работы.

Мною была исследована формула для расчёта погрешности среднего диаметра резьбы, накатываемым роликом:

$$\Delta d_2 = \Delta_j d_2 - \Delta_{\text{зат}} \quad (1)$$

где Δd_2 - погрешность среднего диаметра готовой резьбы,

$$\Delta_j d_2 = \frac{P}{j_{\text{сист}}} \quad (2)$$

где P – усилие радиальное,

$j_{сист}$ - коэффициент жесткости системы «СИЗ»,

$\Delta_{зам}$ - предварительная деформация, которая позволяет сделать упругую систему «СИЗ» жестче.

В формуле мы видим что деформация упругой системы определяет искомую погрешность Δd_2 . Данная формула выглядит в таком виде:

$$\Delta d_2 = \frac{\Delta P}{j_{сист}} \quad (3)$$

где ΔP - изменение усилия накатывания,

$j_{сист}$ - коэффициент жесткости упругой системы

Δd_2 - искомая погрешность

В данной работе были приведены проблем повышения точности накатываемой резьбы.

Мною были выделены факторы, которые влияют на точность резьбы:

1. диаметр стержня заготовки;
2. упругие деформации системы;
3. износ инструмента.

В работе рассмотрены вопросы, касающиеся улучшения качества и точности резьбы. Я провёл анализ различных факторов таких как:

1. глубина вдавливания инструмента
2. жесткости оборудования на точность и качество резьбы.

При проектировании накатного инструмента можно определить усилие вдавливания инструмента в заготовку, не было предложено каких либо методов для расчета и тем функциональных усилий для параметров процесса накатывания [31].

В связи с этим, необходимо разработать методики, позволяющей высокой точностью рассчитать величину погрешности диаметра резьбы, полученными при накатывании. Самым необходимым является наличие дифференцируемых зависимостей усилия от мною предложенных факторов.

Точность готовых изделий зависит от конструкции инструмента, профиль должен соответствовать профилю получаемой резьбы. Поэтому необходимо разработать модели и методы, применение к расчётам процессов накатывания и позволит с высокой точностью определить параметры резьбонакатывания.

Точность накатанной резьбы зависит от жёсткости системы. Жесткость отдельных деталей или группы деталей могут упруго деформироваться на определенную величину под действием действующих внешних сил.

Под жёсткостью резьбонакатных станков подразумевают жесткость деталей станка, замыкающие данное усилие, которое действует со стороны заготовки при накатывании резьбы к плоскости движения инструмента.

Жесткость резьбонакатного станка в большинстве случаев можно определить по схеме работы станка. Где расстояния между плашками входит в зависимость от силы накатывания, действующей к плоскости движения инструмента (рисунок 3.1).

Жёсткость станка можно выразить коэффициентом жёсткости, значение определяется по формуле:

$$C = \frac{dN}{dd} \quad (4)$$

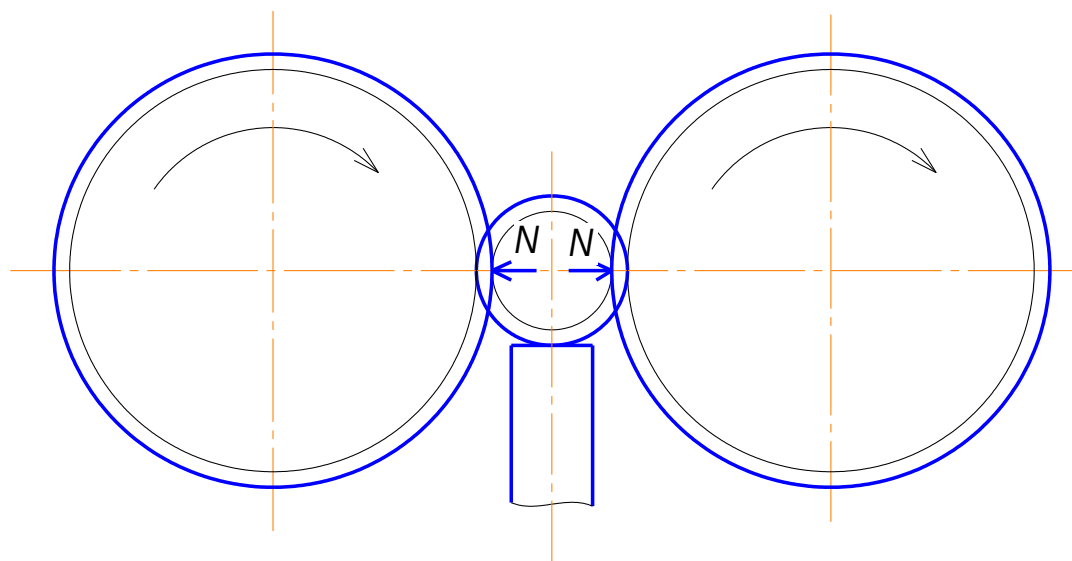


Рисунок 3.1 – Расчёт жесткости резьбонакатного станка

Условие зависимости между усилием и расстоянием является линейным и коэффициент жесткости резбонакатного станка можно считать как постоянная величина. Связь между жёсткостью станка и жёсткостью его деталей, воспринимают нагрузку от накатки, и определяется зависимостью:

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (5)$$

где C_i - коэффициент жесткости детали.

Часто силовая система это как совокупность станка с жёсткостью и инструмента. Общая жёсткость силовой системы определяется по формуле:

$$C = \frac{C_0 C_u}{C_0 + C_u} \quad (6)$$

Для определения жёсткости машин используют следующие методы:

1. Метод замера деформаций при нагружении упругой системы «СИЗ» специальными инструментами.
2. Метод крешеров.

Крешеры - определённые образцы в виде цилиндров.

Метод крешеров позволяют определить жёсткость системы машины с учётом процесса деформирования.

Некоторые рекомендуемые допустимые коэффициенты радиальной жесткости резбонакатных полуавтоматов с роликами для холодной накатки резьбы и представил их в виде таблицы 3.1.

Для оценки точности штампуемых изделий предлагают определить высоту штампуемой детали, которую предлагаю определить по данной формуле:

$$\Delta h = \Delta h_z + \frac{1}{\sigma} \Delta h_c \quad (7)$$

где Δh_z - закономерная погрешность;

Δh_c - случайная погрешность.

Таблица 3.1 Значения коэффициентов радиальной жесткости резьбонакатных станков, являющиеся минимально допустимыми для разных номинальных диаметров резьбы

Ø резьбы, мм	4	6	10	16	20	24
k жёсткости, кН/мм	80	125	200	315	415	500

Погрешности связаны такими критериями как:

1. износ инструмента
2. температурой колебаний
3. потерей настроек
4. ослаблением креплений деталей в узлах и звеньях машины.

В этих случаях такие погрешности можно устранить с помощью настройки машины, инструмента, оборудования [33].

Случайные погрешности это колебания усилий деформирования в качестве чего колебаний размеров данной заготовки и деформации штампуемого металла и других факторов.

Определение случайных погрешностей при штамповке заготовки на кривошипных прессах, точность штампуемого изделия находится по положению инструмента.

Упругое звено - это деталь и узел кузнечнопрессовой машины. Пластическое звено - это заготовка, полуфабрикат, готовая деталь.

Решение уравнений деформаций упругих и пластических звеньев технической системы получаемых зависимостей начальных параметров можно найти по таким формулам:

$$\Delta h_{id_0} = \frac{\frac{\partial \varphi}{\partial d_0} \Delta d_0}{C - \frac{\partial \varphi}{\partial h_i}} \quad (8)$$

$$\Delta h_{ih_0} = \frac{\frac{\partial \varphi}{\partial h_0} \Delta h_0}{C - \frac{\partial \varphi}{\partial h_i}} \quad (9)$$

$$\Delta h_{i\sigma} = \frac{\frac{\partial \varphi}{\partial \sigma} \Delta \sigma}{C - \frac{\partial \varphi}{\partial h_i}} \quad (10)$$

$$\Delta h_{i\mu} = \frac{\frac{\partial \varphi}{\partial \mu} \Delta \mu}{C - \frac{\partial \varphi}{\partial h_i}} \quad (11)$$

Вышеотмеченная методика была использована для расчёта погрешностей и параметров настройки при штамповке болтов на пресс-автомате. Однако данная методика может быть использована и для изготовления крепежа на высадочнопрокатных машинах и роторных линиях и.

Подход с дополнительными уточнениями и изменениями применял для расчёта погрешностей резьбы, получаемых накатыванием. В данном случае роль усилия играет составляющая усилия накатывания.

Максимальная радиальная сила (МРС), соответственно деформирует заготовку на самом конечном этапе процесса накатывания, и относится к функции параметров расстояния между плашками.

МРС рассчитывается по формуле:

$$N = f(\sigma_0, T, \mu, d_0, L, d) \quad (12)$$

где σ_0 - предел текучести материала обрабатываемой заготовки;

μ - коэффициент обозначающий трение;

d_0 - диаметр;

L - длина участка заготовки для накатки;

d - расстояние между плашками.

Рассматривая деформации упругих и пластических звеньев технологической системы для случая накатки плоскими плашками, получено по формуле:

$$\frac{N}{C_0} + \frac{N}{C_u} = d - D \quad (13)$$

где d - расстояние между плашками при действии усилий на этапе резбонакатывания;

D – часть участков рабочих поверхностей плашек при отсутствии деформирующих усилий и зазоров.

После преобразований с некоторым учетом получено:

$$N = C(d - D) \quad (14)$$

По теории ОМД устанавливаем аналитическую зависимость:

$$N = f(\sigma_0, T, \mu, d_0, L, d) \quad (15)$$

Если, исключить N из уравнений и перенести 2 члена в правую часть, то получается такая формула:

$$F = f(\sigma_0, T, \mu, d_0, L, d) - C(d - D) \quad (16)$$

По данным $C = \text{const}$ и $D = \text{const}$, проводит изменение уравнения, путём разложения членов в ряд по малым независимым параметрам.

При техническом процессе диапазон изменения каких-либо переменных невелик и можно воспользоваться одним членом ряда. Последовательно приравнивая к нулю все параметры, кроме полученных зависимостей, определяющие погрешности диаметра резьбы при колебании следующих параметров, являющиеся случайными:

- деформация материала заготовки σ_0

$$\Delta d_{\sigma} = \frac{\frac{\partial f}{\partial \sigma_0} \Delta \sigma}{C - \frac{\partial f}{\partial d}} \quad (17)$$

- температура нагрева заготовки

$$\Delta d_T = \frac{\frac{\partial f}{\partial T} \Delta T}{C - \frac{\partial f}{\partial d}} \quad (18)$$

- коэффициент трения

$$\Delta d_\mu = \frac{\frac{\partial f}{\partial \mu} \Delta \mu}{C - \frac{\partial f}{\partial d}} \quad (19)$$

- диаметра данной заготовки

$$\Delta d_{d_0} = \frac{\frac{\partial f}{\partial d_0} \Delta d_0}{C - \frac{\partial f}{\partial d}} \quad (20)$$

- длины данной заготовки

$$\Delta d_L = \frac{\frac{\partial f}{\partial L} \Delta L}{C - \frac{\partial f}{\partial d}} \quad (21)$$

Расчёт случайных погрешностей диаметра накатываемой резьбы при колебании предлагаю осуществить в следующем порядке.

1. Использовать точный и надёжный метод ОМД, определяем радиальные усилия накатки в зависимости от незначительных параметров. Рекомендуется применить метод конечных элементов (МКЭ), который входит в основу программного комплекса «DEFORM» и других.

2. Найдём действительный диапазон колебаний технических параметров. Используя один из комплексов, определяем радиальные усилия в зависимости от каждого параметра в точках диапазона изменения.

3. Строим график изменения усилия N из каждого параметра. Получаются кривые уравнения как: $N = f(\sigma_0)$, $N = f(\mu)$, $N = f(d_0)$, $N = f(L)$, $N = f(T)$, $N = f(d)$. Для необходимости определения коэффициента уравнения рекомендую использовать программный комплекс «Excel».

4. Определить частные производные уравнения такие как:

$$\frac{\partial f}{\partial \sigma_0} \cdot \frac{\partial f}{\partial T} \cdot \frac{\partial f}{\partial \mu} \cdot \frac{\partial f}{\partial d_0} \cdot \frac{\partial f}{\partial L} \cdot \frac{\partial f}{\partial a} \quad (22)$$

и вычислить значение в средней точке диапазона всех параметров.

5. Пользуясь уравнениями 17-21 определим случайные погрешности диаметра назначенной резьбы Δd_σ , Δd_T , Δd_μ , Δd_{d0} , Δd_L при колебании технологических параметров и вычисляя общую случайную погрешность, оцениваем точность данной резьбы. Такую погрешность диаметра накатываемой резьбы вызываются колебаниями определёнными параметрами и являются незначительными величинами, они суммируются по геометрически:

$$\Delta d = \sqrt{\sum \Delta d^2} \quad (23)$$

Если суммарная погрешность с наименьшими допусками на внутренний диаметр, соответствуют нормам технологической документацией, данный процесс является стабильным.

На рисунке 3.2 показана общая схема модели точности накатываемой резьбы.

В схеме изображены возможности оказывания влияния на точность резьбы. В случае чего, если данная погрешность Δd превышает допустимые нормы значения Δd , то возможно будет снижена общая погрешности:

1. за счёт малого диапазонов колебания технических параметров
2. за счёт увеличения жёсткости данной системы

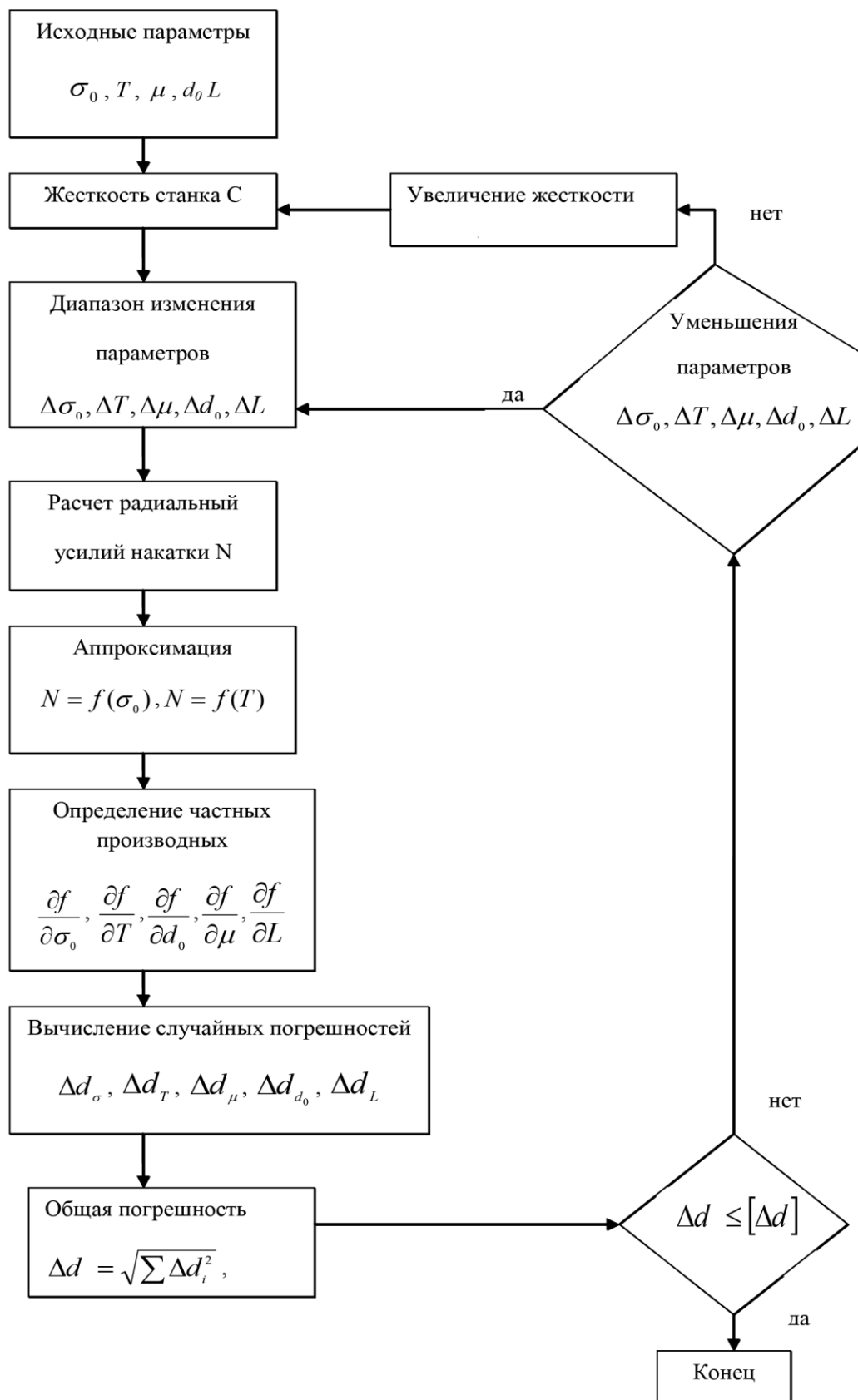


Рисунок 3.2 – Общая схема модели прогнозирования точности накатывания резьбы

3.2 Прогнозирование точности резьбы болтов, формируемых накаткой двумя роликами

Прогнозирование точности резьбы болтов методом накатки будем использовать для резьбы болта М20-90 кд ОСТ1-31103-80 (рис.3.3, 3.4) при ее формировании накатыванием двумя приводными цилиндрическими роликами на станке А9518Б [22].

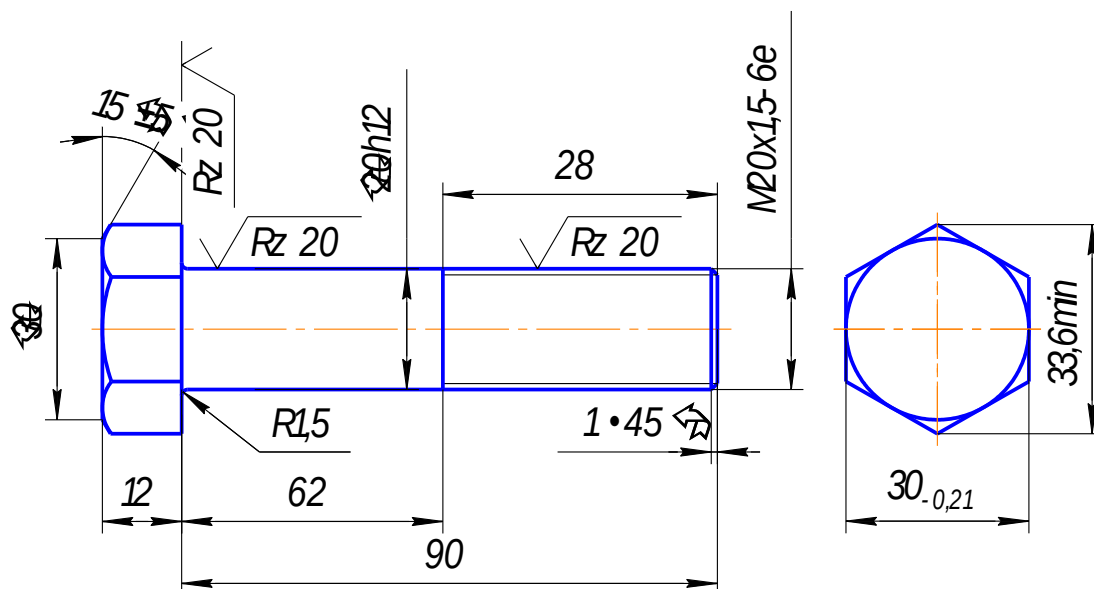


Рисунок 3.3 – Болт М20-90 кд ОСТ1-31103-80

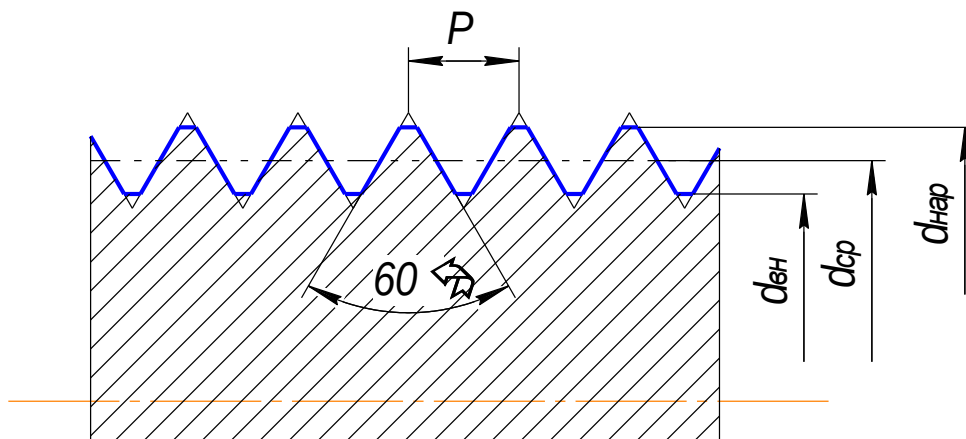


Рисунок 3.4 – Профиль метрической резьбы болта

Для моделирования процесса накатки болтов М20-90 кд ОСТ1-31103-80 и определения радиального усилия N накатывания, зададим колебания технологических параметров (σ_0 , T , μ , d_0 , L , d) [22]:

1. Сопротивление деформации (базисное) $\sigma_0 = 80 \div 90$ МПа;
2. Диаметр заготовки под накатку (исходной) $d_0 = 18,6 \div 19,2$ мм;
3. Коэффициент трения $\mu = 0,2 \div 0,4$;
4. Длина заготовки под накатку (исходной) $L = 85 \div 95$ мм.

Применяя программный комплекс «DEFORM-3D», основой которого является метод конечных элементов, выполним моделирование процесса накатки резьбы болта М20-90 кд ОСТ1-31103-80 [22]. Схематично процесс накатки представлен на рисунке 3.5.

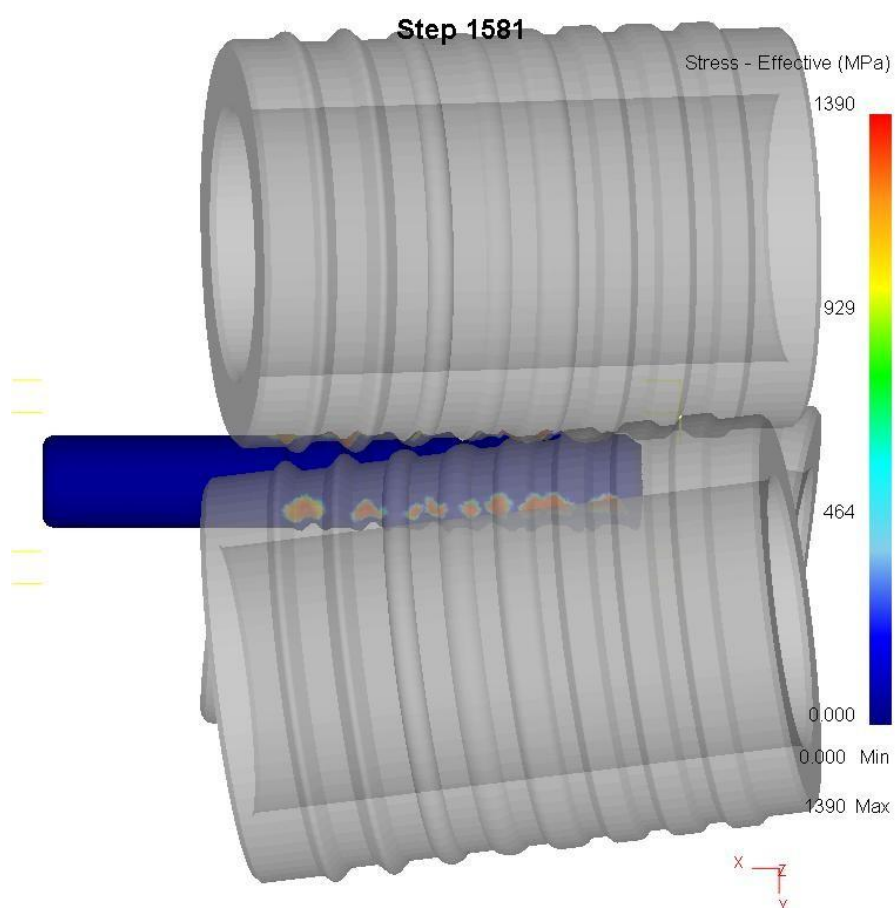


Рисунок 3.5 – Положение инструмента и заготовки (промежуточный этап накатки резьбы болта М20-90 кд ОСТ1-31103-80)

Исходя из выполненных расчетов, мы определили радиальные усилия

N накатки и построили кривые зависимости радиальных усилий N накатки от параметров σ_0 , T , μ , d_0 , L , d (рис. 3.6-3.10).

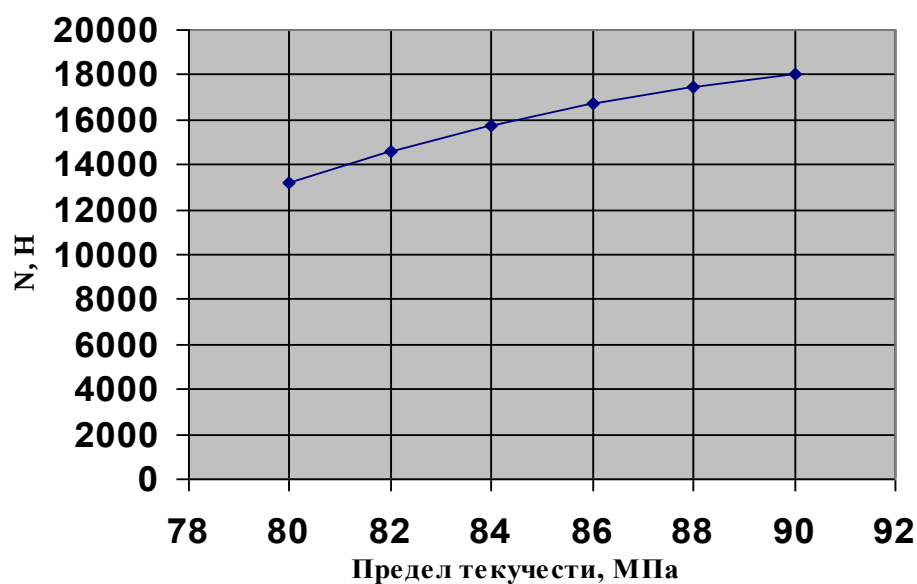


Рисунок 3.6 – Кривая зависимости радиальных усилий N накатки от изменения предела текучести материала σ_0 исходной заготовки (при накатке одного витка)

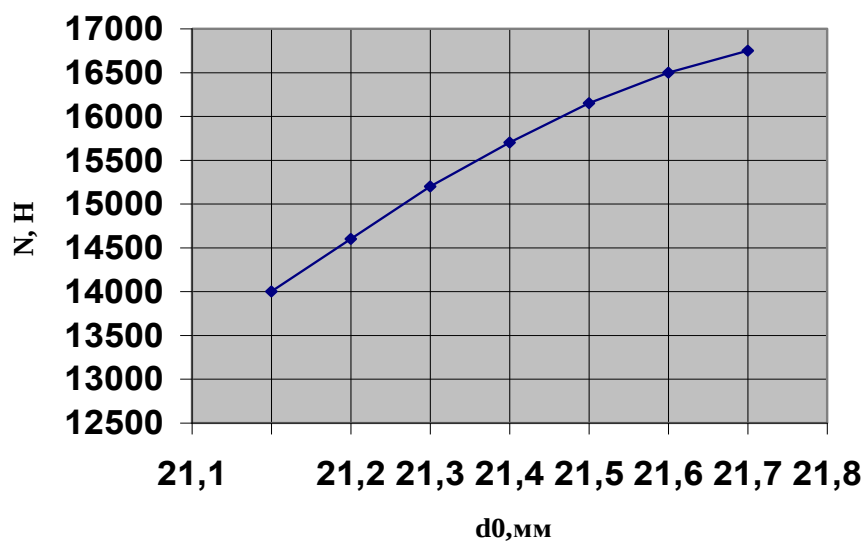


Рисунок 3.7 – Кривая зависимости радиальных усилий N накатки от исходного диаметра заготовки d_0 (накатка одного витка)

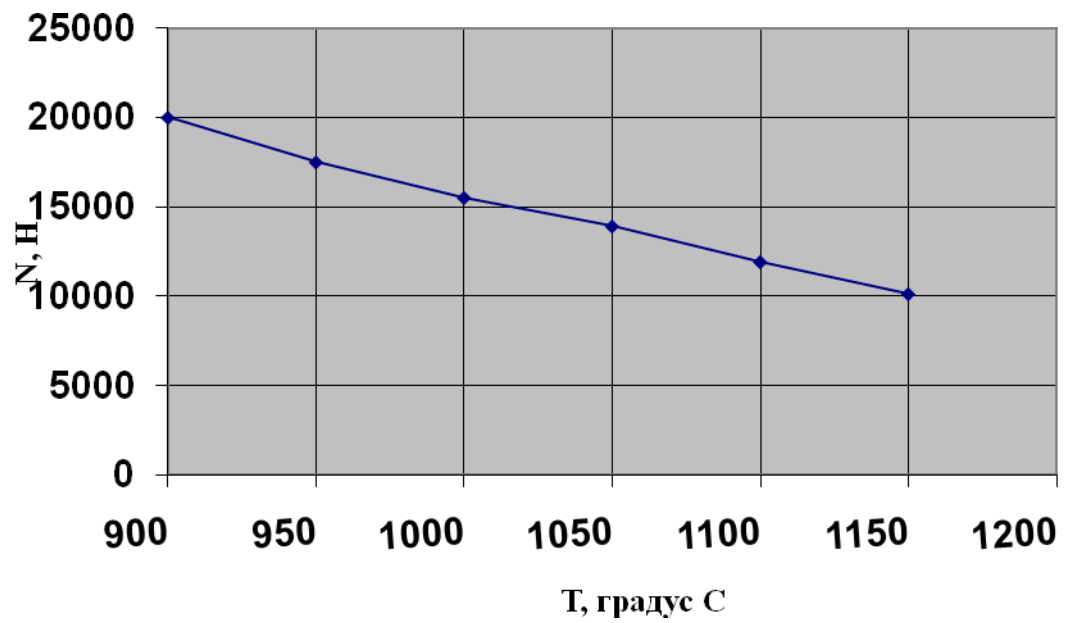


Рисунок 3.8. Кривая зависимости радиальных усилий N накатки от изменения температуры T исходной заготовки (при накатке одного витка)

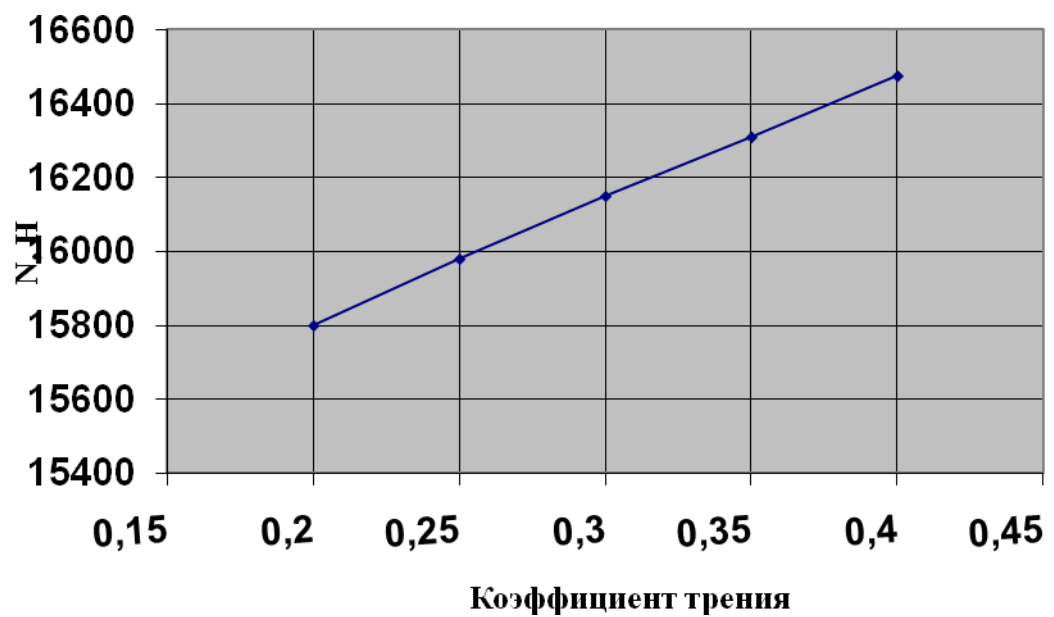


Рисунок 3.9 – Кривая зависимости радиальных усилий N накатки от изменения коэффициента трения μ исходной заготовки (при накатке одного витка)

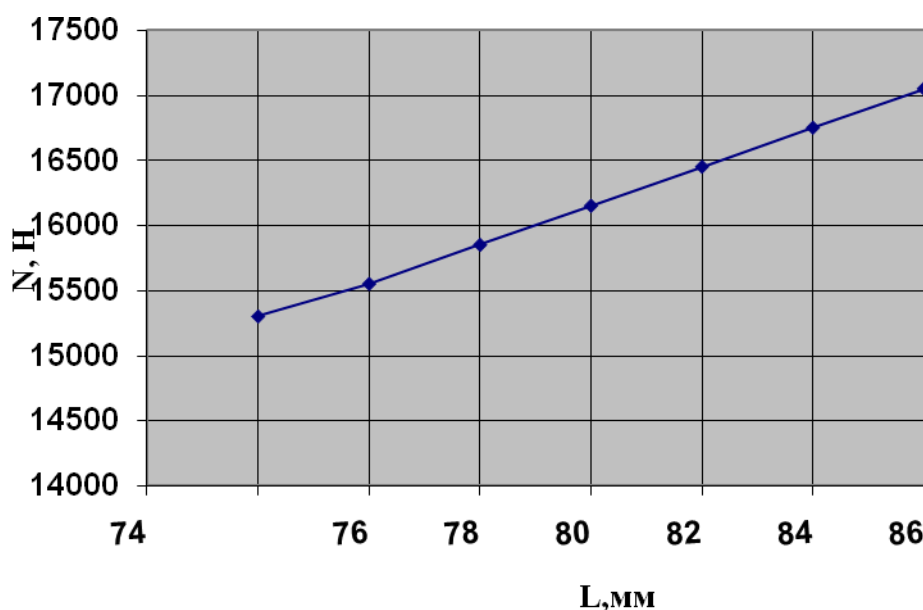


Рисунок 3.10. Кривая зависимости радиальных усилий N накатки от L исходной длины заготовки (накатка одного витка)

С помощью программы «Excel», получаем кривые (рис. 2.7 - 2.11) которые аппроксимировались аналитическими зависимостями. В результате получаем:

для $N = f(\sigma_0)$

$$N = 14,57\sigma_0^2 + 2917\sigma_0 - 126742 \text{ (коэффициент корреляции } R_2 = 0,996\text{);}$$

для $N = f(T)$

$$N = -0,0004T^3 + 0,8987T^2 - 990,95T + 389379 \text{ (} R_2 = 0,9937\text{);}$$

для $N = f(d_0)$

$$N = 13,79d_0^2 - 84,71 d_0 + 11144 \text{ (} R_2 = 0,982\text{);}$$

для $N = f(\mu)$

$$N = 3303,9\mu + 15144 \text{ (} R_2 = 0,9568\text{);}$$

для $N = f(L)$

$$N = 162,1L + 3212 \text{ (} R_2 = 0,967\text{)}$$

Определили частные производные уравнений (рис. 2.12 – 2.15)

$$= -29,12\sigma_0 + 2916,3;$$

$$\begin{aligned}
&= 0,0009T^2 + 1,7972T - 990,94; \\
&= 27,38d_0 - 84,71; \\
&= 3302,9; \\
&= 162,1.
\end{aligned}$$

И далее вычислили значения в средней точке диапазона изменения каждого параметра (σ_0 , T , μ , d_0 , L , d).

С помощью уравнений (2.13-2.17), определили случайные погрешности диаметра накатываемой резьбы Δd_σ , Δd_T , Δd_μ , Δd_{d0} , Δd_L , при колебании технологических параметров (σ_0 , T , μ , d_0 , L , d).

На рисунках 3.11 – 3.14 представлены графики зависимости погрешности резьбы болта М 20-90 кд ОСТ 1-31103-80 из стали марки 30ХГСА от коэффициента жесткости упругой системы «СИЗ», выбранные в промежутке от 300 до 700 кН/мм и накатанных в холодном состоянии.

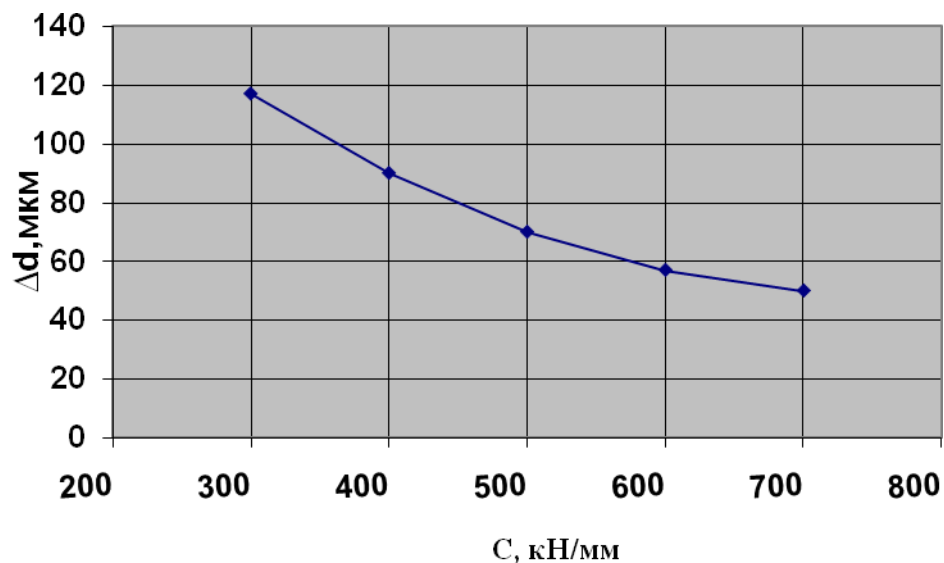


Рисунок 3.11 – Погрешности Δd_σ , внутреннего диаметра резьбы от состояния жесткости системы резьбонакатного станка при отклонении базисного сопротивления деформации σ_0 от 75 до 85 МПа

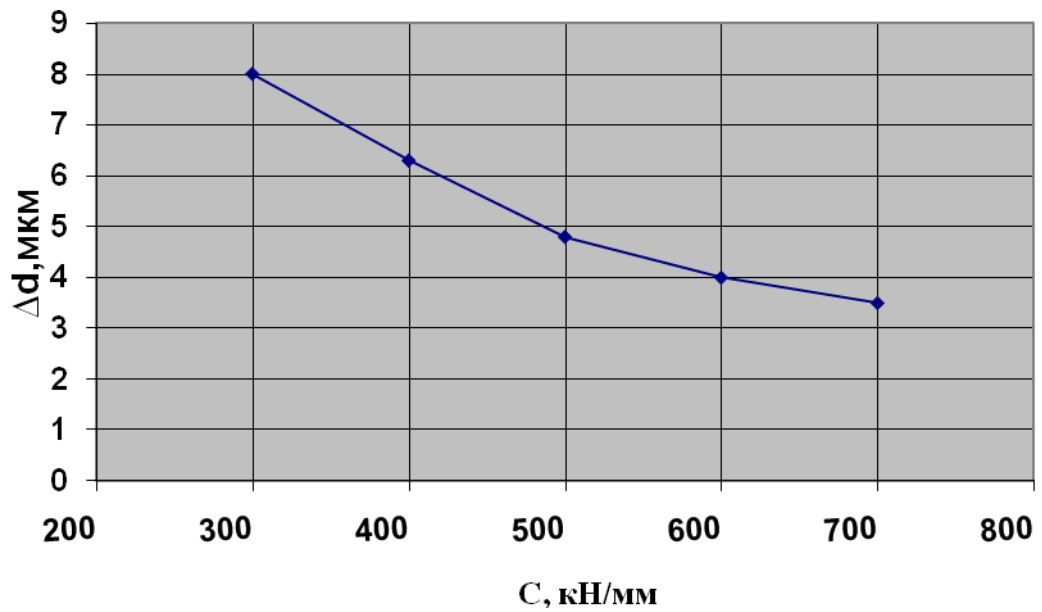


Рисунок 3.12 – Погрешности Δd_{d_0} , внутреннего диаметра резьбы от жесткости резьбонакатного станка с отклонением диаметра d_0 заготовки в пределах 18,6-19,2 мм

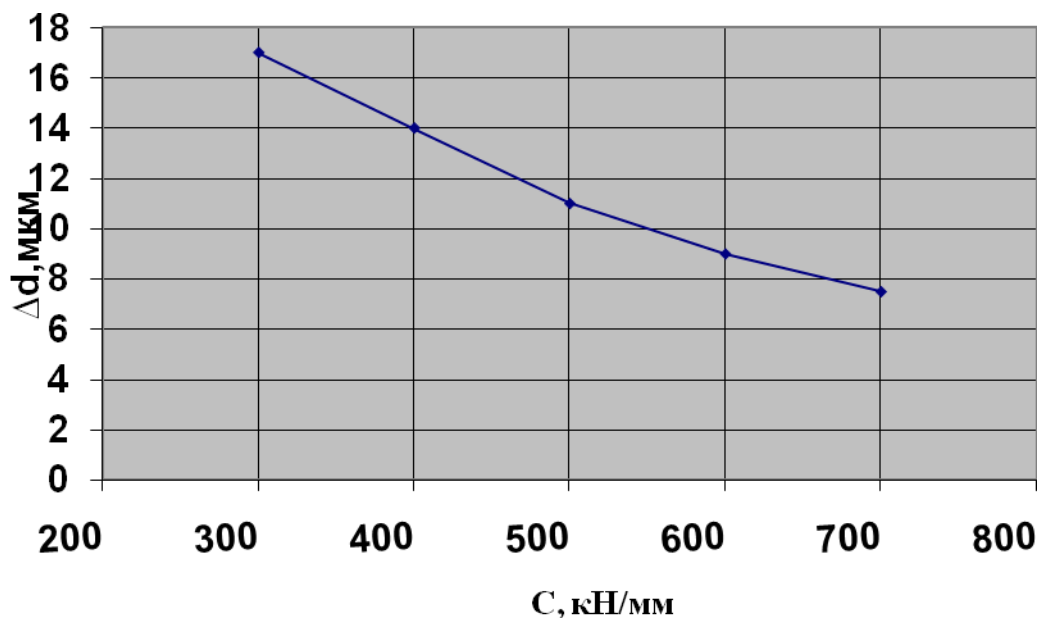


Рисунок 3.13 – Погрешности Δd_{μ} , внутреннего диаметра резьбы от жесткости резьбонакатного станка с отклонением коэффициента трения μ в пределах 0,2-0,4

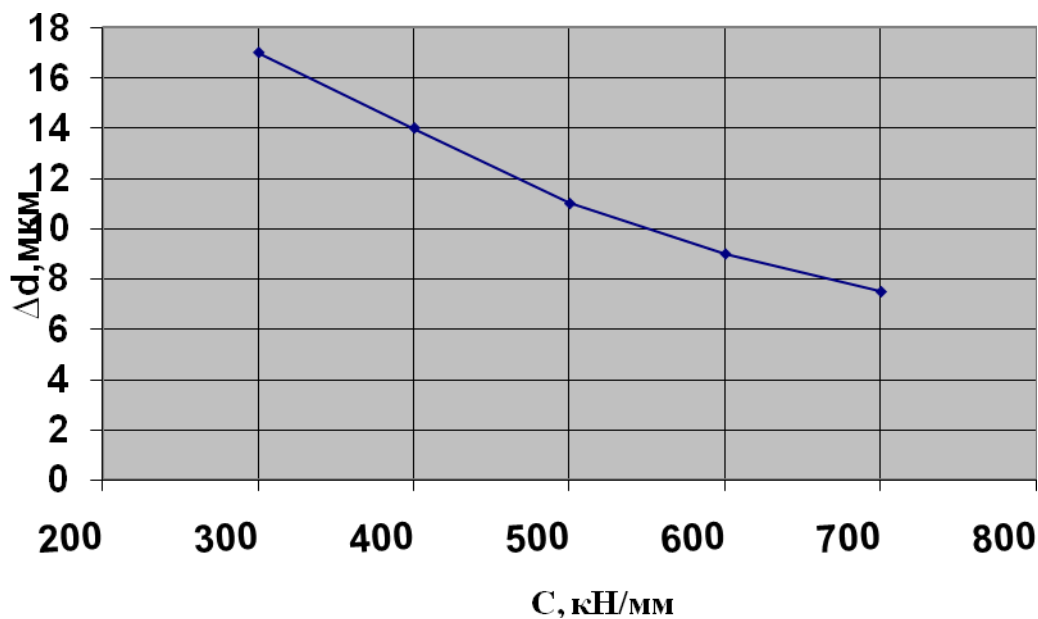


Рисунок 3.14 Погрешности Δd_L , внутреннего диаметра резьбы от жесткости резьбонакатного станка с отклонением длины L исходной заготовки в пределах 85-95 мм

Делая анализ полученных данных, делаем следующие выводы:

1. Колебания внутреннего диаметра резьбы болта М 20-90 кд ОСТ 1-31103-80 из стали марки 30ХГСА наиболее чувствительны к колебаниям базового сопротивления деформации σ_0 . Незначительное влияние на изменения внутреннего диаметра резьбы дают колебания коэффициента трения μ и исходного диаметра заготовки d_0 .

2. Выполнив расчеты процесса накатки резьбы болта М 20-90 кд ОСТ 1-31103-80 из стали марки 30ХГСА накатыванием двумя приводными цилиндрическими роликами на станке А9518Б (завод ОАО «Авиакор», г. Самара), мы видим, что при коэффициенте жёсткости $C = 500$ кН/мм общая погрешность внутреннего диаметра резьбы при накатывании не превышает регламентированного допуска: (-500мкм, +500мкм).

3.3 Анализ влияния параметров процесса накатывания резьбы болтов роликами на точность основных размеров и формы резьбовой части болтов

Процесс накатывания резьбы болтов роликами происходит в две стадии:

1. выдавливание (участок АВ на рисунке 3.15);
2. калибрование (участок ВС на рисунке 3.15).

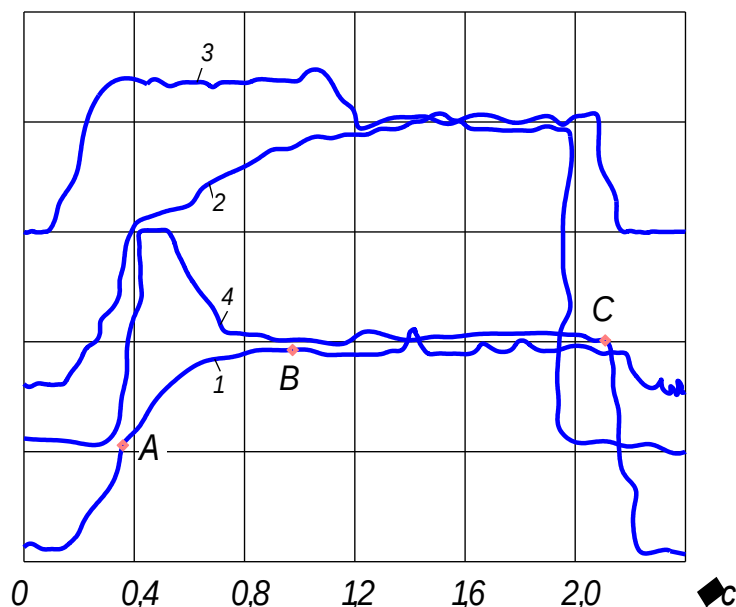


Рисунок 3.15 – 1) радиальное перемещение подвижного резьбонакатного ролика; 2) усилие накатывания; 3) вращающий момент на ролике; 4) температура в зоне контакта

Скорость внедрения инструмента при выдавливании может быть определена радиальной подачей — величиной радиального перемещения на один оборот заготовки резьбового крепёжного изделия:

$$S_r = d_s/d_n. \quad (24)$$

Эксперименты говорят о том, что при небольшой радиальной подаче при накатке резьбы на болты или шпильки образуются канавки на вершинах витков резьбы (рисунок 3.16, а), которые постепенно исчезают или закатываются, образуя радиальные складки.

В случае большой радиальной подачи при накатывании, деформация распространяется на всю толщину витка, делая равномерным подъем металла каждого обжатого участка (рисунок 3.16, б). Подъем металла в этом случае прямопропорционален радиальной нагрузке на заготовку и соответственно глубине внедрения витков инструмента в заготовку. Процесс выдавливания завершается после выполнения следующих условий:

- заранее выставленного радиального внедрения (перемещения) витков инструмента в тело заготовки болта или
- реализации установленного значения радиальной нагрузки на заготовку болта (сила накатывания).

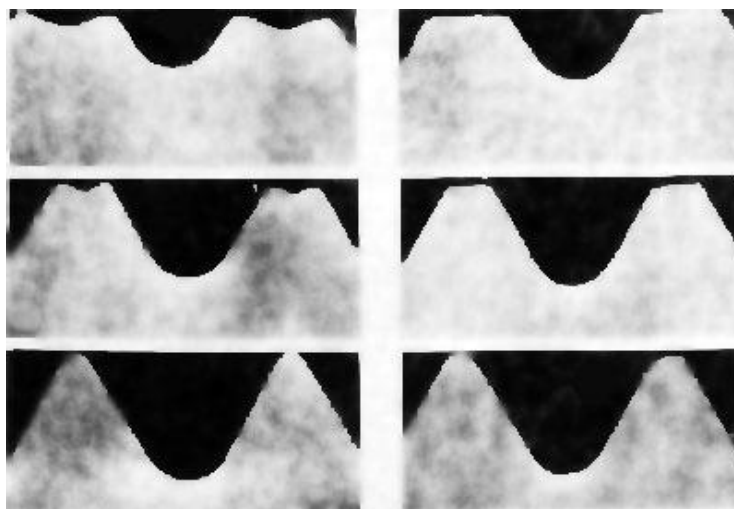


Рисунок 3.16 – Профили резьбы в процессе накатывания с малой $S_r = 0,01$ мм/об (а) и большой $S_r = 0,60$ мм/об (б) радиальной подачи.

При последующем качении или вращении заготовки болта идет калибрование полученной резьбы при малом радиальном внедрении инструмента в тело заготовки (Рис. 1, кривая 1, участок ВС).

Длительность выдавливания при изготовлении резьбы болтов и шпилек определяется:

- конструктивными параметрами (к примеру, это высота профиля резьбы),

– физическими параметрами (скорость деформации, упругопластические характеристики материала заготовки).

Длительность калибрования, напрямую определяющая точность резьбы болтов и шпилек, может задаваться производителем болтов свободно.

Для исключения раздавливания заготовки и накатывания резьбы в заполненном контуре используется упор, воспринимающий излишнюю нагрузку на деталь и ограничивающий максимальное перемещение подвижного резбонакатного ролика.

Форма резьбовой части и точность размеров болтов зависят от условий формирования резьбы.

Одним из наиболее важных условий обеспечения качества при накатывании резьбы является правильный выбор режимов накатывания: усилия, скорости и величины подачи. Эти параметры в большей степени зависят от размеров накатываемой резьбы и механических свойств накатываемого материала.

Окружная скорость и радиальная скорости подачи формируют время процесса, что сказывается на точности и качестве накатываемой резьбы. Из производственного опыта накатывания резьбы круглыми роликами для сталей с временным сопротивлением разрыву $C_b < 60$ кг/кв. мм составляет 20-25 м/мин, а для легированных сталей 10-12 м/мин.

При увеличенной скорости и величине подачи наблюдается шелушение, и даже отслоение резьбы от тела детали при механических испытаниях.

При формировании резьбы болта без упора, отклонение основных диаметров резьбы от номинальных помимо влияния механических характеристик и среднего значения диаметра заготовки, существует зависимость и от параметров режима накатывания.

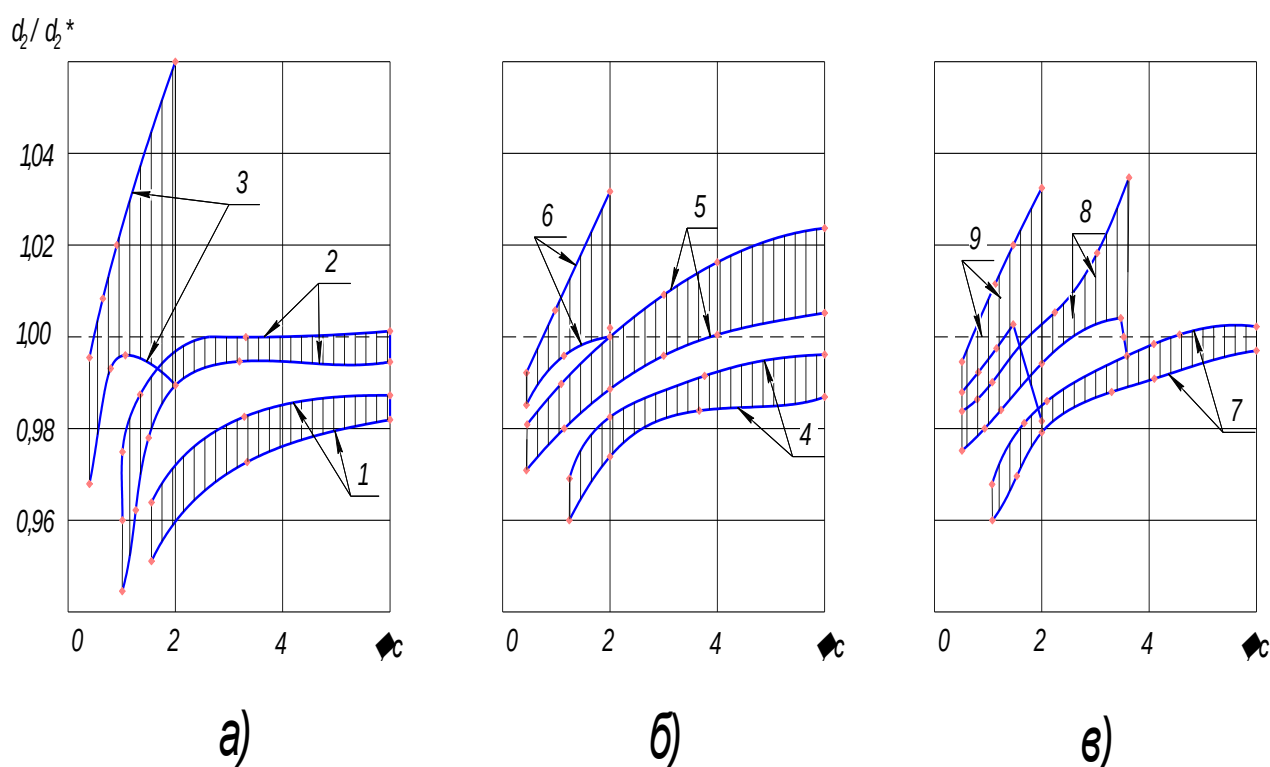


Рисунок 3.17 – Влияние продолжительности накатывания при разных режимах на средний диаметр резьбы

На рисунке 3.17 показан пример зависимости относительного среднего диаметра резьбы болта или шпильки d_2/d_2^* (d_2 , d_2^* — номинальное и фактическое значения диаметра резьбы болта или шпильки) от продолжительности процесса.

Заштрихованные поля характеризуют разброс размеров. При накатывании в заполненном контуре получены значения отношения $d_2/d_2^* > 1$. Подобный характер имеют зависимости отношения d_2/d_2^* от окружной скорости инструмента, скорости радиальной подачи и силы накатывания.

Важными значениями отклонения формы резьбового профиля являются овальность и конусообразность резьбы. Овальность сечения оценивают отношением $c = d_{2\max}/d_{2\min}$, а конусообразность отношением $K = (d_{2i} - d_{2j})/l_b$, где $d_{2\min}$ и $d_{2\max}$ — минимальный и максимальный средние диаметры резьбы в поперечном сечении, d_{2i} и d_{2j} — средние диаметры резьбы в сечениях i и j на расстоянии l_b между ними.

Таким образом, режимы накатывания и степень заполнения контура значительно влияют на образование внутренних и поверхностных дефектов накатываемой резьбы.

Анализ результатов исследований показал:

1. При накатывании без упора овальность и конусообразность резьбы увеличиваются при нарастании радиальной подачи роликов и почти не зависят от радиальной подачи роликов при накатывании на упоре станка;

2. Процесс накатывания в незаполненном контуре по отклонениям овальности и конусообразности резьбового профиля гораздо ниже, чем при процессе накатывания в заполненном.

Поскольку калибрование резьбы уменьшает её овальность и конусообразность (рисунок 3.18), при большой радиальной подаче накатывания резьбы необходимо обязательно предусмотреть её калибрование в течении $t_k = 1/n_3$ (где n_3 —частота вращения заготовки болта).

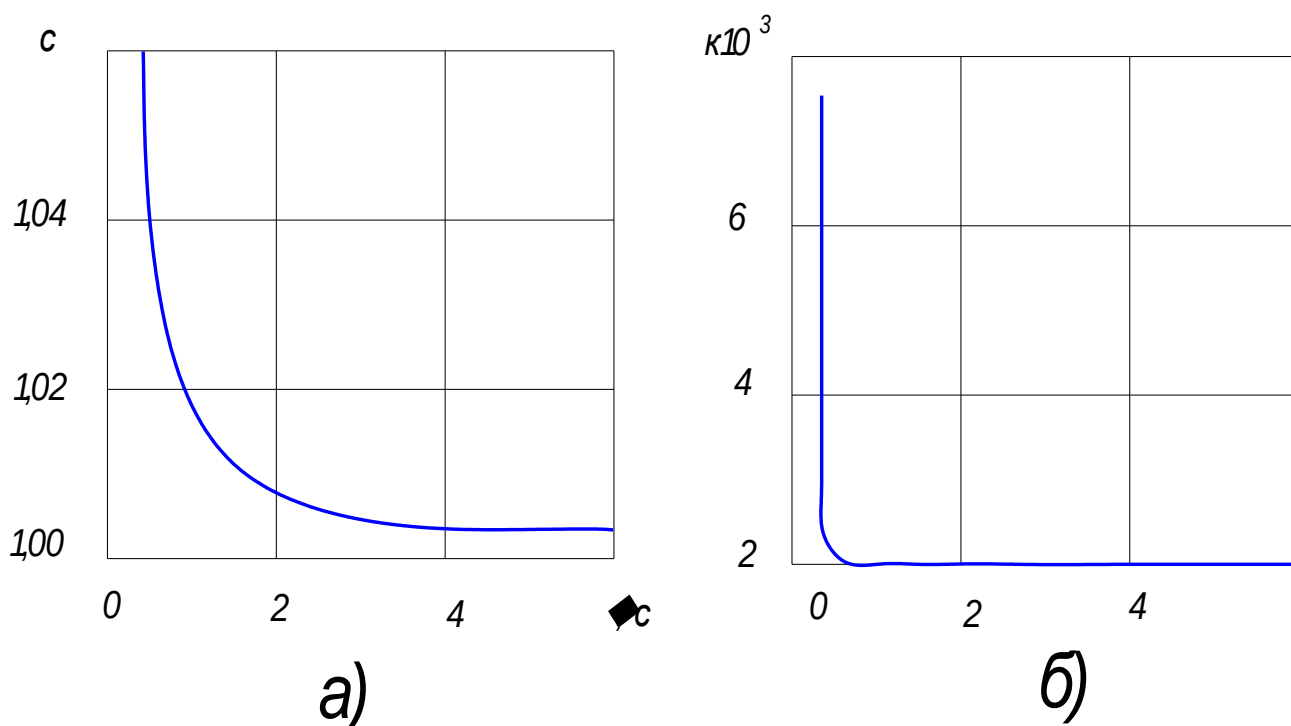


Рисунок 3.18 Зависимости овальности (а) и конусообразности (б) резьбы болта от продолжительности накатывания.

Для получения точной резьбы (при производстве высокоточных болтов и других крепёжных изделий) её нужно накатывать на станке с упором, исключая тем самым заполнение контура инструмента, при этом необходимо чтобы продолжительность процесса накатывания обеспечивала калибрование профиля резьбы на протяжении времени t_k .

3.4 Исследование влияния условий и режимов накатывания на физико-механические свойства резьбы

Эксплуатационные свойства деталей машин значительно обуславливаются физико-механическими параметрами рабочего поверхностного слоя деталей и геометрическими характеристиками микрорельефа поверхности. При процессе накатывания резьбы под действием пластической деформации происходит изменения физико-механических свойств поверхностного слоя металла. Образуется наклеп, повышающий прочность и твердость, появляются остаточные сжимающие напряжения с нужным распределением по сечению детали, происходит видоизменение формы и ориентации кристаллов, появляется волокнистая структура, протекает процесс образования карбидов, блокирующих дислокационные сдвиги и другие изменения. В результате этих превращений увеличивается сопротивление поверхностного слоя пластической деформации и разрушению.

На усталостную прочность деталей оказывает ещё большее влияние изменение физико-механических параметров поверхностного слоя металла заготовки в процессе резьбонакатывания. Циклическую прочность деталей в большей степени повышают наклеп поверхностного слоя, образующийся в процессе накатывания и текстура металла. Остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое металла этому также благоприятствуют.

Стоит обратить внимание, что в процессе накатывания резьбы происходит непрерывное относительное проскальзывание металла заготовки

относительно рабочей поверхности инструмента. По этой причине резьбы, полученные методом пластической деформации, имеют более высокий класс шероховатости поверхности профиля, чем шероховатость профиля резьбы, полученного методом шлифования. Наибольшая концентрации напряжений для высоконагруженных резьбовых деталей происходит в месте впадин профиля резьбы. Следовательно, для увеличения усталостной прочности необходимо стремиться максимально уменьшить минимальный параметр шероховатости поверхности для таких участков.

При исследовании влияния условий и режимов накатывания на микротвёрдость поверхностных слоёв резьбы болтов микротвёрдость измеряли на приборе ПМТ-3 методом вдавливания четырёхгранной алмазной пирамиды с нагрузкой 0,5 Н. Измерения проводились на продольных шлифах в районе третьего и четвертого витков от торца болта в сечении плоскостью проходящей через ось болта. Вдавливание делали на расстоянии 0,02 ... 0,03 мм от поверхности резьбы. Чтобы исключить влияние процесса изготовления шлифа на степень наклепываемости металла, образец болта разрезали, с предварительным шлифованием на малых подачах при обильном охлаждении поверхности шлифования, с последующим электролитическим полированием поверхности образца.

Анализ результатов показан на рисунке 3.19, где видно, что наибольшая микротвёрдость наблюдается в зонах стесненного деформирования во впадинах резьбы, а наименьшая – в зонах свободного течения металла, т.е. вблизи оси стержня и в витках резьбы) [1].

В случае накатывания резьбы в условиях незаполненного контура с небольшой радиальной подачей в поверхностных слоях на небольшой глубине локализуется наклеп (рисунок 3.19, а), характеризующийся высокой неоднородностью в пределах одного витка.

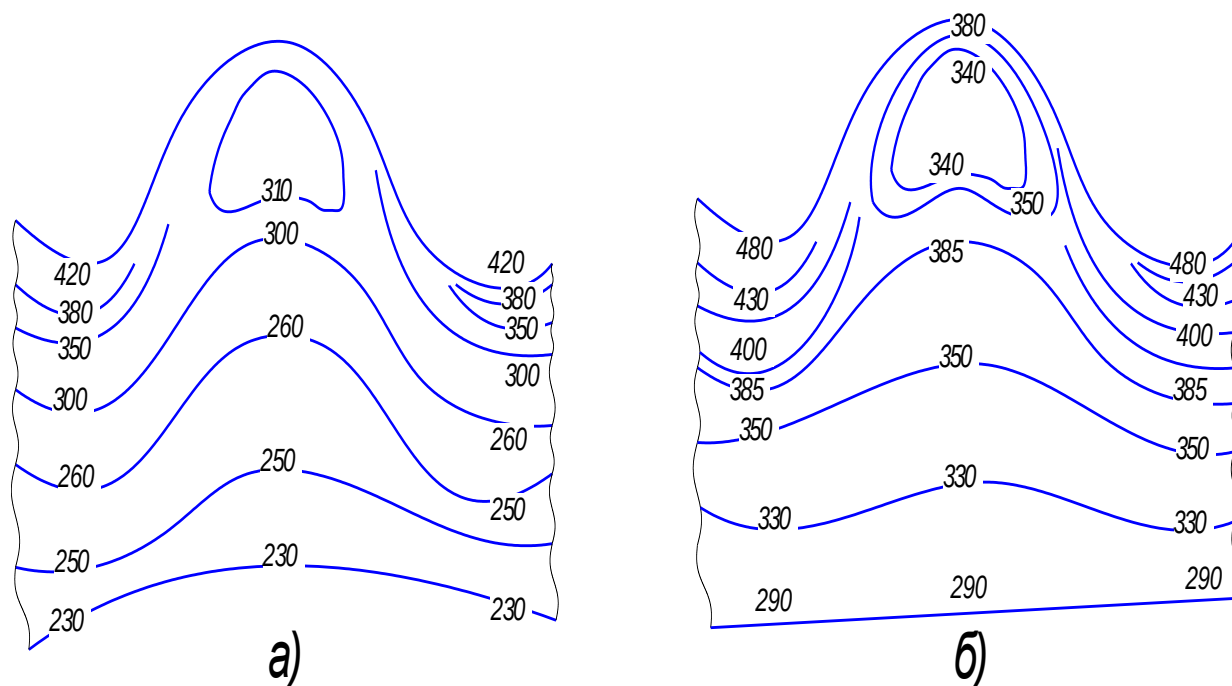


Рисунок 3.19 – Схема распределения микротвёрдости по продольному сечению резьбы

С увеличением радиальной подачи:

- возрастает глубина проникновения деформации в болт или шпильку;
- наблюдается повышение твердости металла в витке и сердцевине стержня болта.

Дополнительный наклеп поверхностных слоёв металла вызывает увеличение частоты вращения роликов и продолжительности накатывания.

3.5 Анализ влияния диаметра заготовки под накатывание резьбы на получаемый профиль резьбы

Одно из условий формирования резьбы, от которых зависит точность основных размеров, и форма резьбового профиля болтов является формирование резьбы с учетом средних значений диаметра заготовки и механические характеристики, впрочем, как и параметры режимов накатывания. Отсюда можно сделать вывод, что колебания диаметра

заготовки и давления в гидросхеме (в профиле накатных станках с гидравлической подачей инструментов) оказывают главное влияние на разброс размеров резьбы болтов.

Рассмотрим закономерности влияния диаметра заготовки под накатывание резьбы на получаемый профиль резьбы. Объектом данного анализа будет являться формирование профиля метрической резьбы накатыванием двумя роликами на упоре, применяемое в условиях производства. Упор обеспечивает высокую степень точности диаметров резьбы, уменьшая разброс диаметров резьбы за счет ограничения радиального перемещения роликов и обеспечивая тем самым максимальное значение силы накатывания.

Для исследования влияния диаметра заготовки под накатывание резьбы на получаемый профиль возьмем за пример рассмотренный ранее высокопрочный болт М20-90 кд ОСТ1-31103-80 с шестигранной головкой и увеличенным размером под ключ. Данный болт применяется в основном для соединения и крепления высоконагруженных резьбовых соединений стальных конструкций в авиастроении. Заготовка имеет следующие параметры: стержень длиной 90мм ($\pm 0,5$ мм) до головы имеет со стороны конца часть с правой резьбой М20 длиной 28мм, шагом 1,5 мм и полем допуска 6е под кадмиевое покрытие, а гладкая часть выполнена с диаметром, равным номинальному диаметру резьбы с допуском -0,75 и длиной 62 мм. Предельные размеры винтовой резьбы класса допуска 6е представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Предельные размеры винтовой резьбы M20x1,5 класса допуска 6e.

Наружный $\varnothing$		Средний $\varnothing$		Внутренний $\varnothing$
He >	He <	He >	He <	
19,650	19,315	18,026	17,856	16,944

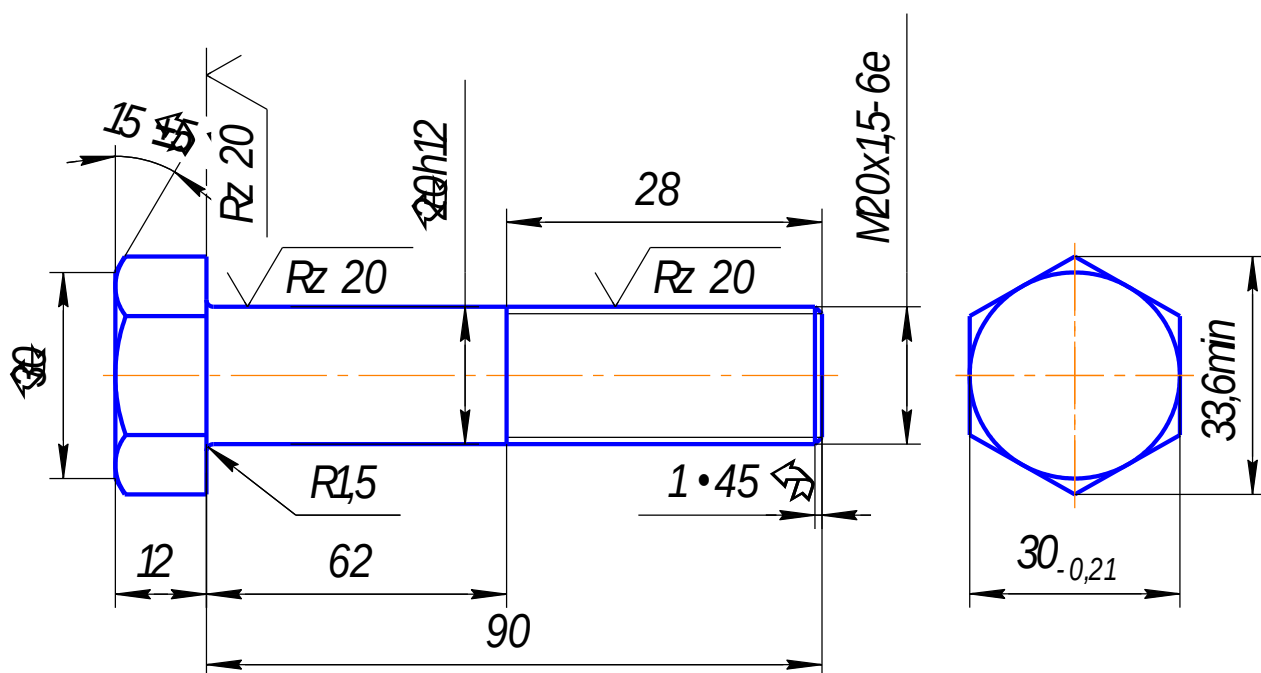


Рисунок 3.20 – Болт M20-90 кд ОСТ1-31103-80

С помощью CAD систем также можно определить диаметр заготовки при накатывании наружной и внутренней резьбы. Для этого необходимо построить 3D модели вершин и впадин накатываемой резьбы и добиться равенства их объемов (рисунок 3.21). Рассчитав диаметр под накатку из условия равенства объемов, получаем диаметр исходной заготовки равным 18,9 мм [13].



Рисунок 3.21 – Определение диаметра заготовки под накатывание резьбы M20x1,5 с помощью 3D моделирования.

Для выявления закономерности влияния диаметра заготовки на получаемый профиль резьбы нам необходимо найти рациональный диаметр под накатку. Для этого проведем несколько экспериментов с использованием полученного результата. Для эксперимента у образцов изменим диаметр участка под накатку $d_{\text{заг}}$ при изначально неизменяемой длине тела болта заготовки $L_{\text{нач}} = 90\text{мм}$. Результаты замеров приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Замеры экспериментальных результатов выбора диаметра под накатку $T_d = 236\text{ мкм}$

Диаметр заготовки под накатку $d_{\text{заг}}=19,1\text{ мм}$, $L_{\text{нач}}=90\text{ мм}$:					
Номер образца	№1	№2	№3	№4	№5
Двнутренний, мм	16,95	16,95	16,95	16,95	16,95
Днаружный, мм	19,9	19,85	19,95	19,85	19,9
L (длина), мм	90,1	90,1	90	90,1	90
Диаметр заготовки под накатку $d_{\text{заг}}=19\text{ мм}$, $L_{\text{нач}}=90\text{ мм}$:					
N образца	1	2	3	4	5

Продолжение таблицы 3.3

Двнутренний, мм	16,95	16,94	16,95	16,95	16,95
Днаружный, мм	19,7	19,6	19,75	19,7	19,65
L (длина), мм	90	90,1	90	90	90
Диаметр заготовки под накатку $d_{\text{заг}} = 18,95$ мм, $L_{\text{нач}} = 90$ мм:					
Номер образца	№1	№2	№3	№4	№5
Двнутренний, мм	16,95	16,94	16,94	16,94	16,94
Днаружный, мм	19,45	19,47	19,55	19,5	19,55
L (длина), мм	90	90	90	90	90
Диаметр заготовки под накатку $d_{\text{заг}} = 18,9$ мм, $L_{\text{нач}} = 90$ мм:					
Номер образца	№1	№2	№3	№4	№5
Двнутренний, мм	16,94	16,94	16,94	16,94	16,94
Днаружный, мм	19,4	19,47	19,55	19,42	19,45
L (длина), мм	90	90	90	90	90
Диаметр заготовки под накатку $d_{\text{заг}} = 18,85$ мм, $L_{\text{нач}} = 90$ мм:					
Номер образца	№1	№2	№3	№4	№5
Двнутренний, мм	16,94	16,94	16,94	16,94	16,94
Днаружный, мм	19,2	19,2	19,2	19,1	19,3
L (длина), мм	90	90	90	90	90

Из полученных данных, по данному разделу можно определить, что наилучший результат получен при значениях диаметра под накатку $d_{\text{заг}} = 18,95$ мм, при этом внутренние и наружные диаметры накатанной резьбы находятся в пределах допуска. Благодаря наличию упора заготовка болта воспринимает лишь необходимую часть усилия накатывания, так как перемещение ролика ограничено, следовательно, внутренний и средний диаметры резьбы болта оказываются практически независимыми от диаметра заготовки болта под накатывание. А вот наружный диаметр резьбы болта и

степень заполнения контура резьбы во многом зависят от отклонений значения диаметра заготовки болта под накатывание.

3.6 Исследование влияния поверхностных дефектов на качество резьбы

На основе анализа процесса накатки, сделанного в данном отчете, установлено, что в процессе накатки резьбы роликами в некоторых случаях наблюдается присутствие различных поверхностных дефектов, имеющие характер отслоений и неравномерностей на поверхности накатанной резьбы. Немаловажным фактором качественного образования резьбового профиля, несомненно, является наличие заготовки с соответствующей чистотой поверхности.

Для выявления причин образования отслоений была проведена серия экспериментов. А именно, моделирование влияния поверхностных дефектов на заготовке под накатывание на качество получаемой резьбы путем нанесения рисков и создания поверхностных трещин на заготовке. В эксперименте использовались заготовки с созданными искусственными рисками различной глубиной врезания, которые наносились на поверхностный слой участка заготовки под накатку с использованием резца на токарном станке. Накатку заготовки с риской осуществляли на двух роликовом резьбонакатном станке.

Анализ результатов экспериментов проводился визуальным методом (рисунок 3.22) и показал, что наличие нанесенной риски на поверхность заготовки способствует образованию поверхностных дефектов на накатанной резьбе в виде отслоений прямо пропорционально врезанной риски в поверхность заготовки.



Рисунок 3.22 – Отслоение на участке резьбы при накатывании в месте нанесения риски на заготовку

В конечном счете, экспериментальным методом установлено следующее: наличие поверхностных дефектов на заготовке, характеризующихся различными рисками и трещинами, влияет на образование отслоений и неравномерного заполнения контура на поверхности накатанной резьбы.

Заключение

Результаты проведенных в диссертационной работе исследований позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Разработана методика прогнозирования точности накатанной резьбы. В основу методики положен метод определения случайных погрешностей, возникающих в результате колебаний радиальной составляющей усилия накатывания, которые возникают по причине колебаний предела текучести σ_0 материала заготовки, диаметра d_0 и длины L исходной заготовки, коэффициента трения μ .

2. Используя программный комплекс «DEFORM-3D», в основу которого положен метод конечных элементов, выполнено моделирование процесса накатки резьбы болта М20-90 кд ОСТ1-31103-80 и определено напряженно-деформированное состояние и энергосиловые параметры. Используя результаты компьютерного моделирования, определялись случайные погрешности диаметра накатываемой резьбы Δd_σ , Δd_μ , Δd_{d_0} , Δd_L , возникающие при колебании технологических параметров (σ_0 , μ , d_0 , L), и вычислялась общая случайная погрешность, по которой оценивалась точность накатываемой резьбы. На основании выполненных расчетов установлено:

–Колебания внутреннего диаметра резьбы болта М20-90 кд ОСТ1-31103-80 наиболее чувствительны к колебаниям базисного сопротивления деформации σ_0 . Колебания коэффициента трения μ и диаметра d_0 исходной заготовки влияют на колебания внутреннего диаметра резьбы незначительно.

–Расчеты, выполненные для процесса накатки резьбы болта М20-90 кд ОСТ1-31103-80 из стали марки 30ХГСА накатыванием двумя приводными цилиндрическими роликами на станке А9518Б (завод ОАО «Авиакор», г. Самара), показали, что при коэффициенте жесткости $C = 500$ кН/мм суммарная погрешность внутреннего диаметра накатанной резьбы не

выходит за пределы регламентированного допуска: [-500 мкм, +500 мкм].

3. Анализ результатов комплексных исследований влияния параметров процесса накатывания резьбы болтов роликами показал:

- овальность и конусообразность резьбы при накатывании без упора увеличиваются при нарастании радиальной подачи роликов и практически не зависят от нее при накатывании на упоре;

- при накатывании в заполненном контуре овальность и конусообразность резьбы значительно выше, чем при накатывании в незаполненном контуре;

- для получения точной резьбы (при производстве высокоточных болтов и других крепёжных изделий) её следует накатывать на упоре станка, исключаящем заполнение контура инструментов, причём продолжительность накатывания должна обеспечивать калибрование резьбы в течение t_k .

- наибольшую микротвердость имеют зоны стесненного деформирования во впадинах резьбы, наименьшую — зоны свободного течения металла (например, в витках резьбы и вблизи оси стержня). А также выявлено, что с увеличением радиальной подачи возрастает глубина проникновения деформации в болт и повышается твёрдость металла в витке и сердцевине стержня резьбы болта. А увеличение частоты вращения роликов и продолжительности накатывания за счёт калибрования резьбы болтов вызывает дополнительный наклёп поверхностных слоев металла, повышающий твердость и прочность. Предложены практические рекомендации по технологии изготовления болта М20-90 кд ОСТ1-31103-80.

4. Исследованы закономерности влияния диаметра заготовки под накатывание резьбы на получаемый профиль резьбы накатыванием двумя роликами на упоре. Установлено, что вследствие ограничения наибольшего перемещения ролика упором, внутренний и средний диаметры резьбы болта оказываются практически независимыми от диаметра заготовки болта под

накатывание. А вот наружный диаметр резьбы болта и, как следствие, степень заполнения контура зависят от отклонения значений диаметра заготовки болта под накатывание. Рассчитан диаметр под накатку исходной заготовки из условия равенства объемов, который равен 18,9 мм. Экспериментальным путем выявлен рациональный диаметр под накатку $d_{заг} = 18,95$ мм, обеспечивающий наибольшее соответствие пределов допуска внутренних и наружных диаметров накатанной резьбы.

5. Проведенные эксперименты показали, что немаловажным фактором качественного образования резьбового профиля несомненно является наличие заготовки с соответствующей чистотой поверхности, исключающее образование поверхностных дефектов в виде отслоений и неравномерностей на поверхности сформированной резьбы.

6. Скорректирован технологический процесс накатки резьбы на болтах М20-90кдОСТ1-31103-80, так как в ходе практики на ОАО «Авиакор» было выявлено, что процесс обработки заготовки состоящий из операции холодной штамповки на комплексном оборудовании ЛЗ46.31.100 (Комплекс автоматический для холодной штамповки) не позволяет получить необходимую чистоту поверхности и точность размеров заготовки, вследствие естественного износа оборудования и оснастки. Поэтому было предложено добавить в существующий технологический процесс после операции холодной штамповки операцию шлифовки наружного диаметра заготовки до $d_{заг} = 18,95$ мм (выявленных в п. 3.5). Данное решение основывалось на конкретных условиях производства (отсутствие возможности модернизации оборудования и наличие бесцентрового круглошлифовального универсального станка 3М182 для шлифовки). С проведением промышленного опробования и дальнейшим утверждением выполненных разработок в условиях ОАО «Авиакор».

7. По материалам ранее проведенных исследований, опубликована статья в рецензируемом высокорейтинговом издании.

Список используемой литературы:

1. Андреев А.М. Графоаналитический метод определения радиальных усилий накатки резьбы [Текст] // А.М. Андреев, А.З. Журавлев, Э.П. Луговой // Кузнечно-штамповочное производство. – 1979. - №11. - 7-9 с.
2. Андреюк Л.В. Об учете упрочнения стали при дробной деформации [Текст] / Л.В. Андреюк, Г.Г. Тюленев / Сталь, 1969, № 5. - 245-249 с.
3. Ардеев Ж.А. Исследование процесса накатывания резьбы роликами [Текст]// Ж.А. Ардеев // Вестник машиностроения. 1980. -№11. - С. 65-67.
4. Биргер И.А. Резьбовые соединения [Текст] / И.А. Биргер, Г.Б. Иосилевич / М.: Машиностроение, 1973.-256 с.
5. Грубое А.А. Силы при накатывании резьб [Текст] // А.А. Грубое, П.Н. Комаров // Станки и инструмент. 1981. - №1. - С.19-21.
6. Грудов А.А. Силы при накатывании резьб [Текст] // А.А. Грудов, П.Н. Комаров // Станки и инструмент. – 1981. - №1. - 19-21 с.
7. Губин А.П. Накатывание резьбы роликами [Текст] / А.П. Губин / М.: Машгиз. - 1947.
8. Дейнеко В.Г. Новые способы непрерывного накатывания резьбы и других профилей [Текст] / В.Г. Дейнеко / М.: Машгиз, 1961. - 159 с.
9. Железков О.С. Оценка эффективности процессов пластического формоизменения по критерию минимальной неравномерности деформации [Текст] // О.С. Железков, Е.Ю. Чуйко, Ф.Ф. Гатин, С.О. Железков // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2009. № 5. С. 31-34.
10. Железков О.С. Совершенствование конструкции инструмента для накатки резьбы на путевых шурупах [Текст] // О.С. Железков, С.О. Железков // Сталь, № 3, 2009. С. 88.
11. Загурский В.И. Автоматизированное производство резьбовых крепежных изделий [Текст] / В.И. Загурский / М.: Машгиз, 1962. - 121 с.
12. Загурский В.И. Прогрессивные способы обработки резьбы [Текст] /

В.И. Загурский / М.: Машгиз, 1960. - 125 с.

13.Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О.К. Зенкевич / М.: Мир, 1975. - 541 с..

14.Качанов Л.М. Основы теории пластичности [Текст] / Л.М. Качанов / М.:Наука. 1969. – 420 с.

15.Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением [Текст] / В.Л. Колмогоров / М.: Металлургия, 1986. - 688 с.

16.Миропольский Ю.А. Исследование прессов-автоматов для объемной штамповки [Текст] / Ю.А. Миропольский / М.: Машиностроение, 1968. - 155 с.

17.Миропольский Ю.А. Накатывание резьб и профилей [Текст] / Ю.А. Миропольский, Э.П. Луговой / М.: Машиностроение. - 1976. - 175 с.

18.Миропольский Ю.А., Насонов А.Н. Технология и оборудование для накатывания резьб и профилей [Текст] // Ю.А. Миропольский, А.Н. Насонов А.Н. // Кузнечно-прессовое машиностроение. - Серия С.-Ш., М., НИИМАШ. - 1971. - 175 с.

19.Мокринский В.И. Повышение прочности, точности и стойкости крепежных изделий [Текст] // В.И. Мокринский, О.С. Железков // Черная металлургия: Бюл. Ин-та Черметинформация. 1987. -№ Ц. - С. 19-32.

20.Никифоров А.Д. Точность и технология изготовления метрических резьб [Текст] / А.Д. Никифоров / М.: Высшая школа, 1963. - 180 с.

21. Остапенко А.Л. Сопротивление деформации стали при прокатке и методики его расчета [Текст] / А.Л. Остапенко, Л.А. Забира / Бюлл. ин-та «Черметинформация», 2009, 70 №3. - 54-79 с.

22.Отраслевой стандарт ОСТ1-31103-80 Болты с шестигранной головкой [Текст] / Распоряжение министерства от 30 октября 1980 года №087-16. – 38 с.

23.Писаревский М.И. Накатывание точных резьб и шлицев [Текст] / М.И. Писаревский / М.-Л.: Машгиз, 1963. - 180 с.

- 24.Писаревский М.И. Накатывание точных резьб, шлицев и зубьев [Текст] / М.И Писаревский / Л.: Машиностроение. - 1973. - 200 с.
- 25.Писаревский М.И. Новый инструмент для накатывания резьб и шлицев [Текст] / М.И. Писаревский / М.- Л.: Машиностроение, 1966. - 152 с.
- 26.Писаревский М.И., Новое в технологии накатывания резьб, шлицев и зубьев [Текст] / М.И. Писаревский, В.И. Самсонов / ЛДНТП, 1978. - 20 с.
- 27.Сегерлинд Л.Д. Применение метода конечных элементов [Текст] / Л.Д. Сегерлинд / М.: Мир, 1979. - 240 с.
- 28.Смирнов-Аляев Г.А. Теория пластических деформаций металлов [Текст] / Г.А. Смирнов-Аляев, В.М. Розенберг / М.: Машгиз, 1956. - 368 с.
- 29.Таурит Г.Э. Прогрессивные процессы резьбоформирования [Текст] / Г.Э. Таурит, Е.С. Пуховский, С.С. Добрянский / Киев: Техшка, 1975.- 240 с.
- 30.Тетерин П.К. Теория поперечно-винтовой прокатки [Текст] / П.К. Тетерин / М.: Металлургия, 1971. - 367 с..
- 31.Усов В.П. Кинематика пластического течения металла при деформировании резьбового профиля [Текст] // В.П. Усов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1977. - №9. - 16 с.
- 32.Фрумин Ю.Л. Высокопроизводительный резьбообразующий инструмент [Текст] / Ю.Л. Фрумин / Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение. - 1977. - 183с.
- 33.Хостиков М.З. Исследование силовых зависимостей процесса накатывания резьб тангенциальными головками [Текст] // М.З. Хостиков // Прогрессивный режущий инструмент. Высокопроизводительное резание. М. - 1978. - С. 48-70.
- 34.Щукин В.Я. Новое в поперечно-клиновой прокатке [Текст] / В.Я. Щукин, Г.В. Кожевников, А.О. Рудович / Кузнечно-штамповочное производство, 1999, № 3. - 35-37 с.
- 35.Якухин В.Г. Изготовление резьбы: Справочник [Текст] / В.Г. Якухин, В.А. Ставров / М.: Машиностроение, 1989.- 192 с.

- 36.Якухин В.Г. Оптимальная технология изготовления резьб [Текст] / В.Г. Якухин / М.: Машиностроение, 1985.- 184 с.
- 37.Ямамото А. Усилие накатывания и расчет межцентрового расстояния накатных роликов [Текст] // А. Ямамото, К. Акаси, И. Есимото // Перевод ВИНТИ № 52847/5. Статья из журнала «Никой кикай гаккай ромбунсю». – 1960. - № 166. - С. 813 – 826.
- 38.Bathe K. J. Finite Element Procedures [Text] / K. J. Bathe / Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1995.
- 39.Cook, R. D., D. S. Malkus, and M. E. Plesha. Concepts and Applications of FiniteElement Analysis (3rd ed.) [Text] / R. D. Cook, D. S. Malkus, and M. E. Plesha / John Wiley & Sons, New York, NY, 1989.
- 40.Forres T. The Cold Rolling of Spline Shafts [Text] // T. Forres // Australian Machinery and Production Engineering. - October, 1966.
- 41.Hughes, T. J. The Finite Element Method–Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis [Text] / T. J. Hughes / Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1987.
- 42.Jamamoto A. Investigations on thread rolling [Text] // A. Jamamoto, I. Joshimoto// Bulletin of the Tokyo Institute of Technology. – 1961. - N 40. - P. 141-145.
- 43.Jamamoto A. Investigations on thread rolling [Text] //A Jamamoto // Bulletin of the Tokyo Institute of Technology. – 1959. - N 2. - Ser. B. - P. 27-34.
- 44.Montag G, Arbeit und Machinengrundzeit beim Gewindewalzen zwei Rollen im Einstechverfahren [Text] // G. Montag, D. Kraft König // Fertigungstechnik und Betrieb. – 196. - S. 227-230.
- 45.Turner L.J. Stiffness and deflection analysis of complex structures // L.J. Turner, R.W. Clough, Martin, L.J. Topp [Text] // J. Aeronaut Sci., 1956, v. 23, № 9, p. 805-824.



СЕРТИФИКАТ участника

XVIII международная студенческая заочная
научно-практическая конференция

«Научное сообщество студентов XXI столетия»

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Телевных Александр Сергеевич

Научная работа:

«Анализ влияния диаметра заготовки под
накатывание резьбы на получаемый профиль
резьбы»

Научный руководитель:

Бобровский Николай Михайлович

Председатель оргкомитета
канд. мед. наук, д-р психол. наук
профессор, академик
Международной академии наук
педагогического образования



И.В. Дмитриева

Новосибирск
2017 год

Рисунок А.1 – Сертификат, участника АНС «Сибак».



СибАК
www.sibac.info

ISSN 2542-0011

**XVIII СТУДЕНЧЕСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

№ 7(18)



**НАУЧНОЕ СООБЩЕСТВО СТУДЕНТОВ:
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ**

г. НОВОСИБИРСК, 2017



НАУЧНОЕ СООБЩЕСТВО СТУДЕНТОВ. МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Электронный сборник статей по материалам XVIII студенческой
международной заочной научно-практической конференции*

№ 7 (18)
Апрель 2017 г.

Издается с декабря 2011 года

Новосибирск
2017

УДК 08
ББК 94
Н 34

Председатель редколлегии:

Дмитриева Наталья Витальевна – д-р психол. наук, канд. мед. наук, проф., академик Международной академии наук педагогического образования, врач-психотерапевт, член профессиональной психотерапевтической лиги.

Редакционная коллегия:

Андреева Любовь Александровна – канд. юрид. наук;
Ахмеднабиев Расул Магомедович – канд. техн. наук;
Ахметов Сайранбек Махсutowич – д-р техн. наук;
Волков Владимир Петрович – канд. мед. наук;
Гужавина Татьяна Анатольевна – канд. филос. наук;
Елисеев Дмитрий Викторович – канд. техн. наук;
Карпенко Виталий Евгеньевич – канд. филос. наук;
Корвет Надежда Григорьевна – канд. геол.-минерал. наук;
Купченко Константин Владимирович – канд. ист. наук;
Ле-ван Татьяна Николаевна – канд. пед. наук;
Леонидова Галина Валентиновна – канд. экон. наук;
Павловец Татьяна Владимировна – канд. филол. наук;
Прошин Денис Владимирович – канд. ист. наук;
Рысмамбетова Галия Мухашевна – канд. биол. наук;
Сальникова Кристина Владимировна – канд. экон. наук;
Соловенко Игорь Сергеевич – канд. ист. наук;
Сүлеймен Ерлан Мэлсұлы – канд. хим. наук;
Сүлеймен (Касымканова) Райгүл Нұрбекқызы – PhD по специальности «Физика»;
Харченко Виктория Евгеньевна – канд. биол. наук;
Юманова Наталья Николаевна – канд. экон. наук;
Яковичина Татьяна Федоровна – канд. с.-х. наук;
Якушева Светлана Дмитриевна – канд. пед. наук.

Н34 «Научное сообщество студентов. Междисциплинарные исследования»:
Электронный сборник статей по материалам XVIII студенческой международной научно-практической конференции. – Новосибирск: Изд. АНС «СибАК». – 2017. – № 7 (18) / [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: [http://www.sibac.info/archive/science/7\(18\).pdf](http://www.sibac.info/archive/science/7(18).pdf).

Электронный сборник статей по материалам XVIII студенческой международной научно-практической конференции «Научное сообщество студентов. Междисциплинарные исследования» отражает результаты научных исследований, проведенных студентами учреждений высшего и среднего профессионального образования.

Данное издание будет полезно студентам, магистрам, исследователям и всем интересующимся актуальным состоянием и тенденциями развития современной науки.

Электронный сборник статей «Научное сообщество студентов. Междисциплинарные исследования»: включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ББК 94

ISSN 2542-0011

© АНС «СибАК», 2017 г.

СЕКЦИЯ
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДИАМЕТРА ЗАГОТОВКИ ПОД НАКАТЫВАНИЕ
РЕЗЬБЫ НА ПОЛУЧАЕМЫЙ ПРОФИЛЬ РЕЗЬБЫ**

Телевных Александр Сергеевич
студент, кафедра оборудования
и технологии машиностроительного производства ТГУ,
РФ, г.Тольятти
E-mail: th07070808@yandex.ru

Бобровский Николай Михайлович
научный руководитель, д-р техн. наук, профессор ТГУ,
РФ, г. Тольятти

В современной промышленности широкое применение находят стержневые крепежные изделия с резьбой (болты, винты, шпильки и т. п.). Особенно важную роль данные изделия играют в авиационном строении. В наше время формирование резьбы при массовом производстве изделий осуществляют пластическим деформированием (накатыванием). Применение данного метода накатывания для наружных резьб позволяет обеспечить увеличение производительности труда примерно в 3-5 раз, снизить шероховатость поверхности резьбы, метод накатывания приводит к существенной экономии металла, а также к увеличению надежности и долговечности деталей в несколько раз. При сравнении процесса накатывания и обработки резанием, выявляется ряд преимуществ. Процесс накатывания, по сравнению с обработкой резанием, приводит к высокой производительности, возможности получения более точных размеров резьбы, а так же к повышению усталостной прочности получаемых деталей.

В любой сфере производства есть узкие места, которые необходимо устранять для более эффективного функционирования производства. При производстве деталей типа болт процесс накатки в технологии изготовления требует особого внимания. Процесс накатывания резьбы болтов роликами

происходит в три стадии: профилеобразование, калибрование и сбег (сбрасывание). Стадия профилеобразования состоит из формирования профиля резьбы на заготовке. На второй фазе, фазе калибрования резьбы, отсутствуют внедрения профиля инструмента в тело заготовки, данная фаза направлена на увеличение точности резьбы. Третья стадия – это сбег. На этой стадии происходит выведение профиля инструмента из уже полученного профиля заготовки, так же данная стадия способствует сохранению достигнутого результата на предыдущих фазах. Такая фаза помогает максимально исключить негативное влияние упругих деформаций системы на качество сформированной резьбы.

В наше время наиболее известный и распространенный способ накатывания роликами является накатывание с радиальной подачей роликов. Этот метод известен применением самой простейшей оснастки и инструментов. Одна из часто используемых схем этого метода – это схема накатывания на ноже двумя вращающимися роликами, один из которых имеет радиальную подачу. Существуют несколько условий формирования резьбы, от которых зависит точность основных размеров, и форма резьбового профиля болтов. При формировании резьбы нужно учитывать не только средние значения диаметра заготовки и механические характеристики, но и параметры режимов накатывания. Для получения точной резьбы, в производстве болтов имеющих повышенный класс точности и других изделий подобного типа, необходимо произвести накатывание на упоре станка. Данное действие поможет исключить заполнение контура инструмента и предотвратить раздавливание заготовки при больших усилиях. Также стоит взять во внимание, что продолжительность накатывания должна обеспечивать калибрование накатываемой резьбы.

Цель работы заключается в исследовании закономерности влияния диаметра заготовки под накатывание резьбы на получаемый профиль резьбы. Объектом исследования будет являться формирование профиля метрической резьбы накатыванием двумя роликами, как наиболее широко применяемое в машиностроении.

Для исследования влияния диаметра заготовки под накатывание резьбы на получаемый профиль возьмем за пример шестигранный болт М20×137 10.9 хим.фос 10-15ГОСТ-Р52644-2006 (рис.1) с шестигранной головкой и увеличенным размером под ключ. Данный болт применяется в основном для соединения и крепления высоконагруженных резьбовых соединений стальных конструкций в авиастроении. Заготовка имеет следующие параметры: профиль метрической резьбы с наружным диаметром 20 мм и шагом 1,5 мм. Предельные размеры винтовой резьбы класса допуска баз представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Предельные размеры винтовой резьбы М20х1,5 класса допуска баз

Наружный диаметр		Средний диаметр		Внутренний диаметр
Не более	Не менее	Не более	Не менее	
19,650	19,315	18,026	17,856	16,944

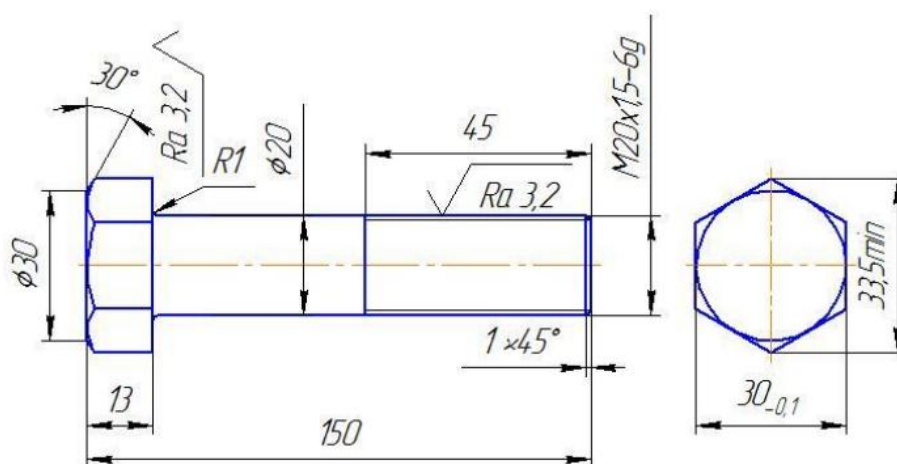


Рисунок 1. Болт М20×137 10.9хим.фос10-15ГОСТ-Р52644-2006

По предварительным расчетам диаметра под накатку из условия равенства объемов выявили диаметр исходной заготовки, который равен 18,9 мм.

Для выявления закономерности влияния диаметра заготовки на получаемый профиль резьбы нам необходимо найти рациональный диаметр под накатку. Для этого проведем несколько экспериментов с использованием полученного

результата. Для эксперимента у образцов изменим диаметр участка под накатку при неизменяемой длине заготовки - 150 мм, и длине тела болта – 92 мм. Результаты замеров приведем в таблице 2.

Таблица 2.**Результаты экспериментов по выбору диаметра под накатку $Td=236\text{мкм}$**

Диаметр под накатку $d_n=19,1\text{ мм}$:					
№ образца	1	2	3	4	5
Двн., мм	16,95	16,95	16,95	16,95	16,95
Днар, мм	19,9	19,85	19,95	19,85	19,9
L, мм	150,1	150	150	150,1	150
Диаметр под накатку $d_n=19\text{ мм}$:					
№ образца	1	2	3	4	5
Двн, мм	16,95	16,94	16,95	16,95	16,95
Днар, мм	19,7	19,6	19,75	19,7	19,65
L, мм	150	150	150	150	150
Диаметр под накатку $d_n = 18,95\text{ мм}$:					
№ образца	1	2	3	4	5
Двн, мм	16,95	16,94	16,94	16,94	16,94
Днар, мм	19,45	19,47	19,55	19,5	19,55
L, мм	150	150	150	150	150
Диаметр под накатку $d_n=18,9\text{ мм}$:					
№ образца	1	2	3	4	5
Двн, мм	16,94	16,94	16,94	16,94	16,94
Днар, мм	19,4	19,47	19,55	19,42	19,45
L, мм	150	150	150	150	150
Диаметр под накатку $d_n = 18,85\text{ мм}$:					
№ образца	1	2	3	4	5
Двн, мм	16,94	16,94	16,94	16,94	16,94
Днар, мм	19,2	19,2	19,2	19,1	19,3
L, мм	150	150	150	150	150

Из полученных данных, по нашей работе можно определить, что наилучший результат получен при значениях диаметра под накатку $d_n = 18,95\text{ мм}$, при этом внутренние и наружные диаметры накатанной резьбы находятся в пределах допуска. Тем самым можно прийти к выводу, что если ограничить

перемещение ролика упором, то внутренний и средний диаметр резьбы болта практически не зависит от диаметра заготовки болта. А наружный диаметр резьбы болта и, как следствие, степень заполнения контура зависят от отклонения значений диаметра заготовки болта под накатывание.

Список литературы:

1. Киричек А.В., Афонин А.Н. Исследование напряженно-деформированного состояния резьбонакатного инструмента и заготовки методом конечных элементов текст. // СТИН, 2007, № 7. С. 21-25.
2. Моделирование процесса накатывания резьб с радиальной подачей в DEFORM 3D / А.В. Киричек, А.Н. Афонин, А.Г. Апальков, Д.А. и др.// Известия ОрелГТУ. Машиностроение. Приборостроение, 2008, № 2-3/270 (545). - С. 39-44.
3. ГОСТ 19256-73. Стержни под накатывание метрической резьбы. Диаметры [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-19256-73> (Дата обращения 28.03.2017).