
Министерство образования и науки Российской Федерации

УДК 621.992.7
ГРНТИ 55.16.18
Инв. №

УТВЕРЖДЕНО:

Исполнитель:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

От имени Руководителя организации
Ректор
_____/Колокольцев В.М./
М.П.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

о выполнении 3 этапа Государственного контракта
№ 14.740.11.0684 от 12 октября 2010 г. и Дополнению от 12 июля 2011 г. № 1

Исполнитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Программа (мероприятие): Федеральная целевая программа «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., в рамках реализации мероприятия № 1.3.2 Проведение научных исследований целевыми аспирантами.

Проект: Теоретические и экспериментальные исследования механики процесса накатки крупной резьбы

Руководитель проекта:

_____/Железков Сергей Олегович
(подпись)

**Магнитогорск
2011 г.**

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ
по Государственному контракту № 14.740.11.0684 от 12 октября 2010 г.
на выполнение поисковых научно-исследовательских работ для государ-
ственных нужд

Организация-Исполнитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова"

Руководитель те-
мы:

без ученой степе- _____ Железков С. О.
ни, без ученого _____
звания подпись, дата

Исполнители те-
мы:

без ученой степе- _____ Малаканов С. А.
ни, без ученого _____
звания подпись, дата

без ученой степе- _____ Семашко В. В.
ни, без ученого _____
звания подпись, дата

без ученой степе- _____ Тонеев П. К.
ни, без ученого _____
звания подпись, дата

без ученой степе- _____ Морозов К. Ю.
ни, без ученого _____
звания подпись, дата

без ученой степе- _____ Ханафина В. А.
ни, без ученого _____
звания подпись, дата

Реферат

Отчет 25 с., 4 ч., 11 рис., 1 табл., 5 источн., 1 прил.

«Резьба , накатка резьбы , путевые шурупы , рациональные режимы накатки , линия горячей накатки плоскими плашками»

В отчете представлены результаты исследований, выполненных по 3 этапу Государственного контракта № 14.740.11.0684 "Теоретические и экспериментальные исследования механики процесса накатки крупной резьбы" (шифр "2010-1.3.2-111-017") от 12 октября 2010 по направлению "Проведение научных исследований целевыми аспирантами по следующим областям: - математика;- механика;- информатика" в рамках мероприятия 1.3.2 "Проведение научных исследований целевыми аспирантами.", мероприятия 1.3 "Проведение научных исследований молодыми учеными - кандидатами наук и целевыми аспирантами в научно-образовательных центрах", направления 1 "Стимулирование закрепления молодежи в сфере науки, образования и высоких технологий." федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.

Цель работы - изучение физико-механических явлений в процессах формирования резьбы пластическим деформированием и получение новых научных знаний о закономерностях механики процессов накатки наружной резьбы в зависимости от особенностей применяемых технологий и конструктивного исполнения резьбоформирующего инструмента, разработка методик поиска эффективных режимов деформирования, обеспечивающих получение качественной резьбы и повышение износостойкости инструмента

Компьютерное и натурное моделирование, опробование результатов исследования в промышленных условиях

Интернет ресурсы российской и международной патентных организаций, персональный компьютер, сеть интернет, специализированные периодические издания, сканирующий электронный микроскоп «JEON 6490LV»

Используя программный комплекс «DEFORM-3D», выполнено компьютерное моделирование процесса накатки резьбы на путевых шурупах.

Проведены экспериментальные исследования процесса горячей и холодной накатки резьбы на путевых шурупах.

Предложено создать линию для горячей накатки путевых шурупов с использованием модернизированного накатного станка А2424.

Содержание

Введение.....	5
Основная часть.....	6
3. Определение рациональных режимов накатывания крупной резьбы. Опробование результатов исследования в промышленных условиях.....	6
3.1. Разработка рекомендаций по выбору рациональных конструктивно-технологических параметров, обеспечивающих высокую точность накатанной резьбы.....	6
3.2. Опробование результатов исследования в условиях ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ».....	12
3.3. Моделирование процесса возникновения закатов при накатке плашками крупной резьбы.....	15
3.4. Оценка технико-экономической эффективности.....	19
Заключение.....	21
Список использованных источников.....	23
Приложение.....	24

ВВЕДЕНИЕ

При формировании резьбы на стержневых изделиях наибольшее применение находят способы накатки цилиндрическими роликами, плоским инструментом (плашки) и - инструментом «ролик-сегмент» (планетарная накатка). Кроме того, накатку резьбы можно осуществлять либо холодным деформированием без нагрева заготовки, либо горячей накаткой. Поэтому задача определения наиболее эффективного способа формирования резьбы с учетом конструкции стержневого изделия и технических возможностей предприятия является важной и актуальной.

После выбора конкретного способа встает задача определения рациональных режимов процесса накатки (диаметр участка исходной заготовки под накатку, температура нагрева заготовки, жесткость силовой системы резбонакатного станка, диапазоны колебаний температуры T нагрева, базисного сопротивления деформации σ_0 исходной заготовки, коэффициента трения μ , диаметра d_0 исходной заготовки, отсутствие наружных и внутренних дефектов металла и др.). Решение этой задачи обеспечивает получение точной и качественной резьбы.

Выбор способа накатки путевых шурупов и определение рациональных режимов деформирования должны базироваться на соответствующих расчетах экономической эффективности разрабатываемых технических решений.

Основная часть

3. Определение рациональных режимов накатывания крупной резьбы.

Опробование результатов исследования в промышленных условиях.

3.1. Разработка рекомендаций по выбору рациональных конструктивно-технологических параметров, обеспечивающих высокую точность накатанной резьбы.

На основании ранее проведенных исследований, результаты которых изложены в отчетах по этапам 1 и 2 данной работы и публикациях [1-4], установлено:

1. Минимальная скорость проскальзывания заготовки относительно инструмента имеет место при планетарной накатке резьбы с использованием инструмента «ролик-сегмент». При накатке путевых шурупов плоскими плашками этот параметр возрастает на 13...17 %, а при накатке цилиндрическими роликами - в 2,5...3,5 раза. Учитывая то обстоятельство, что инструмент для планетарной накатки существенно сложнее и дороже инструмента в виде плоских плашек, следует считать наиболее эффективной технологией накатки путевых шурупов накатку плашками.

2. В процессе накатки резьбы на путевых шурупах в зонах, примыкающих к оси заготовки, возникают растягивающие напряжения, которые при определенных условиях (наличие внутренних дефектов металлургического происхождения, неблагоприятная структура в результате перегрева и др.) приводят к образованию рыхлостей и пустот в центральных зонах накатанных участков.

3. В процессе горячей накатки резьбы путевых шурупов тремя роликами происходит закручивание накатываемого участка. Угол закручивания на каждом шаге резьбы (12,5 мм) составляет $\approx 43...47^\circ$. Закручивание следует считать отрицательным фактором, так как при этом расходуется дополни-

тельная энергия ($\approx 95 \div 105$ дж на каждом шаге). Закручивание не наблюдается при накатке плоскими плашками.

4. Резьба на путевых шурупах, формируемая горячей накаткой тремя роликами, соответствует требованиям нормативно-технической документации при значениях диаметра заготовки под накатку в пределах 21,5- 21,6 мм и температуре нагрева в диапазоне 1000 - 1100 °С качество резьбы соответствует требованиям нормативно-технической документации. При перегреве заготовки происходят неблагоприятные структурные изменения металла (видманштетт 3 балла и крупное зерно 4-5 баллов), что в ряде случаев приводит к образованию трещин и пустот в зонах, примыкающих к оси заготовки, при накатке резьбы.

5. Колебания размеров накатанных резьб путевых шурупов наиболее чувствительны к колебаниям температуры T нагрева и базисного сопротивления деформации σ_0 исходной заготовки. Колебания коэффициента трения μ и диаметра d_0 исходной заготовки влияют на колебания внутреннего диаметра резьбы незначительно. При коэффициенте жесткости силовой системы «станок-инструмент-заготовка» $C \geq 500$ кН/мм суммарная погрешность внутреннего диаметра накатанной резьбы не выходит за пределы регламентированного допуска: [-500 мкм, +500 мкм].

Анализируя вышеотмеченное можно вывод: горячая накатка плоскими плашками при выполнении определенных условий (температура нагрева 1000 - 1100 °С, диаметр исходной заготовки 21,5÷21,6 мм, отсутствие наружных и внутренних дефектов металла, жесткости силовой системы $C \geq 500$ кН/мм, диапазоны колебаний параметров T , σ_0 , μ , d_0 и др.) обеспечивает получение качественной резьбы, отвечающей требованиям нормативно-технической документации.

Совместно со специалистами ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ» оценивалась возможность горячей накатки

резьбы на путевых шурупах с использованием комплекса горячей поперечно-клиновой прокатки, который разработан в Физико-техническом институте Национальной академии наук Беларуси совместно с СООО «АМТ-Инжиниринг» (г.Минск) [5]. Схема комплекса представлена на рис.3.1. Комплекс включает генератор ТВЧ 1, стеллаж 2 для пруткового материала, индукционный нагреватель 3, отрезную машину 4, механизм передачи 5 стан поперечно-клиновой прокатки 6 с гидравлическим приводом.

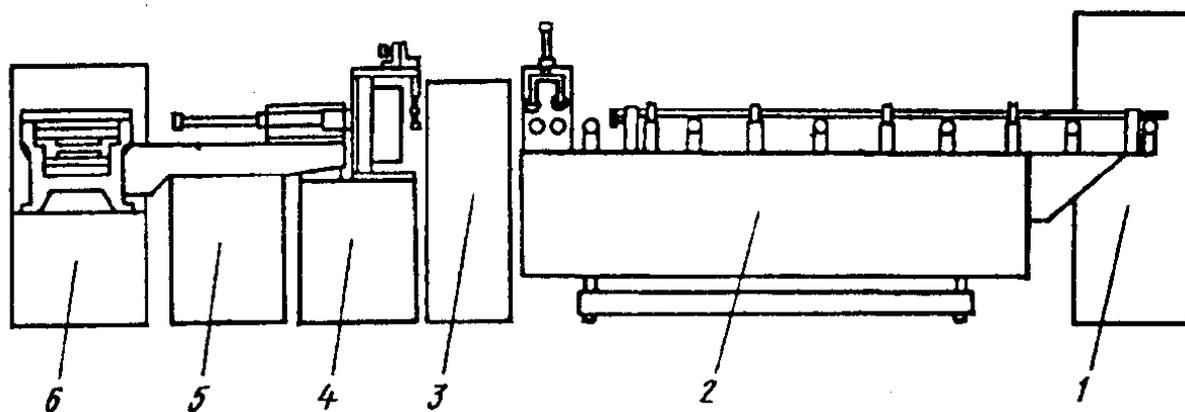


Рис.3.1. Схема комплекса горячей поперечно-клиновой прокатки

Комплекс работает следующим образом. На стеллаже 2 отделяют единственный пруток и его концевой участок подают в индукционный нагреватель 3 до упора отрезной машины 4. Участок нагревают до температуры пластического деформирования ($900...1200^{\circ}\text{C}$). Производят зажим прутка и отрезку мерной заготовки двумя валками, совершающими планетарное вращение. Отрезанная заготовка с помощью механизма передачи 5 подается в рабочую клетку стана 6 и укладывается поперек заходной части неподвижного клинового инструмента. При прямом ходе верхней плиты стана заготовка прокатывается между подвижным верхним и неподвижным нижним клиновыми инструментами.

Основные технические характеристики комплекса:

1. Номинальное усилие прокатки, кН.....	150
2. Рабочий ход ползуна, мм.....	1900
3. Размеры исходной заготовки, мм	
- диаметр.....	30
- длина.....	300
4. Производительность, шт/час.....	720
5. Температура нагрева прутка, ° С.....	900÷1200
6. Расход охлаждающей воды, м ³ /час.....	20
7. Рабочий ход ползуна, мм.....	2000
8. Скорость рабочего хода ползуна, м/мин.....	80
9. Потребляемая мощность, кВт.....	320
10. Габаритные размеры комплекса, мм.....	8300×6000×2250
11. Масса комплекса, кг.....	15000

Используя вышеописанный комплекс, проведены эксперименты по накатке резьбы на путевых шурупах. Заготовки путевых шурупов ЦП-54 изготавливались холодной штамповкой на автомате-комбайне КА-74 в условиях кузнечно-прессового цеха ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ». Накатку резьбы на путевых шурупах осуществляли с использованием комплекса поперечно-клиновой прокатки СООО «АМТ-Инжиниринг» (г. Минск). При этом задача заготовок в индукционный нагреватель и в рабочую зону накатного инструмента осуществлялась вручную. Проведенные исследования показали, что качество резьбы соответствует

требованиям нормативно-технической документации. Однако применяемые технология и оборудование обладают следующими недостатками:

1. Комплекса горячей поперечно-клиновой прокатки обладает сравнительно низкой производительностью (10÷12 шт./мин), в то время как кузнечно-прессовое оборудование для холодной штамповки заготовок путевых шурупов имеет производительность 40÷60 шт./мин.

2. Необходима модернизация комплекса с целью устранения ручной подачи заготовок в индуктор и на стан поперечно-клиновой прокатки.

3. Применение гидравлического привода рабочего инструмента требует применение специальных мер противопожарной безопасности.

4. Значительные габариты и масса оборудования.

5. Высокая цена комплекса – 17 млн. руб. (данные 2005 г.)

Таким образом, комплекс поперечно-клиновой прокатки следует считать неэффективным.

Предложено для накатки путевых шурупов создать линию, в основу которой положен накатной станок А2424 (ОАО «Тяжпрессмаш», г.Рязань). При этом модернизировать вышеуказанный станок. Модернизация должна включать увеличение хода ползуна с 785 мм до 1000 мм, увеличение ширины посадочных мест под установку плашек шириной 140 мм. У серийно выпускаемого станка А2424 общая система смазки и охлаждения трущихся деталей станка и технологического инструмента (плашек). Следует разделить системы, создав отдельно систему смазки трущихся деталей и систему смазки и охлаждения плашек, так как инструмент подвержен влиянию высоких температур. Структурная схема предлагаемой линии представлена на рис. 3.2.

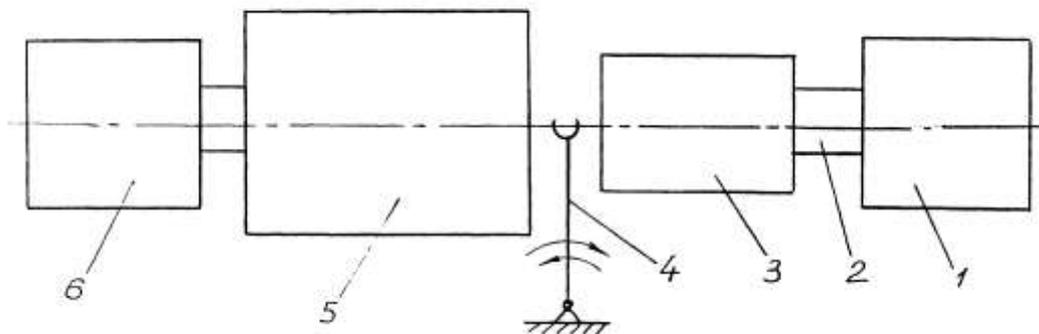


Рис.3.2. Структурная схема линии для горячей накатки путевых шурупов плашками

Линия содержит бункер 1 для заготовок под накатку, транспортер 2 поштучной подачи заготовок в индуктор 3, манипулятор 4 подачи нагретых заготовок в рабочую зону накатного станка 5 и тару-емкость 6 для накатанных изделий. Станок 5 представляет собой модернизированный резьбонакатной автомат А2424.

Линия работает следующим образом. Заготовки путевых шурупов из бункера 1 с помощью транспортера 2 поштучно подаются в щелевой индуктор 3, где участки под накатку резьбы нагреваются до температуры $1000 \div 1100^\circ \text{C}$. Затем с помощью манипулятора 4 нагретые заготовки подаются рабочую зону накатного станка 5 между подвижной и неподвижной плашками. После накатки резьбы изделия попадают в тару-емкость 6 для последующего их транспортирования.

Технические характеристики линии, которые определялись на основе проведенных исследований, представлены в табл.3.1.

Рекомендуемые технические характеристики линии
для горячей накатки путевых шурупов

Параметры	Значение
Диаметр накатываемой резьбы, мм	22...28
Длина накатываемой резьбы, мм	140
Шаг накатываемой резьбы, мм	10...15
Ход накатного ползуна, мм	1000
Число ходов накатного ползуна в мин.	35...40
Температура нагрева заготовки, °С	900...1100
Радиальное усилие накатки, кН	250
Тангенциальное усилие накатки, кН	130
Жесткость накатного станка, кН/мм	500

3.2. Опробование результатов исследования в условиях ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ»

Проведены работы по оценке возможности изготовления путевых шурупов с квадратной головкой (ГОСТ 809-71) холодной штамповкой и холодной накаткой плоскими плашками с использованием автомата-комбайна КА-84 (фирма «Malmedie», Германия, рис.3.3). Схема технологического процесса представлена на рис.3.4.

Разработанный технологический процесс включал следующие операции:

1. Первая предварительная высадка головки.
2. Вторая предварительная высадка головки.
3. Штамповка квадратной головки с фланцем.

4. Редуцирование участка стержня под накатку резьбы.

5. Накатка резьбы плашками.



Рис.3.3 Автомат-комбайн КА-84 для изготовления стержневых крепежных изделий холодной штамповкой и накаткой резьбы плашками

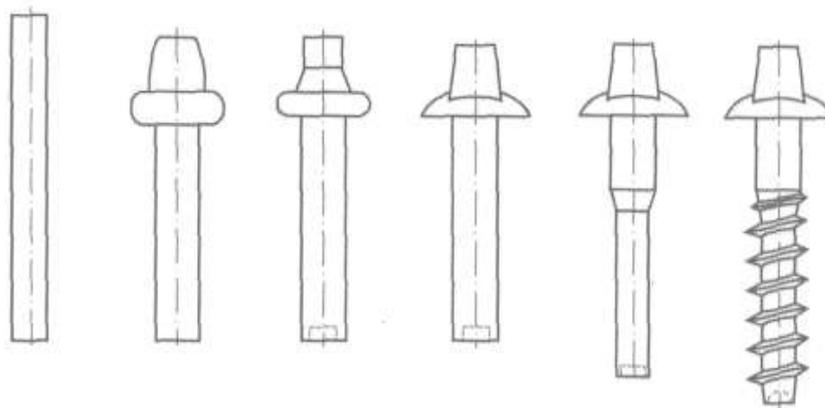


Рис. 3.4. Схема технологического процесса изготовления путевых шурупов 24x170 с квадратной головкой по ГОСТ 809-71

Накатка путевых шурупов (рис.3.5) осуществлялась плоскими плашками в холодную с использованием резьбонакатного устройства автомата-комбайна КА-84. Чертеж разработанных плашек представлен в Приложении.



Рис.3.5. Путьевой шуруп 24x170 по ГОСТ 809-71, накатанный вхолдную на автомате-комбайне КА-84

Анализ результатов промышленного опробования технологии изготовления путевых шурупов, которая включала холдную накатку резьбы плашками, показал, что качество резьбы не соответствует требованиям нормативно-технической документации по причинам образования дефектов в виде задигов во впадинах и складок на вершинах выступов резьбы (рис.3.6).



а



б

Рис.3.6 Дефекты накатанной резьбы: а – задиры и отслоения во впадине резьбы; б – складка в вершине выступа резьбы.

Таким образом, формирование резьбы на путевых шурупах холдной накаткой плашками не обеспечивает получение качественной резьбы.

3.3. Моделирование процесса возникновения закатов при накатке плашками крупной резьбы

На основании анализа производственного опыта ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ» в части изготовления стержневых крепежных изделий с крупной резьбой установлено, что при накатке крупной резьбы плашками иногда имеет место образование закатов и складок. На рис. 3.7 показана в увеличенном масштабе фотография шлиф образца, изготовленного из болта М24, который накатывался вхолдную на автомате комбайне КА-74 плоскими плашками. На рис.3.7 явно просматривается закат-складка. Наличие такого дефекта является браковочным признаком.

 SIAMS
Photolab

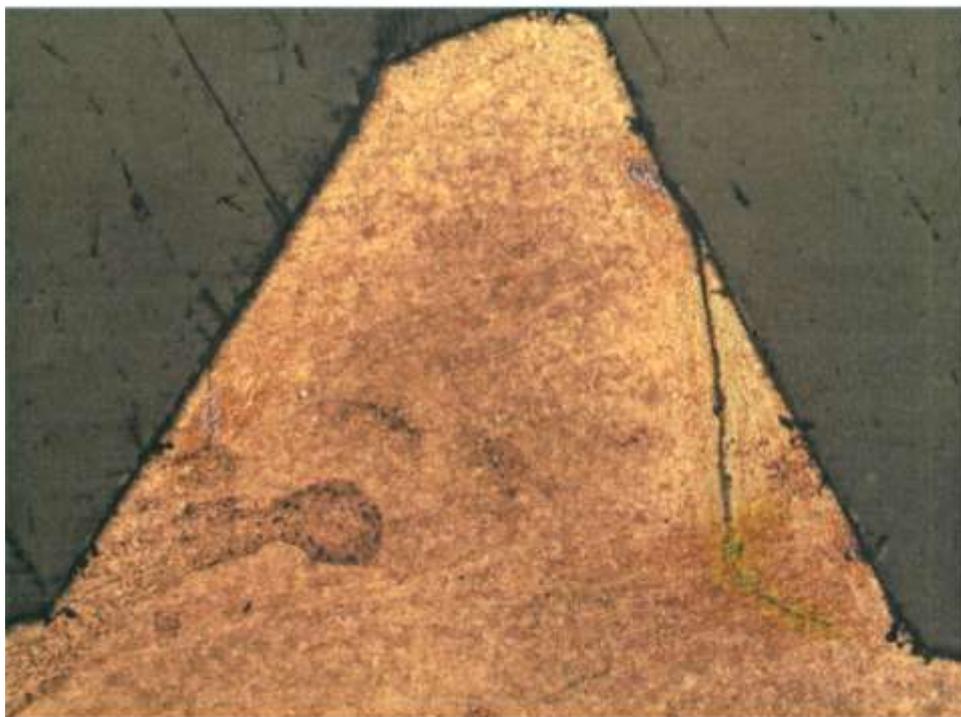


Рис.3.7. Дефект резьбы в виде заката-складки

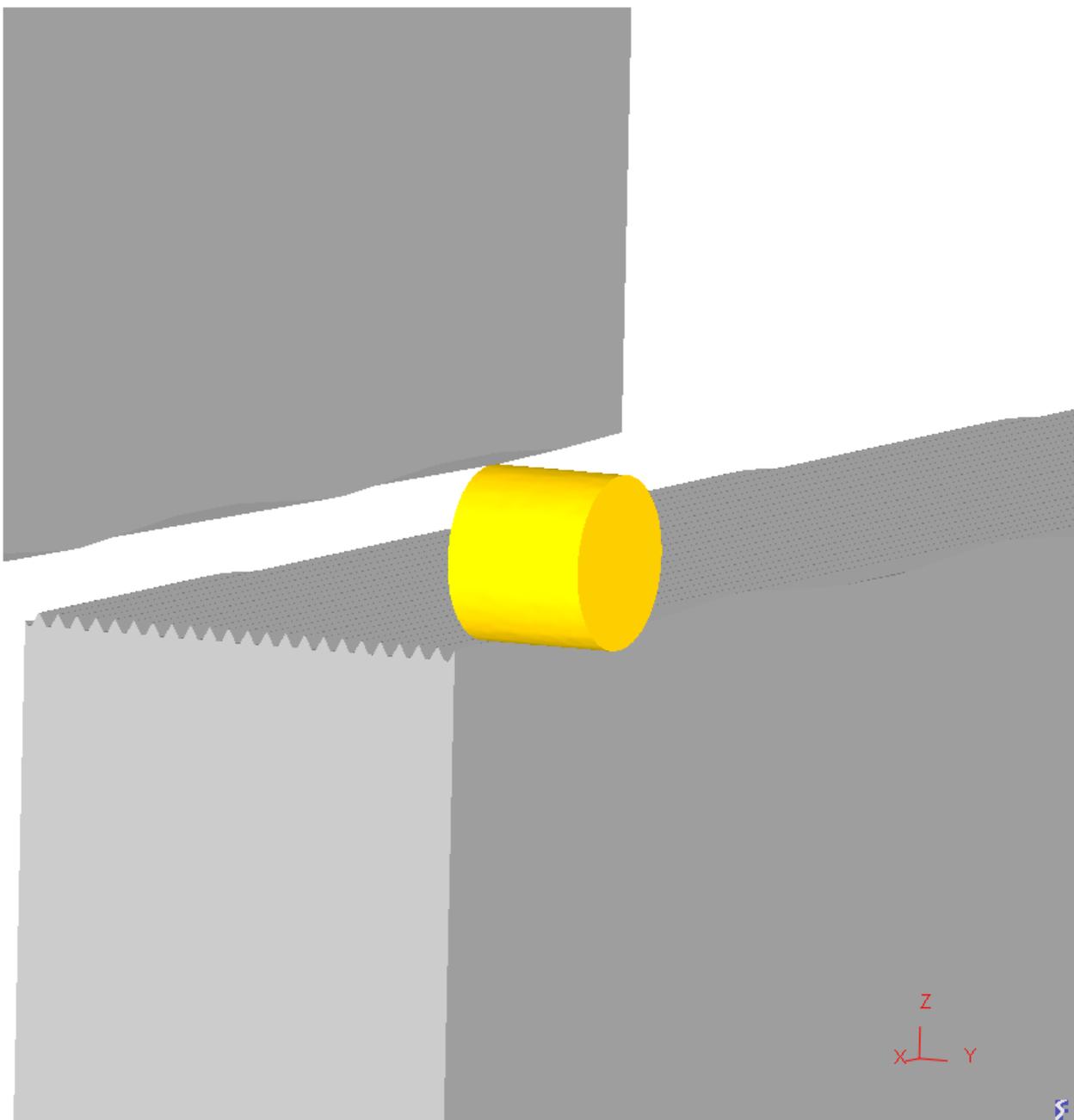


Рис.3.8. Положение инструмента и заготовки на начальном этапе процесса накатки резьбы (часть подвижной плашки удалена для наглядности)

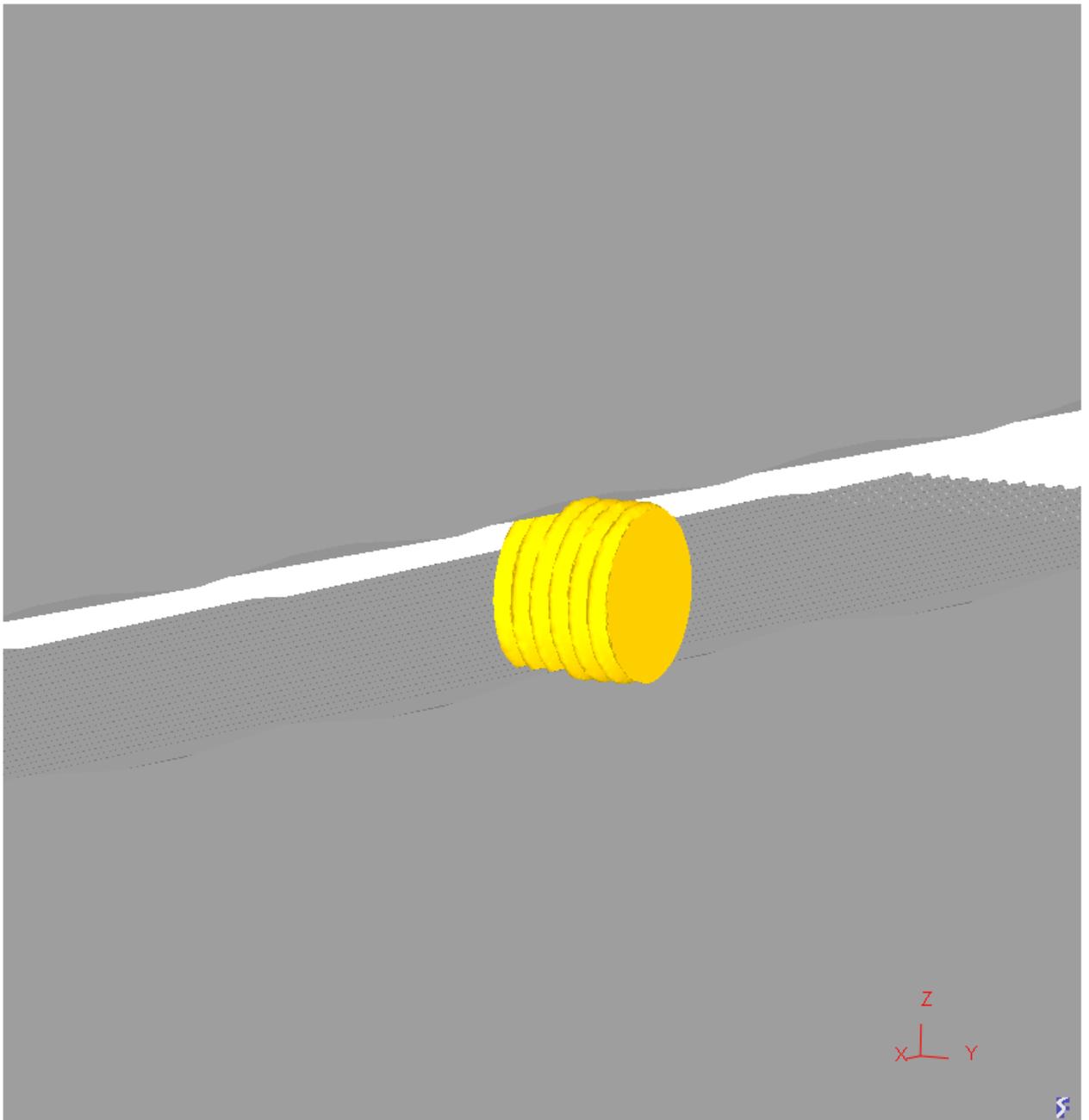
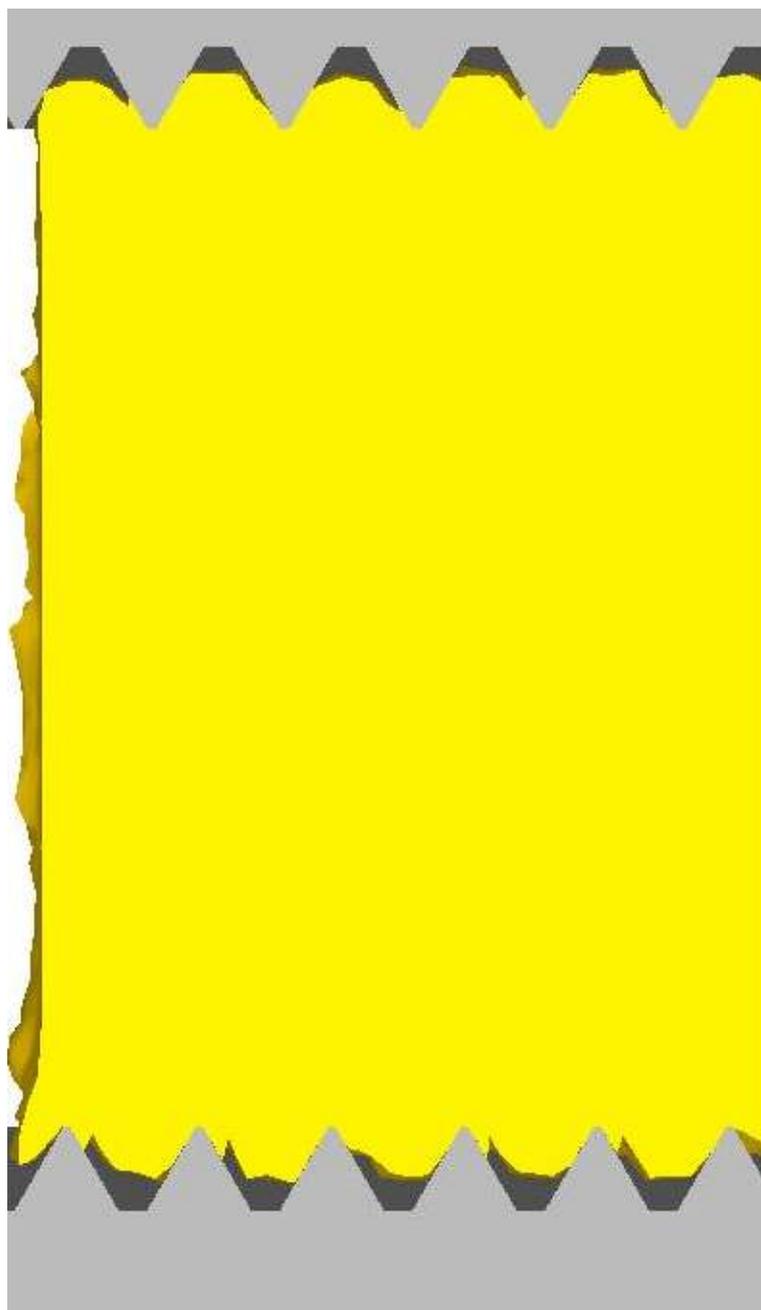


Рис.3.9. Положение инструмента и заготовки на конечном этапе процесса накатки резьбы



3.10. Положение заготовки и инструмента в процессе образования
заката-складки

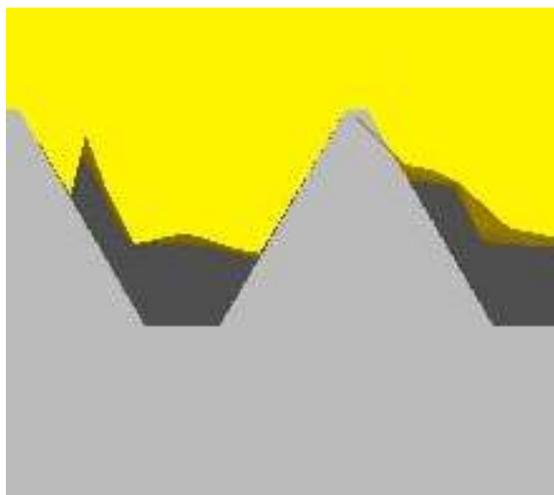


Рис.3.11. Фрагмент резьбы с зарождающейся складкой

На основании анализа результатов компьютерного моделирования установлено, что причинами образования брака по закатам является либо перекос подвижной и неподвижной плашек в плоскостях, ограничивающую рабочую зону, либо смещение плашек, приводящее к несовпадению выступов и впадин плашек. Вышеотмеченные причины устраняются соответствующей настройкой инструмента.

3.4. Оценка технико-экономической эффективности.

Применение предлагаемой линии (см. рис.3.2 и табл. 3.1) и разработанных технических решений (патент РФ № 2336140 на изобретение «Инструмент для накатки резьбы на стержневых изделиях», патент РФ № 39101 на полезную модель «Инструмент для накатывания наружной резьбы», патент РФ № 54840 на полезную модель «Инструмент для наката резьбы на путевых шурупах», патент РФ № 107988 на полезную модель «Инструмент для наката крупной резьбы») обеспечивает снижение брака, снижение затрат на изготовление накатного инструмента и повышение его стойкости, повышение производительности в 3,5...4 раза и расширение объемов производства.

1. Эффект от снижения брака

$$\mathcal{E}_b = C_{cm-мб1} \times B \times D = 31136 \times 4,23 \times 0,3 = 39511,6 \text{ руб.},$$

где $C_{cm-мб1} = 31136$ руб. себестоимость 1 т. путевых шурупов;

$B = 4,23$ т – общий брак по путевым шурупам за 2010 г ;

$D = 0,3$ – доля брака по качеству резьбы.

2. Экономия от снижения затрат на изготовление инструмента и повышения его стойкости

$$\mathcal{E}_u = \left(\frac{C_{u1}}{S_1} - \frac{C_{u2}}{S_2} \right) \times V_1 = \left(\frac{4350}{9,5} - \frac{3970}{12} \right) \times 4560 = 579424 \text{ руб.}$$

где $C_{u1} = 4350$ руб. – затраты на изготовление накатных роликов;

$S_1 = 9,5$ т/комп. –стойкость комплекта роликов;

$C_{u2} = 3970$ руб. – затраты на изготовление плашек;

$S_2 = 12$ т/комп. –стойкость комплекта плашек;

$V_1 = 4560$ т. – объем производства путевых шурупов в 2010 г.

3. Дополнительный доход от расширения объемов производства путевых шурупов.

В производстве путевых шурупов «узким » местом является накатка резьбы, так как применяемые трехроликовые станки WGW-25 и ORT имеют низкую производительность (8...10 шт/мин) и обеспечивают производство не более 2200 т. в год на одном станке (годовой объем производства на 3 станках – $V_1 = 6600$ т/год). Холодно-высадочное оборудование (пресса-автоматы КА-74), на котором изготавливаются заготовки путевых шурупов позволяет изготавливать в год до 8800 т. Применение горячей накатки плоскими плашками с использованием модернизированных станков А2424 позволит расширить объем производства до $V_2 = 8800$ т/год.

Тогда дополнительный доход

$$\begin{aligned} D_{pn} &= V_2 \times (Ц - ППР_2) - V_1 \times (Ц - ППР_1) = \\ &= 8800 \times (34250 - 28098,8) - 6600 \times (34250 - 28225,9) = 14371500 \text{ руб.} \end{aligned}$$

где $Ц = 34250$ руб./т – цена путевых шурупов;

$$ППР_1 = ППР - \left(Z_u - \frac{C_{u1}}{S_1} \right) = 29250 - \left(1482 - \frac{4350}{9,5} \right) = 28225,9 \text{ руб.}$$

$$ППР_2 = ППР - \left(Z_u - \frac{C_{u2}}{S_2} \right) = 29250 - \left(1482 - \frac{3970}{12} \right) = 28098,8 \text{ руб.}$$

Общий экономический эффект

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_\delta + \mathcal{E}_u + D_{pn} = 39511,6 + 579424 + 14371500 = 14990435,6 \text{ руб.}$$

Заключение

1. При накатке путевых шурупов тремя роликами проскальзывания заготовки относительно инструмента в 2,5...3,5 раза больше, чем при накатке плоскими плашками. Горячая накатка тремя роликами сопровождается закручиванием накатываемого участка. Угол закручивания на каждом шаге резьбы (12,5 мм) составляет $\approx 43 \dots 47^\circ$. Закручивание следует считать отрицательным фактором, так как при этом расходуется дополнительная энергия ($\approx 95 \div 105$ дж на каждом шаге). Закручивание не наблюдается при накатке плоскими плашками. Поэтому процесс накатки тремя роликами следует считать более энергозатратным по сравнению с накаткой плоскими плашками.

2. Холодная накатка путевых шурупов плашками приводит к образованию дефектов в виде задиоров во впадинах и складок на вершинах выступов резьбы. Качество резьбы не соответствует требованиям нормативно-технической документации.

3. Горячая накатка резьбы плоскими плашками при выполнении определенных условий (температура нагрева 1000 - 1100° С, диаметр исходной заготовки 21,5÷21,6 мм, отсутствие наружных и внутренних дефектов металла, жесткости силовой системы $C \geq 500$ кН/мм, диапазоны колебаний параметров T , σ_0 , μ , d_0 и др.) обеспечивает получение качественной резьбы, отвечающей требованиям нормативно-технической документации.

4. При накатке резьбы на путевых шурупах с использованием комплекса горячей поперечно-клиновой прокатки (СООО «АМТ-Инжиниринг», г. Минск) качество резьбы соответствует требованиям нормативно-технической документации. Однако технологический процесс и оборудование обладают сравнительно низкой производительностью (10÷12 шт./мин) и требуют применения ручного труда при подаче заготовок в индуктор и на линию прокатки.

5. Для горячей накатки путевых шурупов плашками предложено создать линию с использованием модернизированного накатного станка А2424 (ОАО «Тяжпрессмаш», г.Рязань). Модернизация должна включать увеличение хода ползуна с 785 мм до 1000 мм, увеличение ширины посадочных мест под установку плашек до 140 мм и оснащение станка отдельной системой смазки трущихся деталей и смазки и охлаждения плашек.

6. На основе компьютерного моделирования установлено, что причинами образования закатов на поверхности крупной резьбы при её накатке плашками является либо перекосяк подвижной и неподвижной плашек в плоскостях, ограничивающую рабочую зону, либо смещение плашек, приводящее к несовпадению выступов и впадин плашек.

7. Применение предлагаемой линии горячей накатки путевых шурупов плоскими плашками и разработанных технических решений, направленных на совершенствование конструкций плашек, обеспечивает снижение брака, снижение затрат на изготовление накатного инструмента и повышение его

стойкости, повышение производительности и расширение объемов производства. Ожидаемый экономический эффект – 14,99 млн. руб.

Список использованных источников

1. Железков С.О., Железков О.С., Моллер А.Б.. Анализ кинематики процесса накатки наружной резьбы / Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Межрегион. сб. науч. тр.- Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ». 2009. С. 218-223.

2. Железков С.О. Перспективные способы формирования резьбы на путевых шурупах / Материалы международ. пром. форума «Реконструкция промышленных предприятий – прорывные технологии в металлургии и машиностроении» - Челябинск, 2010. С. 88-89.

3. Железков С.О., Семашко В.В., Пудов Е.А. Эффект закручивания при горячей накатке крупной резьбы роликами / Обработка сплошных и слоистых материалов. Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 36. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ». 2010. С. 106-108.

4. Железков О.С., Железков С.О., Семашко В.В. Особенности горячей накатки резьбы на путевых шурупах тремя роликами / Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2011. № 3. С. 31-33.

5. Щукин В.Я., Кожевников Г.В., Рудович А.О. Новое в поперечно-клиновой прокатке / Кузнечно-штамповочное производство, 1999, № 3. С.35-37.

ПРИЛОЖЕНИЕ

