

На правах рукописи

УДК 621.98.044

Легких Антон Николаевич

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ ПЕРЕВОДНИКОВ
С НАРУЖНОЙ РЕЗЬБОЙ**

Специальность 05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук



**Москва
2010**

Работа выполнена в Московском Государственном Техническом Университете им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: кандидат технических наук,
доцент Шубин
Игорь Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Ступников
Владимир Петрович
кандидат технических наук,
доцент Константинов
Валерий Федорович

Ведущая организация – ОАО НПО "ЦНИИТМАШ"

Защита состоится « 22 » декабря 2010 г. в 14 ч. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.141.04 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу:

105005, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., д.5.

Телефон для справок 8(499) 267-09-63.

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

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан « 10 » ноября 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

Семенов В.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Добыча нефти и газа в России является одним из основных источников бюджета. Добыча углеводородов через нефтяную скважину, как правило, осуществляется с помощью насосов, путём искусственного создания повышенного давления в пластах. Такая скважина представляет собой сложное техническое сооружение, основой которого служит колонна насосно-компрессорных труб (НКТ), соединённых между собой посредством переводников.

Переводники НКТ с обоих концов имеют резьбу, наружную и внутреннюю. Концевая часть переводника с внутренней резьбой является муфтой, с наружной резьбой – ниппелем (рис.1).

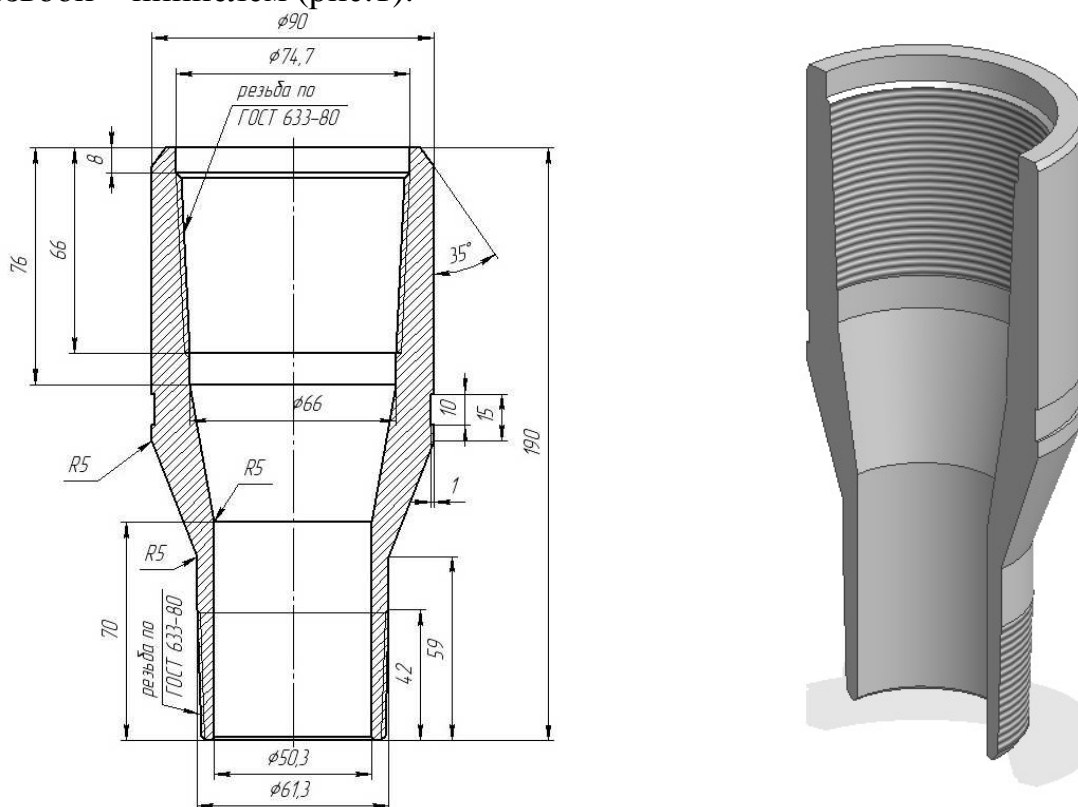


Рис. 1. Переводник переходной П73/60

Переводники являются высоконагруженными деталями, работающими под высоким внутренним давлением. Имеет место волновой характер приложения сил, поэтому места установки переводников характеризуются повышенной частотой отказов. В связи с этим их изготавливают из дорогостоящих высокопрочных сталей, а прочность переводника в целом и особенно прочность резьб на его концах, являются важнейшим фактором, обеспечивающим надёжность соединений. В настоящее время переводники изготавливаются механической обработкой на металлорежущих станках из сплошных или трубчатых заготовок. Этот технологический процесс имеет существенные недостатки, заключающиеся в низкой производительности, большой трудоемкости и сопровождается значительным отходом металла в стружку.

На рис.2 наглядно показано соотношение объёма припуска и объёма готовой детали при изготовлении переводника механообработкой. Так, например, для пере-

водника П73/60 отход равен 55% от массы заготовки или 123% от массы детали.

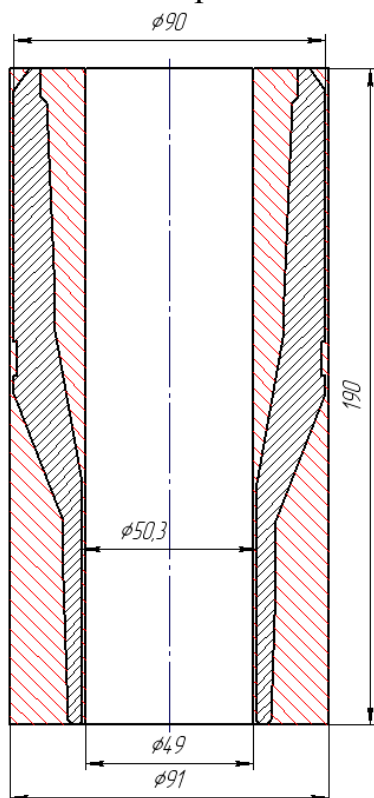


Рис. 2. Соотношение объёмов припуска и готовой детали при изготовлении переводника П73/60 механообработкой

Работа выполнена по гранту, полученному в рамках федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» на 2002-2006 годы по приоритетному направлению «Развитие инфраструктуры» (VI очередь – венчурные проекты), что ещё раз подчёркивает её актуальность.

Цель диссертационной работы – разработка высокоэффективной технологии производства переводников, обеспечивающей высокую производительность, экономию металла, повышенную прочность и износостойкость резьбы.

Методы исследования

Выбор оптимального варианта штамповки корпуса переводников и его дальнейшее детальное исследование выполнены с использованием метода конечных элементов в программном комплексе QForm путём совместного решения приближённых дифференциальных уравнений равновесия, условия пластичности и основных определяющих соотношений при заданных начальных и граничных условиях. Теоретические исследования процесса штамповки резьбы выполнены с использованием основных положений механики деформируемого твёрдого тела и теории пластичности. Математическое моделирование процесса штамповки наружной резьбы выполнено в программных комплексах LS-DYNA и QForm.

Экспериментальные исследования выполнены на гидравлическом прессе модели П-476 силой 1,6 МН с рабочей скоростью деформирования 2,7мм/с Оренбургского завода «Гидропресс» с использованием современной электронной измерительной системы SPIDER 8.

Автор защищает следующие основные положения:

- Технология штамповки переводников из трубной заготовки

- Результаты моделирования, теоретических расчётов и физического эксперимента процесса штамповки корпуса переводника и наружной резьбы

Научная новизна работы состоит в:

- Результаты теоретического исследования влияния ряда технологических факторов на процесс штамповки наружной резьбы
- Результаты математического исследования методом конечных элементов процесса штамповки наружной резьбы
- Результаты экспериментального исследования процесса штамповки наружной резьбы

Достоверность результатов обусловлена обоснованным использованием теоретических зависимостей, допущений и ограничений, корректностью постановки задач, применением известных математических методов, зарекомендовавших себя программных комплексов, и подтверждается качественным и количественным согласованием результатов теоретических исследований и математического моделирования с экспериментальными данными.

Практическая ценность заключается в том, что разработаны технология и универсальные блок-штампы для производства переводников 20-ти типоразмеров, а также способ и технологическая оснастка для получения наружной резьбы на переводниках посредством штамповки.

Реализация работы

Технологический процесс внедрён на НВЦ «МОЭН». Техничко-экономическая эффективность разработанного процесса состоит в сокращении сроков производства, трудоёмкости изготовления деталей на 70% и отхода металла в стружку в 3 раза.

Апробация работы

Результаты исследований доложены на межвузовской конференции по обработке металлов давлением (МИСиС, 2006), конференции “Инженерные системы-2007”(ЦИАМ имени П.И.Баранова, 2007), научном семинаре кафедры “Технологии обработки давлением” МГТУ им. Н. Э. Баумана (2009), а также на ежегодных научно-технических конференциях «Студенческая Весна» Московского Государственного Технического Университета им. Н.Э.Баумана.

Публикации

Материалы проведённых исследований отражены в 5 печатных трудах, из них по Перечню ВАК – три.

Структура и объём работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов и итогов по работе, списка литературы и двенадцати приложений. Работа изложена на 190 страницах машинописного текста, содержит 108 рисунков, 12 таблиц и список литературы из 85 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрыта актуальность работы, её цель, научная новизна, практическая ценность работы, приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрено современное состояние теории и технологии процессов обжима и формообразования резьбы; проведён анализ существующих технологических процессов изготовления переводников насосно-компрессорных труб, намечены пути повышения эффективности их изготовления.

Существующие способы получения изделий в виде полых оболочек, имеющих большое центральное отверстие, характеризуются большим отходом металла, дальнейшее использование которого затруднительно.

Исследованием напряженного и деформированного состояний заготовки при обжиге занимались многие исследователи: Аверкиев Ю.А., Горбунов М.Н., Гун Г.Я., Евсюков С.А., Жарков А.А., Ильюшин А.А., Малинин Н.Н., Оцхели В.Н., Попов Е.А., Соколовский В.В. и др.

Для изготовления осесимметричных деталей, к которым относятся, в частности, и переводники, может быть использован ряд технологических способов:

- Обратное выдавливание из сплошной заготовки;
- Комбинированное выдавливание из сплошной заготовки;
- Комбинированное выдавливание из толстостенной трубной заготовки;
- Раздача трубной заготовки;
- Обжим трубной заготовки;
- Обжим трубной заготовки с одновременным утонением;
- Обжим предварительно-подготовленной трубной заготовки;
- Ротационный обжим трубной заготовки.

Моделирование каждого варианта в программном комплексе QForm (кроме ротационного обжима трубной заготовки) показало, что оптимальным вариантом является обжим трубной заготовки.

Известными методами получения резьбы в настоящее время являются её нарезка (в том числе бесстружечными метчиками) и накатка. Процесс формирования резьб с использованием бесстружечных метчиков сопровождается образованием кратера, либо на вершине, либо внутри профиля резьбы, в зависимости от типа используемого метчика. Это является негативным фактором.

Резьбы на наружных поверхностях цилиндрических деталей накатывают:

- Плоским инструментом с тангенциальной подачей заготовки – накатка плоскими плашками.
- Приводным круглым инструментом с тангенциальной, радиальной, осевой и радиально-осевой подачей инструмента.
- Неприводным круглым инструментом с тангенциальной подачей (обычно вращающимися и неподвижными резьбовыми головками).

Патентный поиск выявил множество запатентованных способов и устройств для накатывания резьб, а также накатывания предварительно нарезанной резьбы. Есть способы изготовления изделий с внутренним винтовым рельефом посредством гидромеханического выдавливания и устройства для их осуществления. Однако данные устройства представляют собой сложную технологическую конструкцию специального назначения. Способы формообразования резьбы посредством пластического деформирования (штамповкой) и устройства для их осуществления отсутствуют.

В настоящее время крупносерийное производство переводников в России также практически отсутствует. Переводники изготавливаются непосредственно эксплуатирующими их предприятиями из толстостенной трубной заготовки посредством механической обработки (рис. 2). Полученный таким способом переводник имеет концентраторы напряжения и перерезанные волокна металла. Кроме того, та-

кая технология имеет низкую эффективность, так как отход металла в стружку может достигать 162% от веса детали (переводник ПВ89/В60).

Импортные переводники американской фирмы «Ойл кантри» изготавливаются из высоколегированных сталей, причем заготовка отливается методом точного литья. Такая технология не требует большой токарной обработки заготовки и поэтому уменьшает отход металла. Но она является чрезвычайно дорогостоящей.

Как в отечественных, так и в импортных переводниках резьба образуется путем нарезки гребенками на станках с ЧПУ. Нарезанная резьба имеет целый ряд недостатков, таких как:

- Склонность к образованию задиров в процессе завинчивания - свинчивания;
- Перерезание волокон металла в процессе изготовления, и, как следствие, образование концентраторов напряжения;
- Малый срок службы (не более 6 кратного использования);
- Высокая трудоемкость процесса;
- Необходимость в использовании сложного станочного парка и достаточно большой номенклатуры быстроизнашивающегося режущего инструмента;
- Большая, по сравнению со штамповкой, длительность производственного цикла.

В соответствии с поставленной целью на основании проведенного литературного обзора сформированы основные задачи исследования:

1. Провести анализ альтернативных вариантов технологии штамповки корпуса переводников и выбрать оптимальный по критерию наименьших энергозатрат, простоты конструкции и минимального расхода металла.
2. Провести моделирование технологического процесса обжима с целью изучения характера формоизменения, определения параметров процесса и проверки полученных аналитических зависимостей.
3. Осуществить экспериментальное исследование операции обжима с определением силовых и деформационных параметров для подтверждения результатов теоретического анализа и моделирования.
4. Разработать универсальную штамповую оснастку, позволяющую сократить количество штампов, необходимых для производства номенклатуры из 20 типоразмеров переводников.
5. Разработать технологию формообразования наружной резьбы на переводниках штамповкой в резьбовую матрицу.
6. Провести моделирование процесса формообразования наружной резьбы штамповкой в резьбовую матрицу с целью установления параметров процесса.
7. Разработать экспериментальную штамповую оснастку для штамповки наружной резьбы и выполнить экспериментальное исследование.

Во второй главе содержится теоретическое исследование и моделирование процессов штамповки корпуса переводника и штамповки наружной резьбы.

Получено дифференциальное уравнение равновесия с учётом влияния третьего напряжения:

$$\rho \cdot \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \frac{\sigma_s}{1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{S}{\rho} \cdot \cos \alpha} \cdot (1 + 3 \cdot \mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha) = 0 .$$

С учётом изгиба и спрямления элементов заготовки на входе в очаг деформации и

утолщения стенки заготовки значение меридиональных напряжений будет равно:

$$\sigma_{\rho} = -\sigma_s \cdot \frac{1+3 \cdot \mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{S}{\rho} \cdot \cos \alpha} \cdot \left(1 - \frac{r_0}{\rho}\right) \cdot (3 - 2 \cdot \cos \alpha) \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{R_3}{\rho}}\right).$$

Среднее напряжение σ_z по толщине заготовки принято равным:

$$\sigma_z = q_{cp} = \frac{1}{2} \cdot q = \frac{1}{2} \cdot \frac{S}{\rho} \cdot \cos \alpha \cdot \sigma_{\theta}.$$

Графики зависимости относительной величины меридиональных, окружных и нормальных напряжений от относительного радиуса заготовки показаны на рис. 3. Диапазон изменения ρ : $\rho = r_0 \dots R_3$

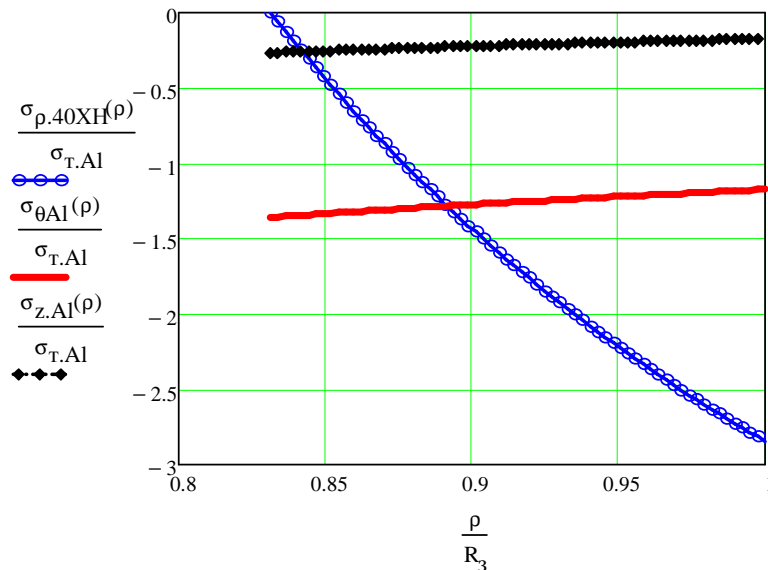


Рис. 3. График зависимости относительной величины меридиональных (σ_{ρ}), окружных (σ_{θ}), и нормальных (σ_z), напряжений от относительного радиуса заготовки

Используя уравнение связи, условие несжимаемости и условие пластичности можно получить выражение:

$$\frac{dS}{S} = \left(\frac{\sigma_{\rho} + \sigma_{\theta} - 2\sigma_z}{\sigma_{\rho} + \sigma_z - 2\sigma_{\theta}} \right) \cdot \frac{d\rho}{\rho}.$$

Выражение в скобках является безразмерной величиной, обозначим его как коэффициент А:

$$A = \frac{\sigma_{\rho} + \sigma_{\theta} - 2\sigma_z}{\sigma_{\rho} + \sigma_z - 2\sigma_{\theta}}.$$

А - коэффициент соотношения полей напряжений в очаге деформации. Он не зависит от напряжения текучести материала, а зависит только от геометрических размеров заготовки и деформационных параметров. Вообще говоря, коэффициент А зависит от ρ , но для интегрирования можно допустить его постоянным по очагу деформации, как принимал, например, Е.А. Попов. В дальнейшем же можно будет учитывать его переменным. Интегрируя уравнение и учитывая граничные условия, получено выражение для толщины стенки:

$$S = S_0 \cdot \left(\frac{\rho}{R_3}\right)^A.$$

Учитывая, что $E_z = \ln \frac{S}{S_0}$ и $E_\theta = \ln \frac{\rho}{R_3}$, то $E_z = A \cdot E_\theta$. Зная коэффициент А, можно оценить деформации E_θ , E_z по координате ρ , а также изменение толщины стенки заготовки по очагу деформации.

На рис.4 слева показано изменение коэффициента А, а справа - график изменения относительной толщины стенки в зависимости от относительного радиуса заготовки.

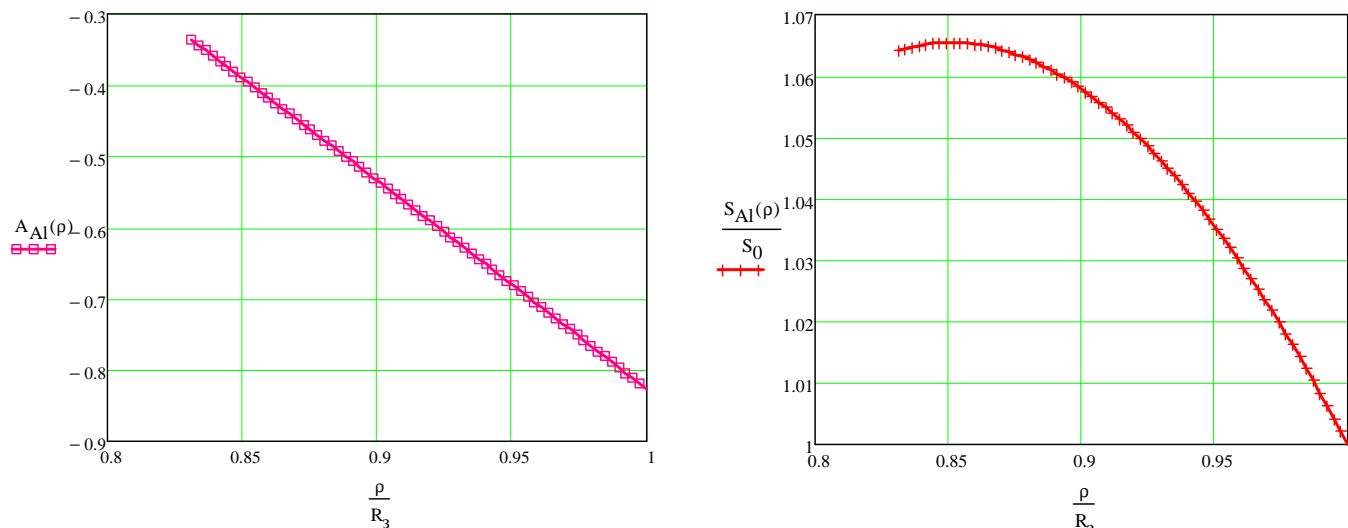


Рис. 4. График изменения коэффициента А в зависимости от относительного радиуса заготовки (слева) и график изменения относительной толщины стенки в зависимости от относительного радиуса трубной заготовки (справа)

Максимальная толщина стенки, рассчитанная по полученной формуле для параметров штамповки переводника П73/60, равна 12,785мм.

Корпус переводника обжимом можно получить тремя способами:

1. Обжим на заданный внутренний диаметр. При этом необходима обработка наружного диаметра на требуемый размер.
2. Обжим на заданный наружный диаметр. При этом необходима доводка внутреннего диаметра, что можно сделать как механической обработкой, так и прошивкой пуансоном на требуемый размер.
3. Обжим предварительно-подготовленной (механическим способом) заготовки, при этом можно получить сразу заданные внутренний и наружный диаметры.

С помощью моделирования изучены все три способа обжима, а также влияние температуры, скорости и трения на процесс штамповки.

Процесс обжима может быть реализован без потери устойчивости и усложнения штамповой оснастки для следующих вариантов:

- обжим трубной заготовки на требуемый внутренний диаметр (как в горячую, так и в холодную);
- обжим предварительно обточенной трубной заготовки.

Моделирование показало, что реализовать обжим трубной заготовки с получением заданного внутреннего диаметра без потери устойчивости не представляется возможным, необходим наружный подпор и серьезное усложнение штамповой оснастки. Процесс можно осуществить в горячую за 2 перехода.

Большое влияние на процесс обжима оказывает коэффициент трения. Так при

коэффициенте трения 0,15 процесс обжима с получением заданного внутреннего диаметра протекает без потери устойчивости, тогда как при коэффициенте трения 0,3 заготовка теряет устойчивость в недеформированной части заготовки, а сила деформирования увеличивается в среднем в два раза. Скорость деформирования не оказывает существенного влияния.

Выполнено аналитическое исследование формообразования резьбы штамповкой. Схема процесса представлена на рис. 5.

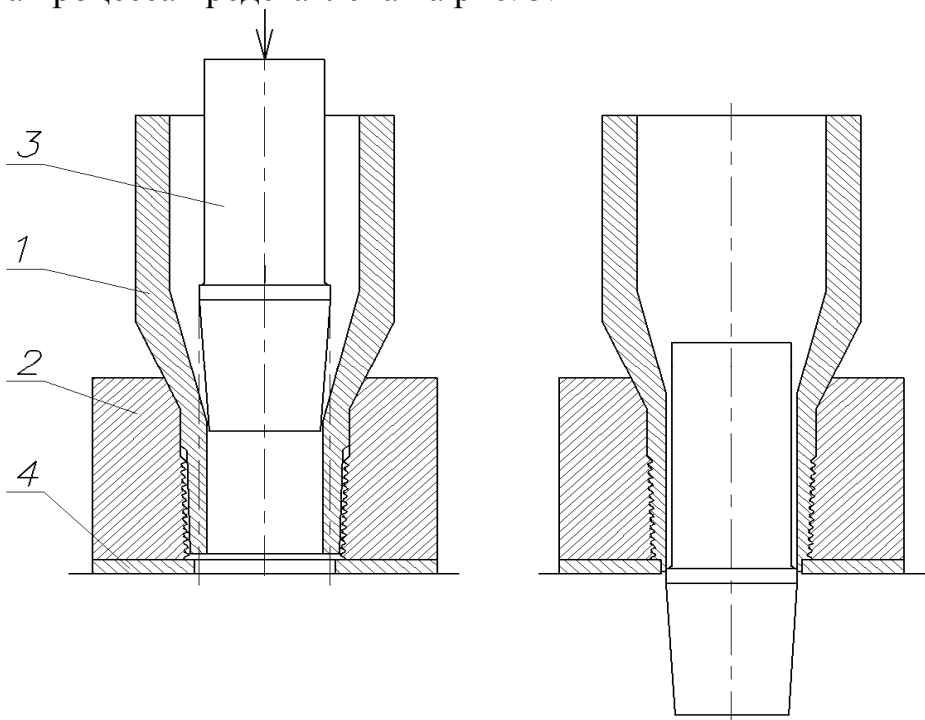


Рис. 5. Схема штамповки резьбы на ниппельном конце переводника
1 – заготовка (корпус переводника), 2 – резьбовая матрица, 3 – конический пуансон, 4 – подпорное кольцо

Для теоретического исследования принята осесимметричная схема и выделен элемент пластического деформирования (рис. 6).

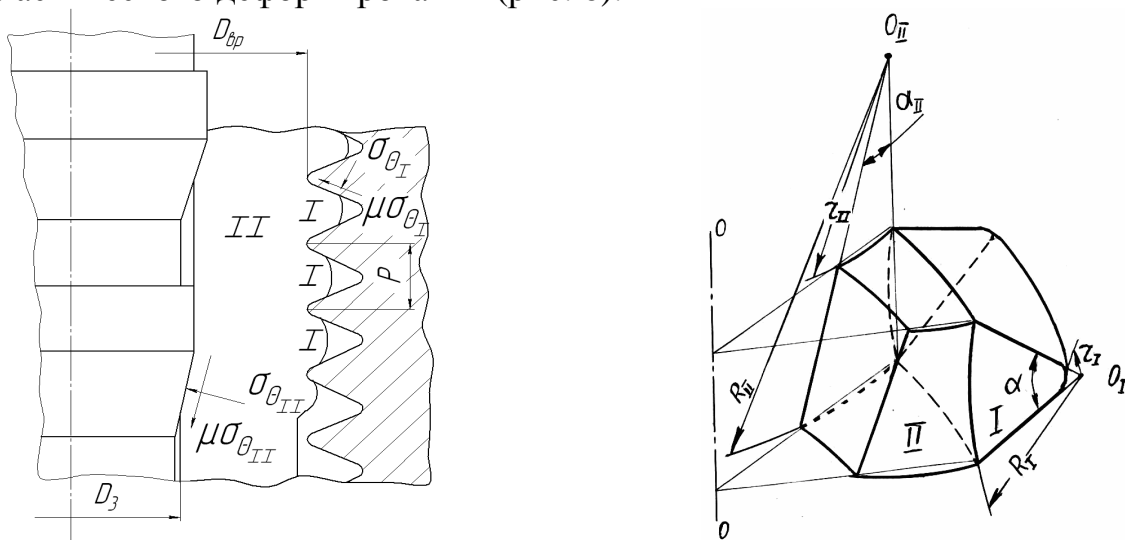


Рис. 6. Схема формообразования резьбы на ниппеле (слева) и элемент пластического деформирования (справа)

Элемент пластического деформирования наружной резьбы: I и II – выделенные характерные зоны очага деформации; О-О - ось пуансона; O_I – центр формирования гребня резьбы, расположенный на окружности центров первой тороидальной поверхности; O_{II} - центр формирования давления, расположенный на окружности центров второй тороидальной поверхности.

Задача решена методом баланса работ внешних и внутренних сил, который для рассматриваемого процесса может быть записан в виде:

$$dA_{\sigma_R} = dA_{\sigma_p} + dA_{\sigma_\theta} + dA_\tau + dA_{m_{pm}} + dA_{cdR},$$

где dA_{σ_R} — работа сил, создаваемых напряжениями σ_R на внешней границе очага деформации; dA_{σ_p} , dA_{σ_θ} и dA_τ — работа сил, создаваемых соответственно напряжениями σ_p , σ_θ и τ в очаге деформации; $dA_{m_{pm}}$ — работа сил трения на матрице; dA_{cdR} — работа напряжений сдвига на наружной (при $\rho = R$) границе очага деформации.

Получено выражение для радиального напряжения образования резьбы σ_1 , которое зависит от напряжения текучести материала заготовки, отношения шага резьбы к радиусу скругления впадины резьбы, трения, угла рабочего профиля резьбы и радиуса вершины резьбы r :

$$\sigma_1 = \sigma_s \ln \frac{R}{r} + \mu \sigma_s \alpha \left(1 - 0.5 \ln \frac{R}{r} \right) \frac{(R-r)}{\alpha R} \left(1 + \frac{R}{r} \right) + \frac{\sigma_s}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{8}.$$

Получены графики зависимостей относительной величины заталкивающего напряжения (отношение напряжения σ_1 к напряжению текучести материала заготовки) от различных факторов.

Для участка раздачи стенки при формообразовании резьбы (участок II, рис. б) также был применён метод баланса работ внутренних и внешних сил, но в другом виде:

$$dA_{\sigma_{\theta II}} + dA_{\tau_{p II}} + dA_{cd r} + dA_{cd R} + dA_{\sigma I} = dA_{\sigma_p} + dA_{\sigma_\theta} + dA_\tau,$$

где $dA_{\sigma_{\theta II}}$, $dA_{\tau_{p II}}$ – работа, создаваемая нормальными и касательными напряжениями на контактной поверхности пуансона с заготовкой; $dA_{\sigma I}$ — работа сил, создаваемых напряжениями $\sigma_{\theta II}$ на границе с I-ым участком очага деформации; $dA_{\sigma_p} + dA_{\sigma_\theta} + dA_\tau$ — работа сил, создаваемых соответственно напряжениями $\sigma_{\theta II}$, $\sigma_{p II}$ и τ_{II} в очаге деформации; $dA_{cd r} + dA_{cd R}$ — работа сдвига на внутренней (при $\rho = r$) и наружной (при $\rho = R$) границах очага деформации.

Получено выражение для величины нормального к поверхности пуансона напряжения:

$$\sigma_{\theta II} = \sigma_s \frac{\alpha_{II}}{\alpha_{II} + \mu} \left(\alpha_{II} + \alpha_{II} \frac{D_{вн.п} - D_3}{4P} - \frac{\sigma_I}{\sigma_s} \right) = \sigma_s \frac{\alpha_{II}}{\alpha_{II} + \mu} \left[\alpha_{II} \left(1 + \frac{D_{вн.п} - D_3}{4P} \right) - \frac{\sigma_I}{\sigma_s} \right].$$

При раздаче с утонением стенки, подобно вытяжке с утонением, имеются оптимальные значения угла конусности, при которых напряжение в стенках деформированной части заготовки имеет минимальную величину. Для определения оптимальных углов формула выше продифференцирована по углу α_{II} и производная приравнена к нулю. Получено квадратное уравнение:

$$\frac{d\sigma_{\theta II}}{d\alpha_{II}} = a_{II}^2 + 2\mu \cdot a_{II} - \frac{\sigma_I}{\sigma_s} \mu \frac{1}{1 + \frac{D_{вн.п} - D_3}{4P}} = 0,$$

при этом оптимальный угол пуансона определяется по формуле (корень уравнения):

$$\alpha_{II} = \mu \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{1}{\mu} \left(\frac{\frac{\sigma_l}{\sigma_s}}{1 + \frac{D_{вн.р} - D_3}{4P}} \right)} \right).$$

Из последней формулы следует, что величина оптимального угла конусности пуансона возрастает с увеличением коэффициента трения μ и отношения напряжения образования резьбы к пределу текучести материала, а также зависит от геометрических параметров резьбы - её внутреннего диаметра и шага, а также от толщины деформируемой заготовки. Причём, чем больше отношение толщины заготовки к шагу резьбы, тем меньше угол деформирующей части пуансона α_{II} . Построены графики зависимости оптимального угла наклона деформирующих поясков пуансона от различных факторов. Получены выражения для определения силы штамповки для винтового и конического пуансонов.

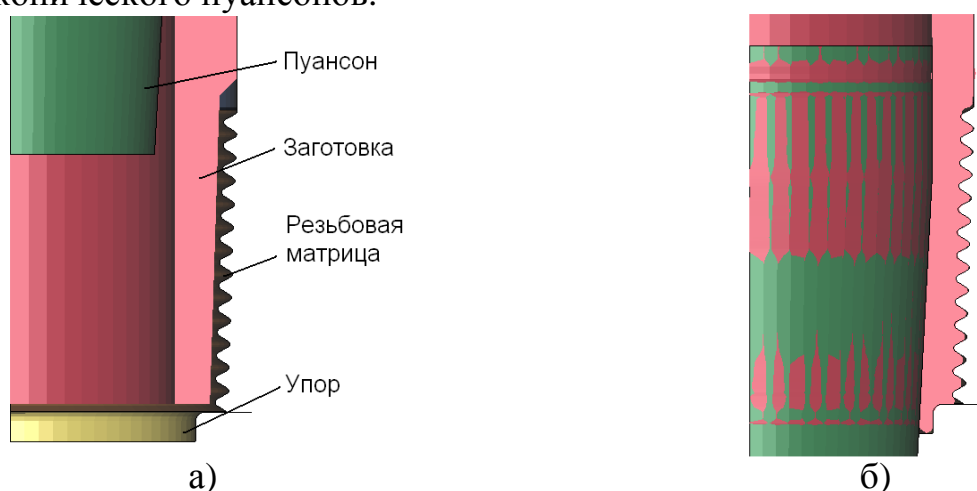


Рис. 7. Штамповка в резьбовую матрицу:

а–исходное состояние; б–некоторый промежуток времени

Для наглядного изучения формоизменения заготовки в процессе штамповки резьбы было применено компьютерное моделирование в программах ANSYS/LS-DYNA и QForm (рис. 7).

Моделирование процесса штамповки резьбы в QForm позволило изучить течение металла с помощью векторов скоростей (рис. 8).

Моделирование показало, что при формообразовании резьбы кроме радиального течения металла в профильные канавки имеет место и осевое течение в двух направлениях: в сторону движения пуансона (попутное течение) и против движения пуансона (встречное течение). Попутное течение может быть ограничено установкой на резьбовой матрице торцевого подпора или свободным (при отсутствии подпора). Встречное течение ограничивается только сопротивлением металла корпусной части заготовки. Позиция «а» соответствует исходному перед штамповкой относительному положению пуансона, заготовки и матрицы. На начальном этапе деформирования происходит раздача цилиндрического участка заготовки с заполнением зазора между заготовкой и стенкой матрицы. Затекания металла в резьбу на этом этапе не происходит (позиция «б»).

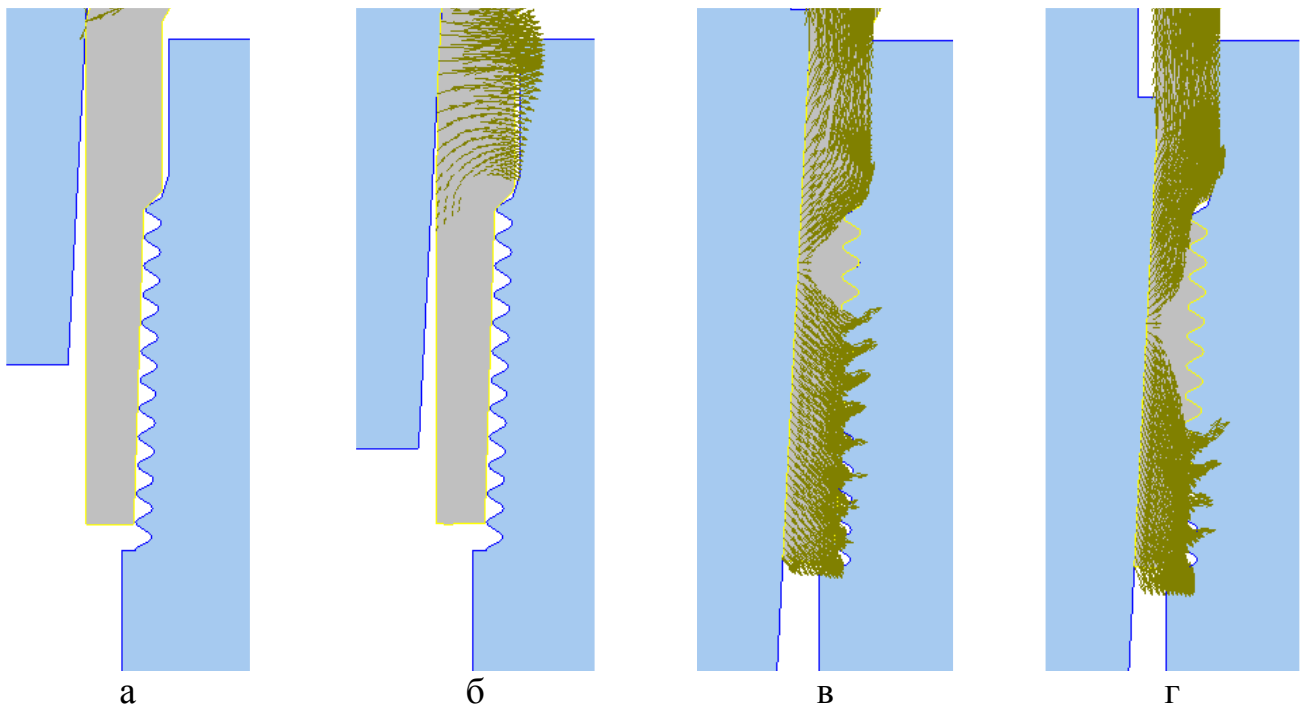


Рис. 8. Стадии последовательного формообразования наружной резьбы

После полного заполнения зазора при дальнейшем движении пуансона начинается формообразование резьбы с последовательным заполнением витков резьбы, начиная от верхнего. При этом в месте перехода от цилиндрической части к резьбе образуется застойная зона, относительно которой металл течет как в попутно - радиальном направлении, заполняя профиль резьбы и увеличивая высоту ниппельной части, так и во встречном направлении, в корпус заготовки. По мере продвижения пуансона происходит последовательное заполнение витков и, соответственно, увеличение высоты застойной зоны, где деформация уже закончилась. Поскольку стенка заготовки при продвижении пуансона продолжает деформироваться в радиальном направлении, металл вытесняется как в попутном, так и во встречном направлениях, причем граница раздела, которая находится примерно посередине застойной зоны, смещается в направлении движения пуансона по мере увеличения застойной зоны (позиции «в», «г»). При заполнении крайних нижних витков резьбы, металл, текущий в попутном направлении, встречает сопротивление со стороны торцевого подпора матрицы и вытесняется в кольцевой заусенец, а металл, текущий во встречном направлении, смещает муфтовую часть корпуса вверх за счет увеличения высоты верхней части ниппеля (видна потеря контакта заготовки с матрицей, см. позицию «г»). Встречное течение металла приводит к увеличению высоты цилиндрической части ниппеля и общей высоты заготовки. Также оно увеличивает силу деформирования и может приводить к искажению верхних витков, поскольку стремится вывести металл из уже заполненных верхних витков. Очевидно, чтобы уменьшить или избежать встречного течения при формообразовании резьбы необходимо изменить размеры заготовки и форму пуансона так, чтобы полное заполнение верхнего витка резьбы происходило, когда калибрующий пояс пуансона находится напротив этого витка. В этом случае формообразование нижележащих витков будет происходить в условиях, когда стенка заготовки на участке уже сформированных витков (т.е. выше калибрующего пояска) не деформируется пуансоном. Другими словами,

нужно прекращать радиальную деформацию стенки в сечениях, расположенных выше застойной зоны, образовавшейся в результате заполнения профиля канавки.

Изучено влияние различных факторов на параметры процесса, таких как угол конуса заходной части пуансона, коэффициент трения, использование упора и прижима.

Уровень контактных напряжений в резьбовой матрице при штамповке превышает величину 4500 МПа. На основе решения тестовой задачи установлено, что при данной геометрии резьбовой матрицы пластическая деформация, а далее и разрушение витков резьбовой матрицы наступит, если предел текучести материала резьбовой матрицы будет более чем в 1,9...1,92 раза меньше уровня контактных напряжений. Таким образом, предел текучести материала матрицы должен быть более 2360 МПа. На основании этого предложены марки сталей, удовлетворяющие этому требованию.

Установлено, что при реализации базового варианта необходимый для вывинчивания заготовки из матрицы момент силы составляет величину ~6200 Нм.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию штамповки корпуса переводника и наружной резьбы.

Цели и задачи экспериментальных исследований по штамповке корпуса переводника П73/60:

1. Проверить правильность теоретических расчетов и адекватность математической модели, использованной при разработке технологических процессов штамповки переводника.
2. Получить обоснованные рекомендации для разработки производственного штампа (исполнительные размеры обжимной матрицы).
3. Сопоставить макроструктуры заготовки и штампованной детали.



Рис. 9. Отштампованные детали из сплава АД1 и стали 40ХН

Экспериментально проверялись следующие варианты технологии штамповки переводника:

- горячая штамповка (моделируется штамповкой на сплаве АД1)
 - обжим трубной заготовки $\varnothing 89 \times 12$ мм
 - обжим предварительно подготовленной трубной заготовки $\varnothing 89 \times 12$ (обточка концевой части на $\varnothing 80$ мм)
- холодная штамповка (сталь 40ХН)

- обжим трубной заготовки $\varnothing 89 \times 12$ мм
- обжим предварительно подготовленной трубной заготовки $\varnothing 89 \times 12$ (обточка концевой части на $\varnothing 80$ мм)

Экспериментально получена партия отштампованных деталей (рис. 9).

Цели и задачи экспериментальных исследований по штамповке наружной резьбы:

2. Проверить правильность теоретических расчетов и выводов математического моделирования.
3. Установить влияние угла конусности и формы пуансона на силовые параметры штамповки и заполняемость профиля наружной резьбы.
4. Определить оптимальную толщину деформируемой стенки переводника, обеспечивающую заполняемость профиля резьбы при минимальном избытке металла.
5. Установить влияние торцевого подпора матрицы на заполняемость при штамповке резьбы.
6. Определить величину крутящего момента, необходимого для вывинчивания переводника из резьбового инструмента после штамповки резьбы.

Разработана экспериментальная штамповая оснастка для штамповки резьбы на переводнике (рис. 10).

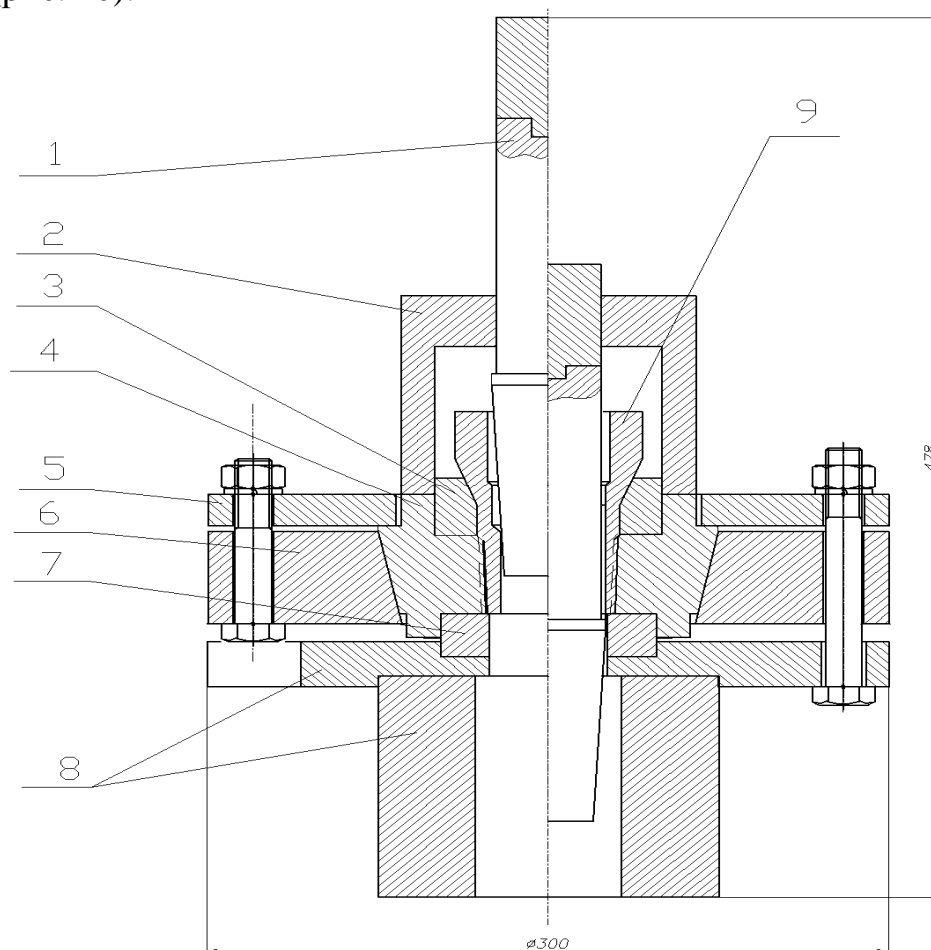


Рис. 10. Оснастка для штамповки наружной резьбы на ниппельной части переводника с использованием цельной (и разъемной) резьбовой матрицы.

- 1 - конический пуансон с хвостовиком, 2 – направляющий стакан,
 3 - центрирующее кольцо, 4 – резьбовая матрица (цельная или разъемная), 5 – фланец, 6 – бандаж, 7 – подпорное кольцо, 8 – опора, 9 – заготовка

Воздействием ползуна прессы на хвостовик пуансона производят штамповку резьбы путем раздачи стенки заготовки и заполнения металлом профиля резьбы матрицы. При использовании цельной матрицы вывинчивание детали из матрицы осуществлялось в специально разработанном приспособлении. При использовании разъемной матрицы (состоящей из 3 секторов) производилась разборка матрицы и освобождение детали.

Для количественной оценки заполняемости профиля резьбовой канавки было введено понятие «коэффициент заполняемости резьбового профиля».

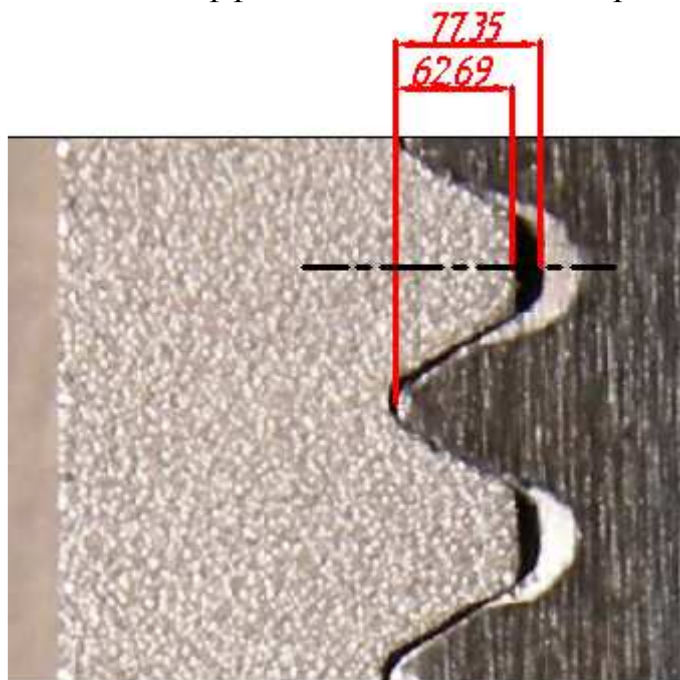


Рис. 11. Заполнение профиля резьбы матрицы (фото высокого разрешения).
Коэффициент заполняемости

$$k_{зр} = \frac{62,69}{77,35} = 0,81$$

Это безразмерная величина, равная отношению фактической высоты профиля штампованной резьбы к высоте профиля резьбы инструмента (матрицы) (рис. 11). Заполняемость профиля резьбы оценивается по всей длине резьбы, учитывая каждый виток, при этом указывается минимальное и максимальное заполнение, например 0,51-0,85. Замеры производились в AutoCad на фото с высоким разрешением.

Для наглядного изучения течения металла экспериментально проводилась поэтапная штамповка резьбы. Штамповка производилась гладким коническим пуансоном с углом конуса 3° поэтапно с разбивкой общего хода деформирования 128 мм на 4 участка по 32 мм каждый, с остановкой процесса в конце каждого участка. Затем заготовка извлекалась из резьбовой матрицы, измерялась, наблюдалась зона деформирования и степень заполнения профиля канавок резьбы.

Также исследовалось влияние следующих параметров на процесс штамповки резьбы:

1. Угол конусности пуансона : 5° , 3° , 2° .
2. Форма пуансона: гладкий конический, с кольцевыми канавками, с винтовой канавкой.
3. Наличие или отсутствие торцевого подпора течению металла.
4. Внутренний диаметр и высота ниппельной части заготовки, определяющие объем деформируемого металла.

5. Конструкция резьбовой матрицы – цельная или разъемная. Полная заполняемость резьбового профиля при отсутствии дефектов достигнута пуансоном с винтовыми двухзаходными канавками (рис. 12).

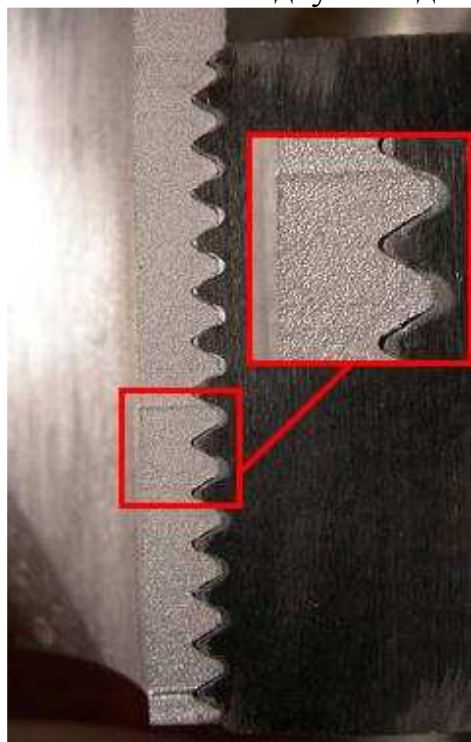


Рис. 12. Образец Н14, винтовой пуансон,
 $\alpha = 20$, $d = 44$ мм,
 $h = 35,3$ мм, $P = 0,42$ МН

Экспериментально установлено, что для вывинчивания поковки из резьбовой матрицы требуется момент около 6250 Нм.

Результаты моделирования хорошо совпадают с результатами физического эксперимента. В частности это касается образования дефектов в виде неполного заполнения резьбового профиля, а также дефектов, связанных с особенностями течения металла (вытекание металла из уже заполненных верхних и нижних витков).

Моделирование процесса штамповки резьбы в 3D также показывает образование дефектов, однако, при этом требуется в десятки раз большее время расчёта. Существенных преимуществ моделирования штамповки резьбы в 3D постановке не выявлено.

Четвёртая глава посвящена практическому использованию результатов работы. В ней содержатся объединение номенклатуры переводников в отдельные группы на основании одинаковых размеров ниппельной части и разработка технологии групповой штамповки корпусов переводников. Выполнен расчёт исходных заготовок для заданной номенклатуры из 20 наиболее востребованных типоразмеров переводников. Произведён расчёт матриц и разработаны чертежи шести универсальных блок-штампов с двумя сменными деталями, позволяющих штамповать заданную номенклатуру переводников.

Расчёт экономической выгоды использования предлагаемой технологии штамповки показал, что отход металла в стружку снижается до 4,4раз, что составляет примерно 162% от массы готовой детали. При этом затраты на материал сокращаются на 44,8%.

Выводы по работе

1. Разработанная технология обжима трубных заготовок может быть использована для штамповки переводников НКТ. В перспективе данная технология может быть использована для штамповки корпусов всей номенклатуры переводников переходного типа муфта-ниппель. Технология позволяет штамповать группу корпусов переводников в универсальных блок-штампах с двумя сменными деталями. При этом снижается отход металла в стружку до 4,4 раз (для переводника ПВ89/В60), снижается трудоёмкость и получается более качественная, по сравнению с резанием, поковка, имеющая благоприятное расположение волокон.
2. Аналитическое решение задачи по обжиму толстостенной трубы с учётом напряжения σ_z даёт уточнение толщины стенки около 3%.
3. Наилучшее заполнение профиля резьбы обеспечивает форма пуансона с винтовыми двухзаходными поясками с углом конуса 2^0 . Такой пуансон лучше заполняет резьбовой профиль, чем обычный конический пуансон и пуансон с кольцевыми поясками. При этом происходит минимальное встречное течение выдавливаемого металла, не образуются дефекты верхних и нижних витков.
4. Наилучшее заполнение профиля резьбы достигается при длине стенки заготовки под резьбу на 10-15% короче длины готового профиля, с соответствующим увеличением толщины стенки заготовки. В этом случае достигается полное заполнение верхних витков при минимальном объёме заусенца.
5. Коэффициент заполнения профиля резьбы при штамповке обеспечивается до 1 по всей высоте профиля.
6. Моделирование показало, что штамповка резьбы возможна на стальной заготовке в холодном состоянии, в этом случае для изготовления инструмента потребуются специальные стали и сплавы, с пределом текучести не менее 2360МПа.

РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Езжев А.С., Белокуров О.А., Легких А.Н. Разработка технологического процесса штамповки переводников для насосно-компрессорных труб // Заготовительное Производство в Машиностроении. – 2008. - №4. - С. 32-38.
2. Разработка технологического процесса штамповки переводников нефтекомпрессорных труб. Езжев А.С. [и др.]. // ОБРАЗОВАНИЕ ЧЕРЕЗ НАУКУ. Тезисы докладов Международной конференции. - М., 2005.- С.216.
3. Езжев А.С., Лёгких А.Н., Сидоров А.А. Разработка технологического процесса формообразования резьбы методом пластического деформирования с использованием программного комплекса DEFORM //Прикладные исследования в механике: Труды конференции «Инженерные системы 2007». - Москва, 2007. - 317с.
4. Езжев А.С., Легких А.Н. Экспериментальная штамповка переводников насосно-компрессорных труб// Заготовительное Производство в Машиностроении. – 2008.- №5. - С. 25-30.
5. Езжев А.С., Ковалёв В.Г., Лёгких А.Н. Формование наружной резьбы на трубных заготовках // Заготовительное Производство в Машиностроении. -2008. - №3. - С. 30-34.