На правах рукописи

Кривошеин Виталий Александрович

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОБЖИМА ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ ВЫБОРОМ ГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ ЕЁ КОНТАКТА С МАТРИЦЕЙ

Специальность 05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением



АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва
2011

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Дмитриев Александр Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Ступников Владимир Петрович.

кандидат технических наук, доцент
Лавриненко Владислав Юрьевич

Ведущая организация – ОАО « Институт Цветметобработка»

Защита состоится «7» декабря 2011 г. в ч. 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 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.

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1988038
Кривошеин В.А.Интенсификац

Автореферат разослан «7» ноября 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент Семенов В.И.

Для ЧПС

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Развитие промышленности ставит перед машиностроением задачу повышения качества изделий и эффективности производства. Широкое применение в различных отраслях машиностроения, в том числе и аэрокосмической, нашли конические осесимметричные детали. Используются конические детали, в частности в трубопроводах для соединения труб различных диаметров. К коническим деталям предъявляются высокие требования по эксплуатационным свойствам, точности геометрической формы, а также себестоимости их изготовления.

Указанные требования обеспечиваются использованием методов обработки металлов давлением. Постоянной задачей, стоящей перед теорией и практикой обработки металлов давлением, является увеличение степени деформации, достигаемой за один переход при минимальных затратах средств. Возможности формоизменения при обжиме цилиндрических заготовок ограничиваются потерей их устойчивости с образованием продольных или поперечных складок. Исследованные ранее методы силовой и термической интенсификации позволяют значительно повысить степень деформации, но использование этих методов имеет ряд недостатков, среди которых:

– необходимость применения точного локального нагрева и дополнительных нагревательных устройств;

– потребность в использовании сложных конструкций штампового инструмента с применением подпружиненных подпоров, либо подпоров с отдельным приводом.

Существует ряд заготовок, интенсификация процесса обжима которых разработанными ранее методами затруднена или не рациональна. К таким заготовкам можно отнести заготовки с дном, заготовки получаемые методом холодной объёмной штамповки и др. В то же время, к ним применим способ интенсификации профилированием поверхности инструмента.

Способ интенсификации процесса профилированием поверхности матрицы позволяет снизить влияние сил контактного трения, и тем самым повысить формоизменение за операцию. Использование такого способа не требует использования нагревательного оборудования и сложных конструкций штамповой оснастки и может совместно использоваться с другими способами интенсификации. Эффективность его применения ограничивается интенсивностью влияния сил контактного трения, которое в свою очередь зависит от угла наклона рабочей поверхности матрицы и значения коэффициента трения.

№ 1 1 У
им. Н.Э. Баумана
Библиотека

В связи с этим, проведение исследования процесса обжима в матрице с кольцевыми канавками, повышающего производительность процесса, является актуальной задачей.

Цель работы

Разработка методики проектирования обжима в матрице с кольцевыми канавками на её рабочей поверхности, позволяющего получить заданную деталь за меньшее количество технологических переходов и с меньшей силой деформирования, методики расчета параметров технологического процесса и конструкции штампа.

Достоверность результатов

Сопоставление результатов аналитического исследования процесса обжима в матрице с кольцевыми канавками, проведенного в развитие зависимостей, предложенных Е.А. Поповым, численного эксперимента, проведенного в программе QForm3D, и физического эксперимента показало удовлетворительное совпадение их результатов. Расхождение в пределах 14÷17%. Эксперименты проведены в лаборатории кафедры «Технологии обработки давлением» МГТУ им. Н. Э. Баумана на испытательной машине INSTRON DX600. Аппроксимация экспериментальных и теоретических данных, а также построение всех графиков проведено в программе Microsoft Excel 2007.

Научную новизну имеют следующие результаты:

- выявленный диапазон углов конусности матрицы, при которых эффективно профилирование её рабочей поверхности окружными канавками;
- построенные математические модели для расчета геометрии матрицы с кольцевыми канавками.

Практическую значимость имеют следующие результаты:

- разработанная научно обоснованная методика проектирования технологического процесса обжима в матрице с кольцевыми канавками;
- конструкция опытно-промышленного штампа.

Апробация работы

Основные положения и материалы работы доложены и обсуждены на

- конференции Студенческая весна в МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008 г.;
- научных семинарах кафедры Технологии обработки давлением МГТУ им. Н. Э. Баумана, в 2010 и 2011 г.г.

Публикации

Основное содержание диссертационной работы изложено в 5-ти научных работах, включая статьи и опубликованные тезисы докладов конференций. Из них – в журналах по перечню ВАК – 3.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов по работе, списка литературы. Работа изложена на 130 страницах машинописного текста, содержит 71 рисунок, 22 таблицы и список литературы из 79 наименования.

Автор защищает:

- математическую модель операции обжима в матрице с кольцевыми канавками, учитывающую форму матрицы и материал заготовки и позволяющую определять коэффициент обжима и силу при обжиме в такой матрице;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований, показывающие, что применение кольцевых канавок значительно снижает влияние сил контактного трения;
- методику расчета операции обжима в матрице с кольцевыми канавками, позволяющей получить заданную деталь с меньшим количеством технологических переходов и меньшей силой деформирования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована её цель, определены научное содержание и новизна, практическая значимость, перечень положений, выносимых автором на защиту.

В первой главе проведен анализ существующих технологических процессов изготовления осесимметричных деталей из трубных заготовок; рассмотрено современное состояние теории и технологических процессов обжима; проведен анализ литературных источников, посвященных вопросам интенсификации процесса обжима, методов расчета и условий применимости известных методов интенсификации.

Решением рассматриваемой проблемой занимались следующие ученые О.В. Попов, М.Н. Горбунов, Ю.А. Аверкиев, Е.А. Попов, С.А. Евсюков, Э.Л. Мельников, А.Г. Пашкевич, В.И.Ершов и др. В работах этих ученых разработаны и усовершенствованы методы анализа процессов пластического формоизменения при разных способах обжима. Значительное количество разработанных способов обжима, позволяющих повысить степень формоизменения, свидетельствует об актуальности данной проблемы.

На основе приведенного обзора работ установлено, что коэффициент обжима трубных заготовок ограничивается предельной степенью деформации, ограничиваемой различными видами потери устойчивости в недеформируемой части заготовки и, как следствие, эффективность процесса зависит от возможности предотвращения от потери устойчивости при обжиме. Существующие способы интенсификации обжима трубных заготовок, наряду со сложностью их расчета, имеют такие недостатки, как необходимость использования дополнительного оборудования или сложность конструкции штампового инструмента.

Анализ работ предшественников позволил установить основные проблемы, возникающие при разработке технологических процессов формообразования из трубных заготовок и предложить более универсальный способ интенсификации профилированием рабочей поверхности инструмента кольцевыми канавками.

В соответствии с поставленной целью на основании проведенного литературного анализа сформулированы основные **задачи исследования**:

1. Обосновать способ обжима в матрице с кольцевыми канавками, позволяющий повысить степень формоизменения.
2. Построить математические модели для определения наилучших условий проведения обжима в матрице с кольцевыми канавками. На основе построенных моделей определить влияние геометрии кольцевых канавок на степень формоизменения.
3. Провести математическое моделирование методом конечных элементов и определить параметры, влияющие на предельный коэффициент обжима и размеры получаемой заготовки.
4. Спроектировать экспериментальную штамповую оснастку для обжима в матрице с кольцевыми канавками. Провести серию экспериментов по обжиму и определить степень повышения коэффициента обжима, с применением разработанного способа.
5. Разработать методику расчета технологического процесса обжима в матрице с кольцевыми канавками и спроектировать штамповую оснастку.

Во второй главе разработана модель деформирования осесимметричной трубной заготовки в матрице с кольцевыми канавками.

В качестве основных теоретических предпосылок используются положения, сформулированные Е.А. Поповым, для обжима в конической матрице. В начальном периоде образования контактного участка очага пластической деформации краевая часть заготовки отходит от поверхности матрицы. Это объясняется тем, что элементы заготовки, перемещающиеся из участка свободного изгиба в участок, контактирующий с матрицей, имеют в меридиональном сечении определенную кривизну срединной поверхности. Это связано с действием изгибающего момента. Так как на краевую часть заготовки не действуют внешние силы, способные вызвать изгибающий момент, необходимый для спрямления, то изменение кривизны происходит за счет внутренних сил, образованных окружными напряжениями σ_θ. На основании этих положений, предложены этапы деформирования на рис.1.

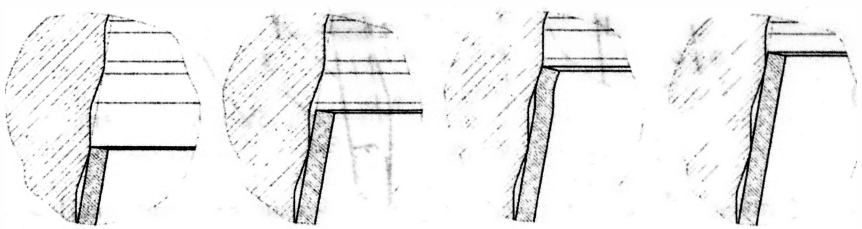


Рис. 1. Этапы деформирования в матрице с профилированными кольцевыми канавками: а) выход концевой части на вершину ступеньки; б) деформирование концевого участка без контакта с инструментом; в) деформирование коническим участком ступеньки; г) спрямление участков заготовки между ступеньками

Участок 1 имеет контакт с матрицей по вершине кольцевой канавки. На этом участке, наряду с напряжениями σ_ρ и σ_θ, на поверхности заготовки также возникают нормальные контактные напряжения σ_n. Протяженность данного участка можно считать равной длине скругленного участка вершины кольцевой канавки. Участок 2 образуется в результате действия спрямляющего момента и не имеет контакта с рабочей поверхностью инструмента. Пластическая деформация этого участка происходит за счет сил, действующих внутри обжимаемой заготовки. Участок 3 свободного изгиба находится на входе заготовки в формообразующую часть матрицы и имеет радиус R_ρ. Заготовка на данном участке не соприкасается с инструментом. На участке 4 действует момент спрямления стенки заготовки, под влиянием которого она принимает коническую форму. Таким образом, по пути пластического деформирования заготовка только концевой частью касается конических участков матрицы. Контакт же других участков проходит по вершинам ступенек матрицы.

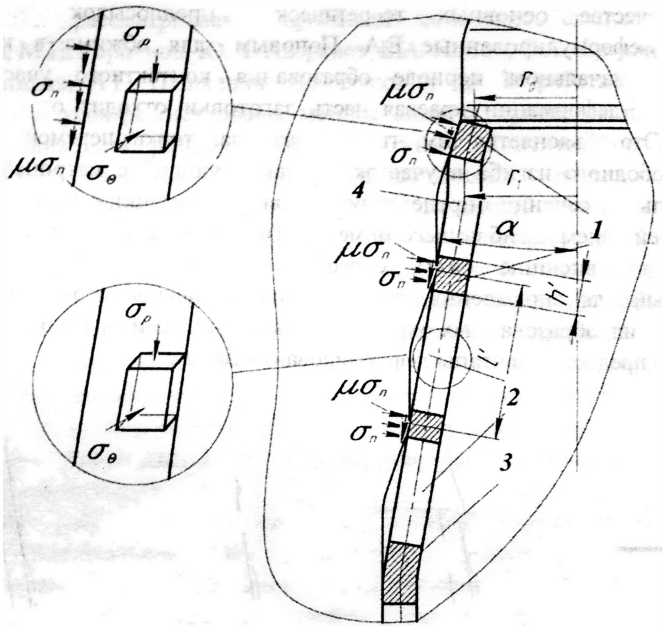


Рис. 2. Схема внутренних и внешних сил при обжиме в матрице с кольцевыми канавками и участки в очагах пластической деформации: *1* – участок контакта с инструментом; *2* – участок без контакта с инструментом; *3* - участок изгиба-спрямления на входе в матрицу; *4* – участок изгиба-спрямления концевой части заготовки

В третьей главе приведены основные уравнения и соотношения для анализа обжима в матрице с кольцевыми канавками. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований.

В соответствии с предложенной схемой (рис.2) определим $\sigma_{\rho max}$, действующее в недеформируемой стенке заготовки. Уравнение равновесия для случая осесимметричного деформирования тонкостенной заготовки имеет вид (1):

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta - \frac{\mu\rho}{\sin\alpha}\left(\frac{\sigma_\rho}{R_\rho} + \frac{\sigma_\theta}{R_\theta}\right) = 0. \qquad (1)$$

Рассмотрим уравнение равновесия для каждого из участков. Принимаем допущение, что зона контакта на участке 1 прямолинейна, с углом наклона α и равна величине $h=(1/3)l$. Тогда, при $R_\rho = \infty$; $R_\theta = \rho/\cos\alpha$; $\alpha=const$, получим уравнение равновесия без учета изменения толщины:

$$\rho\frac{d\sigma_\rho}{d\rho}+\sigma_\rho-\sigma_\theta(1+\mu\mathrm{ctg}\alpha)=0. \qquad (2)$$

После совместного решения уравнения (2) с условием пластичности Сен-Венана и отыскания произвольной постоянной из граничного условия $\sigma_\rho=0$ при $\rho=r_0$ получим:

$$\sigma_\rho=-\sigma_s(1+\mu\mathrm{ctg}\alpha)(1-r_0\ \rho). \qquad (3)$$

Считаем, что изгиб и спрямление с одинаковыми пределами изменения радиусов кривизны дают одинаковое увеличение меридионального напряжения на $\Delta\sigma_\rho$. Величина $\Delta\sigma_\rho$ на 1 участке определяется по формуле:

$$\Delta\sigma_\rho^{\ 1}=\frac{\sigma_s s}{4R_\rho}, \qquad (4)$$

где

$$R_\rho=\frac{\sigma_s s}{4\sigma_\rho^{\ 1\text{-}2}(1-\cos\alpha)}. \qquad (5)$$

При подстановке значения $\rho=r_1$ определим значение $\sigma_\rho^{\ 1\text{-}2}$, действующее в коническом участке на границе участка 1 с участком 2 по формуле:

$$\sigma_\rho^{\ 1\text{-}2}=-\sigma_s(1+\mu\mathrm{ctg}\alpha)(1-r_0\ r_1). \qquad (6)$$

Совместным решением уравнения пластичности и уравнения равновесия (1) при условии, что $\mu=0$ для участка изгиба-спрямления 2, получим дифференциальное уравнение:

$$\frac{d\sigma_\rho}{\sigma_\rho+\sigma_s}=-\frac{d\rho}{\rho}. \qquad (7)$$

Интегрируя, получим выражение:

$$\sigma_\rho=\sigma_s+\frac{c_1}{\rho}. \qquad (8)$$

Найдем величину c_1 из условия, что $\sigma_\rho=\sigma_\rho^{\ 1\text{-}2}+\Delta\sigma_\rho$ при $\rho=r_1$:

$$c_1=\sigma_s\left[1-(1+\mu\mathrm{ctg}\alpha)(1-\frac{r_0}{r_1})-\frac{s}{4R_\rho}\right], \qquad (9)$$

где

$$r_1=R_з-nl\sin\alpha, \qquad (10)$$

где n – количество кольцевых канавок.

Найденное значение постоянной (9) подставим в уравнение (8) и найдем уравнение для определения напряжения $\sigma_\rho^{\,2}$ в участке 2 при $\rho=r_2$:

$$\sigma_\rho^{\,II} = -\sigma_s\left[1-\frac{r_1}{r_2}+(1+\mu\operatorname{ctg}\alpha)\left(1-\frac{r_0}{r_1}\right)+\frac{s}{4R_\rho}\right], \tag{11}$$

где $$r_2 = R_з - ((n-1)l+h)\sin\alpha. \tag{12}$$

Решая совместно выражение (3) при $\rho=r_3$ и (11) получим уравнение для определения напряжения $\sigma_\rho^{\,1\text{-}3}$ на границе участков 1 и 3:

$$\sigma_\rho^{\,1-/3} = -\sigma_s\left[1-\frac{r_1}{r_2}+(1+\mu\operatorname{ctg}\alpha)\left((n-1)-\frac{r_0}{r_1}-\frac{r_2}{r_3}\right)+\frac{s}{4R_\rho}\right], \tag{13}$$

где $$r_3 = R_з - (n-1)l\sin\alpha. \tag{14}$$

На участке 3 стенка заготовки имеет коническую форму на протяжении всего процесса. Расчет напряжений σ_ρ на этом участке проводим по формуле (3) учитывая, что $\mu=0$. Аналогичный подход используем для определения $\sigma_{\rho max}$ на всем протяжении очага пластической деформации.

С учетом упрочнения, изгиба-спрямления и изменения толщины заготовки получим:

$$\sigma_{\rho\max} = -\frac{\sigma_{TO}}{2}\left[1+\frac{П}{2\sigma_{TO}}\left(1-\frac{r_0}{R_з}\right)\right]\times\left[1+\sqrt{\frac{R_з}{r_0}}\right]\times$$

$$\times\left[n-\sum_{i=1}^{n}\frac{r_{2i-1}}{r_{2i}}+(1+\mu ctg\alpha)\left(n-\sum_{i=1}^{n}\frac{r_{2i-2}}{r_{2i-1}}\right)(n(3-2cos\alpha))+\frac{s}{4R_\rho}\right], \tag{15}$$

где $\sigma_{то}$ – экстраполированный предел текучести,

$П$ - модуль упрочнения.

По уравнению для матрицы с тремя кольцевыми канавками построены графики зависимости силы при обжиме от коэффициента обжима при разных коэффициентах трениях и углах наклона матрицы.

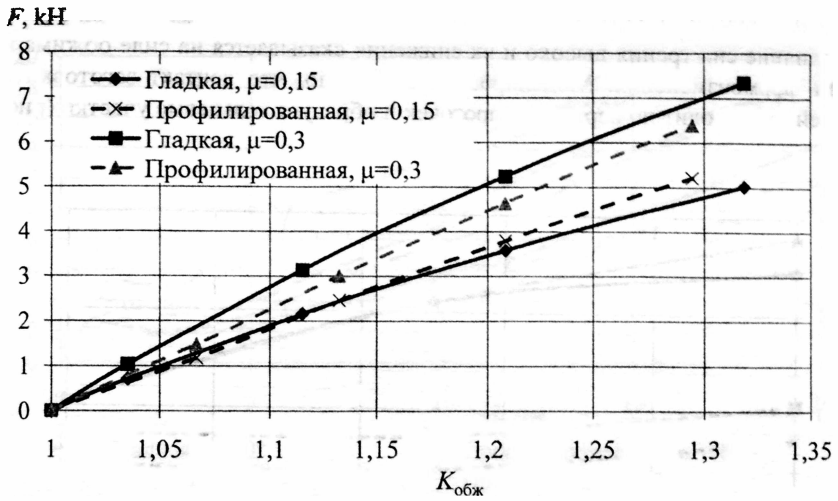


Рис. 3. График зависимости силы обжима от коэффициента обжима при различных коэффициентах трения μ и угле наклона матрицы α =10°

Анализ результатов расчета показал, что профилированная матрица эффективна при высоких коэффициентах трения μ > 0,3, что объясняется большим влиянием сил трения, чем при малых коэффициентах трения, на процесс обжима и их снижением за счет формы матрицы. Эффективность матрицы с кольцевыми канавками наблюдается при углах матрицы до 16,5°.

Для определения достигаемого формоизменения заготовки при обжиме в гладкой матрице и матрице с кольцевыми канавками, а также определения влияния параметров матрицы на формоизменение был проведен компьютерный эксперимент. Моделирование процесса обжима проводилось в программном комплексе QForm 3D.

При обжиме в матрице с кольцевыми канавками при μ = 0,3 и α = 10° сила, относительно гладкой матрицы, снижается на 21,4%, при μ = 0,15 сила увеличивается на 15,5%. При обжиме же в матрице с кольцевыми канавками при углах α = 20°÷30° сила увеличивается при рассматриваемых коэффициентах трения, и в среднем больше на 15%, чем при обжиме в гладкой матрице. Это объясняется не столь значительным влиянием сил

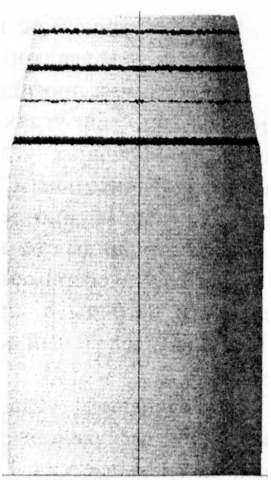


Рис. 4. Участки контакта заготовки и матрицы

трения при обжиме на больших углах при малых коэффициентах трения. При α < 20° влияние сил трения высоко и их снижение сказывается на силе обжима и степени формоизменения. Моделирование показало, что контакт заготовки с матрицей происходит по вершинам проточек и образует кольцевые участки (рис. 4).

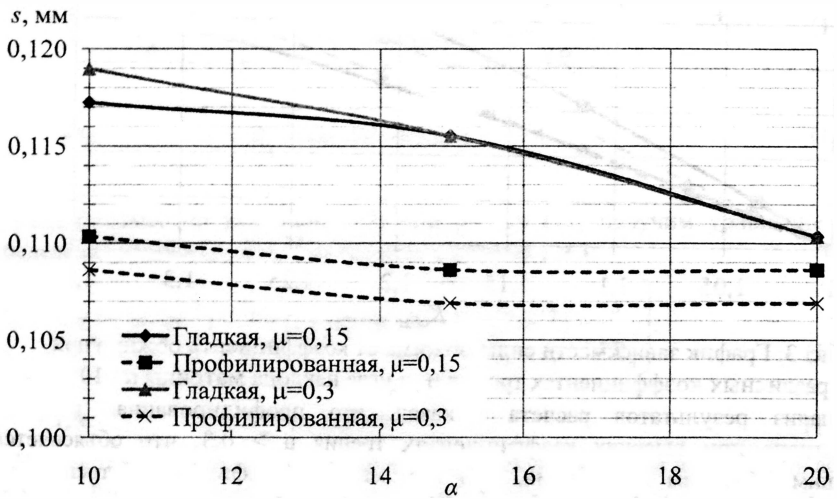


Рис. 5. График зависимости толщины стенки заготовки от угла матрицы α для гладкой матрицы и матрицы с канавками

При обжиме в профилированной матрице заготовка утолщается меньше в среднем на 10% при углах матрицы до α =15–18°, чем при обжиме в гладкой матрице, при больших углах эти значения выравниваются. Данный эффект объясняется значительным вкладом сил контактного трения на малых углах в изменение напряженно-деформированного состояния и как следствие увеличением толщины стенки заготовки.

Проведен эксперимент по исследованию влияния угла наклона рабочей поверхности матрицы α, профиля рабочей поверхности матрицы и материала заготовки на предельный коэффициент обжима, получены приведенные ниже графики.

С увеличением угла наклона матрицы с α =10° до 20° коэффициент обжима при деформировании заготовки из АД1 в матрице с кольцевыми канавками уменьшается с 1,36 до 1,27 (6,6%) , в гладкой матрице увеличивается с 1,22до 1,33 (8,2%), для заготовки из М1 в матрице с кольцевыми канавками уменьшается с 1,28 до 1,26 (1,6%) , в гладкой матрице увеличивается с 1,31 до 1,33 (1,5%). Ступенчатый характер графика объясняется различным напряженно-деформированным состоянием при прохождением заготовки через ступенчатые участки матрицы.

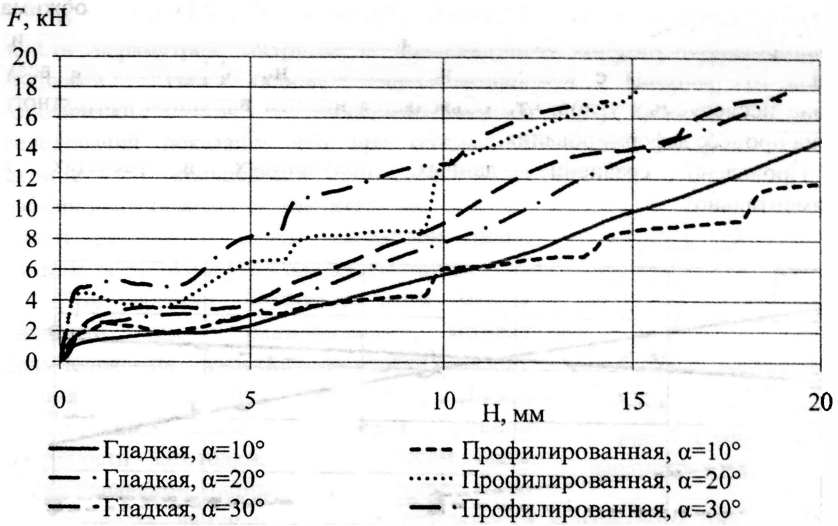


Рис. 6. График зависимости силы деформирования от хода инструмента для материала АД0 при различных углах наклона формообразующей матрицы α

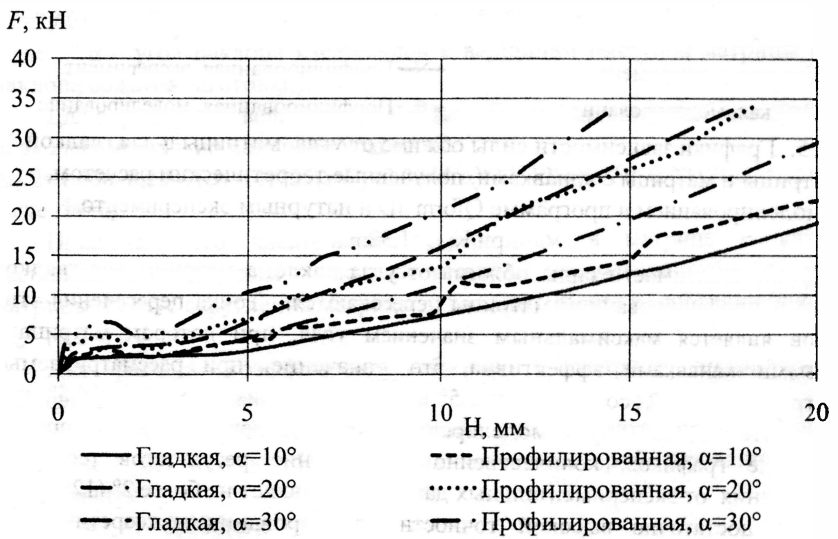


Рис. 7. График зависимости силы деформирования от хода инструмента для материала М1 при различных углах наклона формообразующей матрицы α

Для заготовки из материала АД0 при углах до 16,5° коэффициент обжима в профилированной матрице выше чем в гладкой. При обжиме заготовки из материала М1 матрица с кольцевыми канавками не эффективна на всём диапазоне исследуемых углов, что объясняется низким влиянием контактного трения на процесс деформирования.

Проведено сравнение данных, полученных в расчетах и экспериментально.

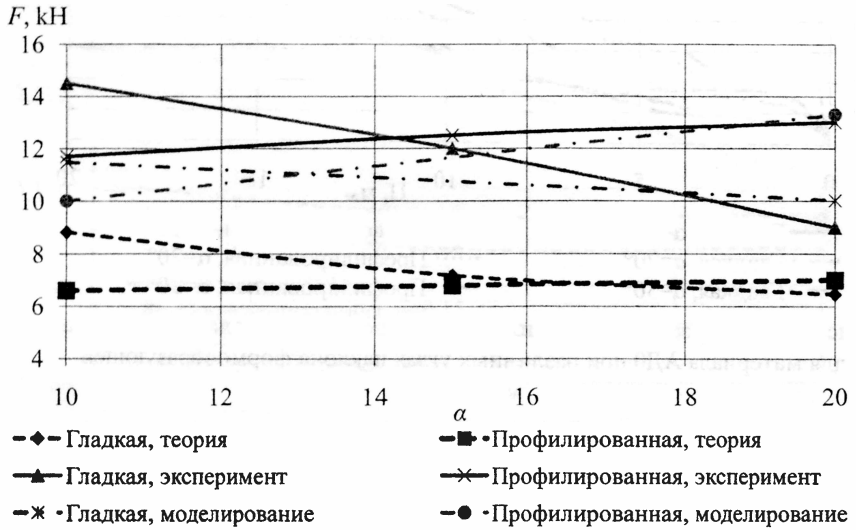


Рис. 5. Графики зависимости силы обжима от угла матрицы α для гладкой матрицы и матрицы с канавками, полученные теоретическим расчетом, моделированием в программе Qform 3D и натурным экспериментом при $K_{обж}$=1,32

Графики зависимости силы обжима от угла наклона матрицы для гладкой матрицы и профилированной матрицы пересекаются. Точка пересечения этих графиков является максимальным значением угла, при котором матрица с кольцевыми канавками эффективна, это значение, при рассматриваемых параметрах процесса, составляет 16,5° в теоретических расчетах, 14,5° при эксперименте и 13° при моделировании. Качественно видно хорошее соответствие графиков, количественно расхождение результатов теории и моделирования от экспериментальных данных составляет не более 2° (12%), что говорит о достаточно высокой точности моделирования и теоретического расчета обжима в профилированной матрице. Расхождение между экспериментом и теорией наблюдаются по силе обжима, что объясняется некоторым отличием в реологии материала, взятого из банка данных программного комплекса.

В четвертой главе приведена методика расчета параметров матрицы с кольцевыми канавками. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований показано, что при обжиме в матрице с кольцевыми канавками на коэффициент обжима в значительной степени влияют расстояние между канавками (шаг), толщина заготовки и угол наклона матрицы.

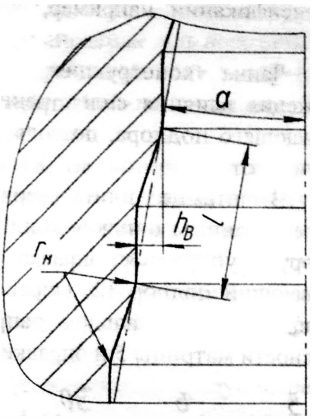


Рис. 7. Схема расчета параметров матрицы

При задании большего шага между канавками, чем рационального, момент спрямления на участке заготовки между касаниями вершин матрицы будет недостаточным для получения ровной поверхности заготовки. При меньшем шаге между канавками данный способ теряет свою эффективность, ввиду увеличения поверхности контактного трения. На рис.7 представлена схема для расчета параметров матрицы с кольцевыми канавками.

Для определения параметра матрицы l экспериментально получено уравнение регрессии:

l=2,605–0,077(α)–3,323(s/D)+0.0024(α)^2+1,536(α)(s/D) –0,077(α)^2 (s/D),

где α – угол наклона касательной к вершинам выступов матрицы (угол наклона обжатой заготовки).

Для определения величины расстояния между цилиндрическими участками $h_в$ экспериментально получено уравнение:

$\Delta d/2$=1,406–0,1547(α)–11,725(s/D)+0.0044(α)^2+1,49(α)(s/D)–0,0317(α)^2 (s/D),

где $\Delta d=h_в$.

Принимая, что касательная к вершинам в матрице с канавками располагается под углом α, по рассчитанным параметрам строится профиль матрицы. Радиус скругления матрицы $r_м$ рассчитывается из соотношения:

$r_м$=(0,2÷0,4)l.

Для расчета коэффициента обжима в матрице профилированной кольцевыми канавками используем сокращенное уравнение регрессии, полученное по результатам физического эксперимента, при коэффициенте трения $\mu \geq 0,3$ и $\alpha \leq 15°$ (при этих значениях профилированная матрица эффективна):

$$K_{обж} = 1,41 - 0,006(\alpha).$$

В случае, если определенный по последней из приведенных зависимостей $К_{обж}$ достаточен, переходят к конструированию штампа. Если $К_{обж}$ недостаточен, то возможно вместе с профилированием матрицы использовать другие методы

интенсификации, например, конструкцию оснастки с плавающей оправкой (рис. 8).

Данная конструкция позволяет повысить коэффициент обжима за счет снижения влияния силы трения на поверхности матрицы и дополнительного плавающего подпора, позволяющего повысить устойчивость недеформируемой части заготовки.

В штампе плита верхняя 3 направляется по двум колонкам 2, запрессованным в нижнюю плиту 1. На нижней плите установлена опора 14, на которую упирается оправка 13. Внутри оправки свободно перемещается плавающий подпор 12. Оправка с помощью установочных винтов 27 может смещаться в радиальном направлении. Это предусмотрено для обеспечения соосности матрицы 5 и оправки 13.

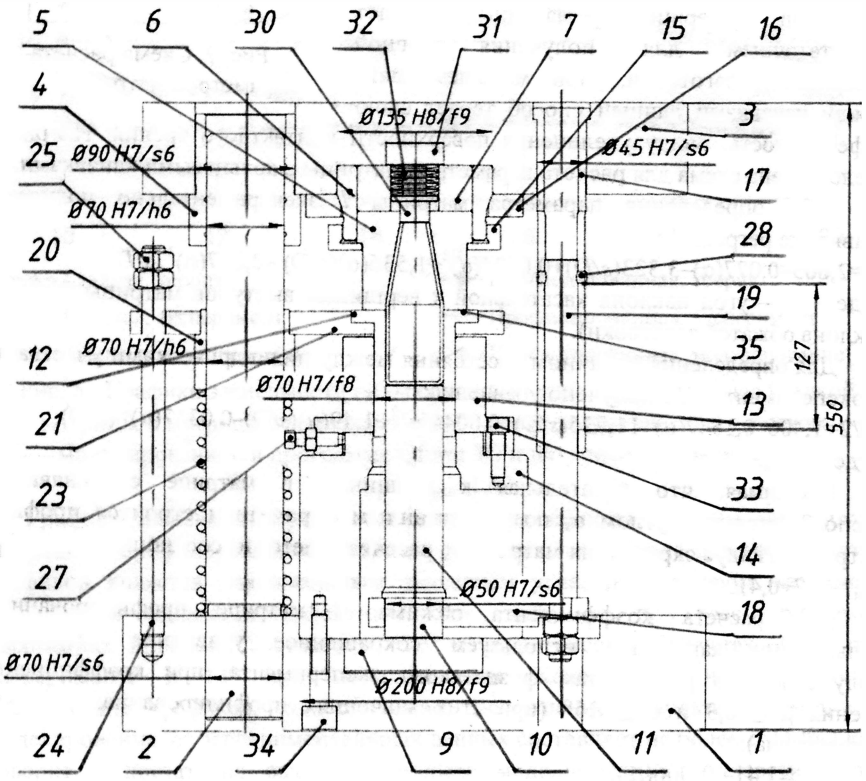


Рис. 8. Штамп с плавающей оправкой и матрицей с кольцевыми канавками

Матрица с помощью прижимного кольца 16 закреплена в матрицедержателе 5 и опирается на прокладку 7. Матрицедержатель неподвижно соединен с верхней плитой кольцом 16, внутри которого расположен верхний съемник 30, движение которого обеспечивается тарельчатыми пружинами 32. Пружины опираются на прокладку 31.

Внутри опоры 14 расположено коромысло 18, на котором установлен выталкиватель 11. Последний через прокладку 9 опирается на нижнюю плиту 1. Выталкивание заготовки из плавающего подпора 12 осуществляется следующим образом. При ходе ползуна пресса вверх втулки 17 через штифты 28 передают силу тягам 19. Тяги поднимают коромысло 18 с установленным на нем выталкивателем 11. Последний выталкивает заготовку из подпора 12, который удерживается на планке 21 при помощи винтов 35.

Для возврата плавающего подпора в исходное положение предусмотрена планка 21. При ходе ползуна пресса вверх планка поднимается посредством пружин 23 до упора в гайки 25 расположенные на шпильках 24, что позволяет регулировать высоту подъёма плавающего подпора.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ИТОГИ

1. В результате проведенного анализа различных способов повышения коэффициента обжима установлено, что предложенные ранее способы ограничены в применении для определенных техпроцессов и деталей, либо требуют дополнительного оборудования для их реализации. В связи с этим предложен способ повышения коэффициента обжима исключающий данные недостатки.

2. Эффективность профилированной окружными канавками матрицы наблюдается до угла наклона рабочей поверхности матрицы $\alpha = 14–16\ °$ и при наличии коэффициента трения $\mu > 0{,}3$, с уменьшением угла наклона эффективность профилированной матрицы увеличивается, что объясняется значительным влиянием сил трения при обжиме на малых углах, и тем самым высокой эффективности их снижения за счет формы матрицы.

3. Экспериментально установлены размеры кольцевых канавок и шаг между ними для различных углов наклона рабочей поверхности матрицы и толщины стенки трубной заготовки, использование которых оптимально для рассматриваемого процесса. Построенные уравнения регрессии для определения размеров матрицы после проведения ряда экспериментов показали свою адекватность.

4. Предложенная методика теоретического расчета показала хорошее качественное схождение с экспериментальными данными при углах $\alpha = 10°÷20°$. Расхождение в угле, ограничивающем эффективность предложенной матрицы, составило 2°. Моделирование также показало хорошую

сходимость к экспериментальным данным, расхождение в угле составило 1,5 °, расхождение по силе деформирования до 13% на углах $\alpha = 10°\div20°$. .

5. Разработанная методика проектирования матрицы, технологического процесса и штампа для обжима в матрице с кольцевыми канавками позволяет снизить силу при деформировании (более 30%), повысить коэффициент обжима (более 11%) и увеличить производительность обжима.

6. Способ интенсификации по форме инструмента можно применять для других технологических процессов, в том числе раздачи и вытяжки, в которых значительно влияние сил трения на предельную степень формоизменения.

Список работ по теме диссертации

1. Кривошеин В.А. Моделирование обжима трубы с применением термической и силовой интенсификации // Сборник тезисов второй всероссийской студенческой научно-технической конференции студентов Студенческая научная весна 2009: Машиностроительные технологии. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – С. 45-46.

2. Кривошеин В.А. Сравнительный анализ теоретических и экспериментальных данных при исследовании процесса обжима в матрице с кольцевыми канавками // Известия вузов. Машиностроение. – 2011. – № 5. – С. 49-53.

3. Кривошеин В.А. Интенсификация процесса обжима посредством выбора геометрии поверхности контакта заготовки с матрицей // Заготовительные производства в машиностроении. – 2011. – № 6. – С. 19-22.

4. Кривошеин В.А. Теоретический расчет силы при обжиме в профилированной матрице // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2011. – № 9 [Электронный ресурс]. URL: http://technomag.edu.ru/doc/215636.html (дата обращения: 10.10.2011).

5. Кривошеин В.А. Интенсификация процесса обжима посредством выбора геометрии поверхности контакта заготовки с матрицей // Теоретические и прикладные задачи обработки металлов давлением и автотехнических экспертиз. – Винница: ВНТУ, 2011. – С. 158-159.