

Корякин Н.А., Ништа А.П., Федоров В.Б.

ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ШТАМПОВКИ ОБКАТЫВАНИЕМ

Korjakin N.A., Nishta A.P., Fedorov V.B.

ROLLER STAMPING EQUIPMENT AND TECHNOLOGY

В работе рассматривается состояние и перспективы использования процессов обработки металлов давлением с локально подвижным очагом пластической деформации, выполненных в Ижевском механическом институте (ИжГТУ имени М.Т. Калашникова) на кафедре «Технология металлов и металловедение», специализированном отделе штамповки обкатыванием и специализированных производствах в Новосибирске, Орске и Перми. Учитывался также опыт исследований процессов штамповки обкатыванием, выполненных в Польше, Швейцарии, на Украине, в Ленинграде, как специзделий, так и гражданской продукции. Обсуждаются технологии и оборудование для штамповки обкатыванием заготовок широкой номенклатуры, возможность повышения комплекса механических свойств и эксплуатационной надежности изделий.

Ключевые слова: штамповка обкатыванием, точные заготовки, механические свойства.

Введение

До конца 2015 года ожидается существенное увеличение производственного потенциала страны. Соответственно увеличится объем машиностроительного и заготовительного производств. При этом не снимаются проблемы экономии металла, повышения качества и надежности изделий и увеличения производительности оборудования.

В решении этих задач ведущая роль будет принадлежать обработке металлов давлением (ОМД). Однако использование традиционно сложившихся методов ОМД не всегда является возможным. Так, снижение массы изделия за счет уменьшения относительной толщины заготовок, использование высокопрочных с малым ресурсом пластичности материалов ставит перед заготовительным производством задачи все большей сложности.

В связи с этим неуклонно растет интерес к технологиям, базирующимся на процессах обработки металла пластическим деформированием с более широкими технологическими возможностями, достигаемыми, например, локализацией очага пластической деформации. К ним, в пер-

вую очередь, относятся винтовая прокатка валками, роликками, кольцевыми матрицами, торцевая прокатка, а также штамповка обкатыванием.

При формировании локального очага пластической деформации, перемещающегося в заготовке по винтовой линии, как правило, меняются механизм течения металла, граничные условия, создаются возможности для дальнейшего снижения усилий деформирования. Несмотря на разное оборудование, процессы с локально-подвижным очагом пластической деформации имеют общие черты, связанные с особыми условиями течения металла в локальном очаге пластической деформации, окруженном жесткими недеформируемыми пластическими зонами.

Цель

Целью работы является обзор современных методов обкатывания для использования в машиностроении.

Результаты исследования

Штамповка обкатыванием выполняется на специализированном и традиционном (базовом) кузнечно-прессовом оборудовании после его модернизации. Локализация очага пластической деформации достигается колебательным (обкатывающим) движением инструмента. Разработаны эффективные процессы штамповки обкатыванием трудоемких и ответственных деталей широкой номенклатуры. Обеспечиваются экономия металла, снижение трудоемкости изготовления, повышение качества и эксплуатационной надежности изделий.

Возможность управления граничными условиями, создание различных схем напряженно-деформированного состояния в локальных зонах, изменение характера течения металла (вплоть до волнового), обеспечение относительно низких уровней остаточных напряжений и анизотропии механических свойств в продольном и поперечном направлениях позволяют штамповать обкатыванием заготовки, упрочняющая термическая обработка которых (например, закалка и отпуск) выполняется заранее. Заготовки после штамповки обкатыванием в полной мере отвечают термину «точные заготовки деталей».

Возможности штамповки обкатыванием существенно расширяются приданием колебательного движения пуансону, матрице или заготовке. Форма инструмента для обкатывания может быть разнообразной: от простейшей – плоской или близкой к ней (при объемной штамповке) до охватывающей на определенной части поверхности (при обработке полых и трубных заготовок). Изменением угла при вершине плоского сплошного инструмента, например, можно получить конический пуансон или коническую матрицу для штамповки заготовок типа воронок. Конические пуансон и матрица легко трансформируются в инструмент для обработки

полых и трубных заготовок. Возможна также комбинация различных видов инструмента. Штамповка обкатыванием плоских заготовок, известная под названием, «сферодвижная штамповка», является частным случаем более сложных процессов. В зависимости от того, какой части инструмента (пуансону или матрице) сообщается колебательное движение, изменяется и положение инструмента относительно центра колебаний, а также углы его профиля [1].

Успешное внедрение технологии штамповки обкатыванием обуславливается решением комплекса теоретических и технологических задач. К первой группе относятся задачи разработки схемы контактного взаимодействия инструмента с заготовкой и геометрии очага деформации. На основе анализа напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации рассчитываются технологические параметры.

Вторая группа задач включает изучение результирующих технологических показателей и их связи с входными параметрами с учетом решения задач первой группы. Управление формами и размерами очагов пластической деформации, изменением положения инструмента относительно центра колебаний и кинематическими условиями на контактных поверхностях обеспечивает широкие возможности штамповки обкатыванием и позволяет отнести эти процессы к наиболее сложным процессам ОМД.

Сущность штамповки обкатыванием рассмотрим на примере осадки цилиндрической заготовки в штампе (рис. 1). Ось симметрии инструмента наклонена к оси заготовки под небольшим углом θ . В процессе обкатывания эта ось перемещается по поверхности кругового конуса с вершиной, лежащей на оси обработки, а пластическая деформация в каждый момент времени происходит лишь в части заготовки, находящейся в штампе. За каждый полный цикл обкатывания инструмент или заготовка перемещается в осевом направлении на величину подачи. Характерно, что в процессе обработки ни заготовка, ни инструмент не вращаются.

За время одного цикла при объемной штамповке обкатыванием, независимо от траектории движения, пластической деформации подвергается вся заготовка. Для реализации процессов в очаге деформации необходимо наличие поступательного движения инструмента от ползуна прессы или эквивалентного ему перемещения через зону деформации заготовки и движения кругового обкатывания инструмента от отдельного привода. Совмещение этих двух движений приводит к винтообразному перемещению локального очага пластической деформации по заготовке. При круговом обкатывании инструмента локальная поверхность контакта инструмента с деформируемой заготовкой вращается с заданной частотой. Взаимодействие между инструментом и заготовкой осуществляется путем качения инструмента по деформируемой заготовке.

Объемную штамповку обкатыванием можно сравнить с процессами прокатки аналогичных заготовок между синхронно вращающимися вместе с заготовкой инструментов с пересекающимися осями. В ряде случаев один из инструментов выполняют в виде прокатывающего вала (ролика). Основным преимуществом такого способа деформирования по сравнению со штамповкой обкатыванием является возможность исключения эксцентричного нагружения станины за счет установки нескольких прокатывающих валков или совмещения центра давления с зоной локальной деформации при соответствующем размещении механизма в рабочем пространстве. В связи с этим при штамповке обкатыванием на универсальных прессах, оснащенных устройствами с колебательным движением инструмента, приходится использовать лишь 75-80% номинального усилия пресса. Однако при объемной штамповке сравнительно небольших заготовок диаметром до 200 мм способом деформирования в условиях локально-подвижного очага пластической деформации как с вращением инструмента и заготовки, так и с колебательным движением, являются вполне равнозначными. В ряде случаев, например при высадке утолщений на стержнях, оформлении головок, вырубке из листа, штамповке некруглых в плане заготовок, используют лишь инструмент с колебательным движением (без вращения вокруг оси обработки). Тонкостенные заготовки корпусных и трубных деталей целесообразно штамповать на быстроходном прессовом оборудовании сравнительно небольшой мощности.

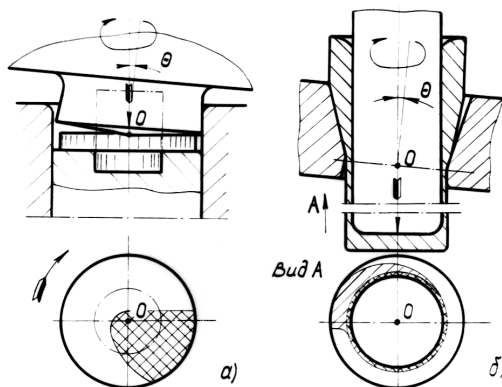


Рис. 1. Схема осадки обкатыванием цилиндрической заготовки в штампе – а и вытяжки с утонением стенки в обкатывающей матрице – б

Интенсивные исследования штамповки обкатыванием начались на кафедре и специализированном отделе штамповки обкатыванием (РСФСР) Ижевского механического института (ИМИ) в 1965 году. Было

создано опытное производство в ИМИ имевшее в своем составе три специализированных гидропресса усилием 10000 кН и длинноходовые прессы вертикального и горизонтального исполнения, усилием 1000, 3000 и 4000 кН. Параллельно были организованы спецпроизводства на заводах Новосибирска, Орска и Перми.

Одним из важнейших достоинств штамповки обкатыванием является возможность повышения всего комплекса характеристик механических свойств, а следовательно и эксплуатационной надежности изделий. Достигается это за счет измельчения зерна с образованием субструктур [2,3].

Пластическую деформацию сталей осуществляли в качающейся матрице со степенями деформации до 60-70% в зависимости от исходного структурного состояния: закалка + низкий, средний и высокий отпуск, затем последеформационный отжиг при 570°C, с целью сохранения эффекта упрочнения, создания полигонизованной структуры и снятия напряжений. Механические свойства и конструктивная прочность сталей 35X и 40X приведены в табл. 1.

Таблица 1
Механические свойства и конструктивная прочность сталей 35X и 40X

Схема упрочнения марки стали	Механические характеристики							
	σ_b МПа	σ_T МПа	Ψ , %	δ_5 , %	KCU ₊₂₀ Дж/см ²	KCU ₋₆₀ Дж/см ²	KCT ₊₂₀ Дж/см ³	KCT ₋₆₀ Дж/см ³
35X 3+O(570°C)	800	550	65	12	165	120	32	16
35X 3+O(570°C)+ШО ($\epsilon=30\%$)	980	900	63	12	160	120	60	40
35X 3+O(570°C)+ШО ($\epsilon=60\%$)	1000	950	60	11	150	116	50	40
35X 3+O (570°C)+ШО ($\epsilon=60\%$) +ПО(570°C)	900	810	70	18	164	178	77	80
35X 3+O (570°C)+ШО ($\epsilon=60\%$) +ПО (570°C)	800	680	70	18	220	215	140	145
40X 3+O (570°C)	900	700	55	12	100	80	20	12
40X 3+O(570°C)+ШО ($\epsilon=60\%$)	1320	1250	50	12	80	70	30	25
40X 3+O(570°C)+ШО ($\epsilon=60\%$)+ПО(570°C)	1050	950	55	18	ПО	100	70	701

3 – закалка, O – отпуск, ШО – штамповка обкатыванием,
ПО – полигонизационный отжиг.

Анализ характеристик прочности и пластичности (стали 40X и ряда других) конструкционных материалов показал, что при данной технологии имеет место значительный эффект упрочнения, приводящий к получению высоких

значений характеристик сопротивления пластической деформации, пластичности и вязкости. Испытания на динамическую трещиностойкость, как при комнатной, так и при пониженных температурах выявили уменьшение склонности конструкционных сталей к хрупкому разрушению.

Методом электронной микроскопии показано, что в данном технологическом процессе при деформировании опущенного мартенсита внутри пакетов (реек) формируется фрагментированная субструктура на нано- уровне с углами разориентировки $\sim 20^\circ$ и размерами фрагментов 0,1-0,2 мкм (100 – 200 нм). Формирование при больших пластических деформациях фрагментированной субструктуры внутри реек опущенного мартенсита приводит к образованию дополнительных поверхностей раздела, что увеличивает работу распространения трещины.

Проведен анализ изломов ударных образцов. Выявлено, что разрушение упрочненных сталей происходит по механизму расслоения, аналогично разрушению слоистых материалов, что является следствием особенностей сформировавшихся в данном технологическом процессе микро и субструктур.

Методом рентгеноструктурного анализа выявлена кристаллографическая текстура, которая имеет ряд особенностей в отличии от кристаллографических текстур, формирующихся при других схемах обработки металлов.

Кристаллографическая текстура, возникающая при ШО близка к текстуре, возникшей при прокатке. В обоих случаях это текстура $\{001\} \{211\} \{110\}$. Но в отличии от прокатки, где $\langle 110 \rangle$ совпадает с направлением прокатки, при ШО $\langle 110 \rangle$, смещено относительно образующей цилиндра на угол $\gg 10^\circ$. Кроме того текстура на внешней поверхности трубы несколько отличается от текстуры на внутренней поверхности. Дополнительно появляется текстура типа $\{110\} \langle 110 \rangle$.

Необходимо отметить чрезвычайную устойчивость текстуры сформированной при ШО. Отжиг на 570°C не изменяет характер текстуры. Кроме того, показано, что использование в данном технологическом процессе заключительного полигонизационного отжига позволяет снизить уровень остаточных напряжений, возникших при деформировании, а оптимизация температуры полигонизационного отжига позволила реализовать субструктурное упрочнение с получением высоких значений конечного комплекса механических характеристик и высокой конструктивной прочности готовых деталей.

В Ижевске освоена опытная технология производства сверхлегких стальных баллонов $\varnothing 219, 232$ и 254 мм из легированной стали 30ХМА с $m/v = 0.7$.

В основе технологии лежат процессы холодной штамповки обкатыванием с локально-подвижным очагом пластической деформации. При этом упрочняющая термическая обработка выполняется на исходных трубных заготовках или полуфабрикатах.

В 1996 году совместно с американской фирмой «INFAX, INC» в Ижевске было освоено мелкосерийное производство автомобильных металлокомпозитных баллонов типа КПГ-3 с алюминиевым бесшовным лейнером емкостью от 50 до 185 литров. Такие баллоны американской конструкции начала производить и фирма «Реал-Шторм» также в Ижевске. Собственные конструкции металлокомпозитных баллонов появились в фирмах «Баллон» г. Ижевск и «Токор» г. Миасс в 2003 году. При этом были решены вопросы повышения долговечности резьбовых соединений горловин и баллонов в целом, а также безопасности эксплуатации. В 2006 году емкость баллонов была доведена до 560 литров длиной до 6 м с рабочим давлением в баллонах 19,6, 24,5 и 31,4 МПа.

Повышенное до 31,4 МПа рабочее давление в автомобильных баллонах позволяет резко увеличить межзаправочный пробег, что особенно важно для сельхозтехники.

Разработки последних лет позволяют производить следующие виды продукции:

- передвижные автомобильные газовые заправщики (ПАГЗы), в том числе «Гидрогазы»;
- контейнеры с баллонами для перевозки больших объемов сжатого газа. Для справки: в двадцатифутовом контейнере монтируется 52 баллона емкостью по 360 литров (БА 360.31,4.330/5750 AL), суммарная масса газа в контейнере составляет 4650 кг;
- модульные сборки для автобусов на базе длинномерных баллонов;
- баллоны для систем локального пожаротушения;
- прецезионные и металлокомпозитные трубы. Прецезионные трубы десяти наименований с внутренним диаметром от 32 до 250 мм из алюминиевого сплава АД-33 осваиваются для автомобильных заводов, а также используются в производстве алюминиевых лейнеров для металлокомпозитных баллонов;
- телескопические гидроцилиндры [4];
- корпусные детали специзделий на базе комплексных технологий;
- широкую номенклатуру точных заготовок, в том числе зубчатых колес, получаемых штамповкой обкатыванием [5].

Разработанные в последние годы эффективные процессы штамповки обкатыванием (выдавливание, вытяжка, прессование, обжим и др.) в сочетании с известными процессами объемной штамповки позволили по иному подойти к традиционно сложившимся технологиям изготовления заготовок корпусных и других деталей изделий. Располагая определенными процессами штамповки обкатыванием, можно успешно разрабатывать и комплексные малопереходные технологические процессы изготовления точных заготовок корпусных деталей изделий диаметром до 200-250 и длиной до 1500 мм, включающие подготовку полуфабрика-

та (объемная штамповка обкатыванием) и последующее формирование. Отличительными чертами такой технологии должны стать экономия металла, меньшая трудоемкость, повышенное качество изделий, высокая производительность и мобильность технологии.

Наряду с оснащением универсальных прессов встроенными в рабочее пространство устройствами с колебательным движением инструмента основное внимание уделялось созданию специального оборудования для штамповки обкатыванием.

Главным рабочим органом устройств для штамповки обкатыванием является механизм, сообщаящий инструменту сложное колебательное движение. Кроме того, устройства для штамповки обкатыванием могут комплектоваться узлами изменения траектории колебательного движения инструмента, изменения его угла наклона и смещения по наклонной оси, проходящей через центр колебаний. Большое многообразие возможных конструктивных схем потребовало разработки классификации приводных устройств с колебательным движением инструмента (рис. 2).

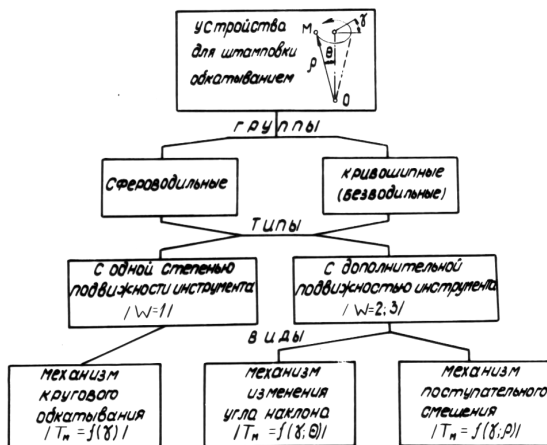


Рис. 2. Классификация устройств с колебательным движением инструмента по структурно-конструктивному признаку

На базе эксплуатации модернизированных прессов моделей ПО440ШО и П2940ШО был разработан специализированный пресс усилием 10000 кН для объемной штамповки обкатыванием и выдавливания глубоких стаканов диаметром до 400 мм. Наряду с использованием модернизированных длинноходовых вертикальных прессов моделей П7834 и П7836 были созданы длинноходовые специализированные пресса горизонтального исполнения.

Экспериментально установлены механизмы деформирования волокон в прессовках, состоящих из волокон различных диаметров и длин.

Показано, что процесс деформирования осуществляется за счет осадки, протяжки, изгиба и более сложных схем при затекании металла в межволоконное пространство. Размеры волокон оказывают влияние на механизмы деформирования на начальном этапе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корякин Н.А. Штамповка обкатыванием. Состояние и перспективы развития. / Н.А. Корякин // Кузнечно-штамповочное производство. 1990, №12. - с. 5-7.
2. Симонов Ю.Н. Диспергирование структуры стали 35X вплоть до наноуровня с целью создания материала для сосудов высокого давления / Ю.Н. Симонов, А.П. Ништа, С.С. Югай, А.С. Перцев // Металловедение и термическая обработка металлов. 2010, №11. - с. 7-12.
3. Ништа А.П. Структура и прочность труб, обработанных обкатыванием / А.П. Ништа, Е.П. Коробейникова, М.Б. Зиновьева, Е.И. Гуревич // Кузнечно-штамповочное производство. 1990, №12. - с. 8-9.
4. Корякин Н.А. Технология и оборудование для получения точных заготовок телескопических гидроцилиндров штамповкой обкатыванием. / В.П. Глухов, В.А. Хоменко, В.Б. Федоров // Кузнечно-штамповочное производство. 1992, №2. - с. 13-14.
5. Сурков В.А. Штамповка обкатыванием кольцевых и фланцевых заготовок. / В.А. Сурков, Н.А. Корякин, Э.Р. Галимов // Заготовительные производства в машиностроении, 2005, №7. - 28 с.

REFERENCES

1. Koryakin N. A. Roller stamping. State of the art and development trends // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo, 1990, Issue 12, pp. 5-7.
2. Simonov Yu. N., Nishta A. P., Yugay S. S., Pertsev A. S. Dispersing of the 35X steel structure to nanolevel for development of material for high-pressure tanks // Metall-ovedenie i termicheskaja obrabotka metallov, 2010, Issue 11, pp. 7-12.
3. Nishta A. P., Korobeynikova E. P., Zinoveva M. B., Gurevich E. I. The structure and strength of tubes processed by roller stamping. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo, 1990, Issue 12, pp. 8-9.
4. Koryakin N. A., Gluhov V. P., Homenko V. A., Fedorov V. B. Technology and equipment for production of precise billets of telescopic hydraulic cylinders by roller stamping. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo, 1992, Issue 2, pp. 13-14.
5. Galimov E. R., Koryakin N. A., Surkov V. A., Roller stamping of ring and flange billets // The journal 'Blanking productions in mechanical engineering', 2005, Issue 7, pp. 28-32.

Корякін Н.А., Нішта А.П., Федоров В.Б. Технології та обладнання штампування обкочуванням.

У роботі розглядається стан та перспективи використання процесів обробки металів тиском з локально рухомим середовищем пластичної деформації, виконаних в Іжевському механічному інституті на кафедрі «Технологія металів і металознавство», спеціалізованому відділі штампування обкочуванням і спеціалізованих виробництвах в Новосибірську, Орську і Пермі. Враховувався також досвід досліджень процесів штампування обкочуванням, виконаних у Польщі, Швейцарії, Україні, в Ленінграді. Обговорюються технології та обладнання для штампування обкочуванням заготовок

широкої номенклатури, можливість підвищення комплексу механічних властивостей і експлуатаційної надійності виробів.

Ключові слова: штампування обкочуванням, точні заготовки, механічні властивості.

Koryakin N.A., Nishta A.P., Fedorov V.B. Roller stamping equipment and technology.

This paper is considering the state and prospects of using metal forming processes with locally moving plastic deformation center to increase blank production volume, provide metal saving, improve product quality and reliability, increasing productivity of equipment.

Engineering methods of calculating stress-strain state of a metal in the deformation center were used. Strength and plasticity analysis of structural steels was conducted. Electron microscopy and X ray structure analysis methods were applied, and fracture of samples has been studied. We have considered papers written at 'Metal Technology and Metal Science' department of Izhevsk Mechanics Institute (M.T. Kalashnikov Izhevsk State Technical University) as well as articles from specialized department for roller stamping in Novosibirsk, Orsk and Perm. We also took into consideration studies of special products roller stamping conducted in Poland, Switzerland, Ukraine and Leningrad.

The efficient roller stamping process technology for wide range of accurate work-pieces has been developed, as well as specialized vertical and horizontal presses. Sub-structural strengthening was implemented for getting high values of resulting mechanical characteristics set and high constructive strength of finished parts.

One Doctoral thesis and 5 PhD theses were defended on the basis of the work findings, 1 book and 28 articles were published, 60 patents and authors' certificates obtained.

Keywords: *rolling-off stamping, precision billets, mechanical properties.*

Корякин Н.А. – д-р техн. наук, профессор «Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск, Россия.
e-mail: tmim@istu.ru

Ништа А.П. – к-т техн. наук, доцент «Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск, Россия.
e-mail: tmim@istu.ru

Федоров В.Б. - к-т техн. наук, доцент «Ижевского государственного технического университета имени М.Т.Калашникова», г. Ижевск, Россия.
e-mail: tmim@istu.ru