

Комбинированные процессы обработки металлов давлением с использованием поперечно-клиновой прокатки

к. т. н., с. н. с. Клушин В.А. Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, инженер Рудович А.О. ООО «Инженерный центр «АМТ инжиниринг», Минск, Беларусь.

Резюме: Рассматриваются высокоэффективные технологии предварительного профилирования заготовок под последующие операции безоблойной и малоотходной штамповки на прессах, обеспечивающие повышение коэффициента использования металла до 0,94.

Показана целесообразность использования компьютерного моделирования при определении оптимальной геометрии профилированной заготовки для последующей штамповки на горизонтально-ковочной машине стержневых поковок с глубокими глухими полостями.

Рассматриваются технологии изготовления готовых изделий со сложным профилем поперечного сечения прокаткой и редуцированием, не требующих последующей механической обработки.

Ключевые слова: Поперечно-клиновая прокатка, безоблойная штамповка, компьютерное моделирование, прошивка.

Основная масса штампованных поковок производится на универсальных паровоздушных штамповочных молотах (ПВШМ), кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП) и горизонтально-ковочных машинах (ГКМ).

Малоотходные технологии объемной штамповки осуществляют в открытых штампах с образованием облоя (открытая штамповка) или в закрытых штампах, безоблойная штамповка (закрытая штамповка).

Открытая малоотходная штамповка на ПВШМ и КГШП сопровождается незначительными потерями металла в облой, в связи с тем, что перед штамповкой осуществляют предварительное профилирование (фасонирование) исходной заготовки на дополнительно встраиваемом в штамповочную линию оборудовании для предварительной подготовки формы исходной заготовки в соответствии с эпюрой приведенных диаметров по поперечным сечениям поковки (расчетной заготовки).

Наиболее эффективным способом подготовки исходной заготовки для последующей малоотходной объемной штамповки поковок с удлиненной прямой или изогнутой осью является поперечно-клиновая прокатка (ПКП).

Поперечно-клиновой прокаткой, в зависимости от используемого оборудования, можно получать профилированные заготовки с точностью размеров по 6 ÷ 12 квалитетам. Наибольшую точность достигают на станах с плоским клиновым инструментом (*производитель – компания «АМТ инжиниринг», Республика Беларусь*) благодаря нагреву заготовок в заданном узком, контролируемом интервале температур, минимизации времени термодинамической стабилизации прокатной клетки, оптимальной жесткости прокатной клетки, увеличенной направляющей базы ползуна и использованию в качестве направляющих стандартных силовых опор качения. Высокая точность прокатываемых изделий на станах с плоским клиновым инструментом обеспечивается так же за счет высокой точности изготовления инструмента, оптимальной твердости его рабочих поверхностей, автоматизированной установки и зажима верхней и нижней инструментальных плит по стыковым поверхностям стана, гарантирующим идеальную выставку гравюр верхнего и нижнего инструментов относительно друг друга [1].

На примере производства поковок ключей гаечных двусторонних покажем целесообразность использования технологии ПКП для производства промежуточных профилированных заготовок под последующую малоотходную объемную штамповку.

РУПП «Кобринский инструментальный завод «СИТОМО» (*Республика Беларусь*) для производства ключей гаечных использует поточные линии штамповки, в состав которых входят устройства индукционного нагрева заготовок, валковые станы (вальцы) ПКП, паровоздушные молоты или горячештамповочные

прессы, эксцентриковые или однокривошипные обрезные прессы.

Использование станов ПКП позволяет наиболее рационально перераспределять объемы металла по сечениям заготовок для последующей штамповки поковок ключей за 1-2 удара молота с минимальными потерями на облой. Коэффициент использования металла на поточных линиях штамповки ключей составляет 0,7...0,81 [2].

Практика использования периодических профилей, полученных продольной и поперечной прокаткой, показала, что при необходимости предварительного профилирования заготовки в полном соответствии с эпорой приведенных диаметров по поперечным сечениям поковки предпочтение следует отдавать ПКП, как способу прокатки с высокой степенью точности. Особенно это важно, когда окончательная штамповка поковки выполняется в закрытом штампе.

Применение закрытой объемной штамповки позволяет увеличить коэффициент использования металла до 0,94 и одновременно снизить трудоемкость и себестоимость изготовления поковок за счет устранения операции обрезки облоя и необходимости применения оборудования и инструмента для обрезки, а также повысить качество поковок за счет более благоприятной схемы деформирования и расположения волокон [3].

Штамповка в закрытом штампе (безоблойная штамповка) характеризуется рядом особенностей, главными из которых являются необходимость применения заготовок равных объемов (масс) со штамповкой и малоокислительного нагрева или очистки заготовок от окалины перед штамповкой.

Отметим некоторые технологические особенности новой энергосберегающей технологии ПКП – закрытой объемной штамповки, разработанной в соответствии с патентом на изобретение RU №2305610, компанией «АМТ инжиниринг» по контракту с фирмой «Danaher Tool Group», США [4].

В соответствии с контрактом в 2004г. компания «АМТ инжиниринг» разработала и осуществила поставку автоматической линии WRL 3510 для ПКП высокоточной профилированной заготовки для безоблойной штамповки ключей гаечных двухсторонних из стали 4047 (AISI) для последующей штамповки по следующим переходам (рис.1):

- разрезка сортового калиброванного проката в штампе на прессе на штучные заготовки $\varnothing 21,67 \times 103$ мм, сталь 4047 (AISI) или сталь 45 (ГОСТ);

- профилирование исходной заготовки поперечно-клиновой прокаткой на автоматической линии ПКП компании «АМТ инжиниринг» WRL 3510 при температуре полугорячего деформирования 850-900°C, совмещая профилирование с дополнительным нагревом прокатываемой заготовки до температуры горячего деформирования 1050-1100°C. Дополнительный нагрев осуществляют путем изменения деформационных режимов прокатки.

- безоблойная штамповка поковки в закрытом штампе с компенсирующими полостями, расположенными в зевах ключа.



Рис. 1. Переходы изготовления поковки ключа гаечного двухстороннего

Поперечно-клиновая прокатка в режимах по способу [4] приводит к повышению температуры нагрева заготовки, наблюдается тепловой эффект пластической деформации, который выражается в том, что энергия, расходуемая на пластическую деформацию, превращается в основном в теплоту.

В способе используют предварительное профилирование заготовки поперечно-клиновой прокаткой плоским инструментом. Выбор указанной схемы прокатки обеспечивает не только наиболее высокую точность профилирования исходной заготовки по объему и размерам, но и термодинамическую стабилизацию заданного режима деформирования. Поле рассеивания диаметральных и линейных размеров прокатываемой заготовки гарантированно укладывалось в согласованные поля допусков на диаметральные и линейные размеры в пределах 0,2...0,26 мм.

Окончательную штамповку поковки осуществляют в закрытом штампе в режиме горячего формообразования при температуре 1050-1100°C, при этом показатель сопротивления стали деформированию $\sigma_{вт}$ равнялся 22 ÷ 25 МПа и заканчивали при температуре 850°C ($\sigma_{вт} = 55 \div 60$ МПа). Такой режим обеспечил формирование высокоточной поковки с мелкозернистой структурой и благоприятным расположением волокон, которые не перерезаются при последующих операциях окончательного изготовления ключа комбинированного. Дополнительный нагрев прокатываемой заготовки до температуры горячего деформирования не вызвал ее интенсивного окалинообразования благодаря изменению физической природы тепла и постоянному контакту заготовки с инструментами, ее вращению и постепенному деформированию от середины к концам.

В процессе отработки технологии поперечно-клиновой прокатки и последующей безоблойной штамповки проводили исследования механических свойств и микроструктуры образцов, изготовленных из исходной заготовки $\varnothing 21,67 \times 103$ мм в состоянии поставки, из профилированной заготовки (полуфабриката), полученной горячей поперечно-клиновой прокаткой, и поковки, отштампованной с этого же нагрева в закрытом штампе на КГШП. Механические характеристики представлены в табл. 1.

Как показали промышленные испытания новой технологии, предварительное профилирование заготовки при температуре полугорячего деформирования 850-900°C позволило снизить окалинообразование, повысить точность профилированной заготовки и качество ее наружных поверхностей. Кроме того, смещение температурного интервала нагрева исходной заготовки с 1200-1250°C в область пониженных температур 850-900°C позволили получить экономию электрической энергии, за счет сокращения времени индукционного нагрева на 20 – 28 %.

Таблица 1. Механические характеристики переходов формообразования ключа гаечного двухстороннего

Переходы формообразования поковки ключа	Механические характеристики материала (сталь 4047)								
	При испытании на растяжение				на ударную вязкость	на сжатие	Плотность	Твердость, НРС	
	σ_r , МПа	σ_B , МПа	δ_3 , %	ψ , %	КС, Дж/см ²	$\sigma_{0,2}$, МПа	ρ , г/см ³	Попереч. сечение	Продольн. сечение
Исходная заготовка	706	911	16,8	40,6	57	967	7,758	27	28
Профилированная заготовка	660	870	14,9	37,3	78,2	906	7,757	25 – 26	25 – 29
Отштампованная поковка	715	908	19,2	53,0	36,5	-	7,768	27	27

Эффективность использования ПКП для предварительного профилирования заготовки под закрытую штамповку можно видеть также на примере технологии изготовления звена цепи ОК 5056Б (проект выполнен в ГНУ «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» с участием автора настоящей статьи) [5].

Комбинированный процесс прокатки – штамповки (рис. 2), осуществляют по переходам:

- разрезка сортового калиброванного проката в штампе на прессе на штучные заготовки $\varnothing 18 \times 40$ мм (рис. 2, а);
- нагрев заготовок в индукционном нагревателе до температуры 1000°C;
- передача профилированных заготовок в штамп безоблойной штамповки в заданном темпе;
- штамповка поковки без дополнительного нагрева на механическом эксцентриковом прессе модели 001Е в закрытом штампе (рис. 2, в).

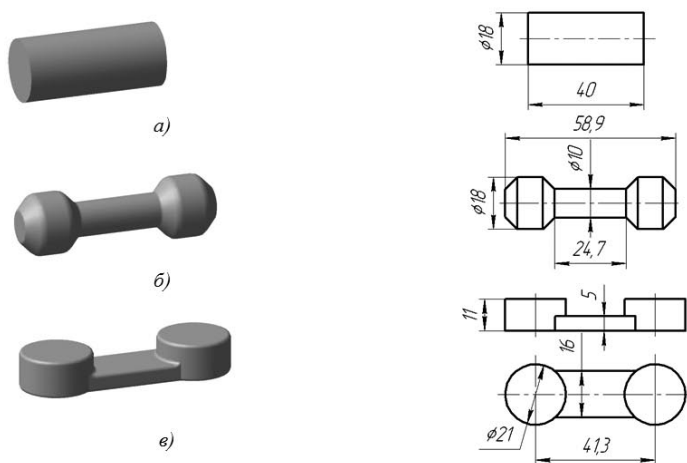


Рис. 2. Переходы изготовления звена цепи ОК 5056Б комплексной технологией прокатки-штамповки

Передача профилированных заготовок на безоблойную штамповку производится с помощью транспортера. Штамповку осуществляют с использованием остаточного тепла от прокатки. Температура профилированной заготовки в момент штамповки 900°С.

Принятая схема деформации позволяет не только производить штамповку при пониженных температурах, но, кроме того, увеличивать прочность изделий за счет высокой концентрации дефектов кристаллической решетки. В указанном интервале температур при наличии боковых сжимающих напряжений на поверхности деформируемого металла увеличивается энергия связи примесных атомов с дислокациями и, следовательно, повышается вероятность их взаимной блокировки. В результате этого в металле получается структура с высокой плотностью закрепленных дефектов кристаллической решетки, которые ответственны за увеличение прочностных свойств металла.

При эксплуатации звенья транспортеров ОК 5056Б испытывают значительные нагрузки от осей, связывающих звенья между собой. В этих условиях повышение твердости и прочности материала звена позволяет увеличить срок службы деталей на 30-35 % по сравнению с деталями, штампуемыми в открытом ручье при ковочной температуре. Внедрение техпроцесса ПКП и безоблойной штамповки звена транспортера позволило повысить коэффициент использования металла до 0,71.

При разработке комплексной технологии прокатки – штамповки важным этапом работы является определение оптимальной формы профилированной заготовки, которую достигают компьютерным моделированием или серией дорогостоящих пробных штамповок. Покажем целесообразность предварительного, на стадии расчета переходов формообразования поковки, компьютерного моделирования для определения оптимальной формы профилированной заготовки для последующей штамповки на горизонтально-ковочной машине (ГКМ) стержневых поволоков с глубокими глухими полостями, которые используют для изготовления ключей торцовых изогнутых (рис. 3). Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете (БНТУ).

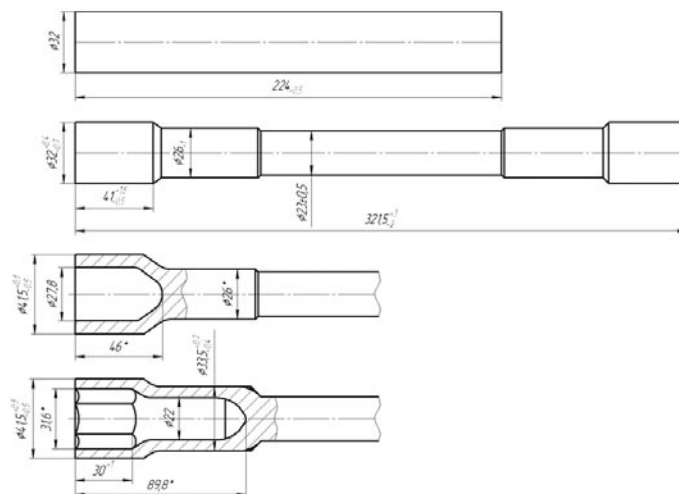


Рис. 3. Переходы изготовления поковки ключа торцового S27

Анализ возможных вариантов изготовления стержневых поковок с глубокими глухими полостями позволил определить наиболее перспективную, с точки зрения КИМ, трудоемкости изготовления, качества и конкурентоспособности, технологию на основе комбинированных методов ОМД [6], включающих ПКП и штамповку на ГКМ с минимальным количеством переходов.

При проведении компьютерного моделирования с использованием программы QForm 2D выполнялись следующие критерии оптимизации:

- заполнение калибров ручьев при сравнительно небольших усилиях деформации;
- уменьшение осадки и выдавливания при формировании первого перехода штамповки и увеличение раздачи металла;
- полное исключение выдавливания при прошивке заготовки на втором переходе.

Оптимизацию процессов формообразования при моделировании осуществляли путем изменения формы и размеров сферических головок прошивных пуансонов, геометрии переходных от ступени к ступени зон ручьевых вставок, а также размеров ступеней профилированной заготовки.

Профилированная заготовка должна обеспечить на первом переходе штамповки на ГКМ предварительное формообразование первой ступени торцового ключа с прошивкой отверстия для последующего формообразования гравюры рабочей полости на последнем окончательном переходе штамповки.

На первом переходе штамповки деформацию осуществляют путем осадки металла на начальном стадии процесса, раздачи и обратного выдавливания металла навстречу движения пуансона на конечном этапе формообразования без образования заусенца.

На втором переходе осуществляют прошивку второй ступени, исключительно, за счет радиальной раздачи металла с одновременным окончательным формообразованием головки ключа путем редуцирования шестигранной рабочей полости.

Прошивка глухого отверстия заданной глубины радиальной раздачей металла на втором переходе обеспечивает стабильное состояние ранее отштампованной головки ключа, так как отсутствует течение металла навстречу движения пуансона и, следовательно, гарантирует четкое формообразование шестигранной полости. Кроме того, прошивка глубокого отверстия только за счет радиальной раздачи металла способствует повышению стойкости прошивных пуансонов. В процессе моделирования также анализировались требуемое усилие, распределение температуры по объему заготовки, проработка структуры.

При прошивке глубоких глухих полостей переменного сечения в многоступенчатых стержневых поковках следует особое внимание уделять формовке и прошивке переходных зон поковки с меняющейся площадью поперечного сечения. В указанных зонах следует предусматривать плавные переходы форм калибра и дозированные объемы металла для создания оптимальных условий течения металла в нужном направлении (рис. 4, б), не допуская интенсивных сдвигов материала, приводящих к не заполнению формы калибра (рис. 4, а) или к образованию прострелов.

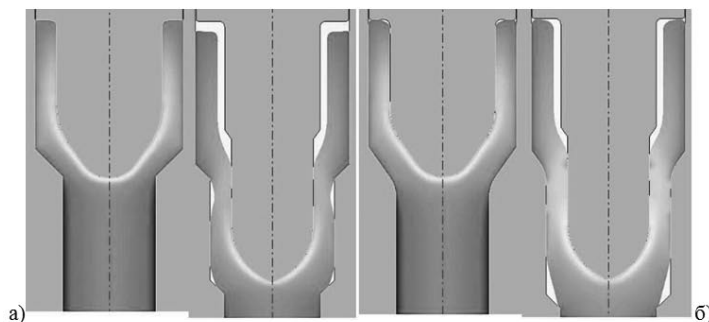


Рис. 4. Формообразование поковки ключа S27 до (а) и после оптимизации процесса штамповки (б)

Предварительное профилирование исходной заготовки поперечно-клиновой прокаткой обеспечило получение профилированной заготовки с допусками на прокатанные ступени по диаметральным размерам $\pm 0,2$ мм, по линейным размерам $\pm 0,3$ мм, что значительно выше, чем при продольной прокатке (вальцовке).

Обеспечение оптимальных технологических режимов (циклов) и последовательности выполнения операций предварительного профилирования заготовки и последующей штамповки поковки позволяют увеличить глубину прошиваемых полостей, повысить коэффициент использования металла и качество готовых изделий – поволоков торцовых ключей с глубокими глухими полостями.

На КИЗ «СИТОМО» прошла промышленную апробацию комплексная технология пластической формообразования стержневых изделий (торцовых ключей) поперечно-клиновой прокаткой и редуцированием [7].

В соответствии с разработанной технологией (рис. 5) поперечно-клиновой прокаткой получали из исходной заготовки две спаренные профилированные заготовки для последующего холодного редуцирования. Прокаткой обеспечивали точность диаметральных размеров ступеней в пределах $\pm 0,05$ мм.

В качестве подготовительных перед холодным редуцированием операций производили отжиг профилированных заготовок до твердости 235-270 НV, их фосфатирование и омыливание.

На первом переходе редуцирования формируется рельефная гравюра головки в виде шлицов или других мелкомодульных элементов требуемой конфигурации и размеров, а на втором – стержневая шестигранная часть торцового ключа.

Холодное редуцирование позволяет качественно формировать торцовые ключи при исходных диаметрах ступеней заготовок равных или близких описанным диаметрам их рельефных частей и степени деформации $\varepsilon \leq 30$ %. Напряженное состояние в очаге деформации характеризуется схемой всестороннего неравномерного сжатия, что способствует повышению пластичности обрабатываемого материала. Заготовка в процессе редуцирования непрерывно втягивается в матрицу, изменяя поперечное сечение и удлиняясь в осевом направлении.

При холодном редуцировании на проход между пуансоном с плоским рабочим торцом и заготовкой вводили промежуточную пластическую среду в виде прокладки (пыжа) из графита [8].

Редуцирование шестигранной поверхности с размером под ключ 10 мм осуществляли на прокатанной ступени диаметром $\varnothing 11,4_{-0,07}$ мм.



Рис. 5. Переходы изготовления торцового ключа

Редуцирование с промежуточной пластической средой обеспечивает уменьшение шероховатости деформируемых поверхностей до $Ra = 1,6$ мкм. Кривизна на длине редуцируемого участка 57 мм не превышает 0,1-0,2 мм, воротниковый заусенец на торце изделий исключен полностью. Кроме того, в штампе использован пуансон меньшей длины и упрощенной формы с плоским рабочим торцом.

Холодное редуцирование и последующее термоупрочнение обеспечивают высокие прочностные и эксплуатационные показатели торцовых ключей из стали 40XH: твердость 50-60 HRCэ, временное сопротивление разрыву 2000-2600 МПа, прочность при изгибе 3800-5000 МПа, прочность при кручении 1000-1500 МПа, ударная вязкость 20-60 Дж/см², сопротивление распространению трещин 160-270 кг/мм.

Выводы. 1. Рассмотренные примеры использования ПКП для предварительного профилирования заготовок под последующие операции малоотходной объемной штамповки поволоков с удлиненной осью и холодное редуцирование подтверждают высокую эффективность комбинированных процессов ОМД.

2. При необходимости предварительного профилирования заготовки в полном соответствии с расчетной заготовкой предпочтение следует отдавать ПКП с плоским клиновым инструментом, как способу прокатки с высокой степенью точности (точность размеров по 6 ÷ 8 квалитетам).

3. ПКП с температуры полугорячего деформирования и дополнительный разогрев прокатываемой заготовки до температуры горячего деформирования путем изменения деформационных режимов прокатки позволяет снизить энергозатраты и повысить качество штамповок за счет уменьшения окалинообразования.

Литература

1. Рудович А.О., Клушин В.А. Технология и оборудование поперечно-клиновой прокатки // Технический альманах «НМ – оборудование», № 1. 2005. М.: ООО «Печатный центр «Национальная металлургия». С. 45-48.
2. Рудович А.О., Клушин В.А., Почтарев И.Л., Ковальчук О.Н. Ресурсосберегающие технологии на КИЗ «СИТОМО» // Прогрессивные технологии обработки металлов давлением. Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика АН БССР В.П. Северденко, в двух частях, часть 2. Под общ. ред. Академика НАН Беларуси А.В. Степаненко. – Мн.: УП «Экоперспектива», 2004, стр. 153-160.
3. Рудович А.О., Клушин В.А. Изготовление поковок удлиненной формы комбинированными методами ОМД // Современные технологии металлообработки. Материалы международной научно-технической конференции. – Мн.: ФТИ НАН Б, 2005.
4. Патент № 2305610 (РФ), МПК В21Н 1/18, В21К 5/06.
5. Клушин В.А., Макушок Е.М., Щужин В.Я. Совершенствование поперечно-клиновой прокатки. Мн.: Наука и техника, 1980, С. 280.
6. Клушин В.А., Ковальчук О.Н., Кищук Д.В., Хрущев Е.В. Компьютерное моделирование комбинированных процессов ОМД при изготовлении стержневых поковок с глубокими глухими полостями // Теория и практика поперечно-клиновой прокатки. Материалы международной научно-технической конференции. – Мн.: УП «Экоперспектива». 2006. С. 136-139.
7. Клушин В.А. и др. Особенности изготовления сложнопрофильных торцовых ключей холодным редуцированием. Рефераты докладов, том 1, с. 54 //БГПА, 2002. Мн., УП «Технопринт».
8. Патент № 6413 (РБ), МПК В21К 5/16.