

выдавливания, дополнительно проведены расчеты процессов прямого и обратного выдавливания.

2. Получены распределения напряжений и деформаций для этих процессов. Показано, что минимальное усилие соответствует процессу двумя степенями свободы течения металла. 3 Расчетные значения усилий деформирования, полученные в результате математического моделирования энергетическим методом, имеют погрешность 5-8% по сравнению с результатами, полученных при расчете МКЭ.

Список литературы: 1. Иванов К. М., Лясников А. В., Гуменюк Ю. И., Матвеев С. А. Исследование технологических возможностей поперечного выдавливания методом конечных элементов // Металлообработка.-2001.-№2. 2. Иванов К. М., Шевченко В. С., Юргенсон Э. Е. Метод конечных элементов в технологических задачах ОМД: Учебное пособие. С-Пб: Институт Машиностроения, 2000.

Поступила в редколлегию 03.04.2014

УДК 621.7.073.004

В. К. ЛОБАНОВ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»;

Г. И. ПАШКОВА, канд. техн. наук, нач. лаборатории, ГП «Завод имени В.А. Малышева», Харьков.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ШТАМПОВКИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ОБЖИМОМ

Изложены технологические особенности процесса горячей штамповки с последующим обжимом, конструкции и материалы рабочих частей штамповой оснастки, разработан классификатор поковок, рекомендуемых для штамповки с последующим обжимом. Установлено, что штамповка с последующим обжимом, характеризующаяся повышенными показателями по эффективности использования металла и качества материала поковок, рекомендуется для широкого применения при производстве предложенных групп поковок.

Ключевые слова: горячая штамповка, обжим, матрица, внеконтактная деформация

Введение. Одним из направлений совершенствования кузнечного производства является освоение прогрессивных технологических процессов штамповки на универсальном оборудовании, обеспечивающих изготовление поковок с минимальным расходом металла и высокой производительностью.

Известна высокая эффективность штамповки с последующим обжимом пустотелых осесимметричных заготовок [1]. В настоящее время такие технологические процессы освоены и внедряются на ряде предприятий.

Однако при разработке технологии штамповки некоторые параметры (высота промежуточной поковки, профиль рабочей части матрицы, диаметр

калибрующего пояса и др.) выбирают на основе инженерной интуиции, что затрудняет и удлиняет сроки освоения процессов.

Ввиду многообразия форм поковок, получаемых в результате осуществления процессов штамповки с последующим обжимом, выбор оптимальных параметров процесса рационально производить в рамках определенной конструктивной общности деталей – групп объективного их классификатора.

Анализ последних исследований и литературы. Известен классификатор поковок, рекомендуемых к изготовлению штамповкой с последующим обжимом [2]. Однако он охватывает лишь часть показателей и не позволяет увидеть конструктивное сходство и различие между поковками, вскрыть общие закономерности, присущие отдельным классификационным группам, исключить элементы субъективизма в проектировании поковок и штамповой оснастки, упорядочить и сократить неоправданное разнообразие поковок и поэтому не может претендовать на полную объективность.

Построение классификатора должно быть выполнено на основе общепринятых принципов, важнейшими из которых являются достаточная полнота охвата, единство классификационного признака на каждом уровне членения и непересекаемость разделов классификации [3].

Наличие классификатора позволит установить конструктивные особенности штамповой оснастки, схемы технологических переходов штамповки для каждой классификационной группы деталей, обладающих в данных производственных условиях укрупненной общностью технологического процесса, оборудования и штампов.

Цель исследования. Целью настоящей работы являлся разработка частной классификации поковок, рекомендуемых к изготовлению штамповкой с последующим обжимом, построенной по конструктивно-технологическим признакам.

Материалы исследований. Положительный опыт внедрения в производство процессов штамповки с последующим обжимом показывает, что наличие на деталях впадин, проточек, внутренних выступов и отверстий в перемычках практически не оказывает влияния на принципы конструирования поковок и технологических процессов.

К основным признакам классификации отнесены конструктивный тип поковок, габариты поковок, сходство по элементам наружных и внутренних поверхностей (табл.).

Таблица 1. Классификация поковок, штампуемых с последующим обжимом

Тип: пустотелые осесимметричные поковки		Классификация поковок				
		Группа	Подгруппа	Внутренняя поверхность	Эскиз поковки	Характерные соотношения размеров
Наружная поверхность	Гладкая	1	11	С гладким, ступенчатым, глухим или сквозным отверстием		$H \geq 2,0S_M$ $h_b \geq 1,5S_M$ $0,05 \leq \frac{S_M}{D} \leq 0,3$ $D \leq 250 \div 300$ мм
			12	Образована сочетанием геометрических тел		$H \geq 2,0S$ $h_b \geq 1,5S$ $0,05 \leq \frac{S}{D} \leq 0,3$ $h_n < h(2)$
			13	С гладким глухим или сквозным отверстием		$D \geq 250 \div 300$ мм $0,05 \leq \frac{S}{D} \leq 0,3$ $\frac{H}{D} \geq 0,25$ $h_n < h(2)$
			14	Со сквозным ступенчатым отверстием		$0,075 \leq \frac{H}{D} \leq 0,2$ $0,05 \leq \frac{S}{D} \leq 0,15$ $H \geq 1,5S$ $h_b \geq S$ $D \geq 150 \div 200$ мм
	Односторонняя одноступенчатая	2	21	С гладким, ступенчатым, глухим или сквозным отверстием		$0,05S_\phi \leq h_\phi \leq 0,8H$ $\frac{S_\phi}{D} \leq 0,3$ $h_b \geq S_\phi$ $H - h_\phi \leq 2\sqrt{RS}$
	Двухсторонняя ступенчатая	3	31	С гладким, ступенчатым, глухим или сквозным отверстием		$H \geq 2,5S_M$ $h_k \leq 1,5S_M$ $0,05 \leq \frac{S_M}{D} \leq 0,3$ $h_b \geq S_M$ $\beta \leq 8 \div 10^\circ$
	Сферическая	4	41	С гладким глухим отверстием		$h_k \leq (1,25 \div 1,5)(D - d)$ $0,05 \leq \frac{D-d}{2D} \leq 0,3$ $\beta \leq 8 \div 10^\circ$

Наружная поверхность поковки, примыкающая к плоскости разъема, отнесена к основной. Внутренние поверхности поковок, образуемые знаками штампов, отнесены к дополнительным. При разработке классификатора в первую очередь выявлены группы практически осуществимых и целесообразных разновидностей поковок.

Классификация позволила провести целенаправленную разработку технологических штампов, экспериментальные и теоретические исследования, опытную штамповку для установления рекомендаций по проектированию.

В соответствии с классификацией поковки, штампуемые с последующим обжимом, разделены на 4 группы. К первой группе отнесены поковки с гладкой боковой поверхностью, среди которых дополнительно выделены 4 подгруппы.

В первую подгруппу включены поковки диаметром до 250-300 мм с гладким, ступенчатым глухим или сквозным отверстием типа колец, втулок, шлицевых муфт и т. п. Для получения кондиционных поковок этой подгруппы высота промежуточной поковки выполняется на 1,5-2 % меньше, по сравнению со штампуемой по типовой технологии. Относительная толщина поковок ($\frac{S_m}{D}$)

ограничивается пределами 0,05-0,3. При $\frac{S_m}{D} < 0,05$ наблюдается пластическая потеря устойчивости полый части поковки при обрезке облоя в виде наружного кольцевого выпучивания. С увеличением $\frac{S_m}{D}$ свыше 0,3 металл практически не течет в радиальном направлении, наблюдается увеличение высоты поковки без уменьшения диаметра отверстия.

Для обжима поковок относительной высотой $\frac{H}{D} \leq 0,5$ рекомендуются штампы с конической формой матричной воронки. Угол наклона образующей конической поверхности матрицы α выбирается в зависимости от относительной толщины поковки в пределах 8-15° [4].

При штамповке поковок из сталей перлитного класса матрицы изготавливаются из стали 5ХНМ, для обработки сталей аустенитного и мартенситного классов в качестве штампового материала рекомендуется высокопрочный чугун или применение наплавов типа Т620.

С целью предотвращения образования на поковках раструба, вследствие внеконтактной деформации заготовки после выхода из матричной воронки, диаметр калибрующего пояска увеличивают на величину

$$\Delta d = \frac{H}{\left(r_{cp} - \frac{S}{2}\right) \cdot \sin \alpha} \sqrt{d_3 \cdot S \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, \quad (1)$$

где H – высота поковки;

r_{cp} – среднее значение радиуса участка свободного изгиба;

S – толщина стенки;

d_3 – диаметр срединной поверхности поковки;

α – угол образующей конической матрицы с осью симметрии.

На поковках со стороны пуансона образуется практически недеформированный в матрице поясок высотой

$$h = \frac{\Delta d}{2 \cdot \operatorname{tg} \beta}, \quad (2)$$

где β – штамповочный уклон.

В этой зоне располагают перемычку под прошивку отверстия, диаметр которого не уменьшается в процессе обжима. В результате успешно применяются совмещенные штампы для обрезки облоя, прошивки отверстия и обжима поковок.

При штамповке высоких поковок первой подгруппы, у которых $\frac{H}{D} > 0,5$, конические матрицы с увеличенным диаметром калибрующего пояска не обеспечивают получение бездефектных поковок. При нормальном припуске на обжатом торце поковки появляются черноты в отверстии около перемычки под прошивку. Поэтому при штамповке таких поковок применяют матрицы с выпуклым профилем образующей рабочей поверхности, обеспечивающие получение поковок с незначительной корсетностью.

Ко второй подгруппе отнесены поковки, состоящие из обода, дисковой части со ступицей или без нее. Это поковки шестерен, стаканов, сервопоршней и т.п. деталей, изготавливаемых в основном из цементуемых сталей. Дисковая часть деталей, штампуемых по такой технологии, может быть смещена относительно торца не более h (2). Несоблюдение этого условия приводит к выпучиванию диска поковки в процессе обжима. Штамповочный ручей

молотового штампа по ободу выполняють с равными наружным и внутренним штамповочными уклонами (6-7°). Промежуточные поковки штампуют, тщательно центрируя осаженную заготовку в ручье, обеспечивая минимальный выход металла в облой. При значительном облое в процессе обжима иногда наблюдается расслоение металла поковки по наружному контуру в плоскости разреза штампов. В обрезной штамп промежуточную поковку укладывают дисковой частью в сторону пуансона.

Третья подгруппа – поковки барабанов, шестерен и т. п. деталей, изготавливаемых на тяжелых молотах. При штамповке промежуточных поковок этой подгруппы на типовых штампах наносится большое количество (до 40) ударов. Происходит обратное выдавливание, характеризующееся односторонним течением металла. При этом сплошная заготовка вытесняется в зазор, образованный параллельными коническими стенками штамповочного ручья. В результате имеет место повышенный брак поковок по незаполнению, стойкость молотовых штампов не удовлетворяет требованиям производства.

Положительные результаты получены при применении штамповочных ручьев, в которых металл течет вверх в расширяющейся полости, что достигается увеличением наружного штамповочного уклона по сравнению с внутренним на 1-2° [5].

Четвертая подгруппа – поковки небольшой относительной высоты ($0,075 \leq \frac{H}{D} \leq 0,2$) со сквозным ступенчатым отверстием. Для сокращения потерь металла на перемычку прошитого отверстия поковки этой подгруппы штампуют из кольцевых заготовок. Размещение замка молотового штампа внутри штамповочного ручья снижает расход штамповой стали. На изменение толщины и формы штампуемых поковок существенно влияет деформация края промежуточной поковки. При относительной толщине $\frac{S}{D} > 0,15$ наблюдается смятие и сдвиговые деформации наружной кромки поковки в начальной стадии процесса деформирования, что приводит к уменьшению толщины края на последующих этапах обжатия. Бездефектные поковки этой подгруппы штампуют, используя матрицы с углом наклона образующей конической поверхности 5–6°.

Ко второй группе отнесены поковки типа стаканов, бустеров, концевых бандажей и т.п. деталей с фланцами. Практически установлено, что

рекомендуемая РТМ [2] схема штамповки поковок этой группы с последующим обжимом путем вдавливания ступичной части в цилиндрическую матрицу ступенчатым пуансоном не обеспечивает получения бездефектных деталей. На поковках под фланцем выявляются складки металла, диаметр фланца и отверстие в нем в процессе обжима ступицы практически не уменьшаются. В результате поковки не получают требуемых формы и размеров.

Тщательной отработкой технологии непосредственно в производственных условиях показано, что поковки этой группы можно штамповать с последующим обжимом, если радиальные сжимающие напряжения прилагаются к фланцу. Промежуточная поковка в этом случае укладывается в обрезной штамп фланцем на матрицу. При выполнении в поковке сквозного отверстия прошивку производят на заключительной стадии процесса обжима. Экспериментально установлено, что для перевода в пластическое состояние в процессе обжима всего сечения фланца его высота должна быть не менее половины толщины. В противном случае отмечается локализация деформации в периферийных объемах фланца, контактирующих с матрицей, и местное увеличение его высоты. Высота ступичной части поковок, штампуемых по такой технологической схеме, не превышает протяженности радиуса естественного изгиба в направлении оси [6]

$$(H-h_{\phi}) \leq 2 \cdot \sqrt{R \cdot S}, \quad (3)$$

где R – радиус срединной поверхности ступицы.

Толщина S должна удовлетворять условию пластической устойчивости ступичной части поковки под действием усилия обжима.

Третья группа – поковки с двухсторонней ступенчатой наружной поверхностью типа сепараторов, сателлитов, бандажей и т. п. деталей. В технологическом отношении они наиболее сложны, особенно с точки зрения выполнения выступа на торце, находящемся в процессе обжима со стороны противоположной пуансону. При расположении выступа в средней части по толщине стенки, а также примыкающим к внутренней поверхности поковки, в процессе обжима происходит интенсивная внеконтактная деформация утоненной части стенки в сторону увеличения диаметра отверстия. Для получения бездефектных поковок торцовый выступ, деформирующийся без контакта с инструментом, выполняют в виде конуса с углом наклона образующей к оси 8–10°. Выход поковки из калибрующего пояса матрицы в

процессе выполнения операции обжима ограничивают половиной протяженности радиуса естественного изгиба стенки поковки в направлении оси штампа [7].

К четвертой группе отнесены поковки со сферической наружной поверхностью типа шаровых опор, шаровых пальцев и т. п. деталей. Особенность технологии производства поволок этой группы заключается в том, что на первом переходе штамповки на заготовке высаживается головка диаметром 0,6-0,7 диаметра поковки. Центрирование заготовки в штамповочном ручье производится по хвостовику. Второй переход – окончательный. Промежуточная поковка укладывается облоем на матрицу обрезного штампа хвостовиком к пуансону. Обжим поковки выполняется в штампе с вогнутым профилем рабочей части матрицы. Получение поволок требуемых форм и размеров обеспечивается настройкой закрытой высоты штампа. Поковка извлекается из штампа с помощью системы тяг и скоб с приводом от ползуна прессы.

Для обоснования выбора размеров промежуточной поковки и назначения допусков на поковки, штампуемые по такой технологии, исследовали влияние операции обжима на высоту, изменение толщины стенки и разнотолщинность получаемых поволоков.

На развитие разностенности в процессе обжима оказывают влияние неравномерность температурного поля и нестабильность коэффициента трения, приводящие к различной интенсивности утолщения стенки поковки в широтном сечении.

Изготавливали поковки диаметром от 118 до 458 мм из аустенитных сталей 12Х18Н9Т, 40Г18Ю3Ф и сталей перлитного класса 20Х2Н4А и 38ХС на молотах МПЧ 2, 3, 4, 6, 10 и 16 т. Исходные заготовки нагревали до ковочной температуры в газовых толкательных печах. Температуру нагрева металла контролировали и регулировали радиационным пирометром и электронным потенциометром ЭПД-12.

Промежуточные поковки обжимали на обрезных прессах усилием от 2500 до 16000 кН.

На молоте МПЧ 3 т штамповали промежуточные поковки диаметром 152 мм, толщиной стенки 32 мм из всех приведенных сталей.

Обжимные матрицы совмещенного обрезного штампа изготовили из стали 5ХНМ и высокопрочного чугуна (ВПЧ) с конической формой матричной

воронки, угол наклона образующей которых составляет 6° , 8° , 10° , 15° и 30° , а также с вогнутым и выпуклым профилями, выполненными соответственно по циклоиде и радиусу [4].

Отштампованные промежуточные поковки с облоем охлаждали, обмеряли и отмечали кернением диаметрально плоскость с наибольшей разностенностью.

Измерения толщины стенки в меридиональном сечении обжатых поковок показывают, что от торца поковок, контактировавшего с пуансоном в процессе обжима, наблюдается постепенное утолщение стенки по высоте. Конфигурация промежуточных поковок обуславливает расположение участка с наибольшим утолщением на обжатой поковке в области облоя. Далее утолщение уменьшается вследствие смятия кромок поковки в начальной стадии обжима и сдвиговых деформаций.

Высота поковок в результате обжима увеличивается в зависимости от профиля матрицы, относительной высоты и материала поковки на 1,5-3 %.

Исследования показали, что разностенность штампуемых поковок зависит от исходной на промежуточных поковках ($\Delta S_{исх}$), материалов контактирующей пары и рабочего профиля матрицы.

Обжим в матрицах из стали 5ХНМ сопровождается увеличением разностенности поковок из сталей перлитного класса на 40-50 % по сравнению с исходной и на 60-80% для поковок из сталей аустенитного класса. На поковках, полученных в матрицах из ВПЧ, имеет место уменьшение разностенности до 15-20%.

На рис. представлены зависимости изменения разностенности штампуемых поковок (ΔS_θ) при обжиге в матрицах из стали 5ХНМ и ВПЧ от угла наклона образующей рабочей части (α). Из приведенных данных видно, что с увеличением конусности матрицы снижается разнотолщинность поковок, что связано с ростом интенсивности деформации. Однако при углах наклона образующей рабочей поверхности более $12-15^\circ$ ухудшается качество поковок вследствие появления корсетности на обжатых поверхностях и торцовых заусенцев.

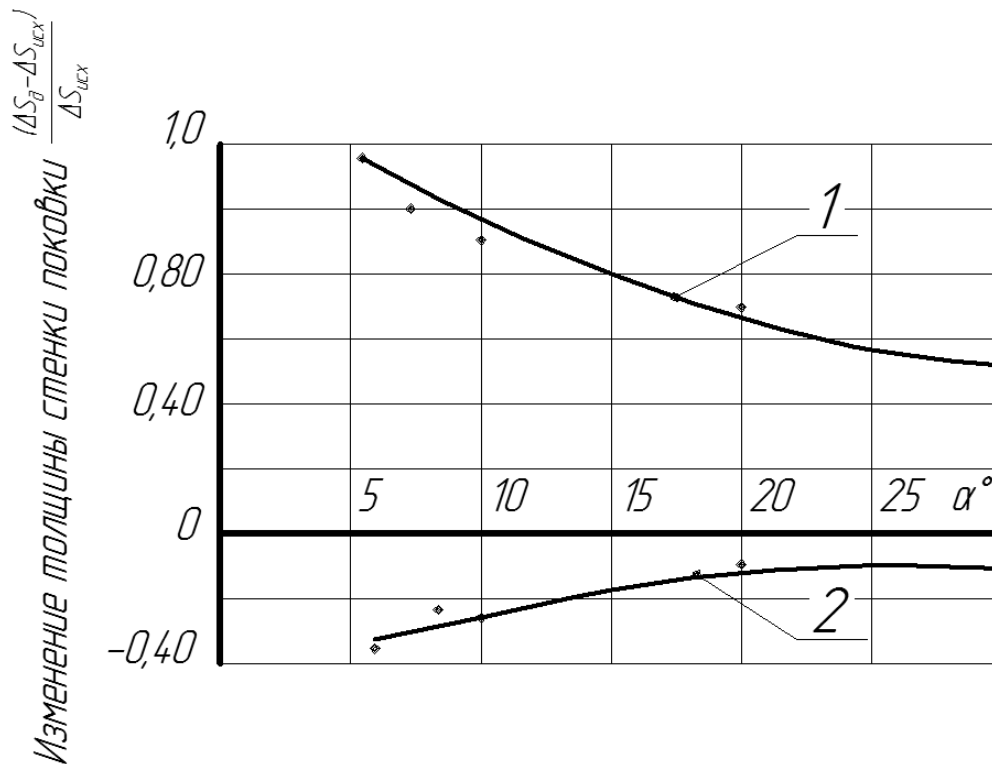


Рис. – Зависимость изменения разностенности поковок при их обжиге от угла наклона образующей конической части матрицы: 1 – из стали 5ХНМ; 2 – ВПЧ

Выводы:

1. Предложена частная классификация поковок, штампуемых с последующим обжимом, позволившая установить оптимальные конструктивные особенности штамповой оснастки и схемы технологических переходов штамповки.

2. Штамповка с последующим обжимом, характеризующаяся повышенными показателями по эффективности использования металла и качества материала поковок, рекомендуется для широкого применения при производстве предложенных групп поковок.

Список литературы: 1. Бичукин Ф.Д. Горячая малоотходная штамповка / Сб.: Опыт совершенствования технологии горячей штамповки на уральских заводах.– Свердловск.: УПИ, 1964. – С. 39-45. 2. РТМ2 Н83-12-76. Штамповка без штамповочных уклонов. – М.: НИИМАШ, 1977. – 116 с. 3. Саркисян С.А., Ахундов В.Н., Минаев Э.С. Большие технические системы. Анализ и прогноз развития. – М.: Наука, 1977. – 232 с. 4. Лобанов В.К. О выборе оптимального профиля и материала матриц для обжима поковок / В.К. Лобанов, В.М. Пилипенко // Кузнечно-штамповочное производство, 1976. – № 8. – С. 36-38. 5. Лобанов В.К. Совершенствование процесса штамповки пустотелых поковок типа барабанов / В.К. Лобанов // Кузнечно-штамповочное производство, 1979. – № 10. – С. 15-17. 6. Основы теории обработки металлов давлением / под ред. М.В. Сторожева. – М.: Машгиз, 1959. – 539 с. 7. Лобанов В.К. Штамповка с последующим обжимом поковок с переменной толщиной стенки / В.К. Лобанов // Кузнечно-штамповочное производство, 1978. – № 4. – С. 12-14.

Поступила в редколлегию 25.01.2014