

Влияние пружинения высокопрочной стали DP780 на предельные возможности ее формообразования при электрогидравлической штамповке

В. М. Косенков*, Л. П. Коломийцева

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
г. Николаев, 54018, Украина, *e-mail: v.m.kosenkov@gmail.com*

Поступила в редакцию 12.12.2022

После доработки 05.12.2023

Принята к публикации 12.12.2023

На примере штамповки детали коробчатой формы из листовой высокопрочной стали импульсным электрогидравлическим методом исследованы предельные возможности ее формообразования с учетом пружинения материала. Определено влияние радиуса кривизны и формы поверхности углов детали на изменение структуры высокопрочной стали DP780 и появление в ней дефектов. Получены соотношения между радиусом кривизны поверхности детали и толщиной заготовки, при которых отсутствуют дефекты в структуре стали DP780 и достигаются предельные возможности ее деформирования с минимальным пружинением материала.

Ключевые слова: электрический разряд в воде, листовые высокопрочные стали, пружинение, электрогидравлическая штамповка, предельные возможности формоизменения

УДК 621.7.044.4:621.98

<https://doi.org/10.52577/eom.2023.59.6.58>

ВВЕДЕНИЕ

Листовая штамповка материалов в холодном состоянии служит основной технологией изготовления корпусных изделий автомобильной, авиационной, космической и других передовых областей промышленности [1–13]. Она позволяет существенным образом уменьшить время изготовления деталей и обеспечить необходимое качество продукции. Непрерывное повышение требований к прочности, массе и эксплуатационным характеристикам машин и аппаратов способствовало созданию новых высокопрочных сплавов, которые имеют большое деформационное и скоростное упрочнение и значительную анизотропию механических свойств [4, 5, 7–12]. Традиционные квазистатические методы штамповки деталей из таких сплавов приводят к существенной проблеме их изготовления, которая вызвана большими остаточными напряжениями в изделиях на заключительном этапе их штамповки, вызывающими появление больших упругих деформаций после снятия нагрузки на деталь [14]. Это явление, называемое пружинением, приводит к существенному отличию формы готового изделия от формы матрицы. Дальнейшее устранение этого дефекта изделия требует больших затрат времени и ресурсов, снижающих эффективность технологии изготовления продукции. Проблема

усложняется еще и тем, что многие высокопрочные сплавы имеют значительную степень анизотропии механических свойств [7, 11], приводящую к появлению, кроме пружинения, еще и коробления детали, устранение которого также требует дополнительных операций обработки. Таким образом, эти явления существенно усложняют изготовление детали нужной формы и не позволяют получить необходимые радиусы кривизны ее поверхности.

Значительные перспективы имеют технологии формоизменения высокопрочных материалов давлением с высокой концентрацией потоков энергии, в том числе и с применением импульсных электрогидравлических процессов [2–10, 13, 14]. Однако количественные оценки этого явления имеют частный характер и не позволяют обобщить результаты для технологий, используемых на практике. Поэтому актуальной становится задача устранения эффекта пружинения деталей или его уменьшения до приемлемого уровня в процессе формообразования деталей.

Импульсную электрогидравлическую штамповку (ЭГШ) деталей из листовых металлов обычно выполняют с использованием матриц [2, 3, 14]. Под действием давления жидкости, возникающего в результате электрического разряда, листовой материал заполняет полость матрицы, испытывая динамический контакт с ее поверхностью, и приобретает форму детали.

При статической штамповке листовых материалов они, как правило, испытывают двухосное нагружение, при котором возможности релаксации касательных напряжений в материале под нагрузкой ограничены. В процессе импульсной штамповки в некоторые моменты времени материал испытывает объемное напряженное состояние, обеспечивающее эффективную релаксацию касательных напряжений, возникающих во время заполнения матрицы деформируемой пластиной [12, 13]. Объемное напряженное состояние материала возникает под действием ударных волн в жидкости, действующих на пластину, а также в результате ее динамического контактного взаимодействия с поверхностью матрицы.

Предельные возможности листовой ЭГШ определяются многими факторами, но, в конечном итоге, они зависят от упругих свойств деформируемого материала. Листовые высокопрочные стали характеризуются намного большими пределами текучести, чем традиционно используемые для холодной штамповки стали 08кп, 08пс, 08Ю, и соответственно от 2 до 3 раз большими упругими напряжениями и деформациями, поэтому энергия упругого деформирования высокопрочных сталей до 10 раз выше. Эти обстоятельства приводят к появлению большого пружинения деталей, получаемых традиционными способами холодной листовой штамповки [4–9]. Импульсные методы штамповки, к которым относится ЭГШ, позволяют существенно уменьшить влияние пружинения на предельные возможности деформирования высокопрочных сталей.

Предельные возможности формообразования детали, как правило, достигаются на этапе калибровки детали, полученной в ходе штамповки, но они существенно зависят от особенностей операций штамповки. Если на этапе штамповки деформация материала детали достигла предельной, тогда ее невозможно изготовить, так как при калибровке такая деталь разрушится из-за превышения прочностных возможностей материала.

Детали коробчатой формы наиболее сложны для изготовления из листовых сталей методами холодной штамповки. В них в наибольшей степени проявляется влияние пружинения материала на предельные возможности его формоизменения. Штамповке таких деталей посвящено большое количество работ [15–17]. Основная проблема возникает при заполнении заготовкой двугранных и трехгранных углов матрицы в процессе штамповки. Из этого

следует, что основные ограничения формообразования детали связаны с формированием угловых переходов ее поверхности, в которых пружинение материала заготовки проявляется в наибольшей степени.

Учитывая предельные возможности формообразования детали вытяжкой и формовкой с помощью гидравлических и механических прессов, определены основные технологические требования к конструкции полых листовых деталей [1]. В частности, радиусы закруглений у фланца матрицы r_m должны быть по возможности больше $r_m \geq (2-4) \times S_0$, а радиусы закругления у дна матрицы r_n могут быть взяты большими $r_n \geq (2-4) \times S_0$, где S_0 – толщина заготовки.

При ЭГШ деталей коробчатой формы из листовых высокопрочных сталей подобные рекомендации для выбора r_n отсутствуют или не имеют научного обоснования. Поэтому цель данной работы – определение предельных возможностей формообразования деталей коробчатой формы ЭГШ из высокопрочных листовых сталей, при которых влияние пружинения минимально, на примере стали DP780.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование предельных возможностей деформирования листовых высокопрочных сталей электрогидравлическим методом выполняли на примере изготовления детали коробчатой формы. Основное внимание уделяли заполнению двугранного угла матрицы между ее дном и стенкой. Чтобы не было ограничений по заполнению угла матрицы, радиус его вершины не превышал 0,1 толщины заготовки S_0 .

В углах детали ее поверхность приобретает форму, близкую к дуге окружности (рис. 1). Чем меньше радиус дуги окружности, тем силы упругого сопротивления (пружинения) заготовки ее деформированию больше по сравнению с силами давления жидкости на заготовку. Поэтому в результате уменьшения радиуса углов заготовки ее дальнейшее пластическое деформирование прекращается.

При импульсном деформировании заготовки на ее угловые поверхности действует не только давление жидкости, но и силы инерции, определяемые скоростью движения заготовки вблизи углов матрицы. Силы инерции могут действовать на заготовку только в том случае, если перед ее нагружением был зазор (δ) между поверхностями заготовки и матрицы, обеспечивающий возможность ускорения движения заготовки до контакта со стенками матрицы (рис. 2).

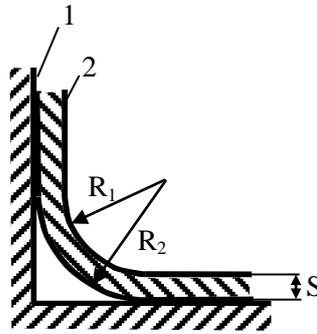


Рис. 1. Заполнение заготовкой угла матрицы: 1 – матрица; 2 – заготовка.

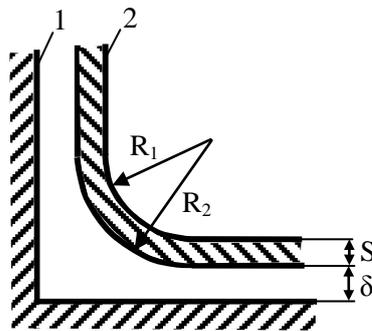


Рис. 2. Положение заготовки до заполнения угла матрицы: 1 – матрица; 2 – заготовка.

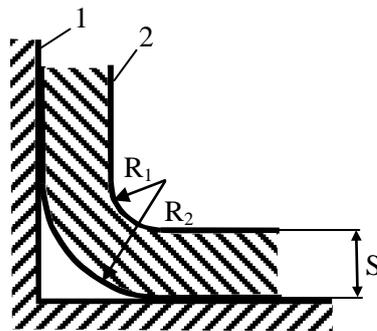


Рис. 3. Заполнение заготовкой угла матрицы с малыми радиусами кривизны: 1 – матрица; 2 – заготовка.

Необходимо также учитывать, что радиусы кривизны внутренней (R_1) и внешней (R_2) поверхностей угла заготовки отличаются на толщину ее стенки (S) (рис. 1). Если R_1 близок по величине к S или меньше S , тогда материал в углу заготовки деформируется в условиях объемного напряженного состояния (рис. 3).

Обязательным условием изготовления деталей является отсутствие в ней дефектов структуры, существенно ухудшающих прочностные свойства материала по сравнению с его исходным состоянием и существенно понижающие эксплуатационные характеристики готовых изделий [18–22]. Появление таких дефектов будем использовать в качестве критерия оценки предельной возможности формообразования листовых высокопрочных сталей при импульсной штамповке и калибровке.

Представляет интерес определение связи между появлением дефектов структуры материала и геометрическими параметрами угла детали R_1 , R_2 и S_0 . Если такая связь существует,

то это существенно облегчит диагностику появления дефектов материала детали и также может служить критерием оценки предельной возможности формообразования листовых высокопрочных сталей при импульсной штамповке и калибровке.

Для исследования влияния пружинения материала на предельные возможности формообразования листовых высокопрочных сплавов при импульсной штамповке использовали электрогидравлический пресс Т1226Б и разработанную нами экспериментальную оснастку.

Вытяжку листовой заготовки выполняли в разъемную матрицу с полостью прямоугольной формы с закругленными вертикальными углами радиусом 10 мм, глубиной 20 мм, длиной 109 мм и шириной 40 мм (рис. 4). Перетяжные радиусы матрицы равны 3 мм.

Предварительно на траверсе пресса Т1226Б закрепляли матрицу (рис. 4), ориентированную полостью вниз. Осесимметричное поле давления на заготовку в цилиндрической разрядной

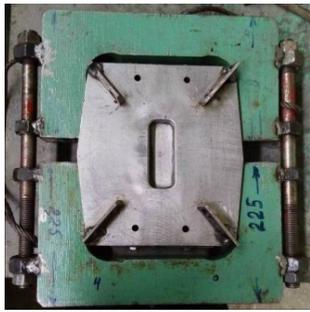


Рис. 4. Разъемная матрица для вытяжки детали, с клиновыми скобами и винтовыми зажимами.



Рис. 5. Высоковольтный электрод на рабочем столе пресса T1226Б.



Рис. 6. Разрядная камера с прижимным кольцом в сборе (сверху на подвижной траверсе пресса T1226Б закреплена матрица).



Рис. 7. Деформированный образец №2 с разметкой, перед разрезкой его для изготовления шлифов.



Рис. 8. Деформированный образец №3 с разметкой, перед разрезкой его для изготовления шлифов.



Рис. 9. Деформированный образец №60 с разметкой, перед разрезкой его для изготовления шлифов.

камере обеспечивали соосным расположением в ней электродной системы. Для этого использовали высоковольтный электрод, показанный на рис. 5. Его размещали на рабочем столе пресса T1226Б, а сверху устанавливали корпус разрядной камеры, низковольтный электрод и прижимное кольцо (рис. 6), на которое укладывали листовую заготовку и прижимали к ней матрицу, опуская траверсу пресса. Полость разрядной камеры заполняли водой. Подключали резистивный делитель напряжения к высоковольтному электроду, а пояс Роговского устанавливали на кабеле низковольтного электрода для измерения напряжения и силы тока в канале разряда с помощью цифрового осциллографа Tektronix TDS 2024В.

Деформирование пластины выполняли волнами давления, генерируемыми электрическими разрядами в воде. Результаты измерения обрабатывали с помощью компьютерной программы MS Excel.

Емкость конденсаторной батареи (C) составляла 52 мкФ, а напряжение ее заряда (U_0) варьировали от 25 до 50 кВ. При этом индуктивность

разрядного контура (L) составляла 5,3 мкГн, а сопротивление внешних элементов разрядного контура (R_{sh}) (без канала разряда) – 0,04 Ом. Расстояние между электродами (l_{ch}) варьировали от 50 до 100 мм.

Пружинение детали после ее деформирования определяли как разность размеров полости матрицы и детали в сходственных точках их поверхности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование предельных возможностей формообразования листовых высокопрочных сплавов при импульсной штамповке и калибровке в матрице (рис. 4) выполняли на примере образцов стали DP780 толщиной $S_0 = 1,36$ мм (рис. 7–9). Образец №2 деформировали с помощью последовательности двух разрядов с энергией, запасаемой в конденсаторной батарее $E_0 = 65$ кДж ($U_0 = 50$ кВ, $l_{ch} = 100$ мм) (рис. 7). Образец №3 деформировали с помощью последовательности трех разрядов (рис. 8) с увеличением энергии каждого

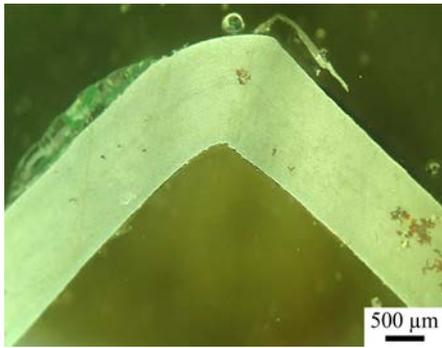


Рис. 10. Форма фрагмента образца №2/1 после соударения с дном матрицы (дно детали справа).

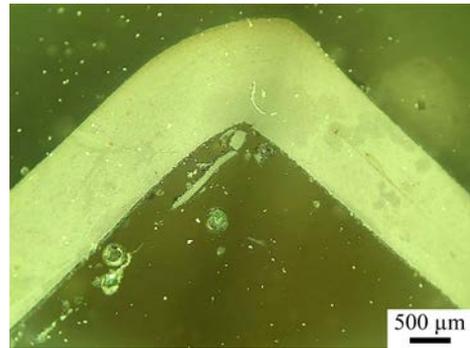


Рис. 11. Форма фрагмента образца №3/1 после соударения с дном матрицы (дно детали справа).

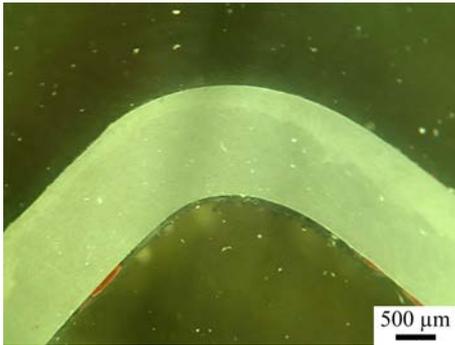


Рис. 12. Форма фрагмента образца №60/4 после соударения с дном матрицы (дно детали слева).

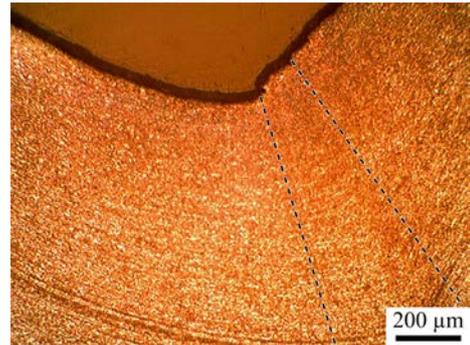


Рис. 13. Текстура образца №2/1 вблизи внутреннего угла (штриховыми линиями обозначены полосы сдвига материала).

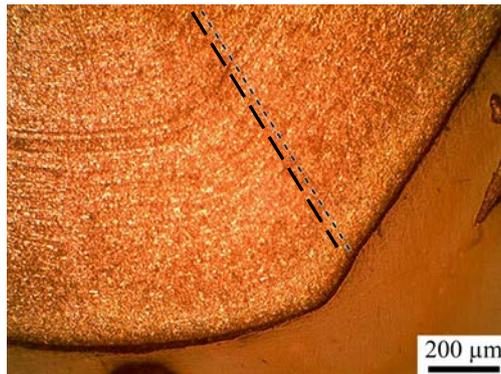


Рис. 14. Текстура образца №2/1 вблизи внешнего угла (штриховой линией обозначена полоса сдвига материала).

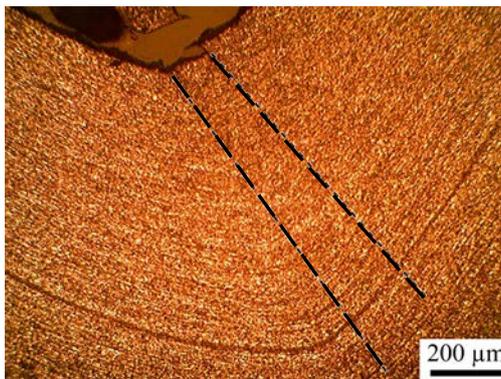


Рис. 15. Текстура образца №3/1 вблизи внутреннего угла (штриховыми линиями обозначены полосы сдвига материала).

разряда от $E_0 = 23,4$ кДж ($U_0 = 30$ кВ, $l_{ch} = 52$ мм) до $E_0 = 65$ кДж ($U_0 = 50$ кВ, $l_{ch} = 52$ мм). Образец №60 деформировали с помощью последовательности четырех разрядов (рис. 9) с увеличением энергии каждого разряда от $E_0 = 23,4$ кДж ($U_0 = 30$ кВ, $l_{ch} = 100$ мм) до $E_0 = 65$ кДж ($U_0 = 50$ кВ, $l_{ch} = 100$ мм). Структуру

исследовали в поперечном сечении образцов посередине их длины (рис. 7–9).

В процессе ЭГШ поверхности образцов №2 и №3 испытывали интенсивное динамическое контактное взаимодействие со стенками матрицы, поэтому форма их углов отличается от дуги окружности (рис. 10, 11) по сравнению с

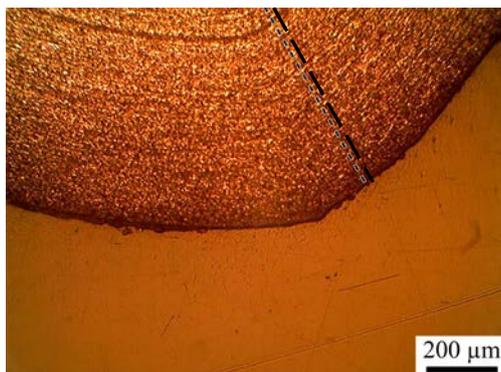


Рис. 16. Текстура образца №3/1 вблизи внешнего угла (штриховой линией обозначена полоса сдвига материала).

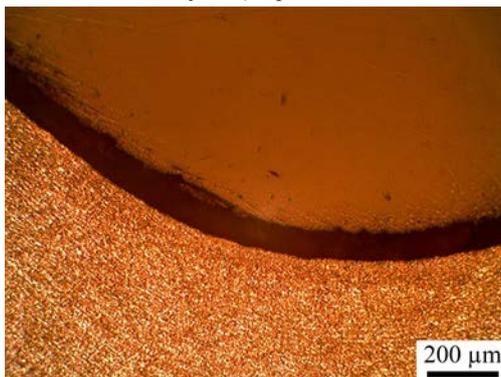


Рис. 17. Текстура образца №60/4 вблизи внутреннего угла (полосы сдвига материала отсутствуют).

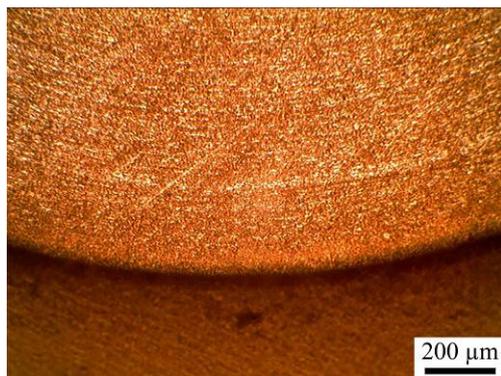


Рис. 18. Текстура образца №60/4 вблизи внешнего угла (полосы сдвига материала отсутствуют).

Таблица 1. Толщина образца вдоль полосы сдвига S_{sh} и минимальная толщина его стенки S_{min} вблизи угла

№ образца	Толщина S_{sh} , мм	S_{sh}/S_0	Толщина S_{min} , мм	S_{min}/S_0
2/1	1,50	1,10	1,24	0,91
2/4	1,68	1,24	1,32	0,97
3/1	1,39	1,03	1,16	0,85
3/4	1,39	1,03	1,21	0,89
60/4	1,39	1,03	1,32	0,97

Таблица 2. Радиусы углов образца

№ образца	Наименьшие радиусы углов R_{min} , мм		R_{min}/S_0		Полоса сдвига
	Внутренний угол	Внешний угол	Внутренний угол	Внешний угол	
2/1	0,66	2,00	0,48	1,47	есть
2/4	1,00	2,25	0,74	1,65	есть
3/1	1,32	2,13	0,97	1,56	есть
3/4	0,84	2,05	0,62	1,51	есть
60/4	1,05	2,55	0,77	1,88	нет

образцом №60, у которого интенсивность динамического контактного взаимодействия со стенками матрицы была существенно меньше (рис. 12). Большая скорость контактного взаимодействия заготовки с дном матрицы приводит к появлению излома внешней поверхности заготовки на переходе от ее плоской части к угловой (рис. 10, 11) с образованием полос сдвига по толщине материала (см. рис. 13–16). Эти особенности отсутствуют при малой скорости соударения заготовки с матрицей (рис. 12, 17, 18). Характерно, что кривизна угловых поверхностей заготовок наибольшая, а радиус кривизны наименьший вблизи излома внешней поверхности. По мере удаления от угла излома кривизна поверхности уменьшается до нуля, а радиус соответственно увеличивается до бесконечности. Аналогичные особенности наблюдаются и во внутренних углах заготовки, в том числе и в изломе поверхности.

Наличие полос сдвига в углах заготовок, деформируемых при большой скорости контактного взаимодействия ее с матрицей, и отличие формы угла от дуги окружности (рис. 10, 11) свидетельствует об интенсивной пластической деформации, при которой влияние пружинения материала минимально, поэтому углы матрицы заполняются материалом заготовки в большей степени, а отличие ширины детали от ширины полости матрицы не превышает нескольких микрометров (деталь плотно входит в матрицу).

В угловой части заготовок толщина стенки увеличивается, особенно вдоль полосы сдвига (S_{sh}), на величину от 3 до 24% по сравнению с начальной толщиной заготовок S_0 , что свидетельствует об интенсивном сжатии материала заготовки в процессе ее перемещения вдоль плоских поверхностей матрицы в ее угол (табл. 1). Сжатие материала заготовки в ее угловой части препятствует образованию трещин вдоль полосы скольжения, которые могут уменьшать прочность готовой детали. С учетом этого обстоятельства прочность угловой части детали не уменьшается и даже может увеличиваться, однако необходимо учитывать появление микрорельефа на поверхности от полосы скольжения (рис. 13–16), острые кромки которого могут служить концентраторами напряжений в процессе нагружения детали при ее эксплуатации и приводить к образованию в ее углах трещин. Поэтому окончательно о прочности угловой части детали можно судить только с учетом условий ее использования.

Величина S_{sh} больше, чем начальная толщина заготовок S_0 , тогда как минимальная толщина стенок заготовки вблизи угла (S_{min}) меньше, чем

S_0 , в результате их растяжения на величину от 3 до 15% (табл. 1).

Существует связь между минимальным радиусом кривизны внешнего угла образца (R_{min}) и появлением полос сдвига в его материале (табл. 2). Полосы сдвига отсутствуют, когда относительный радиус кривизны внешней поверхности (R_{min}/S_0) равен или больше 1,88. Влияние минимального радиуса внутреннего угла образца на появление полос сдвига в нем не обнаружено. Таким образом, рекомендации работы [1] по выбору минимально допустимого относительного радиуса кривизны углов детали, изготовленной с помощью механических и гидравлических прессов, не менее 2, можно считать справедливыми и для их изготовления методом ЭГШ.

ВЫВОДЫ

Из проведенного исследования следует, что наличие полос сдвига в углах заготовок, деформируемых при большой скорости контактного взаимодействия ее с матрицей, и отличие формы угла от дуги окружности, свидетельствуют об интенсивной пластической деформации, при которой влияние пружинения материала минимально, поэтому углы матрицы заполняются материалом заготовки в большей степени.

В угловой части заготовок толщина стенки вдоль полосы сдвига (S_{sh}) больше на величину от 3 до 24% по сравнению с начальной толщиной заготовок S_0 . Это свидетельствует об интенсивном сжатии материала заготовки в процессе перемещения ее в угол матрицы вдоль ее плоских поверхностей, что препятствует образованию в полосе скольжения трещин, которые могут уменьшать прочность готовой детали.

Прочность угловой части детали может повышаться в результате увеличения толщины стенки вдоль полосы сдвига (S_{sh}), однако при этом появляется микрорельеф с острым профилем на поверхности детали возле полосы скольжения. Острые впадины микрорельефа могут служить концентраторами напряжений и приводить к образованию трещин, поэтому окончательно о прочности угловой части детали можно судить только с учетом условий ее нагружения в процессе эксплуатации.

В углах образца появляются полосы сдвига, когда относительный радиус кривизны внешней поверхности (R_{min}/S_0) меньше 1,88.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романовский, В.П., *Справочник по холодной штамповке*. Л.: Машиностроение, 1979. 520 с.
2. Мазуровский, Б.Я., Сизев, А.Н., *Электрогидравлический эффект в листовой штамповке*. Киев: Наукова думка, 1983. 192 с.
3. Чачин, В.Н., Шадуя, В.Л., Журавский, А.Ю., Здор, Г.Н., *Электрогидроимпульсное формообразование с использованием замкнутых камер*. Минск: Наука и техника, 1985. 200 с.
4. Rohatgi, A., Stephens, E.V., Davies, R.W., Smith, M.T., et al., *J. Mater. Process. Technol.*, 2012, vol. 212, no. 5, p. 1070. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2011.12.014>
5. Hassannejadasl, A., Daniel, E.G., Golovashchenko, S.F., Javad, S., et al., *J. Manuf. Process.*, 2014, vol. 16, no. 3, p. 391. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2014.04.004>
6. Mamutov, V., Golovashchenko, S. and Mamutov, A., *Proc. 13th Int. LS-DYNA Conf.*, June 8–14, 2014, Detroit, USA, 2014, p. 1.
7. Hassannejadasl Amir, *Simulation of Electrohydraulic Forming Using Anisotropic, Rate-dependent Plasticity Models*. Electronic Theses and Dissertations. 2014, 5205. <https://scholar.uwindsor.ca/etd/5205>
8. Gillard, A.J., Golovashchenko, S.F. and Mamutov, A.V., *J. Manuf. Process.*, 2013, vol. 15, no. 2, p. 201. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2012.12.005>
9. Golovashchenko, S.F., Gillard, A.J. and Mamutov, A.V., *J. Mater. Process. Technol.*, 2013, vol. 213, no. 7, p. 1191. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2013.01.026>
10. Golovashchenko, S.F., Gillard, A.J., Mamutov, A.V., Bonnen, J.F., et al., *J. Mater. Process. Technol.*, 2014, vol. 214, no. 4, p. 1027. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2013.09.003>
11. Блек, В., Улучшенные высокопрочные стали для автомобильной промышленности – от микроструктуры к наноструктуре, *Черные металлы*, 2014, № 12, с. 46.
12. Kosenkov, V.M., Effect of strain rate of high-strength sheet steels on their strain fracture under uniaxial and biaxial loading, *J. Appl. Mech. Techn. Phys.*, 2018, vol. 59, no. 4, p. 762.
13. Kosenkov, V.M., Methods for the definition of the destruction deformation of high strength sheet steels depending on the deformation rate, *Surf. Eng. Appl. Electrochem.*, 2020, vol. 56, p. 228. <https://doi.org/10.3103/S1068375520020106>
14. Golovashchenko, S.F., *Electrohydraulic forming of near-net shape automotive panels*, DOE Award Number: DE-FG36-08GO18128, Project Period: September 2008 through September 2013. USA, Dearborn, 2013. 224 с.
15. Никитенко, В.М., Филимонов, В.И., Попов, И.П., *Разработка и совершенствование процессов формоизменения деталей коробчатой формы из листовых заготовок вытяжкой-отбортовкой*. Ульяновск: УЛГТУ, 2011. 102 с.
16. Вилимок, Я.А., Евдокимов, А.К., Сравнительный анализ предельной штампуемости при двусосном растяжении, *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2014, вып. 7, с. 71.
17. Малышев, А.Н., Вытяжка коробчатых деталей прямоугольного поперечного сечения с большими угловыми радиусами, *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2015, вып. 5, ч. 2, с. 38.
18. Косенков, В.М., Аврамец, Д.Р., Методика определения влияния способа деформирования материала на изменение параметров его структуры, *ЭОМ.*, 2011, т. 47, № 5, с. 83.
19. Косенков, В.М., Зависимость пластических свойств металлов от плотности энергии, поглощенной в процессе деформирования, *Письма о материалах*, 2015, т. 5, № 4, с. 41.
20. Степанов, Г.В., Бабуцкий, А.И., Кинетика локализации деформации в металлической полосе при растяжении, *Проблемы прочности*, 2005, № 5, с. 104.
21. Остапчук, В.В., Исследование структуры и свойств нержавеющей стали после высокоскоростного деформирования, *Сб. науч. тр. Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*, 2011, вып. 2 (66), с. 93.
22. Эпштейн, Г.Н., *Строение металлов, деформированных взрывом*. М.: Металлургия, 1988. 280 с.

Summary

Using the example of stamping a box-shaped part from high-strength sheet steel by a pulsed electrohydraulic method, the limiting possibilities of its shaping, taking into account the springing of the material, are studied. The influence of the radius of the curvature and the shape of the surface of the corners of the part on the change in the structure of high-strength steel DP780 and the appearance of defects in it is determined. Relations between the radius of the curvature of the surface of the part and the thickness of the workpiece are obtained, at which there are no defects in the structure of DP780 steel and the limiting possibilities of its deformation are achieved with minimal springing of the material.

Keywords: electric discharge in water, sheet high-strength steels, springing, electrohydraulic stamping, limiting possibilities of forming