

УДК 621.777.073

DOI: 10.22213/2413-1172-2020-2-54-60

Разработка технологии изготовления облицовочных панелей на универсальной штамповой оснастке

С. Н. Князев, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Ю. О. Михайлов, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Н. В. Тепин, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Рассмотрен технологический процесс листовой штамповки, включающий процесс вытяжки на универсальной штамповой оснастке облицовочных панелей из низкоуглеродистой конструкционной стали и низкоуглеродистой нержавеющей стали. Характеристики материалов отличаются, а значит, и процесс формообразования протекает с существенными отличиями. Необходимо отметить, что заготовки из нержавеющей стали штампуются с полиэтиленом. Использование полиэтиленовой пленки позволяет исключить поверхностные дефекты на облицовочных панелях, однако этот прием ведет к изменению коэффициента трения. Различие характеристик материалов заготовок приводит к необходимости поиска компромиссных инженерных решений.

Инструментом для автоматизации проектирования процесса штамповки в части оптимизации технологических параметров служит программный комплекс AutoForm. Программный продукт позволяет произвести моделирование процесса формоизменения листовой заготовки, определить проблемные зоны или элементы на детали и подобрать геометрию и фрикционные параметры оснастки, а также необходимые силовые характеристики для оборудования. Для рассматриваемой детали «проблемным» элементом является внутренний радиус по контуру детали, который равен толщине материала изделия. Цель исследования – подобрать минимально допустимый радиус, при котором можно было бы получить годное изделие на одной единице инструмента и оборудования, а также обеспечить возможность работы оборудования в автоматическом режиме.

В ходе комплексного анализа результатов компьютерного моделирования и эксперимента определено, что минимально возможный радиус на внутренней поверхности детали для изделий из низкоуглеродистой конструкционной стали должен быть равен не менее одной толщины исходной заготовки, для изделий из низкоуглеродистой нержавеющей стали – не менее двух толщин исходной заготовки. Радиус в углах низких коробчатых изделий на внутренней поверхности для заготовок должен быть равен не менее трех толщин исходной заготовки. Для улучшения технических характеристик штамповой оснастки необходимо использовать технологии нанесения наноструктурированных PVD-покрытий.

Ключевые слова: AutoForm, моделирование, штамповка, оснастка, панель, технология.

Введение

Цифровизация всех сфер экономики, в том числе отрасли машиностроения, требует внедрения современных инструментов автоматизации, которые способствуют повышению ресурсосбережения, увеличению производительности труда, внедрению новых решений в сфере организации производства. Процессы листовой штамповки широко распространены во всех отраслях промышленности. Они являются ресурсосберегающими и экономически выгодными. Особенностью создания технологии изготовления деталей, получаемых листовой штамповкой, является необходимость предупреждения возникновения возможных дефектов, таких как гофрообразование, складкообразование, чрезмерное утонение или разрывы металла, пружинение штампованных заготовок,

отклонение от формы и размеров. Наиболее эффективным инструментом для предупреждения ошибок при создании технологических переходов и прогнозирования возникновения дефектов является компьютерное моделирование [1].

Типовыми изделиями машиностроения являются облицовочные наружные панели из листовых заготовок. К ним предъявляются высокие требования, определяющие качество поверхности, точность геометрии и др. Такие изделия можно классифицировать как низкие коробчатые детали при условии $H/L \leq 0,6 \dots 0,8$ (где H – высота борта штамповки, L – длина штамповки). К таким деталям относится и деталь «панель», представленная на рис. 1.

Особенностью изделия является то, что по внешнему контуру панели дизайнер (конструктор изделия) заложил внутренний радиус $R = 0,8$ мм,

который соответствует толщине исходной заготовки. Таким образом, стала актуальной задача по разработке технологического процесса изготовления детали «панель», обеспечивающего производство в автоматическом режиме (на заданной единице оборудования) на одной единице универсальной штамповой оснастки. При этом материал заготовок, применяемый для данного изделия, был двух видов – сталь DC 04 ED DIN EN 10209 (аналог – сталь 08кп ГОСТ 1050–2013, 08ю ГОСТ 1050–2013) и AISI 304

ASTM A240 (аналог – сталь 08X18H10 ГОСТ 5949–75). Характеристики материалов отличаются, а значит, и процесс формообразования протекает с существенными отличиями. Необходимо отметить, что заготовки из нержавеющей стали штампуются с полиэтиленом. Использование полиэтиленовой пленки позволяет исключить поверхностные дефекты на облицовочных панелях, однако этот прием ведет к изменению коэффициента трения, что отражается на процессе вытяжки заготовок [2, 3].

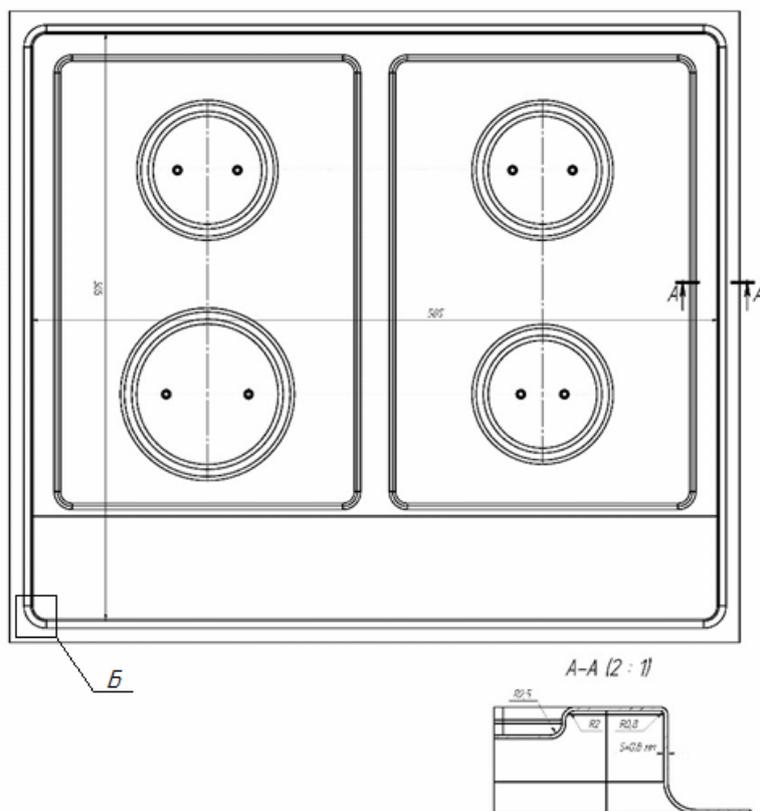


Рис. 1. Эскиз детали «панель»

Fig. 1. Part sketch “panel”

Цель исследования – подобрать минимально допустимый радиус, при котором можно было бы получить годное изделие на одной единице инструмента и оборудования, а также обеспечить возможность работы оборудования в автоматическом режиме.

Используемые подходы, материалы и методы

Важную роль при разработке технологии играет дизайн изделия. При этом задача конструктора – создать такой облик изделия, который привлеч бы максимальное количество покупателей. Здесь часто возникает конфликт между желанием создать привлекательный облик изделия и возможностью организации ресурсосбере-

гающего производства такого изделия. Таким образом, дизайнер изделия, диктующий техническое задание на проектирование штамповой оснастки, должен учитывать возможности производства, характеристики материала изделия.

От проекта технологических переходов штампуемого изделия напрямую зависят проекты штамповой оснастки [4]. При создании технологических переходов инженер-технолог должен учитывать результаты компьютерного анализа технологического процесса в современных программных продуктах-симуляторах. Кроме того, инженер-технолог должен обладать знаниями о технико-технологических возможностях штамповой оснастки и оборудования,

учитывать производственные риски, например, связанные с влиянием жесткости оборудования на качество получаемых изделий. На основе результатов такой глубокой проработки технологии изготовления листоштампованного изделия инженер-конструктор штамповой оснастки выполняет свою часть проекта – моделирует инструмент (штамп) и создает конструкторскую документацию для его изготовления [5].

Инструментом для автоматизации проектирования процесса штамповки в части оптимизации технологических параметров и технологических переходов служат программные продукты – симуляторы, такие как AutoForm, QForm, Deform, Pam-Stamp, Stampack и прочие; в части моделирования 3D-геометрии инструмента и создания конструкторской документации – CAD-программы, такие как Компас-3D, Catia, SolidWorks и др. В зависимости от типа решаемых задач и необходимой точности расчетов инженер выбирает подходящий программный продукт [6].

Для решения задачи по созданию технологии изготовления облицовочной детали «панель» как наиболее эффективный инструмент выбран программный комплекс AutoForm. Программный продукт позволяет произвести моделирование процесса формоизменения листовой заготовки, определить проблемные зоны или элементы на детали и подобрать геометрию и фрикционные параметры оснастки, а также необходимые силовые характеристики для оборудования [7–9].

В качестве наиболее прогрессивных методов решения проблемы повышения износостойкости, прочности, ремонтпригодности, производительности штамповой оснастки была выбрана технология нанесения наноструктурированных покрытий (PVD – Physical Vapour Deposition). Такая технология позволяет значительно увеличить ресурс штамповой оснастки, работающей в условиях повышенного трения, а также увеличить фрикционные характеристики [10].

В работе применялись следующие методы: конечных элементов (программный комплекс AutoForm), измерения геометрических размеров, измерения давлений штампуемых материалов на инструмент штампа, трибологические методы измерения.

Разработка технологии изготовления детали «панель»

Согласно требованиям заказчика облицовочная деталь «панель» имеет (по наружному контуру изделия) внутренний радиус $R = 0,8$ мм,

толщина материала исходной заготовки составляет также $S = 0,8$ мм. Материал заготовок для производства детали «панелей»: сталь DC 04 ED DIN EN 10209 и сталь AISI 304 ASTM A240 (с использованием полиэтиленовой пленки). Предполагается четыре технологических перехода получения данного изделия: 1) резка карточки на гильотинных ножницах, 2) вытяжка заготовки в штампе, 3) пробивка отверстий в штампе, 4) обрезка фланца вытянутой заготовки с завальцовкой торца детали на стенде. Важно, что после получения карточек остальные операции должны выполняться с автоматической подачей. Штамповая оснастка должна обеспечивать получение изделия из указанных материалов и гарантировать качество. Проектирование такой оснастки достаточно трудоемко, так как использование разных материалов изделия приводит к необходимости подбора таких технологических параметров, которые бы позволяли без изменения геометрии инструмента получать качественное, конкурентоспособное изделие на заданной единице оборудования.

Для утверждения технологии изготовления детали «панель» было выполнено компьютерное моделирование технологического процесса штамповки в программном комплексе AutoForm.

В программный комплекс была импортирована геометрия инструмента штамповой оснастки и заготовки. Анализ результатов показал: 1) для заготовок из разных материалов необходимы разные силовые характеристики со стороны прижима (для заготовок из стали AISI 304 ASTM A240 усилие прижима должно быть больше на 30...35 %); 2) размеры карточки исходной плоской заготовки различны (для заготовок из стали AISI 304 ASTM A240 заготовка должна быть больше на 2,5...4 %); 3) технологическое усилие штамповки отличается (для заготовок из стали AISI 304 ASTM A240 усилие прижима должно быть больше на 30...35 %). Кроме того, для заготовок из стали AISI 304 ASTM A240 на боковых ребрах изделия (на рис. 1 они вынесены в разрезе А-А) образуются зоны дефекта, которые представляют собой некий «провал». Такой дефект образуется вследствие возникновения утонения материала, возникновения остаточных напряжений и пружинения детали (локальной деформации). Все перечисленные изменения в материале заготовки образуются при перетекании материала через радиус пуансона, который оформляет внутренний радиус изделия и равен $R = 0,8$ мм (рис. 2).

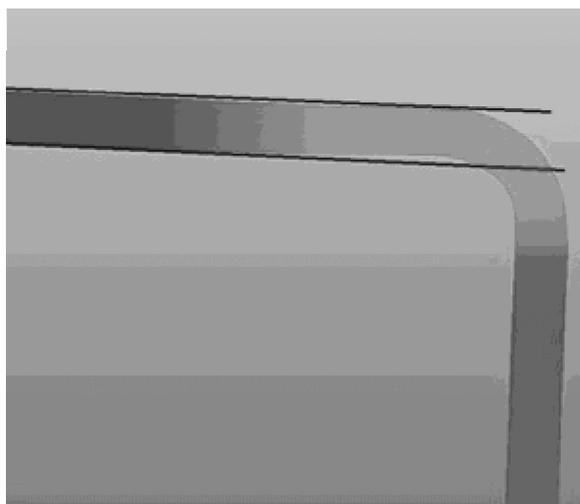


Рис. 2. Деталь «панель» после пружинения

Fig. 2. Part "panel" after springback

Величина радиуса пуансона $R = 0,8$ мм по результатам компьютерного анализа для заготовок из стали DC 04 ED DIN EN 10209 и стали AISI 304 ASTM A240 приводит к интенсивному утонению и возможному разрушению в углах детали (на рис. 1 проблемная зона обозначены видом Б).

Для подтверждения результатов моделирования были выполнены испытания штамповой оснастки с радиусом у вершины пуансона $R = 0,8$ мм. В результате получили дефекты на изделии, прогнозируемые в программном продукте AutoForm.

Материал сталь DC 04 ED DIN EN 10209 пластичный, в связи с этим вытяжка деталей из такого материала не имеет больших рисков возникновения дефектов. При штамповке опытной партии изделий отмечалось лишь утонение в углах деталей, которое не влияет на технические и эксплуатационные требования, предъявляемые заказчиком. Прочих дефектов на поверхности штампованных деталей «панель» обнаружено не было.

Материал сталь AISI 304 ASTM A240 менее пластичный относительно DC 04 ED DIN EN 10209. Нержавеющая сталь содержит легирующие элементы, имеет повышенную прочность и коррозионную стойкость. На штамповках из такой стали проявились дефекты, прогнозируемые при компьютерном моделировании, в частности на боковых ребрах изделия образуется зона утонения материала, а возникающие при этом остаточные напряжения приводят к локальному пружинению детали (рис. 3). На углах штампованных заготовок из нержавеющей стали возникают участки интенсивного утонения заготовки и разрывы.

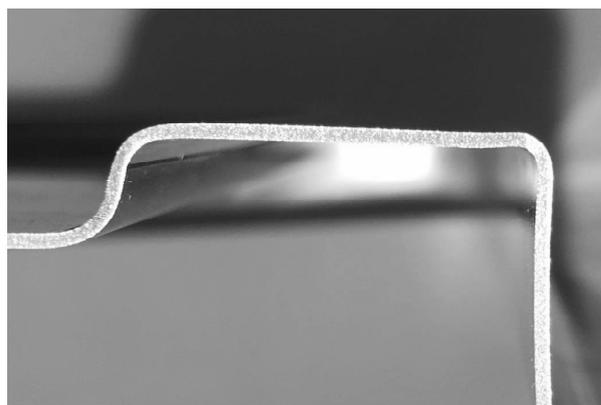


Рис. 3. Дефект вследствие утонения заготовки и пружинения

Fig. 3. Defect due to thinning of the blank and springback

Нержавеющие стали обладают повышенными механическими характеристиками, такими как предел прочности, предел текучести. Поэтому в процессе формоизменения заготовок из таких сталей возникают остаточные напряжения, которые приводят к пружинению после снятия внешнего воздействия, то есть при раскрытии штамповой оснастки. Вследствие пружинения штампованные заготовки имеют отклонения от формы и размеров, что является нарушением предъявляемых требований со стороны заказчика [11–13].

Согласно справочным рекомендациям радиусы изделия сложной формы, получаемого вытяжкой, должны быть равны $3S...5S$, где S – толщина исходной заготовки.

После анализа первых результатов компьютерного моделирования в программной среде AutoForm геометрия оснастки изменялась в CAD-системе и загружалась в программный продукт AutoForm для поиска и оптимизации технологических решений. Согласно расчетам минимально допустимый радиус пуансона может составлять $R = 1,7$ мм, а в углах детали должен быть не менее $R = 2,5$ мм. Компьютерный анализ показал, что использование геометрии инструмента (пуансона) с такими параметрами снижает интенсивность возникновения утонений, а также локализует их возле радиуса (не позволяет перетечь утоненному металлу на горизонтальный (видовой) участок детали). Расположение зоны утонения возле радиуса перегиба материала снижает величину пружинения в этой зоне детали (рис. 4) и является гарантом получения качественного изделия.

После предоставления заказчику результатов компьютерного моделирования, а также результатов опытной партии штамповки на оснастке

с требуемыми конструктивными параметрами изделия была выполнена корректировка конструкторской документации и технического задания. Согласно новым требованиям дизайнера изделия внутренний радиус детали $R = 0,8$ мм следовало изменить на радиус $R = 1,7$ мм, а в углах детали (зона, обозначенная видом Б на рис. 1) заказчик позволил выполнить переходный радиус с $R = 1,7$ до $R = 2,5$ мм. Повторные испытания штамповой оснастки подтвердили результаты компьютерного моделирования и достоверность выбранных параметров технологии.

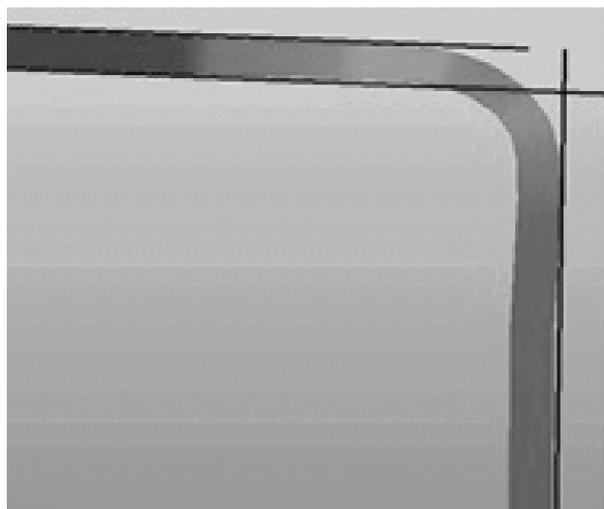


Рис. 4. Деталь «панель» после пружинения и изменения геометрии

Fig. 4. Part “panel” after springback and changed geometry

Анализ результатов

Компьютерное моделирование технологии изготовления облицовочной детали «панель» с внутренним (по контуру детали) радиусом $R = 0,8$ мм показало, что в процессе вытяжки на заготовках из нержавеющей стали происходит утонение металла. Величина утонения колеблется и может достигать $0,1$ мм. В штампованных заготовках возникают остаточные напряжения, которые после снятия внешнего воздействия, то есть при раскрытии штамповой оснастки, приводят к локальной деформации вследствие пружинения. В случае применения калибровки таких участков детали результат не обеспечит заданные требования к геометрии и визуальному восприятию. Возникновение дефектов при вытяжке листовых заготовок из нержавеющей стали связано с тем, что при перетекании металла через радиус пуансона $R = 0,8$ мм возникают касательные растягивающие напряжения. Такая величина радиуса пуансона чрезмерно препятствует металлу течь с фланца

и вертикальной стенки изделия на верхнюю горизонтальную часть штамповки. Иными словами, радиус слишком мал – равен толщине исходной заготовки, что согласно рекомендациям для листовой штамповки неприемлемо.

Повышение износостойкости штамповой оснастки

Для повышения износостойкости штамповой оснастки, а именно инструмента штампа для вытяжки, было предложено использовать технологию PVD-покрытий. Ранее были созданы образцы из инструментальных марок стали, на которые были нанесены такие покрытия. Результаты испытаний на машине трения SRV-III показали, что образцы с покрытиями имеют более стабильные характеристики трения. Производство опытной партии деталей на штамповой оснастке, инструмент которой имел PVD-покрытие, подтвердило результаты трибологических испытаний. Инструмент оснастки с PVD-покрытием служит в $1,5...2$ раза дольше. А за счет увеличения фрикционных характеристик такого инструмента усилие выполнения технологического перехода снижается на величину порядка 10% .

Выводы

- Дизайн изделия должен обеспечивать реализацию ресурсосберегающего технологического процесса и соответствовать технологическим возможностям производства, характеристикам материала изделия.
- Апробацию результатов технологии изготовления штампованных изделий следует проводить в виртуальной среде с использованием современных программ-симуляторов.
- Характеристики материалов изделия, штампуемого на универсальной оснастке, не должны существенно отличаться, в противном случае это может привести к невозможности изготовления такой оснастки или невозможности выбора технологических параметров процесса формоизменения.
- Минимально возможный радиус на внутренней поверхности детали для изделий из стали DC 04 ED DIN EN 10209 должен быть равен не менее одной толщины исходной заготовки, для изделий из стали AISI 304 ASTM A240 должен составлять не менее чем две толщины исходной заготовки.
- Радиус в углах низких коробчатых изделий на внутренней поверхности для заготовок из стали DC 04 ED DIN EN 10209 и стали AISI 304 ASTM A240 должен составлять не менее чем три толщины исходной заготовки.
- Для улучшения технических характеристик штамповой оснастки (износостойкость, проч-

ность, ремонтпригодность и производительность), технологических характеристик (фрикционные характеристики, усилие штамповки и скорость выполнения технологического перехода) необходимо использовать технологии нанесения наноструктурированных PVD-покрытий.

Библиографические ссылки

1. Сидоров А. А., Бузлаев Д. В. Stampack – универсальный программный комплекс моделирования процессов листовой штамповки // САПР и графика. 2014. № 8. С. 84–86. ISSN 1560-4640.
2. Исследование хрупкого разрушения изделий из нержавеющей стали, получаемых глубокой вытяжкой / В. В. Каржавин, И. Г. Кордюков, В. И. Кузнецов, В. В. Бакина // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2019. № 4. С. 20–27.
3. Каржавин В. В., Бакина В. В., Каменских С. Ф. Анализ поля напряжений при глубокой вытяжке изделий из нержавеющей стали с мягким покрытием // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2018. № 12. С. 33–37.
4. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. 5-е изд., доп. и перераб. Л.: Машиностроение, 1971. 782 с.
5. Шпунькин Н. Ф., Бузлаев Д. В. Построение вытяжных переходов кузовных деталей современных автомобилей // Заготовительные производства в машиностроении. 2013. № 8. С. 17–22.
6. Бузлаев Д. В. Моделирование болтовых соединений в КЭ-комплексе SIMULIA Abaqus // САПР и графика. 2015. № 5. С. 24–29. ISSN 1560-4640.
7. Поликарпов А. В., Власов А. В. Проектирование технологического процесса штамповки боковины Рено Логан с помощью ПК AutoForm // Сб. статей Всерос. науч.-техн. конф. «Студенческая научная весна – 2012. Машиностроительные технологии» (Москва, 4–7 апреля 2012 г.). М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. С. 231–237.
8. Dr. Jasmina Jovicevic [A passion for sheet metal forming]. *International Sheet Metal Review*, 2020, vol. 22, no. 3, pp. 56-57.
9. Tatipala S., Pilthammar J., Sigvant M., Wall J., Johansson Ch.M. [Introductory study of sheet metal forming simulations to evaluate process robustness]. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 418*, 2018, pp. 1-8. DOI:10.1088/1757-899X/418/1/012111.
10. Князев С. Н., Михайлов Ю. О., Тарасов В. В. Наноструктурированное PVD-покрытие как способ повышения износостойкости штамповой оправки // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2015. № 4. С. 4-5.
11. Бузлаев Д. В. Проблемы и решения в моделировании листовой штамповки современных сталей и сплавов // САПР и графика. 2014. № 4. С. 96–100. ISSN 1560-4640.
12. Чумадин А. С., Шемонаева Е. С. Расчеты упругих деформаций в операциях листовой штамповки //

Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2018. № 6. С. 16–22.

13. Томилов М. Ф., Томилов Ф. Х. Предельная пластичность листовых материалов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2017. № 9. С. 38–40.

References

1. Sidorov A.A., Buzlaev D.V. [Stampack - a multi-purpose software package for modeling sheet stamping processes]. *SAPR i grafika*, 2014, no. 8, pp. 84-86 (in Russ.).
2. Karzhavin V.V., Kordyukov I.G., Kuznetsov I.V., Bakina V.V. [Investigation of brittle fracture of stainless steel products produced by deep drawing]. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem*, 2019, no. 4, pp. 20-27 (in Russ.).
3. Karzhavin V.V., Bakina V.V., Kamenskih S.F. [Analysis of the stress field during deep drawing of stainless steel products with a soft finish]. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem*, 2018, no. 12, pp. 33-37 (in Russ.).
4. Romanovsky V.P. *Spravochnik po kholodnoi shtampovke* [Reference manual on cold stamping]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1971, 782 p. (in Russ.).
5. Shpункin N.F., Buzlaev D.V. [Construction of exhaust passages of body parts of modern cars]. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii*, 2013, no. 8, pp. 17-22 (in Russ.).
6. Buzlaev D.V. [Simulation of bolted connections in the CE-complex SIMULIA Abaqus]. *SAPR i grafika*, 2015, no. 5, pp. 24-29 (in Russ.).
7. Polikarpov A.V., Vlasov A.V. *Proektirovanie tekhnologicheskogo protsessa shtampovki bokoviny Reno Logan s pomoshch'yu PK AutoForm* [Designing the process of stamping the sidewalls of Renault Logan using AutoForm PC]. *Sb. statei Vseros. nauch.-tekhn. konf. «Studencheskaya nauchnaya vesna - 2012. Mashinostroitel'nye tekhnologii» (Moskva, 4-7 aprelya 2012 g.)*. [Proc. of the All-Russian Scientific and Technical Conference “Student Scientific Spring - 2012. Engineering Technologies” (Moscow, April 4-7, 2012). Moscow, MGTU imeni N.E. Bauman Publ., 2012, pp. 231-237 (in Russ.).
8. Dr. Jasmina Jovicevic [A passion for sheet metal forming]. *International Sheet Metal Review*, 2020, vol. 22, no. 3, pp. 56-57.
9. Tatipala S., Pilthammar J., Sigvant M., Wall J., Johansson Ch.M. [Introductory study of sheet metal forming simulations to evaluate process robustness]. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 418*, 2018, pp. 1-8. DOI:10.1088/1757-899X/418/1/012111.
10. Kniazev S.N., Mihailov Yu.O., Tarasov V.V. [Physical vapour deposition as a way to improve durability mandril]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2015, no. 4, pp. 4-5 (in Russ.).
11. Buzlaev D.V. [Problems and solutions in modeling sheet stamping of modern steels and alloys]. *SAPR i grafika*, 2014, no. 4, pp. 96-100 (in Russ.).

12. Chumadin A.S., Shemonaeva E.S. [Calculations of elastic deformations in sheet stamping operations]. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem*, 2018, no. 6, pp. 16-22 (in Russ.).

13. Tomilov M.F., Tomilov F.Kh. [Ultimate plasticity of sheet materials]. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem*, 2017, no. 9, pp. 38-40 (in Russ.).

Development of Technology for Manufacturing Facing Panels by Universal Die Tooling

S.N. Knyazev, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

Yu.O. Mikhailov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

N.V. Tepin, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

The paper describes sheet stamping's technological process, which includes the process of drawing outer body panels of low-carbon structural steel and low-carbon stainless steel by multi-purpose die tooling. The characteristics of the materials differ significantly, which means that the shaping process proceeds with significant differences. It should be noted that stainless steel billets are stamped with polyethylene. Using a polyethylene film allows you to eliminate surface defects on the outer body panels, but this technique leads to a change in the friction coefficient. A significant difference in the characteristics of blank materials leads to the need to find compromise engineering solutions. The AutoForm software package serves as a tool for automating the design of the stamping process in terms of optimizing technological parameters. The software product allows you to simulate the process of drawing a sheet blank, determine the "problem" area or elements on the part, and select the geometry and friction parameters of the tooling, as well as the necessary power characteristics for the machinery. For the part under consideration, the "problem" element was the inner radius along the contour of the part, which is equal to the thickness of the product material. The purpose of the study is to select the minimum allowable radius at which it would be possible to obtain a suitable product on one unit of tools and equipment and ensure that the equipment can operate in automatic mode.

When analyzing the results of computer modeling and experiment, it was determined that the minimum possible radius on the part's inner surface for products made of low-carbon structural steel should be equal to at least one thickness of the initial billet. For products made of low-carbon stainless steel, it should be equal to at least two thicknesses of the initial blank. The radius at the corners of low box products on the blank's inner surface must be equal to at least three thicknesses of the original blank. To improve die tooling's technical characteristics, it is necessary to use technologies of nanostructured PVD coatings.

Keywords: AutoForm, simulation, stamping, die tooling, panel, technology.

Получено 18.05.2020

Образец цитирования

Князев С. Н., Михайлов Ю. О., Тепин Н. В. Разработка технологии изготовления облицовочных панелей на универсальной штамповой оснастке // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 2. С. 54–60. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-2-54-60.

For Citation

Knyazev S.N., Mikhailov Yu.O., Tepin N.V. [Development of Technology for Manufacturing Facing Panels by Universal Die Tooling]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2020, vol. 23, no. 2, pp. 54-60 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2020-2-54-60.