

Разработка конструкции деформирующего устройства и исследование технологии листовой штамповки для производства кровельного материала

¹ФЕДЧЕНКО Олеся Сергеевна, магистрант, fedchenko.kadzhu@mail.ru,

¹СЕЙТМАХАНОВ Жанпейс Алимханович, магистрант, zh.seitmakhanov@tttu.edu.kz,

²ЛЕЖНЕВ Сергей Николаевич, к.т.н., профессор, sergey_legnev@mail.ru,

³ЕРПАЛОВ Михаил Викторович, к.т.н., доцент, m.v.erpalov@urfu.ru,

^{1*}ПАНИН Евгений Александрович, PhD, доцент, cooper802@mail.ru,

¹Карагандинский индустриальный университет, Казахстан, Темиртау, пр. Республики, 30,

²Рудненский индустриальный институт, Казахстан, Рудный, ул. 50 лет Октября, 38,

³Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19,

*автор-корреспондент.

Аннотация. В статье приведены результаты исследования технологии листовой штамповки для получения кровельных панелей. Рассмотрена аналитическая модель процесса листовой штамповки с жестким прижимом и определено усилие деформирования заготовки заданных размеров. Проведено компьютерное моделирование в программе Deform, рассмотрено напряженно-деформированное состояние металла при деформировании, проанализирована прочность деформирующего узла. Сравнение теоретических и расчетных значений усилия деформирования показало хорошую сходимость. Создана экспериментальная автономная установка для листовой штамповки, не требующая наличия молота или прессы. Получена опытная партия кровельных панелей из металла с оцинкованным и полимерным покрытием.

Ключевые слова: листовая штамповка, штамп, моделирование, усилие деформирования, покрытие.

Введение

Штамповка представляет собой способ обработки давлением, позволяющий получить готовые изделия как плоского, так и объемного вида, которые отличаются разнообразием форм и размеров [1-2]. Рабочим инструментом при штамповке обычно является штамп, который приводится в движение кузнечным оборудованием (обычно молотом или прессом). В качестве классификационного разделения выделяют горячую и холодную штамповку, последняя также делится на объемную и листовую. В зависимости от вида операций, штамповку называют разделительной, если в ходе деформирования происходит намеренное нарушение сплошности обрабатываемого материала. Если же в ходе штамповки происходит только формоизменение материала, то такой процесс относят к формоизменяющим штамповочным операциям [3-4]. Целью данной работы является исследование технологии листовой штамповки для получения кровельных панелей, а также разработка конструкции деформирующего устройства для ее осуществления.

Анализ схемы деформирования

Для реализации исследуемой технологии листовой штамповки предварительно была выбрана схема гибки с жестким прижимом (схема 10 по классификации С.С. Яковлева [5]). Схема гибки в штампе с жестким прижимом показана на рисунке 1.

Листовая заготовка помещается в штамп и прижимается прижимом к матрице. Деформирующий узел, который зачастую имеет радиус

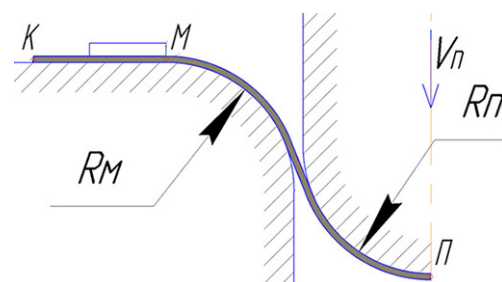


Рисунок 1 – Схема гибки с жестким прижимом

закругления Rn , двигается вниз со определенной скоростью Vn . В результате металл, двигаясь по поверхности нижнего штампа, затягивается во внутреннюю полость, образуя зону пластической деформации МП. На заготовке можно выделить несколько участков:

- участок КМ – зона, в которых материал не деформируется и движется как жесткое тело со скоростью пуансона.

- участок МП – зона пластических деформаций.

Требуемую силу для гибки листовых заготовок по данной схеме определяют по формуле:

$$P = 2\sigma_z s B, \quad (1)$$

где B – ширина заготовки, мм;

σ_z – меридиональное напряжение, действующее на границе участка пластических деформаций, МПа. Может быть принято равным пределу текучести материала при заданных условиях;

s – толщина листовой заготовки, мм.

Компьютерное моделирование штамповки

В работе [6] были проанализированы возможные способы моделирования данного процесса. В результате было установлено, что наиболее эффективным будет 2D-моделирование, поскольку общая длительность деформирования (включая свободное падение штампа) составляет 0,25 сек, а непосредственное время деформирования листовой заготовки составляет около 0,045 сек. Можно сделать вывод, что при данной схеме деформирования заготовка штампуется практически мгновенно. Из этого следует, что для упрощения схемы можно принять прямолинейное движение штампа. Это, в свою очередь, позволяет использовать механизм 2D-моделирования (рисунок 2) [7-8]. Для штамповки используется листовая заготовка шириной 1000 мм и толщиной 0,5 мм.

При анализе напряженного состояния (рисунок 3а) в сечении заготовки были зафиксированы как растягивающие напряжения, достигающие значения 237 МПа, так и сжимающие напряже-

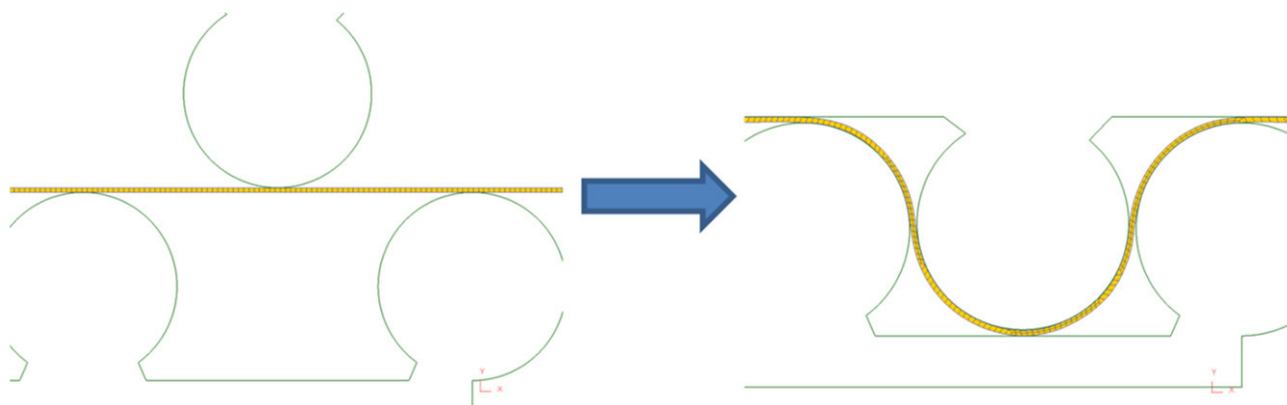


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель листовой штамповки

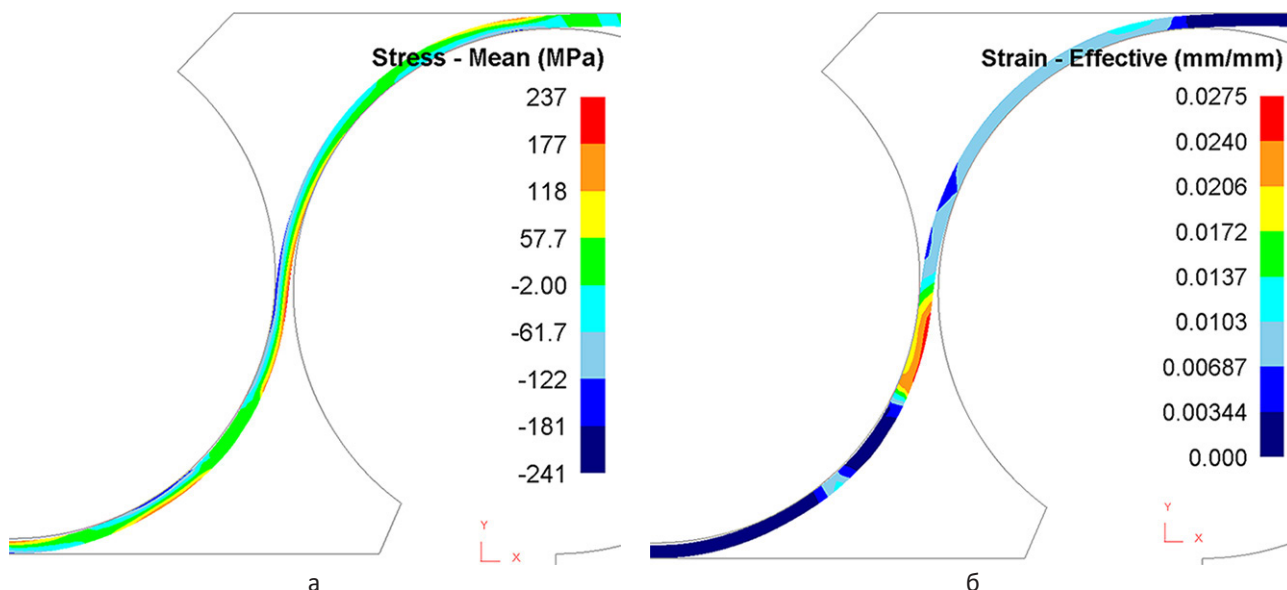


Рисунок 3 – Результаты расчета напряженного (а) и деформированного (б) состояний

ния, достигающие значения – 241 МПа.

При заданном пределе текучести 230 МПа можно сделать вывод о том, что участок металла, находящийся в полости между штампами (соответствующий участку МП рисунка 1) находится в пластическом состоянии, что будет исключать упругое пружинение металла при снятии нагрузки. Анализ возникающих деформаций (рисунок 3б) показал, что основной прирост эквивалентной деформации наблюдается в перекрестной зоне между штампами. При этом уровень деформации крайне мал, что говорит о штамповке без утонения листового материала.

При анализе возникающего усилия была рассмотрена штамповка за два удара, когда за первый удар формируется два гребня, далее заготовка сдвигается в сторону так, чтобы второй гребень попал в паз первого в нижнем штампе. За второй удар формируется только один третий гребень (рисунок 4а). На рисунке 4б приведен график усилия деформирования для штамповки за два удара. Установлено, что на первом ударе требуется усилие около 465 кН, на втором ударе – около 225 кН. При расчете по формуле (1) для заготовки шириной 1000 мм и толщиной 0,5 мм было найдено, что усилие на первом ударе равно 460 кН, на втором ударе – 230 кН. Таким образом, результаты моделирования имеют высокую сходимость с

аналитическими расчетами.

При проведении анализа на прочность было выявлено, что в конечный момент времени процесса деформирования наибольшие напряжения (около 15 МПа) возникают на поверхности радиального элемента штампа (рисунок 5). В остальных нагружаемых зонах уровень напряжений не превышает 10 МПа. Таким образом, можно заключить, что в ходе реализации данного процесса все основные деформирующие элементы штампа находятся в упругом состоянии и не подвержены пластическому деформированию.

Проведение эксперимента и обсуждение результатов

На следующем этапе было проведено изготовление и сборка деформирующего устройства. К нижнему штампу были приварены попарно по одному прутку диаметром 20 мм на расстоянии 500 мм друг от друга. Соседние прутки, образующие парные пазы, были приварены таким образом, чтобы обеспечить расстояние между ними в 21,5 мм, которое контролировалось с помощью штангенциркуля. Таким образом, данная конструкция штампа позволяет деформировать листовые заготовки толщиной до 0,75 мм. Ко второму штампу в соответствующих точках были приварены по одному прутку, которые будут

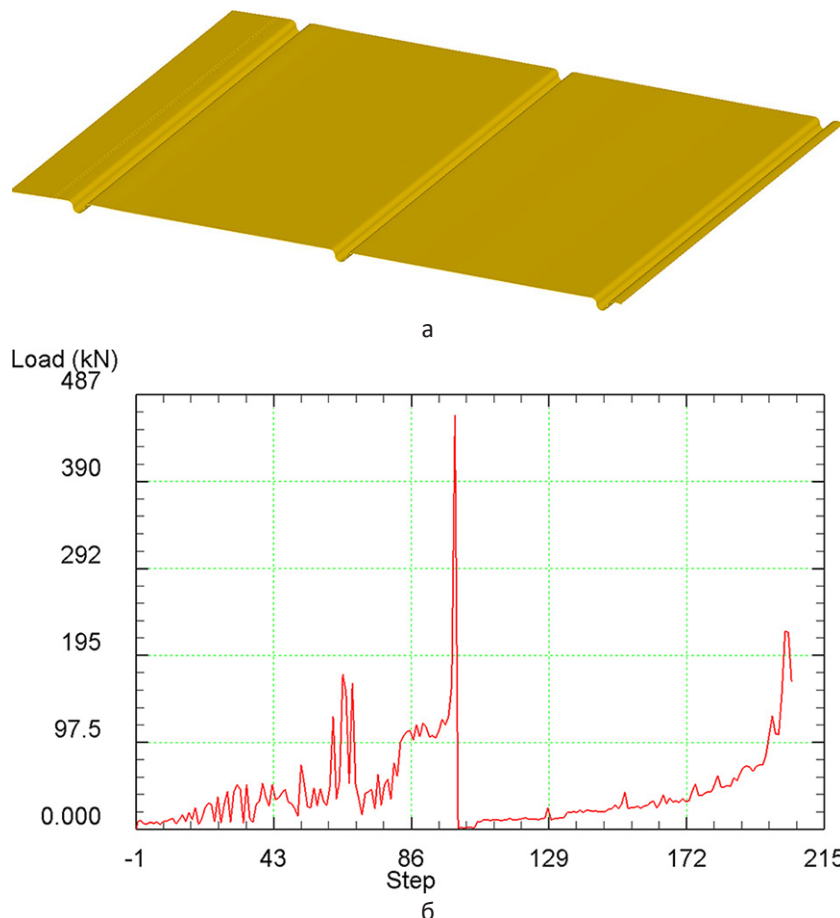


Рисунок 4 – Общий вид кровельной панели, получаемой за 2 удара (а) и график усилия деформирования (б)

попадать в созданные пазы. Обе части штампа соединяются друг с другом петлевыми скобами. Поднятие верхнего штампа в вертикальное по-

ложение осуществляется при помощи дуговой ручки. Общий вид штампа в закрытом состоянии представлен на рисунке 6а.

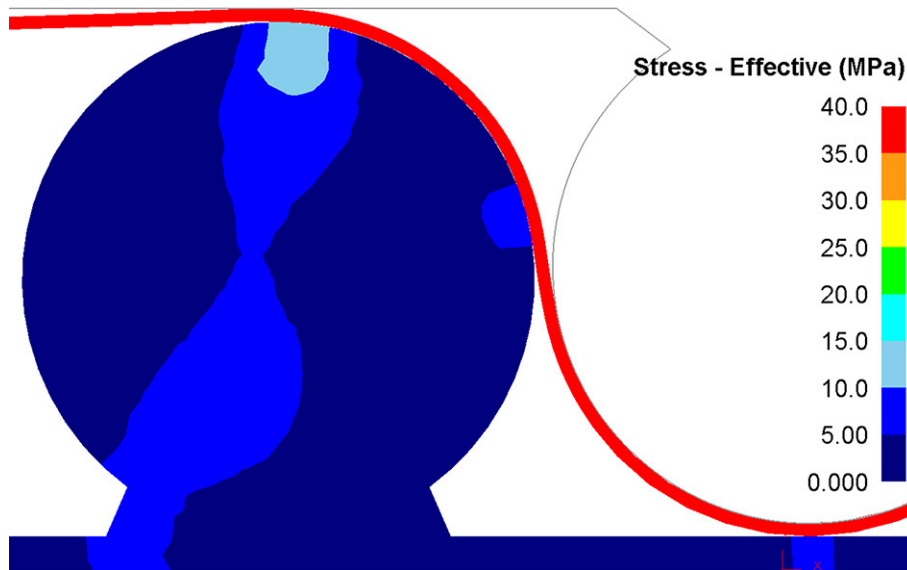


Рисунок 5 – Напряжение в штампе



а – общий вид штампа; б – начальная стадия штамповки узкой заготовки с 2 гребнями; в – конечная стадия штамповки широкой заготовки с 3 гребнями

Рисунок 6 – Экспериментальное деформирование

В качестве исходных материалов был использован оцинкованный лист толщиной 0,5 мм [6], а также лист с полимерным покрытием толщиной 0,5 мм [7]. Осуществлялась штамповка как узких панелей с 2 гребнями (рисунок 6б), так и широких панелей с 3 гребнями (рисунок 6в). В ходе проведения деформирования было выявлено, что получаемые панели полностью соответствуют заданным геометрическим параметрам. В частности, полностью формируется окружная амплитуда гребней высотой 20 мм (рисунок 7).

При деформировании металла с полимерным покрытием на поверхности гребней были зафиксированы трещины покрытия (выделенная зона

на рисунке 8а), в то время как на оцинкованном металле подобного дефекта не было.

Данный дефект связан с тем, что полимерное покрытие наносится на поверхность металла механическим способом. Поэтому оно имеет значительно меньшую прочность, в отличие от цинкового покрытия, наносимого гальваническим способом. Для снижения уровня контактного взаимодействия было решено снизить коэффициент трения на контакте заготовки и инструмента путем использования смазки типа Литол. В результате последующие панели получались без нарушения полимерного покрытия (рисунок 8б).

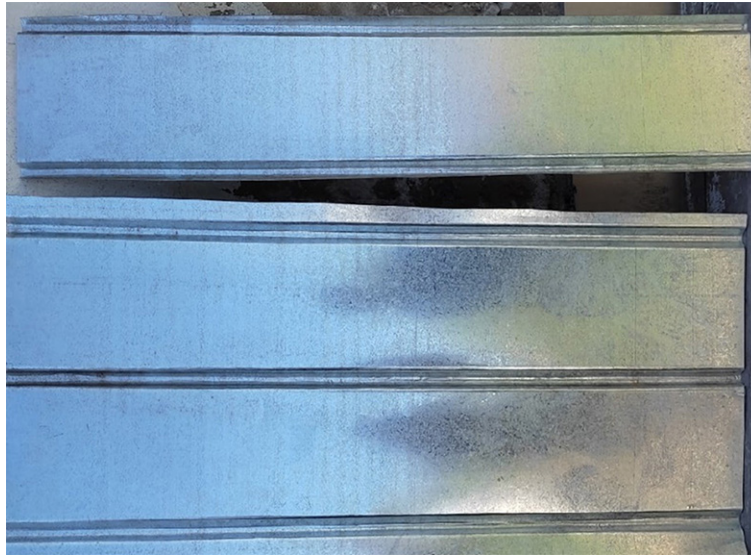


Рисунок 7 – Панели из оцинкованного металла



а



б

Рисунок 8 – Панели из металла с полимерным покрытием

Выводы

1. Рассмотрена аналитическая модель процесса листовой штамповки с жестким прижимом и определено усилие деформирования заготовки заданных размеров. Проведено моделирование в программе Deform, рассмотрено напряженно-деформированное состояние металла при деформировании, проанализирована прочность деформирующего узла. Сравнение теоретических и расчетных значений усилия деформирования показало хорошую сходимость.

2. Создана экспериментальная автономная установка для листовой штамповки, не требующая наличия молота или прессы. Получена опытная партия кровельных панелей из металла с оцинкованным и полимерным покрытием. Установлено, что при использовании металла с полимерным покрытием из-за более низкого уровня прочности покрытия необходимо снижать коэффициент трения на контакте заготовки и штампа путем введения смазки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Altan T., Tekkaya E. Sheet Metal Forming: Fundamentals. ASM International, 2012. 350 p.
2. Altan T., Tekkaya E. Sheet Metal Forming: Processes and Applications. ASM International, 2012. 450 p.
3. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства: Учебник. М.: Машиностроение, 1976. 560 с.
4. Сидельников С.Б. Теория процессов ковки и штамповки. Красноярск: СФУ, 2017. 103 с.
5. Яковлев С.С. Ковка и штамповка: Справочник. Т. 4. Листовая штамповка. М.: Машиностроение, 2010. 732 с.
6. Нухов Д.Ш., Жумабекова А.Ж., Федченко О.С., Тымченко А.А., Панин Е.А. Методика моделирования процесса листовой штамповки тонкой заготовки // Сборник трудов Международной научно-методической конференции «Архитектоника образовательного пространства: тренды и вызовы». Тимиртау, 2020. С. 247-251.
7. Banabic D. Sheet Metal Forming Processes. Constitutive Modelling and Numerical Simulation. Berlin – Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. 318 p.
8. Hu P., Ma N., Liu L., Zhu Y. Theories, Methods and Numerical Technology of Sheet Metal Cold and Hot Forming: Analysis, Simulation and Engineering. Springer-Verlag London, 2013. 210 p.
9. КМК Trade Company – Гладкий лист оцинкованный (<https://kmktradeco.kz/catalog/rulonnaya-listovaya-stal/list-stalnoy/otsinkovanny-list/gladkiy-list-otsinkovanny/>).
10. КМК Trade Company – Гладкий лист оцинкованный с полимерным покрытием (<https://kmktradeco.kz/catalog/rulonnaya-listovaya-stal/list-stalnoy/otsinkovanny-list-s-polimernym-pokrytiem/gladkiy-list-otsinkovanny-s-polimernym-pokrytiem/>).

Деформациялаушы құрылғының конструкциясын әзірлеу және шатыр материалын өндіру үшін табақты қалыптау технологиясын зерттеу

¹ФЕДЧЕНКО Олеся Сергеевна, магистрант, fedchenko.kadzhu@mail.ru,

¹СЕЙТМАХАНОВ Жанпейс Алимханович, магистрант, zh.seitmakhanov@tttu.edu.kz,

²ЛЕЖНЕВ Сергей Николаевич, т.ғ.к., профессор, sergey_legnev@mail.ru,

³ЕРПАЛОВ Михаил Викторович, т.ғ.к., доцент, m.v.erpalov@urfu.ru,

¹*ПАНИН Евгений Александрович, PhD, доцент, sooper802@mail.ru,

¹Қарағанды индустриялық университеті, Қазақстан, Тимиртау, Республика даңғылы, 30,

²Рудный индустриалды институты, Қазақстан, Рудный, Қазанға 50 жыл көшесі, 38,

³Ресей Федерациясының бірінші президенті Б.Н. Ельцин атындағы Орал федералды университеті, Ресей, Екатеринбург, Мира көшесі, 19,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақалада шатыр панельдерін алу үшін парақты штамптау технологиясын зерттеу нәтижелері келтірілген. Қатты қысқышпен парақты штамптау үрдісінің аналитикалық моделі қарастырылды және берілген өлшемдегі дайындаманың деформация күші анықталды. Deform бағдарламасында компьютерлік модельдеу жүргізілді, деформация кезінде металдың кернеулі-деформацияланған күйі қарастырылды, деформациялық түйіннің беріктігі талданды. Деформация күшінің теориялық және есептік мәндерін салыстыру жақсы сәйкестікті көрсетті. Балғаның немесе пресстің болуын талап етпейтін парақтарды штамптауға арналған эксперименттік автономды қондырғы жасалды. Мырышталған және полимерлі жабындысы бар металдан жасалған шатыр панельдерінің тәжірибелі партиясы алынды.

Кілт сөздер: парақты штамптау, штамп, моделдеу, деформация күші, жабын.

Development of a Deforming Device Design and Research of Sheet Stamping Technology for the Production of Roofing Material

¹FEDCHENKO Olesya, master student, fedchenko.kadzhu@mail.ru,

¹SEITMAKHANOV Zhanpeis, master student, zh.seitmakhanov@ttu.edu.kz,

²LEZHNEV Sergey, Cand. of Tech. Sci., Professor, sergey_legnev@mail.ru,

³ERPALOV Mikhail, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, m.v.erpalov@urfu.ru,

^{1*}PANIN Evgeniy, PhD, Associate Professor, cooper802@mail.ru,

¹Karaganda Industrial University, Kazakhstan, Temirtau, Republic Avenue, 30,

²Rudny Industrial Institute, Kazakhstan, Rudny, 50 years of October Street, 38,

³Ural Federal University n.a. the First President of Russia B.N. Yeltsin, Russia, Yekaterinburg, Mira Street, 19,

*corresponding author.

Abstract. The article presents the results of a study of sheet stamping technology for obtaining roofing panels. An analytical model of the sheet stamping process with a rigid clamp was considered and the deformation force of the workpiece of specified dimensions was determined. Computer modeling was carried out in the Deform program, the stress-strain state during deformation was considered, the strength of the deforming node was analyzed. Comparison of theoretical and calculated values of the deformation force showed good convergence. An experimental stand-alone installation for sheet stamping has been created, which does not require a hammer or a press. An experimental batch of metal roofing panels with galvanized and polymer coating was obtained.

Keywords: sheet stamping, stamp, modeling, deformation force, coating.

REFERENCES

1. Altan T., Tekkaya E. Sheet Metal Forming: Fundamentals. ASM International, 2012. 350 p.
2. Altan T., Tekkaya E. Sheet Metal Forming: Processes and Applications. ASM International, 2012. 450 p.
3. Ohrimenko Ya.M. Tekhnologiya kuznechno-shtampovozhnogo proizvodstva: Uchebnik [Forging and stamping production technology]. Moscow: Mashinostroenie, 1976. 560 p.
4. Sidel'nikov S.B. Teoriya processov kovki i shtampovki [Theory of forging and stamping processes]. Krasnoyarsk: SFU, 2017. 103 p.
5. Yakovlev S.S. Kovka i shtampovka: Spravochnik. T. 4. Listovaya shtampovka [Forging and stamping: Handbook. Vol. 4. Sheet stamping] Moscow: Mashinostroenie, 2010. 732 p.
6. Nuhov D.Sh., Zhumabekova A.Zh., Fedchenko O.S., Tymchenko A.A., Panin E.A. Metodika modelirovaniya processa listovoj shtampovki tonkoj zagotovki [Method of modeling the process of sheet stamping of a thin billet] // Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii «Arhitektonika obrazovatel'nogo prostranstva: trendy i vyzovy» [Proceedings of the International Scientific and Methodological Conference «Architectonics of Educational space: trends and challenges»]. Temirtau, 2020. pp. 247-251.
7. Banabic D. Sheet Metal Forming Processes. Constitutive Modelling and Numerical Simulation. Berlin – Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. 318 p.
8. Hu P., Ma N., Liu L., Zhu Y. Theories, Methods and Numerical Technology of Sheet Metal Cold and Hot Forming: Analysis, Simulation and Engineering. Springer-Verlag London, 2013. 210 p.
9. KMK Trade Company – Gladkij list ocinkovannyj (<https://kmktradeco.kz/catalog/rulonnaya-listovaya-stal/list-stalnoy/otsinkovannyj-list/gladkiy-list-otsinkovannyj/>).
10. KMK Trade Company – Gladkij list ocinkovannyj s polimernym pokrytiem (<https://kmktradeco.kz/catalog/rulonnaya-listovaya-stal/list-stalnoy/otsinkovannyj-list-s-polimernym-pokrytiem/gladkiy-list-otsinkovannyj-s-polimernym-pokrytiem/>).