

РАЗРАБОТКА ПУАНСОНА С МАТРИЦЕЙ V-ОБРАЗНОЙ ФОРМЫ ПРИ ПОМОЩИ FDM ТЕХНОЛОГИИ ИНЖЕНЕРНЫМ ПЛАСТИКОМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Теньшов Д.В., Тувин А.А., Нестюк А.В.

Теньшов Данила Валентинович, Тувин Александр Алексеевич
Ивановский государственный политехнический университет,
г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, 21.
Email: dtenshov@list.ru, tuvin1958@mail.ru
Нестюк Александр Валерьевич
ООО «Профессионал»
г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, ул. Коллективная, д. 3Б.
Email: nav2@profdst.ru

Производство пуансонов и матриц для гибки металлических заготовок традиционно осуществляется из высокопрочных металлов. Применение технологии FDM позволяет создавать функциональные аналоги из инженерного пластика, обладающие меньшей массой и меньшей стоимостью без существенной потери эксплуатационных характеристик. Настоящая работа посвящена разработке и исследованию V-образной матрицы с пуансоном для гибки, выполненной из специального инженерного пластика, с использованием аддитивной технологии FDM.

Ключевые слова: разработка, FDM, технология, производство, гибка листового металла, 3D принтеры, пластик, PA12

DEVELOPMENT OF A PUNCH WITH A V-SHAPED DIE USING FDM TECHNOLOGY WITH SPECIAL-PURPOSE ENGINEERING PLASTIC

Tenshov D.V., Tuvin A.A., Nestyuk A.V.

Tenshov Danila Valentinovich, Tuvin Alexander Alekseevich
Ivanovo State Polytechnic University,
Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 21.
Email: dtenshov@list.ru, tuvin1958@mail.ru
Nestyuk Alexander Valerievich
LLC "Professional"
Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Kollektivnaya str., 3B
Email: nav2@profdst.ru

The production of punches and dies for metal bending is traditionally carried out using high-strength metals, resulting in significant material costs and extended manufacturing times. The use of FDM technology enables the creation of functional alternatives made of engineering plastic, which are lighter and more cost-effective without a substantial loss of performance characteristics. This study is devoted to the development and investigation of a V-shaped die and punch for bending, made from special-purpose engineering plastic using FDM additive technology.

Keywords: development, FDM, technology, manufacturing, sheet metal bending, 3D printers, plastic, PA12

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Традиционные методы изготовления пуансонов и матрицы из металлов отличаются высокой стоимостью, длительными сроками производства и значительным расходом материалов.

Введение аддитивных технологий, таких как FDM, с использованием инженерных пластиков позволяет существенно сократить производственные затраты, ускорить создание оснастки и расширить возможности производства за счет проектирования конкретных матриц.

ЭТАП ПРОЕКТИРОВАНИЯ

У производства на машиностроительном заводе возникла необходимость гнуть листовые детали с определенным V-образным профилем. Была спроектирована 3D модель тестового образца, а впоследствии и вся необходимая конструкторская документация. 3D модель тестового пуансона и матрицы V-образной формы представлена на рис. 1. Данная оснастка имела ряд недостатков, а именно:

1. Сложность производства.
2. Профиль пуансона вызывал нарушение целостности листовой заготовки.
3. Большой вес изделия.
4. Большие временные издержки при изготовлении.
5. Модель была изготовлена из сортового проката (уголки) для оптимизации производства.
6. Необходимость изготовления матрицы из цельнолитого металла методом фрезерования.

После разработки конструкторской документации данное изделие было изготовлено, далее произведены испытания гибки листов из стальных сплавов марки AISi 304 [1] и 09Г2С [2] различных толщин.

РАБОТА ДАННОГО ПУАНСОНА ПРОИЗВЕДЕННОГО ИЗ МЕТАЛЛА

На рис. 2 представлены тестовые пуансон и матрица V образной формы изготовленные из стали С245 [3]. В процессе работы данной оснастки для прессы был выявлен дефект, возникавший в процессе гибки. Данная оснастка (Матрица V-образной формы и пуансон) разрабатывалась под конкретный станок - Гидравлический листогибочный пресс ЕНТ VarioPress 400-50-40, технические характеристики которого представлены в табл. 1.

Схема гибки на листогибочном станке ЕНТ VarioPress 400-50-40 показана на рис. 3. [4].

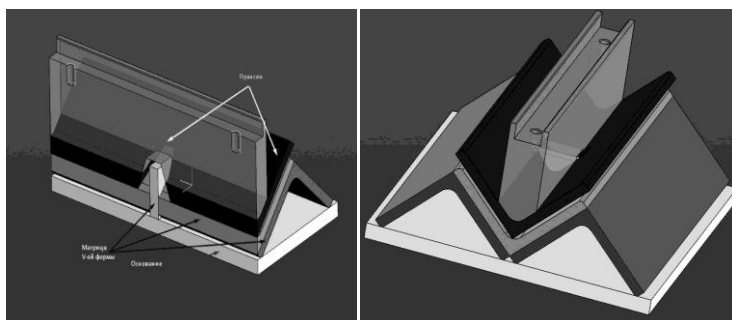


Рис.1. 3D модель тестового пуансона и матрицы V-образной формы
Fig.1. 3D model of a test punch and a V-shaped matrix

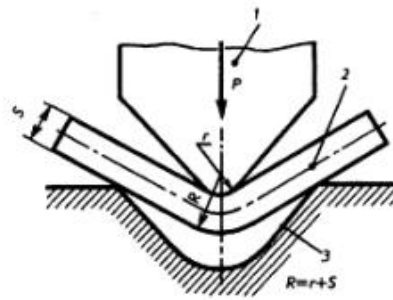


Рис 2. Тестовые пуансон и матрица V образной формы изготовленные из стали С235
Fig 2. Test punch and V-shaped die made of C235 steel

Таблица 1

**Технические характеристики листогибочного прессы ЕНТ VarioPress 400-50-40
Table 1. Technical characteristics of the EHT VarioPress 400-50-40 sheet bending press**

Мах длинна изделия, мм	3050-9050
Мах высота изделия, мм	400-700
Мах ширина изделия, мм	2550-8550
Номинальное усилие, кН	4000
Общая длинна, мм	До 10000
Общая ширина, мм	6600
Общая высота, мм	4350
Степень автоматизации (привод)	Гидравлический
Наличие системы с ЧПУ	Да



1 – пуансон; 2 – нейтральный слой; 3 – матрица H ;
 R и r – внешний и внутренние радиусы гибки, S – толщина материала

Рис. 3. Схема гибки на листогибочном станке EHT VarioPress 4000-50-40
 Fig. 3. Bending scheme on the EHT VarioPress 4000-50-40 bending machine

В качестве образца использовался лист из нержавеющей стали, марка AISI 304, толщина 1.5 мм, размер которого (внутренний диаметр, окружность) 125 мм, а также сталь 09Г2С толщиной 4 мм. В процессе работы данной оснастки, лист (тестовый образец) деформировало с нарушением сплошности металла. Напряжения, возникающие в процессе гибки в металле, оказали разрушающий

эффект с потерей сплошности структуры металла. Данная проблема возникла как раз из-за уникальной формы матрицы. Она V образная, но имеет посередине ребро для придания жесткости листа после гибки.

На рис. 4 представлен дефект (нарушение сплошности материала), возникающий после гибки заготовки.

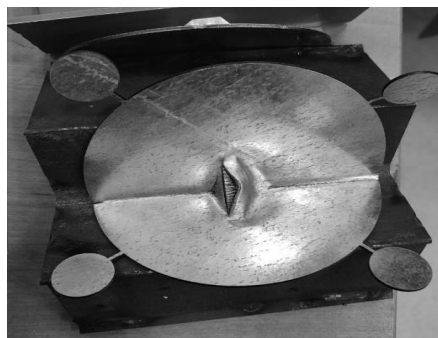


Рис. 4. Дефект (нарушение сплошности материала), возникающий после гибки заготовки
 Fig. 4. A defect (a breach in the continuity of the material) that occurs after bending the workpiece

РАЗРАБОТКА И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОСНАСТКИ ПРИ ПОМОЩИ 3D ПЕЧАТИ

Была разработана 3D модель матрицы и пуансона с сохранением всех необходимых параметров для гибки (радиус гибки, полки). После того, как была разработана CAD модель, мы преобразовали ее в формат, необходимый для работы с программным обеспечением 3D принтера, формат STL. Разработанная CAD модель пуансона и матрицы представлена на рис.5.

Материал, из которого были изготовлены матрицы и пуансон выбирали по принципу доступности и физико-механических свойств. Для изготовления матрицы и пуансона использовался инженерный пластик PA12 [5-7].

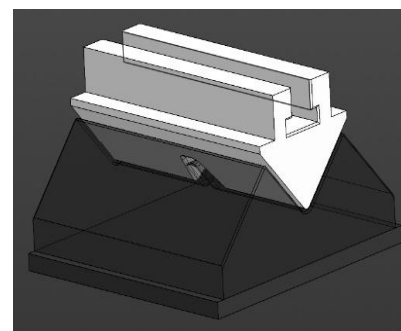


Рис 5. CAD модель пуансона и матрицы
 Fig. 5. CAD model of punch and matrix

Характеристики материала PA12 (нейлон) представлены в табл. 2.

Характеристики материала PA12 (нейлон)
Table 2. Characteristics of PA12 material (nylon)

Теплостойкость, °C	От -60 до +140
Влагопоглощение, %	0.5
Ударная вязкость по Шарпи, Дж/м ²	5000
Модуль упругости, МПа	1100
Ударная вязкость при 23 °C, кДж/м ²	7
Плотность, г/см ³	1.01
Максимальная прочность на разрыв, МПа	45
Относительное удлинение при разрыве, %	10

Особенности материала PA12:

1. Высокая износостойкость и прочность.
2. Хорошая гибкость по сравнению с другими пластиками.
3. Низкое влагопоглощение (лучше, чем у PA6).
4. Требуется точного контроля температуры.
5. Склонен к деформации (усадке) при охлаждении.

Настройки FDM-принтера для PA12 [6]:

1. Температура экструдера: 250–270 °C, в нашем случае мы выставляли температуру 280°C.
2. Температура стола: 115 °C. Крайне важно, чтобы 3D принтере обладал стабильным подогревом стола и имел качественный, однородный по поверхности материал.
3. Скорость печати: 40 мм/с. Данная скорость оптимальна для печати конкретно нашего изделия.
4. Обдув: Обдув в принтере стоит выключить полностью. При печати данным пластиком он способен его охладить, и в таком случае мы получим неоднородные слои, которые впоследствии расслоятся.
5. Адгезия: Исходя из опыта полученным при работе с 3D принтерами для хорошей адгезии используем обычный канцелярский клей-карандаш, однако крайне важно его наносить на предварительно разогретый стол 50+°C (необходимо успеть нанести его перед печатью).
6. Камера печати: необходимо использовать принтер исключительно с закрытой камерой. Более того, нужно, чтобы камера была подогреваемой. Температура подогрева камеры 70°C.

Поскольку данный пластик достаточно сложен для печати, его следует заранее подготовить.

7. Сопло: необходимо иметь в наличии закаленное сопло, диаметр которого 0.4 мм. Это необходимо, чтобы передать все скругления, заложенные на стадии проектирования CAD модели.
8. Заполнение: 100%.

Подготовка материала:

- PA12 чувствителен к влаге, даже при низком влагопоглощении. Перед печатью материал нужно высушить. Сушка: 70–80 °C в течение 4–6 часов.

Для этого желательно использовать сушильную камеру.

- Материал необходимо держать в сушильной камере, в которой постоянно поддерживается необходимая температура и влажность.

Преимущества PA12 для печати на 3D принтерах. Более подробнее о материале в [6].

Недостатки:

- Более высокая стоимость по сравнению с ABS и PLA.
- Сложности с адгезией и термической усадкой.
- Требуется точной настройки параметров принтера и условий печати.
- Необходимо иметь промышленный 3D принтер.
- Необходимо наличие каленого сопла 0.25 мм или 0.4 мм диаметра.
- Необходимость в вытяжке.

При соблюдении вышеописанной технологии, печать пластиком PA12 получается качественной и соответствует всем необходимым заложенным в него свойствам. Однако стоит отметить факт наличия профессионального промышленного 3D принтера. В нашем случае мы использовали принтер FlashForge Creator 4.

ВЫВОДЫ И СРАВНЕНИЕ ПОЛУЧЕННОГО РЕЗУЛЬТАТА

После печати мы получили готовую матрицу и пуансон, изготовленные из материала PA12 (рис. 6).

После проведенных испытаний мы можем сравнить полученные результаты. На рис.7 видно, что заготовка была согнута по заданному нам профилю и имеет место усиления – согласно разработанной ранее CAD модели, при этом нет разрыва металла. По итогу мы получили опыт в разработке, изготовлении матриц и пуансонов для гибки листов из нержавеющей стали марки AISI 304.

Также в ходе испытаний были выявлены возможности гибки листовой стали марки 09Г2С толщиной от 2 до 6 мм. При данных параметрах матрица и пуансон не деформировались. Однако при работе с большими толщинами возможна деформация инструмента.

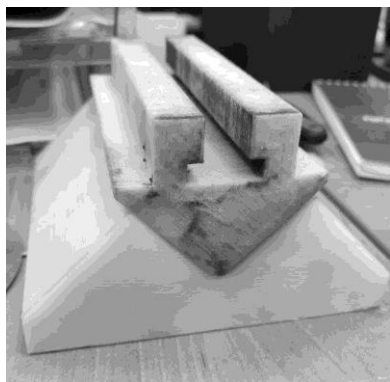


Рис. 6. Матрица и пуансон изготовленные из материала PA12
Fig. 6. Matrix and punch made of PA12 material



Рис. 7. Согнутая заготовка согласно CAD модели
Fig. 7. Bent blank according to CAD model

Печать данным видом материала сопровождается рядом сложностей и ограничений, таких как необходимость строгого контроля параметров печати, сложность обработки поверхности и высокая износостойкость инструмента. Однако по сравнению с традиционным изготовлением из металла, преимущества очевидны.

Среди них можно выделить значительное уменьшение времени на производство, снижение себестоимости, упрощение процесса внесения изменений в конструкцию и возможность создания сложных геометрических форм, которые были бы труднодостижимы при использовании классических методов обработки.

Наш опыт показывает, что внедрение аддитивных технологий в данном направлении позволяет добиться оптимального баланса между качеством, временем и затратами производства.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 5632-2014 Нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные марки.
2. ГОСТ 19281-2014 Прокат повышенной прочности. Общие технические условия.
3. Сталь С245: ГОСТ, аналоги, характеристики, расшифровка. Спецстали МСК. <https://specstaly.ru/about/stati>.
4. **Тлустенко С.Ф.** Теория и технология формообразования профилированных деталей из листового материала. [учеб. пособие по программам высш. образования по направлению подгот. бакалавров 150700 Машиностроение]. М-во образования и науки Рос. Федерации, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т) (СГАУ). Самара: [Изд-во СГАУ], 2014. on-line. ISBN = 978-5-7883-1002-2.
5. FRICTION (PA12+GF12) пластик REC 1,75 мм, натуральный (500 г) // FoliCast. <https://folicast.ru/catalog/raskhodnye-materialy>.
6. **Рэдвуд Б., Шофер Ф., Гаррэт Б.** P96 3D-печать. Практическое руководство / пер. с англ. М.А. Райтмана. М.: ДМК Пресс, 2020. 220 с.: ил. ISBN 978-5-97060-738-1
7. Nylon 12 // Википедия - свободная энциклопедия https://en.wikipedia.org/wiki/Nylon_12.

REFERENCES

1. GOST 5632-2014 Stainless steels and alloys of corrosion-resistant, heat-resistant and heat-resistant grades.
2. GOST 19281-2014 High-strength rolled products. General technical conditions.
3. Steel C245: GOST, analogues, characteristics, interpretation. Special Steels MSC. <https://specstaly.ru/about/stati>.
4. **Thlustenko S.F.** Theory and Technology of Forming Profiled Parts from Sheet Materials Electronic resource: textbook for higher education programs in the field of bachelor training 150700 Mechanical Engineering. Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Samara State Aerospace University named after S. P. Korolev (National Research University) (SSAU). Samara: Publishing house SSAU, 2014. online. ISBN = 978-5-7883-1002-2.
5. FRICTION (PA12+GF12) plastic REC 1.75 mm, natural (500 g) // FoliCast. <https://folicast.ru/catalog/raskhodnye-materialy>.
6. **Redwood B., Schofer F., Garrett B.** R96 3D Printing. A Practical Guide / trans. from English by M.A. Reitman. Moscow: DMK Press, 2020. 220 p.: ill. ISBN 978-5-97060-738-1.
7. Nylon 12 // Wikipedia - free encyclopedia https://en.wikipedia.org/wiki/Nylon_12.

Поступила в редакцию(Received) 14.12.2024
Принята к опубликованию (Accepted) 27.01.2025