

ОБЪЕДИНЕННАЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

Производственный комплекс «Салют»

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ПК «Салют»

А.Н. Громов



20 г.

Конкурсная работа

В номинации «За создание новой технологии»

В конкурсе «Авиастроитель года» по итогам 2023 года

**«ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТОНКОСТЕННЫХ ЗАГОТОВОК С
ПРИМЕНЕНИЕМ ИНСТРУМЕНТА ИЗ ПОЛИЛАКТИДА PLA НА
ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ПРЕССЕ»**

Москва 2024

Содержание

Аннотация.....	3
Введение	3
1. Цель исследования	4
1.1 Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:.....	4
2. Методика выполнения работы	4
3. Моделирование процесса штамповки	6
4. Экспериментальная часть.....	8
Выводы	9
Литература.....	9

Аннотация

Приведены результаты изучения возможности применения штампового инструмента из полилактида PLA для изготовления тонкостенных деталей из никелевого сплава ХН60ВТ, дан анализ напряженного состояния, полученного моделированием процесса с применением программы QForm 10.3.0 (далее QForm). С учетом результатов компьютерного моделирования изготовлен и испытан инструмент из полилактида PLA, также даны рекомендации по его применению.

Введение

Листовая штамповка обладает множеством преимуществ, основными ее преимуществами можно выделить следующее: возможность изготовления деталей с минимальной массой при заданной прочности, точность изготовления, соблюдение формы и размеров, высокое качество, уменьшающее затраты на последующую обработку. Листовая штамповка позволяет получать сложные по форме тонкостенные детали и массивные прочные детали, которые не могут быть получены иным способом. Разнообразие методов штамповки, применение различных по конструкции штампов и использование соответствующих материалов для их изготовления обеспечивают рентабельное производство как для крупного, так и для мелкосерийного производства [1]. Штампы - точный, сложный и зачастую дорогой инструмент, поэтому применение штамповки целесообразно главным образом в крупносерийном и массовом производствах. Требуются большие инвестиции в затраты на пресс-формы, поскольку на рынок выводится все больше и больше продуктов [2]. Однако есть и исключения из данного правила.

По типу применяемости оснастки штамповку листовых материалов можно разделить на виды:

- штамповка в инструментальных штампах [3],
- штамповка эластичными средами [4],
- штамповка взрывом [5],
- пневматическая формовка [6],
- гидроформовка [7],
- штамповка пластиковым инструментом, изготовленным аддитивным методом [8 -11].

Меньше всего информации по применению штамповой оснастки из пластиковых материалов, полученных 3D печатью. Достижения 3D-печати в области обработки металлов давлением не столь широки, но одно из первых положительных применений в производстве штампов было сделано более 20

лет назад [12]. Роль 3D-принтеров также является значимой и перспективной частью проектирования и реализации производств с технологиями обработки металлов давлением [13]. Имеются данные, что использование 3D-печати способно на 80% сократить затраты времени на разработку и изготовление оснастки и снизить стоимость оснастки на 70% [14-15]. Среди множества типов 3D-принтеров принтеры для изготовления изделий из пластика значительно дешевле принтеров, которые предназначены для работы с металлом или другими материалами [16].

Моделирование методом послойного наплавления (анг. fused deposition modeling, FDM / fused filament fabrication, FFF) – это широко используемая экструзионная технология 3D-печати полимерных и композиционных материалов благодаря гибкому и быстрому процессу обработки, низкой стоимости, разнообразию и нетоксичности материалов, высокой прочности и ударной вязкости материалов.

Настоящая работа направлена на определение области применения полимерного инструмента, изготовленного методом FFF/FDM из полилактида PLA для штамповки тонкостенных заготовок.

1. Цель исследования

Целью настоящей работы является сокращение сроков освоения производства новых изделий путем применения новых технических решений, основанных на применении штамповой оснастки, изготовленной методом FFF/FDM, и оценка ее стойкости.

1.1 Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить напряженное состояние в очаге деформации при штамповке и оценить силы, действующие на инструмент,
- выбрать полимерный термопластичный материал для изготовления формообразующего инструмента,
- определить стратегию печати и термообработки инструмента,
- изготовить методом FFF/FDM инструмент и заготовки для экспериментальной штамповки,
- выполнить экспериментальные работы,
- проанализировать полученные результаты и разработать предложения.

2. Методика выполнения работы

Материалом исследования являлись плоские заготовки длиной 45 мм, шириной 10 мм и толщиной 0,8 мм из никелевого сплава марки ХН60ВТ, химический состав которого (% (мас.): Ni – осн., Cr – 25, W – 15, Ti – 0.5),

поставляемый по ТУ14-1-1747-76. Штампуемая заготовка «ограничитель» показана на рис. 1.

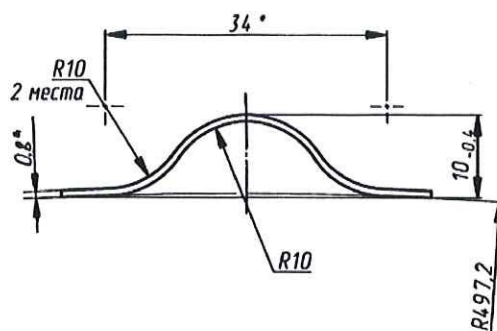


Рисунок 1. Штампуемая заготовка «ограничитель»

Экспериментальные работы по штамповке заготовок проводили на гидравлическом вытяжном прессе мод. НВС-2-16 (рис. 2). Контроль геометрических параметров гнутых заготовок осуществляли с помощью универсального мерительного инструмента». Точность измерения составляла $\pm 0,1$ мм.



Рисунок 2. Штамповая оснастка на гидравлическом вытяжном прессе мод. НВС-2-16

Матрица и пуансон были изготовлены на FFF/FDM принтере Raise3D Pro3 Plus.

Процесс гибки заготовок моделировали с применением метода конечных элементов (МКЭ) с помощью пакета QForm [17] со следующими исходными данными:

- 1) исходной заготовкой являлась заготовка из сплава ХН60ВТ.;
- 2) при моделировании принимали, что формообразующий инструмент изготовлен из полилактида PLA;
- 4) объем заготовки неизменный;

- 5) напряженное состояние трехмерное (3D расчет);
- 6) температура формообразования – 20 °С;
- 7) фактор трения – 0,3, трение по закону Леванова;
- 8) тепловые процессы не учитываются;
- 9) формообразование осуществляется на гидравлическом прессе со скоростью 1 мм/сек.

В виду того, что толщина исходных заготовок составляет 0,8 мм, сетка конечных элементов была принудительно измельчена.

3. Моделирование процесса штамповки

Твердотельные модели формообразующего инструмента показаны на рисунке 3. В качестве материала для изготовления ролика на основе более ранних исследований [8] был выбран полилактид PLA наиболее популярной торговой марки ESUN со следующими свойствами:

Плотность материала	1.25 г/см ³
Температура термодформации	52 °С, 0.45 МПа
Индекс текучести расплава	4 г/10 минут (190°С/2.16кг)
Предел прочности	65 МПа
Относительное удлинение при разрыве	12%
Прочность на изгиб	75 МПа
Модуль упругости при изгибе	2102 МПа
Ударная прочность по Изоду	8.5 Дж/м ²

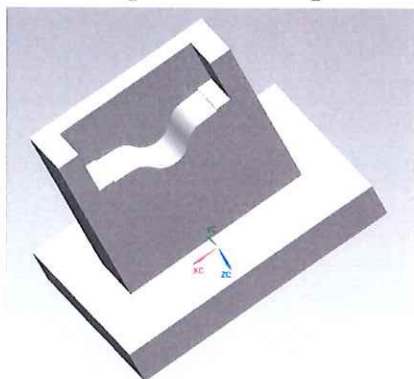
Режим изготовления формообразующего инструмента методом FFF/FDM на 3D принтере Raise3D Pro3 Plus приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Режимы изготовления формообразующего инструмента

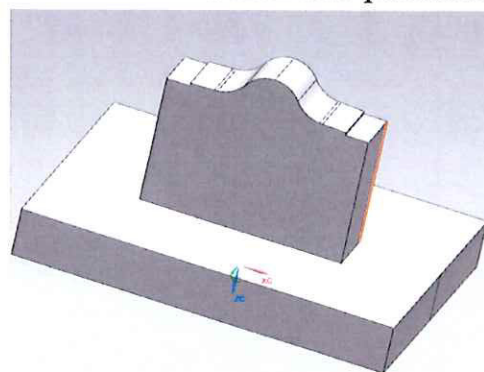
Параметр	Значение
Температура сопла, °С	210
Температура рабочего стола, °С	60
Скорость заполнения, мм/с	80
Диаметр сопла, мм	0.4
Ширина линии, мм	0.4
Высота слоя, мм	0.1
Толщина стенки (оболочки), мм	6
Обдув	100%
Ретракт	Да
Плотность заполнения, %	100
Тип заполнения	Прямолинейная

Поддержки	нет
Время изготовления,	82 ч 09 мин
Масса, г	661

Результаты моделирования процесса штамповки заготовок с применением программы QForm приведены на рисунке 4. Как видно из рисунка величина контактных напряжений достигает 700 МПа, что значительно превышает прочностные свойства пластика ПЛА на растяжение.

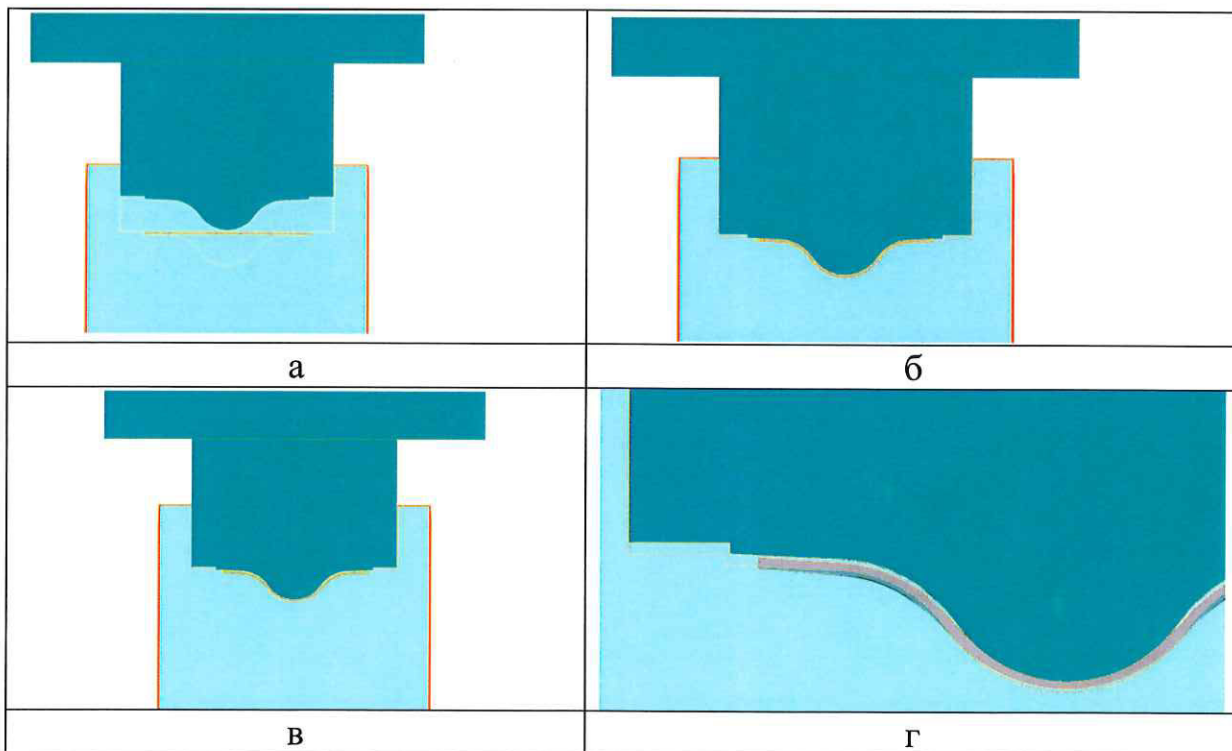


а



б

Рисунок 3 - Твёрдотельные модели штамповочного инструмента
а – матрица, б - пуансон



а

б

в

г

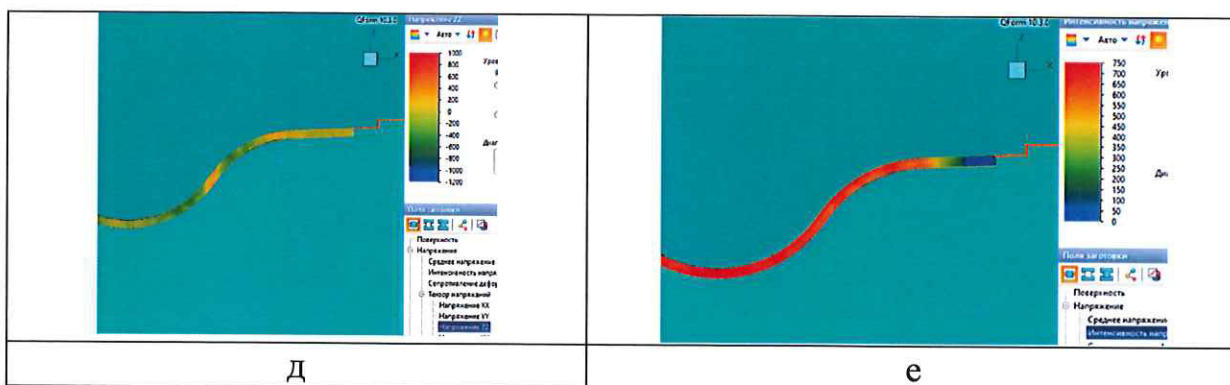


Рис. 4. Моделирование процесса штамповки детали «ограничитель»

а – начало штамповки, б – конец штамповки, в и г – пружинение заготовки после разгрузки, д – напряжения по оси ZZ в штампуемой заготовке, е – интенсивность напряжений в штампуемой заготовке

4. Экспериментальная часть

Заготовки после штамповки на гидравлическом прессе показаны на рисунке 5.

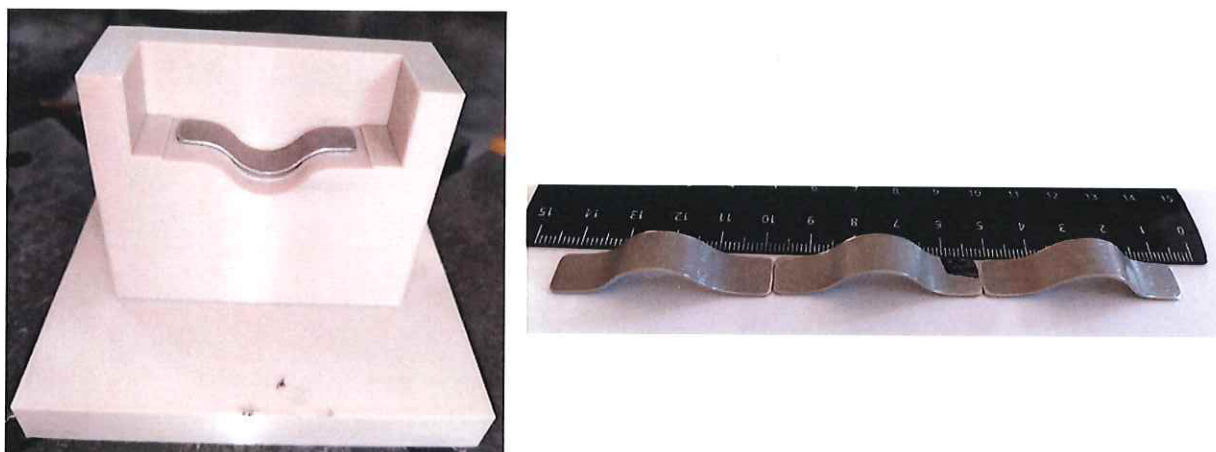


Рисунок 5. Заготовки после штамповки на гидравлическом прессе

Качество поверхности выпущенных деталей соответствовало требованиям чертежа, а геометрические размеры деталей находились в пределах допуска, установленного чертежом. Несмотря на расчетные высокие напряжения, возникающие в процессе формообразования, износ инструмента замечен не был, что было подтверждено стабильными геометрическими параметрами изготовленных деталей. Величина пружинения заготовок при штамповке была близка расчетной, полученной моделированием, и составляла около 0,4 мм.

Выводы

1. К геометрическим параметрам отштампованных заготовок предъявляются высокие требования по геометрической точности и шероховатости поверхности. Выполненные исследования позволили установить, что несмотря на высокие контактные напряжения, возникающие в процессе деформации заготовок, гибочный инструмент из полилактида PLA обеспечивает удовлетворительную стойкость, что позволяет рекомендовать его для более широкого применения в листоштамповочном производстве.

2. Применение штампового инструмента из полимерных материалов, в частности из полилактида PLA, позволяет существенно сократить время его изготовления и снизить производственные затраты. Упомянутые преимущества такого инструмента особенно заметны при выпуске мелко серийных изделий и при отработке конструкций новых видов продукции. Значительный вклад во внедрении данного вида оснастки оказывают современные расчетные программы, которые позволяют отработать конструкцию штампов способом компьютерного моделирования с применением метода конечных элементов. Дополнительным преимуществом данной оснастки является значительное (до 8 раз) снижение ее массы, что облегчает монтажные и наладочные работы.

3. Моделирование процесса показывает, что интенсивность напряжений достигает 700 МПа, что существенно превышает прочностные свойства полилактида PLA на растяжение. Однако испытание показало, что указанный пластик хорошо выдерживает напряжения сжатия и может быть успешно использован для изготовления штамповой оснастки для холодного формообразования тонкостенных заготовок.

4. Штамповка заготовок инструментом из полилактида PLA позволяет получать заготовки с высоким качеством поверхности и обеспечивает требуемые геометрические параметры изделия при условии учета пружинения заготовок после снятия деформирующей нагрузки. Выпуск партии из 200 заготовок позволил установить хорошую повторяемость линейных и угловых размеров в пределах $\pm 0,1$ мм и $\pm 0,1^\circ$.

Литература

1. В. Г. Бурдуковский. Технология листовой штамповки. Учебное пособие. 2019, стр. 6.
2. З.И. Юсипов, Ю.И. Каплин. Обработка металлов давлением и конструкции штампов. М.: Машиностроение, 1981 – 272 с., ил.

3. Семенов Е.И. Ковка и штамповка. Том 1. М.: Машиностроение, 1986. – с. 332-333.
4. И.А. Бурлаков, А.В. Логунов. Разработка технологического процесса изготовления листовых деталей из труднодеформируемых материалов в изотермических условиях с использованием пластической среды. М.: 1993, стр. 206.
5. Анучин М.А. Штамповка взрывом. Основы теории. М.: 1972.
6. Дубинин Н.П. Технология металлов и других конструкционных материалов. - М.: 1969, 662 с.
7. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов. М.: 2004, стр. 635 с.
8. Экспериментальное определение и сравнительный анализ характеристик прочности полимеров PPH030GP, ABS и PLA при различных скоростях деформации / М. Ю. Залогин [и др.] // Наука и техника. 2019. Т. 18, № 3. С. 233–239. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-3-233-239>.
9. П.А. Петров, Б.Ю. Сапрыкин. Журнал "Аддитивные технологии" № 3-2021.
10. В.И. Кулик, А.С. Нилов. Аддитивные технологии в производстве изделий авиационной и ракетно-космической техники. М.: 2018, стр. 22-23.
11. П.А. Петров, И.А. Бурлаков, Б.Ю. Сапрыкин, П.А. Полшков. Гибка труб с применением 3D-напечатанного инструмента. Аддитивные технологии в металлообработке. 2022, стр. 32-34.
12. Gupta P and Lee J 1993 The Society of manufacturing Engineers Conference. стр. 11-3.
13. Rosochowski A and Matuszak A 2000 J. of Materials Processing Technology 106 (1/3) стр. 191- 8.
14. Du Z H, Chua C K, Chua Y S, Loh-Lee K G and Lim S T 2002 Int. J. of Advanced Manufacturing Technology 19(1) стр. 411-7.
15. Cheah C M, Chua C K, Lee C W, Lim S T, Eu K H and Lin L T 2002 Advanced Manufacturing Technology 19(7) стр. 510-5.
16. Collins P C et al, 2014, JOM 66 pp. 1299-309.
17. http://qform3d.ru/files_ru/2008_0001_0.pdf (дата обращения 12.09.2021).

Сведения об авторах

1. Бурлаков Игорь Андреевич, д.т.н., АО ОДК ПК «Салют», главный специалист УГТ, эл. почта: i.burlakov@uecrus.com, тел.:8-977-338-17-82
2. Куликов Алексей Дмитриевич, аспирант, АО ОДК ПК «Салют», заместитель начальника цеха №17, эл. почта: a.kulikov@uecrus.com, тел.:8-965-103-67-40
3. Константинов Денис Александрович, аспирант, АО ОДК ПК «Салют», заместитель начальника отдела ТМО УГТ, эл. почта: d.Konstantinov@uecrus.com, тел.:8-977-661-87-31