

УДК 621.715**ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ВЫТЯЖКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕЛЬНОГО И СОСТАВНОГО FDM ИНСТРУМЕНТА**

Тихонова Елизавета Алексеевна

Магистр 2 года,

кафедра «Технологии обработки материалов»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М.А. Серёжкин,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»

Холодная листовая штамповка – это один из самых распространённых методов обработки давлением. В большинстве случаев листовая штамповка применяется в условиях массового и крупносерийного производства с применением инструмента, изготовленного из штамповых сталей с последующей химико-термической обработкой. Таким образом, возможности применения холодной листовой штамповки в условиях опытного или единичного производства весьма ограничены. Данные недостатки можно исключить, заменив материал инструмента на термопласт, а инструмент изготовить методом FDM (моделирование послойным наплавлением термопласта – fused deposition modeling). 3D-печатные композиционные материалы предлагают эффективный и быстрый вариант оснастки для прототипирования или мелкосерийного производства.[1] Такой способ даст возможность снизить стоимость изготовления инструмента и сделать холодную листовую штамповку доступной. Основной проблемой использования данной технологии для изготовления инструмента является сложность оценки получаемой прочности FDM инструмента, а также допустимой силы деформирования, от величины которой зависят границы применения инструмента в холодной листовой штамповке. [1,2]

В представленной работе исследуется возможность применения конструкции сборных FDM штампов для изготовления крупногабаритных изделий. В качестве примера в работе используется резервуар РА-2, для которого изготавливается днище диаметром 1200 мм. В связи с тем, что днище имеет большой диаметр, изготовление цельной матрицы с помощью FDM печати на принтерах стандартного размера невозможно. 3D принтеры, предназначенные для печати крупногабаритных деталей, имеют высокую стоимость. Для решения этой проблемы будет использована матрица, состоящая из 8 частей. Каждая часть будет отдельно напечатана на 3D принтере.

Составная матрица может быть представлена в различных конструкциях:

1. Матрица из составных частей без соединения с фиксирующим кольцом.

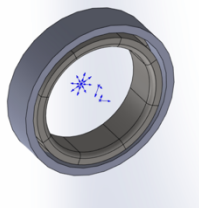


Рис. 1. Матрица из составных частей без соединения с фиксирующим кольцом

2. Матрица из составных частей с соединением «замок». Стыкуемые части матрицы выполняют в виде пазла.

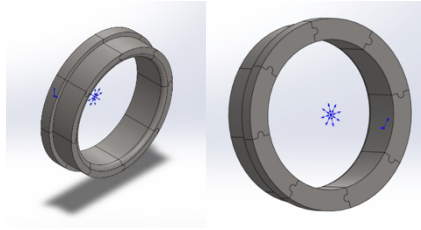


Рис. 2. Матрица из составных частей с соединением «замок»

3. Матрица из составных частей с соединением «ласточкин хвост».

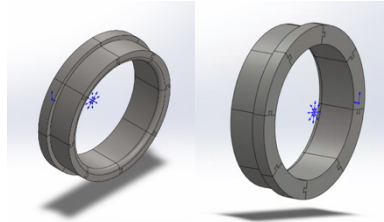


Рис. 3. Матрица из составных частей с соединением «ласточкин хвост»

Чтобы проверить работоспособность сборочных матриц будет использоваться программа SolidWorks.

С помощью SolidWorks Simulation будет произведен анализ конструкций, сравним величину напряжений цельной матрицы и составных матриц.

Для каждой 3D модели в SolidWorks запускаем модуль симуляций, в котором будем проводить статический анализ, где будет учитываться сила, действующая на матрицу.

Сила вытяжки при изготовлении днища для резервуара РА-2:

$$P = \pi d s \sigma_B k \tag{1}$$

где $d = 1200$ — диаметр детали по средней линии, мм;

$\sigma_B = 80$ – предел прочности при растяжении, Мпа;

$s = 10$ – толщина заготовки, мм;

$k = 1$ – поправочный коэффициент, зависящий от коэффициента вытяжки.

$$P = \pi d s \sigma_B k = \pi \cdot 1200 \cdot 10 \cdot 80 \cdot 1 = 3014 \text{ кН} \tag{2}$$

С помощью SolidWorks Simulation получаем результаты для каждой матрицы, а также графическую шкалу, обозначающую полученные результаты.

На рисунках 4 – 7 представлены исследования для различных конструкций матрицы.

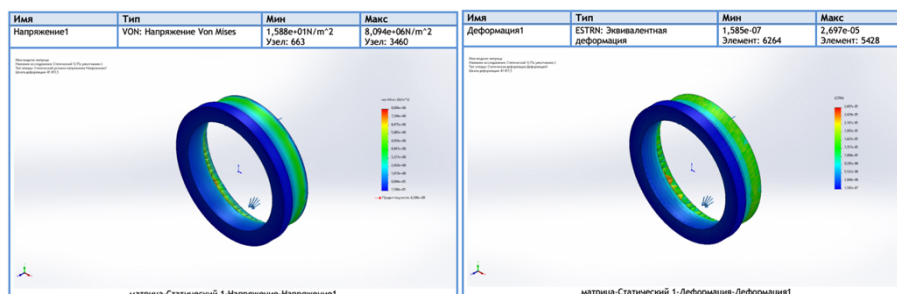


Рис. 4. Напряжения и деформации на цельной матрице

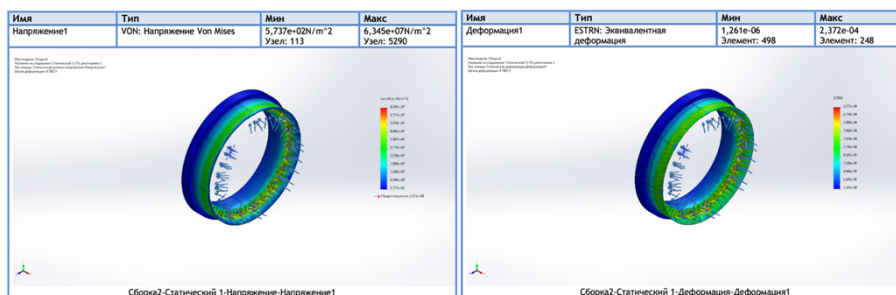


Рис. 5. Напряжения и деформации на составной матрице без соединения

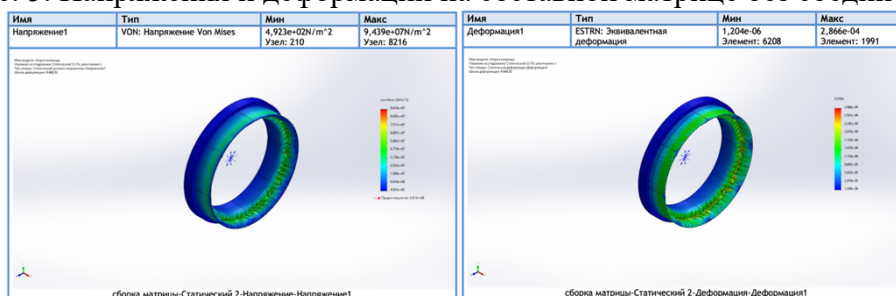


Рис. 6. Напряжения и деформации на составной матрице с соединением «замок»

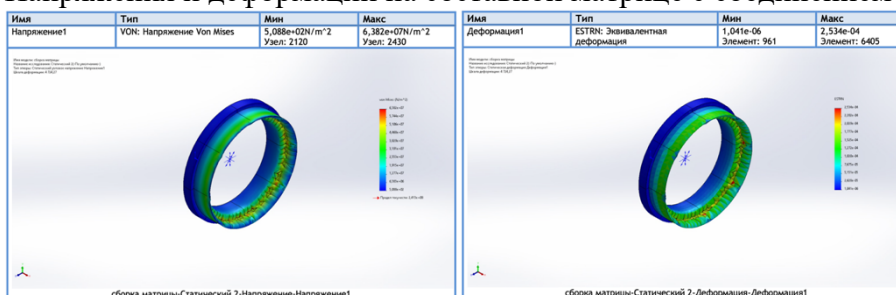


Рис. 7. Деформации на составной матрице с соединением «ласточкин хвост»

В таблицах 1 – 2 приведены напряжения и деформации для матриц.

Таблица 1. Значения напряжений для матриц

Матрица	Мин $\sigma_{vm}, N/m^2$	Макс $\sigma_{vm}, N/m^2$	Сред. значения $\sigma_{vm}, N/m^2$
Цельная матрица	15,88	8094000	404707,94
Составная без соединения	573,7	63450000	21150164,1
Составная с соединением «замок»	492,3	94390000	47195246,2
Составная с соединением «ласточкин хвост»	508,8	63820000	31910254,4

Таблица 2. Значения эквивалентных деформаций для матриц

Матрица	Мин	Макс	Сред. значения
Цельная матрица	159×10^{-9}	270×10^{-7}	13564×10^{-9}
Составная без соединения	1261×10^{-9}	2372×10^{-7}	119231×10^{-9}
Составная с соединением «замок»	1204×10^{-9}	2866×10^{-7}	143902×10^{-9}
Составная с соединением «ласточкин хвост»	1041×10^{-9}	2534×10^{-7}	127221×10^{-9}

Можно сделать вывод, что наименьшие напряжения и эквивалентные деформации получаются у матрицы без соединения и у матрицы с соединением «ласточкин хвост». Для матрицы без соединения дополнительно нужно изготавливать фиксирующее кольцо, что увеличит затраты на производство матрицы.

Для дальнейших исследований цельного и составного fdm инструмента целесообразно будет использовать матрицу с соединением «ласточкин хвост», которое способно обеспечить минимальные деформации конструкции.

Литература

1. *Nakamura N, Mori K, Abe Y (2020) Applicability of plastic tools additively manufactured by fused deposition modelling for sheet metal forming. Int J Adv Manuf Technol 108(4):975–985.*
2. *Аксенов Л. Б., Кононов И. Ю., Колбасников Н. Г. Напряжённое состояние пластиковых штампов, изготовленных 3D-печатью, при гибке тонколистового алюминия. 2020.*