

Толочко Н.К., доктор физико-математических наук, профессор;

Копчик Д.И., преподаватель-стажер

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ОСОБЕННОСТИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ ТЕРМОПЛАСТОВ

Аннотация. Рассмотрены особенности процессов листовой штамповки термопластов. Намечены основные пути совершенствования этих процессов, связанные с определением рациональных значений температурных и силовых параметров штампования.

Abstract. The features of thermoplastic sheet stamping processes are examined. The main ways to improve these processes, related to determining rational values for temperature and force parameters of stamping, are outlined.

Ключевые слова: листовая штамповка, термопласты, параметры штампования.

Keywords: sheet metal stamping, thermoplastics, stamping parameters.

Применение пластиковых деталей для сельскохозяйственной техники вместо традиционных металлических позволяет повысить их эксплуатационные свойства, уменьшить массу и себестоимость. Характерным тому примером являются отвалы плугов, изготавливаемые из термопластов, в частности, из полиэтилена PE-1000, относящегося к категории сверхвысокомолекулярных полимеров [1].

В последние годы на предприятиях, занимающихся листовой штамповкой металлов, получили распространение штампы, у которых стальные матрицы и пуансоны не имеют монолитной конструкции, а состоят из секций в виде плоскопараллельных пластин, установленных с зазором относительно друг друга на матрицедержателе и пуансонодержателе и соответствующих по форме сечениям матрицы и пуансона плоскостями, перпендикулярными поверхности матрицедержателя и пуансонодержателя. Зазоры между секциями матрицы или между секциями пуансона могут быть сравнимы с толщиной секций и даже превышать их в 1,5-2 раза, так что вес матриц и пуансонов благодаря секционной конструкции уменьшается более чем в 2 раза. Как следствие, становятся меньше недостатки матриц и пуансонов, обусловленные их весом, в частности, снижаются сложность и стоимость изготовления, облегчается транспортировка, повышается степень ремонтопригодности.

В отличие от монолитных матриц и пуансонов, у которых формообразующие поверхности являются сплошными, секционные матрицы и пуансоны имеют, соответственно, секционные

формообразующие поверхности, состоящие из отдельных, отстоящих друг от друга участков. Тем не менее получаемые с помощью таких матриц и пуансонов стальные отвалы имеют высококачественную (гладкую, безрельфную) поверхность, что объясняется близкими значениями твердости матрицы и пуансона, с одной стороны, и штампуемой листовой металлической заготовки, с другой, даже если заготовка при штамповании подвергается предварительному нагреву.

При освоении технологии листовой штамповки термопластов предприятию в экономическом отношении желательно не проводить длительное и дорогостоящее технологическое перевооружение, а использовать прежнее штамповое оборудование с секционными матрицами и пуансонами, которое ранее служило для листовой штамповки металлов. Более того, секционные матрицы и пуансоны можно весьма эффективно производить с помощью аддитивной технологии листового ламинирования – Sheet Lamination (SL), получившей распространение в последние годы [2]. Дело в том, что SL-технология позволяет создавать детали сравнительно быстро и дешево непосредственно из металлических листов, что особенно актуально при производстве новых деталей, когда возникает необходимость в соответствующей штамповой оснастке, а именно в матрицах и пуансонах с новой геометрией формообразующих поверхностей, проектирование и изготовление которых традиционным путем является длительным и дорогостоящим.

Несмотря на указанные преимущества секционных матриц и пуансонов их применение для штампования пластиковых заготовок сопряжено с определенными проблемами, обусловленными существенными различиями в условиях штампования листовых пластиковых и металлических заготовок.

Одна важная особенность штампования листовой пластиковой заготовки состоит в том, что ее предварительно нагревают до размягчения термопластичного полимерного материала, из которого она приготовлена, в результате чего возникает опасность снижения качества поверхности штампуемой детали, а именно: образования на ней характерного полосчатого рельефа (типа последовательности борозд и грядок) из-за частичного вдавливания стальных секций матрицы и пуансона в нагретый лист из термопласта [3]. Появление вмятин в отштампованной пластиковой заготовке обусловлено тем, что штампование происходит в соответствии с типовым процессом термоформования термопластов, когда заготовка нагревается до такой температуры, при которой термопласт переходит в высокоэластическое состояние, т.е. настолько сильно размягчается, что может деформироваться при сравнительно слабых механических воздействиях [4]. Как следствие, величина изгибающих

усилий, необходимая для формования листа термопласта, нагретого до такой температуры, может оказаться достаточной для вдавливания в него стальных секций матрицы и пуансона.

Другая важная особенность штампования листовой пластиковой заготовки состоит в том, что отштампованная деталь после извлечения из штампа не всегда сохраняет заданную форму, приобретенную первоначально в результате штамповки. Нередко наблюдается явление пружинения (springback) – частичное возвращение отштампованной детали к ее плоской форме исходной листовой заготовки, приводящее к снижению точности формования. Явление пружинения давно известно в практике штамповки и гибки различных листовых материалов, причем, в большей мере оно изучалось применительно к металлам, в меньшей – применительно к полимерным материалам. В частности, остаются практически не изученными закономерности пружинения сверхвысокомолекулярных полимеров (типа полиэтилена PE-1000), отличающихся особой молекулярной структурой и, как следствие, особыми механическими свойствами.

Таким образом, при осуществлении штампования листовых термопластов приходится сталкиваться с двумя взаимосвязанными проблемами, из них первая – проблема предотвращения образования отпечатков секций матрицы и пуансона на поверхности штампуемого листа термопласта, вторая проблема предотвращения пружинения.

Для решения первой проблемы применяют два основных технологических подхода. Согласно первому подходу, секционные матрицы и пуансоны оснащают металлическими листовыми защитными накладками, которые устанавливают на участках поверхности секций матрицы и пуансона, обращенных друг к другу, создавая тем самым сплошные формообразующие поверхности, аналогичные тем, которые имеются у монолитных матриц и пуансонов [1]. Такой подход приводит к трудоемкой и длительной технологической подготовке производства, а также к повышенной стоимости штампования деталей. Поэтому более предпочтительным является второй подход, лишенный этих недостатков, согласно которому секционные матрицы и пуансоны используют без защитных накладок, но при этом необходимо экспериментальным путем подбирать подходящие значения температуры нагрева формующего листа термопласта и изгибающего усилия формования, при которых обеспечивается заданное изменение формы листа и вместе с тем предотвращается вдавливание секций матрицы и пуансона в лист, размягченный в результате нагрева [3].

Необходимость подбора рациональных значений тепловых и силовых параметров процесса штампования, в свою очередь, требует проведения

соответствующих испытаний, характер и результаты которых могут быть различными с учетом таких факторов, как размеры штампуемой листовой пластиковой заготовки и вид термопласта, из которого она изготовлена (его термомеханические свойства); величина полного прогиба заготовки (радиуса гибки), достигаемого при штампования; особенности секционного строения матриц и пуансонов. В ходе этих испытаний необходимо определить возможные сочетания минимальных значений температуры нагрева пластиковой заготовки и давления штампования, при которых, с одной стороны, обеспечивается полный прогиб размягченной в результате нагрева заготовки, а с другой – не допускается вдавливание ребер секций матрицы и пуансона в поверхность заготовки с образованием в ней вмятин.

Для решения второй проблемы, как и первой, применяют два основных технологических подхода. Согласно первому подходу, широко распространённому в практике листовой гибки металлов, осуществляют перегиб – формирование детали за пределами целевого угла (величина перегиба обычно определяется экспериментально). Однако в случае штамповки деталей со сложной геометрией такой подход связано с необходимостью изготовления специальных матриц и пуансонов с соответствующей геометрией формообразующих поверхностей, что приводит к трудоемкой и длительной технологической подготовке производства, а также к повышенной стоимости штампования деталей (по аналогии с первым подходом, используемым для решения первой проблемы). Поэтому более предпочтительным является второй подход, лишенный этих недостатков, согласно которому необходимо экспериментальным путем подбирать подходящие значения температуры нагрева формируемого листа термопласта и температуры его охлаждения, когда он, будучи отформованным, находится в зажатом состоянии между матрицей и пуансоном с учетом факторов пружинения, к которым относятся, как и в случае решения первой проблемы, размеры штампуемой листовой пластиковой заготовки и вид термопласта, из которого она изготовлена (его термомеханические свойства) [5, 6].

Следует заметить, что разные полимерные материалы характеризуются различиями не только в характере внешнего проявления пружинения, но и в его механизмах, которые зависят от особенностей механических свойств полимеров, определяемых их молекулярной структурой. Проводившиеся до сих пор исследования пружинения в основном относились к высокомолекулярным полимерам. Что же касается особенностей пружинения сверхвысокомолекулярных полимеров, то они на сегодняшний день остаются почти не исследованными. Поэтому представляет особый интерес изучение пружинения сверхвысокомолекулярных полимеров, в частности, полиэтилена РЕ-1000,

механические свойства которых определяются их уникальной молекулярной структурой, отличающейся наличием сверхдлинных молекулярных цепей.

Таким образом, дальнейшее совершенствование процессов листовой штамповки термопластов, в том числе с использованием секционных матриц и пуансонов, изготавливаемых с помощью аддитивной технологии листового ламинирования, связано с необходимостью комплексного исследования закономерностей протекания этих процессов, в частности, определения рациональных значений температурных и силовых параметров штампования, при которых обеспечивается заданное формоизменение листовой пластиковой заготовки и вместе с тем предотвращается вдавливание секций матрицы и пуансона в размягченный при нагреве лист термопласта, а также пружинение отштампованной детали после снятия усилия штампования.

Список использованной литературы

1. Толочко Н.К. [и др.]. Изготовление оснастки для листовой штамповки пластиковых отвалов плугов с использованием аддитивной технологий листового ламинирования // Перспективы развития аддитивных технологий в Республике Беларусь: сб. докл. Междунар. науч.-практ. симп., Минск, 27 сент. 2023 г. / Нац. акад. наук Беларуси, ГНПО порошковой металлургии; редкол.: А.Ф. Ильющенко (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2023. – С. 144-149.
2. Толочко Н.К. [и др.]. Изготовление металлических деталей сельхозтехники с использованием аддитивной технологии листового ламинирования // Механика машин, механизмов и материалов. – 2025. – №1. С. – 59-65.
3. Толочко Н.К. [и др.]. Технологические особенности листовой штамповки термопластичных полимерных материалов // Агропанорама. – 2024. – №6. – С. 8-14.
4. Шерышев М.А. Технология переработки полимеров: изделия из полимерных листов и пленок: учебное пособие для вузов / М.А. Шерышев. –Москва: Издательство «Юрайт», 2024. – 644 с.
5. Zakaria M. [et al]. Spring-back of thick curved uni-directional carbon fibre reinforced composite laminate for aircraft structure application // Int. J. Recent Technology and Engineering (IJRTE). – 2019. – V. 7, Iss. 6S. – P. 224-228.
6. Ozdemir A.O., Subasi M., Karatas C. Investigating the effects of forming parameters on molding force and springback in deep drawing process of thermoplastic composite laminates // Journal of Science (GU J. Sci.). 2021. No 34. P. 506-515

Summary. The features of thermoplastic sheet stamping processes are examined. It is shown that further improvement of these processes, including the use of sectional dies and punches manufactured using additive sheet lamination technology, requires a comprehensive study of their regularities. Specifically, it is necessary to determine rational values for temperature and force parameters of stamping that ensure the desired shape change of the sheet plastic blank while preventing the indentation of the die and punch sections into the thermoplastic sheet, which has softened during heating, and preventing springback of the stamped part after the stamping force is removed.