

УДК 621.77.04

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ 3D  
ВАЛКОВОЙ ФОРМОВКИ**

Егор Дмитриевич Жестков

*Студент 5 курса,**кафедра «Оборудование и технологии прокатки»**Московский государственный технический университет**Научный руководитель: А.Е. Лепестов,**доктор технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Ключевые тенденции современного машиностроения ориентированы на повышение точности и гибкости производственного оборудования. Эти требования обусловлены необходимостью оперативного переключения между различными типами продукции и быстрой адаптации к меняющимся рыночным запросам.

Это актуально и в области холодного деформирования листовых материалов. Классическими методами являются штамповка в прессах, гибка и валковая формовка. Они по-прежнему остаются основными технологиями, их продолжают совершенствовать и повышать производительность. Но наряду с ними активно развиваются «гибкие» технологии формования листового материала. Одной из перспективных технологий является 3D валковая формовка.

Основным отличием данной технологии от классической является возможность получения профилей с переменным по длине сечением. Подобные изделия находят применение во многих отраслях. Особую актуальность они имеют в автомобильной промышленности. Кузов современного автомобиля является сложным изделием, состоящим из комбинации компонентов, исполненных из широкой номенклатуры материалов, в том числе трудно деформируемых. В качестве объекта исследования взят элемент кузова автомобиля – порог (рисунок 1).

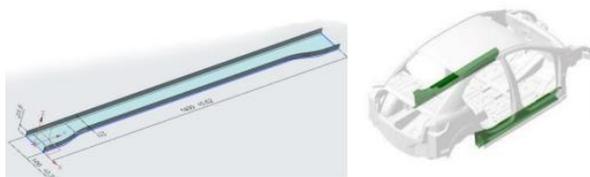


Рис. 1. Элемент кузова автомобиля

Для исследования процесса деформирования и анализа качества получаемого изделия используются метод конечно-элементного моделирования в среде Simufact Forming. Изначально необходимо определить свойства заготовки, разработать деформирующий инструмент и траекторию его перемещения. Траектория может быть получена из геометрии конечного изделия. Параметры валкового инструмента разработана в программном пакете COPRA RF, аналогично классическому методу валковой формовки. Материал заготовки сталь HSLA S550Q – низколегированная высокопрочная. В рамках исследования рассматривалась только криволинейная часть заготовки. На рисунке 2 показана диаграмма толщин стенки полученного изделия.

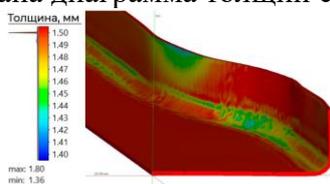


Рис. 2. Диаграмма толщин стенки

Результаты симуляции показали ряд дефектов геометрии, таких как утонение стенки, коробление, отклонение горизонтальной кромки. Основной причиной дефектов являются сжатие и растяжение материала в зонах внешних и внутренних радиусов соответственно. Компьютерное моделирование позволило оценить качество получаемого изделия, а также дало расчетные значения энергосиловых параметров, необходимые для дальнейшего конструирования установки.

Разработка конструкции начинается с анализа существующих решений. Основным отличием имеющихся примеров является использование последовательной или параллельной кинематики. Для конструирования выбрана параллельная схема, так как она позволяет распределить нагрузку и тем самым сократить металлоёмкость оборудования и повысить его надёжность. На рисунке 3 представлена фотография существующей конструкции и её кинематическая схема.

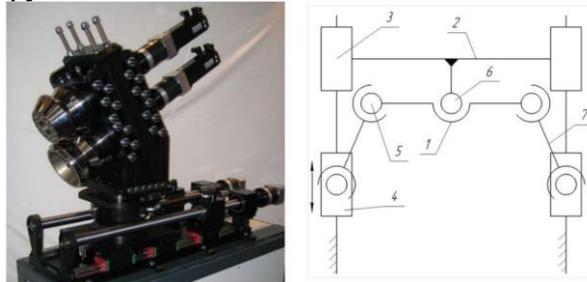


Рис. 3. Установка 3D валковой формовки с параллельной кинематикой

Основная кинематика перемещения выходного звена обеспечивается двумя линейными приводами, являющимися входными звеньями. Траектория перемещения уже известна, необходимо узнать характер перемещения входных звеньев, что является обратной задачей кинематики. Также необходимо учесть ряд ограничений в перемещении, в рамках которых ищется решение. На рисунке 4 представлен график перемещений входных звеньев и траектория, по которой перемещается выходное звено.

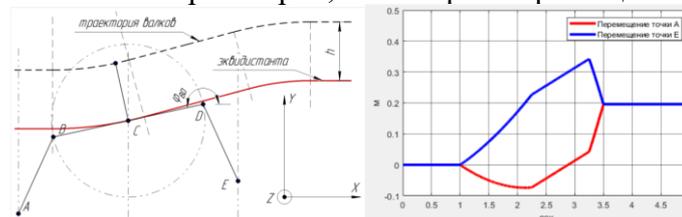


Рис.4. Траектория валков и перемещение входных звеньев

Анализ динамики конструкции произведен в среде моделирования MATLAB Simulink. Условная твердотельная модель показана на рисунке 5. Изначально геометрические размеры берутся ориентировочно. Внешняя нагрузка, принятая для упрощения постоянной, прикладывается к условному центру валков.

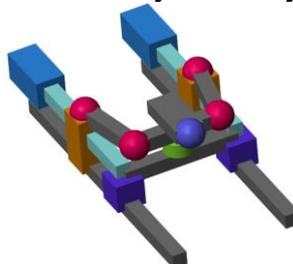


Рис. 5. Условная твердотельная модель в MATLAB

Результаты моделирования позволяют оценить реакции в узлах, а также режимы работы электроприводов. По этим данным подбираются компоненты и разрабатывается конструкция оборудования. На рисунке 6 показана трехмерная модель разработанной установки.

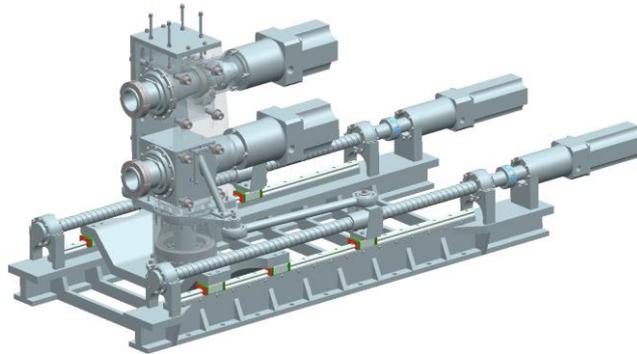


Рис. 6. Трехмерная модель установки 3D валковой формовки

Технология 3D валковой формовки является одним из перспективных направлений развития современного машиностроения. Гибкость оборудования в наладке под широкую номенклатуру изделий позволяет подстраиваться под быстроменяющийся рынок, где продукты имеют все меньший срок эксплуатации и все более индивидуальные требования со стороны потребителя.

### Литература

1. Guo, X. Flexible Metal Forming Technologies: Principles, Process and Equipment / X. Guo, ed. — Singapore: Springer, 2022. — 417 p. — (Springer Tracts in Mechanical Engineering). — ISBN 978-981-19-1347-1.
2. Strategien zur Qualitätssteigerung flexibler Rollprofile / Dipl.-Ing. Sebastian Berner // Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. — Darmstadt, 2012. — 127 с.
3. Mohrbacher, H. Innovative manufacturing technology enabling light weighting with steel in commercial vehicles [Текст] / H. Mohrbacher, M. Spöttl, J. Paegle // Advances in Manufacturing. — 2015. — Vol. 3, No. 1. — P. 3–18. — DOI: 10.1007/s40436-015-0101-x.
4. Halmos, G. T., ed. Roll Forming Handbook— Boca Raton : Taylor & Francis, 2006. — 584 p. — (Manufacturing Engineering and Materials Processing ; 67). — ISBN 978-0-8247-9563-4.
5. Sheu, J. J. Flexible roll forming of U-section product with curved bending profile using advanced high strength steel [Текст] / J. J. Sheu, C. F. Liang, C. H. Yu, W. H. Hsu, P. S. Lee // Procedia Manufacturing. — 2018. — Vol. 15. — P. 782–787. — DOI: 10.1016/j.promfg.2018.07.321.
6. Kim, D. Development of the Bus Frame by Flexible Roll Forming [Текст] / D. Kim, M. Cha // Procedia Engineering. — 2017. — Vol. 183. — P. 11–16. — DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.004.