

УДК 621.77.07

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКОЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ЕЕ ДЕФОРМИРОВАНИИ ВАЛКАМИ С ОБОЛОЧКОЙ ИЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА**Денис Александрович Брайко<sup>(1)</sup>*Студент 6 курса<sup>(1)</sup>,**кафедра «Оборудование и технологии прокатки»**Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана**Научный руководитель: И.Е. Семёнов,**доктор тех. наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии прокатки»**Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Объектом исследования является процесс обработки давлением части рулона на новой непрерывной линии локальной гибки-формовки (см. рис. 1). Цель работы: создание нового оборудования локальной гибки-формовки по разработанной новой схеме непрерывного деформирования.

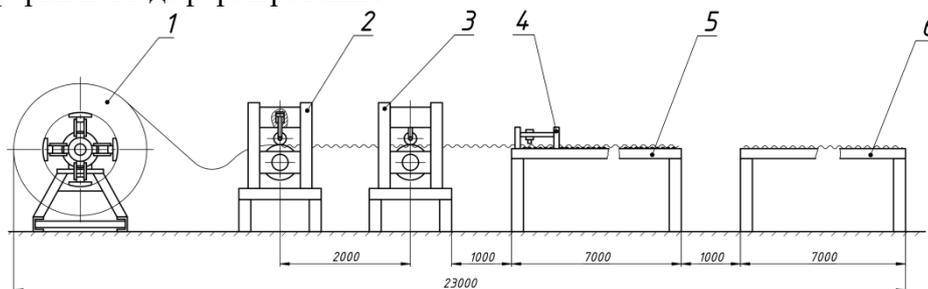


Рис. 1. Геометрическая модель

Линия работает следующим образом. На размотчике 1 устанавливается рулон шириной 600 мм, толщиной 0,7-0,9 мм. Часть рулона направляют в линию клеток локальной гибки-формовки 2 и 3, где заготовка деформируется между двумя валками. Вертикальное движение верхнего валка согласовано с вращательным движением нижнего валка с помощью электропневматической системы. В клету 2 заготовка деформируется между верхним жестким валком с эластичным покрытием [1-12] и жестким нижним валком. Клету 3 является калибрующей, заготовка деформируется между двумя жесткими валками. После деформирования в клету листовая заготовка поступает на стол для резки 4, где режется в размер лазерным резаком 5. После резки на конечные длины лист поступает на приемный стол 6.

В ходе работы была разработана математическая конечно-элементная модель (см. рис. 2) для получения напряженно-деформированного состояния листовой заготовки и рабочего инструмента. Моделирование деформирования листа производилось в два этапа. На первом этапе вал вместе с эластичной оболочкой перемещались на 7 мм в сторону нижнего валка вдоль вертикальной оси, деформируя лист. На втором этапе нижний валок вращался на угол 60 градусов, при этом жесткий вал с эластичной оболочкой совершали вертикальное перемещение, согласованное с вращением нижнего валка, одновременно с вращением. Для расчета использовался комплекс вычислительных программ «ANSYS». Для описания механических свойств материала эластичной оболочки была выбрана двухпараметрическая модель Муни-Ривлина, которая широко используется при относительных деформациях до 50 % [1, 2].

Имеем следующие значения коэффициентов Муни-Ривлина для эластичной оболочки (см. рисунок 2), которые были установлены в работе [6]. Для полиуретана SKU-7Л:  $C_{10} = 2,23$  МПа,  $C_{01} = 0,96$  МПа; для полиуретана SKU-7Л, армированного арамидной тканью:  $C_{10} = 7,16$  МПа,  $C_{01} = 2,34$  МПа.

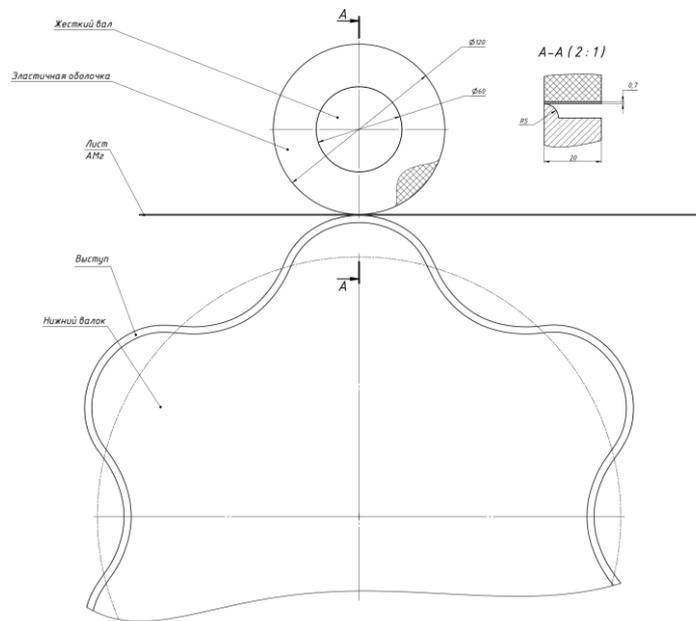


Рис. 2. Геометрическая модель

Результатами математического моделирования являются: поля перемещений по оси X для листа, поля нормальных напряжений по оси X для оболочки, поля эквивалентных напряжений для листа. После перемещения деформирующего инструмента во впадину максимальные нормальные напряжения в эластичном инструменте составляют: в случае неармированного полиуретана – 9 МПа (см. рис. 3а), в случае армированного полиуретана – 31 МПа (см. рис. 3б).

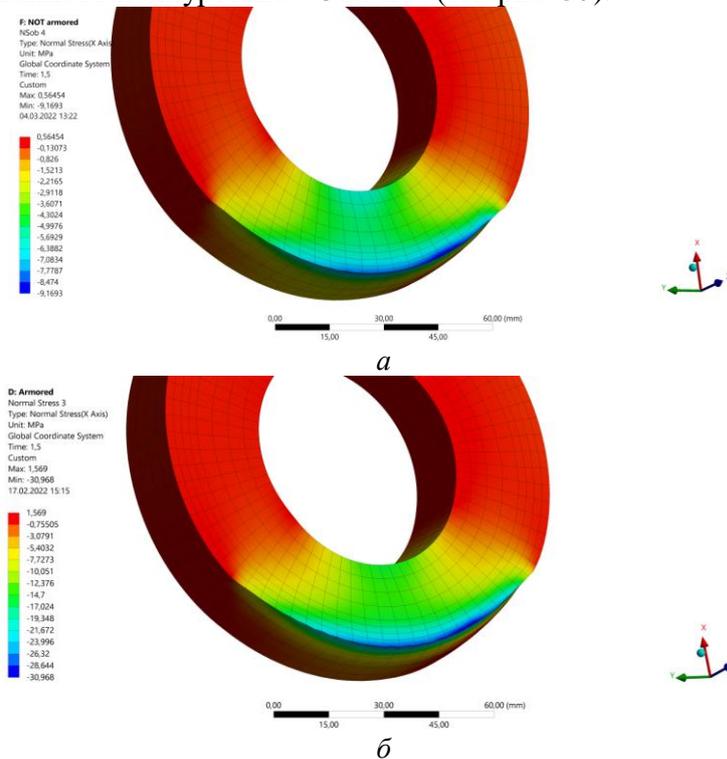


Рис. 3. Поля нормальных напряжений в инструменте

Применение нового композитного материала на основе полиуретана, армированного арамидной тканью, увеличивает нормальные напряжения, возникающие в инструменте, в 3,4 раза, что позволяет деформировать более прочные материалы с большей толщиной, расширяя технологические возможности процесса. Также на основе проведенного исследования разработана схема непрерывной линии локальной гибки-формовки для получения покрытия для крыш из тонколистового материала.

### Литература

1. *Bukhina M.F.* Technical physics of elastomers. – M: Chemistry, 1984. - 224 p.
2. *Muzyemnek A.Y.* Description of the behavior of materials in automated engineering analysis systems.- Penza: - PSU Information Publishing Center, 2005, - 320 p.
3. *Semenov I.E., Ryzhenko S.N., Krutova M.V.* Modeling the process of deformation of a strip by an elastic and rigid working tool *Steel.*, No. 5, 2007, p. 83-87.
4. *Semenov I.E., Ryzhenko S.N., Povorov S.V.* Dynamic modeling of the process of local bending-molding for the production technology of roof coatings. *Procurement in engineering.*- 2007. - No. 10.pg. 40-43
5. *Semenov I.E., Ryzhenko S.N., Povorov S.V.* Investigation of the stress-strain state of an elastic working tool and sheet blank in the process of local bending-molding. *Proceedings of the Seventh Conference of CAD Software Users – FEM GmbH.* – M.: Polygon press., 2007 p. 350-354.
6. *Semenov I.E., Savchuk D.V.* Increasing the rigidity of an elastic working tool for processing thin sheet metal by creating composite material based on polyurethane elastomers and synthetic aramide fabrics. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal) #12(64)*, 2020, p. 33-41.
7. *Semenov I.E., Ryzhenko S.N., Povorov S.V.* Modeling the molding process on a roll forming mill with an elastic working tool. *Vestnik MSTU.*, 4 (79) 2010, p.86-93.
8. *Semenov I.E., Ryzhenko S.N., Povorov S.V.* Modeling of the processes of sequential molding of longitudinal channels in a sheet on a mill with an elastic and rigid tool. *Procurement in engineering. Forging and stamping production.*, - 2010, No. 6, p.29-32.
9. *M. L. Belov et al* 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.537 022047
10. *Semenov, I.E., Povorov, S.V.* Simulation of thin-sheet metal blanking and punching by elastic mediums(2019) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 537 (3), статья No 032027.
11. *Povorov S., Semenov I.* Method for calculating of cross-sectional dimensions of sheet blank at intermediate stages of rollerforming process(2018) 2018 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018, статья No 8501838
12. *Ikonnikov D.A, Semenov I.E.* Thin sheet metal forming with composite material./ IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020 vol.734. Issue 1.-aArt no 012070/ <https://iopscience.iop.org/1757-899X/734/1/012070>. DOI:10.1088/1757-899X/734/1/012070.