

УДК 621.771.294

к.т.н. Снитко С. А.,  
д.т.н. Сотников А. Л.,  
д.т.н. Яковченко А. В.  
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

## СИЛОВЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ФОРМОВОЧНОГО ПРЕССА ПРИ ШТАМПОВКЕ КОЛЁСНЫХ ЗАГОТОВОК

*Выполнен анализ влияния схем штамповки колёсных заготовок на силовые режимы работы формовочного пресса применительно к современным прессопрокатным линиям. Показано, что схемы штамповки, которые предусматривают регламентированное распределение металла между центральной и периферийной частями подаваемой в штампы заготовки, характеризуются рациональным силовым режимом формовочного пресса.*

**Ключевые слова:** схема штамповки, колёсная заготовка, силовой режим, формовочный пресс, штампы.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Проблемы модернизации прессопрокатного оборудования [1–3 и др.], совершенствования применяемой технологии в части реализации рациональных силовых режимов работы и высокой стойкости деталей [4, 5], а также повышения качества исходных заготовок и снижения расходного коэффициента [6–10 и др.] являются актуальными научно-техническими задачами металлургической отрасли.

При освоении новой прессопрокатной линии ОАО «Евраз НТМК» специалистами комбината было установлено, что, несмотря на высокое качество исходной заготовки, высокую степень автоматизации и компьютеризации технологического процесса, разработанная фирмой SMS-EUMUCO технология штамповки колёсных заготовок не позволила получить стабильные размеры черновых колёс при использовании исходных заготовок из непрерывнолитого металла собственного производства [10].

Разработка и внедрение на заготовочном прессе силой 50 МН (R5000) технологии осадки заготовок в верхнем плавающем технологическом кольце позволили стабилизировать наружный диаметр заготовок, повысить точность размеров колёсных заготовок на формовочном прессе и снизить брак на прокате [10].

Вместе с тем эта технология не позволяет выполнять разгонку заготовок. Указанная операция является крайне необходимой при производстве многих типоразмеров колёс и в первую очередь при штамповке заготовок колёс диаметром 957 мм с плоскоконическим диском по ГОСТ 10791-2011, доля которых в годовом объёме производства обычно велика.

При штамповке на формовочном прессе силой 90 МН (R9000) заготовок для колёс диаметром 957 мм из осажённой на прессе R5000 заготовки без разгонки («плюшки») имеет место односторонняя схема течения металла из зоны диска в зону обода при повышенной силе штамповки. Причиной является наличие избыточного объёма металла в центральной части заготовки, который преждевременно заполняет формовочные штампы в зоне ступицы.

В работах [11, 12] предложены новые способы штамповки колёсных заготовок, которые позволяют выполнять на прессе R5000 регламентированное распределение металла между центральной и периферийной частями заготовки, обеспечивают их самоцентрировку на формовочном прессе R9000 и получение стабильных размеров колёсных заготовок.

Наряду с получением требуемых параметров по геометрии, макро- и микроструктуре,

а также механических свойств изделий [10–14] одним из важных критериев оценки эффективности применяемых схем деформирования является их влияние на силовую режим прессопрокатного оборудования и стойкость деформирующего инструмента.

В колёсопрокатном производстве повышение указанной стойкости является актуальной задачей, так как именно она во многом определяет затраты, связанные с выбором марки стали для штампов, технологии их изготовления и технологической смазки [13, 14].

**Цель работы.** Целью настоящей работы являлось изучение влияния схем штамповки колёсных заготовок на силовые режимы работы формовочного пресса R9000.

**Изложение материала и его результаты.** Анализ формоизменения металла, силовых и температурных параметров при формовке колёсных заготовок на прессе R9000 выполняли на основе результатов конечно-элементного моделирования процесса штамповки в системе DEFORM-3D. При этом решали объёмную задачу для сектора, имеющего угол  $90^\circ$ . Штампы моделировали как недеформируемые объекты. Они были разбиты сеткой и для них, так же как и для заготовки, решали задачу теплопередачи. В качестве материала для штампов использовали имеющуюся в библиотеке DEFORM-3D штамповую сталь AISI-H-13 с соответствующими механическими и теплофизическими характеристиками, зависящими от температуры. Твёрдость материала штампов приняли независимой от температуры, равной 41 HRC.

Для колёсной заготовки использовали пластическую модель материала, кривые течения рассчитали для колёсной стали марки 2 (ГОСТ 10791-2011) [15]. Используемые при моделировании теплофизические свойства колёсной стали взяли из базы данных DEFORM-3D для высокоуглеродистой стали.

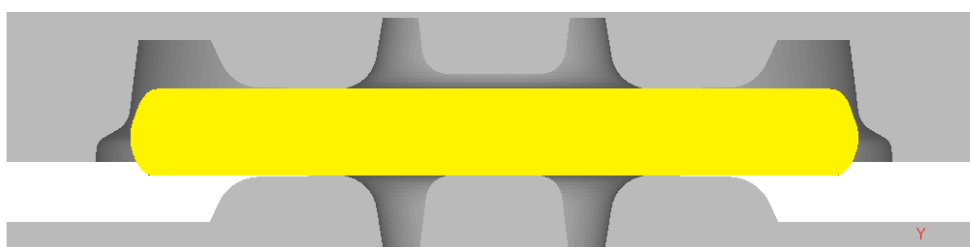
Начальную температуру штампов приняли равной  $20^\circ\text{C}$ . Заготовка перед штамповкой имела неравномерное температурное поле в диапазоне  $1100\text{--}1260^\circ\text{C}$ , полу-

ченное путём конечно-элементного моделирования транспортировки заготовки от нагревательной печи к прессу R5000 (с учётом гидросбива окалины с торцевых поверхностей заготовки), её деформирования на прессе R5000 и транспортировки к прессу R9000. Используемые при моделировании значения скоростей рабочего хода траверс пресса были равны:  $0,03\text{ м/с}$  — для пресса R5000,  $0,01\text{ м/с}$  — для пресса R9000.

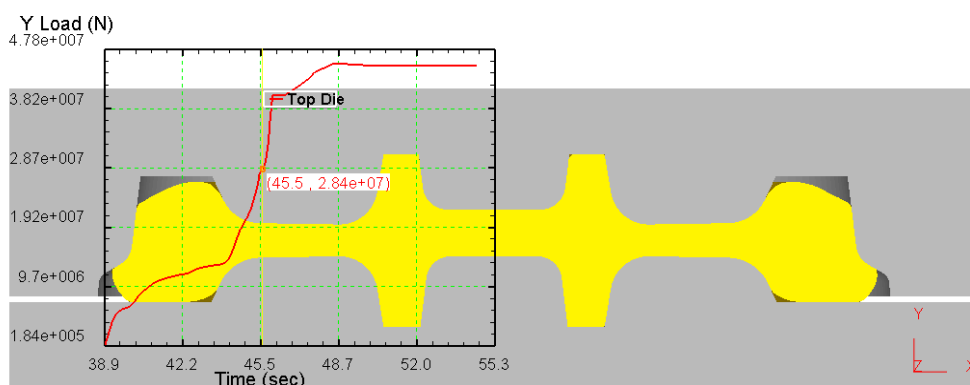
Выполнен анализ трёх схем штамповки колёсной заготовки (рис. 1–3) для колёс диаметром 957 мм с плоскоконическим диском по ГОСТ 10791-2011: А — схема штамповки колёсной заготовки из «плюшки» [10] (используемая на прессопрокатной линии ОАО «Евраз НТМК»); Б — схема штамповки колёсной заготовки [11] из заготовки с предварительно сформованными частями обода и ступицы с нижней стороны, которая предусматривает самоцентрировку заготовки в формовочных штампах (рис. 2, а); В — схема штамповки колёсной заготовки [12], предусматривающая самоцентрировку заготовки в формовочном кольце (рис. 3, а).

Результаты моделирования показали, что при штамповке колёсных заготовок по всем трём схемам температура штампов в последний момент штамповки достигает  $400^\circ\text{C}$ .

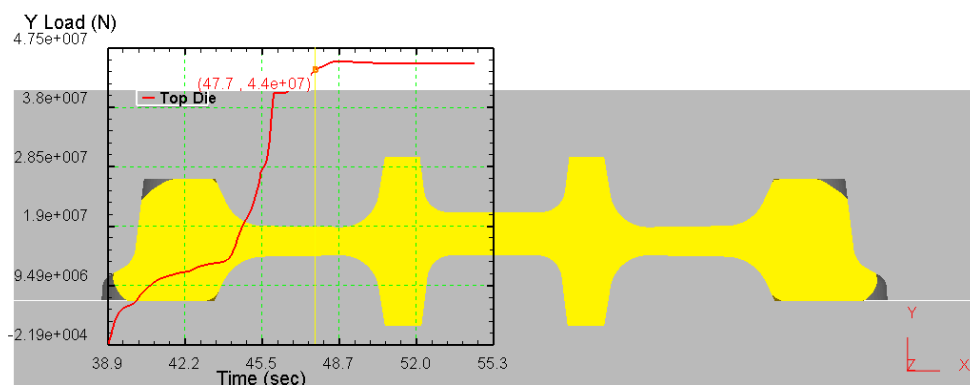
Анализ результатов также показал, что при штамповке колёсной заготовки из «плюшки» штампы в зоне ступицы заполняются задолго до окончания процесса формовки (рис. 1, б). В результате этого имеет место недоштамповка колёсной заготовки на  $2,3\text{ мм}$  (рис. 1, в) в связи с тем, что необходимая для продолжения деформирования металла сила даже при работе пресса в режиме выдержки под нагрузкой (рис. 1, г) превышает допустимое значение  $90\text{ МН}$ . Кроме этого, доштамповка колёсной заготовки в режиме выдержки максимально развиваемой прессом силы в течение  $2\text{--}5\text{ с}$  приводит к увеличению длительности контакта деформируемого металла с инструментом и, следовательно, к его дополнительному разогреву.



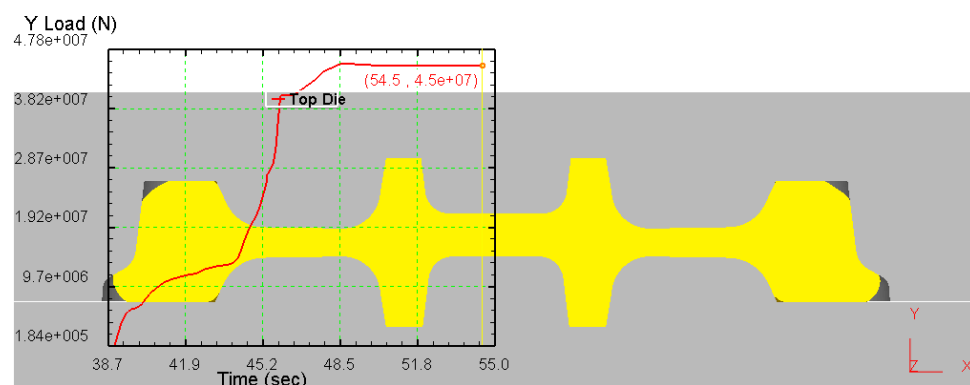
а



б



в



г

Рисунок 1 Штамповка колёсной заготовки по схеме А:

а — первый момент штамповки; б — промежуточный момент штамповки (зазор между штампами 6,5 мм); в — последний момент штамповки (зазор между штампами 2,3 мм); г — штамповка в режиме выдержки под нагрузкой 90 МН (зазор между штампами 1,5 мм)

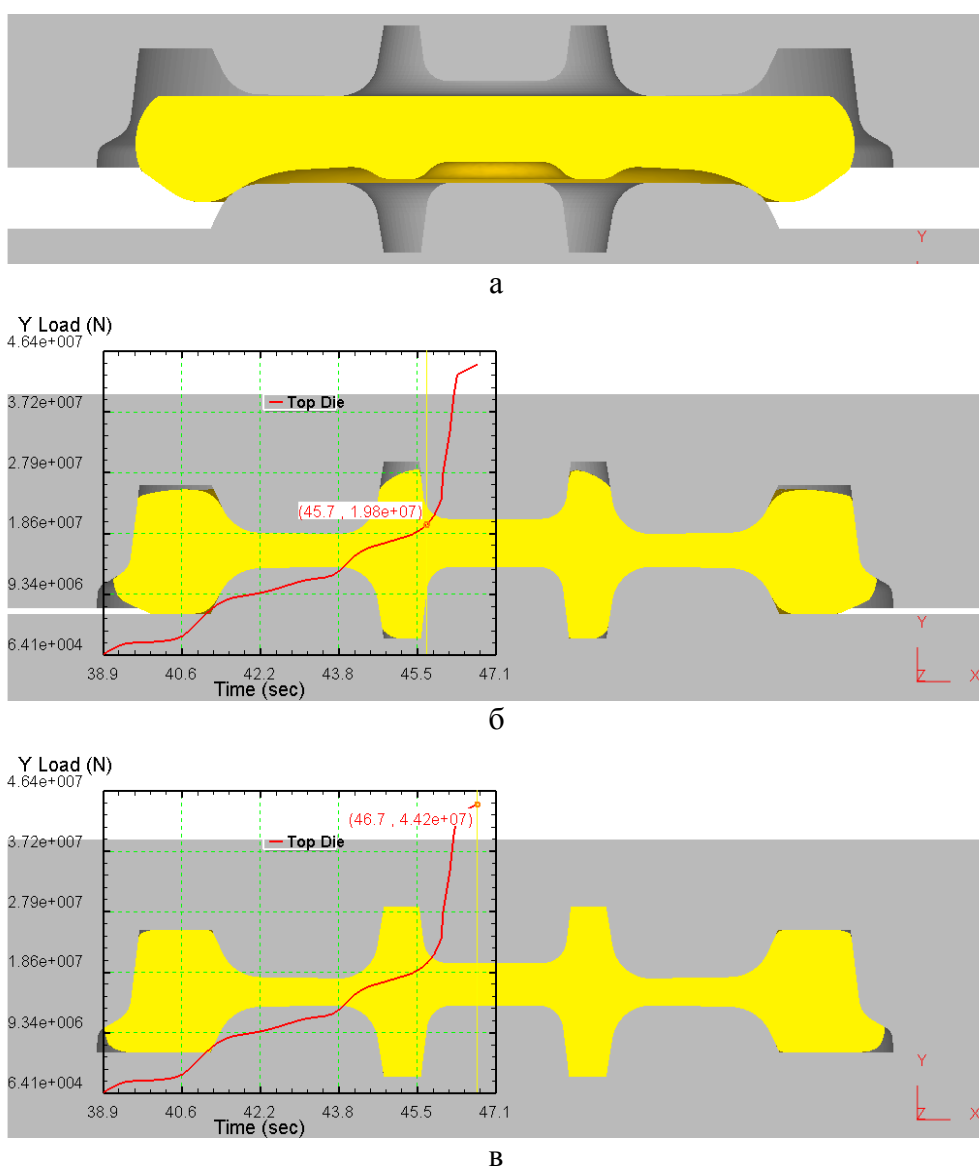


Рисунок 2 Штамповка колёсной заготовки по схеме Б:

а — первый момент штамповки; б — промежуточный момент штамповки (зазор между штампами 6,5 мм); в — последний момент штамповки (зазор между штампами отсутствует)

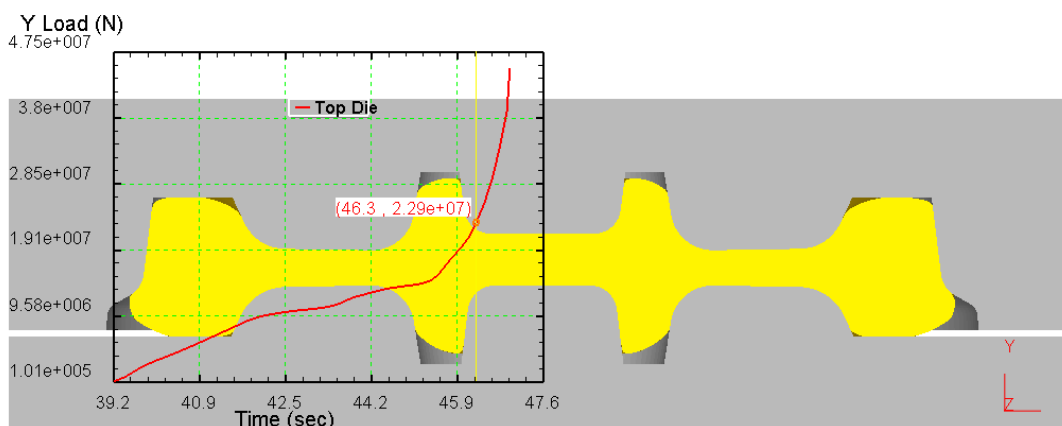
При штамповке колёсных заготовок по схемам Б и В силовой режим работы прессы является рациональным (средняя сила для условий формовки в этом случае составляет 63–70 % от соответствующей средней силы при штамповке из «плюшки») и характеризуется постепенным нарастанием необходимой для реализации процесса формовки силы (см. рис. 2, б и в). Её максимальное значение нужно лишь в последний, кратковременный момент штамповки (рис. 2, в и 3, в). При этом рабо-

та прессы R9000 в режиме выдержки под нагрузкой, как при штамповке по схеме А (рис. 1, г), не требуется.

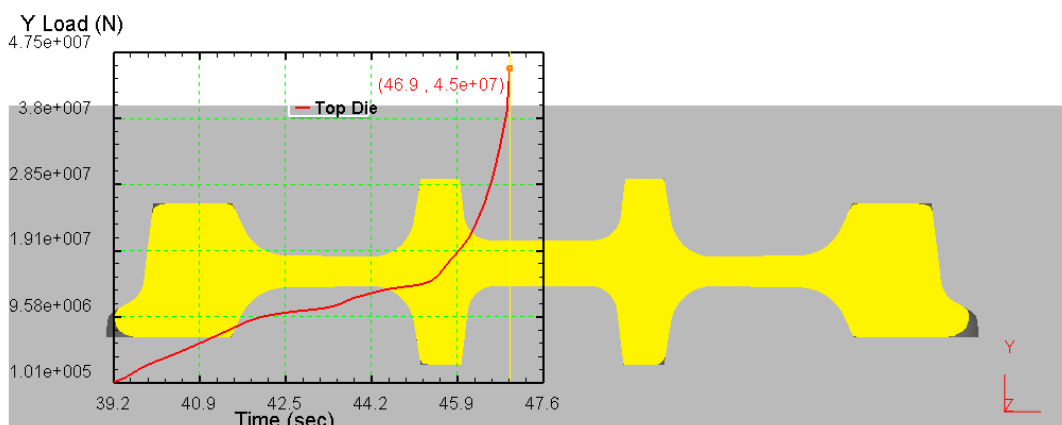
**Выводы и направление дальнейших исследований.** Таким образом, на основе результатов конечно-элементного моделирования выполнен анализ влияния схем штамповки колёсных заготовок на силовые режимы работы формовочного прессы применительно к современным прессопрокатным линиям.



а



б



в

Рисунок 3 Штамповка колёсной заготовки по схеме В:

а — первый момент штамповки; б — промежуточный момент штамповки (зазор между штампами 6,5 мм); в — последний момент штамповки (зазор между штампами отсутствует)

Показано, что использование схем штамповки, которые предусматривают регламентированное распределение металла между центральной и периферийной частями заготовки, характеризуется рациональным силовым режимом. Во-первых, средняя сила в этом случае составляет 63–70 % от средней силы при штамповке из «плюшки». Во-вторых, в этом случае имеет место посте-

пенное нарастание необходимой для реализации процесса формовки силы, причем её максимальное значение необходимо лишь в последний, кратковременный момент штамповки. При этом работа формовочного прессы в режиме выдержки под нагрузкой не требуется.

Обеспечение стабильности размеров черновых железнодорожных колёс на

прессопрокатных линиях, в составе которых перед колесопркатным станом установлено только два прессы, возможно на основе схем штамповки колёсных заготовок, представленных на рисунках 2 и 3.

Указанные схемы обеспечивают выполнение операций разгонки заготовок, устранение их асимметрии, а также самоцен-

тровки колёсных заготовок на прессе R9000. Возможность получения осесимметричных колёсных заготовок и черновых колёс, как показали результаты моделирования, позволяет уменьшить массу исходной заготовки (соответствующую номинальным размерам) с 483 до 475 кг.

### Библиографический список

1. Kushnarev, A. V. *Modernization of Railroad Wheel Manufacturing Technology at Evraz Ntmk [Text]* / A. V. Kushnarev, A. A. Kirichkov, A. A. Bogatov, S. S. Puzyrev // *Metallurgist*. — 2017. — 60 (9–10). — P. 1080–1086.
2. Снитко, С. А. *Взаимосвязь режимов прокатки с нагрузками и запасом прочности наклонных валков колесопркатных станом горизонтального и вертикального типов [Текст]* / С. А. Снитко, А. В. Яковченко, А. Л. Сотников // *Вестник Донецкого национального технического университета*. — 2017. — № 3. — С. 14–29.
3. Снитко, С. А. *Совершенствование технологии и оборудования в колесопркатном производстве [Текст]* / С. А. Снитко, А. В. Яковченко, А. Л. Сотников // *Вестник Донецкого национального технического университета*. — 2017. — № 4. — С. 19–27.
4. Gorbatyuk, S. M. *Method and equipment for mechanically strengthening the surface of rolling-mill rolls [Text]* / S. M. Gorbatyuk, A. V. Kochanov // *Metallurgist*. — 2012. — 56 (3–4). — P. 279–283.
5. Zakharov, A. N. *Modernizing a press for making refractories [Text]* / A. N. Zakharov, S. M. Gorbatyuk, V. G. Borisevich // *Metallurgist*. — 2008. — 52 (7–8). — P. 420–423.
6. Vdovin, K. N. *Technologies for Controlling Flows of Steel and the Development of Refractory Structures for the Tundish of a Four-Strand Continuous Caster [Text]* / K. N. Vdovin, V. V. Tochilkin, V. V. Tochilkin // *Refractories and Industrial Ceramics*. — 2016. — Vol. 57, No. 1. — P. 6–8.
7. Kushnarev, A. V. *Production of high-quality railroad wheels [Text]* / A. V. Kushnarev, A. A. Kirichkov, Y. P. Petrenko, A. A. Bogatov // *Steel in Translation*. — 2010. — Vol. 40, Iss. 3. — P. 268–272.
8. *Introduction of wheel production on a new pressing and rolling line [Text]* / A. V. Kushnarev, V. D. Shestak etc. // *Steel in Translation*. — 2010. — Vol. 40, Iss. 12. — P. 1098–1100.
9. *The ways for lowering in metal consumption upon production of seamless rolled wheels [Text]* / A. V. Yakovchenko etc. // *Metallurgicheskaya i Gornorudnaya Promyshlennost*. — 2002. — Iss. 4. — P. 42–44.
10. Кушнарев, А. В. *Разработка научных основ и внедрение современной технологии производства железнодорожных колёс с высокими эксплуатационными характеристиками [Текст]* / А. В. Кушнарев // *Инновационные технологии в металлургии и машиностроении : сб. науч. трудов*. — Екатеринбург : Унив. тип. «Альфа Принт», 2012. — С. 626–637.
11. Снитко, С. А. *Механизм исправления асимметрии при штамповке колёсных заготовок [Текст]* / С. А. Снитко, А. В. Яковченко // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр.* — Краматорск : ДГМА, 2012. — № 4 (33). — С. 95–99.
12. Снитко, С. А. *Технологические схемы и механизмы, обеспечивающие повышение точности и стабильности размеров штампованных колёсных заготовок [Текст]* / С. А. Снитко // *Сталь*. — 2013. — № 10. — С. 72–80.
13. *Стойкость штампового инструмента при изготовлении железнодорожных колёс [Текст]* / А. В. Кушнарев и др. // *Производство проката*. — 2015. — № 5. — С. 46–48.
14. *Влияние химического состава и типа поверхностных дефектов на стойкость штампов прессы 10 000 тонн из низколегированных сталей [Текст]* / С. В. Бобырь и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. — 2014. — № 1. — С. 65–69.
15. Snitko, S. *Features Finite-Element Modeling of the Deformation Exact Mass [Text]* / S. Snitko, A. Duzhurzhi // *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*. — 2012. — Vol. 9, No. 9. — P. 1505–1510.

© Снитко С. А.  
© Сотников А. Л.  
© Яковченко А. В.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МОЗЧМ ДонНТУ Еронько С. П.,  
к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.*

*Статья поступила в редакцию 14.05.18.*

**к.т.н. Снітко С. О., д.т.н. Сотников О. Л., д.т.н. Яковченко О. В. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)  
СИЛОВІ РЕЖИМИ РОБОТИ ФОРМУВАЛЬНОГО ПРЕСА ПРИ ШТАМПУВАННІ  
КОЛІСНИХ ЗАГОТОВОК**

*Виконано аналіз впливу схем штампування колісних заготовок на силові режими роботи формувального преса стосовно до сучасних пресопрокатних ліній. Показано, що схеми штампування, які передбачають регламентований розподіл металу між центральною та периферійною частинами заготовки, що подається до штампів, характеризуються раціональним силовим режимом формувального преса.*

**Ключові слова:** *схема штампування, колісна заготовка, силовий режим, формувальний прес, штамп.*

**PhD Snitko S. A., Doctor of Tech. Sc. Sotnikov A. L., Doctor of Tech. Sc. Yakovchenko A. V.  
(DonNTU, Donetsk, DPR)**

**POWER OPERATION MODES OF MOLDING PRESS AT WHEEL BLANKS DIE FORMING**

*Analyzing the influence of wheel blanks die forming schemes on power operating modes of the molding press was done with regard to the modern pressrolling lines. It is shown that the die forming schemes called for regulated metal distribution between central and peripheral blank parts feeding to dies are characterized by rational power mode of molding press.*

**Key words:** *die forming scheme, wheel blanks, power mode, molding press, dies.*