

УДК 621.777

Найзабеков А. Б.
Лежнев С. Н.
Панин Е. А.
Арбуз А. С.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА «ВИНТОВАЯ ПРОКАТКА–ПРЕССОВАНИЕ» С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В условиях дефицита энергетических и сырьевых ресурсов актуальна проблема энергосберегающих технологий. Проблема энергосберегающих способов получения материалов со свойствами, сочетающие одновременно высокую прочность и пластичность, в условиях использования относительно простых и недорогих устройств, позволяющих затрачивать минимально возможное количество времени при обработке изделий является весьма актуальной.

Подобное уникальное сочетание свойств характерно для субультра- и ультрамелкозернистой (СУМЗ и УМЗ) формы структурного состояния материалов с преобладанием большеугловых межзеренных границ [1–3]. Известные результаты применения субультрамелкозернистых материалов в машиностроительной и медицинской отраслях, показывают их большое будущее и спрос на изделия из таких материалов.

Однако рост спроса существенно ограничивается высокой стоимостью производства изделий из таких материалов, обусловленной высокой энерго- и трудоемкостью их производства. Наиболее распространенный и изученный метод получения СУМЗ и УМЗ – равноканальное угловое прессование (РКУП) [2–3], однако недостаток этого и многих других известных процессов состоит в их дискретности, т.е. невозможности обработки изделий относительно большой длины и в необходимости проведения большого числа циклов обработки. Винтовая прокатка – другой способ интенсивной пластической деформации (ИПД), позволяющий быстро и непрерывно получать УМЗ структуру, однако здесь имеются проблемы с проработкой центральной зоны прутка, структура которых имеет ориентированный характер с малоугловыми границами зерен, вытянутых в направлении прокатки, при качественной равноосной УМЗ структуре периферийной части прутка.

Обеспечения непрерывности РКУП, путем его совмещения с винтовой прокаткой, позволит решить проблему неравномерной проработки прутка и кардинально увеличить общую производительность и энергоэффективность.

Целью данной работы является компьютерное моделирование нового совмещенного процесса «винтовая прокатка – прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы (рис. 1), разработанного совместно учеными Рудненского индустриального института и Карагандинского государственного индустриального университета [4], с целью определения оптимальных геометрических и технологических параметров осуществления данного процесса. В качестве инструмента для моделирования был использован программный комплекс Simufact. Forming.

Главным деформирующим компонентом в процессе является винтовой стан, состоящий из трех валков, который не только прокатывает заготовку на меньший диаметр, но и проталкивает ее через каналы равноканальной ступенчатой матрицы. Поэтому для данного процесса был выбран тип деформационной модели «трубная прокатка» (tube rolling), который позволяет задать вращательное движение нескольких инструментов, оси вращения которых лежат в разных плоскостях.

Для построения геометрических моделей заготовки и инструмента был использован программный комплекс «КОМПАС», в котором создавались объемные модели, которые экспортировались в совместимый формат STL.

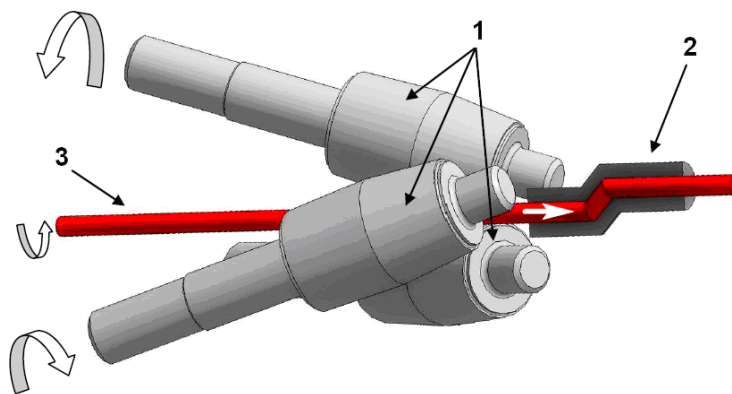


Рис. 1. Схема совмещенного процесса «винтовая прокатка-РКУ прессование» (1 – конические валки; 2 – ступенчатая РКУ матрица; 3 – заготовка)

Исходная заготовка представляла собой пруток диаметром 25 мм и длиной 150 мм. Данное значение диаметра было выбрано как наиболее типичное из возможного сортамента данного винтового стана (на стане можно прокатывать заготовки диаметром от 15 до 30 мм). Выбор максимального диаметра является нежелательным, т.к. в этом случае потребуется значительное усилие деформирования. Меньший диаметр также нежелателен, поскольку при многопроходном деформировании (2–3 прохода) происходит значительное снижение диаметра и в этом случае есть шанс выхода за пределы сортамента.

В качестве материала модели была выбрана сталь 15. Размеры валков и их конструктивное расположение соответствовали конструкции лабораторного прокатного стана 10-30. Скорость вращения валков составляла 100 об/мин. После прокатки в валках в матрицу попадает заготовка диаметром 20 мм. Для исключения застревания заготовки на входе в матрицу было сделано небольшое превышение диаметра канала матрицы. В результате равноканальная ступенчатая матрица имела канал диаметром 21 мм с длиной каждой ступени канала 20 мм. Исходная модель совмещенного процесса «винтовая прокатка- РКУ прессование» приведена на рис. 2.

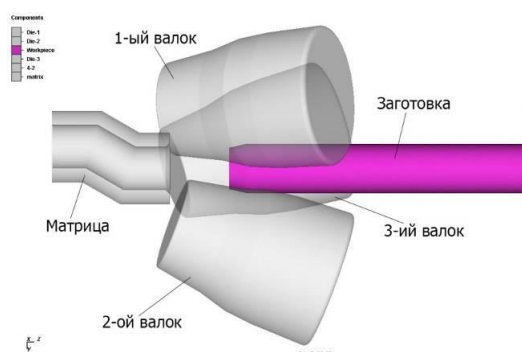


Рис. 2. Компьютерная модель совмещенного процесса «винтовая прокатка-РКУ прессование»

При определении значения угла стыка каналов в матрице было выявлено, что в работе [5] найдено оптимальное значение данного параметра для процесса продольной прокатки-прессования заготовки прямоугольного сечения, которое равно 140 градусов. Однако при осуществлении винтовой прокатки на круглой заготовке возникают значительно меньшие по площади зоны контакта с валками, что в свою очередь, значительно снижает величину возникающих активных сил трения. Поэтому было решено снизить угол стыка в матрице до 150°.

Температура заготовки была принята 1000° С, как среднее значение рекомендуемого температурного интервала горячей обработки стали 15 [6], все инструменты в модели имели температуру 20°С.

Из работы [7] известно, что осевое усилие при винтовой прокатке является крайне нестационарной величиной, изменяющей свое значение в широких пределах. Поэтому было принято допущение, что в данном совмещенном процессе для облегчения захвата, прокатки и последующего прессования будут использоваться текстурированные валки с насечкой. Вследствие этого, коэффициент трения на контакте заготовки с валками был принят равным 0,8, как рекомендуемый программой для инструмента с закругленной поверхностью. Коэффициент трения на контакте заготовки с матрицей был принят равным 0,3, как соответствующий шлифованной поверхности.

Еще одним важным фактором, оказывающим влияние на все параметры данного совмещенного процесса, является расстояние матрицы от очага деформации в валках. В работе [8] было выявлено, что для более стабильного протекания процесса прокатки-прессования необходимо, чтобы данный параметр был минимальным. В данном случае, расстояние матрицы от очага деформации в валках было принято равным 15 мм, как минимально допустимое конструкцией стана, ближе поставить матрицу невозможно, т.к. она упирается в наклонные ребра валков.

После расчета модели был получен следующий результат (рис. 3).

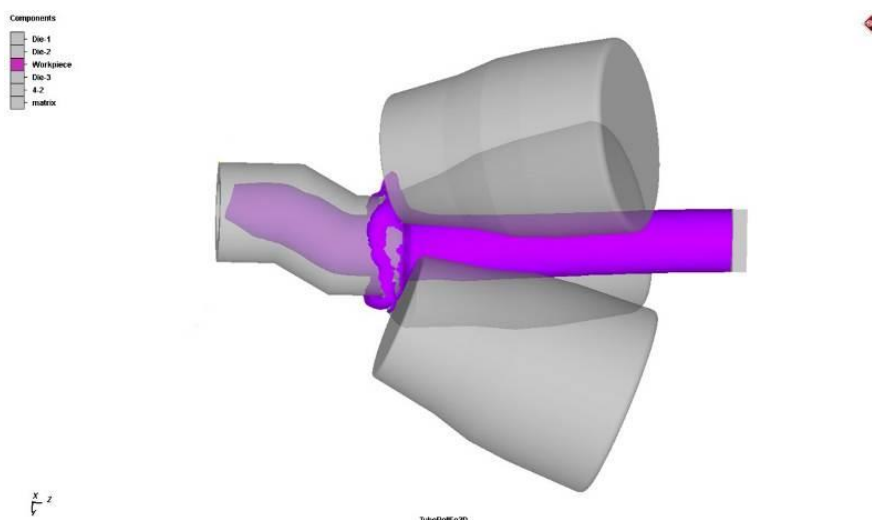


Рис.3. Конечная модель

Полученную модель следует считать неудачной, поскольку передний конец заготовки не вышел из матрицы, а образовавшийся заусенец сделал дальнейшее деформирование невозможным. Анализируя возникающие усилия в валках и в матрице, был сделан вывод, что усилия прокатки, создаваемого валками, попросту недостаточно, чтобы преодолеть силы противодействия в матрице. Поскольку повышать величину коэффициента трения в валках неразумно из-за использования его максимально возможного реального значения [9], то было решено снизить коэффициент трения в матрице – его значение было снижено до 0,1. В результате был получен следующий результат (рис. 4).

Данная модель получилась удачной, т.к. передний конец заготовки вышел из матрицы, а на входе в матрицу заусенец не образовался.

Проводимое компьютерное моделирование совмещенного процесса «винтовая прокатка – прессование» имеет цель – анализ возможности реализации данного процесса. Для этого необходимо изучить влияние различных факторов на возможность осуществления процесса. Как уже было выявлено выше, для нормального деформирования необходимо обеспечить максимально возможное значение коэффициента трения в валках, и минимально возможное значение в матрице. Далее было решено провести варьирование двумя наиболее

важными параметрами процесса: расстоянием матрицы от очага деформации в валках и углом стыка каналов в матрице. Для этого были построены модели со следующими параметрами:

- модели с расстоянием матрицы от очага деформации в валках 40 мм и 27,5 мм;
- модели с углом стыка каналов в матрице 135° и 142,5°.

При этом все остальные параметры оставались неизменными.

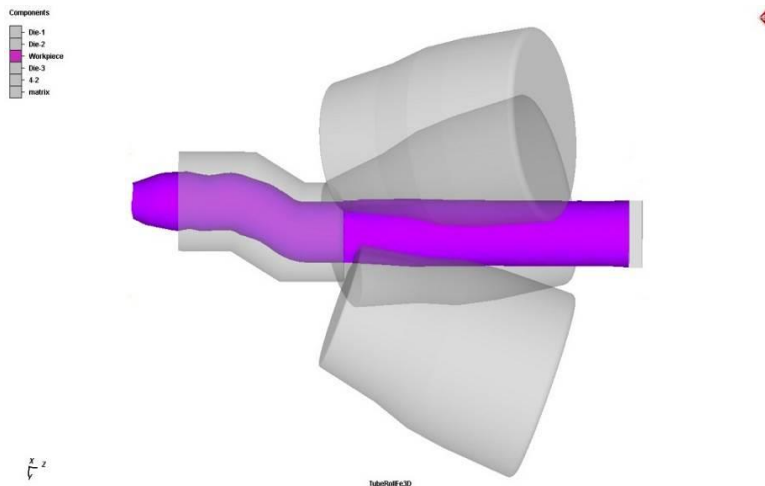


Рис. 4. Модель с пониженным коэффициентом трения в матрице

В результате расчета данных моделей были получены следующие результаты:
А) модель с расстоянием матрицы от очага деформации в валках 40 мм (рис. 5).

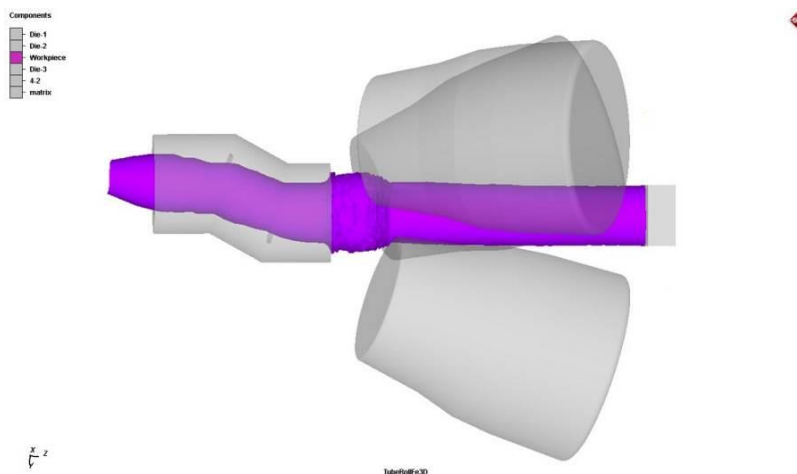


Рис. 5. Модель с расстоянием матрицы от очага деформации в валках 40 мм

Данную модель следует считать неудачной, несмотря на то, что передний конец заготовки вышел из матрицы. В данном случае, из-за большого расстояния между очагами деформации в валках и матрице, на входе в матрицу образовался бочкообразный наплыв, т.е. произошла распрессовка заготовки. Данное явление возникает в том случае, когда на входе в матрицу происходит несоблюдение неравенства (1):

$$\sigma = \frac{P}{F} < \sigma_s ; \quad (1)$$

где σ – действующее напряжение в сечении заготовки;

P – усилие деформирования;

F – площадь поперечного сечения;

σ_s – фактическое сопротивление деформации материала.

То есть напряжение в поперечном сечении заготовки в зоне входа в матрицу превышает фактическое сопротивление деформации. Данное явление достаточно подробно рассмотрено в работе [9]. Таким образом, был сделан вывод о необходимом снижении значения данного параметра.

Б) модель с расстоянием матрицы от очага деформации в валках 27,5 мм (рис. 6).

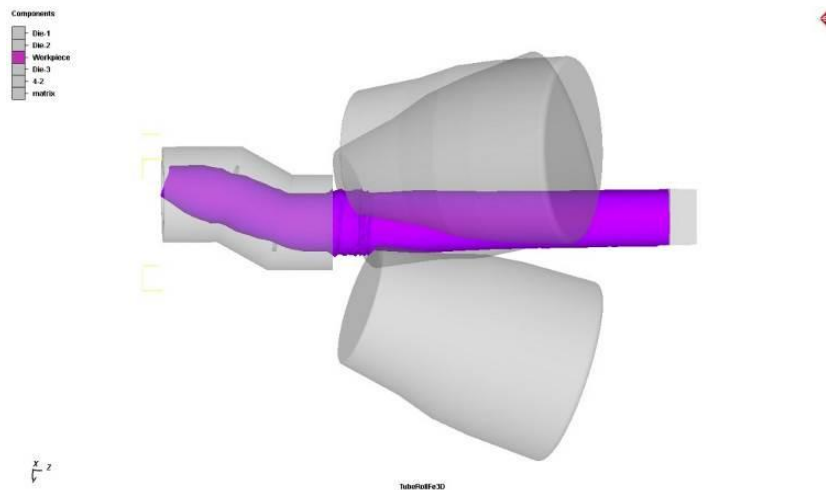


Рис. 6. Модель с расстоянием матрицы от очага деформации в валках 27,5 мм

Данная модель также оказалась неудачной. В данном случае, расстояние между очагами деформации в валках и матрице было все еще велико, из-за этого на входе в матрицу снова образовался бочкообразный наплыв, хотя и гораздо меньших размеров. Исходя из данных последних двух моделей можно сделать вывод о том, что для наилучшего протекания совмещенного процесса «винтовая прокатка – прессование» необходимо устанавливать матрицу на минимально возможном расстоянии от очага деформации в валках.

В) модель с углом стыка каналов в матрице 135° (рис. 7).

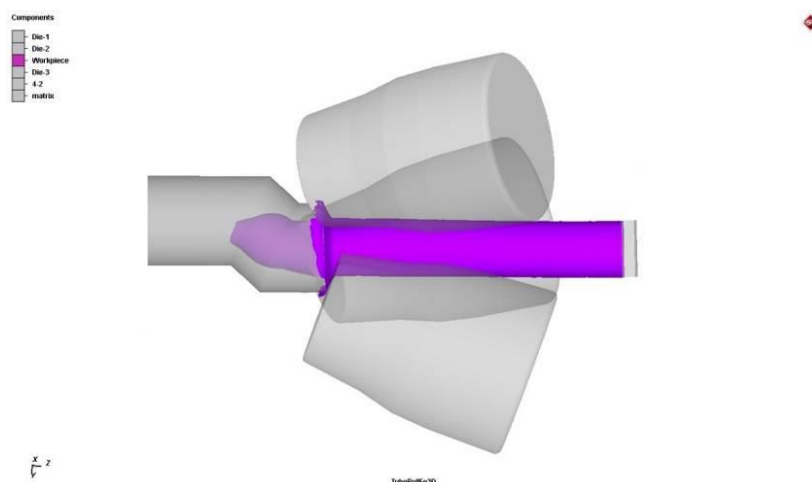


Рис. 7. Модель с углом стыка каналов в матрице 135°

Модель с меньшим значением угла стыка каналов оказалась неудачной. Из-за снижения величины угла стыка в матрице резко возросло усилие противодействия, вследствие чего на входе в матрицу произошла распрессовка заготовки. Аналогичные

данные были получены в работе [10] применительно к совмещенному процессу «прокатка-прессование».

Г) модель с углом стыка каналов в матрице $142,5^\circ$ (рис. 8).

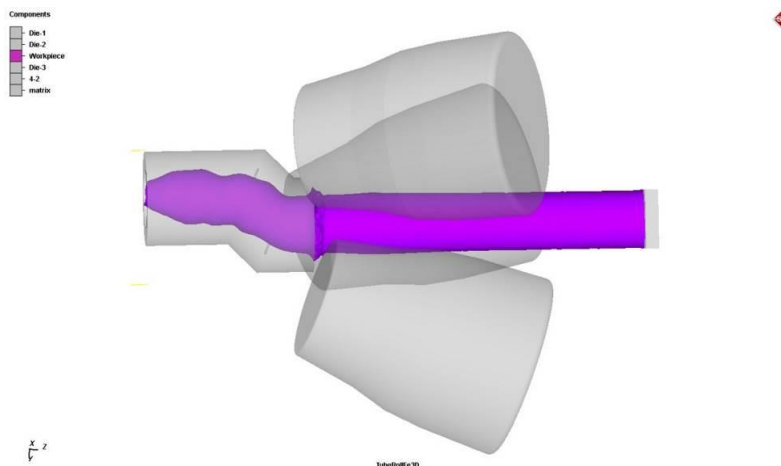


Рис. 8. Модель с углом стыка каналов в матрице $142,5^\circ$

Модель с промежуточным значением угла стыка каналов можно назвать удачной, поскольку, несмотря на образование наплыва на входе в матрицу, процесс продолжался. По мере продвижения заготовки вглубь матрицы, поверхностные слои подвергались смятию, что в конечном итоге привело к образованию небольшого наплыва с заусенцем. Данная модель может считаться пригодной только в том случае, если производится деформирование единичной заготовки. При реализации непрерывной технологии деформирования, когда после прокатки заготовки к валкам будет подаваться следующая заготовка, которая будет проталкиваться через матрицу ранее продеформированную, данная модель будет неудачной, поэтому наилучшей моделью остается модель, представленная на рис. 8, которая позволит обеспечить непрерывность предлагаемого процесса.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного компьютерного моделирования совмещенного процесса «винтовая прокатка – прессование» в программном комплексе SIMUFACT.FORMING были получены несколько моделей данного процесса. С целью анализа возможности реализации данного процесса было проведено варьирование ключевыми параметрами, оказывающими значительное влияние на возможность осуществления процесса. Были получены следующие оптимальные значения:

- коэффициент трения в валках – не менее 0,8;
- коэффициент трения в матрице – не более 0,1;
- угол стыка каналов в матрице – не менее 150° ;
- расстоянием матрицы от очага деформации в валках – не более 15 мм.

Работа выполнена в рамках госбюджетной финансируемой темы «Энергосберегающая инновационная технология получения субультрамелкозернистых конструкционных металлов и сплавов новым совмещенным процессом «винтовая прокатка-прессование» по программе «Грантовое финансирование научных исследований на 2015-2017 гг.» (Заказчик - Министерство образования и науки Республики Казахстан).

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Структура и свойства нанокристаллических материалов / Ю.Р. Колобов, К.В. Иванов, Г.П. Грабовецкая, Р.К. Исламгалиев. – Екатеринбург: УрО РАН, 1999. –146 с.
2. Валиев Р., Александров И. Объемные наноструктурные металлические материалы. Москва, Академкнига, 2007. – 398 с.

3. Valiev, R.Z., Islamgaliev, R.K., Alexandrov, I.V. Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation. *Progress in Materials Science. Volume 45, Issue 2, 2000.* – pp. 103-189.
4. Патент №27445. Устройство для непрерывного прессования металла // А.Б. Найзабеков, С.Н. Лежнев, А.С. Арбуз (уведомление от 25.09.2015 г.).
5. Lezhnev S.N. Theoretical studies of the joint “extrusion-rolling” process aimed at making sub-ultra fine – grained structure metal / S.N. Lezhnev, A.B. Naizabekov, Y.A. Panin // 20th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials, Metal 2011. – May 18-20.2011. – Brno, Czech Republic. –P. 272–277.
6. Сорокин В.В. Марочник сталей и сплавов. – М.: Машиностроение. 2003 – 492 с.
7. Study of axial forces with the purpose to realize a combined process «helical rolling-pressing» / A. Naizabekov, V. Talmazan, A. Arbuz, T. Koinov, S. Lezhnev // J. Chem. Technol. Metall., 50, 2, 2015. – P. 217–222.
8. Фастыковский А.Р. К вопросу о процессе прокатки-прессования / А. Р. Фастыковский // Известия вузов. Цветная металлургия, 2004. – №2. – С. 67–70.
9. http://www.simufact.de/en/solutions/sol_form.html (simufact.forming manual).
10. Lezhnev S. Investigation of the Influence of Geometric and Technological Factors on the Stress-Strain State of Metal in the Implementation of the Combined Rolling-Pressing Process / S. Lezhnev, E. Panin // Advanced Materials Research. – Vol. 936. – P. 1918–1924. – Jun. 2014.

REFERENCES

1. Struktura i svojstva nanokristallicheskih materialov / Ju.R. Kolobov, K.V. Ivanov, G.P. Graboveckaja, R.K. Islamgaliev. – Ekaterinburg: UrO RAN, 1999. –146 s.
2. Valiev R., Aleksandrov I. Obemnye nanostrukturnye metallicheskie materialy. Moskva, Akademkniga, 2007. – 398 s.
3. Valiev, R.Z., Islamgaliev, R.K., Alexandrov, I.V. Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation. *Progress in Materials Science. Volume 45, Issue 2, 2000.* – pp. 103-189.
4. Patent №27445. Ustrojstvo dlja nepreryvnogo pressovanija metalla // A.B. Najzabekov, S.N. Lezhnev, A.S. Arbuz (uvedomlenie ot 25.09.2015 g.).
5. Lezhnev S.N. Theoretical studies of the joint “extrusion-rolling” process aimed at making sub-ultra fine – grained structure metal / S.N. Lezhnev, A.B. Naizabekov, Y.A. Panin // 20th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials, Metal 2011. – May 18-20.2011. – Brno, Czech Republic. –R. 272–277.
6. Sorokin V.V. Marochnik stalej i splavov. – М.: Mashinostroenie. 2003 – 492 s.
7. Study of axial forces with the purpose to realize a combined process «helical rolling-pressing» / A. Naizabekov, V. Talmazan, A. Arbuz, T. Koinov, S. Lezhnev // J. Chem. Technol. Metall., 50, 2, 2015. – R. 217–222.
8. Fastyskovskij A.R. K voprosu o processe prokatki-pressovanija / A. R. Fastyskovskij // Izvestija vuzov. Cvetnaja metallurgija, 2004. – №2. – S. 67–70.
9. http://www.simufact.de/en/solutions/sol_form.html (simufact.forming manual).
10. Lezhnev S. Investigation of the Influence of Geometric and Technological Factors on the Stress-Strain State of Metal in the Implementation of the Combined Rolling-Pressing Process / S. Lezhnev, E. Panin // Advanced Materials Research. – Vol. 936. – P. 1918–1924. – Jun. 2014.

Найзабеков А. Б. – д-р техн. наук, проф. РИИ
Лежнев С. Н. – канд. техн. наук, доц. каф. ОМД КГИУ
Панин Е. А. – магистр, ст. преп. каф. ОМД КГИУ
Арбуз А. С. – д-р PhD, преп. каф. ОМД КГИУ

РИИ – Рудненский индустриальный институт, г. Рудный, Казахстан.

КГИУ – Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан.

E-mail: Sergey_legnev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 23.02.2016 г.