

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.771

Дья Х., Сыгут М.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗНОСА КАЛИБРОВ В ПРОЦЕССЕ ПРОКАТКИ КРУГЛЫХ ПРУТКОВ

Аннотация. В статье рассмотрено математическое моделирование круглых прутков диаметром 14 мм из стали С45 и Х2СrNi19-11 с точки зрения влияния применяемой калибровки валков на износ калибров. Для теоретических исследований использовали компьютерную программу Forge 2008®, основанную на методе конечных элементов (МКЭ), который позволяет моделировать термомеханические процессы прокатки в трехосном состоянии деформации. К модели износа в компьютерной программе Forge 2008® применили упрощенную модель Арчарда. Благодаря использованию новой технологии уменьшилась сила давления металла на валки в модифицированных формах при прокатке прутков, что повлияло на уменьшение износа рабочих валков на 10-20%.

Ключевые слова: круглые прутки, калибровка валков, математическое моделирование, метод конечных элементов.

1. Введение

Конкуренция на рынке ставит перед производителями трудные задания в сфере обеспечения соответствующего качества изделий при одновременном снижении затрат на производство. Для удовлетворения потребностей производители вынуждены искать новые технологические решения и стремиться к снижению расходов в процессе производства. Минимализация затрат производств должна начинаться с процесса проектирования валков.

Разработанные схемы калибровки валков должны обеспечивать, кроме получения в прокатной линии готового изделия с размерами, высокую устойчивость инструмента. Правильно сконструированный и выполненный инструмент для обработки металлов давлением должен также обеспечивать хорошее качество готовых изделий при достаточно больших объемах производства и низкой его стоимости [1-3].

2. Математическая модель, используемая в компьютерной программе Forge 2008®

Для решения задач трехмерного пластического течения металла в процессе прокатки круглых прутков в калибрах использовали математическую модель, в которой механическое состояние деформированного материала описано с помощью закона Нортона-Гоффа [4-6], которое можно выразить следующим уравнением:

$$S_{ij} = 2K(T, \dot{\varepsilon}, \varepsilon)(\sqrt{3}\dot{\varepsilon})^{m-1} \dot{\varepsilon}_{ij}, \quad (1)$$

где S_{ij} – девиатор тензора напряжений; $\dot{\varepsilon}$ – интенсивность скорости деформации; $\dot{\varepsilon}_{ij}$ – тензор скорости деформации; ε – интенсивность деформации; T – температура; K – текстура, зависящая от предела текучести σ_p ; m – коэффициент; характеризующий горячую деформируемость металла ($0 < m < 1$).

В процессе обработки металлов давлением происходит износ инструмента. Наиболее распространен-

ным видом износа в этих процессах является износ трением [7]. Для описания такого вида износа часто применяют модель Арчарда [8]. Модель предполагает, что в условиях износа трением объем материала V_z , отделенного от единичной поверхности инструмента, прямо пропорционален нормальным напряжениям σ_n , действующим на поверхность инструмента и пути трения L_t и обратнопропорционален твердости материала H , подверженному износу (в этом случае твердости инструмента). Эту модель можно представить в виде

$$V_z = k_{zuz} \frac{\sigma_n L_t}{H}, \quad (2)$$

где k_{zuz} – коэффициент износа.

Уравнение (2) для решения с помощью алгоритма, основанного на МКЭ, может быть представлено в интегральном виде:

$$V_z = k_{zuz} \int_0^t \frac{\sigma_n \cdot v_s}{H(T)} dt, \quad (3)$$

где v_s – статическая скорость проскальзывания металла по поверхности инструмента; t – время; $H(T)$ – твердость инструмента при заданной температуре.

Параметры σ_n , v_s и T являются переменными во времени в процессе пластической обработки металлов давлением для каждой точки на поверхности инструмента. Эти параметры были определены с помощью трехмерной математической модели, основанной на методе конечных элементов, в котором механическое состояние деформируемого металла описано с помощью закона Нортона-Гоффа [4, 9].

Чтобы решить уравнение (3), следует знать величину коэффициента износа k_{zuz} и твердость инструмента H . Для описания твердости инструмента H необходимо принять коэффициент, описывающий влияние его температуры на твердость. Поэтому точный количественный анализ износа инструмента возможен только после получения соответствующих эм-

пирических данных и определения эмпирических коэффициентов уравнения (3).

Пренебрежение влиянием коэффициента износа $k_{из}$ и влияние температуры на твердость инструмента позволит использовать уравнение (3) только в сравнительных целях. Поэтому в модели, применяемой в программе 2008®, уравнение (3) упрощено до вида

$$W = \int_0^t \sigma_n \cdot v_s dt. \quad (4)$$

Поскольку напряжение трения τ_j является произведением нормального напряжения σ_n и коэффициента трения μ , то интеграл $\int_0^t \sigma_n \cdot v_s dt$ имеет физический смысл и равен единице работы силы трения на единицу поверхности стыка металла с инструментом.

Модель износа, представленная в компьютерной программе Forge2008®, не позволяет принять во внимание изменения температуры в инструменте и определить взаимные свойства контактных поверхностей деформируемого металла и инструмента [10]. Однако эту модель можно использовать для сравнительных целей, например, если при моделировании тех же процессов введем модификацию инструмента, разработанная модель позволяет получить ответ, какой инструмент будет более выносливым.

3. Материал и методика исследований

Для математического моделирования процесса прокатки круглых прутков диаметром 14 мм из заготовки диаметром 22 мм в четырех чистовых проходах приняты две схемы калибровки валков. На рис. 1 представлены форма и размеры калибров, применяемых в процессе прокатки. Вариант I представляет классические калибры, форма и размеры которых разработаны согласно общим принципам конструкции калибров для прокатки круглых прутков в системе овал-горизонтальный овал-овал-круг. В варианте II в овальные калибры 16, 26 и 36 (см. рис. 1) введены модификации формы и определены конструктивным способом новые размеры калибров. При проектировании формы модифицированных калибров использовано подобие площадей поверхности модифицированных калибров с площадями поверхности классических калибров [11]. Чистовой калибр – круглый (см. рис. 1) в двух случаях имел одинаковую конструкцию. Для получения прутков с повышенной точностью размеров калибр выполнен с наклоном к боковой стенке [2, 12].

Материалами для исследований были стали марки С45 и Х2СrNi19-11 согласно нормам PN-EN 10083-2:1999

и PN-EN 10088-1:2005. Химический состав исследуемых сталей представлен в таблице.

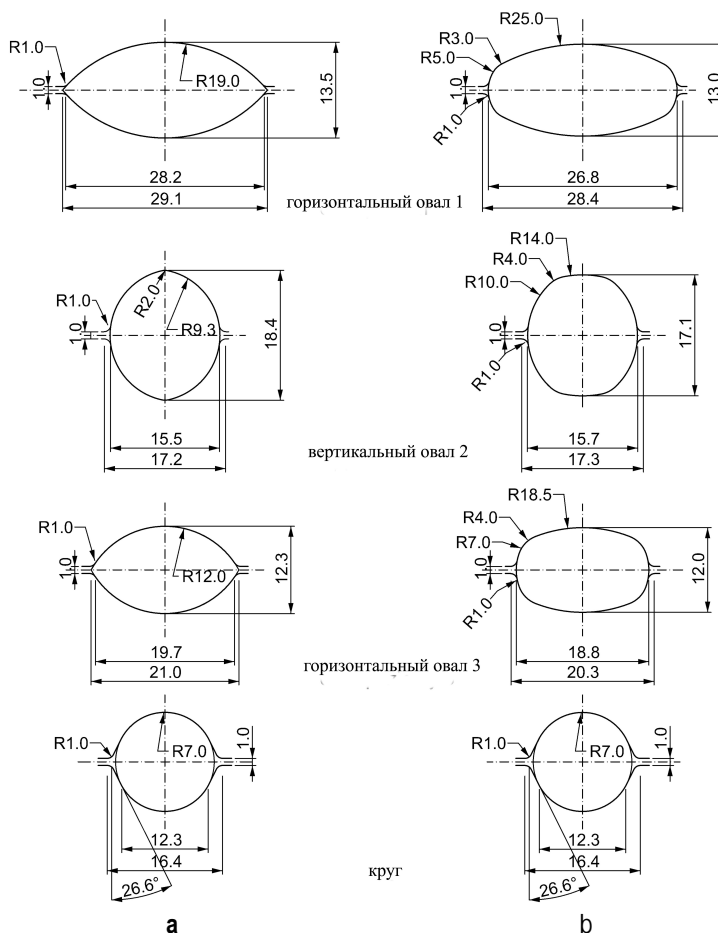


Рис. 1. Форма и размеры калибров, используемых при прокатке: а – вариант I – классический калибр; б – вариант II – модифицированный калибр [11]

Для теоретического анализа прокатки круглых прутков были приняты следующие начальные условия: диаметр валков $D = 150$ мм, температура прокатываемой полосы принята однородной во всем объеме и равна 1000°C (сталь С45) и 1050°C (сталь Х2СrNi19-11), скорость прокатки равна $0,2$ м/с, температура валков $T_w = 25^\circ\text{C}$; температура окружающей среды $T_{отocz} = 20^\circ\text{C}$; коэффициент контактной проводимости тепла между валками и полосой $\alpha = 3000$ Вт/м²К; коэффициент потери тепла в окружающую среду $\alpha_{пов} = 100$ Вт/м²К; коэффициент теплопроводности $35,5$ Вт/(м·К); удельная теплоемкость 778 Дж/(кг·К); плотность стали 7850 кг/м³; излучательная способность $0,88$ [13-15].

Химический состав сталей, принятых для математического моделирования, %

Марка стали	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Al	Cu	Sn
С45	0,45	0,64	0,21	0,015	0,031	0,13	0,14	0,04	-	0,004	0,25	0,015
Х2СrNi19-11	0,03	2,00	0,24	0,045	0,03	19,0	11,0	0,75	0,10	-	-	-

4. Анализ износа калибров в процессе прокатки круглых прутков

Износ калибров в процессе прокатки влияет на увеличение отклонения размеров готового изделия. Одним из важнейших факторов, влияющих на износ калибров во время процесса деформации металла, является скольжение между металлом и инструментом. На поверхности контакта металла с инструментом существуют переменные скорости скольжения [16, 17], влияющие на механизм трения. На рис. 2 и 3 представлены результаты математического моделирования скорости скольжения металла (v_s) на поверхности контакта металла с валком с определенными зонами запаздывания и опережения.

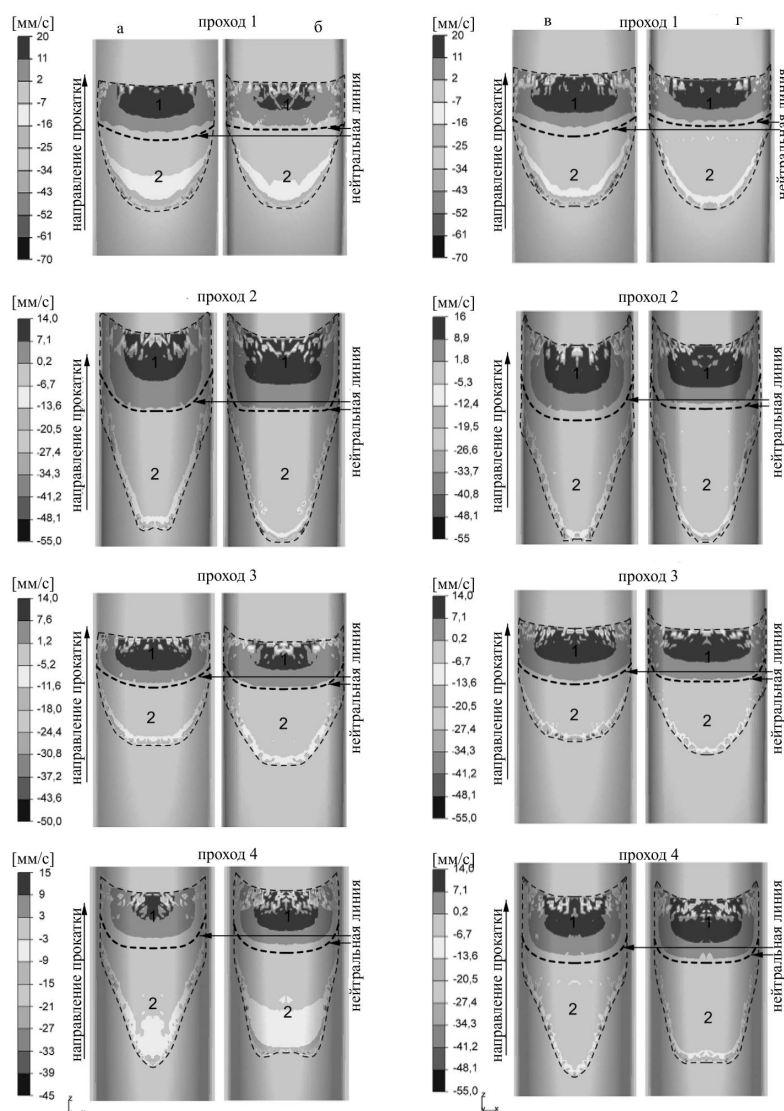


Рис. 2. Распределение скорости проскальзывания v_s на поверхности стыка металла с валком в процессе прокатки круглых прутков диаметром 14 мм в: а – классических калибрах (вариант I), сталь С45; б – модифицированных калибрах (вариант II), сталь С45; в – классических калибрах (вариант I), сталь X2CrNi19-11; г – модифицированных калибрах (вариант II), сталь X2CrNi19-11; 1 – зона опережения; 2 – зона запаздывания

Анализируя представленные на рис. 2 распределения скорости скольжения v_s на поверхности контакта металла с валком, можно сказать, что для зон запаздывания скорость пластического течения металла была меньше горизонтальной окружной скорости валков v_{wz} в среднем на 45-70 мм/с (в каждом проходе), независимо от применяемого типа калибров. Сравнивая формы и области распределения скорости скольжения v_s в зонах запаздывания, можно сказать, что анализированные величины могут влиять на более неравномерный износ классических калибров на их дне (проходы 2 и 4, рис. 2). В зоне опережения скорость скольжения на поверхности контакта металла с валком в проходах 1-3 согласно варианту II. Только при прокатке в проходе 4 при варианте II на

поверхности стыка металла с валком скорости скольжения большие, т.к. полоса, введенная в чистовой калибр, имеет большее поперечное сечение, а значит, больший коэффициент удлинения.

На рис. 3 и 4 представлено распределение единицы работы силы трения по ширине калибра в процессе прокатки круглых прутков по вариантам I и II.

Во время прокатки круглых прутков в проходах 1-3 в модифицированных калибрах (вариант II) распределение единицы силы трения для исследуемых марок стали более равномерно по ширине калибров, по сравнению с прокаткой в классических калибрах (вариант I). Резкий рост единицы работы силы трения по ширине калибра на его дне, даже до 100%, наблюдается в процессе прокатки в классических калибрах в проходах 1-3 (рис. 3, а и 4, а), что может спровоцировать больший износ калибров в местах больших значений анализируемой величины. В случае прокатки в последней клети получены меньшие значения единицы работы сил трения по ширине калибра, в среднем на 10%, для процесса прокатки по варианту II (рис. 3, б и 4, б). В процессе прокатки полосы в чистовом калибре по варианту I износ валков на дне калибра больший, поскольку в момент захвата полосы валком в круглом калибре контакт полосы с валками происходит только в одном пункте. В момент захвата полосы валком в чистовом калибре в процессе прокатки валка согласно варианту II происходит увеличение длины контакта полосы с валками в плоскости входа в очаг деформации, что обеспечивает более равномерный и меньший износ калибра.

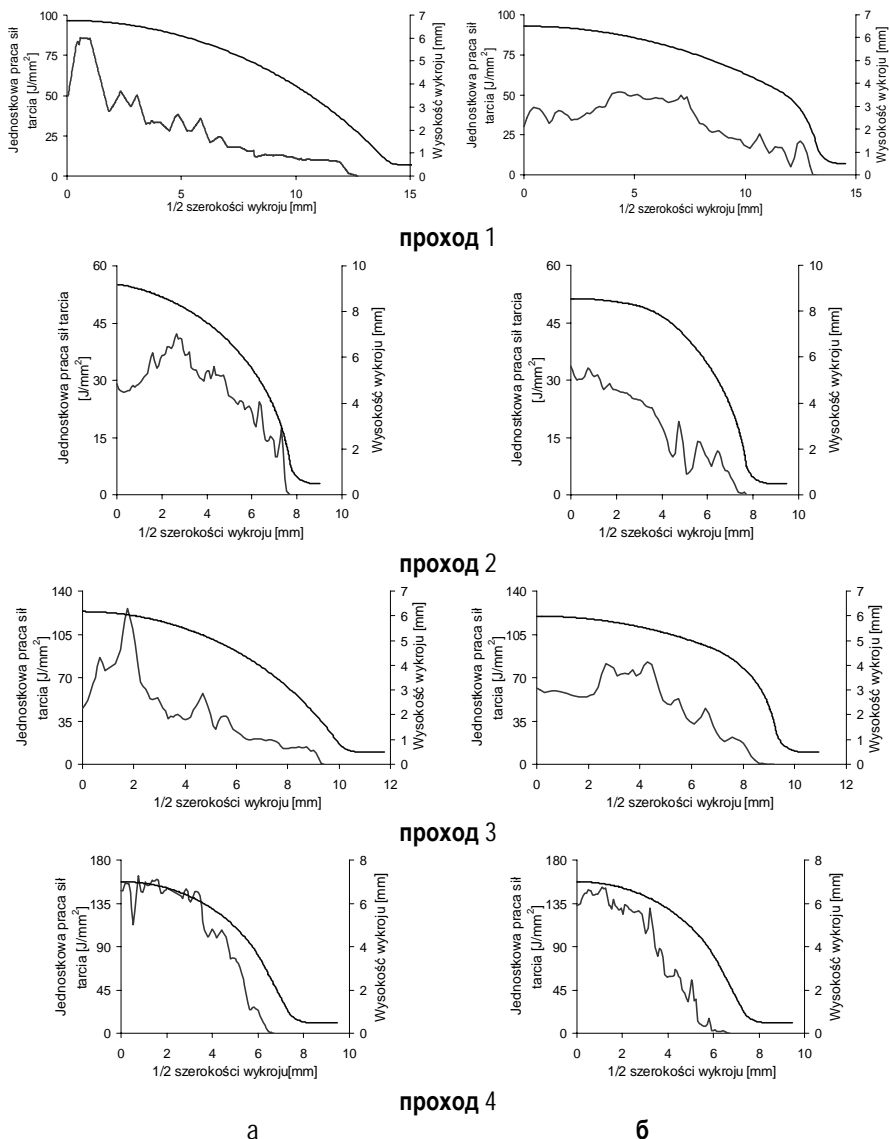


Рис. 3. Распределение единичной работы сил трения по ширине формы в процессе прокатки круглых прутков из стали С45 в: а – классических калибрах (вариант I); б – модифицированных калибрах (вариант II)

На основании полученных результатов математического моделирования можно сделать вывод о том, что благодаря применению модифицированных калибров произошло значительное уменьшение их износа по сравнению с износом классических калибров.

Модель износа, применяемая в компьютерной программе Forge2008®, позволяет дать качественную оценку износа валков, но не количественную. С целью использования результатов математического моделирования с применением упрощенной модели Арчарда для количественной оценки износа валков необходимо определение коэффициента износа и твердости инструмента в функции температуры.

В работах [18, 19] представлена методика определения количественного износа инструмента на основании результатов математических расчетов единицы работы сил трения, полученных с помощью программы Forge2008®.

С целью количественного определения износа инструмента уравнение (3) следует представить в виде

$$V_z = \frac{k_{zuz}}{HV} \int_0^t \sigma_n v_s dt, \quad (5)$$

где HV – твердость по Виккерсу.

Принимая, что в процессе прокатки твердость валков не зависит от их температуры (твердость инструмента в области температур 20-100°C может незначительно изменяться), то выражение $H(T)$ в уравнении (3) можно вынести за знак интеграла. После вынесения выражения $H(T)$ за знак интеграла подинтегральное выражение будет определять единицу работы силы трения. В исследованиях принята твердость стальных валков 400 HV. Такая твердость была принята на основании технической характеристики валков, предоставленной производителем.

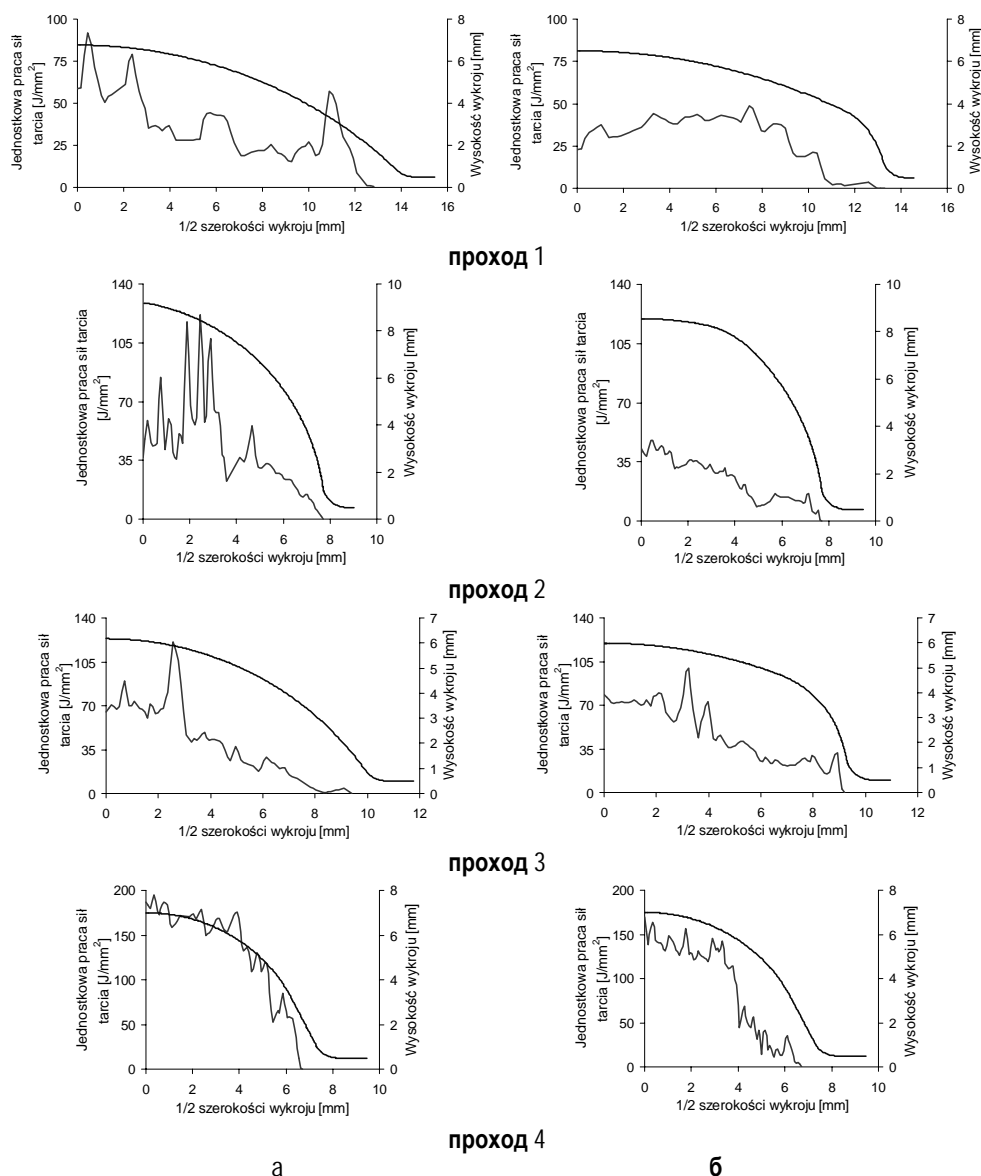


Рис. 4. Распределение единичной работы силы трения по ширине формы в процессе прокатки круглых прутков из стали С45 в: а – классических калибрах (вариант I); б – модифицированных калибрах (вариант II)

В уравнении (5) фактором, существенно влияющим на величину износа, является коэффициент $k_{\text{из}}$. В доступной технологической литературе этот коэффициент, в зависимости от условий работы используемого инструмента, достигает значений от $0,5 \cdot 10^{-5}$ до $0,8 \cdot 10^{-7}$ [$\text{мм}^3 \cdot \text{мм}^{-1} \cdot \text{мм}^{-2}$]. Для определения количественного износа валков с помощью уравнения (5) коэффициент износа $k_{\text{из}}$ согласно расчетам [18] был принят равным $6,74 \cdot 10^{-6}$ [$\text{мм}^3 \cdot \text{мм}^{-1} \cdot \text{мм}^{-2}$]. Подставляя полученные значения единицы силы трения, твердости валка и рассчитанного значения коэффициента износа валков, получены теоретические размеры калибра после прокатки 100 Мг прутков из стали С45. На рис. 5 представлены теоретические размеры калибров после прокатки полосы из стали С45 по вариантам I и II, по сравнению с размерами номинального калибра.

Определение количественного износа готовых калибров (изменения геометрии валков в процессе их эксплуатации) позволило определить массу конечного изделия, который соответствует допускам на размеры. Для стали С45 в процессе прокатки с применением классических калибров (вариант I) максимальная масса прокатанных изделий согласно нормам приемки товара была равна 100 Мг, а для процесса прокатки с применением модифицированных калибров (вариант II) была равной 110 Мг. Для стали X2CrNi19-11 для процесса проката в чистовой клети для варианта I масса прокатанных прутков составила 70 Мг, для варианта II – 86 Мг. На меньшую массу прокатанных прутков из стали X2CrNi19-11 повлияло большее значение единицы силы трения по ширине калибра, которая зависит от большего значения пластических напряжений этой стали по сравнению со сталью С45 [13].

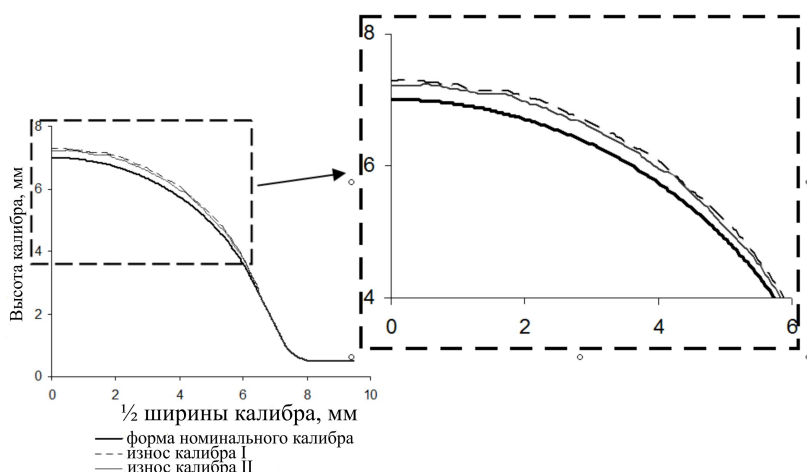


Рис. 5. Износ чистого калибра в процессе прокатки прутков из стали С45 согласно вариантам I и II

5. Заключение

В статье представлены результаты теоретических исследований процесса прокатки круглых прутков диаметром 14 мм из стали С45 и Х2CrNi19-11 с применением двух схем калибровки. На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что прокатка круглых прутков с применением модифицированных калибров влияет на уменьшение износа на 10-20% по сравнению с прокаткой в классических калибрах. Благодаря этому можно увеличить время работы валков, сократить время простоев и снизить стоимость регенерации валков. Меньший единичный износ валков в процессе прокатки в модифицированных калибрах в расчете на массу готовых изделий повлияет на снижение стоимости продукции круглых прутков в непрерывных станах.

Список литературы

1. Byon S.M., Kim S.I., Lee Y. A semi analytical model for predicting the wear contour in rod rolling process. *J. Mat. Proc. Technology*, vol. 191, 2007, pp. 306-309.
2. Danchenko V., Dyja H., Lesik L., Mashkin L., Milenin A.: Technologia i modelowanie procesów walcowania w wykrojach. *Politechnika Częstochowska, Metalurgia*, Częstochowa, 2002, no. 28.

Сведения об авторах

Дья Хенрик – д-р техн. наук, проф. кафедры обработки металлов давлением и инженерии безопасности, Факультет инженерии процессов, материалов и прикладной физики, Ченстоховский технологический университет, Польша. E-mail: dyja@wip.pcz.pl.

Сыгут Мариола – докторант кафедры обработки металлов давлением и инженерии безопасности, Факультет инженерии процессов, материалов и прикладной физики, Ченстоховский технологический университет, Польша.

3. Mróz S., Szota P., Stefanik A.: Numeryczne modelowanie zużycia wykrojów podczas walcowania kształtownika tebkowego HP 220. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji*, vol. 30, no 3, 2010, pp. 160-168.
4. Chenot J.L., Fourment L., Coupez T., Ducloux R., Wey E.: *Forging and Related Technology*. Birmingham, 1998, p. 113.
5. Hoff N.J. Approximate Analysis of Structures in the Presence of Moderately Large Steps Deformation. *Quart. Appl. Mech.*, 1954, 2, p. 49.
6. Norton F.H. *Creep of Steel at High Temperature*. McGraw Hill, New York, 1929.
7. Kocańda A. Określenie trwałości narzędzia w obróbce plastycznej metali. *Informatyka w technologii metali*, praca zbiorowa. Ed. A. Pieli, F. Grosmana, J. Kusiaka, M. Pietrzyka, Gliwice 2003, pp. 148-188.
8. Archard J. F. Contact and rubbing of flat surfaces. *Journal of Applied Physics*, vol. 24, no. 8, 1953, pp. 981-988.
9. Gavrus A, Massoni E, Chenot J.L. An inverse analysis using a finite element model for identification of rheological parameters. *Journal of Materials Processing Technology*, 1996, vol. 60, p. 447.
10. Lesik L., Dyja H., Mróz S.: Inter-stand deformation of strip during the rolling process. *The Chinese Society for Metals CSM 2001 Annual Meeting Proceedings*, Beijing, 2001, pp. 350-354.
11. Sygut M.: Teoretyczno doświadczalna analiza procesu walcowania w modyfikowanych wykrojach wydłużających. Praca doktorska, Częstochowa, 2011.
12. Lesik L., Mróz S., Dyja H.: Wytwarzanie prętów okrągłych w zawężonym zakresie tolerancji wymiarowej. *Materiały Konferencyjne II Międzynarodowej Sesji Naukowej pt.: Nowe technologie i osiągnięcia w metalurgii i inżynierii materiałowej*. Seria: Metalurgia nr 19, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2001, pp. 65-68.
13. Dyja H., Mróz S., Sygut P., Sygut M. Technologia i modelowanie procesu walcowania prętów okrągłych o zawężonej tolerancji wymiarowej, Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej Politechniki Częstochowskiej, Seria: Monografie, no. 27, Częstochowa, 2012.
14. Dyja H., Sygut M. Wpływ zastosowania wykrojów modyfikowanych na parametry siłowe występujące podczas walcowania prętów okrągłych. *Hutnik-Wiadomości hutnicze*, 2012, no. 5, pp. 308-311.
15. Sygut M., Kawalek A., Dyja H. Ekonomiczny aspekt wykorzystania wykrojów modyfikowanych podczas walcowania prętów okrągłych. *Materiały Konferencyjne XVI Konferencji Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*, Zakopane 2013, pp. 677-686.
16. Celikov A. I., Grishkov A. I. *Teorija prokalki*. Metallurgija, Moskva, 1970.
17. Mróz S. Proces walcowania prętów z wzdluznym rozdzieleniem pasma. *Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Seria MONOGRAFIE*, no. 138, Częstochowa, 2008.
18. Szota P., Mróz S., Stefanik A., Dyja H. Numerical modelling of the working rolls wear during rods rolling process. *Archives of Metallurgy and Materials*, 2/2011 (vol. 56.), pp. 495-501.
19. Szota P., Mróz S., Stefanik A.: Numeryczne modelowanie zużycia ciagadel podczas ciągnięcia drutu okrągłego. *Hutnik-Wiadomości hutnicze*, 2011, no. 1, pp. 138-141.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THEORETICAL ANALYSIS OF GAUGES WEAR IN ROLLING OF ROUNDS

Dyja Henryk – Full Professor, Dr.Sc., Faculty of Materials Processing Technology and Applied Physics, Institute of Modeling and Automation of Plastic Working Processing, Czestochowa University of Technology (CUT), Poland. E-mail: dyja@wip.pcz.pl.

Sygut Mariola – doktorant, Department of Production Management and Logistics, Division of Production Management, Czestochowa University of Technology (CUT), Poland.

Abstract. This paper is considered mathematical modeling of rounds 14 mm diameter made of steel C45 and X2CrNi19-11 taking into account the impact of the applied roll passes design on gauges wear. Computer program Forge 2008 ®, based on the finite element

method (FEM), which allows to simulate thermomechanical rolling processes in triaxial state of deformation, was used for theoretical studies. Archard simplified model was applied to the wear model in computer program Forge 2008 ®.

Thanks to the use of new technology, the metal pressure force on the rolls in modified moulds in rolling of rounds has decreased, that resulted in 10-20% reduction of work rolls wear-out.

Keywords: rounds, roll pass design, mathematical modeling, finite-element method.

References

- Byon S. M., Kim S. I., Lee Y. A semi analytical model for predicting the wear contour in rod rolling process. *J. Mat. Proc. Technology*, vol. 191, 2007, pp. 306-309.
- Danchenko V., Dya H., Lesik L., Mashkin L., Milenin A.: Technologia i modelowanie procesów walcowania w wykrojach. *Politechnika Częstochowska, Metalurgia*, Częstochowa, 2002, no. 28.
- Mróz S., Szota P., Stefanik A.: Numeryczne modelowanie zużycia wykrojów podczas walcowania kształtownika łebkowego HP 220. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatyki*, vol. 30, no 3, 2010, pp. 160-168.
- Chenot J.L., Fourment L., Coupeux T., Ducloux R., Wey E.: *Forging and Related Technology*. Birmingham, 1998, p. 113.
- Hoff N.J. Approximate Analysis of Structures in the Presence of Moderately Large Steps Deformation. *Quart. Appl. Mech.*, 1954, 2, p. 49.
- Norton F.H. Creep of Steel at High Temperature. McGraw Hill, New York, 1929.
- Kocańda A. Określenie trwałości narzędzia w obróbce plastycznej metali. *Informatyka w technologii metali*, praca zbiorowa. Ed. A. Pieli, F. Grosmana, J. Kusiaka, M. Pietrzyka, Gliwice 2003, pp. 148-188.
- Archard J. F. Contact and rubbing of flat surfaces. *Journal of Applied Physics*, vol. 24, no. 8, 1953, pp. 981-988.
- Gavrus A, Massoni E, Chenot J.L. An inverse analysis using a finite element model for identification of rheological parameters. *Journal of Materials Processing Technology*, 1996, vol. 60, p. 447.
- Lesik L., Dya H., Mróz S.: Inter-stand deformation of strip during the rolling process. *The Chinese Society for Metals CSM 2001 Annual Meeting Proceedings*, Beijing, 2001, pp. 350-354.
- Sygut M.: Teoretyczno doświadczalna analiza procesu walcowania w modyfikowanych wykrojach wydłużających. Praca doktorska, Częstochowa, 2011.
- Lesik L., Mróz S., Dya H.: Wytwarzanie prętów okrągłych w zawężonym zakresie tolerancji wymiarowej. *Materiały Konferencyjne II Międzynarodowej Sesji Naukowej pt.: Nowe technologie i osiągnięcia w metalurgii i inżynierii materiałowej*. Seria: Metalurgia nr 19, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2001, pp. 65-68.
- Dya H., Mróz S., Sygut P., Sygut M. Technologia i modelowanie procesu walcowania prętów okrągłych o zawężonej tolerancji wymiarowej. *Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej Politechniki Częstochowskiej*, Seria: Monografie, no. 27, Częstochowa, 2012.
- Dya H., Sygut M. Wpływ zastosowania wykrojów modyfikowanych na parametry siłowe występujące podczas walcowania prętów okrągłych. *Hutnik-Wiadomości hutnicze*, 2012, no. 5, pp. 308-311.
- Sygut M., Kawalek A., Dya H. Ekonomiczny aspekt wykorzystania wykrojów modyfikowanych podczas walcowania prętów okrągłych. *Materiały Konferencyjne XVI Konferencji Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*, Zakopane 2013, pp. 677-686.
- Celikov A. I., Grishkov A. I. *Teorija prokalki*. Metallurgija, Moskva, 1970.
- Mróz S. Proces walcowania prętów z wzdłużnym rozdzieleniem pasma. *Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej*, Seria MONOGRAFIE, no. 138, Częstochowa, 2008.
- Szota P., Mróz S., Stefanik A., Dya H. Numerical modelling of the working rolls wear during rods rolling process. *Archives of Metallurgy and Materials*, 2/2011 (vol. 56), pp. 495-501.
- Szota P., Mróz S., Stefanik A.: Numeryczne modelowanie zużycia ciągnadeł podczas ciągnięcia drutu okrągłego. *Hutnik-Wiadomości hutnicze*, 2011, no. 1, pp. 138-141.

УДК 621.777

Розов Ю.Г.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ВОЛОЧЕНИЯ ТРУБЧАТОЙ ЗАГОТОВКИ НА ПРОФИЛЬНОЙ ОПРАВКЕ В КОНИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ

Аннотация. Ствол стрелкового оружия требует особой тщательности при проектировании и изготовлении, в особенности при профилировании внутренней полости так называемого канала ствола. Изготовление стволов методами пластической деформации в настоящее время достаточно актуально. Однако традиционные аналитические методы анализа не позволяют получить точные расчеты основных параметров технологических процессов изготовления стволов. В данной работе представлены результаты компьютерного моделирования процесса формообразования внутренней поверхности ствольной заготовки полигонального профиля волочением в гладкой конической матрице с фиксацией (центрированием) заготовки по калибрующему пояску с помощью метода конечных элементов.

Ключевые слова: моделирование, волочение, трубчатая заготовка, профильная оправка, ствол, канал ствола, профиль,

Одной из важных задач механики деформируемого твердого тела является исследование напряженно-деформированного состояния материалов при формообразовании прецизионных трубчатых заготовок с заданным внутренним профилем.

Особое значение эти задачи приобретают в современном оружейном производстве, где в настоящее время широко используются методы пластического деформирования при изготовлении такой сложной и ответственной детали с повышенными эксплуатационными свойствами, как ствол стрелкового оружия.

Ствол стрелкового оружия – это самая важная и ответственная деталь, непосредственно в которой, за счет тепловой энергии от сгорания порохового заряда, определяются параметры внутренней баллистики: линейная и угловая скорость пули при ее движении в канале ствола, направление и начальная скорость пули в момент ее вылета из ствола. Поэтому ствол требует особой тщательности при проектировании и изготовлении.

Каналы стволов (внутренние полости стволов) по

своему строению примерно одинаковы и отличаются лишь патронником, количеством и формой нарезов, или дорожек (полигонов).

Полигональный профиль – это профиль, который в поперечном сечении ствола имеет форму одной из геометрических фигур. Наибольшее распространение получили стволы с шестиугольным профилем (рис. 1). В настоящее время применена в пистолете «Глок», пистолете-пулемете «Эльф» конструкции КБ СТ (Украина), пистолете-пулемете «Каштан» (Российская Федерация) и др.

Получить профиль ствола полигонального типа можно волочением через гладкую коническую матрицу ствольной заготовки на профильной подвижной оправке (рис. 2).

Задача определения тянущего усилия при волочении трубы на подвижной оправке решалась многими исследователями: в Германии – Е. Зибелем, А. Гелеи, в СССР – П.Т. Емельяненко, Л.Е. Альшевским, С.И. Губкиным, И.Л. Перлиным [1-3 и др.].