

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАССЫ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ РОЛИКОВ НА ЭНЕРГО-СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВО ВРЕМЯ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ С ПРОДОЛЬНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ ПОЛОСЫ

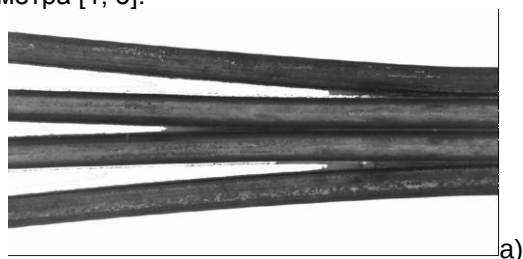
С.А. Мроз, П.Л. Шота, Х.С. Дыя, А.А. Кавалек

В работе проведен теоретический анализ влияния массы разделительных роликов на энерго-силовые параметры во время процесса прокатки ребристых прутков диаметром 8 мм по четырехжильной технологии. Числовое моделирование процесса прокатки прутков с продольным разделением полосы в прокатной цепи проделано с использованием компьютерной программы Forge2007®, основанной на методе конечных элементов.

Ключевые слова: прокатка-разделение, энерго-силовые параметры, числовое моделирование, МКЭ

Одним из факторов, влияющих на правильный процесс прокатки ребристых прутков с продольным разделением полосы в прокатной цепи, является масса разделительных роликов. Роликовое разделяющее оборудование отличается не только конструкцией, но и своей массой. В настоящее время наблюдается стремление к проектированию разделительных роликов с как можно меньшей массой, гарантирующей правильное разделение многожильной полосы (рис. 1а) [1, 2]. Слишком большая масса роликов может быть причиной появления уменьшения продольной стабильности полосы на отрезке между клетью рабочих валков и разделительными роликами (рис. 1б).

Влияние массы разделительных роликов является особенно важным во время удара полосы в разделительные ролики и введения их во вращение, так как в это время появляется локальное увеличение момента и силы прокатки. Применение направленной формы разделительных роликов, а также плохой конструкции роликового оборудования может стать причиной потери продольной стабильности (продольного изгиба) полосы, особенно во время прокатки прутков самого маленького диаметра [1, 3].



а)



продольный изгиб б)

Рисунок 1 - Примеры формы полосы: а) правильная и б) неправильно разделенная во время четырехжильной прокатки ребристых прутков диаметром 12 мм [1, 8]

В работе проведен теоретический анализ влияния массы разделительных роликов на энерго-силовые параметры во время процесса прокатки ребристых прутков диаметром 8 мм по четырехжильной технологии [5]. Числовое моделирование процесса прокатки прутков с продольным разделением полосы в прокатной цепи проделано с использованием компьютерной программы Forge2007® [4], основанной на методе конечных элементов.

Для симуляции трехосевого пластического течения металла во время прокатки в режущих калибрах сделано математическую модель, в которой механическое состояние деформируемого материала описано с помощью закона Нортон-Хоффа [9, 10]:

$$S_{ij} = 2K_0(\varepsilon + \varepsilon_0)^{n_0} \cdot e^{(-\beta_0 \cdot T)} (\sqrt{3}\dot{\varepsilon})^{m_0-1} \dot{\varepsilon}_{ij} \quad (1)$$

где: S_{ij} – девиатор тензора напряжений, $\dot{\varepsilon}$ – интенсивность скорости деформации, $\dot{\varepsilon}_{ij}$ – тензор скорости деформации, ε – интен-

сивность деформации, ε_0 – начальная деформация, T – температура, K_0 , m_0 , n_0 , β_0 – материальные постоянные, касающиеся характеристических свойств данного материала.

Суммарное усилие нажима металла на валки и разделительные ролики определено методом числового полного нормального напряжения к поверхности инструмента по поверхности соприкосновения каждого конечного элемента с валком:

$$F = \int_{S_d} \sigma_n dS_d = \sum_{e=1}^{N_e} \int_{S_e} \sigma_{ne} dS_e \quad (2)$$

где: σ_n – нормальное напряжение к поверхности инструмента, σ_{ne} – нормальные напряжения действующие на поверхности S_e каждого конечного элемента, соприкасающегося с инструментом, S_d – поле поверхности проекции соприкосновения металла (многожильной полосы) с инструментом (рабочими валками, разделительными роликами), S_e – поле поверхности конечного элемента, соприкасающегося с инструментом, e – конечный элемент, соприкасающийся с инструментом, N_e – количество конечных элементов, соприкасающихся с инструментом (валками или разделительными роликами).

Суммарное усилие, необходимое для пластической деформации металла определено в зависимости:

$$P = \int_V \left(\int_0^{\dot{\varepsilon}} \sigma_p(\dot{\varepsilon}) d\dot{\varepsilon} \right) dV \quad (3)$$

где: σ_p – пластикационное напряжение, $\dot{\varepsilon}$ – интенсивность скорости деформации, V – объем деформируемой зоны.

Для теоретического анализа прокатки с разделением полосы принято: диаметр валков $D = 350$ мм, $D_{rr} = 105$ мм. Кроме того, для симуляции принято следующие исходные данные: температура инструмента – 60°C ; температура окружения – 20°C ; коэффициент трения – 0,3; коэффициент теплообмена между материалом и инструментом – $\alpha_{\text{инстр}} = 3000$ [W/Км²]; коэффициент теплообмена между материалом и воздухом – $\alpha_{\text{возд}} = 100$ [W/Км²]. Температуру прокатываемой полосы в режущих калибрах определено на основании измерений, сделанных с помощью термовизионной камеры в промышленных условиях. Средняя температура прокатываемой полосы составляла ок 940°C . Реальные оборотные скорости валков определено на основании проведенных электромеханиче-

ских исследований стана привода валков. Скорость прокатки в клети 16 (разрезающий калибр) составила 8,7 м/с. Для исследований использовалась сталь BSt500S, химический состав которой представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав стали, использованной для исследований, [%]

Сорт стали	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V
BSt500S	0,2	1,4	0,4	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,1
	1	4	5	4	4	5	5	5	3

В настоящее время для разделения многожильной полосы чаще всего используются два вида разделительных роликов, форма которых показана на рис.2. Представленные на этом рисунке разделительные ролики характеризуются однолитой конструкцией, а отличаются только шириной. Разная масса роликов типа А и типа В вытекает из их конструкции. В обоих типах угол раскрытия роликов для разделения внешних жил, как и для разделения внутренних жил составляет 90° .

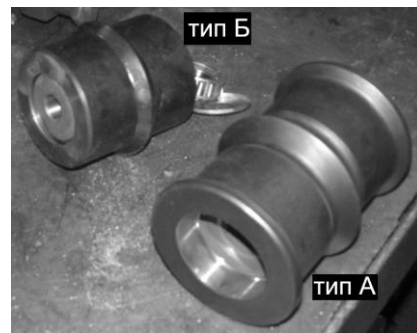


Рисунок 2 - Примерная форма роликов для разделения внутренних жил [2, 8]

С целью дальнейшего уменьшения массы разделительных роликов была разработана новая их форма (рис. 3)

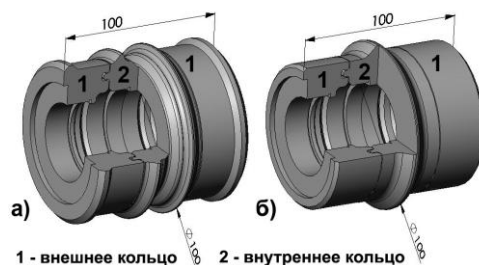


Рисунок 3 - Форма новых разделительных роликов (тип А Б С): а) ролик, разделяющий внешние жилы, б) ролик, разделяющий внутренние жилы [8]

Новые разделительные ролики характеризуются такими же внешними размерами,

как и ролики типа В. Новое решение, ранее не встречавшееся в промышленной практике, основывалось на разделении монолитного ролика на три отдельные кольца. Во время проектирования новых роликов предполагалось, что во время разделения полосы только ножевая часть будет соприкасаться с продвигающейся полосой. А цилиндрические части роликов практически не принимают участия в разделении полосы. Поэтому новые ролики состоят из трех, вращающихся независимо колец. Среднее кольцо отвечает размерами ножевой части, а два внешних кольца отвечают размерами гладким частям роликов используемых до сих пор. Благодаря такому решению получено дополнительное уменьшение массы разделительных роликов при одновременном сохранении внешних размеров роликов типа В. Новую, кольцеобразную конструкцию роликов типа С можно применять для разделяющего оборудования типа В.

В таблице 2 представлены массы роликов, используемых до сих пор и роликов новой конструкции.

Таблица 2. Типы и масса роликов, используемых для разделения полосы

Тип ролика	Масса роликов [г]	
	Ролик для разделения внешних жил (1)	Ролик для разделения внутренних жил (2)
Тип А	6200	5700
Тип Б	4050	3600
Новый (тип В)	1300	1200

Самую большую массу имеют ролики типа А. Ролики типа В имеют массу на 36% меньше, чем ролики типа А. Запроектированный ролик типа С имеет массу на 80%, по сравнению с массой роликов типу А и на 68% меньшую по сравнению с роликом типа В. Такое значительное уменьшение массы ролика следовало из применения трех, независимо вращающихся колец. Из данных, находящихся в таблице 2 следует, что масса роликов используемых до сих пор зависит в основном от их цилиндрических частей, которые необходимы для ведения полосы после разделения.

Используя три типа разделительных роликов были проделаны числовые расчеты процесса четырехжильной прокатки и разделения прутков диаметром 8 мм. Из-за того,

что масса роликов особо не влияет на установленный процесс прокатки полосы а режущим калибре, а также то, что ход изменений моментов и силы во время прокатки и разделения полосы одинаковы, а отличаются только полученными величинами [1, 6, 7], отсюда на рис. 4 показан только фрагмент хода изменений силы прокатки для двух неустановленных этапов разделения полосы (удар полосы в первую и вторую пару роликов вводит их во вращение), во время которых сила в большой степени зависит от массы разделительных роликов.

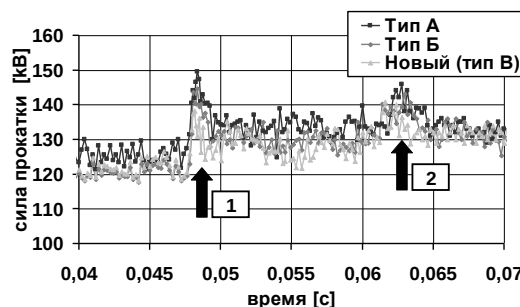


Рисунок 4 - Ход изменений силы прокатки во время разделения жил внешних – 1 и внутренних – 2

Из данных, представленных на рис.4 следует, что увеличенный отбор силы прокатки встречается во время удара полосы в рабочие поверхности разделительных роликов, характеризующихся большей массой.

Наиболее нестабильными этапами во время разделения полосы являются такие, во время которых полоса соприкасается с разделяющими внешние жилы роликами, а затем, когда полоса соприкасается с разделяющими внутренние жилы роликами и когда эти ролики приводятся во вращение. Во время этих этапов уменьшается величина силы прокатки, как при разделении с помощью роликов В, так и роликов типа С (новых), по сравнению с величиной силы для роликов типа А. Во время неустановленных этапов разделения полосы появляются локальные приросты величины силы прокатки (рис.4). Величина этих приростов зависит от угла раскрытия рабочих поверхностей, расстояния между роликами, а также от массы роликов [1, 2, 6, 7].

Результаты числовых исследований процесса четырехжильной прокатки в режущем калибре находятся в таблице 3.

Наиболее нестабильными этапами во время разделения полосы являются такие, во

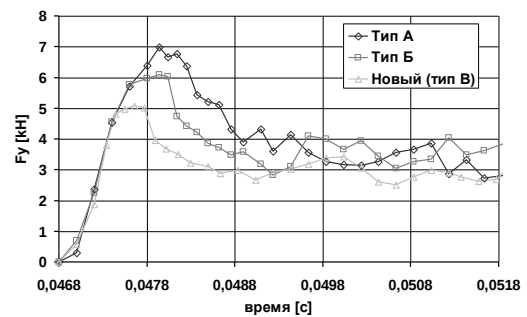
время которых полоса соприкасается с разделяющими внешние жилы роликами, а затем, когда полоса соприкасается с разделяющими внутренними жилы роликами и когда эти ролики приводятся во вращение. Во время этих этапов уменьшается величина силы прокатки, как при разделении с помощью роликов В, так и роликов типа С (новых), по сравнению с величиной силы для роликов типа А (таблица 3).

Таблица 3. Сила прокатки во время четырех-жильной прокатки ребристых прутков диаметром 8 мм в режущей клетке

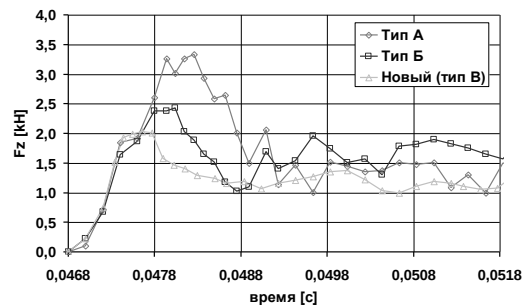
Тип разделяющих роликов	Средняя величина силы прокатки [кВ]		
	Первая пара разделяющих роликов* N_I	Вторая пара разделяющих роликов** N_{II}	Относительная разница необходимой силы [%] $(N_I - N_{II})/N_I$ 100%
А	143,07	140,23	2,0
Б	138,00	137,49	0,4
Новый В	131,83	133,41	1,2
(А-Б / А) 100%	3,5	2,0	
(А-В / А) 100%	7,9	4,9	
(Б -В/Б) 100%	4,5	3,0	

где: * – неустановленный процесс разделения внешних жил, ** – неустановленный процесс разделения внутренних жил.

Во время неустановленных этапов разделения полосы появляются локальные приросты величины момента и силы прокатки (рис. 4) Величина этих приростов зависит от угла раскрытия рабочих поверхностей рабочих валков в разделяющих роликах, расстояния между роликами, а также от массы роликов. Моментальное увеличение величины момента и силы прокатки вызваны локальным увеличением суммарного усилия нажима металла на разделяющие валки. В работе на основании теоретических исследований определены составные величины суммарного усилия нажима металла на ролики (вертикальный F_y и параллельный F_z к направлению прокатки) во время неустановленного и установленного процесса разделения, для 3 типов разделяющих роликов (рис. 5-6).



а)



б)

Рисунок 5 - Изменения составляющей вертикальной F_y – а) и параллельной F_z – б) суммарного усилия нажима металла на разделительные ролики во время разделения внешних жил

На разделительные ролики действуют силы вертикальные F_y и параллельные (продольные) F_z до направления прокатки. На полученных ходах сил (рис. 5-6) можно выделить 2 характерные этапа разделения полосы. Первый этап (неустановленный), во время которого наступает моментальный рост величины суммарного усилия нажима металла на разделительные ролики, длится 0,11 с и является суммой времени ок. 0,048 с, когда наступает удар полосы в первую пару разделительных роликов. Второй этап (установленный) выступает между 0,0488 и 0,0518 секундой длительности процесса и между 0,0624 и 0,0654 секундой длительности процесса, что отвечает установленному процессу разделения (величина силы нажима значительно уменьшилась, независимо от массы разделительных роликов). Локальные увеличения величины обеих составляющих силы нажима металла на ролики отвечают локальным приростам величины силы прокатки (рис. 4).

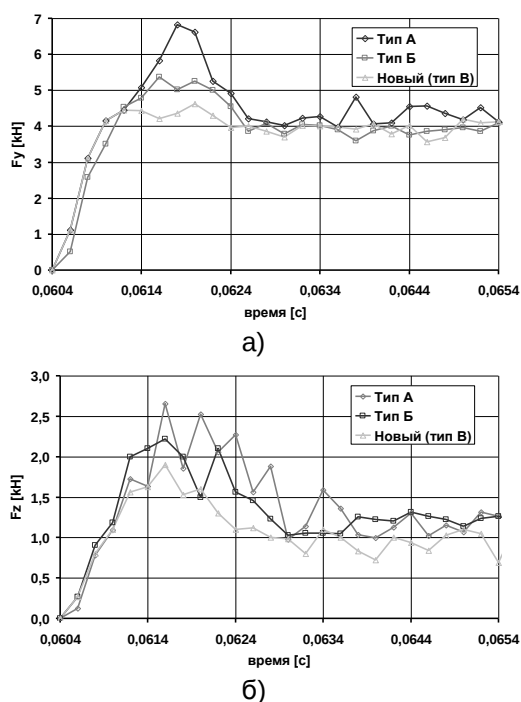


Рисунок 6 - Изменение составляющей вертикальной F_y – а) и параллельной F_z – б) суммарного усилия нажима металла на разделительные ролики во время разделения внутренних жил

Из данных, представленных на рис. 5-6 следует, что величина вертикальной составляющей F_y суммарного усилия нажима металла на ролики ок. 2 раза больше, чем величина составляющей F_z параллельной. Погрешности правильного хода процесса разделения и потеря продольной стабильности (продольный изгиб) полосы или отдельной жилы, и в результате перемещение полосы или жилы за линию прокатки [2], может наступить в результате локального увеличения величин продольных сил (согласных с направлением прокатки), появляющихся во время неуставленных этапов разделения.

На основании представленных в настоящей работе результатов теоретических исследований можно сказать, что для разделения полосы на отдельные жилы следует использовать ролики с как можно меньшей массой, так как благодаря этому, величина силы прокатки значительно уменьшается, что влияет на увеличение устойчивости полосы на продольную потерю стабильности на отрезке между клетью рабочих валков и NRR. Применяя NRR с меньшей массой влияет на значительное улучшение стабильности процесса прокатки с разделением.

Кроме того, уменьшение массы разделительных роликов дает возможность изготавливать по четырехжильной технологии прутки диаметром менее 8 мм, что в настоящее время является весьма трудным или невозможным при использовании роликов, характеризующихся большей массой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mróz S.: Examination of the effect of slitting roller shape on band slitting during the multi slit rolling process, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 26, Issue 2, February 2008, p. 167-170.
2. Mróz S.: Proces walcowania prętów z wzdluznym rozdzielaniem pasma, Wydawnictwo Politechniki Czestochowskiej, Seria: Monografie nr 138, Czestochowa 2008.
3. Zhuchkov S.M i inni: Neprivodnye delitelnye ustrojstva v processe prokatki-razdelenija, Udoskonalenie Procesiv ta Obladannja Obrobutki Tiskom v Metalurgij i Mashinobuduvanii. (DDMA), Kramatorsk 2000, s. 77-81.
4. FORGE3® Reference Guide Release 6.2, Sophia-Antipolis, November 2002.
5. Dyja H i inni: Optymalizacja i uruchomienie nowej technologii walcowania prętów z wzdluznym rozcinaniem pasma w ciagu walcowniczym, Politechnika Czestochowska, 2006.
6. Mróz S., Stefanik A., Dyja H.: The application of the inverse method for determination of slitting criterion parameter during multi slit rolling (MSR) process, Journal of Materials Processing Technology Vol. 177, (2006), pp. 493-496.
7. Mróz S.: Analiza parametrów siłowych podczas rozdzielania pasma w rolkach rozdzielających w procesie walcowania, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, Nr 7, (2009), s. 491-493.
8. Mróz S., Szota P., Dyja H.: Nowa generacja rolek rozdzielających do walcowania prętów z wzdluznym podziałem pasma, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, Nr 5, 2010, s. 220-222.
9. Norton F.H.: Creep of Steel at High Temperature, McGraw Hill, New York, 1929.
- Hoff N.J.: Approximate Analysis of Structures in the Presence of Moderately Large Steps Deformation, Quart., Appl. ech., 2, 1954, 49.

Мроз С.А., д.т.н.,
Шота П.Л., к.т.н.,
Дыя Х.С., профессор,
Кавалек А.А., д.т.н.-
 Политехнический Институт, г. Ченстохова, Польша, mroz@wip.pcz.pl