

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ И ИЗГИБА ПОЛОСЫ ПРИ ПРОКАТКЕ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ В ЧИСТОВОЙ КЛЕТИ

Павел Шиинский, Анна Кавалек, Хенрик Дзя, Марчин Кнапиньский,
Ченстоховский Технологический Университет, Факультет инженерии процессов, материалов и
прикладной физики, кафедра обработки металлов давлением и инженерной безопасности
ал.Армии Краевой 19, 42-200 Ченстохова, Польша

1. Введение

С целью улучшения качества горячекатаных толстых листов и плит кроме всего прочего проводят нормализующую прокатку, прокатку с ускоренным охлаждением и новые системы формообразования очага деформации. Внедрение этих систем сопровождается повышенной нагрузкой прокатных клетей и рабочего инструмента, т.е. валков. Другим классическим решением этой проблемы является применение асимметричного процесса прокатки, который заключается в целенаправленном изменении состояния напряжения и деформации в очаге деформации и, в отличие от предыдущих технических решений, не влияет на изменение нагрузки приводов, а наоборот, приводит к уменьшению общего давления металла на валки. Контролируемое применение асимметрии позволяет управлять кривизной полосы вне очага деформации [1÷4].

2. Результаты исследований

В работе представлены результаты исследований асимметричной прокатки толстых листов в чистовой клети стана 3600. Исследования проводили с целью определения влияния коэффициента асимметрии на величину давления металла на валки и изгиба полосы на выходе из очага деформации. Для трехмерного математического моделирования пластического течения металла в очаге деформации в процессе симметричной и асимметричной горячей прокатки использовали математическую модель программы FORGE 2008[®]. Эта программа, основанная на методе конечных элементов, позволяет моделировать термомеханические процессы обработки металлов давлением. Результаты, полученные с помощью этого программного обеспечения, были многократно проверены в промышленных условиях [5]. Для исследований был принят диаметр рабочих 970 мм и постоянная окружная скорость вращения $v_d = 80$ об/мин. Моделирование проводили для коэффициентов формы полосы $h_0/D = 0,124$, $h_0/D = 0,072$. Температура прокатки была принята $T = 900^\circ\text{C}$ и 880°C соответственно. Анализ проводили для относительного обжатия от $\varepsilon = 0,05$ до $\varepsilon = 0,25$. Исследования проводили для двух вариантов. В первом случае асимметрию вводили путем уменьшения окружной скорости вращения

верхнего рабочего валка. Во втором случае введено одновременно два вида асимметрии путем:

- уменьшения окружной скорости верхнего рабочего валка,
- уменьшения диаметра нижнего рабочего валка.

Коэффициенты асимметрии окружной скорости вращения рабочих валков $a_v = v_d/v_g$ составили от $a_v = 1,02$ до $a_v = 1,15$, а коэффициент асимметрии диаметра валков $a_d = D_d/D_g = 1,1$. В качестве материала для исследований использовали низколегированную сталь повышенной прочности S355J2G3, химический состав которой представлен в таблице 1. Для математического моделирования приняты данные инженерных отчетов со стана 3600 для горячей прокатки. Результаты исследований представлены на рисунках 1÷4 и в таблице 2.

Таблица 1

Химсостав стали S355J2G3, [%]

Table 1. Chemical composition of steel S355J2G3, [%]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
0,15	1,36	0,33	0,017	0,03	0,05	0,089	0,03	0,23
Al	N ₂	V	Nb	B	Ti	Sn	Ca	Zn
0,03	0,009	0,001	0,002	0,0003	0,002	0,018	0,0007	0,003

3. Обсуждение результатов исследований

3. 1. Влияние коэффициента асимметрии на величину среднего единичного обжатия при применении одного вида асимметрии

На рисунке 1 представлены результаты исследований влияния коэффициента асимметрии a_v на величину средней силы обжатия p_{sr} на 1 мм ширины полосы при асимметричной прокатке для разных значений относительного обжатия ε , при постоянном коэффициенте формы полосы $h_0/D = 0,124$. Из данных, представленных на рисунке 1 видно, что введение асимметрии путем уменьшения окружной скорости верхнего валка практически не повлияло на снижение среднего единичного обжатия, а для максимального исследуемого относительного обжатия $\varepsilon = 0,15$ привело к некоторому его повышению. При значении коэффициента формы полосы $h_0/D = 0,072$ для всех исследуемых обжатий с ростом коэффициента асимметрии произошло небольшое увеличение средней силы давления металла на валки, которое составило от 0,05% до 6,4%.

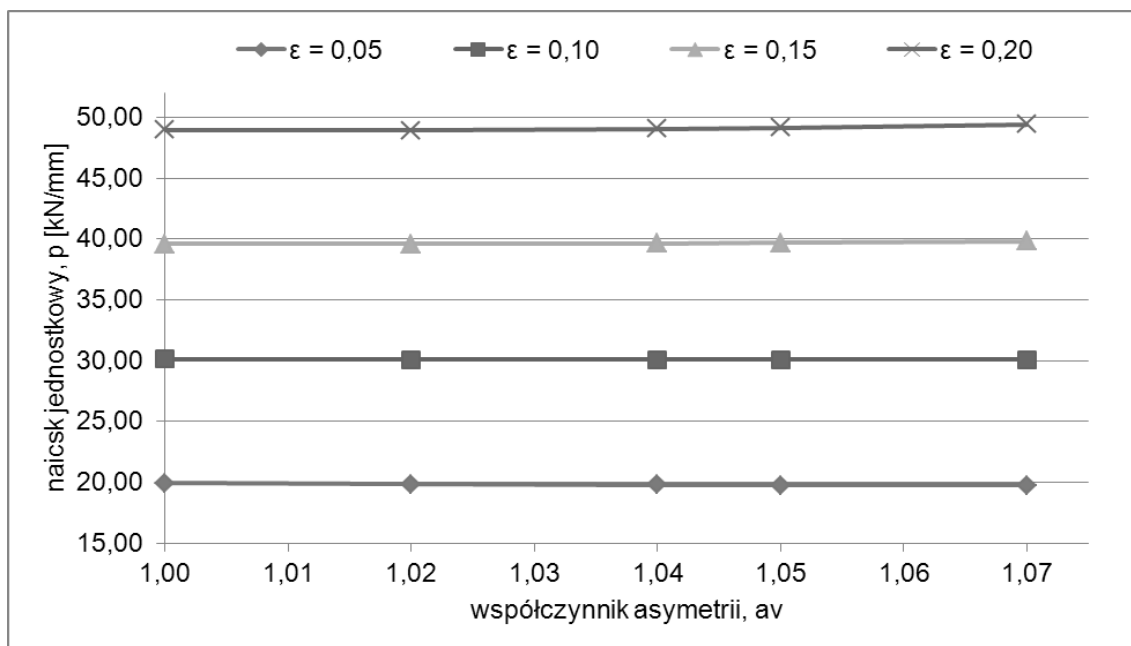


Рис. 1. Влияние коэффициента асимметрии на единичное обжатие при разных значениях величины относительного обжатия ε для коэффициента формы полосы $h_0/D = 0,124$.

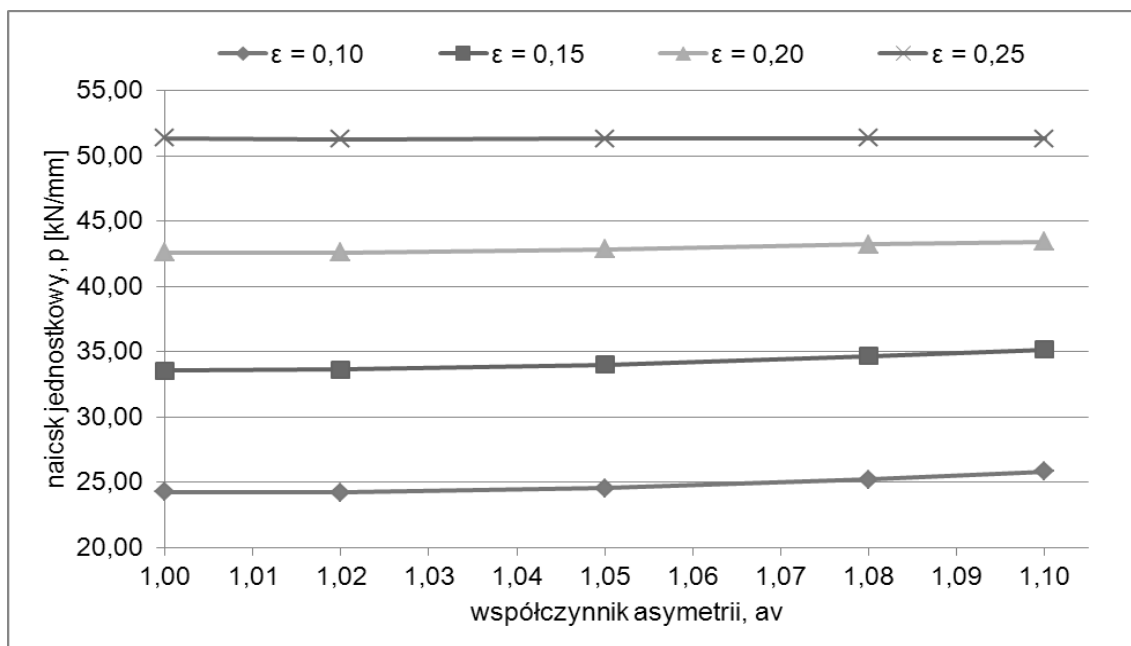


Рис. 2. Влияние коэффициента асимметрии на единичное обжатие при разных значениях относительного обжатия ε для коэффициента формы полосы $h_0/D = 0,072$.

3.2. Влияние коэффициента асимметрии на кривизну полосы при применении одного вида асимметрии

На рисунках 3 и 4 представлено влияние примененного коэффициента асимметрии на кривизну полосы для разной величины относительного обжатия и коэффициентов формы полосы $h_0/D = 0,124$ и $h_0/D = 0,072$. На основании проведенного анализа результатов исследований можно предположить, что для коэффициента формы полосы $h_0/D = 0,124$, для каждого обжатия, независимо от коэффициента асимметрии,

наблюдается увеличение величины кривизны полосы – полоса после выхода из очага деформации к верхнему валку (рис. 3). Для наибольших значений коэффициента асимметрии и относительного обжатия, кривизна полосы настолько большая, что могла бы затруднить правильное введение полосы в следующий проход. Для коэффициента формы полосы $h_0/D = 0,072$ с ростом коэффициента асимметрии для всех исследуемых величин относительного обжатия, также наблюдалось увеличение кривизны полосы.

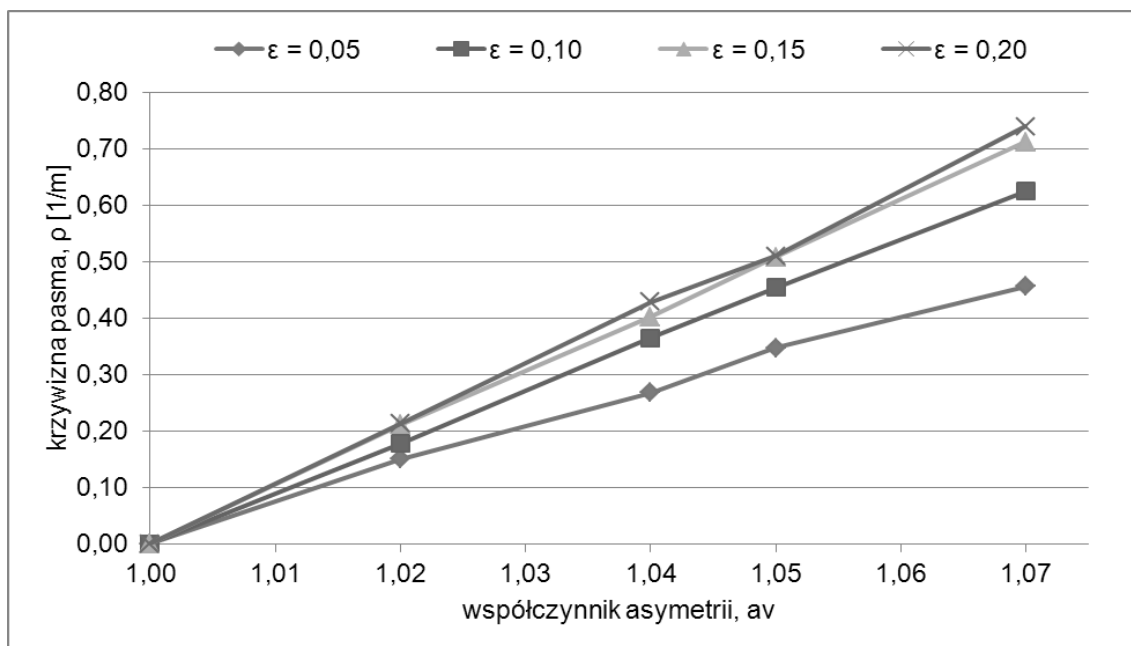


Рис. 3. Влияние коэффициента асимметрии на кривизну полосы для разных значений относительного обжатия ε для коэффициента формы полосы $h_0/D = 0,124$.

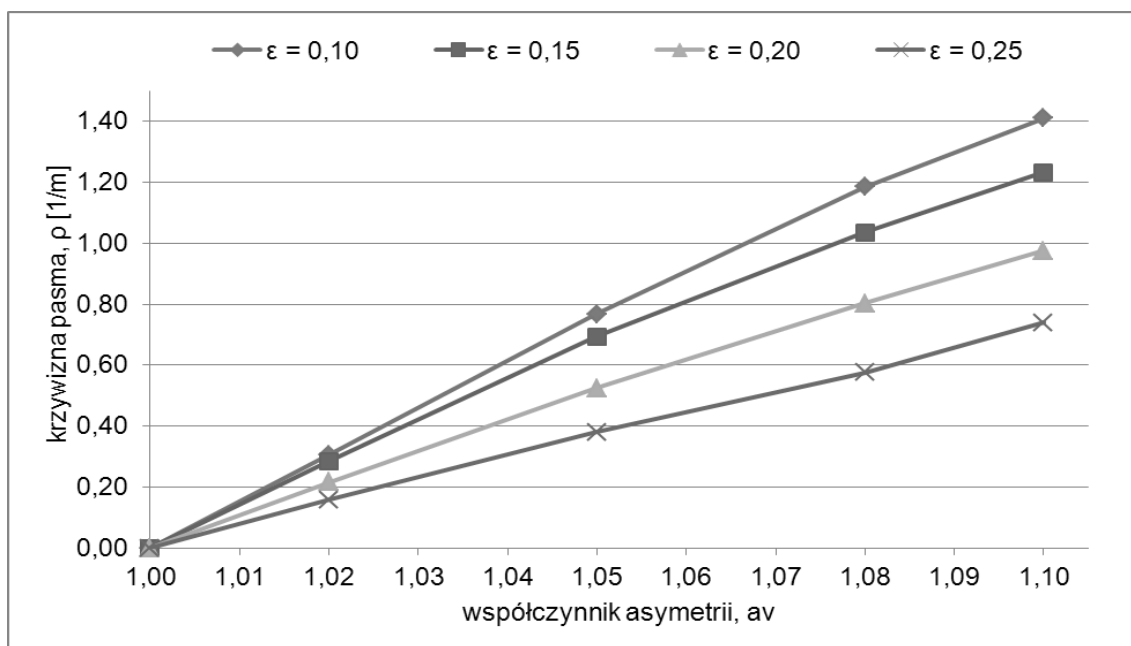


Рис. 4. Влияние коэффициента асимметрии на кривизну полосы для разных значений относительного обжатия ε для коэффициента формы полосы $h_0/D = 0,072$.

3.3. Влияние одновременного применения двух видов асимметрии на величины среднего единичного обжатия и изгиб полосы

В таблице 2 представлены результаты симметричной прокатки с применением одного вида асимметрии (вариант 1) и одновременного

применения двух видов асимметрии (вариант 2) для анализируемых коэффициентов формы полосы. Коэффициент асимметрии окружной скорости вращения верхнего рабочего вала в двух случаях составил $a_v = 1,1$.

Таблица. 2

Выбранные энергосиловые параметры асимметричной прокатки с одновременным применением двух видов асимметрии

	Коэф. формы полосы, h ₀ /D	Относительное обжатие, ε	Кривизна полосы, ρ [1/м]	Обжатие [кН]			Мощность кВт]
				верхний валок	общее [кН]	единичное [кН/мм]	
				нижний валок			
Симметрия	0,124	0,2	0	489,58	979,18	48,96	490,6
				489,6			
Вариант 1			1,16	486,51	969,68	48,48	477,98
				-483,17			
Вариант 2			0,05	468,26	937,65	46,88	438,98
				-469,39			
Симметрия	0,072	0,25	0	256,76	513,53	51,35	206,66
				-256,77			
Вариант 1			1,06	250,4	501,58	50,16	202,16
				-251,17			
Вариант 2			-0,02	244,38	490,38	49,04	184,97
				-246,00			

В варианте 2 дополнительно введен второй вид асимметрии путем изменения диаметра нижнего рабочего вала. Коэффициент асимметрии диаметра валков составил $a_d = D_d/D_g = 1,1$.

Из данных, представленных в таблице 3 следует, что введение дополнительной асимметрии путем уменьшения диаметра нижнего вала для двух исследуемых коэффициентов формы полосы повлияло на снижение величины давления металла на валки. Снижение величины обжатия по сравнению с симметричным процессом прокатки в двух случаях составило 4,5%. Одновременное применение двух видов асимметрии влияет также на снижение мощности прокатки, которая для двух случаев составила 10% по сравнению с симметричным процессом. Следует отметить, что для асимметричного процесса (вариант 1) значения энергосиловых параметров также снизились, однако в значительно меньшей степени. Дополнительным эффектом одновременного применения двух видов асимметрии является возможность получения плоской полосы. Для двух коэффициентов формы полосы получена полоса минимальной кривизны, не затрудняющей введения полосы в следующий проход.

4. Выводы

На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы:

- применение асимметричного процесса прокатки с одним видом асимметрии для коэффициента формы полосы $h_0/D = 0,124$ существенно не влияет на снижение величины среднего единичного обжатия,

- для коэффициента формы полосы $h_0/D = 0,124$ и $h_0/D = 0,072$ увеличение обжатия и коэффициента асимметрии приводит к значительному изгибу полосы на выходе из очага деформации,

- одновременное введение двух видов асимметрии позволяет снизить энергосиловые параметры прокатки независимо от применяемого относительного обжатия, а также позволяет получить прямой лист либо лист с небольшой кривизной.

Список литературы

1. Dyja H., Wilk K.: Asymetryczne walcowanie blach i taśm. Wydawnictwo WMiM Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1998, ISBN 83-87745-05-7.
2. Kawalek A.: Analiza asymetrycznego procesu walcowania blach grubych. Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, Komisja Budowy Maszyn PAN - Oddział w Poznaniu, 2010, vol. 30 nr 1, str. 105-116.
3. Kawalek A.: Wpływ asymetrycznego procesu walcowania na wyginanie się pasma podczas walcowania blach grubych. Hutnik Wiadomości Hutnicze, R LXXV, czerwiec 2008, nr 6, ISSN 1230-3534 s. 288-293.
4. Dyja H., Sałganik A. M., Piesin A. M., Kawalek A.: Asymetryczne walcowanie blach cienkich. Teoria, technologia i nowe rozwiązania, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Seria Monografie nr 137, ISBN 978-83-7193-364-6, 2008, s. 345.
5. Kawalek A., Dyja H., Mróz S., Szota P.: Моделирование прокатки толстых листов с использованием программы FORGE2008®.

Павловские чтения, Вторая научно-техническая конференция посвященная 110-летию со дня рождения член-корреспондента АН СССР Павлова

Игоря Михайловича, ИМЕТ, РАН, 26-27 октября 2010 г., Москва, с. 135-141.