

к.т.н. Боровик П.В.,

д.т.н. Луценко В.А.

(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина borovikpv@mail.ru)

ФАКТОР ТРЕНИЯ В АСИММЕТРИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТА ПРОКАТКИ С УЧЕТОМ ДЕЙСТВИЯ ГРАВИТАЦИИ

Розглянутий вплив тертя на асиметрію розподілу моментів між валками, котра викликана вигином смуги під дією гравітаційних сил. Встановлено, що їх вплив на асиметрію розподілу моменту має місце при певних значеннях фактора форми. Ступінь впливу посилюється по мірі зменшення значення фактора форми аж до переходу моменту на верхньому валку в генераторний режим. При збільшенні значення чинника форми і зменшенні коефіцієнта тертя різниця в умовах контактної взаємодії валків з металом вирівнюється, що за певних умов приводить до симетричного розподілу моменту прокатки.

Ключові слова: *коефіцієнт тертя, сили гравітації, момент прокатки, асиметрія процесу прокатки, напружено-деформований стан, контактні напруження.*

Рассмотрено влияние трения на асимметрию распределения моментов между валками, вызванной изгибом полосы под действием гравитационных сил. Установлено, что их влияние на асимметрию распределения момента имеет место при определенных значениях фактора формы. Степень влияния усиливается по мере уменьшения значения фактора формы вплоть до перехода момента на верхнем валке в генераторный режим. При увеличении значения фактора формы и уменьшении коэффициента трения разница в условиях контактного взаимодействия валков с металлом выравнивается, что при определенных условиях приводит к симметричному распределению момента прокатки.

Ключевые слова: *коэффициент трения, силы гравитации, момент прокатки, асимметрия процесса прокатки, напряженно-деформированное состояние, контактные напряжения.*

Повышение надежности прокатного оборудования зависит от точности расчета энергосиловых параметров прокатки. При этом наиболее часто встречающимся видом аварийной ситуации является поломка прокатных валков, имеющих минимальный запас прочности по сравне-

нию с другими элементами прокатной клетки. Это часто связано с возникающей в процессе прокатки асимметрией распределения моментов между валками при неизменном суммарном моменте прокатки. Поэтому уточнение влияния различных параметров на характер распределения моментов прокатки имеет большое научное и практическое значение.

При отсутствии факторов, вызывающих асимметрию процесса прокатки (различие коэффициентов трения на верхней и нижней контактных поверхностях раската, разные диаметры верхнего и нижнего прокатных валков, прокатка с одним приводным валком, прокатка биметаллов и др.) [1] суммарный момент прокатки равномерно распределяется между валками и может быть определен с помощью формулы Баюкова В.Ф. [1]:

$$M_{\text{пр}} = p_{\text{ср}} \cdot b \cdot R^2 \cdot f_y \cdot (\alpha - 2 \cdot \gamma), \quad (1)$$

где: $p_{\text{ср}}$ – среднее удельное усилие;

b – ширина раската;

R – радиус валка;

f_y – коэффициент контактного трения;

α – угол захвата;

γ – угол критического сечения.

Следует отметить достаточно сложное влияние величины коэффициента трения на величину момента прокатки, так как при его изменении изменяются значения среднего удельного усилия и угла критического сечения. Однако, имея значение суммарного момента при симметричном распределении его между валками, можно прогнозировать безопасные условия работы валков. При нарушении симметрии процесса прокатки имеет место неравномерное распределение момента прокатки, а изменение величины коэффициента трения может усилить существующую неравномерность, что, в свою очередь, повысит вероятность поломки более нагруженного валка.

Целью данной работы является теоретическое исследование влияния трения на распределение моментов между валками при наличии асимметрии процесса, вызванной изгибом полосы под действием гравитационных сил.

Наличие разности уровней рольганга и нижнего валка приводит к тому, что под действием силы тяжести полоса, после выхода из валков, изгибается до соприкосновения с рольгангом (рисунок 1). При этом на выходе из очага деформации в верхних слоях возникают растягивающие напряжения, а в нижних сжимающие. Вследствие этого изменяется дли-

на дуги контакта на верхнем и нижнем валках, а также происходит изменение распределения контактного давления и касательного напряжения, что при различных значениях коэффициента трения и определенных условиях реализации процесса может существенно отличаться от соответствующих симметричному обжатию прокатываемой полосы.

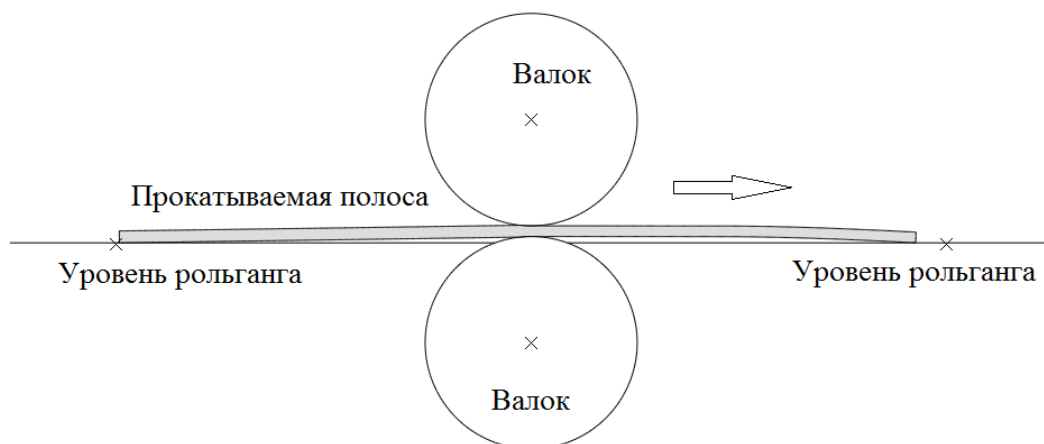


Рисунок 1 – Пример деформации полосы при наличии разности уровней рольганга и нижнего валка с учетом гравитации

В ходе исследования асимметрии распределения моментов прокатки между верхним и нижним валками использовали метод конечных элементов, который широко используется в механике деформируемого тела [2].

Разработанная конечно-элементная математическая модель позволяет моделировать плоскую деформацию полосы в процессе горячей прокатки с возможностью учета сил гравитации и уровня подающего и принимающего рольгангов.

Материал моделируется как упруго-пластический с изотропным упрочнением. Механические свойства материала представляются как зависимость напряжения текучести от условий реализации процесса прокатки.

Исходными данными для расчета были приняты следующие:

Диаметр валков – 840 мм, материал заготовки – сталь 17Г1С, исходная толщина раската 47 мм, номинальная температура прокатки 890°C, скорость прокатки – 3 м/с, величина обжатия – 2,8; 4,75; 7,1; 9,6; 12,27; 15; 17,72; 25,5 мм (значения фактора формы 0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,25 и 3 соответственно). Расчеты моментов прокатки были произведены при значениях коэффициента трения $f = 0,2; 0,3; 0,4$ и разнице в уровнях рольганга и нижнего валка (уровень прокатки) -25 мм.

В результате расчетов было отмечено, что в процессе прокатки отношение момента верхнего валка к нижнему ($k = M_6/M_H$) не является постоянным. На рисунке 2 представлены зависимости отношения моментов прокатки при некоторых значениях фактора формы в процессе прокатки.

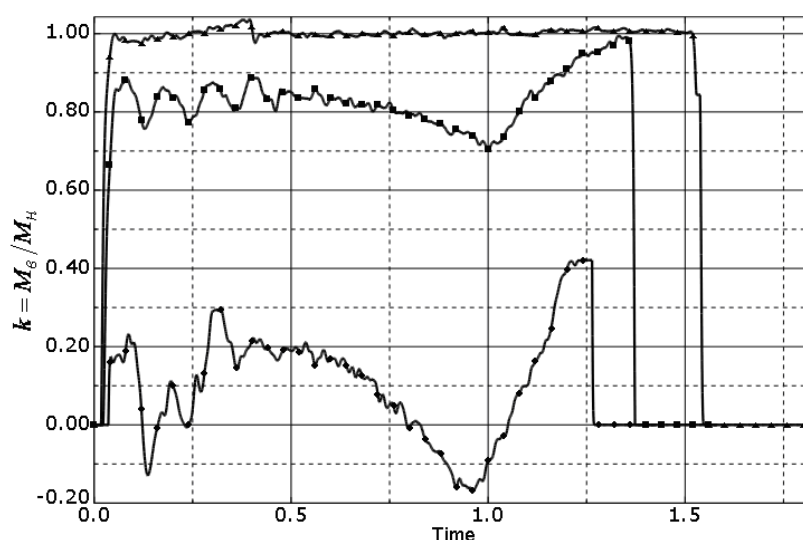


Рисунок 2 – Зависимости отношения моментов прокатки от времени при значениях фактора формы 0,75 (◆), 1,25 (■) и 1,75 (▲) в процессе прокатки с коэффициентом трения $f = 0,3$

При обработке полученных отношений моментов прокатки были получены зависимости максимального и минимального соотношения моментов прокатки в зависимости от значения фактора формы для различных значений коэффициента трения (рисунок 3).

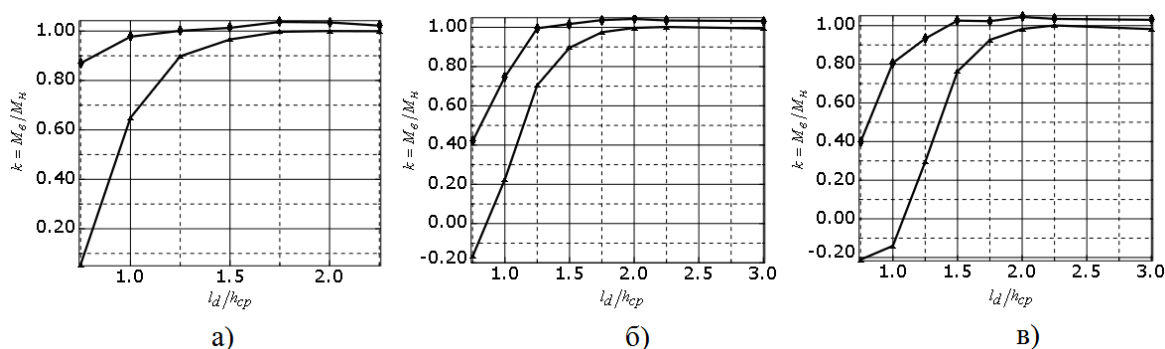


Рисунок 3 – Зависимости величины минимального (▲) и максимального (◆) отношения моментов прокатки от значения фактора формы при коэффициенте трения $f = 0,2$ (а); $0,3$ (б); $0,4$ (в)

Из представленных зависимостей следует, что независимо от величины коэффициента трения с увеличением значения фактора формы разница между максимальной и минимальной величиной отношения моментов прокатки сокращается до определенного значения фактора формы и в дальнейшем можно говорить о симметричном распределении момента прокатки между верхним и нижним валком.

Дальнейший анализ показал, что при несимметричном распределении момента прокатки напряженное состояние очага деформации для минимального и максимального отношения моментов несколько различно. В качестве примера на рисунке 4 представлено напряженное состояние очага деформации при значении фактора формы 0,75 для случаев минимального и максимального отношения моментов прокатки при различных значениях коэффициента трения.

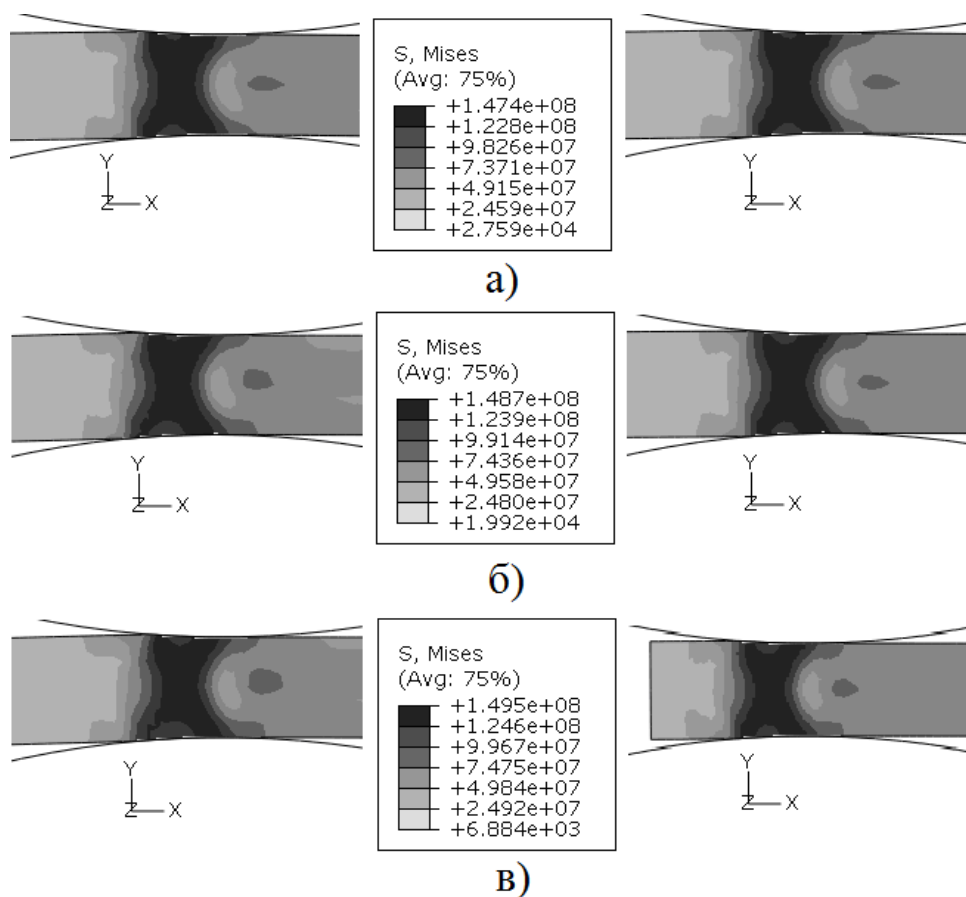


Рисунок 4 – Форма очага деформации и распределение интенсивности напряжений по Мизесу (Па) при значении фактора формы 0,75 для случаев минимального (левый столбец) и максимального (правый столбец) отношения моментов прокатки при коэффициенте трения $f = 0,2$ (а); $0,3$ (б); $0,4$ (в)

Кроме того, из полученных результатов следует, что величина суммарного момента прокатки практически одинакова и неизменна в течение всего процесса прокатки. В тоже время перераспределение отношения моментов при разных значениях коэффициента трения различно (рисунок 5).

Основной причиной этого явления может быть то, что за счет разности в уровнях рольганга и нижнего валка раскат, под действием гравитационных сил, изгибается и, как следствие, изменяются условия на контакте между раскатом и верхним и нижним валком.

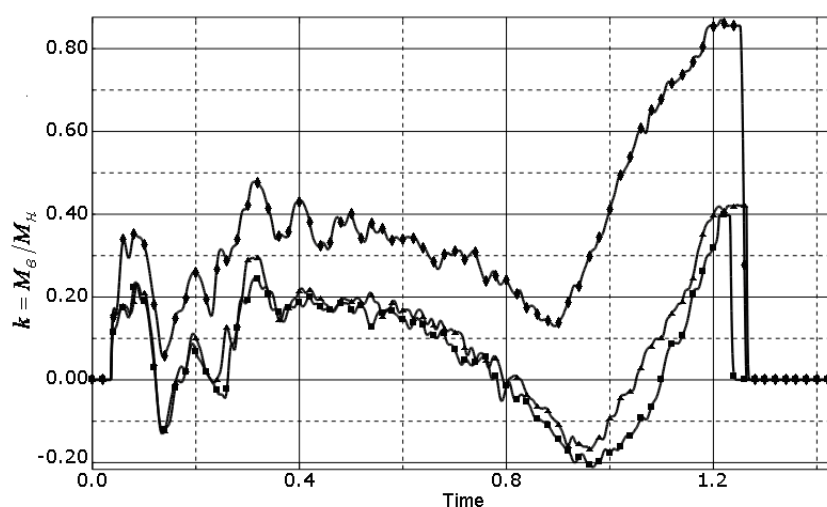
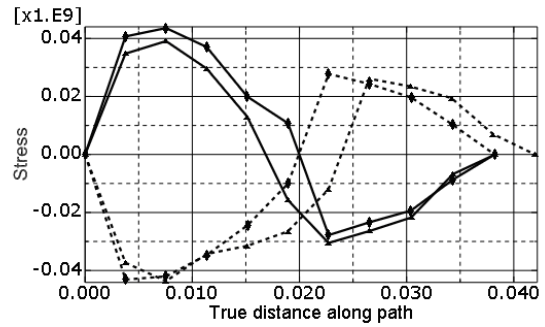
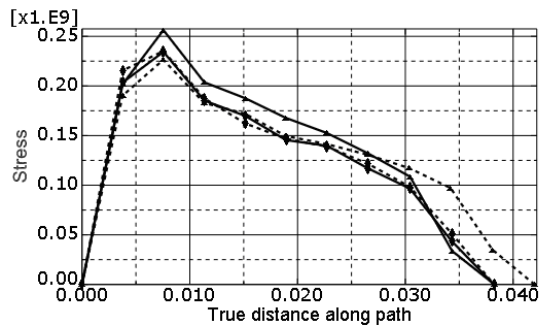


Рисунок 5 – Зависимости отношения моментов прокатки от времени в процессе прокатки при значении фактора формы 0,75 и коэффициентах трения $f = 0,2$ (◆); $0,3$ (▲); $0,4$ (■)

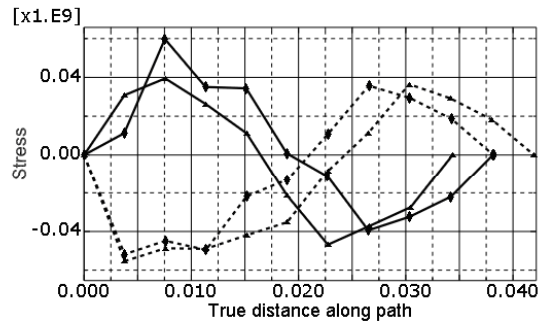
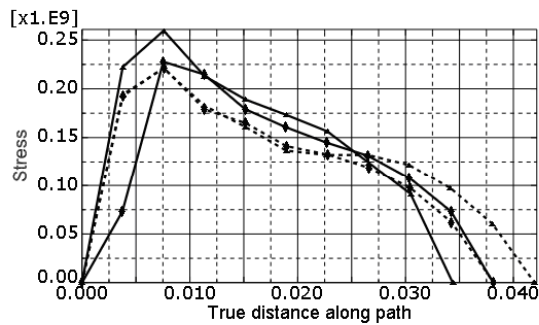
С целью анализа полученных зависимостей были построены эпюры распределения по длине дуги контакта нормальных давлений и касательных напряжений между валками и металлом (рисунок 6). При построении эпюр за точку начала и точку конца длины дуги очага деформации принимали соответствующие точки входа металла в очаг деформации и выхода из него. Следует указать на то, что дискретность конечно-элементной модели вносит некоторую погрешность в определение длины дуг контакта, однако это не влияет на основные причины явления асимметрии загрузки прокатных валков.

Из представленных зависимостей хорошо видно, что в данных условиях длина дуги контакта на верхнем валке несколько меньше чем на нижнем валке, а величина разности длин дуг контакта увеличивается с увеличением коэффициента трения. При этом можно указать на то, что влияние величины коэффициента трения на величину отношения моментов, при прочих равных условиях, носит нелинейный характер, что подтверждается зависимостями, представленными на рисунках 2 и 4.

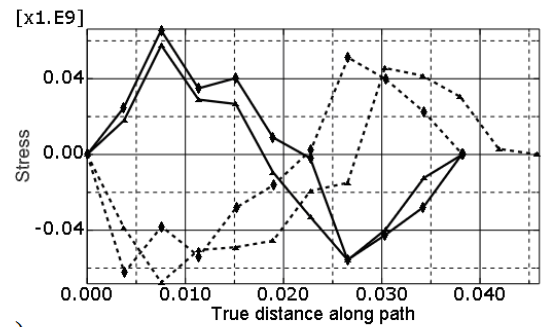
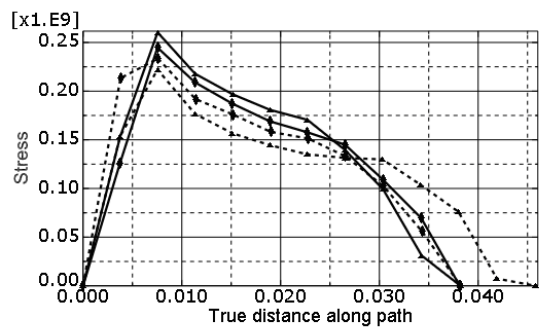
Кроме того, следует отметить, что при максимальном отношении моментов ($\approx 0,88$), наблюдается выравнивание длин дуг контакта и характера распределения нормальных давлений и касательных напряжений на контакте верхнего и нижнего валком (рисунок 6 а). Таким образом, можно утверждать, что в случае выравнивание условий на контакте верхнего и нижнего валков величина отношения моментов приближается к 1.



а)



б)



в)

Рисунок 6 – Эпюры распределения по длине (м) дуги контакта нормальных давлений и касательных напряжений (Па) между верхним (сплошная линия) и нижним (пунктирная линия) валками и металлом при максимальной (\blacklozenge) и минимальной (\blacktriangle) величине отношения моментов и значении фактора формы 0,75 для величины коэффициента трения $f = 0,2$ (а); 0,3 (б); 0,4 (в)

При этом выравнивание величины отношения моментов, до полностью симметричного состояния, зависит не только от величины фактора формы, но и от величины коэффициента трения.

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что коэффициент трения и силы гравитации оказывают существенное влияние на асимметрию распределения момента прокатки между валками, при определенных значениях фактора формы.

2. Степень влияния величины коэффициента трения с учетом сил гравитации на асимметрию распределения момента прокатки усиливается по мере уменьшения значения фактора формы. При этом увеличение коэффициента трения может привести к переходу момента на верхнем валке в генераторный режим.

3. По мере увеличения значения фактора формы разница в условиях контактного взаимодействия валков с металлом выравнивается, что при определенных условиях приводит к симметричному распределению момента прокатки. При этом уменьшение коэффициента трения способствует наступлению симметричного распределения при меньших значениях фактора формы.

Результаты работы могут быть использованы при совершенствовании технологических режимов и совершенствовании оборудования прокатки полос, а также при развитии методов теоретического исследования процесса прокатки полос.

Библиографический список

1. Грудев А. П. *Теория прокатки* / А. П. Грудев. – М. : *Металлургия*, 1988. – 239 с.

2. Liu G. R. *The Finite Element Method: A Practical Course* / G. R. Liu, S. S. Quek. – 2003. – 348с.