

УДК 621.771.01

Луценко В. А.

Боровик П. В.

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ ПОДАЮЩЕГО РОЛЬГАНГА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ПРОКАТКИ ПРИ УЧЕТЕ СИЛ ТЯЖЕСТИ

Надежная безаварийная работа прокатного оборудования является основным требованием при создании новых и усовершенствовании уже существующих прокатных станов. В связи с этим задача совершенствования методов теоретического исследования процесса прокатки становится все более важной, поскольку позволяет выявить новые явления и зависимости. Как показывает практика, нередко случаи поломки одного из шпинделей или прокатных валков в ситуациях, когда известные методики расчета не указывают на превышение допустимых величин нагрузки, поскольку предполагают симметричное распределение момента прокатки между валками.

Среди известных причин несимметричного распределения момента прокатки можно указать на различие коэффициентов трения на верхней и нижней контактных поверхностях раската, разные диаметры верхнего и нижнего прокатных валков, прокатка с одним приводным валком, прокатка биметаллов, асимметрия угловых скоростей валков и т. д. [1–3].

Однако, даже при отсутствии вышеуказанных причин наличие разности уровней рольганга и нижнего валка способствует несимметричным условиям в очаге деформации как при входе, так и при выходе полосы, поскольку силы тяжести приводят к неизбежному ее изгибу до соприкосновения с рольгангом (рис. 1). Результаты математического моделирования [4, 5] позволили установить, что в таких условиях, при снижении величины фактора формы и увеличении коэффициента трения может проявляться асимметрия распределения момента прокатки, вплоть до перехода момента на верхнем валке в генераторный режим.

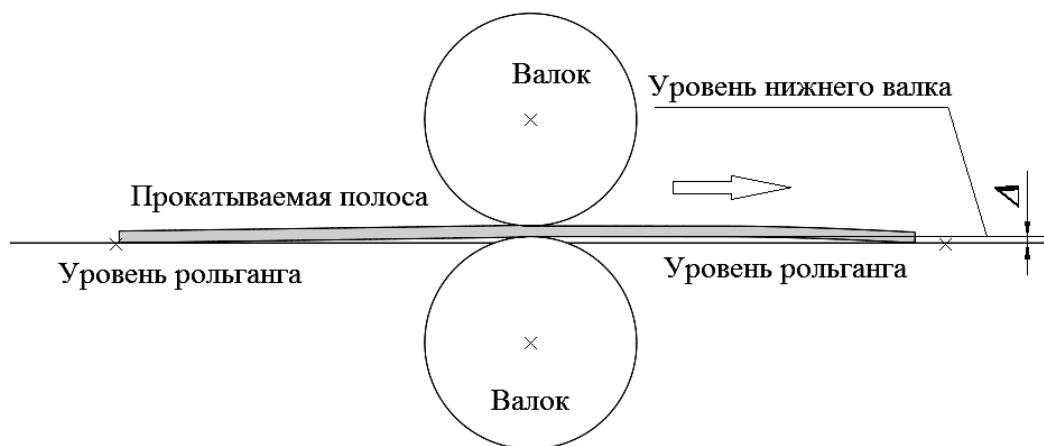


Рис. 1. Пример деформации полосы при наличии разности уровней рольганга и нижнего валка с учетом сил тяжести

Целью данной работы является определение влияния разности уровней рольганга и нижнего валка на результаты моделирования процесса прокатки, а именно на распределение момента прокатки между верхним и нижним валками при учете сил тяжести.

В основу исследования распределения моментов прокатки между верхним и нижним валками был положен метод конечных элементов в его программной интерпретации в пакете Abaqus [6].

Данная модель позволяет моделировать плоскую деформацию сляба в процессе горячей прокатки с возможностью учета сил тяжести (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  $890^{\circ}\text{C}$ , скорость прокатки – 3 м/с, величина обжатия ( $\Delta h$ ) – 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 значении коэффициента трения  $f = 0,3$  и разнице в уровнях рольганга и нижнего валка (уровень прокатки) –  $\Delta = 25$  мм и  $\Delta = 40$  мм.

По результатам моделирования были получены зависимости изменения отношение момента верхнего валка к нижнему ( $k = M_v/M_n$ ) в течение процесса прокатки. Из полученных зависимостей (рис. 2) видно, что отношение  $k$  не является постоянным, что связано с изменением напряженно-деформированного состояния металла в верхней и нижней частях раската и, как следствие, с различными условиями на контакте валков с металлом.

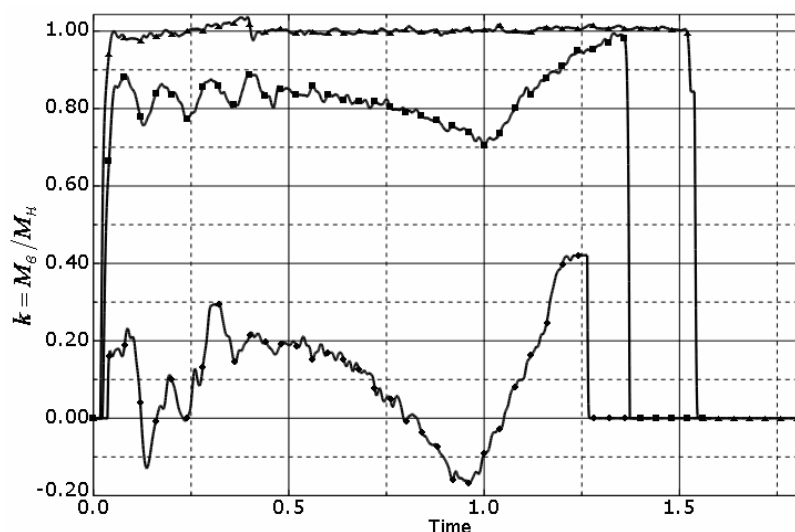


Рис. 2. Зависимости отношения моментов прокатки от времени при значениях фактора формы 0,75 (♦), 1,25 (■) и 1,75 (▲) и разнице в уровнях рольганга и нижнего валка (уровень прокатки) –  $\Delta = 25$  мм

Обработка полученных отношений моментов прокатки позволила получить зависимости максимального и минимального соотношения моментов прокатки в зависимости от значения фактора формы (рис. 3).

Как можно видеть из представленных зависимостей, при указанных условиях моделирования с увеличением значения фактора формы разница между максимальной и минимальной величиной отношения моментов прокатки сокращается. В тоже время, следует указать, что суммарный момент прокатки остается постоянным в течение всего процесса прокатки.

Полученные результаты, также указывают на то, что в рассматриваемых условиях реализации модели, асимметрия распределения моментов прокатки между верхним и нижним валком практически выравнивается при значении фактора формы 1,75 и выше. При этом увеличение разницы в уровнях рольганга и нижнего валка способствует усилению асимметрии распределения момента прокатки.

Опираясь на полученные результаты, были выполнены дополнительные расчеты при указанных ранее условиях, но при разнице в уровнях рольганга и нижнего валка  $\Delta$ , равном половине обжатия. Результаты симуляции показали симметричное распределения момента прокатки между верхним и нижним валками в ходе всего процесса прокатки.

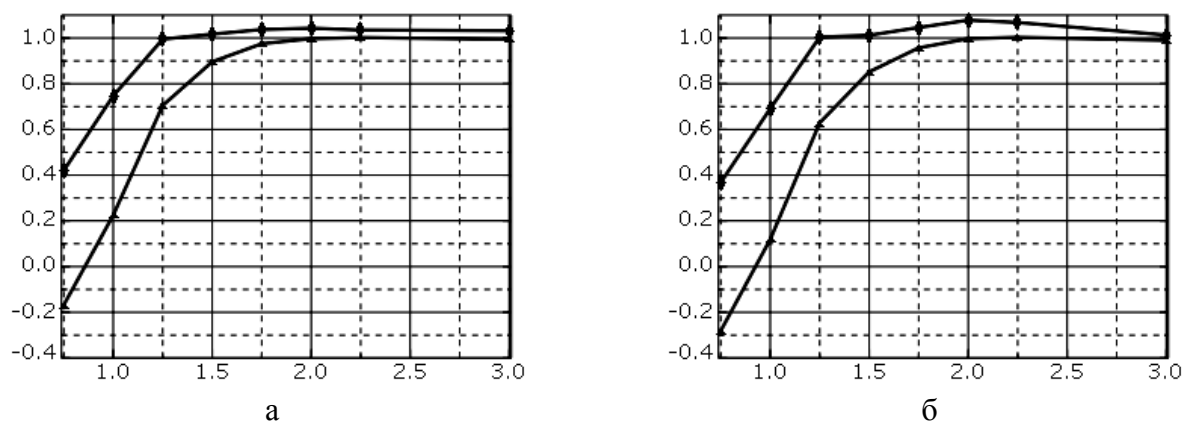


Рис. 3. Зависимости величины минимального (▲) и максимального (◆) отношения моментов прокатки от значения фактора формы при разнице в уровнях роляганга и нижнего валка (уровень прокатки) –  $\Delta = 25$  мм (а) и  $\Delta = 40$  мм (б)

В качестве сравнения полученных результатов на рис. 4 представлена форма очага деформации и распределение интенсивности напряжений по Мизесу (Па) при значении фактора формы 0,75.

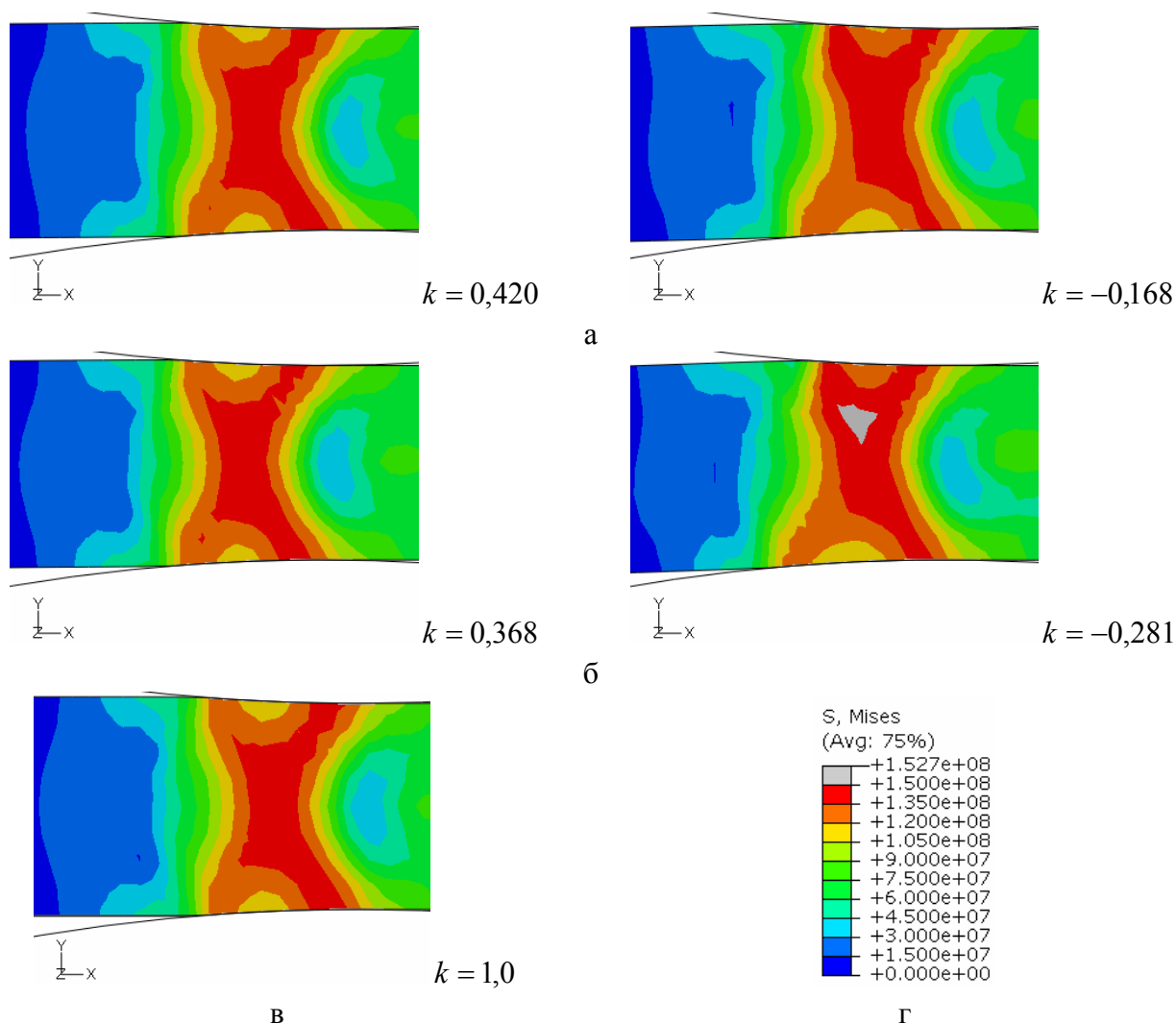


Рис. 4. Форма очага деформации и распределение интенсивности напряжений по Мизесу (Па) при значении фактора формы 0,75 и разнице в уровнях роляганга и нижнего валка  $\Delta = 25$  мм (а),  $\Delta = 40$  мм (б) и  $\Delta = \Delta h/2$  (в) и шкала цветов для напряжений (г)

Асимметрию напряженного состояния в зонах деформации верхнего и нижнего валков и асимметрию распределения момента прокатки можно пояснить с помощью эпюр по длине дуги контакта нормальных давлений и касательных напряжений (рис. 5). При построении эпюр за точки начала и конца длины дуги очага деформации принимали соответствующие точки входа металла в очаг деформации и выхода из него.

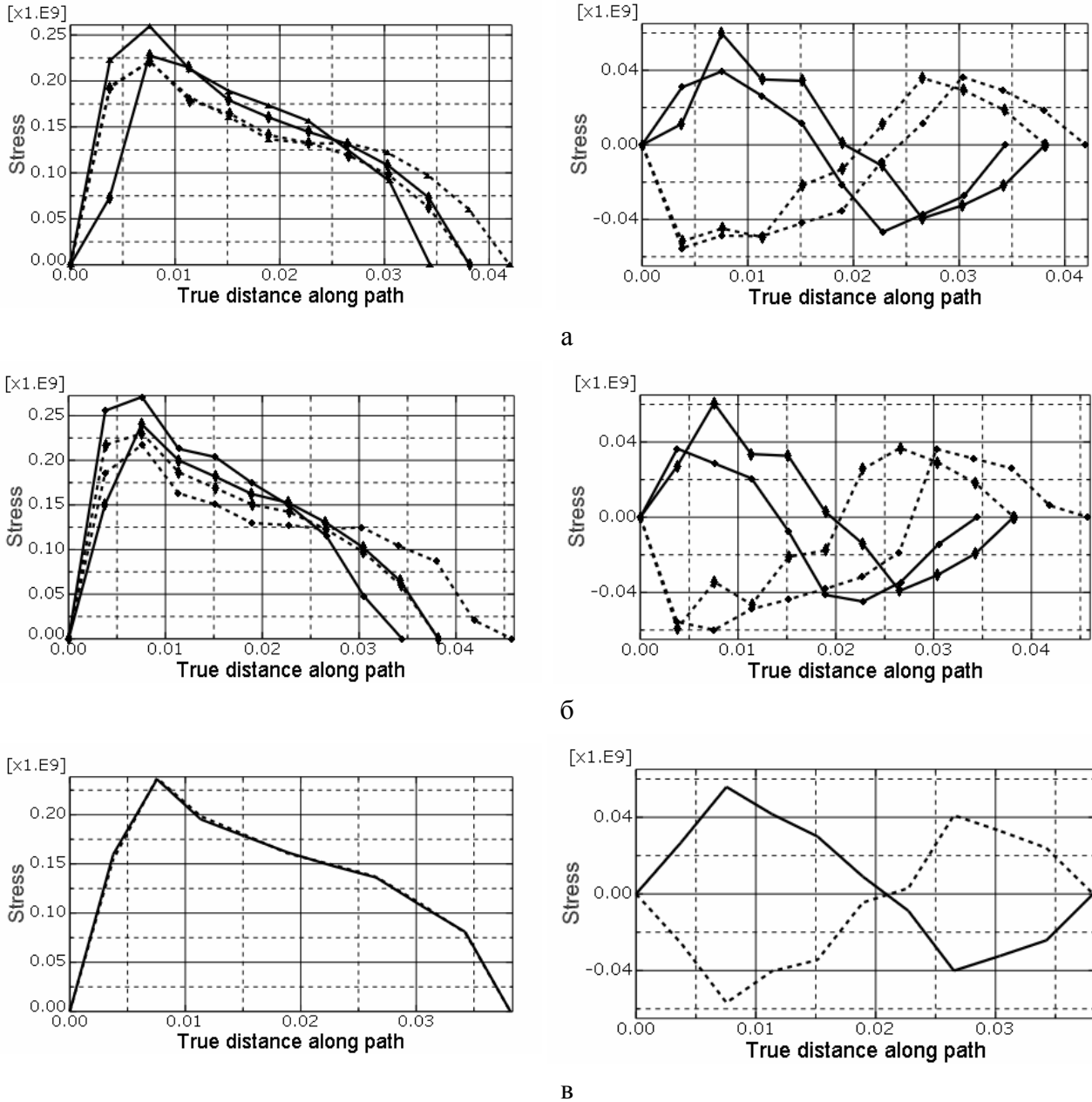


Рис. 5. Эпюры распределения по длине дуги контакта нормальных давлений и касательных напряжений (Па) между верхним (сплошная линия) и нижним (пунктирная линия) валками и металлом при максимальной ( $\blacklozenge$ ) и минимальной ( $\bullet$ ) величине отношения моментов, значении фактора формы 0,75 и разнице в уровнях рольганга и нижнего валка  $\Delta = 25$  мм (а),  $\Delta = 40$  мм (б) и  $\Delta = \Delta h/2$  (в)

Обработка и анализ полученных результатов показали, что при значении фактора формы менее 1,75 длина дуги контакта между нижним валком и металлом больше длины дуги контакта между верхним валком и металлом. При увеличении разницы в уровнях рольганга и нижнего валка это различие усиливается. Кроме того, при сравнении длины дуг контакта для минимальной и максимальной величин отношения моментов данное соотношение

сохраняется, однако по мере приближения величины отношения моментов к 1 выравнивается длина верхней и нижней дуг контакта и, как следствие, эпюры распределения по длине верхней и нижней дуг контакта нормальных давлений сравниваются, а касательных напряжений становятся симметричными (рис. 5, в).

При разнице в уровнях рольганга и нижнего вала, равном половине обжатия ( $\Delta = \Delta h/2$ ), условия на контакте выравниваются и момент прокатки распределяется симметрично между верхним и нижним валками при любых значениях фактора формы. Таким образом, очевидно, что учет сил тяжести позволяет выявить возможную асимметрию распределения момента прокатки по причине несимметричного входа металла в валки при разнице в уровнях рольганга и нижнего вала больше половины обжатия ( $\Delta > \Delta h/2$ ).

## ВЫВОДЫ

Силы тяжести оказывают существенное влияние на асимметрию распределения момента прокатки между валками, при определенных значениях фактора формы и разнице в уровнях рольганга и нижнего вала больше половины обжатия.

Степень влияния сил тяжести на асимметрию распределения момента прокатки усиливается по мере увеличения разницы в уровнях рольганга и нижнего вала. При этом уменьшение значения фактора формы усиливает асимметрию вплоть до перехода момента на верхнем валке в генераторный режим.

При разнице в уровнях рольганга и нижнего вала, равном половине обжатия, условия на контакте выравниваются и момент прокатки распределяется симметрично между верхним и нижним валками при любых значениях фактора формы.

Асимметрия распределения момента прокатки, наблюдаемая при разнице в уровнях рольганга и нижнего вала больше половины обжатия, снижается по мере увеличения значения фактора формы и при определенных условиях приводит к симметричному распределению момента прокатки.

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

## ЛИТЕРАТУРА

1. Грудев А. П. Теория прокатки / А. П. Грудев. – М. : Металлургия, 1988. – 239 с.
2. Аркулис Г. Э. Совместная пластическая деформация разных металлов / Г. Э. Аркулис. – М. : Металлургия, 1964. – 271 с.
3. Прокатка пакета биметалла с разными исходными механическими свойствами слоев / П. И. Полухин, А. В. Архангельский, Ю. В. Кнышов, В. А. Мастеров // Пластическая деформация металлов и сплавов : сб. науч. трудов МИСиС. – М. : Металлургия, 1967. – Вып. XLII. – С. 216–224.
4. Луценко В. А. Влияние учета гравитационных сил на результаты моделирования процесса прокатки / В. А. Луценко, П. В. Боровик // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск, 2010. – № 3(24). – С. 42–45.
5. Боровик П. В. Фактор трения в асимметрии распределения момента прокатки с учетом действия гравитации / П. В. Боровик, В. А. Луценко // Сб. науч. тр. ДонГТУ. – Алчевск, 2010. – № 32. – С. 167–174.
6. Liu G. R. The Finite Element Method: A Practical Course / G. R. Liu, S. S. Quek. – 2003. – 348 с.

Луценко В. А. – д-р техн. наук, проф. ДонГТУ;

Боровик П. В. – канд. техн. наук, доц. ДонГТУ.

ДонГТУ – Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск.

E-mail: borovikpv@mail.ru