

УДК 621.771.01

Луценко В. А.
Боровик П. В.**ВЛИЯНИЕ УЧЕТА ГРАВИТАЦИОННЫХ СИЛ НА РЕЗУЛЬТАТЫ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ**

Повышение надежности прокатного оборудования неразрывно связано с совершенствованием методов теоретического исследования процесса прокатки. Как показывает практика, нередко случаи поломки элементов оборудования в ситуациях, когда известные методики расчета не указывают на превышение допускаемых величин нагрузки, в частности это относится к поломке одного из шпинделей в случае принятия допущения о симметричном распределении момента прокатки между валками.

Причин несимметричного распределения момента прокатки может быть несколько, а именно, 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].

В то же время даже при отсутствии вышеуказанных причин на практике может наблюдаться асимметрия распределения момента прокатки, что связано с условиями несимметричной задачи полосы в валки и приводит к деформации изгиба полосы (рис. 1). В связи с этим результаты моделирования процесса прокатки без учета изгиба полосы (при симметричных условиях) могут значительно отличаться от реальных.

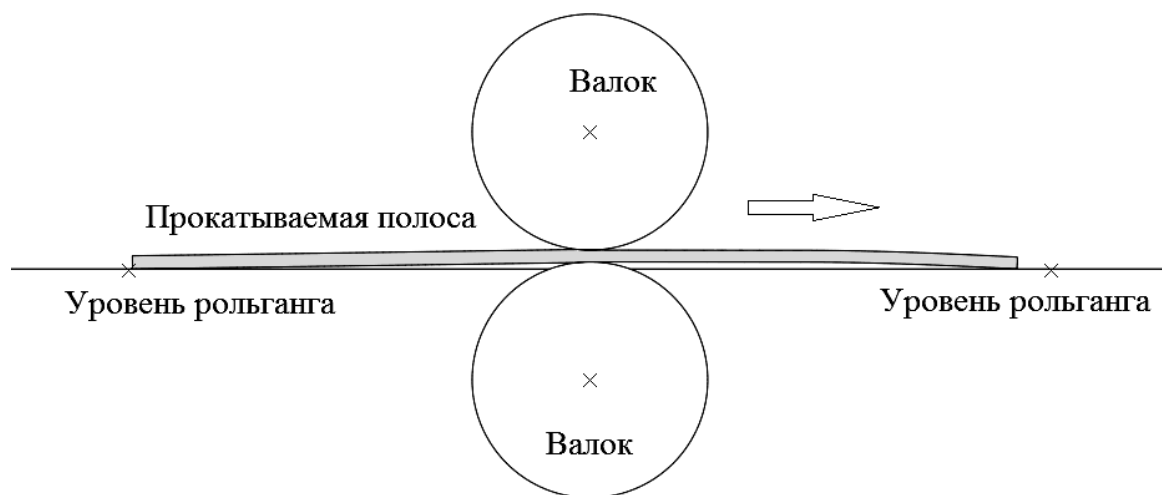


Рис. 1. Пример деформации полосы при наличии разности уровней ролиганга и нижнего валка с учетом гравитации

Целью данной работы является определение влияния гравитационных сил на результаты моделирования процесса прокатки, а именно, на распределение момента прокатки между верхним и нижним валками.

Наличие разности уровней ролиганга и нижнего валка приводит к тому, что под действием силы тяжести полоса, после выхода из валков, изгибается до соприкосновения с ролигангом (рис. 1). При этом в верхних слоях полосы возникают растягивающие напряжения, а в нижних сжимающие, что приводит к асимметричному распределению контактных напряжений и, в результате, к асимметричному распределению момента прокатки.

Для исследования распределения моментов прокатки между верхним и нижним валками применяли метод конечных элементов в его программной интерпретации в пакете Abaqus [4].

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

Материал моделируется как упругопластический 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 °С; 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 значении коэффициента трения $f = 0,3$ и разнице в уровнях рольганга и нижнего валка (уровень прокатки) – $\Delta = 25$ мм.

В результате моделирования было отмечено, что в течение процесса прокатки отношение момента верхнего валка к нижнему ($k = M_в / M_н$) не является постоянным, что связано с изменением напряженно-деформированного состояния металла в верхней и нижней частях раската. На рис. 2 представлены зависимости отношения моментов в процессе прокатки при значениях фактора формы 0,75, 1,25 и 1,75.

При обработке полученных отношений моментов прокатки были получены зависимости максимального и минимального соотношения моментов прокатки в зависимости от значения фактора формы (рис. 3).

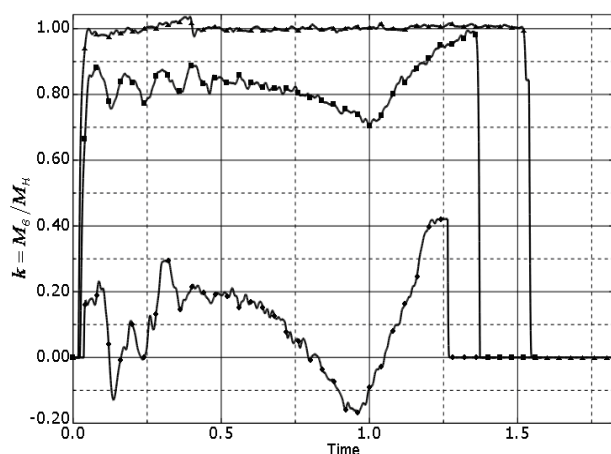


Рис. 2. Зависимости отношения моментов прокатки от времени при значениях фактора формы 0,75 (□), 1,25 (■) и 1,75 (▲)

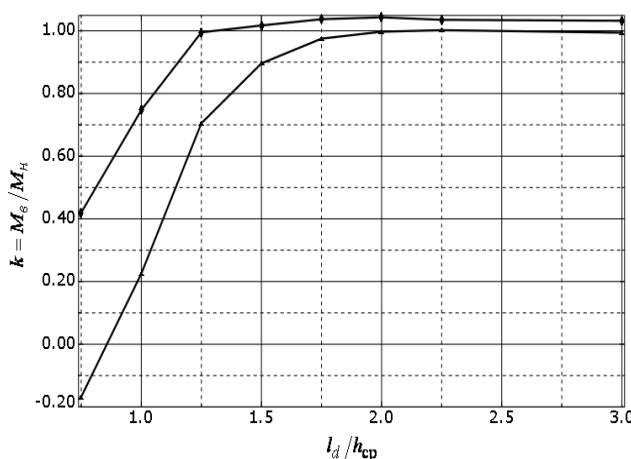


Рис. 3. Зависимости величины минимального (▲) и максимального (□) отношения моментов прокатки от значения фактора формы

Из представленных зависимостей следует, что при указанных условиях моделирования с увеличением значения фактора формы разница между максимальной и минимальной величиной отношения моментов прокатки сокращается и уже при значении 1,75 и выше наблюдается практически симметричное распределение момента прокатки между верхним и нижним валком.

Дальнейший анализ показал, что при значении фактора формы менее 1,75 напряженное состояние очага деформации для минимального и максимального отношения моментов несколько различно (рис. 4), хотя суммарная величина момента прокатки одинакова и неизменна в течение процесса, как при учете сил гравитации, так и без их учета (симметричное обжатие).

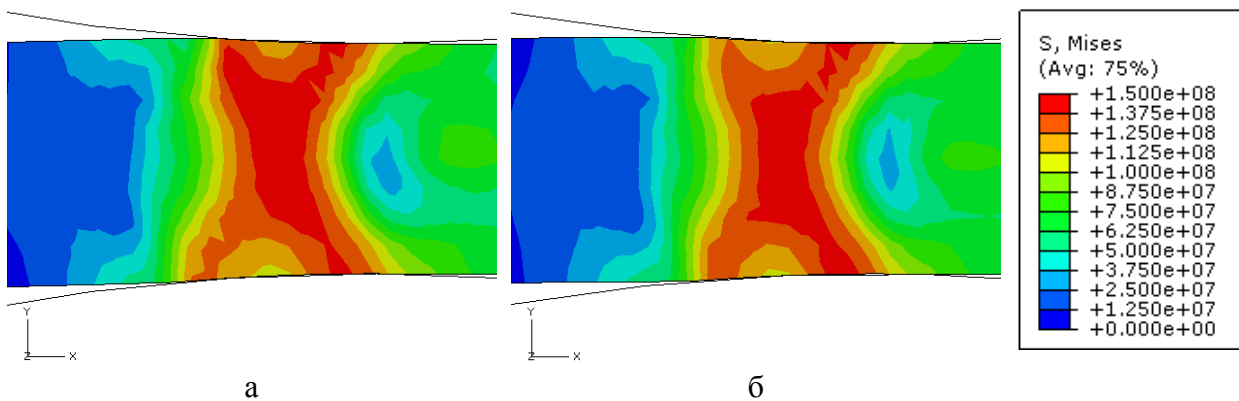


Рис. 4. Форма очага деформации и распределение интенсивности напряжений по Мизесу (Па) при значении фактора формы 0,75 для случаев минимального (а) и максимального (б) отношения моментов прокатки

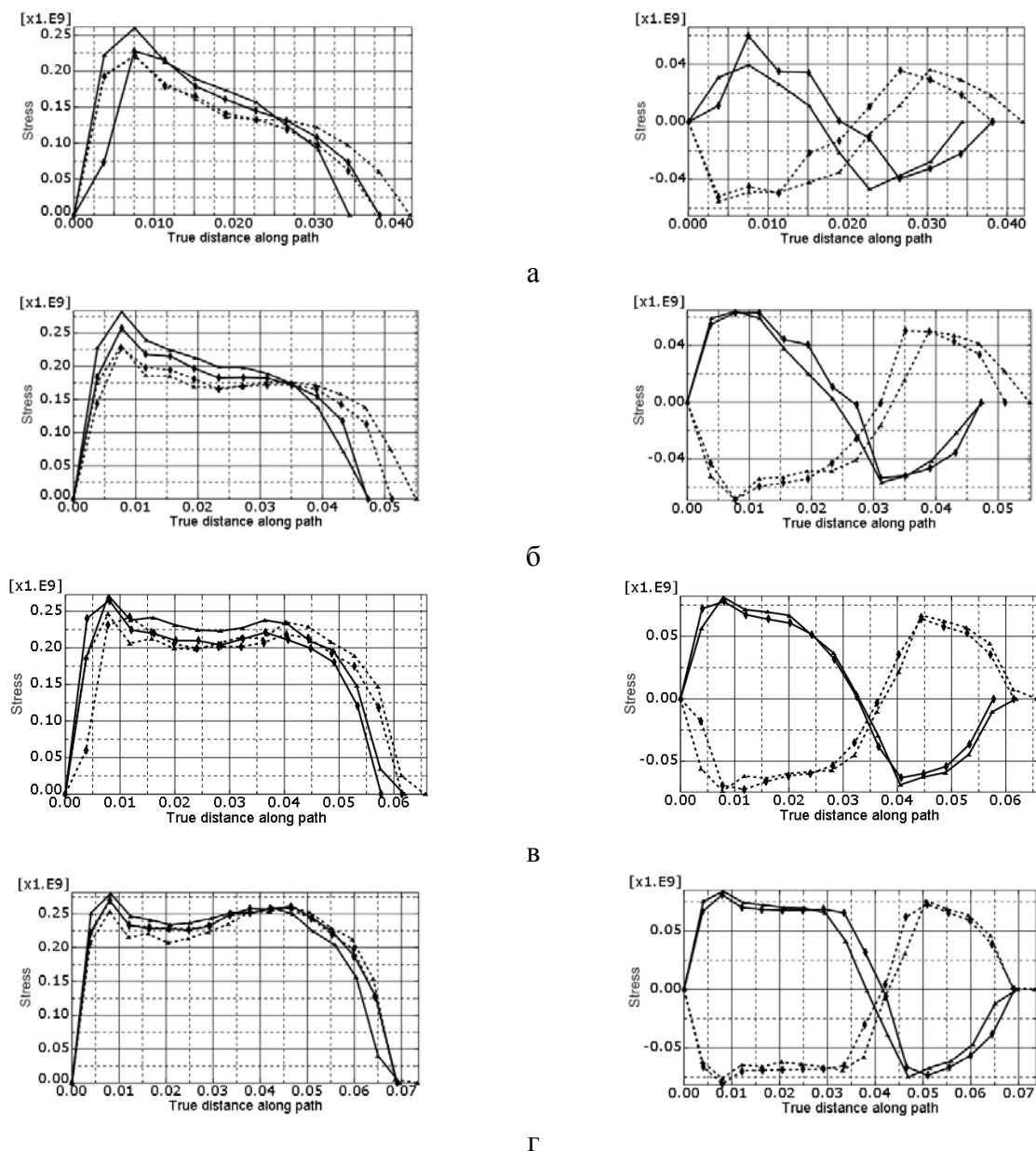


Рис. 5. Эпюры распределения по длине дуги контакта нормальных давлений и касательных напряжений между верхним (сплошная линия) и нижним (пунктирная линия) валками и металлом при максимальной (\square) и минимальной (\blacktriangle) величине отношения моментов и значении фактора формы 0,75 (а); 1(б); 1,25(в); 1,5(г)

Асимметрию напряженного состояния в зонах деформации верхнего и нижнего валков подтверждают эпюры по длине дуги контакта нормальных давлений и касательных напряжений (рис. 5). Следует указать на то, что дискретность конечно-элементной модели накладывает некоторый отпечаток на точность построения данных эпюр. При построении эпюр за точки начала и конца длины дуги очага деформации принимали соответствующие точки входа металла в очаг деформации и выхода из него.

Из представленных распределений следует, 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 этом следует отметить, что сравнение длины дуг контакта для минимальной и максимальной величин отношения моментов данное соотношение сохраняется, однако по мере приближения величины отношения моментов к 1 длина верхней и нижней дуг контакта выравнивается.

При значении фактора формы 1,5 и максимальной величине отношения моментов (≈ 1) длины верхней и нижней дуг контакта равны (рис. 4, г). При этом эпюры нормальных контактных давлений на контакте верхнего и нижнего валков идентичны, а эпюры касательных напряжений симметричны. Подобное распределение контактных условий наблюдается при значении фактора формы 1,75 и выше. Следует отметить, что при моделировании процесса без учета гравитации симметричное распределение момента прокатки между валками сохраняется независимо от значения фактора формы.

ВЫВОДЫ

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Силы гравитации оказывают существенное влияние на асимметрию распределения момента прокатки между валками, при определенных значениях фактора формы.
2. Степень влияния гравитации на асимметрию распределения момента прокатки усиливается по мере уменьшения значения фактора формы вплоть до перехода 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.

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. 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