

УДК 621.771.01

В.А. Луценко, д.т.н., проф.; П.В. Боровик, к.т.н., доц.  
Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА АСИММЕТРИЮ ЗАГРУЗКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

*Встановлено вплив на розподіл моменту прокатки між верхнім та нижнім валками різниці рівнів рольгангу і нижнього валка, величини фактору форми, коефіцієнту тертя, а також перепаду температур по перерізу полоси. Зазначється, що перерозподіл моменту прокатки між валками при несиметричному розподілу температури має змінний характер, що залежить від фактору форми.*

*Influence on distributing of rolling moment between the overhead and lower rollers from difference of roller and lower roller levels, forming factor, coefficient of friction, and also asymmetrical distributing of temperatures on the bar section is set. Specified, that the redistribution of rolling moment between rolls at the asymmetrical distributing of temperature has variable character, depending on the forming factor.*

Определение энергосиловых параметров прокатки является важной практической задачей, позволяющей разработать рациональный режим, обеспечивающий получение заданной продукции без поломок элементов стана. При этом, как показывает практика, нередки случаи поломки шпинделей, хотя расчетные величины моментов прокатки не превышают допустимых значений. Это связано с тем, что теоретические формулы, как правило, позволяют с достаточной точностью определить нагрузку на шпиндели при симметричной их загрузке.

Несимметричное распределение моментов прокатки может быть связано с различием коэффициентов трения на поверхностях, контактирующих с каждым из валков, при различных скоростях верхнего и нижнего валков, при прокатке в валках различного диаметра, при прокатке с одним холостым валком, при прокатке биметаллов и т.д. [1].

Однако даже при прокатке в валках одинакового диаметра заготовки с однородными механическими свойствами условия на контакте с металлом верхнего и нижнего валков могут существенно отличаться, что приводит к перераспределению суммарного момента между валками. Одними из причин, вызывающих это явление, является различие уровней нижнего валка и рольганга, неравномерное распределение температуры по сечению раската, величина сил трения и степень обжатия.

Целью данной работы является определение влияния указанных технологических параметров на соотношение моментов на верхнем и нижнем валке.

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. При этом на выходе из очага деформации в верхних слоях возникают растягивающие напряжения, а в нижних сжимающие. Эти напряжения вызывают повышение угла критического сечения в зоне контакта с верхним валком и его снижение в зоне контакта с нижним валком.

Формула Бяюкова В.Ф. [1] позволяет оценить влияние угла критического сечения:

$$M_{np} = P_{cp} \cdot b \cdot R^2 \cdot f_y \cdot (\alpha - 2 \cdot \gamma) \quad (1)$$

где  $P_{cp}$  – среднее удельное усилие;

$b$  – ширина раската;

$R$  – радиус валка;

$f_y$  – коэффициент контактного трения;

$\alpha$  – угол захвата;

$\gamma$  – угол критического сечения.

Увеличение угла критического сечения приводит к уменьшению момента прокатки, однако степень изменения момента прокатки связана с величиной коэффициента трения и с изменением распределения среднего удельного усилия.

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

Разработанная конечно-элементная математическая модель позволяет моделировать плоскую деформацию сляба в процессе горячей прокатки с возможностью учета сил гравитации, неоднородности распределения температуры по высоте заготовки, а также уровня подающего и принимающего рольгангов.

Модель содержит два абсолютно жестких недеформируемых валка и деформируемый брус, описывающий заготовку (рис. 1). С целью учета уровня подающего и принимающего рольгангов в модели предусмотрены две абсолютно жесткие недеформируемые плиты, расположенные соответственно перед и за нижним валком.

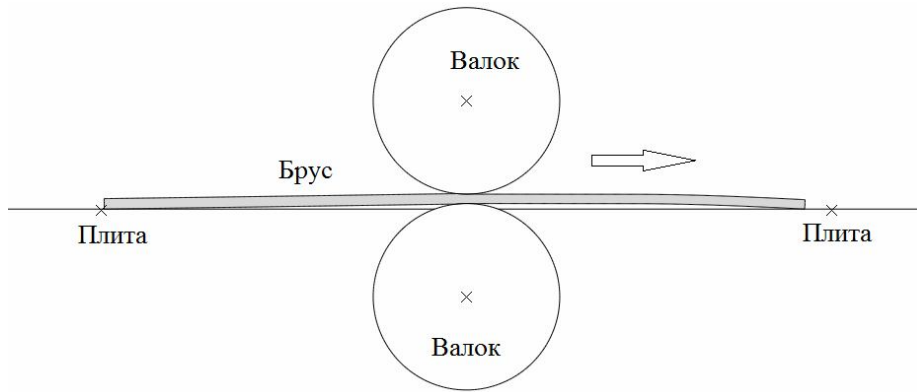


Рис. 1. Общий вид модели

Сетка бруса состоит из изопараметрических четырехугольных линейных элементов с редуцированной схемой интегрирования, имеющих свойства сплошной деформируемой среды в условиях плоской деформации. Валки и плиты моделируются как аналитические недеформируемые поверхности.

Трение между контактными поверхностями валка и бруса моделирует закон трения Кулона. При этом коэффициент трения является величиной постоянной, характеризующей связь между контактным давлением и эквивалентным касательным (контактным) напряжением. С целью учета возможного трения между заготовкой и рольгангом также предусмотрено трение между брусом и плитами с коэффициентом трения 0,02.

На ось валков наложены ограничения по его перемещению во всех трех плоскостях и допускается его вращение только относительно оси  $Z$ . Плиты полностью ограничены в движении. В процессе математической реализации валкам предписывается постоянная угловая скорость.

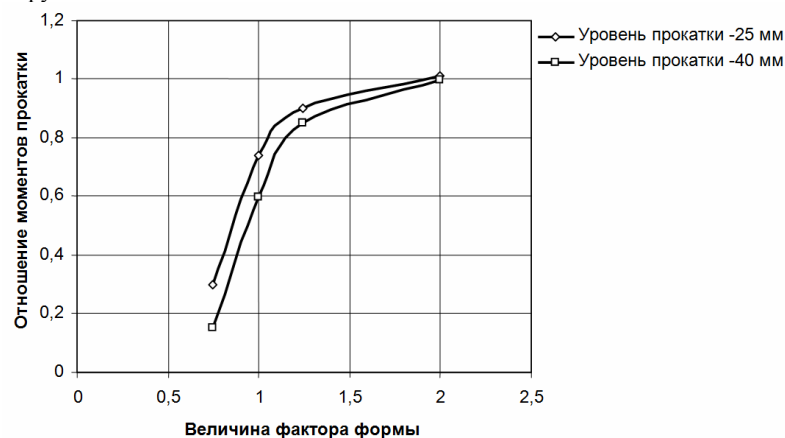
С целью инициализации контакта между валком и брусом, последнему предписывается начальная линейная скорость в направлении  $X$ .

Материал моделируется как упруго-пластический с изотропным упрочнением. Механические свойства материала представляются как зависимость напряжения текучести от условий реализации процесса прокатки и поля распределения температуры по высоте бруса.

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 – 2,8; 4,75; 7; 15 мм (значения фактора формы 0,75; 1; 1,24 и 2 соответственно). Расчеты моментов прокатки были произведены при значениях коэффициента трения  $f = 0,2; 0,3$  и  $0,4$  и разнице в уровнях рольганга и нижнего валка (уровень прокатки) -25 и -40 мм, а также при симметричном обжатии (ось заготовки совпадает с осью прокатки).

В результате расчетов установлено значительное влияние уровня прокатки и величины коэффициента трения на отношение момента прокатки верхнего валка к нижнему (рис. 2 – 4). Отношение моментов прокатки на верхнем и нижнем валках при симметричной прокатке равно единице (в данных условиях плиты перед и за валком отсутствовали, а гравитация не учитывалась). При всех значениях коэффициента трения увеличение разности уровней нижнего валка и приемного рольганга приводит к уменьшению отношения моментов прокатки, т. е. к увеличению нагрузки на нижний валок. Увеличение коэффициента трения приводит к увеличению асимметрии загрузки валков. При всех значениях коэффициента трения и уровнях прокатки увеличение обжатия приводит к снижению асимметрии нагрузок на валки.

Рис. 2. Зависимость отношения моментов прокатки от величины фактора формы при  $f = 0,2$

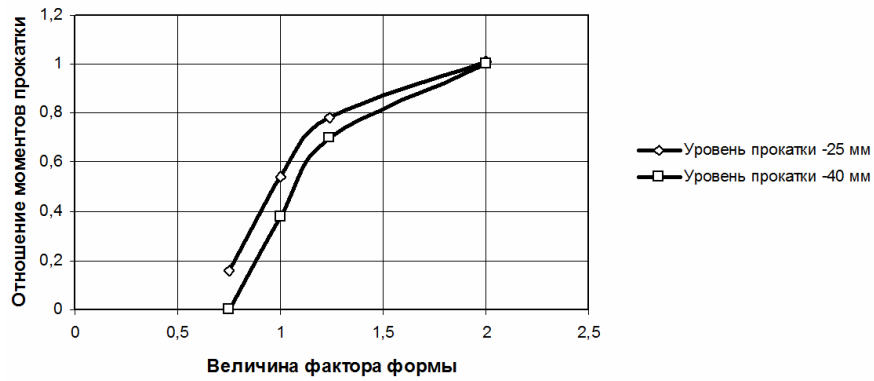


Рис. 3. Зависимость отношения моментов прокатки от величины фактора формы при  $f = 0,3$

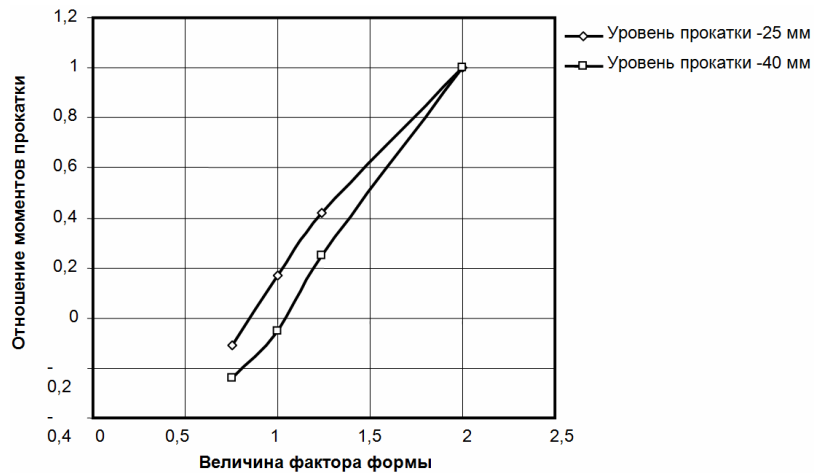


Рис. 4. Зависимость отношения моментов прокатки от величины фактора формы при  $f = 0,4$

Асимметрия нагрузки на валки может быть вызвана также различием температуры по сечению раската. На рис. 5 представлены результаты моделирования процесса прокатки с перепадом температур по ее сечению (верх –  $890^{\circ}\text{C}$ , низ –  $875^{\circ}\text{C}$ ) при коэффициенте трения 0,3 и разности уровней рольганга и нижнего валка -25 мм. Как видно, перепад температур по сечению полосы повышает неравномерность распределения моментов прокатки при наличии разности уровней нижнего валка и рольганга.

В то же время при симметричном обжатии полосы без учета гравитации и при отсутствии плит перед и за валком отношение моментов при этом же коэффициенте трения и значении фактора формы 2 составило 1,084, т.е. верхний валок испытывает большую нагрузку (рис. 6). Дальнейшее увеличение фактора формы в данных условиях приводит к постепенному выравниванию отношения моментов (рис. 6). Тогда как при наличии разности уровней -25 мм выравнивание отношения моментов прокатки между валками наступает уже при значении фактора формы 2 (рис. 5). Снижение величины фактора формы приводит к увеличению момента прокатки на нижнем валке, который соприкасается с более холодной стороной раската (рис. 5 и 6).

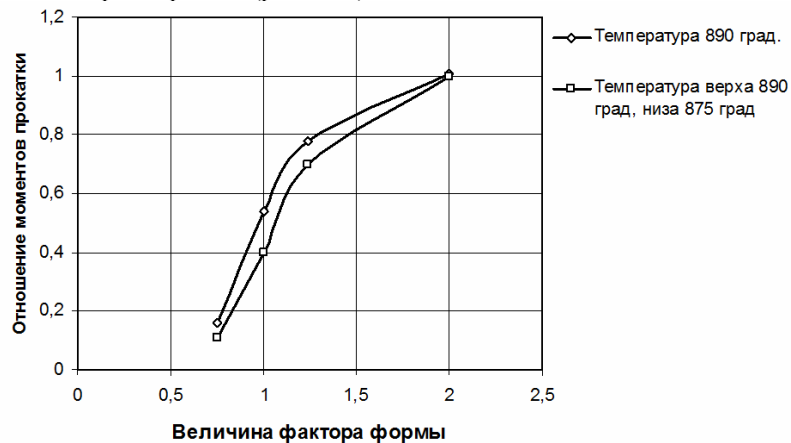


Рис. 5. Влияние распределения температуры на зависимость отношения моментов прокатки от величины фактора формы при  $f = 0,3$  и уровне прокатки -25 мм

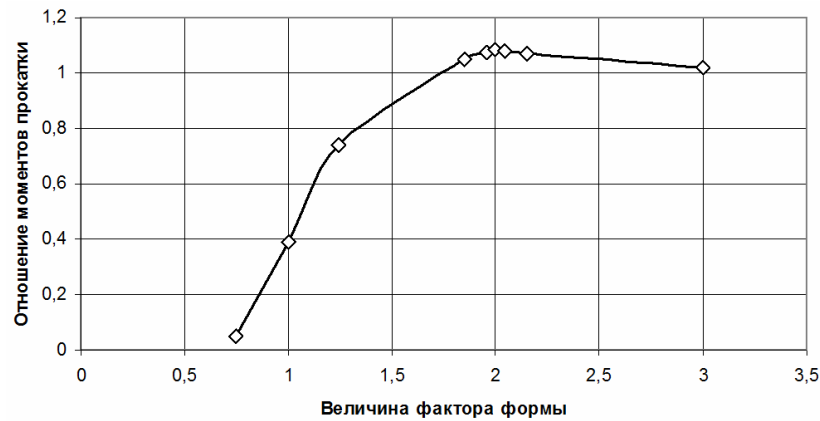


Рис. 6. Залежність відношення моментів прокатки від величини фактора форми при різниці рівней рівної 0,  $f = 0,3$  і несимметричному розподілі температур

В зв'язі з цим можна передположити, що вивод А. І. Целикова о том, що для вращення валка, соприкасающегося с более мягкой частью полосы, требуется несколько больший момент, чем для вращения другого валка, сделан в предположении одинакового характера распределения контактных напряжений по дуге захвата верхнего и нижнего валков [3] и носит частный характер, т.е. относится к прокатке в определенном интервале значений фактора формы.

#### Выводы

Установлено, что различие уровней рольганга и нижнего валка, величина фактора формы и трение оказывают существенное влияние на распределение момента прокатки между верхним и нижним валками. При этом увеличение величины фактора формы, снижение коэффициента трения и уменьшение разности уровней рольганга и валка способствуют снижению асимметрии загрузки валков. Наличие перепада температур по сечению полосы способствует повышению асимметрии загрузки валков. Распределение моментов прокатки между валками при наличии температурной асимметрии и симметричной задаче полосы (при отсутствии гравитационных сил) зависит от величины фактора формы, при этом больший момент прокатки может иметь место как на валке, соприкасающемся с более нагретой стороной, так и на валке, соприкасающемся с более холодной стороной раската.

В перспективе намечены комплексные исследования влияния перепада температуры по сечению раската при различных уровнях температур и величинах обжатий на отношение моментов прокатки на верхнем и нижнем валках с учетом реального различия уровней рольганга и нижнего валка, а также гравитационных сил.

Установлено влияние на распределение момента прокатки между верхним и нижним валками разницы уровней рольганга и нижнего валка, величины фактора формы, коэффициента трения, а также перепада температур по сечению полосы. Указывается, что перераспределение момента прокатки между валками при несимметричном распределении температуры имеет переменный характер, зависящий от фактора формы.

#### Список литературы

1. Грудев А.П. Теория прокатки. – М.: Металлургия. – 1988. – 239 с.
2. Кузьменко В. И. Решение на ЭВМ задач пластического деформирования / В. И. Кузьменко, В. Ф. Балакин. – Киев : Техніка, 1990. – 136 с.
3. Теория прокатки: [Справочник] / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин и др. - М.: Металлургия. – 1982. – 335 с.