

Макаганюк А. С.
аспирант,
Денищенко П. Н.
к.т.н., доц. каф. ОМДиМ
ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕРПОВИДНОСТИ РАСКАТА ПРИ ТОЛСТОЛИСТОВОЙ ПРОКАТКЕ С УЧЕТОМ УШИРЕНИЯ

На современном этапе развития прокатного производства основной тенденцией следует считать освоение и внедрение в производство принципиально новой техники и технологий, обеспечивающих наряду с увеличением объема производства — повышение прямолинейности листовой стали.

Наиболее актуальна проблема получения прямолинейной формы при прокатке листов на станах горячей прокатки. Однако, несмотря на имеющиеся успехи в области улучшения прямолинейности прокатываемых листов, некоторые принципиально важные вопросы остаются малоизученными. Например, не до конца выясненным является механизм нарушения прямолинейности раската при прокатке с уширением.

Выдриным В. Н. показано [1–3], что неравномерность вытяжки и обжатия по ширине полосы дают правильное представление о процессе нарушения плоскостности лишь в частных случаях, о дефектах неплоскостности полосы правильно судить не по характеру распределения вытяжки, а по характеру распределения скоростей течения металла по ширине полосы в плоскостях входа и выхода очага деформации. Поведение полосы при выходе из валков полностью определяется процессом деформации только в зоне опережения, а при входе в валки — процессами деформации только в зоне отставания.

Железновым Ю. Д., Григоряном Г. Г. и др., было замечено, что неравномерность вытяжек раската после прокатки оказывается меньше рассчитанной в предположении плоской схемы деформации. Это явление вызвано механизмами самовыравнивания, один из которых связан с поперечными перемещениями металла в очаге пластической деформации. Имеется достаточное количество экспериментальных подтверждений его эффективности. На возможность поперечных перемещений при листовой прокатке указывается в работах [4–9].

При толстолистовой прокатке особое влияние на серповидность раската оказывает поперечная разнотолщинность, которая приводит к неравномерному распределению скоростей течения металла при выходе из валков. Поперечное течение металла в очаге пластической деформации уменьшают неравномерность коэффициентов удлинения и продольных напряжений по ширине прокатываемых полос на выходе из очага пластической деформации [10].

В связи с этим целью настоящей работы является разработка математической модели серповидности раската на основе неравномерного распределения выходных скоростей металла с учетом поперечного течения металла в очаге пластической деформации.

Если бы прокатка осуществлялась по схеме плоской деформации, то вытяжка и выходная скорость областей металла в областях A , B определялась следующими соотношениями:

$$\lambda_A = \frac{h_{0A}}{h_1}; v_{x1} = v_0 \frac{h_{0A}}{h_1}; \lambda_B = \frac{h_{0B}}{h_1}; v_{x2} = v_0 \frac{h_{0B}}{h_1}. \quad (1)$$

Границы областей A, B при этом определяются плоскостями, параллельными боковым кромкам полосы и проходящими через отрезки прямых aa (рис. 1).

Поперечное перемещение металла со скоростью v_y в очаге деформации на величину S изменяет границы областей, и области A, B переходят в области A', B' , причем плоскости, их разделяющие, проходят через отрезки прямых $a'a'$ (рис. 2).

При наличии поперечного перемещения металла в очаге деформации продольная скорость металла в области A v_{x1} увеличивается, а области B v_{x2} — уменьшается по отношению к скоростям в случае плоской схемы деформации.

При наличии поперечного перемещения металла в очаге деформации продольная скорость металла в области A v_{x1} — увеличивается, а области B v_{x2} — уменьшается по отношению к скоростям в случае плоской схемы деформации:

Влияние поперечных перемещений металла в очаге деформации на уменьшение неравномерности вытяжек по ширине полосы учитывается коэффициентом ρ :

$$\frac{\Delta\lambda(y)}{\lambda} = \rho \left[\frac{\delta h_0(y)}{h_0} - \frac{\delta h_1(y)}{h_1} \right]. \quad (2)$$

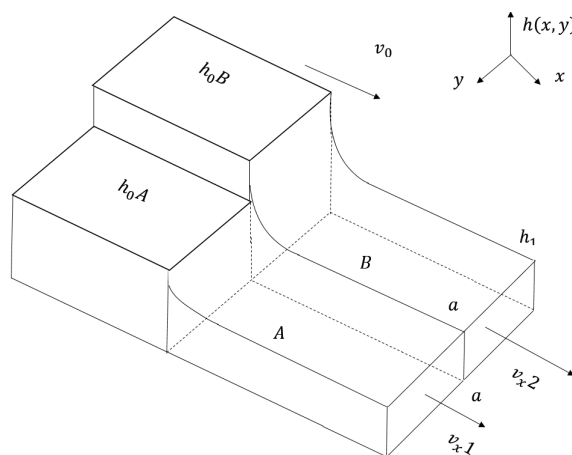


Рисунок 1 — Распределение скоростей течения металла при отсутствии уширения

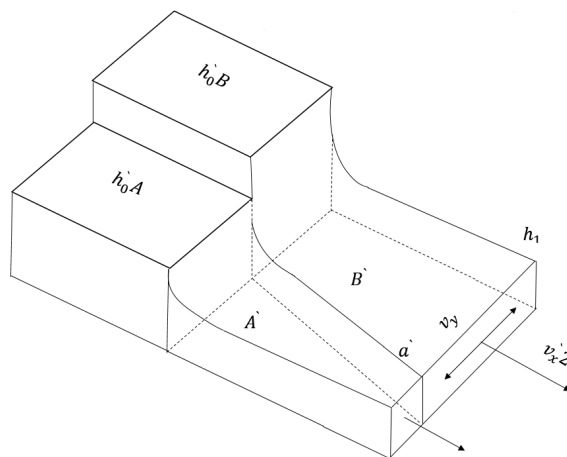


Рисунок 2 — Распределение скоростей течения металла при наличии поперечного течения металла

Для очага деформации будем предполагать модель жесткопластических сред с упругими внешними зонами, то есть считаем, что металл, не обладающий эластичностью в деформационном очаге, сразу же приобретает его на выходе из деформационного очага. Применяя принцип вариации Журдена к такой определенной деформации, получаем уравнение (3) аналогичное [11], но без учета натяжений при прокатке:

$$\delta \left(\iiint_{\Omega} \Pi_v d\Omega - \iint_S \bar{v} ds + \sum_{i=1}^n \iint_{S_i} \tau_s |\Delta v_i| ds \right) = 0. \quad (3)$$

Выражения для скоростей течения металла в очаге деформации с учетом уширения:

$$v_x = v_{ex} \left[1 + f \frac{h_x - h_1}{\Delta h} \frac{B_0}{B_1} + \varphi \frac{h_0 - h_x}{\Delta h} \frac{B_1}{B_x} \right]. \quad (4)$$

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Получена работоспособная математическая модель серповидности раската при толстолистовой прокатке учитывающая неравномерное распределение выходных скоростей и поперечное течение металла в очаге пластической деформации.
2. Разработана методика количественной оценки эффекта самовыравнивания вытяжек по ширине раската при толстолистовой прокатке, учитывающая уширение.

Библиографический список

1. Выдрин, В. Н. Об основах планшетности полосы / В. Н. Выдрин // Теория и технология прокатки : сб. науч. тр. — Челябинск, 1972. — Вып. 102. — С. 208–219.
2. Выдрин, В. Н. Постановка задачи по исследованию условия получения планшетных листов при холодной прокатке / В. Н. Выдрин, Н. В. Судаков, Е. А. Остсемин // Теория и технология прокатки : сб. науч. тр. — Челябинск, 1978. — Вып. 209. — С. 23–30.
3. Выдрин, В. Н. Теоретическое и экспериментальное исследование условий получения планшетных листов при несимметричной и симметричной прокатке / В. Н. Выдрин, Н. В. Судаков, Е. А. Остсемин // Теоретические проблемы прокатного производства : тезисы докл. и сообщений III всесоюзной науч.-техн. конф. — Днепропетровск, 1980. — С. 184.
4. Железнов, Ю. Д. Прокатка ровных листов и полос / Ю. Д. Железнов. — М. : Металлургия, 1971. — 200 с.
5. O’Conor, H. W., Weinstein, A. S. // PAP. ASME. — 1971. — P. 12.
6. Bernsmann, G. P. Lateral Material Flow During Cold Rolling of Strip / G. P. Bernsmann // Iron and steel Engineer. — 1972. — Vol. 49. — № 3. — P. 67–71.
7. Настройка, стабилизация и контроль процесса тонколистовой прокатки / Г. Г. Григорян, Ю. Д. Железнов, В. А. Черный и др. — М. : Металлургия, 1975. — 368 с.
8. Железнов, Ю. Д. Исследование точной тонколистовой прокатки : автореф. дис. ... докт. техн. наук / Ю. Д. Железнов. — Москва, 1971.
9. Бельский, С. М. Расчёт распределения усилия прокатки по ширине полосы и остаточных напряжений в полосе вариационным методом / С. М. Бельский, С. Л. Коцарь, Б. А. Поляков // Изв. вузов. Черная металлургия. — 1990. — № 10. — С. 32–34.
10. Belskiy, S. M. Mathematical Model of hot-rolled Strip’s Camber Formation / S. M. Belskiy, I. P. Mazur ; Lipetsk State Technical University // 8th International Conference on Physical and Numerical Simulation of Materials Processing. — 2016. — P. 5–7.
11. Бельский, С. М. Совершенствование технологий формообразования полос и листов на основе развития теории симметричной и асимметричной горячей прокатки : автореф. дис. ... докт. техн. наук / С. М. Бельский. — Липецк, 2009.