



Steel reinforcement – tendencies and perspectives.

*В. В. ФИЛИППОВ, В. А. ТИЩЕНКО,
А. Д. ШЕВЧЕНКО, РУП "БМЗ",
А. А. ГОРБАНЕВ, С. М. ЖУЧКОВ,
Институт черной металлургии НАН Украины*

О МАССОВЫХ СИЛАХ В ЗОНАХ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОКАТКЕ НА СОВРЕМЕННЫХ ПРОВОЛОЧНЫХ И МЕЛКОСОРТНО-ПРОВОЛОЧНЫХ СТАНАХ

УДК 621.771.25.04.001.5

В настоящее время в мировой практике технология производства катанки на проволочных и мелкосортно-проволочных станах находится в состоянии развития. Применение принципиально нового оборудования — чистовых блоков и линий двухстадийного охлаждения катанки типа Стелмор — дало возможность повысить рабочую скорость прокатки до 80–100 м/с, увеличить массу мотков до 2,5 т, точность катанки до $\pm 0,15$ мм, а охлаждение разложенных витков на движущемся транспортере позволило улучшить структуру и механические свойства катанки, повысить их равномерность по длине мотков и в партии металла.

Наблюдается тенденция дальнейшего роста скорости прокатки, поскольку это открывает возможность увеличения массы мотков, не снижая скорости прокатки в первых клетях стана, позволяет при том же объеме производства сократить рабочее время стана и затраты на заработную плату высококвалифицированного обслуживающего персонала (операторы, вальцовщики) и увеличить время на ремонт, наладку и подготовку механического и электрического оборудования к работе. С увеличением сечения исходной заготовки уменьшается расход металла на 1 т готовой продукции. Проектная скорость прокатки на станах, введенных в эксплуатацию в последние годы (станы на Криворожском и Макеевском металлургических комбинатах, станы фирмы "Сумитомо" (Южная Корея), фирмы "Белгу-Микейра" (Бразилия) и др.), составляет 120–140 м/с.

Опыт работы современных высокоскоростных станов (стан 320/150 Белорусского металлургического завода, станы 150 Макеевского и Криворожского металлургических комбинатов и др.) показал, что при рабочих скоростях 100 м/с и более возникают определенные трудности: увели-

чиваются количество бурежек в блоках и на участках водяного охлаждения, простой и расход металла. Это связано, по-видимому, с тем, что при проектировании оборудования и разработке технологии не учтены особенности процесса высокоскоростной прокатки в чистовых блоках, а именно наличие натяжения и подпора между клетями блока, влияние массовых сил на параметры процесса, изменение сопротивления деформации при высокоскоростной прокатке в блоках и др.

Как показано А. И. Целиковым [1], при расчете параметров высокоскоростной прокатки следует учитывать массовые силы, действующие в очаге деформации, т. е. силы, которые необходимо дополнительно приложить для разгона объема металла от скорости V_0 на входе до скорости V_1 на выходе металла из клетки.

М. Я. Бровман [2], рассматривая установившийся процесс прокатки тонких широких полос и применяя ряд допущений (замена дуги контакта хордой, отсутствие натяжений, постоянство ширины полосы), установил, что при прокатке тонких холодных полос со смазкой возможны случаи, когда при определенных скоростях прокатки силы трения в очаге деформации не смогут сообщить металлу необходимое ускорение, в результате устойчивость процесса нарушится и возможна пробуковка металла на поверхности валков.

В работах [3, 4] рассмотрены вопросы высокоскоростной холодной прокатки листовой стали на основании совместного решения дифференциальных уравнений равновесия выделенного элемента в полярной системе координат и уравнения пластичности. Учтено влияние массовых сил с учетом допущений, характеризующих процесс холодной прокатки листов (сплющивание валков, отсут-

ствие поперечной деформации, упрочнение металла по длине очага деформации и др.).

Рассматривая процесс высокоскоростной прокатки катанки в чистовых блоках клетей проволочных и мелкосортно-проволочных станах, В. Швенц-файер [5—7] сделал вывод о необходимости учета сил для создания необходимого ускорения металла в очаге деформации при скоростях 60 м/с и более, т.е. при скоростях, достигнутых на современных станах. Однако влияние массовых сил на технологические параметры процесса высокоскоростной прокатки катанки в чистовых блоках не рассмотрено.

Таким образом, влияние массовых сил на параметры процесса является одной из основных особенностей высокоскоростной прокатки. В связи с относительно низкими скоростями горячей прокатки, применяемыми на мелкосортных и проволочных станах предшествующих поколений, влияние массовых сил на условия их работы незначительно, поэтому основные уравнения теории прокатки, полученные ранее, не учитывали этого влияния.

В настоящее время теория процесса горячей прокатки в чистовых высокоскоростных блоках не разработана, полностью отсутствуют экспериментальные данные. Вместе с тем следует ожидать существенного влияния массовых сил на нейтральный угол и опережение, коэффициент плеча равнодействующей, энергосиловые параметры, работу и мощность прокатки, распределение продольных усилий между клетями блока. Часть энергии втягивающих сил трения расходуется на создание ускорения металла в зонах деформации, что может привести к ухудшению условий захвата металла, особенно при наличии заднего натяжения, при установившемся процессе и заполнении металлом очага деформации. Массовые силы и продольные усилия между клетями блока определяют также предельные скорости прокатки для данных условий, т.е. скорости, выше которых процесс невозможен, а также оптимальные деформационно-скоростные параметры, обеспечивающие устойчивость процесса прокатки в непрерывных группах и чистовых блоках, высокую среднечасовую производительность станов и заданную точность готового проката.

Актуальность анализа влияния массовых сил на параметры процесса деформации металла в высокоскоростных станах обусловлена высокими скоростями прокатки, достигнутыми в настоящее время (90 м/с и более), а также перспективой дальнейшего их повышения.

В большинстве работ по теории прокатки используют приближенные уравнения сил, действующих на выделенный элементарный объем металла, и уравнение пластичности, при этом уравнения являются статическими, поскольку не учитывают влияния массовых сил при изменении скорости выделенного объема металла от сечения

x до сечения $x+dx$. Для более точного решения уравнение равновесия сил должно быть скорректировано с учетом второго закона Ньютона, т.е. в уравнение равновесия по оси прокатки должна быть добавлена сила

$$F_m = ma = m(dV_x/dt) = md(V_1 F_1 / F_x)(1/dt), \quad (1)$$

где m и a — масса и ускорение выделенного элемента; F_1 и V_1 — площадь поперечного сечения раската и скорость на выходе из валков; F_x и V_x — площадь поперечного сечения элемента и его скорость в сечении x по оси прокатки; t — время.

Так как масса элемента равна $m = \rho F_x dx$ (ρ — плотность металла; dx — толщина выделенного элемента), то массовую силу можно записать в виде

$$F_m = \rho F_x dx d(V_1 F_1 / F_x)(1/dt), \quad (2)$$

и эта сила, направленная против хода движения металла, должна учитываться при расчете параметров процесса высокоскоростной прокатки.

Для всего очага деформации ускорение металла приближенно можно представить как:

$$a = \Delta V/t = (V_1^2 - V_0^2)/2l. \quad (3)$$

Здесь V_0 — скорость металла на входе в очаг деформации; l — длина очага деформации.

На рис. 1 показано ускорение металла в очагах деформации чистового блока стана 320/150 БМЗ при прокатке катанки диаметром 5,5 мм со скоростью 100 м/с. Расчеты показали, что ускорение металла увеличивается от первой до последней клетки блока. В первых клетях блока ускорение невелико. Начиная с шестой клетки ускорение интенсивно возрастает и в последней клетке достигает $120 \cdot 10^3$ м/с. Прокатка катанки диаметром 8—10 мм производится с меньшими скоростями, поэтому максимальное ускорение в этих случаях меньше.

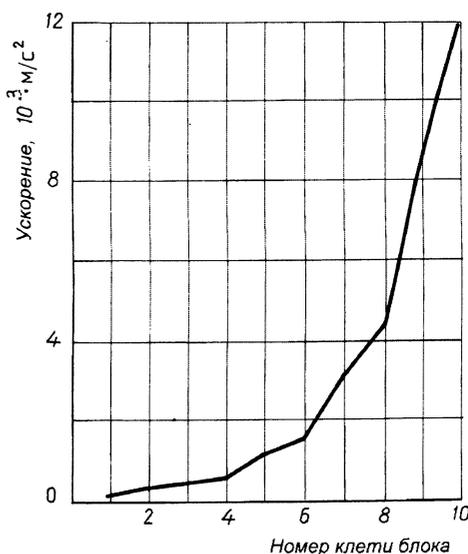


Рис. 1. Ускорение металла в зонах деформации по клетям чистового блока стана 320/150 БМЗ при прокатке катанки диаметром 5,5 мм

Интенсивность изменения ускорения металла по клетям блока зависит от скорости прокатки, диаметра катанки, режимов обжатий, вытяжек и диаметра валков. Чем больше диаметр катанки при одинаковой скорости прокатки, меньше диаметр валков и больше вытяжки, тем больше ускорение. При увеличении числа проходов в блоке при прокатке катанки одного диаметра ускорение в очагах деформации повышается.

Таким образом, при прокатке в высокоскоростных чистовых блоках современных проволочных и мелкосортно-проволочных станов в очагах деформации возникают большие ускорения, в 10 000 раз и более превышающие ускорение земного притяжения. Для создания необходимого ускорения требуются дополнительные затраты энергии на деформацию металла.

Массовая сила, требуемая для разгона металла в очаге деформации от скорости V_0 на входе до скорости V_1 на выходе, может быть определена по формуле:

$$F_m = \rho F_1 V_1^2 [(\mu+1)/2\mu] \ln \mu, \quad (4)$$

где μ — коэффициент вытяжки.

На рис. 2 приведены расчетные значения массовых сил в клетях чистового блока стана 320/150 БМЗ при прокатке катанки диаметром 5,5 и 10 мм.

Как и ускорение, так и массовые силы в клетях блока возрастают по ходу прокатки, достигая наибольших значений в последних клетях. Чем больше диаметр катанки, тем больше массовые силы, требуемые для осуществления деформации металла в клетях блока. Массовые силы достигают значительной величины (рис. 2), превышающей величину продольных усилий в раскате между клетями блока. Совместное влияние массовых сил и межклетевых усилий следует учитывать при

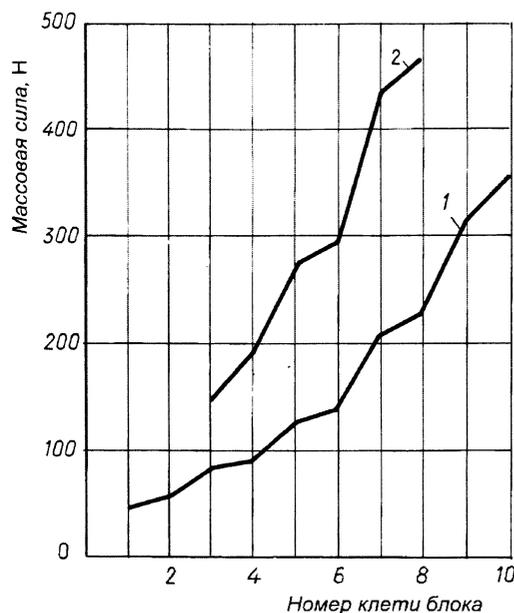


Рис. 2. Массовые силы в очагах деформации чистового блока стана 320/150 БМЗ: 1 — диаметр катанки 5,5 мм; 2 — 10 мм

расчете параметров прокатки, особенно в нечетных клетях блоков, работающих в неблагоприятных условиях — с передним подпором и задним натяжением.

На рис. 3 показана зависимость массовых сил в зоне деформации последней клетки блока от скорости прокатки и диаметра катанки. Чем больше диаметр катанки при той же конечной скорости прокатки и больше скорость прокатки, тем больше массовые силы.

Величина массовых и удельных массовых сил зависит от вытяжек, т. е. от передаточных чисел по клетям, заложенных в конструкцию общего привода блока. Чем больше вытяжки, тем больше массовые силы (рис. 4, 5). С повышением скорости прокатки влияние вытяжки на величину массовых сил возрастает [8, 9].

В настоящее время на современных проволочных и мелкосортно-проволочных станах достигнуты такие скорости прокатки, при которых на все технологические параметры существенное влияние оказывают массовые силы, необходимые для создания достаточного ускорения в зонах деформации чистовых блоков. Так как до настоящего времени отсутствуют теоретические и экспериментальные данные о влиянии массовых сил на технологические параметры непрерывной горячей прокатки, необходимо разработать теоретические основы непрерывной высокоскоростной прокатки катанки и получить уравнения давления и момента прокатки, уширения, опережения и других с учетом массовых сил. На основании полученных уравнений следует разработать математическую модель, адекватно описывающую процесс непрерывной высокоскоростной прокатки в чистовых блоках. Практическое использование данных разработок позволит скорректировать температурно-

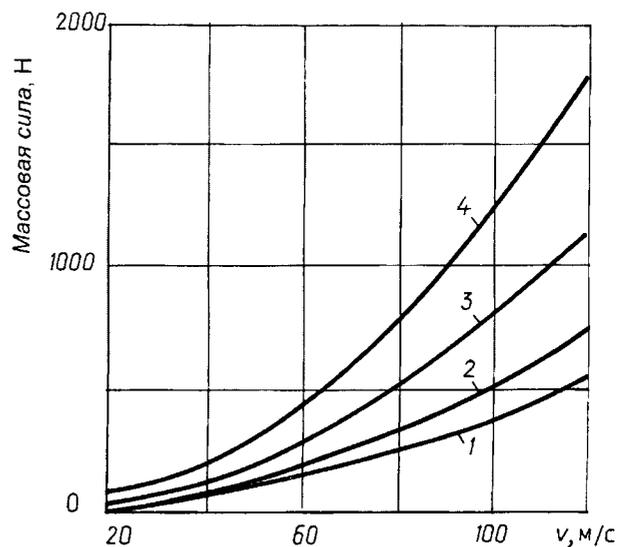


Рис. 3. Зависимость массовых сил в зоне деформации от скорости прокатки и диаметра катанки в последней клетки блока ($\mu=1,25$): 1 — диаметр катанки 5,5 мм; 2 — 6,5; 3 — 8,0; 4 — 10 мм

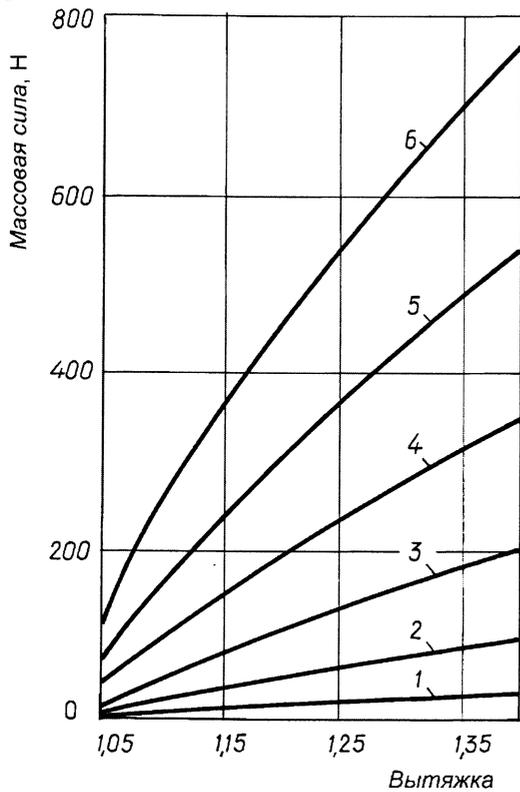


Рис. 4. Влияние вытяжки и скорости прокатки катанки диаметром 5,5 мм на массовые силы в последней клетке блока: 1 — $v_{пр}=20$ м/с; 2 — 40; 3 — 60; 4 — 80; 5 — 100; 6 — 120 м/с

деформационные и скоростные режимы прокатки на существующих высокоскоростных станах, повысить скорость прокатки и среднечасовую производительность станом, увеличить точность и улучшить свойства готовой продукции, а также разработать рекомендации для проектирования станом последующих поколений.

Литература

1. Целиков А. И. Теория расчета усилий в прокатных станах. М.: Металлургиздат, 1962.
2. Бровман М. Я. Применение теории пластичности в прокатке. М.: Металлургия, 1966.

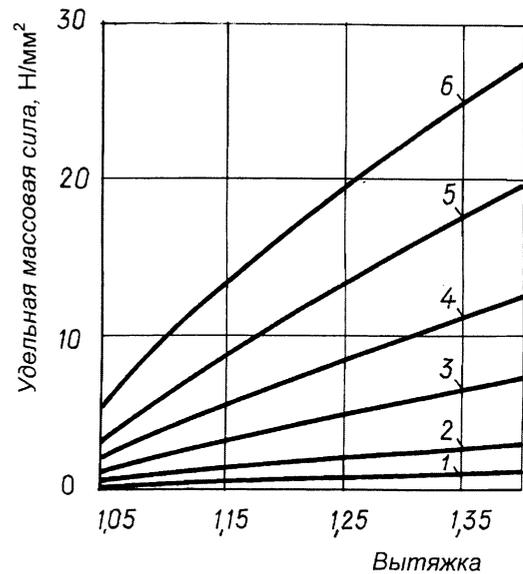


Рис. 5. Влияние вытяжки и скорости прокатки катанки диаметром 5,5 мм на удельные массовые силы в последней клетке блока: 1 — $v_{пр}=20$ м/с; 2 — 40; 3 — 60; 4 — 80; 5 — 100; 6 — 120 м/с

3. Капланов В. И. Теория высокоскоростной тонколистовой холодной прокатки металлов: Учеб. пособие. Киев: УМК ВО, 1991.
4. Старченко Д. И. Капланов В. И. Особенности высокоскоростной холодной прокатки листовой стали // Сталь. 1970. № 2. С. 151—152.
5. Schwenzfeier W. Untersuchung der die Erhöhung der Formungsgeschwindigkeit einschränkenden Faktoren bei plastischen Formungsprozessen // Nehesipart Muszaki Eguctem Közlemengei. 1970. N 31. S. 351—363.
6. Schwenzfeier W. Möglichkeiten und Grenzen neuerzeitlicher Walzwerkstechnik // Archiv für das Eisenhüttenwesen. 1971. N 10. S. 707—712.
7. Schwenzfeier W. Jedrken zur Wirtschaftlichtn Walzdraht — herstellung // Mitteilungsblatt Technischt Universität Clansthal. 1971. N 25. S. 10—11.
8. Горбанев А. А., Евтеев Е. А., Жигулин В. В. и др. Массовые силы в очаге деформации при прокатке в современных высокоскоростных чистовых блоках клетей // Проблемы вычислительной механики и прочности конструкций: Сб. науч. тр. ДГУ. Днепропетровск. 1997. Т. 1. С. 4—11.
9. Inertial forces at deformation site by rolling in modern high — speed finishing mill stands / E. V. Binkevich, A. A. Gorbanev, I. Mamuzic et all // Zagreb.: Metalurgia, 1997. Bd. 36. S. 235—238.