



It is shown that with real drawing-down coefficients used in stand finishing blocks at hot rolling of steel wire rod the rolling speeds when metal can break in strand exit plane are impossible to reach in practice. At rolling of non-ferrous wire rod in existing blocks of finishing stands it is necessary to take into account influence of dynamic effect in the deformation centre and to define maximum rolling speed securing solidness of metal at its exit from stands.

В. В. ФИЛИППОВ, РУП "БМЗ",
А. А. ГОРБАНЕВ, С. М. ЖУЧКОВ, Институт черной металлургии НАН Украины,
В. А. ТИЩЕНКО, А. Б. СТЕБЛОВ, РУП "БМЗ"

РАБОТА И МОЩНОСТЬ ПРОКАТКИ В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЧИСТОВЫХ БЛОКАХ ПРОВОЛОЧНЫХ СТАНОВ

УДК 621.771.25.04.001.5

Работу, затрачиваемую на пластическую деформацию металла в клети, можно определить по формуле Финка

$$A_d = p_{cp} V \ln \mu, \quad (1)$$

где p_{cp} — среднее давление; V — объем металла; μ — коэффициент вытяжки, а мощность деформации — по уравнению

$$N_d = \frac{p_{cp} V \ln \mu}{\tau_n} = p_{cp} F_1 V_1 \ln \mu, \quad (2)$$

где τ_n — время прокатки; F_1 — площадь поперечного сечения раската на выходе из клети; V_1 — скорость прокатки.

Так как скорость прокатки в чистовых блоках проволочных станов в настоящее время достигла 100 м/с, а в перспективе повысится до 140–150 м/с, при определении работы и мощности пластического формоизменения при прокатке в блоках следует учитывать влияние массовых сил, т. е. работу и мощность, затрачиваемую на разгон металла в очаге деформации от скорости V_0 на входе в очаг деформации до скорости V_1 на выходе из него [1–4].

Работа, затрачиваемая на преодоление массовых сил, равна:

$$A_m = \rho F_1 l_p \left(\frac{\mu+1}{2\mu} \right) V_1^2 \ln \mu, \quad (3)$$

где l_p — длина раската на выходе из клети; ρ — плотность прокатываемого металла.

Влияние массовых сил на работу прокатки можно выразить через коэффициент работы массовых сил, равный отношению работы, затрачиваемой на преодоление массовых сил, к полной работе прокатки [3]. Коэффициент работы массовых сил равен:

$$k_{A_m} = \frac{\rho}{p_{cp}} \left(\frac{\mu+1}{2\mu} \right) V_1^2. \quad (4)$$

Мощность, затрачиваемая на деформацию металла в одной клети с учетом массовых сил и натяжения, равна:

$$N = p_{cp} F_1 V_1 \ln \mu + 2k F_1 V_s (\psi_0 - \psi_1) (1+S) + \rho F_1 \left(\frac{\mu+1}{2\mu} \right) V_1^3 \ln \mu, \quad (5)$$

где V_s — окружная скорость валков; $\psi_0 = \frac{\sigma_0}{2k}$; $\psi_1 = \frac{\sigma_1}{2k}$; σ_0 и σ_1 — удельное заднее и переднее натяжение; k — сопротивление чистому сдвигу; S — опережение.

Анализ полученных выражений показывает, что с ростом скорости прокатки существенно возрастает влияние динамического эффекта. Работа, затрачиваемая на преодоление массовых сил, увеличивается пропорционально квадрату, а мощность — пропорционально кубу скорости прокатки.

Если коэффициент работы массовых сил, определенный по уравнению (4), становится равным 1, то работа, затраченная на преодоление массовых сил, достигает по величине работы, затрачиваемой на пластическое формоизменение раската.

На рис. 1 показано изменение скорости прокатки в зависимости от коэффициента вытяжки металла при $k_{A_m} = 1$. Расчеты выполнены для случая прокатки катанки диаметром 6,5 мм из стали 80 в последней клети блока чистовых клетей проволочного стана 150 БМЗ.

Чем меньше коэффициент вытяжки в клети, тем раньше будет достигнута скорость, при которой $A_d = A_m$. С увеличением сопротивления деформации эта скорость возрастает.

Расчеты показали, что в современных конструкциях блоков чистовых клетей, рассчитанных на скорость прокатки 100 м/с и более, при определении работы прокатки и выборе мощности привода следует учитывать энергию, затрачиваемую на преодоление массовых сил. Так, в последней клети чистового блока проволочного стана 150 БМЗ для скорости прокатки 120 м/с работа на преодоление массовых сил составит 40% от работы, затраченной на пластическую деформацию.

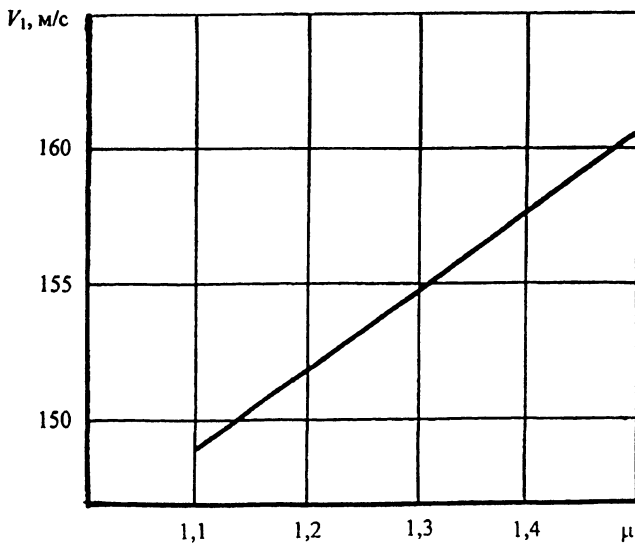


Рис. 1. Изменение скорости прокатки в зависимости от коэффициента вытяжки металла при $k_{A_0}=1$

В любом сечении деформационной зоны массовая сила равна:

$$Q_m = \rho F_\phi \left(\frac{\mu_\phi + 1}{2\mu_\phi} \right) V_\phi^2 \ln \mu_\phi, \quad (6)$$

где F_ϕ , $\mu_\phi = F_0/F_\phi$ и $V_\phi = (\mu_\phi/\mu)V_1$ — соответственно площадь поперечного сечения раската, вытяжка и скорость прокатки в сечении очага деформации, расположенном под углом к плоскости выхода металла из валков.

Продольное напряжение, создаваемое массовыми силами, в любом сечении очага деформации при прокатке определяется как

$$\sigma_{m_\phi} = \rho \left(\frac{\mu_\phi + 1}{2\mu_\phi} \right) V_\phi^2 \ln \mu_\phi. \quad (7)$$

Это напряжение изменяется от нуля в плоскости входа полосы в очаг деформации до максимального значения на выходе металла из валков. Напряжение, создаваемое массовыми силами в самом опасном сечении (в плоскости выхода), равно:

$$\sigma_{m_{\max}} = \rho \left(\frac{\mu + 1}{2\mu} \right) V_1^2 \ln \mu. \quad (8)$$

Для анализа характера воздействия динамического эффекта в очаге деформации на прокатываемый раскат и сравнения возникающего продольного напряжения массовых сил с механическими свойствами прокатываемого металла в работе [3] предложен коэффициент напряжения массовых сил, равный:

$$k_{н_м} = \frac{\sigma_m}{2k}. \quad (9)$$

В сечении выхода металла из валков

$$k_{н_м} = \frac{\rho}{2k} \left(\frac{\mu + 1}{2\mu} \right) V_1^2 \ln \mu. \quad (10)$$

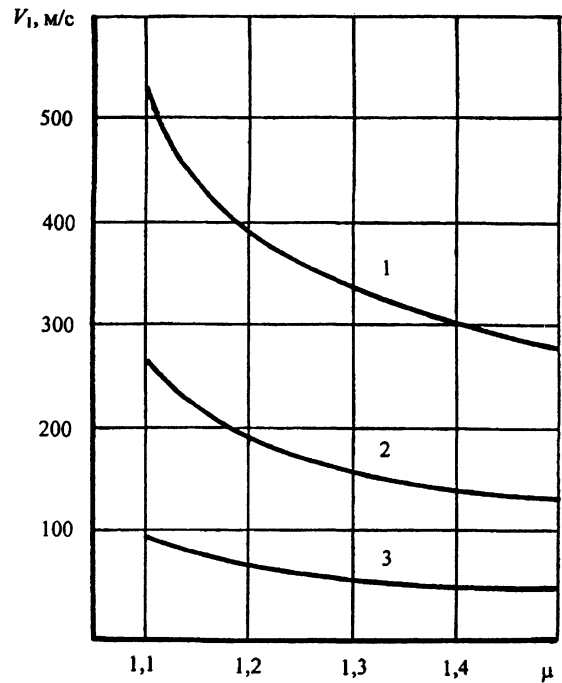


Рис. 2. Изменение скорости прокатки в зависимости от коэффициента вытяжки, при которой возможен разрыв раската в результате действия массовых сил: 1 — углеродистая сталь, 1000°C, $\rho/2k \approx 3,75 \cdot 10^{-5} \text{ с}^2/\text{м}^2$; 2 — алюминиевый сплав АМц, 370°C, $\rho/2k \approx 16 \cdot 10^{-5} \text{ с}^2/\text{м}^2$; 3 — свинец, $\rho/2k \approx 115,7 \cdot 10^{-5} \text{ с}^2/\text{м}^2$

Отношение $\rho/2k$ в выражении (10) характеризует физико-механические свойства металла.

При прокатке углеродистой стали при температуре 1000°C со степенью и скоростью деформации, применяемых в блоках чистовых клетей, $\rho/2k \approx 3,75 \cdot 10^{-5} \text{ с}^2/\text{м}^2$, при прокатке алюминиевого сплава АМц с температурой 370°C $\rho/2k \approx 16 \cdot 10^{-5} \text{ с}^2/\text{м}^2$ и при прокатке свинца $\rho/2k \approx 115,7 \cdot 10^{-5} \text{ с}^2/\text{м}^2$ [3, 5].

Таким образом, в общем случае при прокатке различных материалов отношение $\rho/2k$ может изменяться в широких пределах, что существенно влияет на коэффициент напряжения массовых сил $k_{н_м}$. На рис. 2 показано изменение скорости прокатки в зависимости от коэффициента вытяжки металла при горячей прокатке стали при температуре прокатки 1000°C, теплой прокатке алюминиевого сплава при температуре прокатки 370°C и холодной прокатке свинца, при которой возможен разрыв раската на выходе его из валков в результате действия массовых сил.

С увеличением коэффициента вытяжки влияние массовых сил возрастает и скорости прокатки, при которых возможен разрыв раската в межклетьевом промежутке блока, снижаются.

При повышении плотности прокатываемого металла и уменьшении сопротивления деформации возрастает влияние динамического эффекта в очаге деформации.

При реальных коэффициентах вытяжки, применяемых в чистовых блоках при горячей прокат-

ке, скорости прокатки, при которых может наступить разрыв металла в плоскости выхода полосы из валков, далеко выходят за пределы возможных скоростей даже с учетом передних натяжений, обычно имеющих место в чистовых блоках. Таким образом, никаких ограничений по механическим свойствам для случаев прокатки стальной катанки нет. Однако при проектировании чистовых блоков для прокатки катанки из цветных металлов, а также при прокатке такой катанки в существующих блоках для прокатки стальной катанки необходимо учитывать влияние динамического эффекта в очаге деформации и определять максимальную скорость прокатки с учетом параметра $\rho/2k$, обеспечивающую сплошность металла на выходе из клеток.

Выводы

1. При определении работы и мощности пластического формоизменения в процессе прокатки в блоках чистовых клеток проволочных станов следует учитывать влияние массовых сил (динамического эффекта), т. е. работу и мощность, затрачиваемую на разгон металла в очаге деформации от скорости входа до скорости выхода.

2. Получены аналитические выражения для определения работы и мощности, затрачиваемой на деформацию металла в одной клетки с учетом массовых сил и межклетьевого натяжения.

3. Установлено, что с увеличением скорости прокатки существенно возрастает влияние динамического эффекта. Работа, затрачиваемая на преодоление массовых сил, возрастает пропорционально квадрату, а мощность — пропорционально кубу скорости прокатки.

4. Показано, что при реальных коэффициентах вытяжки, применяемых в чистовых блоках при горячей прокатке стальной катанки, скорости прокатки, при которых может наступить разрыв металла в плоскости выхода полосы, недостижимы на практике. Однако при прокатке катанки из цветных металлов в существующих блоках чистовых клеток необходимо учитывать влияние динамического эффекта в очаге деформации и определять максимальную скорость прокатки, обеспечивающую сплошность металла на выходе из клеток.

Литература

1. Schweanzfeier W. Möglichkeiten und Grenzen neuzeitlicher Walzwerkstechnik // Archiv für das Eisenhüttenwesen. 1971. N 10. S. 707—712.
2. Бровман М. Я. Применение теории пластичности в прокатке. М.: Металлургия, 1966.
3. Капланов В. И. Теория высокоскоростной тонколистовой холодной прокатки металлов: Учеб. пособие. Киев: УМК ВО, 1991.
4. Binkevich E. V., Gorbanev A. A., Mamuzic I. et al. Inertial forces at deformation site by rolling in modern high-speed finishing mill stands // Zagreb.: Metalurgija. 1997. Vol. 36. Bd. 235—238.
5. Полухин П. И., Гун Г. Я., Галкин А. М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1967.