

В.В. Вернев

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА МОМЕНТ,
ДЕЙСТВУЮЩИЙ НА ВАЛКИ ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ В ПЕРИОД
ЗАХВАТА ПОЛОСЫ**

Показано, что разброс параметров прокатки (толщины, ширины и температуры подката, скорости прокатки и др.) по разному влияет на функцию момента на валках в период захвата полосы и в установившемся режиме прокатки. Приведены формулы для соответствующих оценок.

Постановка задачи.

Влияние разброса технологических параметров на давление P и момент M прокатки в установившемся режиме работы стана достаточно полно исследовано в фундаментальных работах А.И.Целикова, А.П.Чекмарева, В.Н.Выдрина, П.И.Полухина и других ученых-прокатчиков. По разработанным ими аналитическим зависимостям и методикам легко определить насколько изменяются значения P и M , например, при отклонении от номинальных значений толщины и ширины подката, температуры металла, скорости прокатки и др.

Очевидно, что колебания технологических параметров влияют также на динамические процессы в оборудовании. В работах [1–3] приведены некоторые результаты подобных исследований. В частности, показано, что в период захвата полосы валками влияние разброса параметров прокатки на динамику линии главного привода сказывается через соответствующее изменение функций нагружения P и M на участке заполнения очага деформации металлом.

При составлении системы дифференциальных уравнений, описывающих поступательные колебания упругой системы клетки и крутильных колебаний линии привода, функции P и M , стоящие в правых частях соответствующих уравнений, представляют собой возмущение, изменяющееся по некоторому закону. От характера изменения этого закона в период заполнения очага деформации металлом зависит динамика переходного процесса прежде всего крутильной системы линии главного привода. Поэтому необходимо знать в какой степени отклонение параметров прокатки влияет, в частности, на поведение, функции момента.

Исходные посылки.

В качестве возмущающей функции возьмем известное выражение для момента сил технологического сопротивления (момента прокатки) на валках, в котором учтено влияние податливости прокатной клетки [4]:

$$M_n(\varphi) = \psi P_c B r^2 \cdot \left[\alpha^2 - (\varphi - \alpha_0)^2 \right] \quad (1)$$

Здесь B – ширина полосы; r – радиус рабочего вала; α_0 – угол встречи полосы с валком, рассчитанный с учетом сближения валков за счет деформации клетки; α – текущий угол захвата полосы $\alpha_c \leq \alpha \leq \alpha_0$. φ – угол поворота вала: $0 \leq \varphi \leq \alpha_0$.

Номинальным (невозмущенным) параметрам прокатки в установившемся режиме соответствует номинальное значение момента прокатки (сопротивления), следующее из (1) после заполнения очага деформации (при $\varphi = \alpha_0$):

$$M_{nc} = \psi P_c B r^2 \alpha_c^2$$

Для определения среднего удельного давления при горячей прокатке тонких широких полос без учета продольных сил, действующих на полосу, воспользуемся известной формулой А.И.Целикова, которую с целью упрощения записи представим в следующем виде:

$$P_c = 1,15 \cdot \sigma \cdot f(H_0, H_1, \mu),$$

Сопротивление деформации определим через взаимно независимые термомеханические коэффициенты [5]:

$$\sigma = A_T A_\varepsilon A_u \sigma_0 e^{-m_1 T} \cdot \varepsilon^{m_2} \cdot u^{m_3},$$

где σ_0 – базовое значение сопротивления деформации при заданных значениях температуры прокатки T , относительном обжатии ε и скорости относительной деформации u .

Решение задачи.

В качестве возмущений возьмем следующие отклонения параметров прокатки от номинальных (расчетных) значений ΔB , ΔH_0 – ширины и толщины полосы на входе в клетку, ΔT – температуры полосы, ΔV – скорости прокатки, $\Delta \mu$ – коэффициента трения в очаге деформации, $\Delta \sigma$ – сопротивления деформации прокатываемого металла.

Рассмотрим степень влияния отклонения каждого параметра на поведение функции момента (1), которая имеет в общем случае горбообразный вид. Для удобства сравнительного анализа воспользуемся относительными величинами. В этом случае номинальная кривая $\bar{M}_n(\varphi) = M_n(\varphi) / M_{nc}$ изменяется от нуля до некоторого максимального значения

$\bar{M}_{n\max} = \varphi_m^2 / \alpha_c^2 > 1$ при угле $0 \leq \varphi = \varphi_m = \alpha_0 - x_c / 2r \alpha_0 < \alpha_0$, затем уменьшается до $\bar{M}_n = 1$ при $\varphi = \alpha_0$ (рисунок, кривая «Н») и далее остается постоянной. Здесь x_c – деформация упругой системы клетки в установившемся режиме прокатки.

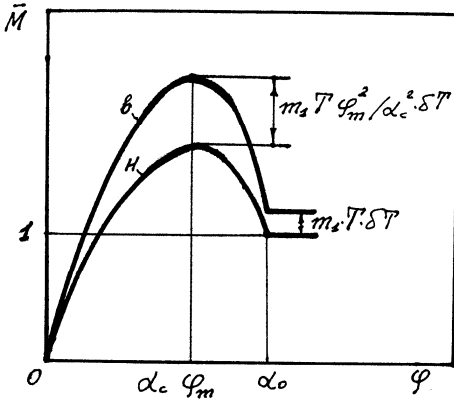


Рисунок. Зависимость относительного момента технологического сопротивления (прокатки) от угла поворота валка в период захвата полосы валками: n – номинальная кривая; v – возмущенная кривая (в данном случае обусловленная уменьшением температуры полосы δT).

Изменение параметров прокатки приведет к отклонению возмущенной кривой $M(\varphi)$ от номинальной

$M_n(\varphi)$: $\Delta M_p(\varphi) = M_p(\varphi) - M_n(\varphi)$. Величину относительного отклонения $\delta M_{pi} = \Delta M_{pi} / M_{nc}$ определили через соответствующие частные производные $\partial \bar{M}_n(\varphi) / \partial p_i$, где p_i – параметр прокатки. Например, при изменении температуры полосы

$$\partial_{M} / \partial T = \partial M / \partial P_c \cdot \partial P_c / \partial K_T \cdot \partial K_T / \partial T.$$

После подстановки производных и упрощений получили

$$\delta M_T(\varphi) = -m_1 T \cdot \bar{M}_n(\varphi) \cdot \delta T \quad (3)$$

где T – номинальная температура, $\delta T = \Delta T / T$ её относительное отклонение.

Аналогичным образом определили влияние других параметров прокатки. Отклонение ширины полосы $\delta B = \Delta B / B$:

$$\delta M_B(\varphi) = \bar{M}_n(\varphi) \cdot \delta B \quad (4)$$

Особенность влияния отклонения скорости прокатки на δM состоит в том, что δV приводит к изменению сопротивления деформации (через относительную скорость деформации u в выражении для σ)

$$\delta M_{vu}(\varphi) = K_u \cdot \bar{M}_n(\varphi) \cdot \delta V$$

и коэффициента трения μ , входящего в выражение для среднего удельного давления (через параметр $\delta = 2\mu \cdot r\alpha / \Delta H$):

$$\delta M_{vu}(\varphi) = (K_u \cdot \bar{M}_n(\varphi) + \partial \bar{M}_n(\varphi) / \partial V_\mu) \delta V \quad (5)$$

Отклонение толщины подката $\delta H_o = \Delta H_o / H_o$ приводит к изменению относительной деформации ε и времени захвата Δt , поэтому

$$\delta M_{H_o}(\varphi) = (\bar{M}_n(\varphi) \cdot m_2 \cdot H_1 / \Delta H + \partial M_n(\varphi) / \partial H_o) \cdot \delta H_o \quad (6)$$

При независимом изменении сопротивления деформации, обусловленном отклонением химического состава прокатываемого металла,

$$\delta M_{\sigma}(\varphi) = \bar{M}_n(\varphi) \cdot \delta \sigma \quad (7)$$

и изменении коэффициента трения в очаге деформации из-за, например, наличия повышенного количества окалины на поверхности полосы:

$$\delta M_{\mu}(\varphi) = \partial \bar{M}_n(\varphi) / \partial \mu \cdot \delta \mu \quad (8)$$

Полученные выражения для $\delta \bar{M}_p$ имеют общий вид в том смысле, что отражают влияние δr на момент в процессе заполнения очага деформации металлом в период захвата полосы валками. Как частный случай из них следует, что в точке $\varphi = \alpha_o$ величина $\delta \bar{M}_p$ отображает влияние отклонения технологического параметра от номинального значения в установившемся режиме прокатки. Отметим, что в этой точке $\bar{M} = 1$. При отклонении, например, температуры получаем известный частный случай в статике, рассмотренный в [6] $\delta M_T = -m_1 \cdot T \cdot \delta T$ (эта величина отмечена на рисунке).

На участке заполнения очага деформации в точке $\varphi = \varphi_m$ $\delta M_p(\varphi_m)$ отличается от $\delta M_p(\alpha_o)$ в $\varphi_m^2 / \alpha_c^2 > 1$ раз. Так, при уменьшении температуры $\delta M_T(\varphi_m) = m_1 \cdot T \cdot \varphi_m^2 / \alpha_c^2 \cdot \delta T$ (эта величина отмечена на рисунке). Аналогично получаем для других технологических возмущений.

Отсюда следует вывод, что влияние технологических возмущений на функцию момента в период захвата полосы более существенное, чем на момент в установившемся режиме прокатки (в $K_c = \varphi_m^2 / \alpha_c^2$ раз). По величине коэффициента K_c можно оценивать степень влияния технологического возмущения на функцию момента. В чистовых клетях широкополосных станов K_c увеличивается к последним клетям, где достигает значений 2÷4. Это означает, что во столько раз увеличивается (уменьшается) влияние отклонения $\delta \varphi$ на момент в точке φ_m .

В общем случае возможны неблагоприятные сочетания разброса технологических параметров, что приводит к более крутому росту кривой момента на начальном участке и увеличению максимального момента M_{max} ввиду сложения возмущений. Например, уменьшение температуры металла на 40°С и увеличение толщины подката на 0,3мм (оба фактора действуют в одну сторону) приводит к увеличению M_{max} в клетки 8 стана

1680 в 1,5 раза, в то время как статический момент увеличивается в 1,2 раза.

Изменение интенсивности нарастания момента сопротивления и его максимального значения в точке φ_m в конечном итоге влияет на формирование динамических нагрузок в линии главного привода.

На основании исследований, выполненных для чистовых клетей широкополосных станов, вытекают следующие выводы.

Наибольшее влияние на функцию момента на участке заполнения очага деформации металлом, также как и для статического момента, оказывает отклонение температуры, толщины полосы и собственно сопротивления деформации прокатываемого металла.

Расчетное значение отклонения статического момента δM_c из-за разброса технологических параметров нельзя отождествлять с отклонением момента в фазе захвата полосы, особенно в точке его максимума.

1. *Влияние особенностей изменения момента технологического сопротивления на динамику главных приводных линий чистовых клетей* / В.В. Веренев, В.И.Большаков, Н.И. Подобедов // Сб. Защита металлургических машин от поломок. Мариуполь. – 1998. – № 3. – С.35–39.
2. *Веренев В.В.* Особенности влияния технологических и конструктивных параметров на динамические процессы в широкополосных станах // Труды третьего конгресса прокатчиков. Москва. – «Черметинформация», 2000 – С.98–104.
3. *Веренев В.В.* Влияние технологических параметров на динамические нагрузки в прокатной клет. // Тематич. сб. науч. трудов «Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении». – Краматорск. – 2003. – С.141–145.
4. *Инженерная оценка влияния податливости клетки на технологические нагрузки и частотные характеристики листовых станов* / П.Я. Скичко, И.И.Леєпа, В.В. Веренев // В сб. «Листопркатное производство». – № 3. – М.: Металлургия, 1974. – С.127–131.
5. *Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке.* / В.И. Зюзин, М.Я.Бровман, А.Ф. Мельников // М.: Металлургия. – 1964. – 270 с.
6. *Повышение точности листового проката.* / И.М. Меерович, А.И. Герцев, В.С.Горелик и др. // М.: Металлургия. 1969. – 264 с.

*Статья рекомендована к печати чл.–корр.НАН Украины
В.И.Большаковым*