

УДК 621.77.621.892.(03)

Василев Я. Д.
Замогильный Р. А.
Шаповал Е. Ю.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАЧАЛЬНОЙ НАСТРОЙКИ РАБОЧЕЙ КЛЕТИ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ ТОНКИХ И ОСОБО ТОНКИХ ПОЛОС

Теория и технология холодной прокатки тонких и особо тонких полос отличается существенно от традиционной теории и технологии листовой прокатки. Пластическая деформация металла при холодной прокатке тонких и особо тонких полос осуществляется с малыми абсолютными обжатиями ($\Delta h \leq 0,05-0,5$ мм), с большими средними контактными нормальными напряжениями ($p_{\text{срс}} \geq 500-1500$ Н/мм²) и при больших значениях отношения радиуса валков R к толщине полосы h_0 на входе в очаг деформации ($R/h_0 \geq 500-3000$) [1–3]. В этих условиях прокатки основное влияние на все параметры процесса оказывают условия трения на контакте металла с инструментом и упругие деформации валков и полосы и рабочей клетки $\delta_{\text{кл}}$ в целом. В результате упругого радиального сжатия валков и упругого восстановления полосы происходит существенное дополнительное увеличение длины очага деформации l_c и, как следствие, значительный рост средних контактных нормальных напряжений $p_{\text{срс}}$, силы P_c и мощности W_c прокатки, а также упругих деформаций рабочих клеток станов холодной прокатки, что приводит к снижению их обжимающей способности и к увеличению удельного расхода энергии [1–4]. Поэтому холодная прокатка тонких и особо тонких полос осуществляется в клетях с предварительно прижатыми валками силой P_{np} [2, 5]. Кроме того, с уменьшением толщины и ширины прокатываемых полос концевые участки бочек рабочих валков находятся в «забое», т. е. в прижатом состоянии в процессе прокатки с силой P_z , что увеличивает силу $P_{\text{нв}}$, действующую на нажимные винты, и также снижает обжимающую способность рабочих клеток. Все это затрудняет начальную настройку рабочих клеток и ограничивает их возможности для прокатки полос малой толщины [2]. Поэтому учет особенностей силового нагружения клеток валковых систем и определение начальной настройки рабочих клеток при холодной прокатке тонких и особо тонких полос является актуальной задачей.

Целью работы является повышение точности определения параметров начальной настройки рабочих клеток станов холодной прокатки, с учетом особенностей силового взаимодействия бочек валков и их концевых участков до прокатки и в процессе прокатки, при прокатке тонких и особо тонких относительно узких полос. Достижению этой цели посвящена настоящая статья, являющаяся продолжением исследований, опубликованных нами ранее [2, 5].

При прокатке толстых и широких полос рабочие валки перед прокаткой устанавливаются с зазором между ними, равным S_0 . В этом случае зазор между рабочими валками у торцов их бочек S_{1k} в процессе прокатки остается положительным ($S_{1k} > 0$). Поэтому сила $P_{\text{нв}}$, действующая на нажимные винты рабочей клетки, равна силе прокатки P_c и связь между толщиной полосы на выходе из очага деформации h_1 и зазором между валками S_0 находят в результате решения системы:

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= S_0 + \frac{P_c}{M_{\text{кл}}}; \\ P_c &= \varphi(h_1), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $M_{\text{кл}}$ – модуль жесткости клетки.

При прокатке тонких полос упругая деформация клетки обычно превышает толщины последних на выходе из очага деформации ($P_c/M_{\text{кл}} > h_1$) процесс реализуется в предварительно

прижатых валках, т. е. при наличии отрицательного зазора между ними ($-S_0$). Величина этого зазора зависит от силы их предварительного прижатия P_{np} и модуля жесткости клетки ($-S_0 = P_{np}/M_{кл}$). Тогда для установления связи между параметрами h_1 и P_{np} решают систему [2, 5]:

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= \frac{P_c - P_{np}}{M_{кл}}; \\ P_c &= \varphi(h_1). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Система (2) справедлива только при больших значениях параметра b/L (где b, L – ширина прокатываемой полосы и длина бочки валков), когда силовое взаимодействие концевых участков бочек валков в процессе прокатки не происходит, т. е. при $P_3 = 0$ или $S_{1k} \geq 0$.

При прокатке тонких относительно узких ($b/L < 0,5-0,7$) полос концевые участки бочек рабочих валков обычно находятся в «забое» в процессе прокатки, т. е. прижаты силой P_3 . Это означает, что на рабочие валки, а, следовательно, и на нажимные винты рабочей клетки, в процессе прокатки, действуют две силы (без учета сил уравнивающего устройства и устройства гидромеханического регулирования профиля валков) – P_c и P_3 , соответственно по контурам полоса-рабочие валки – опорные валки-нажимные винты и концевые участки рабочих валков – опорные валки – нажимные винты. Таким образом, сила, действующая на нажимные винты $P_{нев}$ при прокатке тонких и особо тонких относительно узких полос, равна:

$$P_{нев} = P_c + P_3 \quad (3)$$

и известное ограничение по силе прокатки следует записывать в виде:

$$P_{нев} \leq [P]. \quad (4)$$

Очевидно, что в рассматриваемых условиях прокатки суммарная стрела прогиба активных образующих рабочих валков $2\delta_{до}$ превышает толщину полосы h_1 и зазор S_{1k} приобретает отрицательные значения ($S_{1k} < 0$). Кроме того, при прокатке тонких и особо тонких относительно узких полос рабочие валки прижаты предварительно силой P_{np} . Поэтому для однозначного определения значений параметров P_{np} и P_3 необходимо решить систему [2]:

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= \frac{P_c + P_3 - P_{np}}{M_{кл}}; \\ P_c &= \varphi(h_1); \\ P_3 &= \varphi(h_1). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Полученные в результате решения этой системы значения сил P_{np} и P_3 являются параметрами начальной настройки рабочей клетки при прокатке тонких и особо тонких относительно узких полос, когда процесс осуществляется с «забоем» концевых участков валков.

Основное отличие системы (5) от системы (2) состоит в том, что она учитывает влияние силы «забоя» концевых участков валков в процессе прокатки на параметры начальной настройки рабочей клетки. Собственно в этом и заключается трудность её аналитического решения. Для удобства анализа и сравнительного исследования систем (2) и (5) воспользуемся их графическим решением. Такое решение представлено на рис. 1. Сплошные линии на этом рисунке относятся к системе (5), штриховые к системе (2). Из рис. 1 следует, что когда концевые участки бочек рабочих валков находятся в «забое» в процессе прокатки (линии 1 и 2), получение требуемой толщины полосы h_1 достигается при более высоких значениях сил P_{np} и $P_{нев}$ или при большей величине отрицательного зазора между валками до прокатки ($-S_0$). Разность ординат кривых пластической деформации 2 и 2' при $h = h_1$ численно равна силе P_3 . При $P_3 = 0$ приходим к решению системы (2). Таким образом, учет влияния силы P_3 при начальной настройке рабочей клетки сводится к увеличению силы предварительного прижатия валков с P_{np}' до P_{np} или к увеличению отрицательного зазора между ними с S_0' до S_0 .

Из этого уравнения видно, что единственным технологическим фактором, ограничивающим наименьшую толщину прокатываемой полосы, является сила $P_{нв}$, действующая на нажимные винты. Согласно уравнению (3) величина этой силы равна сумме сил ($P_c + P_3$). Поскольку очевидно, что холодная прокатка полос меньшей толщины возможна только при уменьшении силы прокатки и силы «забоя» концевых участков валков при реализации процесса на конкретном стане.

ВЫВОДЫ

Исходя из особенностей силового взаимодействия полосы с валками, предложены решения для определения параметров начальной настройки рабочих клетей полосовых станов при холодной прокатке тонких и особо тонких полос. Показано, что возможности современной теории и технологии холодной прокатки обеспечивают необходимую точность прогнозирования исходных данных для расчетного определения параметров начальной настройки рабочих клетей при холодной прокатке тонких и особо тонких полос. Это позволяет рекомендовать предложенные решения для практического использования. Сделан вывод о том, что уравнение упругой линии клетки при прокатке тонких и особо тонких полос может быть использовано для определения наименьшей толщины полосы, которая может быть прокатана на конкретном стане.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василев Я. Д. *Инженерные модели и алгоритмы расчета параметров холодной прокатки* / Я. Д. Василев. – М. : *Металлургия*, 1995. – 368 с.
2. Василев Я. Д. *Непрерывная прокатка тонких и особо тонких полос. Непрерывная прокатка : коллективная монография* / Я. Д. Василев, А. В. Дементиенко. – Дніпропетровськ : РВА «Дніпро-ВАЛ», 2002. – С. 137–293.
3. Василев Я. Д. *Основы теории продольной холодной прокатки* / Я. Д. Василев // *Пластическая деформация металлов : коллективная монография*. – Днепропетровск : Акцент ПП, 2014. – С. 107–125.
4. Целиков А. И. *Теория продольной прокатки* / А. И. Целиков, Г. С. Никитин, С. Е. Рокотян. – М. : *Металлургия*, 1980. – 320 с.
5. Василев Я. Д. *Производство полосовой и листовой стали* / Я. Д. Василев, М. М. Сафьян. – Киев : Вища школа, 1976. – 192 с.

REFERENCES

1. Vasilev Ja. D. *Inzhenernye modeli i algoritmy rascheta parametrov holodnoj prokatki* / Ja. D. Vasilev. – M. : *Metallurgija*, 1995. – 368 s.
2. Vasilev Ja. D. *Nepreryvnaja prokatka tonkih i osobo tonkih polos. Nepreryvnaja prokatka : kollektivnaja monografija* / Ja. D. Vasilev, A. V. Dementienko. – Dnipropetrovs'k : RVA «Dnipro-VAL», 2002. – S. 137–293.
3. Vasilev Ja. D. *Osnovy teorii prodol'noj holodnoj prokatki* / Ja. D. Vasilev // *Plasticheskaja de-formacija metallov : kollektivnaja monografija*. – Dnepropetrovsk : Akcent PP, 2014. – S. 107–125.
4. Celikov A. I. *Teorija prodol'noj prokatki* / A. I. Celikov, G. S. Nikitin, S. E. Rokotjan. – M. : *Metallurgija*, 1980. – 320 s.
5. Vasilev Ja. D. *Proizvodstvo polosovoj i listovoj stali* / Ja. D. Vasilev, M. M. Safjan. – Kiev : *Vishha shkola*, 1976. – 192 s.

Василев Я. Д. – д-р техн. наук, проф. НМетАУ;

Замогильный Р. А. – аспирант НМетАУ

Шаповал Е. Ю. – студент НМетАУ.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр.

E-mail: rz90@i.ua

Статья поступила в редакцию 08.12.2017 г.