

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКИ

Докт. техн. наук, проф. ЛОЖЕЧНИКОВ Е. Б., асп. КУДИН М. В.

Белорусский национальный технический университет

Точность по толщине прокатанной в валках полосы очевидна, и это отмечено во многих публикациях [1...4]. Она зависит от большого числа параметров и условий процесса: точности размеров и свойств исходной заготовки, отклонений от заданной температуры ее нагрева, состояния контактной с валками поверхности, условий смазки и др. Все они оказывают влияние на величину действующего на валки усилия P и, согласно закону Гука, на изменение зазора между валками – игру валков. Влияние этих параметров на усилие прокатки и толщину проката учитывается при настройке прокатных станов методом пробных проходов – многоразовой прокатке с последующей корректировкой установочного раствора валков.

Проведенные эксперименты горячей прокатки образцов цинка в валках с диаметром бочки $2R = 200$ мм показали сложную зависимость игры валков от усилий на валки. Из рис. 1 видно, что с увеличением усилий на валки интенсивность приращения толщины проката уменьшается до значений, близких к линейной функции. При этом выделяются две области: первая, соответствующая сравнительно малым обжатиям и усилиям на валки, в которой

с ростом усилий упругая игра валков h_y возрастает с уменьшающейся интенсивностью, и вторая – с близко к линейной зависимости h_y от P , т. е. $h_y \approx P/J$, где J – жесткость рабочей клетки. При этом толщина прокатанной заготовки рассматривается как сумма установочного раствора валков h_0 и их упругого отжатия h_y

$$h = h_0 + h_y = h_0 + P/J. \quad (1)$$

Нелинейное, интенсивное изменение толщины прокатанной полосы в функции ее обжатия $\Delta H = H - h$, где H – толщина полосы до прокатки, и усилий на валки обусловлено в первой области непостоянством жесткости рабочей клетки прокатного стана, которая состоит из большого числа находящихся под технологической нагрузкой с разной жесткостью деталей и сопрягаемых поверхностей. Очевидно, что нецелесообразно проводить прокатку в первой области: разнотолщинность исходной заготовки и отклонение от ее номинальной температуры обуславливают значительную, трудно предсказуемую разнотолщинность прокатанной полосы.

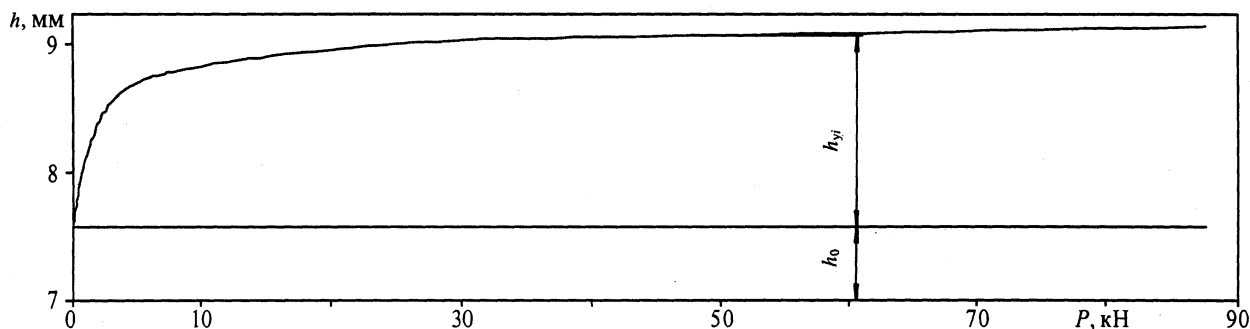


Рис. 1. Зависимость толщины проката от действующих на валки сил

Для прогнозирования точности по толщине прокатанной полосы переменные в пределах технологического допуска входные параметры сведены к двум: количественному – разнотолщинности исходной заготовки $dH = H_{\max} - H_{\min}$ и качественному – фактическому сопротивлению деформации металла σ_t , зависящему от его температуры. Величину усилия на валки выразили через среднее номинальное давление на валки $p_c = \gamma n_\sigma \sigma_t$ и проекцию площади контактной с валками поверхности на направление прокатки $F = l_d b = R b \sin \alpha \approx R b \alpha$ (рис. 2), где n_σ – коэффициент напряженного состояния [1]; γ – коэффициент уширения; α – угол захвата; b – ширина прокатываемой полосы:

$$P = n_\sigma \gamma \sigma_t R b \alpha. \quad (2)$$

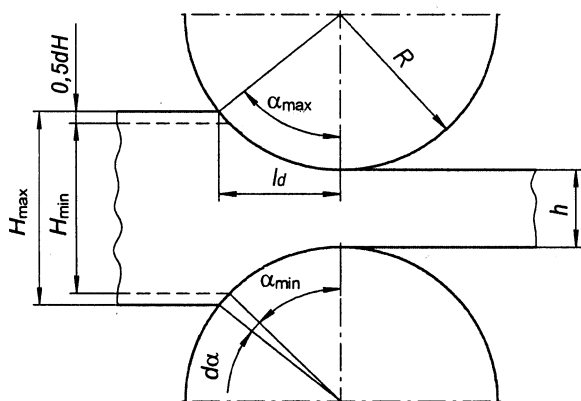


Рис. 2. Схема продольной прокатки полосы

Из рис. 2 видно, что разнотолщинность исходной заготовки приводит к изменению угла захвата, который при сравнительно малых, не превышающих угла трения, углах захвата можно выразить через обжатие и радиус валков [5]

$$\alpha = \sqrt{\Delta H / R}. \quad (3)$$

Изменение фактического сопротивления деформации может происходить при изменении напряженно-деформированного состояния материала, которое в условиях продольной прокатки полосы приняли постоянным ($n_\sigma = 0,8$), а также от изменения температуры металла в очаге деформации из-за неточности и неравномерности нагрева заготовки, ее охлаждения в процессе обработки, деформационного нагрева и других неизбежных, но допустимых по тех-

нологическим условиям факторов. Для учета отклонения температуры Δt от номинальной t использовали известную экспоненциальную зависимость механических свойств металлов, в том числе и сопротивления деформации, от температуры [5]

$$\sigma_{t1} = \sigma_t \exp(n_t \Delta t), \quad (4)$$

где n_t – устанавливаемый экспериментально параметр, для цинка в области температур 60...200 °C равен [6] $n_t = -0,007$.

По результатам проведенных экспериментов и расчетов по (2) с учетом (3) и (4) построены графики зависимости усилий на валки и соответствующей им игры валков от величины обжатия в валках диаметром 200 мм полосы цинка толщиной 10 мм, шириной 100 мм (рис. 3, 4). Жесткость рабочей клетки определили по результатам экспериментов (рис. 1), воспользовавшись формулой Коши [7]:

$$J = (P_1 - P_2) / (h_1 - h_2) = \Delta P / \Delta h,$$

где Δh и ΔP – разность толщин прокатанных при $h_0 = \text{const}$ заготовок и соответствующих им усилий на валки.

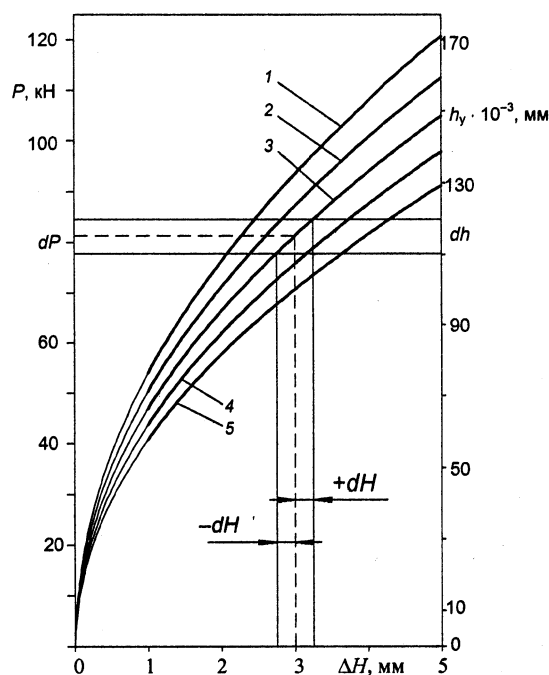


Рис. 3. Зависимость усилия на валки P и их упругого отжатия h_y от абсолютного обжатия ΔH полосы цинка толщиной 10 мм, шириной 100 мм при температуре (град.): 1 – 130; 2 – 140; 3 – 150; 4 – 160; 5 – 170

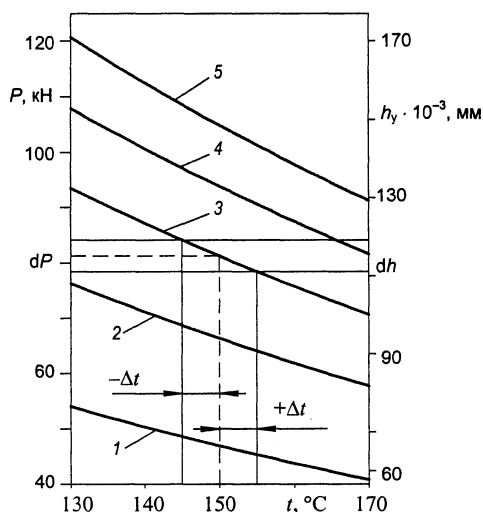


Рис. 4. Зависимость усилия на валки P и их упругого отжата h_y от температуры прокатываемой полосы цинка толщиной 10 мм, шириной 100 мм при абсолютном обжа- тии (мм): 1 – 1; 2 – 2; 3 – 3; 4 – 4; 5 – 5

По результатам расчета жесткость рабочей клетки используемого для экспериментов прокатного стана $J = 700$ кН/мм.

Из рис. 3 и 4 видно, что с увеличением обжа- тия усилия на валки и соответствующее им упругое отжатие с уменьшающейся интенсив- ностью возрастают, что соответствует синусои- дальной зависимости l_d и F от угла захвата. С увеличением температуры прокатываемого ма- териала наследственная разнотолщинность прокатанной полосы уменьшается.

Для математического описания этих зави- симостей выражение (2) дифференцировали, принимая α и σ , переменными [7]:

$$dP = \frac{\partial P}{\partial \alpha} d\alpha + \frac{\partial P}{\partial \sigma} d\sigma. \quad (5)$$

Подставив значения переменных из (3) и (4) и их дифференциалов $d\alpha = dH / 2\sqrt{R\Delta H}$; $d\sigma = n_t \sigma_t e^{n_t \Delta t} \Delta t$, получили после преобразова- ний математическую модель

$$dP = 0,5n_t \gamma b \sigma_t \sqrt{R / \Delta H} \times (dH + 2n_t \Delta H \sigma_t e^{n_t \Delta t} \Delta t), \quad (6)$$

взаимно увязывающую изменение усилия на валки, и, следовательно, в соответствии с (1) и наследственной разнотолщинностью, с откло- нением от номинальной толщины (разнотол- щинности) исходной заготовки $\pm dH$, ее темпе- ратуры $\pm \Delta t$ и общего обжа тия ΔH . Поскольку графическое изображение фигуры в четырех-

мерном пространстве трудно воспринимаемо, на рис. 5 и 6 приведены дифференциальные кривые, графически изображающие выражение (6) соответственно при $\Delta t = 0$ и $dH = 0$, т. е. по- казывающие чувствительность процесса соот- ветственно только к исходной разнотолщинно- сти и изменению температуры при разных обжа- тиях.

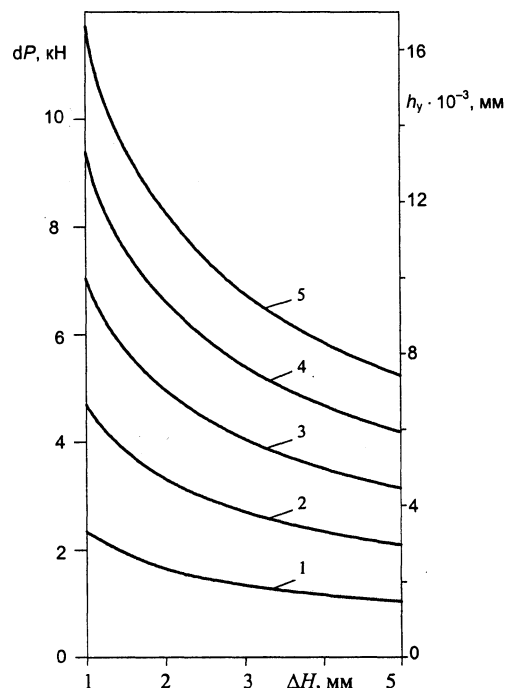


Рис. 5. Зависимость интенсивности изменения усилий на валки dP и наследственной разнотолщинности dh от абсо- лютного обжа тия полосы цинка толщиной 10 мм, шири- ной 100 мм при температуре 150 °С и ее разнотолщи- нности (мм): 1 – 0,1; 2 – 0,2; 3 – 0,3; 4 – 0,4; 5 – 0,5

В таблице приведены результаты расчета по (6) разнотолщинности прокатанной полосы цинка при разных соотношениях погрешности размера (толщины) исходной заготовки и ее температуры.

Таблица 1

Результаты расчета по (6) разнотолщинности прокатанной полосы цинка при номинальных $t = 150$ °С и $\sigma_t = 51$ МПа

№	dH , мм	ΔH , мм	Δt , °С	dP , кН	h_y , мм
1	+0,5	3,5	0	+6,27	+0,009
2	-0,5	2,5	0	-7,42	-0,011
3	0	3,0	+15	-7,68	-0,011
4	0	3,0	-15	+9,48	+0,014
5	+0,5	3,5	+15	-2,03	-0,003
6	+0,5	3,5	-15	+16,51	+0,024
7	-0,5	2,5	+15	-14,43	-0,021
8	-0,5	2,5	-15	+1,23	+0,002

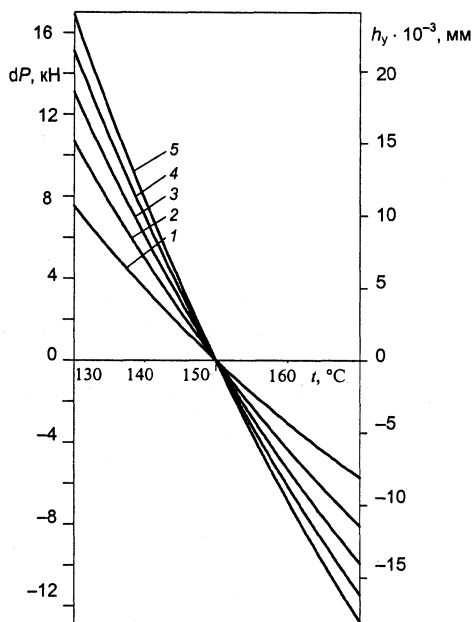


Рис. 6. Зависимость интенсивности изменения усилий на валки dP и наследственной разнотолщинности dh от температуры полосы цинка толщиной 10 мм, шириной 100 мм при абсолютном обжатии (мм): 1 – 1; 2 – 2; 3 – 3; 4 – 4; 5 – 5

Анализ приведенных в табл. 1 результатов показывает, что уменьшение по сравнению с номинальной только толщины исходной заготовки или температуры в большей мере оказывает влияние на наследственную разнотолщинность, чем их увеличение. Однако влияние од-

новременных отклонений от номинальной толщины исходной заготовки и ее температуры более сложно: наименьшая наследственная разнотолщинность происходит либо при одновременном уменьшении и толщины, и температуры, либо при их увеличении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория прокатки: Справ. / А. И. Целиков, А. Д. Томленов, В. И. Зюзин и др. – М.: Metallurgy, 1969. – 243 с.
2. Полухин В. П. Математическое моделирование и расчет на ЭВМ листовых прокатных станов. – М.: Metallurgy, 1972. – 512 с.
3. Чернобривенко Ю. С., Биба В. И. Определение оптимальной жесткости рабочей клетки сортовых станов: Теория прокатки // Теоретические проблемы прокатного производства: Материалы Всесоюзн. науч.-техн. конф. – М.: Metallurgy, 1975. – С. 416–419.
4. Исаевич Л. А., Ложечников Е. Б., Симонов Л. Е. Переработка гильз снарядов в тонкополосовой прокат // Кузнечно-штамповочное производство. – 1999. – № 11. – С. 27–28.
5. Губкин С. И. Теория обработки металлов давлением. – М.: Metallurgizdat, 1947. – 532 с.
6. Серебренников В. Н., Мельников А. Ф. Горячая прокатка тяжелых цветных металлов и сплавов. – М.: Metallurgy, 1969. – 243 с.
7. Бронштейн И. Н., Семендлев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – М.: Наука, 1981. – 720 с.

УДК 669:620.197

ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИЙ ИНГИБИРОВАННЫЙ НЕФТЯНОЙ СОСТАВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В АТМОСФЕРЕ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ КОРРОЗИОННО-АКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Кандидаты техн. наук ГЛАЗКОВ Л. А., МАЙКО Л. П.,
инженеры СИВОДЕД А. В., ТАБУЛИН А. А., ШАПОРЕВА Л. Д.

Белорусский национальный технический университет,
Институт проблем использования природных ресурсов и экологии

Эксплуатация металлических изделий в атмосфере с высокой коррозионной активностью требует использования высокоэффективных защитных материалов. Применяемые консерва-

ционные углеводородные смазки по защитной эффективности не удовлетворяют предъявляемым требованиям в условиях эксплуатации. Кроме того, они имеют низкую температуру