МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ НА СТАНЕ СТЕККЕЛЯ

КОНОВАЛОВ Ю.В., ЧИЖОВ А.А., БОГУН Ю.Б. (ДонГТУ)

В Донецком государственном техническом университете разработана математическая модель процесса прокатки на стане Стеккеля. Программное обеспечение на основе этой модели позволяет оперативно выбирать рациональный режим технологического процесса.

В последние 10–15 лет значительно возросли темпы строительства станов Стеккеля нового поколения [1]. Высокотехнологичные решения, такие как, гидронажимные механизмы, новые конструкции рабочих клетей, системы автоматического регулирования профиля валков и толщины полосы создали условия для получения на станах Стеккеля высокой точности прокатки и требуемого качества готовой полосы по однородности механических свойств по длине полосы. Способствовало проявлению интереса к станам Стеккеля и то, что они хорошо вписываются в технологическую линию литейно-прокатного модуля (ЛПМ) [2].

Технологический процесс на стане Стеккеля является достаточно сложным объектом моделирования. Особенностью его работы является применение моталок, расположенных в печах по обе стороны клети. Это обеспечивает значительное снижение падения температуры при прокатке и сокращение линии стана. Процесс прокатки протекает в реверсивном режиме с переменной скоростью.

В Донецком государственном техническом университете разработаны модели и соответствующие им алгоритмы, описывающие тепловое и напряженно-деформированное состояние полосы и пригодные для выбора рациональных схем и параметров технологического процесса на стане Стеккеля.

При разработке математической модели процесс прокатки на стане Стеккеля разбили на следующие периоды:

— прокатка головного участка полосы на заправочной скорости;
— прокатка части полосы с ускорением;
— прокатка с постоянной скоростью средней (основной) части полосы;
— прокатка с замедлением хвостового участка полосы.

Для этих периодов производится расчет длины соответствующих участков полосы и времени прокатки.

Из-за того, что концы полосы до момента их поступления в печи претерпевают значительное охлаждение, расчет температуры производится для середины раската, а также для переднего и заднего концов. При расчете температуры раската (T) учитываем снижение температуры вследствие излучения и конвекции ($\Delta T_{ик}$) для участка промежуточного рольганга и для участков от клети до печной моталки; снижение температуры раската вследствие теплоотдачи рабочим валкам ($\Delta T_{о}$); снижение температуры раската вследствие потерь при гидросбиве окалины ($\Delta T_{г}$); повышение температуры раската за счет тепла деформации ($\Delta T_{д}$) и повышение температуры раската за счет нагрева металла в печной моталке ($\Delta T_{пм}$).

$$T=\Delta T_{д}+\Delta T_{пм}-\Delta T_{ик}-\Delta T_{о}-\Delta T_{г}. \quad (1)$$

При разработке математической модели температурного состояния раската в моталках, принято, что металл нагревается за счет теплоотдачи излучением и конвекцией, что отражает физическую сущность процесса нагрева при температурах выше 500°С.

Для конца полосы (первого витка на барабане моталки) следует учитывать охлаждение металла вследствие соприкосновения его с барабаном моталки. Для конца полосы не сматываемого на барабан моталки, и остающегося в задающих роликах следует учитывать потери тепла излучением и конвекцией.

При определении усилия прокатки в привязке к условиям горячей прокатки листа наименьшую погрешность дают методики М.Я.Бровмана и В.Ф.Потапкина.

Для расчета усилия прокатки в горизонтальных валках реверсивной клети использована методика М.Я.Бровмана [3], которая предусматривает возможность учета упругого сплющивания валков, натяжения полосы, влияния геометрического параметра $m=l_д/h_{ср}$ и угла захвата $\alpha_{зах}$, а также коэффициента трения μ на коэффициент напряженного состояния n_σ.

Для условий плоской деформации принята зависимость коэффициента напряженного состояния от двух геометрических параметров и угла захвата (при $\mu>0,3$). В этом случае почти во всем диапазоне изменения параметров m и α величина n_σ зависит почти исключительно от m.

При отсутствии натяжений (полоса не сматывается на барабан моталки) использована зависимость:

$$p_{ср} = 1,15 \cdot \sigma_т \cdot n_\sigma , \qquad (2)$$

а при наличии натяжений:

$$p_{ср} = 1,15 \cdot \sigma_т \cdot \left(n_\sigma - \frac{n_{\sigma 0} \cdot \sigma_0}{\sigma_т} - \frac{n_{\sigma 1} \cdot \sigma_1}{\sigma_т} \right), \qquad (3)$$

где $p_{ср}$ — среднее контактное нормальное напряжение; $\sigma_т$ — сопротивление деформации; n_σ — коэффициент напряженного состояния при отсутствии натяжений; $n_{\sigma 0}$, $n_{\sigma 1}$ — коэффициенты влияния переднего и заднего натяжений на $p_{ср}$; σ_1, σ_0 — величина заднего и переднего натяжений.

В формуле (3) заложено предположение, что $p_{ср}$ линейно зависит от натяжений (справедливо при малых натяжениях).

Если коэффициент трения $\mu<0,3$ (может быть при горячей и теплой прокатке со смазкой и практически всегда при холодной прокатке), то n_σ следует определять без натяжений по формуле:

$$n_\sigma = exp\left(0,5\,\mu \cdot m\right), \qquad (4)$$

а при наличии натяжений по формуле:

$$n_\sigma = \left[exp\left(0,5\mu \cdot m\right)+1\right] \cdot \sqrt{\left(1-\frac{\sigma_0}{\sigma}\right)\left(1-\frac{\sigma_1}{\sigma}\right)} - 1 - \frac{\sigma_0+\sigma_1}{2\sigma}. \qquad (5)$$

Методикой предусмотрена возможность учета упругого сжатия валков, что может оказаться желательным при прокатке высокопрочных марок сталей, а также при контролируемой прокатке при пониженных температурах. В этом случае рекомендовано использовать выражение:

$$n_\sigma = \frac{n_{\sigma^*}}{\sqrt[3]{1-1,4 \cdot a \cdot \left[\mu m n_{\sigma 0} + F\left(1+\frac{2}{\mu m}\right)\right]}}. \qquad (6)$$

В уравнении (6) — величина $n_{\sigma 0}$ без учета упругого сплющивания валков. F — функция межклетьевых натяжений полосы. Параметр a в уравнении (6), определяет соотношение прочности проката и жесткости валков.

Сопротивление деформации определяется по зависимости [4]:

$$\sigma_т = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \sigma_{0д} \cdot e^{-m_1 t} \cdot \varepsilon^{m_2} \cdot U^{m_3}, \quad (7)$$

где A_1, A_2, A_3, m_1, m_2, m_3 — постоянные коэффициенты зависящие от марки стали; $\sigma_{0д}$ — базовое значение сопротивления деформации; ε — относительное обжатие; U — скорость деформации.

Усилие прокатки определяется по уравнению:

$$P = p_{ср} \cdot B \cdot l_д \quad (8)$$

Момент прокатки определяется по формуле А.И. Целикова :

$$M_{пр} = \left(p_{ср} \cdot ln\left(\frac{H_0}{H_1}\right) + \sigma_0 - \sigma_1 \right) \cdot B \cdot H_1 \cdot R(1+S), \quad (9)$$

где $p_{ср}$ — среднее контактное нормальное напряжение без учета натяжения;σ_0, σ_1 — переднее и заднее натяжение; H_0, H_1 — толщина полосы до и после прокатки; B — ширина полосы; R — радиус рабочего валка; S — опережение; $l_д$ — длина дуги контакта.

При отсутствии или равенстве переднего и заднего натяжений момент прокатки определяется по формуле:

$$M_{пр} = 2P \cdot \psi \cdot l_д, \quad (10)$$

где P — усилие прокатки; ψ — коэффициент плеча усилия прокатки.

$$\psi = 0{,}498 - 0{,}0283 \frac{l_д}{H_{ср}}. \quad (11)$$

Мощность, потребляемая двигателями главного привода, определяется по уравнению:

$$N_{пр} = M_{пр} \cdot U_в \cdot \left(\frac{1+S}{R}\right), \quad (12)$$

где $U_в$ — окружная скорость валков.

Разработанная нами математическая модель процесса прокатки на стане с моталками в печах была реализована на ЭВМ, что дает возможность моделирования процесса прокатки для широкого спектра исходных условий. В таблице 1 показаны результаты работы программы расчета параметров процесса прокатки для стана Стеккеля 1200.

Таблица 1 — Расчетные параметры процесса прокатки на стане Стеккеля

№ прохода	Толщина полосы, мм	Обжатие		Длина полосы, м		Скорость прокатки, м/с	Температура раската, С	Усилие прокатки, МН	Момент прокатки, МНм	Мощность прокатки, кВт	Время прокатки, с
		мм	%								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
				10							
1	11,2	3,10	28	14	пк	1,5	889	8,28	0,20	1058	14,0
					сп	3,8	913	9,39	0,23	3074	
					зк	1,5	922	7,53	0,18	955	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	8,1	2,15	27	19	зк	1,5	858	7,70	0,15	786	16,7
					сп	5,0	899	8,85	0,17	3058	
					пк	1,5	850	7,87	0,15	806	
3	5,95	1,45	24	25	пк	1,5	808	7,26	0,11	591	19,9
					сп	6,8	888	7,99	0,12	2985	
					зк	1,5	823	6,91	0,10	559	
4	4,5	0,85	19	31	зк	1,5	770	5,52	0,06	344	21,3
					сп	7,0	876	5,66	0,07	1652	
					пк	1,5	770	5,52	0,06	344	
5	3,65	0,55	15	36	пк	1,5	716	4,70	0,04	239	22,3
					сп	7,0	858	4,26	0,04	992	
					зк	1,5	731	4,46	0,04	224	

Для определения прикладного значения разработанной модели необходимо знать насколько объективно данная модель отражает реальный процесс. При оценке

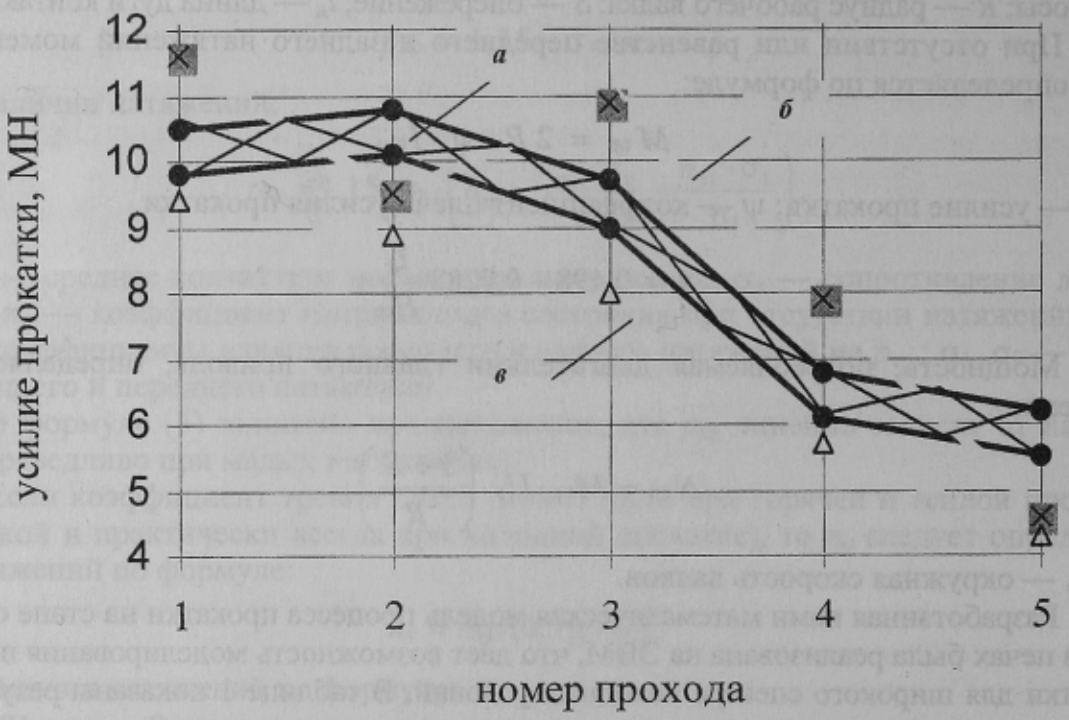

Рисунок 1 — Распределение усилия прокатки на стане Стеккеля 1200: ***а*** — зона экспериментальных точек; ***б*** — результаты расчета по методу А.И.Целикова; ***в*** — результаты расчета по разработанной модели)

объективности модели использовали результаты исследований проведенных на существующих реверсивных станах с моталками в печах. Авторы [5] исследовали тонколистовой стан 1200 с моталками в печах. Стан состоит из двух клетей — черновой и чистовой. Для исследуемого нами стана прокатка в черновой клети отражает аналогичный процесс для проходов без смотки полосы на печную моталку, в чистовой клети — со смоткой полосы. Сравнение экспериментальных данных и результатов расчета по полученной модели представлено на рисунке 1 (для последних 5 прохо-

дов). Также на этом рисунке показано распределение усилия прокатки на стане Стеккеля, рассчитанное по методике А.И.Целикова для идентичных условий.

Из рисунка 1 видно, что данные, полученные по разработанной математической модели, имеют большее сходство с экспериментальной зависимостью, чем результаты расчета по методике А.И.Целикова. При этом относительная погрешность значений не превышает 22%.

Полученная математическая модель передана в ЗАО «НКМЗ» для разработки эскизного проекта реконструкции толстолистового стана 2300 ОАО «ДМЗ».

Список литературы

1. **О прокатке** стальной полосы с непрерывным ее подогревом / Патон Б.Е., Медовар Б.И., Шукстульский Б.И. и др. // Проблемы СЭМ, 1991. — № 1. — С. 38–42.

2. **Компактные** технологии на базе станов с печными моталками / Остапенко А.Л., Бейгельзимер Э.Е., Деркач Д.А. и др. // Металл и литье Украины, 1999. — № 9–10. — С. 41–45.

3. **Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И.** Расчет параметров листовой прокатки. —М.: Металлургия, 1986. — 430 с.

4. **Зюзин В.И., Бровман М.Я., Мельников А.Ф.** Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке. — М.: Металлургия, 1964. — 270 с.

5. **Байраков В.И., Федин В.П.** / Исследование тонколистового стана 1200 с моталками в печах // Сталь. — 1968. — № 5. — С. 130–134.

© Коновалов Ю.В., Чижов А.А., Богун Ю.Б., 1999.

СНИЖЕНИЕ МЕТАЛЛОЕМКОСТИ ХОЛОДИЛЬНИКОВ СЕМЕЙСТВА «НОРД» ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

ГОРИН А.Н. (ДИХТ)

Описана новая конструкция холодильника (панельная) «НОРД», позволяющая снизить металлоемкость шкафа на 30%. Для изготовления деталей разработанной конструкции применены гнутые профили, изготавливаемые с использованием новой профилировки планки.

Современный рынок и тенденции развития бытовой холодильной техники диктуют необходимость разработки новых конструкций холодильников с низким уровнем электропотребления, современным дизайном, удобством эксплуатации и обслуживания, и при этом, как обязательное условие, низкой себестоимостью.

Одной из составляющей себестоимости является металлоемкость шкафа холодильника.

На рисунке 1 показан корпус холодильника «Донбасс–10», который долгое время выпускали на заводе «НОРД».

Планка (1) представляла собой штампованный уголок; кожух (2) — «коробчатая» деталь, изготавливалась штамповкой; задняя стенка (3) — плоская штампованная деталь с большим окном; обечайка (4) — деталь, согнутая по концам на угол 90° из листа толщиной 0,7–0,8 мм, два стыка обечайки приваривали аргонной сваркой с последующей зачисткой; ниша (5) — штампованная деталь «коробчатой» формы и сваренная точечной сваркой; дно (6) — плоская штампованная деталь, усиленная ребрами жесткости.