

УДК 621.771.23

Василев Я. Д.
Дементенко А. В.
Самокиш Д. Н.
Замогильный Р. А.

РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ ОСОБО ТОНКОЙ ЖЕСТИ НА ПРОКАТНО-ДРЕССИРОВОЧНОМ СТАНЕ 1400

Смысл технологии производства жести методом двойной прокатки, заключается в том, что жесьть обычной толщины после отжига подвергают повторной холодной прокатке на специализированных двух- или трехклетевых станах со строго заданными суммарными относительными обжатиями, величина которых находится в диапазоне 30–50 % [1]. Произведенная по этой технологии жесьть в дальнейшем отжигу не подвергается и после нанесения защитного покрытия, т. е. в наклепанном состоянии, используется для изготовления консервной тары, тароупаковочных и укупорочных изделий. Путем изменения величины суммарного обжатия, при повторной холодной прокатке, данная технология позволяет получать как тонкую жесьть, так и жесьть обычной толщины со строго регламентированными свойствами, хотя изначально она предназначалась исключительно для производства тонкой и особо тонкой жести [1]. Жесьть двойной прокатки отличается меньшей толщиной, более высокой прочностью и подходящим сочетанием, упругих, прочностных и технологических свойств, поэтому тара и иные изделия, изготовленные из такой жести, характеризуются меньшей массой, более высокой жесткостью и прочностью и более низкой стоимостью. Отмеченные преимущества свидетельствуют о целесообразности применения и необходимости расширения объемов производства жести двойной прокатки, прежде всего тонкой и особо тонкой жести [1].

Методом двойной прокатки производят жесьть с минимальной толщиной 0,08–0,15 мм. В бывшем Советском Союзе производство жести двойной прокатки было начато во второй половине восьмидесятых годов прошлого столетия и сосредоточено на Карагандинском металлургическом комбинате (ныне АО «Арселор Миталл Темиртау»). С этой целью на этом комбинате был установлен прокатно-дрессировочный стан (ПДС) 1400, предназначенный для дрессировки жести обычной толщины ($h > 0,16–0,18$ мм) и повторной холодной прокатки жести толщиной 0,08–0,16×730–1030 мм с максимальной скоростью соответственно 40 и 25 м/с [1, 2]. По разным причинам на этом предприятии, являющимся единственным производителем наклепанной жести на территории СНГ, освоен выпуск только одного профиля размера жести двойной прокатки – 0,145×890 мм [1, 3]. Это означает, что возможности ПДС 1400 для производства наклепанной жести, прежде всего жести малых толщин (0,08–0,13 мм), остается неиспользованным. Можно предположить, что одной из причин, сдерживающих освоение производства тонкой и особо тонкой наклепанной жести является обоснованных режимов деформации для реализации процесса реализации процесса холодной прокатки тонкой жести на ПДС 1400.

Технология производства жести методом двойной прокатки существенно отличается от технологии производства жести одинарной прокатки. Для ее реализации необходимо в первую очередь определить (выбрать) толщину холоднокатаного подката или величину суммарного обжатия относительного обжатия при повторной холодной прокатке, исходя из условий получения требуемого комплекса механических, технологических и упругих свойств готовой жести. Важным элементом этой технологии являются также режимы обжатий и натяжений при повторной холодной прокатке тонкой и особо тонкой жести, влияющие на показатели качества выпускаемой продукции и обеспечивающие необходимую устойчивость и стабильность процесса. Часть из перечисленных параметров определяется только экспериментальным путем (например, толщина и предел текучести холоднокатаного подката), что неудобно и связано с большими затратами времени. Определение остальных, например, энергосиловых параметров осуществляется расчетным путем. Основная проблема в этом

случае связана с недостаточной точностью и ограниченным диапазоном работоспособности применяемых методик для расчета технологических параметров при холодной прокатке тонких и особо тонких полос. Более того многие из известных методик с уменьшением толщины прокатываемых полос приводят к чрезмерно большим значениям силовых параметров, которые не подтверждаются практикой, что делает их неприемлемыми для расчета режимов деформации при холодной прокатке тонкой и особо тонкой жести [4].

Из изложенного следует, что разработка режимов деформации при повторной холодной прокатке тонкой и особо тонкой жести на двухклетевом прокатно-дрессировочном стане 1400 является актуальной задачей. Настоящая статья посвящена разработке режимов деформации при повторной холодной прокатке жести 0,08×850 мм, 0,10×850 мм, 0,12×850 мм, 0,145×850 мм.

При разработке режимов прокатки указанных типоразмеров жести на ПДС 1400 учитывали собственный опыт, накопленный в начальный период эксплуатации данного стана, опыт отечественных специалистов, а также опубликованные материалы о режимах прокатки тонкой жести на аналогичных зарубежных станах [1–3]. В связи с этим приняли, что в качестве исходного подката для получения тонкой и особо тонкой наклепанной жести будет использована жесь одинарной прокатки из стали 08кп, отожженная в агрегате непрерывного отжига (АНО). Толщину исходного подката $h_{подк}$, и влияние упрочнения на предел текучести σ_T стали 08кп производства «АО Арселор Миттал Темиртау» рассчитывали по формулам, полученным нами ранее [1]:

$$h_{подк} = \frac{h}{1 - \varepsilon_{\Sigma}}; \quad (1)$$

$$\sigma_T = \sigma_{Тисх} + 40(100\varepsilon_{\Sigma})^{0,55}; \quad (2)$$

где h – требуемая толщина жести, мм.

В соответствии с данными, приведенными в работе [1] величина исходного предела текучести $\sigma_{Тисх}$ подката, отожженного в АНО составляет 320–340 Н/мм², а необходимый комплекс свойств наклепанной жести достигается при суммарном относительном обжатии ε_{Σ} равном 0,33.

Рассчитанные по формуле (1) значения толщины подката для производства жести толщиной 0,08; 0,10; 0,12; 0,145 составляют соответственно 0,12; 0,15; 0,18; 0,22 мм.

При выполнении расчетов учитывали, что клетки ПДС 1400 оснащены рабочими валками разного диаметра ($D_1 = 420$ мм; $D_2 = 600$ мм) и с разной шероховатостью ($R_{a1} = 0,6$ мкм; $R_{a2} = 0,6$ мкм), а в качестве технологической смазки применяется 2–4 % эмульсия пальмового масла. Скорость прокатки принимали равной 18 м/с. Расчет режимов деформации и остальных технологических параметров производили по единой методике, разработанной на кафедре обработки металлов давлением Национальной металлургической академии Украины (НМетАУ) (г. Днепропетровск) [5].

Методика учитывает особенности силового, упруго-пластического, фрикционного, теплового и кинематического взаимодействия тонкой полосы с вращающимися валками и обеспечивает прогнозирование технологических параметров с удовлетворительной точностью [6]. В основу этой методики положены следующие формулы для определения длины очага деформации l_c , среднего контактного нормального напряжения p_{cpc} и силы прокатки P_c , оказывающих решающее влияние на точность и надежность прогнозирования технологических параметров при холодной прокатке тонкой и особо тонкой жести [4, 5]:

$$l_c = x_1 + \sqrt{R\Delta h + x_1^2}; \quad (3)$$

$$p_{cpc} = \frac{\beta}{2(1 - \nu_n^2)} \left(\sigma_{T0} \xi_0 \frac{x_{0n}}{l_c} + \sigma_{T1} \xi_1 \frac{x_{1n}}{l_c} \right) + \frac{\beta \sigma_{Tcp} \xi_{cp}}{(1 - \nu_n^2)} \left[1 + \frac{f_l}{3h_{cp}} \left[1 + \left(\frac{f_l}{4h_{cp}} \right)^2 \right] \right] \frac{l_g}{l_c}; \quad (4)$$

$$P_c = p_{cpc} \cdot l_c \cdot b_0; \quad (5)$$

$$\text{где } x_1 = x_{1ni} + 6 \frac{1-\nu_B^2}{\pi E_B} p_{cpci} R_i \left[1 - 2 \left(\frac{x_{1n}}{l_c} \right)_i \right] \left[4 \left(\frac{x_{1n}}{l_c} \right)_i \left(1 - \left(\frac{x_{1n}}{l_c} \right)_i \right) + 1 \right]; \quad (6)$$

$$\frac{x_{1n}}{l_c} = \frac{1}{1 + \sqrt{1 + \frac{\varepsilon E_n}{\beta \sigma_{T1} \xi_1 (1-\varepsilon)}}}; \quad (7)$$

$$\frac{x_{0n}}{l_c} = \left(1 - \frac{x_{1n}}{l_c} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{\beta \sigma_{T0} \xi_0}{\varepsilon E_n + \beta \sigma_{T1} \xi_1 (1-\varepsilon)}} \right]; \quad (8)$$

$$\frac{l_g}{l_c} = 1 - \frac{x_{0n}}{l_c} - \frac{x_{1n}}{l_c}; \quad (9)$$

$$\xi_0 = 1 - q_0 / \beta \sigma_{T0}; \quad (10)$$

$$\xi_1 = 1 - q_1 / \beta \sigma_{T1}; \quad (11)$$

$$\xi_{cp} = 1 - q_{cp} / \beta \sigma_{Tcr}; \quad (12)$$

l_c, p_{cpc}, P_c – длина очага деформации (мм), среднее контактное нормальное напряжение (Н/мм^2) и сила прокатки (Н), рассчитанные с учетом влияния упругих деформаций валков и полосы; β, f – коэффициент Лодэ и коэффициент трения при прокатке; $R, \Delta h, h_{cp}$ – радиус рабочих валков, абсолютное обжатие и средняя толщина полосы в очаге деформации при прокатке, доли единицы; $\nu_B, E_B, \nu_{II}, E_{II}$ – коэффициент Пуассона и модуль упругости (Н/мм^2) материала рабочих валков и полосы; $\sigma_{T0}, \sigma_{T1}, \sigma_{Tcr}$ – предел текучести на входе и выходе из очага деформации и среднее значение напряжения текучести материала полосы в очаге при прокатке, рассчитанные с учетом совместного влияния степени, температуры и скорости деформации, (Н/мм^2); q_0, q_1, q_{cp} – абсолютное удельное натяжение полосы на входе и выходе из очага деформации и его среднее значение в очаге при прокатке, (Н/мм^2); x_{0n}, l_g, x_{1n} – протяженность участков длины очага деформации при прокатке, определяемая упругим сжатием, пластическим обжатием и упругим восстановлением полосы, (мм); b, x_l – ширина прокатываемой полосы и приращение длины очага деформации за линией, соединяющей центры рабочих валков, вызванное упругим сжатием последних и упругим восстановлением полосы, (мм).

В табл. 1 приведены результаты расчетов режимов деформации и соответствующие им значения технологических параметров при прокатке жести толщиной 0,08–0,145 мм на прокатно-дрессировочном стане 1400. Анализ данных табл. 1 свидетельствует о том, что прокатка жести толщиной 0,08–0,12 мм на этом стане по предложенным в работе [1] режимам деформации (числитель) возможна. Вместе с тем из этой таблицы видно, что при примерно одинаковых или сравнительно больших частных относительных обжатиях во второй клетке стана значения силы прокатки в данной клетке в 2,0–2,8 раза превышает силу прокатки в первой клетке. В 1,3–1,5 раза, отличаются также и значения средних контактных нормальных напряжений. По этой причине, мощность потребляемая двигателем второй клетки в 3,3–4,6 раза превышает мощность потребляемую двигателем первой клетки, что свидетельствует о нерациональном использовании возможностей механического и электрического оборудования стана.

В случае переноса большей части суммарного относительного обжатия в первую клетку стана и использование второй клетки в качестве «прогладочной» (знаменатель), что практикуется на многих современных станах холодной прокатки, достигается более равномерная загрузка клеток по силе и мощности [1]. Такой характер распределения частных относительных обжатий по клеткам стана во всех случаях представляется более предпочтительным. Следует также отметить, что при прокатке жести 0,08×850 мм значения p_{cpc} во второй

клетки стана достигают 1160 Н/мм^2 (числитель) и приближаются к предельным по контактной прочности валков [4], в результате чего ухудшаются условия их эксплуатации. Расчеты показали, что в случае оснащения второй клетки стана 1400 рабочими валками меньшего диаметра ($D_2 = 420 \text{ мм}$) (табл. 2) неравномерность загрузки оборудования по силе и мощности уменьшается. Это способствует также улучшению условий эксплуатации и повышению эффективности работы стана. Одновременно с этим наблюдается и уменьшение потребляемой мощности при повторной холодной прокатке жести на 10–25 %. Приведенные аргументы свидетельствуют о целесообразности реализации данного технического решения.

Таблица 1

Режимы деформации и энергосиловые параметры при повторной холодной прокатке особо тонкой жести на двухклетевом прокатно-дрессировочном стане 1400
 $[R_1=210 \text{ мм}; R_2=300 \text{ мм}; \sigma_T = 330 + 40(100\varepsilon_T)^{0,55}]$

№ пр.	№ кл.	h_0 , мм	ε	ε_{\square}	R_a , мкм	q_0 , Н/мм ²	q_1 , Н/мм ²	l_c , мм	l_c/h_{cp}	f	$t_{1п}$, °С	$p_{ср}$, Н/мм ²	P_c , МН	V_b , м/с	S_c	M_c , кН·м	$N_{дв}$, кВт
<i>Режим 1 Прокатка жести 0,08×850 мм из подката 0,12×850 мм</i>																	
1	1	0,12	0,215	0,215	0,6	101	176	4,69	43,8	0,046	51	779	3,11	14,57	0,049	2,80	413
		0,12	0,300	0,300	0,6	101	176	5,61	55,0	0,049	58	983	4,69	15,90	0,079	5,61	903
	2	0,094	0,151	0,334	0,3	176	80	8,88	101,9	0,031	57	1162	8,76	17,51	0,028	9,88	1377
		0,082	0,048	0,334	0,3	176	80	7,50	91,5	0,028	55	960	6,12	17,92	0,005	6,31	900
<i>Режим 2 Прокатка жести 0,10×850 мм из подката 0,15×850 мм</i>																	
1	1	0,150	0,192	0,192	0,6	100	175	4,52	33,3	0,046	51	680	2,61	14,25	0,042	2,40	346
		0,150	0,290	0,313	0,6	100	175	5,37	41,9	0,048	59	823	3,76	15,77	0,072	5,40	862
	2	0,121	0,175	0,333	0,3	175	80	7,22	65,3	0,032	60	952	5,85	17,44	0,032	9,05	1256
		0,103	0,061	0,334	0,3	175	80	6,69	64,8	0,029	58	853	4,85	17,88	0,007	5,89	838
<i>Режим 3 Прокатка жести 0,12×850 мм из подката 0,18×850 мм</i>																	
1	1	0,180	0,177	0,177	0,6	100	173	4,51	27,5	0,045	51	631	2,54	14,05	0,038	2,35	334
		0,180	0,28	0,313	0,6	100	173	5,39	34,8	0,048	60	750	3,59	15,63	0,066	5,85	926
	2	0,148	0,190	0,333	0,3	173	80	7,02	52,3	0,032	63	869	5,42	17,42	0,034	10,92	1514
		0,124	0,074	0,334	0,3	173	80	6,43	51,5	0,029	60	807	4,62	17,84	0,008	6,80	966
<i>Режим 4 Прокатка жести 0,145×850 мм из подката 0,22×850 мм</i>																	
1	1	0,22	0,176	0,176	0,6	99	172	4,81	24,0	0,045	52	637	2,61	13,89	0,037	2,76	388
		0,22	0,27	0,270	0,6	99	172	5,64	29,7	0,049	61	735	3,53	15,31	0,061	6,37	987
	2	0,181	0,200	0,341	0,3	172	80	7,23	44,3	0,032	66	849	5,22	17,41	0,034	12,83	1778
		0,151	0,097	0,341	0,3	172	80	6,61	43,2	0,030	64	811	4,56	17,78	0,012	8,32	1178

Таблица 2

Режимы деформации и энергосиловые параметры при повторной холодной прокатке особо тонкой жести на двухклетевом прокатно-дрессировочном стане 1400
 $[R_1 = R_2 = 210 \text{ мм}; \sigma_T = 330 + 40(100\varepsilon_T)^{0,55}]$

№ пр.	№ кл.	h_0 , мм	ε	ε_{\square}	R_a , мкм	q_0 , Н/мм ²	q_1 , Н/мм ²	l_c , мм	l_c/h_{cp}	f	$t_{1п}$, °С	$p_{ср}$, Н/мм ²	P_c , МН	V_b , м/с	S_c	M_c , кН·м	$N_{дв}$, кВт
<i>Режим 1 Прокатка жести 0,08×850 мм из подката 0,12×850 мм</i>																	
1	1	0,12	0,242	0,242	0,6	101	176	5,51	52,3	0,044	54	996	4,67	14,96	0,058	4,53	665
	2	0,09	0,12	0,333	0,3	176	80	5,39	63,0	0,029	58	1017	4,66	17,66	0,019	4,51	782

Продолжение таблицы 2

<i>Режим 2 Прокатка жести 0,10×850 мм из подката 0,15×850 мм</i>																	
1	1	0,15	0,243	0,243	0,6	100	175	5,30	40,2	0,043	56	853	3,85	15,00	0,056	4,59	676
	2	0,114	0,12	0,333	0,3	175	80	5,02	46,9	0,029	61	900	3,84	17,70	0,017	4,82	837
<i>Режим 3 Прокатка жести 0,12×850 мм из подката 0,18×850 мм</i>																	
1	1	0,18	0,240	0,240	0,6	100	173	5,33	33,6	0,043	57	786	3,56	14,99	0,053	4,90	721
	2	0,137	0,123	0,333	0,3	173	80	4,94	38,5	0,030	63	845	3,55	17,71	0,016	5,43	944
<i>Режим 4 Прокатка жести 0,145×850 мм из подката 0,22×850 мм</i>																	
1	1	0,22	0,243	0,243	0,6	99	172	5,52	28,6	0,043	58	741	3,48	14,88	0,053	5,58	815
	2	0,167	0,130	0,341	0,3	172	80	4,98	32,0	0,029	64	808	3,42	17,72	0,016	6,45	1122

ВЫВОДЫ

Разработаны режимы деформации при повторной холодной прокатке жести толщиной 0,08–0,145 мм на прокатно-дрессировочном стане 1400, свидетельствующие о возможности и целесообразности получения особо тонкой жести на этом стане. Предложенные режимы прокатки жести 0,08–0,145 мм обеспечивают рациональное использование возможностей оборудования данного стана, что позволяет рекомендовать их для практического использования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василев Я. Д. Производство жести методом двойной прокатки / Я. Д. Василев, А. В. Дементиев, С. Г. Горбунков. – М. : Металлургия, 1994. – 125 с.
2. Холодная прокатка и отделка жести / А. Ф. Пименов, О. Н. Сосковец, А. И. Трайно, В. Л. Трайно, Н. П. Нетесов. – М. : Металлургия, 1990. – 208 с.
3. Разработка и внедрение рациональных режимов прокатки тончайшей жести / О. Н. Сосковец, Я. Д. Василев, П. П. Чернов, А. В. Дементиев, С. И. Потаповский // *Сталь*, 1982. – № 6. – С. 42–46.
4. Василев Я. Д. Инженерные модели и алгоритмы расчета параметров холодной прокатки / Я. Д. Василев – М. : Металлургия, 1995. – 368 с.
5. Единая методика расчета энергосиловых и температурно-скоростных параметров процесса холодной полосовой прокатки / Я. Д. Василев, Д. Н. Самокиш, А. В. Дементиев, М. И. Завгородний // *Черная металлургия : Бюл. ин-та «Черметинформация»* – 2013. – № 1 – С. 50–58.
6. Экспериментальная проверка точности и работоспособности единой методики расчета энергосиловых и температурно-скоростных параметров процесса холодной полосовой прокатки / Я. Д. Василев, Д. Н. Самокиш, А. В. Дементиев, М. И. Завгородний // *Черная металлургия : Бюл. ин-та «Черметинформация»* – 2014. – № 2 – С. 65–73.

REFERENCES

1. Vasilev Ja. D. Proizvodstvo zhesti metodom dvojnoj prokatki / Ja. D. Vasilev, A. V. Dementienko, S. G. Gorbunkov. – M. : Metallurgija, 1994. – 125 s.
2. Holodnaja prokatka i odelka zhesti / A. F. Pimenov, O. N. Soskovec, A. I. Trajno, V. L. Trajno, N. P. Netesov. – M. : Metallurgija, 1990. – 208 s.
3. Razrabotka i vnedrenie racional'nyh rezhimov prokatki tonchajshej zhesti / O. N. Soskovec, Ja. D. Vasilev, P. P. Chernov, A. V. Dementienko, S. I. Potapovskij // *Stal'*, 1982. – № 6. – S. 42–46.
4. Vasilev Ja. D. Inzhenernye modeli i algoritmy rascheta parametrov holodnoj prokatki / Ja. D. Vasilev – M. : Metallurgija, 1995. – 368 s.
5. Edinaja metodika rascheta jenergosilovyh i temperaturno-skorostnyh parametrov processa ho-lodnoj polosovoj prokatki / Ja. D. Vasilev, D. N. Samokish, A. V. Dementienko, M. I. Zavgorodnij // *Chernaja metallurgija : Bjul. in-ta «Chermetinformacija»* – 2013. – № 1 – S. 50–58.
7. Jeksperimental'naja proverka tochnosti i rabotosposobnosti edinoj metodiki rascheta jenergosilovyh i temperaturno-skorostnyh parametrov processa holodnoj polosovoj prokatki / Ja. D. Vasilev, D. N. Samokish, A. V. Dementienko, M. I. Zavgorodnij // *Chernaja metallurgija : Bjul. in-ta «Chermetinformacija»* – 2014. – № 2 – S. 65–73.

Василев Я. Д. – д-р техн. наук, проф. НМетАУ
 Дементиев А. В. – канд. техн. наук, доц. НМетАУ
 Самокиш Д. Н. – инженер НМетАУ
 Замогильный Р. А. – аспирант НМетАУ

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: roman.zamogilniy@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 16.02.2014 г.