

## Разработка энергосберегающих режимов деформации на новом двухклетевом реверсивном стане холодной прокатки 1700 для комбината «Запорожсталь»

С учетом особенностей технологии реверсивной холодной прокатки на двухклетевом стане 1700, установка которого запланирована на комбинате «Запорожсталь», разработаны режимы деформации, обеспечивающие ведение процесса с практически одинаковыми значениями силы прокатки по клетям, что гарантирует высокую стабильность силовых условий и способствует повышению точности прокатываемых полос. Разработанные режимы деформации на двухклетевом реверсивном стане 1700 основаны на новом принципе определения уровня и характера распределения относительных удельных натяжений, что способствует повышению энергетической эффективности процесса холодной прокатки. Показано, что предложенные режимы натяжений позволяют уменьшить удельный расход электрической энергии при холодной прокатке на этом стане на 4-6 %.

**Ключевые слова:** холодная прокатка, полоса, двухклетевой реверсивный стан, режим деформации, натяжение, энергоэффективность

Двухклетевые реверсивные станы – это новый тип станов холодной прокатки. Первые сведения об этих станах, представляющих собой пример воплощения в одном агрегате преимуществ реверсивной и непрерывной прокатки, появились более 15 лет назад [1]. Станы холодной прокатки данного типа рассчитаны на максимальную скорость прокатки – до 22,5 м/с, отличаются широким сортаментом выпускаемой продукции (0,35-3,00)×(1000-1500) мм, гибкостью в работе, более низкой стоимостью, чем непрерывные станы, и относительно высокой производительностью (до 0,6-0,9 млн. т в год). Отмеченные преимущества двухклетевых реверсивных станов способствовали их предпочтительному применению не только на мини-заводах, но и на крупных металлургических комбинатах. Такие станы успешно эксплуатируют в США, КНР, России и др. Сооружение двухклетевого реверсивного стана намечено и в Украине на комбинате «Запорожсталь» [2].

В состав оборудования двухклетевых реверсивных станов холодной прокатки входят (рис. 1): две реверсивные рабочие клетки, обычно четырехвалковые типа SVC; один разматыватель; две реверсивные моталки; вводная и выводная секции. Кроме того, они оснащены транспортными средствами и механизмами для приема рулонов горячекатаного подката, снятия и уборки рулонов холоднокатаного проката с реверсивных моталок, смазочно-охлаждающими системами с устройствами для многозонного охлаждения рабочих валков, а также приборами, устройствами и системами для измерения, регулирования и

управления технологическими параметрами и процессом прокатки в целом.

На двухклетевых реверсивных станах холодной прокатки можно реализовать, по меньшей мере, три стратегии (схемы) прокатки: в один пропуск – двукратная (рис. 2, а), в два – четырехкратная (рис. 2, б) или в три – шестикратная (рис. 2, в). При этом, в зависимости от требований к состоянию поверхности холоднокатаной продукции, прокатка, например, двукратная (рис. 2, б), может осуществляться, когда в первой клетке применяют шероховатые (насеченные, текстурированные), а во второй клетке – гладкие (шлифованные) рабочие валки, либо когда в обеих клетках используют гладкие рабочие валки.

Представление о том, что прокатку на двухклетевых реверсивных станах в один, два и три пропуска можно рассматривать как некий аналог холодной прокатки на двух-, четырех- и шестиклетевых непрерывных станах является ошибочным, поскольку технология прокатки на двухклетевых реверсивных станах

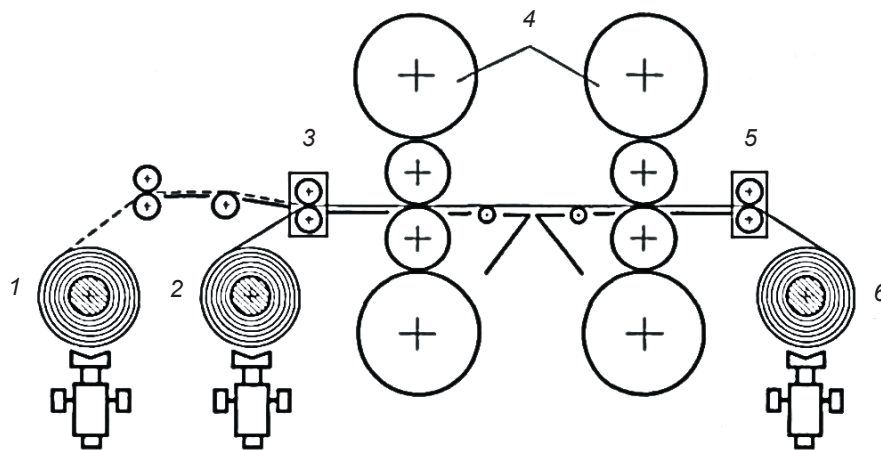


Рис. 1. Схема двухклетевого реверсивного стана холодной прокатки: 1 – разматыватель; 2 – моталка № 2; 3 – вводная секция; 4 – рабочие клетки; 5 – выводная секция; 6 – моталка № 1

существенно отличается от технологии прокатки на непрерывных станах. При реализации процесса на двухклетевых реверсивных станах в два или три пропуски прокатку одной полосы в каждой клетке производят соответственно дважды или трижды, в то время как обжатие одной полосы в каждой клетке непрерывного стана – только один раз. Если при этом силовые и температурные параметры прокатки в каждом пропуске будут существенно отличаться от соответствующих параметров прокатки в предыдущем пропуске, то очевидно, что это приведет к ухудшению плоскостности и снижению точности размеров по толщине прокатываемых полос. Поэтому при разработке деформационных и температурно-скоростных режимов холодной прокатки на двухклетевых реверсивных станах необходимо использовать подходы, критерии и ограничения, отличающиеся от тех, которые применяют при разработке режимов прокатки на непрерывных станах. Эти подходы в настоящее время окончательно не сформулированы, по крайней мере, сведения о них в литературе отсутствуют. Практически открытым является также вопрос о влиянии уровня и характера распределения относительных удельных натяжений в линии стана на расход электрической энергии при реверсивной холодной полосовой прокатке.

Данная статья посвящена разработке эффективных, в том числе энергосберегающих, режимов обжатий и натяжений на двухклетевом реверсивном стане холодной прокатки 1700, установка которого предусмотрена на комбинате «Запорожсталь» [2].

Расчет режимов деформации, энергосиловых и температурно-скоростных параметров холодной прокатки на двухклетевом реверсивном стане 1700 осуществляли по методике, созданной на кафедре обработки металлов давлением Национальной металлургической академии Украины (НМетАУ, Днепропетровск) [3-6]. Методика учитывает особенности и закономерности силового, упруго-пластического, фрикционного, теплового и кинематического взаимодействий тонкой полосы с вращающимися валками и обеспечивает прогнозирование технологических параметров с удовлетворительной точностью.

В качестве критерия стабильности силовых условий холодной прокатки и точности прокатываемых полос использовали условие постоянства силы, действующей на валки  $P_c$  (МН) во всех клетях стана для каждого режима:

$$P_{ci} = \text{const} \quad (1)$$

Уровень относительных удельных натяжений полосы  $q/\sigma_T$  ( $q$ ,  $\sigma_T$  – абсолютное удельное натяжение и предел текучести материала полосы, Н/мм<sup>2</sup>) в каждой клетке стана и характер их распределения в линии стана для каждого режима обжатий определяли в соответствии с условием [7]

$$\frac{q_0}{\sigma_{T0}} = \beta k_q \left( \frac{1+f}{1+5\sqrt{h_0/R}} + \frac{1+\varepsilon\varepsilon_\Sigma}{1+\varepsilon} \right), \quad (2)$$

где  $k_q$  – коэффициент, определяющий возможный уровень относительных удельных натяжений на кон-

кретном стане ( $k_q = 0,10-0,25$ );  $R$ ,  $h_0$  – радиус рабочего валка и толщина полосы на входе в очаг деформации данной клетки, мм;  $\varepsilon$ ,  $f$  – частное относительное обжатие полосы (доли единицы) и коэффициент трения при прокатке в данной клетке;  $\varepsilon_\Sigma$  – суммарное относительное обжатие полосы на выходе из очага деформации данной клетки (доли единицы).

Исследования показали [7], что при увеличении относительных удельных натяжений  $q/\sigma_T$  с 0,10-0,15 до 0,35-0,40, удовлетворяющих условию (2), обеспечивается существенное (до 2-10 % и более) уменьшение удельного расхода электрической энергии при холодной прокатке на непрерывных и реверсивных станах.

Особенности прокатки, когда в одной клетке стана применяют шероховатые, а в другой – гладкие рабочие валки, учитывали, используя конкретные значения параметра  $R_{ab}$  при расчете коэффициента трения [6]. Во всех расчетах температуру исходного подката, диаметр рабочих валков и удельное натяжение на конечной моталке в последнем пропуске принимали равными соответственно 40 °С, 450 мм и 40 Н/мм<sup>2</sup>, что приравнивается к их максимальным значениям [2]. Величина исходного предела текучести горячекатаного подката для каждой толщины соответствовала имеющимся на комбинате экспериментальным данным ( $\sigma_{Тисх} = 245-290$  Н/мм<sup>2</sup>). Все расчеты производили для условий прокатки с использованием 2%-ной эмульсии эмульсола «Агринол ОМ»,

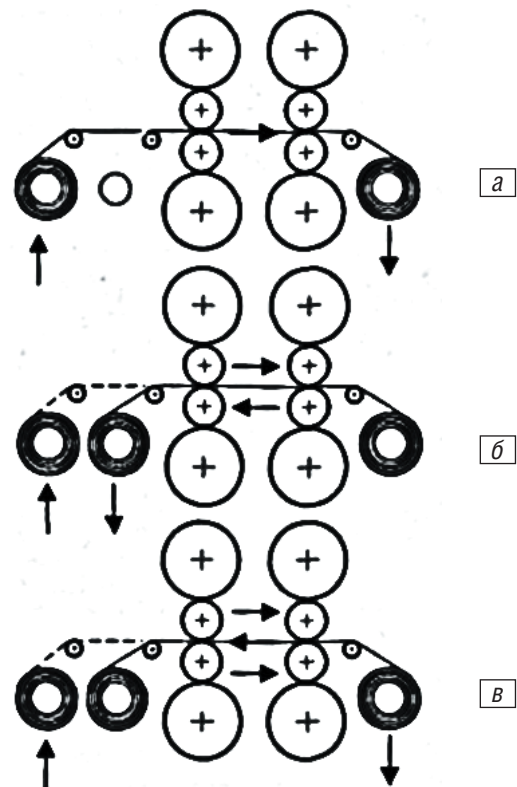


Рис. 2. Стратегии прокатки на двухклетевом реверсивном стане: в один пропуск (а); в два пропуски (б); в три пропуски (в)

\* Более высокие значения  $\sigma_{Тисх}$  тонкого горячекатаного подката, производимого на НШПС 1680 ОАО «Запорожсталь», объясняются более низкими показателями температуры конца прокатки и смотки в рулоны такого подката

Расчетные значения технологических параметров при холодной прокатке полосы 0,35×1000 мм из подката 2,0×1000 мм на двухклетевом реверсивном стане 1700 по базовому (числитель) и предлагаемому (знаменатель) режимам деформации [сталь 08кп;  $\sigma_{Te} = 290 + 34,6 \cdot (100\varepsilon_c)^{0,6}$ ]

Прокатка с 2%-ной эмульсией эмульсола «ОМ» $\sum N_{дв}$ (кВт); $A_t$ (т/ч); $a_c$ (кВт·ч/т)																	
$\sum N_{дв} = 15857$ ; $A_t = 77,6$ ; $a_c = 204,24$																	
$\sum N_{дв} = 14936$ ; $A_t = 77,6$ ; $a_c = 192,38$																	
Номер пр.	Номер клетки	$h_0$ , мм	$\varepsilon$	$\varepsilon_\Sigma$	$R_a$	$q_0/\sigma_{T0}$	$\sigma_{T0}$	$l_c$	$f$	$t_{1n}$ , °C	$P_{срс'}$ Н/мм <sup>2</sup>	$P_{c'}$ МН	$V_1$ м/с	$S_c$	$M_{c'}$ кН·м	$N_{дв'}$ кВт	$N_{мот'}$ кВт
1	1	2,000	0,32	0,320	0,6	$\frac{0,018}{0,142}$	$\frac{282}{282}$	$\frac{14,58}{14,32}$	$\frac{0,077}{0,077}$	$\frac{92}{87}$	$\frac{681}{608}$	$\frac{9,92}{8,715}$	$\frac{4,64}{4,63}$	$\frac{0,0587}{0,0616}$	$\frac{68,44}{56,15}$	$\frac{1784}{1485}$	$\frac{-31^*}{-252^*}$
	2	1,360	0,35	0,558	0,6	$\frac{0,172}{0,285}$	$\frac{518}{521}$	$\frac{13,16}{12,77}$	$\frac{0,064}{0,063}$	$\frac{142}{131}$	$\frac{793}{688}$	$\frac{10,43}{8,787}$	$\frac{7,12}{7,13}$	$\frac{0,0445}{0,0466}$	$\frac{99,0}{82,88}$	$\frac{3750}{3136}$	$\frac{366^{**}}{1123^{**}}$
2	1	0,884	0,388	0,729	0,6	$\frac{0,099}{0,299}$	$\frac{589}{596}$	$\frac{11,71}{11,25}$	$\frac{0,063}{0,062}$	$\frac{193}{174}$	$\frac{903}{761}$	$\frac{10,57}{8,565}$	$\frac{11,64}{11,64}$	$\frac{0,0759}{0,0632}$	$\frac{71,44}{71,07}$	$\frac{4618}{4433}$	$\frac{-366^*}{-1123^*}$
	2	0,541	0,353	0,825	0,6	$\frac{0,168}{0,311}$	$\frac{605}{622}$	$\frac{9,74}{9,53}$	$\frac{0,061}{0,060}$	$\frac{222}{203}$	$\frac{972}{901}$	$\frac{9,46}{8,588}$	$\frac{18,00}{18,00}$	$\frac{0,0674}{0,0567}$	$\frac{52,75}{58,03}$	$\frac{5573}{5882}$	$\frac{164^{**}}{252^{**}}$
Прокатка с 2%-ной эмульсией эмульсола «Cold Roller» $\sum N_{дв}$ (кВт); $A_t$ (т/ч); $a_c$ (кВт·ч/т); ( $v_{cm} = 28,1$ сСт; $k_{cm} = 1,102$ )																	
$N_{\Sigma дв} = 15182$ ; $A_t = 77,6$ ; $a_c = 195,54$																	
$N_{\Sigma дв} = 14499$ ; $A_t = 77,6$ ; $a_c = 186,76$																	
1	1	2,000	0,32	0,320	0,6	$\frac{0,018}{0,142}$	$\frac{282}{282}$	$\frac{14,50}{14,28}$	$\frac{0,063}{0,063}$	$\frac{89}{85}$	$\frac{655}{593}$	$\frac{9,50}{8,47}$	$\frac{4,63}{4,63}$	$\frac{0,0543}{0,0551}$	$\frac{60,90}{53,51}$	$\frac{1624}{1431}$	$\frac{-36^*}{-252^*}$
	2	1,360	0,35	0,558	0,6	$\frac{0,172}{0,283}$	$\frac{519}{522}$	$\frac{13,05}{12,73}$	$\frac{0,052}{0,051}$	$\frac{136}{127}$	$\frac{751}{669}$	$\frac{9,80}{8,52}$	$\frac{7,13}{7,13}$	$\frac{0,0318}{0,0358}$	$\frac{96,03}{80,38}$	$\frac{3659}{3073}$	$\frac{427^{**}}{1123^{**}}$
2	1	0,884	0,388	0,729	0,6	$\frac{0,099}{0,297}$	$\frac{593}{599}$	$\frac{11,57}{11,19}$	$\frac{0,051}{0,050}$	$\frac{183}{167}$	$\frac{854}{735}$	$\frac{9,88}{8,22}$	$\frac{11,65}{11,64}$	$\frac{0,0649}{0,0500}$	$\frac{67,10}{68,97}$	$\frac{4377}{4345}$	$\frac{-427^*}{-1123^*}$
	2	0,541	0,353	0,825	0,6	$\frac{0,168}{0,304}$	$\frac{614}{628}$	$\frac{9,54}{9,39}$	$\frac{0,049}{0,049}$	$\frac{209}{194}$	$\frac{906}{854}$	$\frac{8,65}{8,02}$	$\frac{18,00}{18,00}$	$\frac{0,0553}{0,0452}$	$\frac{51,01}{55,47}$	$\frac{5365}{5651}$	$\frac{193^{**}}{252^{**}}$

\*мощность задней (разматывающей) моталки, работающей в генераторном режиме, кВт;

\*\*мощность передней (наматывающей) моталки, кВт

которую в настоящее время применяют в цехе холодной прокатки № 1 на комбинате «Запорожсталь», а также для эмульсии, аналогичной концентрации эмульсола «Cold Roller», внедрение которой намечено в будущем. При проведении расчетов проверяли также выполнение ограничений по силе прокатки  $P_c$  и мощности на валу приводного двигателя  $N_{дв}$ :

$$P_c \leq [P], \quad (3)$$

$$N_{дв} \leq [N_{дв}], \quad (4)$$

где  $[P]$ ,  $[N_{дв}]$  – допустимые значения силы, действующей на нажимные винты ( $[P] = 22$  МН), и мощности на валу двигателя ( $[N_{дв}] = 6400$  кВт).

С учетом приведенных выше критериев и ограничений разработали эффективные режимы деформации для основного планируемого сортамента полос на стане 1700, при  $k_q = 0,15$ , что соответствует условиям холодной прокатки с относительными удельными натяжениями  $q/\sigma_T$  до 0,27-0,31. Для удобства анализа все режимы деформации и соответствующие им значения технологических параметров рассчитали для одной ширины полосы, равной 1000 мм. Это давало возможность легко оценить степень загрузки рабочих клеток и приводных двигателей стана по силе и мощности, а также определить возможную скорость прокатки при изменении (увеличении) ширины прокатываемых полос, поскольку в условиях ОАО «Запорожсталь» для производства холоднокатаных полос одной толщины, но разной ширины применяют горячекатаный подкат одной толщины. Об энергетической эффективности режимов деформации

на двухклетевом реверсивном стане судили по величине удельного расхода электрической энергии  $a_c$ , кВт·ч/т:

$$a_c = \frac{\sum N_{дв1} + \sum N_{дв2} + \sum N_{двм1} + \sum N_{двм2}}{A_t}, \quad (5)$$

где  $\sum N_{дв1}$ ,  $\sum N_{дв2}$ ,  $\sum N_{двм1}$ ,  $\sum N_{двм2}$  – соответственно суммарная мощность приводных двигателей рабочих клеток и моталок двухклетевых реверсивных стана при прокатке данного профиля, кВт;  $A_t$  – технически возможная часовая производительность стана при прокатке данного профиля, т/ч.

Для сравнительной оценки энергетической эффективности предлагаемых в данной работе режимов натяжений для нового двухклетевых стана 1700 ОАО «Запорожсталь» в качестве базовых были приняты режимы натяжения на двухклетевом реверсивном стане 1700 ОАО «ММК» (Российская Федерация), приведенные в работе [8]. В табл. 1, в качестве примера, представлены результаты расчета технологических параметров, суммарной мощности и удельного расхода электрической энергии при прокатке полосы 0,35×1000 мм из стали 08кп на стане 1700, то есть наиболее тонкого профиля планируемого сортамента по базовому (числитель) и предлагаемому (знаменатель) режимам натяжений с применением эмульсии на основе эмульсолов «Агринол ОМ» и «Cold Roller». В табл. 2 приведены режимы деформации и соответствующие им расчетные значения технологических параметров при холодной прокатке полос толщиной 0,4-1,2 мм с эмульсией эмульсола

Расчетные значения технологических параметров при холодной прокатке полосы из стали 08кп с 2%-ной эмульсией эмульсола «ОМ» на двухклетевом реверсивном стане 1700 по предлагаемым режимам деформации

Режим 1. Прокатка полосы 0,4×1000 мм из подката 2,0×1000 мм [ $\sigma_t = 290 + 34,6 \cdot (100\varepsilon_z)^{0,6}$ ] $\sum N_{дв} = 14340$ кВт; $A_t = 83,3$ т/ч; $a_c = 172,11$ кВт·ч/т																	
Номер пр.	Номер клетки	$h_0$ , мм	$\varepsilon$	$\varepsilon_z$	$R_a$	$q_0 / \sigma_{T0}$	$\sigma_{T0}$	$l_c$	$f$	$t_{in}$ , °C	$P_{срс'}$ Н/мм <sup>2</sup>	$P_{c'}$ МН	$V_1$ м/с	$S_c$	$M_{c'}$ кН·м	$N_{дв'}$ кВт	$N_{мот'}$ кВт
1	1	2,000	0,298	0,298	0,6	0,142	282	13,89	0,075	84	595	8,265	4,843	0,0570	48,77	1385	-272*
	2	1,404	0,315	0,519	0,6	0,284	512	12,39	0,061	123	666	8,255	7,071	0,0399	74,24	2830	1183**
2	2	0,962	0,365	0,695	0,6	0,296	587	11,35	0,061	165	739	8,384	11,135	0,0554	70,27	4213	-1183*
	1	0,611	0,345	0,800	0,6	0,309	618	9,79	0,060	198	870	8,521	17,000	0,0504	62,67	5918	266**
Режим 2. Прокатка полосы 0,8×1000 мм из подката 2,7×1000 мм [ $\sigma_t = 265 + 34,6 \cdot (100\varepsilon_z)^{0,6}$ ] $\sum N_{дв} = 15982$ кВт; $A_t = 127,4$ т/ч; $a_c = 125,46$ кВт·ч/т																	
1	1	2,700	0,244	0,244	2,4	0,155	257	14,55	0,129	85	562	8,176	5,879	0,0523	46,72	1634	-479*
	2	2,041	0,278	0,454	0,6	0,276	462	13,66	0,064	126	588	8,030	8,143	0,0297	82,00	3552	1853**
2	2	1,474	0,32	0,629	0,6	0,287	538	12,63	0,060	170	636	8,033	11,974	0,0368	79,62	5062	-1853*
	1	1,002	0,202	0,704	2,4	0,308	572	9,83	0,118	199	810	7,965	15,005	0,0298	70,09	5733	480**
Режим 3. Прокатка полосы 1,0×1000 мм из подката 3,0×1000 мм [ $\sigma_t = 245 + 34,6 \cdot (100\varepsilon_z)^{0,6}$ ] $\sum N_{дв} = 14116$ кВт; $A_t = 149,3$ т/ч; $a_c = 94,56$ кВт·ч/т																	
1	1	3,000	0,234	0,234	2,4	0,168	238	14,30	0,129	82	517	7,393	5,653	0,0487	40,74	1462	-519*
	2	2,300	0,245	0,421	0,6	0,273	439	13,08	0,063	117	550	7,189	7,488	0,0232	70,12	3001	1878**
2	2	1,736	0,28	0,583	0,6	0,282	511	12,28	0,060	155	594	7,301	10,400	0,0273	70,42	4176	-1878*
	1	1,250	0,200	0,667	2,4	0,302	550	10,00	0,118	186	743	7,423	13,000	0,0262	74,51	5476	520**
Режим 4. Прокатка полосы 1,2×1000 мм из подката 3,2×1000 мм [ $\sigma_t = 245 + 34,6 \cdot (100\varepsilon_z)^{0,6}$ ] $\sum N_{дв} = 13310$ кВт; $A_t = 171,2$ т/ч; $a_c = 77,77$ кВт·ч/т																	
1	1	3,200	0,22	0,220	2,4	0,168	238	14,34	0,128	80	505	7,236	5,769	0,0453	37,58	1405	-575*
	2	2,496	0,226	0,396	0,6	0,272	433	13,11	0,062	113	536	7,075	7,454	0,0204	67,99	2909	2031**
2	2	1,932	0,246	0,545	0,6	0,280	503	12,21	0,059	147	575	6,982	9,886	0,0224	66,11	3760	-2031*
	1	1,457	0,176	0,625	2,4	0,299	542	10,09	0,118	175	705	7,076	11,997	0,0199	77,84	5236	576**

\*мощность задней (разматывающей) моталки, работающей в генераторном режиме, кВт;

\*\*мощность передней (наматывающей) моталки, кВт

«Агринол ОМ», то есть со смазкой, которую применяют в настоящее время на комбинате. Данные об энергетической эффективности предлагаемых режимов деформации и натяжений при холодной прокатке полос толщиной 0,35-1,20 мм на стане 1700 с эмульсией на основе эмульсола «Агринол ОМ» и «Cold Roller» содержатся в табл. 3.

Анализ представленных в табл. 1-3 данных дает возможность отметить следующее:

1. При холодной прокатке полос (0,35-1,20)×

×1000 мм из стали 08кп, когда в качестве технологической смазки применяют эмульсию на основе эмульсола «Агринол ОМ», а исходной заготовкой служит горячекатаный подкат с исходным пределом текучести 245-290 Н/мм<sup>2</sup> (табл. 1, 2), максимальная скорость, которую можно достичь на двухклетевом реверсивном стане 1700, составляет 12-18 м/с и ограничивается только мощностью приводных двигателей рабочих клеток. Максимально возможная скорость при прокатке полос шириной 1500-1550 мм

Таблица 3

Расчетные данные об удельном расходе электрической энергии при холодной прокатке полос на двухклетевом реверсивном стане 1700 по предлагаемым режимам деформации с применением 2%-ной эмульсии эмульсола «ОМ» (числитель) и «Cold Roller» (знаменатель)

Размер прокатываемой полосы, $h \times b$ , мм	Удельный расход электроэнергии $a_c$ , кВт·ч/т				Относительное уменьшение (%) удельного расхода энергии при $k_q$		
	по базовому режиму	по предлагаемым режимам при $k_q$			0,100	0,150	0,185
		0,100	0,150	0,185			
0,35×1000	<u>204,24</u>	<u>199,51</u>	<u>192,38</u>	<u>184,42</u>	<u>2,32</u>	<u>5,81</u>	<u>9,71</u>
	195,54	192,91	186,76	182,01	1,34	4,49	6,92
0,4×1000	<u>182,31</u>	<u>178,23</u>	<u>172,11</u>	<u>167,74</u>	<u>2,24</u>	<u>5,59</u>	<u>7,99</u>
	175,23	172,98	167,37	163,40	1,29	4,48	6,75
0,8×1000	<u>131,99</u>	<u>129,33</u>	<u>125,46</u>	<u>122,76</u>	<u>2,01</u>	<u>4,95</u>	<u>6,99</u>
	127,74	126,18	122,61	120,06	1,22	4,01	6,01
1×1000	<u>100,49</u>	<u>98,54</u>	<u>94,56</u>	<u>93,79</u>	<u>1,94</u>	<u>5,90</u>	<u>6,67</u>
	97,56	96,44	93,81	91,95	1,15	3,84	5,75
1,2×1000	<u>82,58</u>	<u>80,93</u>	<u>77,77</u>	<u>77,03</u>	<u>2,00</u>	<u>5,83</u>	<u>6,72</u>
	80,43	79,43	77,29	75,73	1,23	3,90	5,84

уменьшится примерно в 1,5 раза и не превысит 8-12 м/с. Применение эмульсии на основе эмульсола «Cold Roller» (табл. 1) обеспечивает незначительное снижение (на 3-7 %) уровня энергосиловых параметров и не позволяет увеличивать скорость прокатки более чем на 1,0-1,5 м/с.

2. Разработанные для двухклетевого реверсивного стана холодной прокатки 1700 ОАО «Запорожсталь» режимы деформации отличаются практически одинаковыми значениями силы прокатки по клетям для каждого профилеразмера, что способствует повышению точности прокатываемых полос. При этом значения силы  $P_c$ , действующей на валки при ширине полосы, равной 1000 мм, находятся на уровне 7,2-8,8 МН, что составляет 32,7-40,0 % от допустимой величины ( $[P] = 22$  МН). Увеличение ширины полосы до 1500-1550 мм приведет к увеличению силы прокатки до 11,2-13,6 МН, однако и в этом случае нагрузка рабочих клетей стана по силе составит не более 51-62 %. Это означает, что на этом стане для выпуска полос планируемого сортамента можно использовать подкат с более высоким пределом текучести (500-600 Н/мм<sup>2</sup>) либо освоить прокатку более тонких полос (например толщиной 0,3 мм и менее).

3. Приведенные в табл. 1, 2 режимы деформации обеспечивают высокую устойчивость технологического процесса при холодной прокатке полос планируемого сортамента на стане 1700, о чем свидетельствуют большие значения опережения (1,99-6,32 %).

4. Холодная прокатка полос по предлагаемым режимам деформации осуществляется на высокой (до 12-18 м/с) скорости с большими суммарными (до 0,625-0,825) и частными (до 0,245-0,388) относительными обжатиями, что ужесточает температурные условия деформации и увеличивает тепловую нагрузку на стан. Об этом свидетельствуют высокие значения температуры полосы в линии стана, достигающие 175-203 °С.

5. Отличительной особенностью предложенных в данной работе режимов деформации для двухклетевого реверсивного стана 1700 является то, что впервые при их разработке исследовано и учтено влияние натяжения на удельный расход энергии при холодной прокатке. По данным табл. 3 видно, что при прокатке полосы 0,35×1000 мм, когда в качестве технологической смазки применяют эмульсию на основе эмульсола «Агринол ОМ», увеличение коэффициента  $k_q$  с 0,100 до 0,185, то есть увеличение относительного удельного натяжения в 1,85 раза, приводит к уменьшению удельного расхода электрической энергии (по сравнению с базовым режимом натяжений) соответственно на 2,32 и 9,71 %. С увеличением толщины прокатываемой полосы эффект уменьшения удельного расхода энергии (в результате увеличения относительного удельного натяжения) несколько снижается, однако и в этом случае остается достаточно высоким. Например, при прокатке полосы 1,2×1000 мм увеличение относительного удельного натяжения в 1,85 раза

способствует уменьшению удельного расхода электрической энергии соответственно на 2,0 и 6,72 %. Энергетическая эффективность процесса холодной полосовой прокатки в результате увеличения относительного удельного натяжения снижается также и в случае применения более эффективной технологической смазки. Как следует из данных табл. 3, при холодной прокатке с эмульсией на основе эмульсола «Cold Roller» увеличение относительного удельного натяжения в 1,85 раза для указанных выше толщин полос приводит к более скромным цифрам уменьшения удельного расхода электрической энергии – соответственно на 1,34, 6,92 и 1,23, 5,84 %.

Снижение энергетической эффективности процесса холодной прокатки с натяжением с увеличением толщины прокатываемых полос и с уменьшением коэффициента трения (повышением эффективности технологической смазки) объясняется тем, что в данных условиях деформации уменьшается мощность, расходуемая на преодоление сопротивления сил трения на контакте полосы с валками.

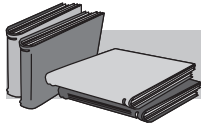
Приведенные данные позволяют квалифицировать режимы, разработанные для двухклетевого реверсивного стана 1700 ОАО «Запорожсталь» как энергетически эффективные и энергосберегающие. Освоение планируемого сортамента холоднокатаной продукции на этом стане в случае применения в качестве технологической смазки эмульсии на основе эмульсолов «Агринол ОМ» и «Cold Roller» даст возможность уменьшить удельный расход электрической энергии при холодной прокатке в среднем на 5-6 и 4-5 % соответственно или на 6,5-8,0 и 5,0-6,5 кВт·ч/т.

### **Выводы**

1. Разработаны режимы деформации, отражающие особенности непрерывно-реверсивной прокатки в двух клетях, для нового двухклетевого реверсивного стана холодной прокатки 1700, сооружение которого намечено на ОАО «Запорожсталь».

2. Предложенные режимы деформации обеспечивают ведение процесса холодной прокатки на двухклетевом реверсивном стане с практически одинаковыми значениями силы прокатки по клетям в каждом пропуске для каждого профилеразмера. Это гарантирует высокую стабильность силовых условий деформации и способствует повышению точности прокатываемых полос.

3. При разработке режимов деформации на двухклетевом реверсивном стане 1700 применили новый принцип определения уровня и характера распределения относительных удельных натяжений, способствующий повышению энергетической эффективности процесса холодной прокатки. Показано, что предложенные режимы натяжений дают возможность уменьшить удельный расход электрической энергии при холодной прокатке на этом стане на 4-6 %.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Пелькин Х. Й. Новейшие технологии холодной прокатки // Тр. III конгресса прокатчиков. Липецк, 19-22 октября 1999 г. – М.: АО «Черметинформация», 2000. – С. 152-154.
2. Василев Я. Д., Путники А. Ю., Симененко О. В. Современный стан холодной прокатки для комбината «Запорожсталь» // Металлургическая и горнорудная пром-сть. – 2007. – № 1. – С. 37-40.
3. Василев Я. Д. Инженерные модели и алгоритмы расчета параметров холодной прокатки. – М.: Metallurgiya, 1995. – 368 с.
4. Василев Я. Д., Минаев А. А. Теория продольной прокатки: Учебн. для магистрантов ВУЗов. – Донецк: УНИТЕХ, 2010. – 456 с.
5. Василев Я. Д. Инженерная методика расчета температуры полосы при холодной прокатке // Производство проката. – 2012. – № 6. – С. 15-19.
6. Василев Я. Д. Методика расчета коэффициента трения при холодной прокатке с эмульсией на основе эмпирических зависимостей // Там же. – 2012. – № 7. – С. 2-7.
7. Василев Я. Д., Самокиш Д. Н. Разработка энергосберегающих режимов натяжений на непрерывных станах холодной прокатки // Металлургическая и горнорудная пром-сть. – 2013. – № 2. – С. 34-38.
8. Инженерный метод расчета параметров холодной прокатки стальных полос / П. И. Денисов, Г. А. Медведев, В. И. Шурыгин, А. Г. Медведев // Производство проката. – 2004. – № 8. – С. 2-7.

### Анотація

*Василев Я. Д., Самокиш Д. М., Замогильний Р. О.*

**Розробка енергозберігаючих режимів деформації на новому двоклітьовому реверсивному стані холодної прокатки 1700 для комбінату «Запоріжсталь»**

*З урахуванням особливостей технології реверсивної холодної прокатки на двоклітьовому стані 1700, встановлення якого заплановано на комбінаті «Запоріжсталь», розроблено режими деформації, які забезпечують ведення процесу з практично однаковими значеннями сили прокатки по клітям, що гарантує високу стабільність силових умов і сприяє підвищенню точності прокатуваних штаб. Розроблені режими деформації на двоклітьовому реверсивному стані 1700 засновано на новому принципі визначення рівня і характеру розподілу відносного питомого натягу, що сприяє підвищенню енергетичної ефективності процесу холодної прокатки. Показано, що запропоновані режими натягу дають змогу зменшити питому витрату електричної енергії при холодній прокатці на цьому стані на 4-6 %.*

### Ключові слова

*холодна прокатка, штаба, двоклітьовий реверсивний стан, режим деформації, натяг, енергоефективність*

### Summary

*Vasilev, Ya. D., Samokish D. N., Zamogilny R. A.*

**Development energy saving schedules of deformation for a new two-stand reversing cold rolling mill 1700 for «Zaporizhstal»**

*Given the nature of technology reversible two-stand cold rolling mill in 1700, the installation of which is planned to combine «Zaporizhstal», designed to schedules of deformation of the process with almost the same values of force by rolling stands, which ensures high stability and security conditions conducive to improving the accuracy of rolled strips. In developed modes of deformation on the two-stand reversing mill in 1700 on a new principle of determining the level and distribution of relative unit tensions, contributing to improved energy efficiency of the process of cold rolling. It is shown that the proposed mode can reduce specific consumption of electric energy during the cold rolling mill by 4-6 %.*

### Keywords

*cold rolling, strip, two stand reversing mill, schedule of deformation, tension, energy efficiency*

Поступила 27.06.13