

С.М. Жучков, Л.В. Кулаков, А.П. Лохматов, Д.Г. Паламарь

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ЗАГОТОВОК И СКОРОСТИ ПРОКАТКИ НА ЗАГРУЗКУ ДВИГАТЕЛЕЙ ГЛАВНЫХ ПРИВодОВ РАБОЧИХ КЛЕТЕЙ МЕЛКОСОРТНОГО СТАНА 250–3 КОМБИНАТА «КРИВОРОЖСТАЛЬ»**

Приведены зависимости токовых нагрузок на главные двигатели рабочих клетей стана от температуры исходных заготовок и скорости прокатки арматурных профилей №10 и №12. Для условий стана 250–3 выявлены области температур исходных заготовок и скоростей прокатки, при которых отсутствуют перегрузки приводных двигателей рабочих клетей.

Введенный в эксплуатацию в 1961 году двухниточный непрерывный мелкосортный стан 250–3 по проекту предназначен для прокатки круглых сортовых профилей диаметром 8–30 мм, квадратных со стороной 8–27 мм, арматурных профилей №10÷№28, угловой стали 25х25÷40х40 мм и полосовой стали сечением (12÷70)х(4÷10) мм [1, 2]. Максимальная скорость прокатки профилей составляет 15 м/с.

Фактический сортамент стана включает круглые профили диаметром 12–14мм и арматурный прокат №10÷14.

Схема расположения основного технологического оборудования главной линии стана представлена на рис.1.

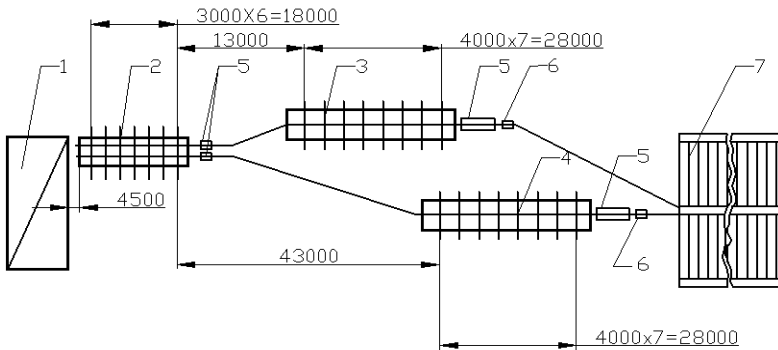


Рис.1 – Схема расположения основного технологического оборудования главной линии непрерывного мелкосортного стана 250–3 комбината «Криворожсталь»  
1 – нагревательная печь; 2 – черновая группа клетей; 3 – левая чистовая группа клетей; 4 – правая чистовая группа клетей; 5 – установки ускоренного охлаждения; 6 – летучие ножницы; 7 – двусторонний холодильник

В 2002 году нагревательная печь стана была модернизирована за счет применения улучшенных теплоизоляционных материалов и оснащения компьютерной техникой для контроля и управления режимами работы печи.

Стан оснащен установками ускоренного охлаждения раската в линии каждой чистовой группы клетей, на которых производят термическое упрочнение арматурных профилей с прокатного нагрева, установками для пакетирования и упаковки готового проката, размещенными в поперечных пролетах склада готовой продукции.

Технология производства арматурных профилей №10 и №12 в условиях стана 250–3 комбината «Криворожсталь» предполагает нагрев исходных заготовок сечением 80x80 мм из стали марки ЗТРпс до температур, обеспечивающих получение температуры раската на выходе из первой клетки в диапазоне от 1140 до 1160<sup>0</sup>С. Прокатка на стане осуществляется с продольным разделением раската в чистовых группах клетей. Реально замеренная скорость прокатки при производстве арматурных профилей №10 и №12 (указанные профили составляют около 90% от общего объема производства готовой продукции на стане) составила 11,4м/с по левой стороне стана и 11,5м/с по правой стороне при прокатке арматурного профиля №10, а в процессе прокатки арматурного профиля №12 – 9,9м/с по левой стороне и 9,7м/с по правой стороне стана.

Основные данные о калибровке валков при прокатке арматурных профилей №10 и №12 с продольным разделением раската в чистовых клетях приведены в табл.1.

Отсутствие в приведенной таблице данных по клетям №10/(18) и №12/(20) объясняется тем, что в указанных клетях деформация раската не производится.

В условиях непрерывного мелкосортного стана 250–3 комбината «Криворожсталь» при прокатке арматурных профилей №10 и №12 токовые нагрузки на приводной двигатель первой клетки черновой группы стана, согласно выполненным замерам, практически достигают предельно допустимого уровня.

В связи с этим возникла необходимость в определении области, в которой значения температур исходных заготовок и скорости прокатки указанных арматурных профилей, не вызовут перегрузку приводного двигателя первой клетки черновой группы стана.

Группа	Клетей	Форма калибра	Размеры полосы						Коэфф. вытяж. (№10)	Коэфф. вытяж. (№12)
			№10			№12				
			Н, мм	В, мм	F, мм <sup>2</sup>	Н, мм	В, мм	F, мм <sup>2</sup>	μ	μ
Черновая	1	Ящ.	62,0	86,0	4825,0	62,0	86,0	4825,0	1,326	1,326
	2	Ящ.	44,0	93,0	3660,0	44,0	93,0	3660,0	1,318	1,318
	3	Диэг. кв.	59,0	59,0	2480,0	59,0	59,0	2480,0	1,476	1,476
	4	Шестиуг.	29,0	69,0	1640,0	29,0	69,0	1740,0	1,512	1,425
	5	Ребр. ов.	41,0	38,0	1115,0	45,0	38,0	1250,0	1,471	1,392
	6	Ов.	19,0	53,0	800,0	20,0	55,0	850,0	1,394	1,471
	7	Ребр. ов.	30,0	26,5	605,0	32,0	29,0	690,0	1,322	1,232
Чистовые	8/(16)	Ромб	17,5	38,0	420,0	21,0	38,0	500,0	1,440	1,380
	9/(17)	Диэг. кв.	24,5	24,0	320,0	28,5	28,0	395,0	1,312	1,266
	11/(19)	Разрезной	14,5	23,8	250,0	17,0	23,0	316,0	1,280	1,250
	13/(21)	Разделит.	14,2	24,6	248,0	17,0	27,6	314,0	1,008	1,006
	14/(22)	Ов.	7,2	17,5	107x2	8,5	20,0	135x2	1,159	1,163
	15/(23)	Арматурн.	9,2	11,6	81x2	11,5	13,0	116x2	1,321	1,164

Согласно данным, полученным в процессе замеров токовых нагрузок на приводные двигатели рабочих клетей стана, были установлены фактические величины загрузки главных приводных двигателей рабочих клетей стана при прокатке арматурных профилей №10 и №12.

Параллельно исследования загрузки главных приводных двигателей рабочих клетей стана в процессе прокатки указанных профилей выполнялись с помощью разработанной в Институте черной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины математической модели непрерывного сортопрокатного стана [3], адаптированной к условиям производства арматурных профилей №10 и №12 на непрерывном мелкосортном стане 250–3 комбината «Криворожсталь».

Результаты замеров фактических токовых нагрузок на приводные двигатели рабочих клетей стана, их расчетных величин, полученных с помощью адаптированной к условиям стана, математической модели для случая прокатки арматурных профилей №10 и №12 с продольным разделением в потоке стана приведены в табл.2.

Обращают на себя внимание чрезвычайно низкие токовые нагрузки на приводной двигатель клетки №21, в которой осуществляется финальная стадия продольного разделения раската.

Также обращает на себя внимание тот факт, что токовая нагрузка на приводной двигатель клетки №16 (первая клеть чистовой группы по правой стороне стана) при прокатке арматурного профиля №10 практически в 2 раза выше, чем токовая нагрузка в случае прокатки арматурного профиля №12. Это объясняется различием режима обжатий в указанной клетке в процессе прокатки выше упомянутых профилей.

С использованием адаптированной модели были рассчитаны значения токовых нагрузок на главные приводные двигатели рабочих клетей стана при различных температурах исходных заготовок и скоростях прокатки готового профиля.

Аналитические исследования токовой нагрузки на приводные двигатели рабочих клетей непрерывного мелкосортного стана 250–3 проводили в диапазоне температур исходных заготовок 1060–1200<sup>0</sup>С для обоих профилирумеров арматурного проката, при этом скорость прокатки варьировалась в пределах 9–13 м/с для арматурного профиля №10 и в пределах 8–12 м/с – для арматурного профиля №12.

В качестве примера в табл. 3 и 4 представлены результаты расчета токовых нагрузок на приводной двигатель первой клетки черновой группы стана (как наиболее загруженной по току) в абсолютных величинах и по отношению к номинальным токовым нагрузкам (относительные токовые нагрузки), определенные из условия 75% – ного использования номинальной мощности установленных на непрерывном стане 250–3 главных приводных двигателей рабочих клетей, для случая прокатки на стане арматурных

профилей №10 и №12, с температурой исходных заготовок и скоростью прокатки в пределах указанных диапазонов.

Таблица 2 – Фактические и расчетные токовые нагрузки на приводные двигатели рабочих клетей непрерывного мелкосортного стана 250–3 комбината «Криворожсталь» для случая прокатки арматурных профилей №10 и №12 с продольным разделением в потоке стана

№ клетки	№ профиля	Ном. нагр., А	Факт. нагр., А	Расч. нагр., А	Откл. расч., %	Примечания
1	№10	130	139	136	-3	Расчетные значения получены при значениях размеров поперечного сечения раската согласно данным таблиц калибровки валков
	№12	250	135	138	+3	
2	№10	450	246	241	-5	
	№12	650	252	255	+3	
3	№10	600	483	478	-5	
	№12	700	531	536	+5	
4	№10	600	529	519	-10	
	№12	450	530	533	+3	
5	№10	350	535	529	-6	
	№12	400	528	529	+1	
6	№10	350	704	697	-7	
	№12	350	623	627	+4	
7	№10	500	593	588	-5	
	№12	130	632	636	+4	
16	№10	250	427	421	-6	Правая сторона стана
	№12	450	221	221	0	
17	№10	650	359	355	-4	
	№12	600	361	362	+1	
19	№10	700	408	400	-8	
	№12	600	410	409	-1	
21	№10	450	83	83	0	
	№12	350	71	70	-1	
22	№10	400	403	400	-3	
	№12	350	341	342	+1	
23	№10	350	537	533	-4	
	№12	500	601	603	+2	

Таблица 3 – Токковые нагрузки на приводной двигатель клетки №1 черновой группы непрерывного мелкосортного стана 250–3 при прокатке арматурного профиля №10 по технологии прокатки–разделения

v <sub>пр</sub> , м/с	Температура исходной заготовки T <sub>0</sub> , °C							
	1060	1080	1100	1120	1140	1160	1180	1200
Токковые нагрузки на приводной двигатель клетки, А								
9	130,27	124,04	118,10	112,44	107,06	101,93	97,05	92,39
10	146,51	139,52	132,86	126,52	120,48	114,72	109,24	104,01
11	162,95	155,20	147,81	140,77	134,07	127,68	121,60	115,82
12	179,58	171,06	132,94	155,19	147,82	140,80	134,10	127,73
13	196,38	187,08	178,22	169,77	161,73	154,06	146,75	139,79
Относительные токовые нагрузки на приводной двигатель клетки								
9	1,002	0,954	0,908	0,865	0,823	0,785	0,746	0,711
10	1,127	1,073	1,022	0,973	0,927	0,882	0,840	0,800
11	1,253	1,194	1,137	1,083	1,031	0,982	0,935	0,891
12	1,381	1,316	1,253	1,194	1,137	1,083	1,031	0,982
13	1,511	1,439	1,371	1,306	1,244	1,185	1,129	1,075

Таблица 4 – Токковые нагрузки на приводной двигатель клетки №1 черновой группы непрерывного мелкосортного стана 250–3 при прокатке арматурного профиля №12 по технологии прокатки–разделения

v <sub>пр</sub> , м/с	Температура исходной заготовки T <sub>0</sub> , °C							
	1060	1080	1100	1120	1140	1160	1180	1200
Токковые нагрузки на приводной двигатель клетки, А								
8	137,49	130,93	124,68	118,73	113,06	107,66	102,52	97,63
9	156,83	149,37	142,27	135,50	129,06	122,91	117,07	111,50
10	176,44	168,07	160,11	152,52	145,28	138,39	131,83	125,58
11	196,29	187,01	178,18	169,75	161,73	154,08	146,79	139,85
12	216,37	206,18	196,46	187,20	178,37	169,96	161,94	154,31
Относительные токовые нагрузки на приводной двигатель клетки								
8	1,062	1,012	0,962	0,914	0,870	0,831	0,793	0,754
9	1,211	1,154	1,093	1,044	0,992	0,951	0,901	0,862
10	1,364	1,293	1,233	1,172	1,121	1,064	1,013	0,972
11	1,510	1,441	1,371	1,311	1,242	1,193	1,131	1,081
12	1,662	1,593	1,511	1,443	1,374	1,312	1,252	1,194

Аналогичные расчеты получены для приводных двигателей остальных рабочих клетей стана.

Анализ выполненных расчетов показывает, что в исследованном диапазоне температур исходных заготовок и скоростей прокатки приводные двигатели остальных рабочих клетей имеют достаточный запас по токовой нагрузке. Исключение составляет приводной двигатель клетки №16, о чем будет сказано ниже.

По результатам выполненных расчетов были построены номограммы относительных токовых нагрузок на приводной двигатель каждой рабочей клетки непрерывного мелкосортного стана 250–3 при прокатке арматурных профилей №10 и №12 с продольным разделением раската в клетях чистовой группы стана.

На рис.2, в качестве примера, приведены номограммы относительных токовых нагрузок на приводной двигатель клетки №1.

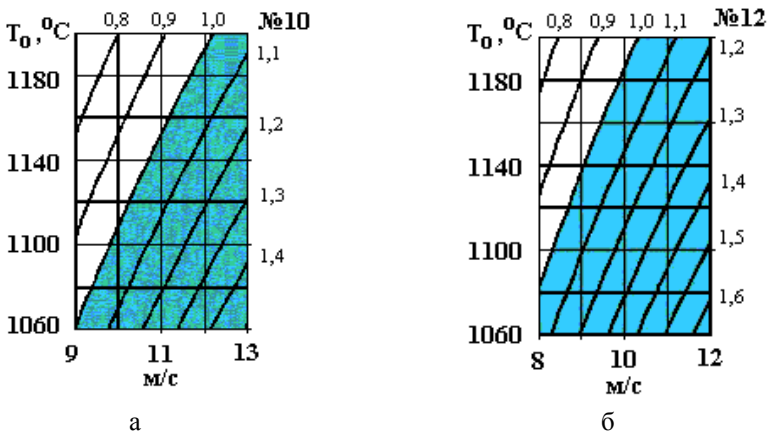


Рис. 2 – Номограмма относительных токовых нагрузок на приводной двигатель клетки №1 МС 250–3 при прокатке арматурного профиля №12 с продольным разделением раската в клетях чистовой группы (цифрами у линии обозначен уровень токовой нагрузки)

Обозначенные «1,0» характеристические кривые на номограммах соответствуют значениям скорости прокатки и температуры нагрева заготовок, при соблюдении которых токовые нагрузки на приводные двигатели рабочих клетей стана сохраняются на уровне их номинального значения. Эти кривые делят область возможных скоростей прокатки и температур исходных заготовок на две зоны:

- верхнюю (светлую), в которой значения скоростей прокатки и температур заготовок обеспечивают токовые нагрузки на приводной двигатель клетки №1 ниже номинальной (на 10% – кривая с отметкой 0,9 и т.д.);

- и нижнюю (затемненную), в которой значения скоростей прокатки и температур заготовок обеспечивают токовые нагрузки на приводной двигатель клетки №1 выше номинальной (на 10% – кривая с отметкой 1,1 и т.д).

Из рис.2 видно, что кривые, характеризующие изменение токовой нагрузки на приводной двигатель клетки №1, для арматурных профилей №10 и №12 по характеру зависимости от исследуемых параметров мало отличаются друг от друга. Вместе с тем, расположение характеристических кривых на номограмме для арматурного профиля №10 (см. рис.2а) отличается от расположения аналогичных кривых на номограмме для профиля №12 (см. рис.2б): на номограмме для профиля №10 характеристические кривые больше смещены в сторону больших значений скоростей прокатки, в связи с чем для этого профиля зона температур исходных заготовок и скоростей прокатки, при выполнении которых токовые нагрузки будут ниже их номинального значения (верхняя зона), больше по сравнению с аналогичной зоной при прокатке арматурного профиля №12.

Исключить отмеченную выше высокую загрузку привода первой клетки возможно несколькими путями.

Один из них – реконструкция линии привода этой клетки за счет установки более мощного двигателя и, возможно, усиления всех деталей и узлов линии привода. Это потребует определенных капитальных затрат.

Второй путь заключается в перераспределении деформации по клетям стана. Этот путь требует детальной проработки с учетом получения требуемых технологией прокатки–разделения размеров и формы сечения промежуточных раскатов в линии стана, а также с учетом установившейся на комбинате унификации калибровок валков для прокатки всех профилей фактического сортамента стана.

Также на основе полученных данных о токовых нагрузках на приводные двигатели рабочих клетей стана 250–3 при прокатке арматурных профилей №10 и №12 с продольным разделением раската в чистовых клетях, для каждого приводного двигателя рабочих клетей стана были получены регрессионные уравнения, позволяющие определить величину относительной токовой нагрузки при заданных температурах исходных заготовок и скоростях прокатки. В общем случае эти уравнения имеют вид:

$$I_{отн} = I_0 + k_V \cdot V + k_t \cdot T_0; \quad (1)$$

где:  $I_{отн}$  – относительная токовая нагрузка на приводной двигатель рабочей клетки;

$V$  – скорость раската на выходе из последней клетки стана, м/с;

$T_0$  – температура исходных заготовок, °С;

$I_0, k_V, k_t$  – эмпирические коэффициенты.

Значения эмпирических коэффициентов в уравнении (1) для приводных двигателей различных клетей определяли для случаев прокатки арматурных



профилей с продольным разделением раската в клетях чистовой группы в указанных выше диапазонах температур исходных заготовок и скоростей прокатки.

В табл.5 приведены значения эмпирических коэффициентов для случая прокатки выше указанных профилей.

Таблица 5 – Значения эмпирических коэффициентов в уравнении (1) для арматурных профилей №10 и №12 при прокатке с продольным разделением раската в клетях чистовой группы в условиях стана 250–3

Клети	Профиль	$I_0$	$k_v$	$k_t$
1Г	№10	2,8000	0,10831	-0,00259
	№12	3,0176	0,12936	-0,00279
2Г	№10	1,1168	0,04381	-0,00101
	№12	1,2815	0,05556	-0,00117
3Г	№10	1,7337	0,06407	-0,00154
	№12	2,1416	0,08677	-0,00193
4Г	№10	1,4109	0,05488	-0,00124
	№12	1,6078	0,06878	-0,00143
5Г	№10	1,3219	0,05392	-0,00114
	№12	1,5418	0,06656	-0,00136
6Г	№10	1,3149	0,05813	-0,00112
	№12	1,3998	0,06444	-0,00122
7Г	№10	1,0525	0,04790	-0,00088
	№12	1,3631	0,06392	-0,00118
16В	№10	1,3573	0,06689	-0,00111
	№12	0,8679	0,04414	-0,00174
17Г	№10	0,9752	0,05125	-0,00079
	№12	1,2476	0,06495	-0,00105
19Г	№10	0,7252	0,04295	-0,00058
	№12	0,9185	0,05556	-0,00077
21Г	№10	0,1321	0,00904	-0,00011
	№12	0,1518	0,00965	-0,00013
22В	№10	0,9761	0,06046	-0,00075
	№12	1,0809	0,06558	-0,00089
23Г	№10	0,8817	0,05489	-0,00067
	№12	1,4016	0,07721	-0,00114

Анализ данных табл.5 показывает, что температура исходных заготовок и скорость прокатки оказывает наибольшее влияние на токовые нагрузки на

приводные двигатели клетей, при этом изменение скорости при прокатке арматурного профиля №12 влияет больше, чем при прокатке профиля №10.

Из материалов исследований при прокатке арматурного профиля №10 при понижении температуры исходной заготовки до 1100<sup>0</sup>С и ниже и повышении скорости прокатки свыше 12 м/с возможны ограничения по токовой нагрузке на привод клетки №16. Это обстоятельство можно проиллюстрировать совмещенной номограммой для относительных токовых нагрузок на приводные двигатели клетки №1 и клетки №16 (см. рис.3). На нем для приводных двигателей указанных клетей показаны линии, соответствующие их номинальной токовой нагрузке.

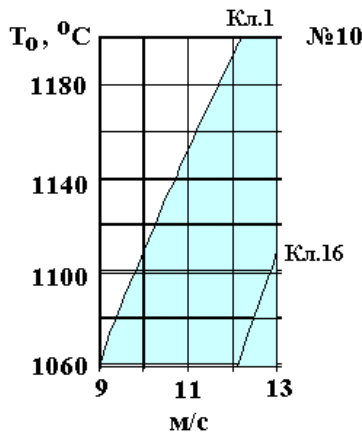


Рис. 3 – Совмещенная номограмма для относительных токовых нагрузок на привода первой и шестнадцатой клетки при прокатке арматурного профиля №10 (линии, соответствующие номинальной токовой нагрузке каждого приводного двигателя, отмечены соответствующей надписью)

Возможная перегрузка приводного двигателя клетки №16 при прокатке арматурного профиля №10 связана со значительными деформациями металла в этой клетке при использовании технологии прокатки–разделения в чистовых клетях стана. Согласно действующей калибровке валков коэффициент вытяжки в клетке №16 составляет 1,51.

В случае выполнения реконструкции линии привода клетки №1 аналогичные ограничения по токовым нагрузкам в процессе прокатки арматурного профиля №12 возникают на приводные двигатели третьей клетки черновой группы и последней чистовой клетки по правой стороне стана.

Это обусловлено существенным влиянием температуры исходных заготовок и скорости прокатки на токовые нагрузки на приводные двигатели указанных выше клетей при принятых на комбинате режимах деформации металла в этих клетях.

## ВЫВОДЫ

1. Материалы выполненных аналитических исследований позволили для условий стана 250–3 выявить области температур исходных заготовок и скоростей прокатки, в которых перегрузка приводных двигателей рабочих клетей стана не наблюдается.

2. Температура исходных заготовок и скорость прокатки арматурных профилей оказывает наибольшее влияние на токовые нагрузки приводного двигателя первой клетки черновой группы, а изменение скорости влияет на токовые нагрузки всех приводных двигателей при прокатке арматурного профиля №12 больше чем при прокатке арматурного профиля №10. При этом максимальные скорости прокатки указанных профилей ограничены недостаточной мощностью приводного двигателя первой клетки черновой группы стана.

3. Для расширения возможностей прокатки на стане 250–3 арматурных профилей №10 и №12 с пониженной температурой исходных заготовок и с увеличенными скоростями прокатки необходимо исключить перегрузки приводного двигателя клетки №1 либо за счет реконструкции линии ее привода, либо за счет перераспределения деформации металла в рабочих клетях стана.

4. В случае исключения перегрузок приводного двигателя клетки №1 по мере понижения температуры исходных заготовок и увеличения скорости прокатки аналогичные ограничения возникнут на приводной двигатель клетки №16 при прокатке арматурного профиля №10 и на приводные двигатели клетей №3 и №23 при прокатке арматурного профиля №12, что обусловлено существенным влиянием температуры исходных заготовок и скорости прокатки на токовые нагрузки приводных двигателей этих клетей при принятых на комбинате режимах деформации металла в них.

1. *Прокатные станы*. Справочник. В 3-х томах. Т. 2 Средне-, мелкосортные и специальные станы / В.Г.Антипин, С.В.Тимофеев, Д.К.Нестеров и др. // 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1992. – 496 с.
2. *Интенсификация* производства мелкосортного проката на непрерывных станах / Л.Н. Левченко, Н.А. Гуров, Л.Ф. Машкин. – К.: Техніка, 1980. – 272с.
3. *Математическая модель* процесса непрерывной прокатки арматурного профиля / А.В. Ноговицын, С.М. Жучков, Л.В. Кулаков, К.Г. Макаров // *Металлургическая и горнорудная промышленность (Теоретичні проблеми прокатного виробництва. Праці V Міжнародної науково-технічної конференції. 16–18 травня 2000р):* – №8–9. – 2000. – С.77–80.

*Статья рекомендована к печати д.т.н. В.В.Парусовым*