

УДК 62-83:004

В.В. Галкин, нач. научно-технического центра, (3519) 29-84-34
askaran@mail.ru (Россия, Магнитогорск, ОАО “ММК”),

А.С. Карандаев, д-р техн. наук, проф., декан, зав. кафедрой,
(3519) 29-84-34, askaran@mail.ru (Россия, Магнитогорск, МГТУ),

В.В. Головин, канд. техн. наук, заслуженный энергетик РФ,
нач. центральной электротехнической лаборатории,

(3519) 29-84-34, cetl_golovin@mmk.ru

(Россия, Магнитогорск, ОАО “ММК”),

А.А. Радионов, д-р техн. наук, зав. кафедрой, (3519) 29-84-34,

RadionovAA@gambler.ru (Россия, Магнитогорск, МГТУ),

В.Р. Храмшин, канд. техн. наук, доц., зам. декана, (3519) 29-84-34,

hvr_mgn@mail.ru (Россия, Магнитогорск, МГТУ),

В.Р. Гасияров, асп., (3519) 29-84-34,

askaran@mail.ru (Россия, Магнитогорск, МГТУ),

О.А. Залогин, асп., (3519) 29-84-34,

askaran@mail.ru (Россия, Магнитогорск, МГТУ)

АЛГОРИТМ РАСЧЁТА СКОРОСТНЫХ И НАГРУЗОЧНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ КЛЕТЕЙ ПРОКАТНОГО СТАНА ПРИ ПРОКАТКЕ ТОЛСТЫХ ПОЛОС

Разработан алгоритм расчета энергосиловых параметров электроприводов клеток широкополосного стана 2000 и толстолистового стана 5000 горячей прокатки. В основу алгоритма положены полученные ранее зависимости для определения момента нагрузки главного электропривода клетки, учитывающие особенности геометрии очага деформации при прокатке трубной заготовки, а также зависимости, позволяющие определить эквивалентный ток за цикл прокатки по технологическим параметрам без промежуточных расчетов нагрузочной диаграммы.

Ключевые слова: алгоритм расчета, эквивалентный ток, статический момент.

Ввод в эксплуатацию на промплощадке ОАО “Магнитогорский металлургический комбинат” нового толстолистового стана 5000 и освоение нового сортамента прокатки трубной заготовки на непрерывном широкополосном стане 2000 определяют необходимость теоретического анализа энергосиловых параметров процесса горячей прокатки толстых полос. Скоростные и нагрузочные диаграммы электроприводов клеток прокатного стана являются взаимозависимыми ограничивающими факторами, накладываемыми на технологический процесс в целом. Поэтому их анализ необходим для формирования новых и уточнения имеющихся технологических программ.

Прокатка толстой полосы на непрерывных станах горячей прокатки и на реверсивных станах имеет отличия. На непрерывных станах прокатка ведется при переменной скорости. Передний конец захватывается пооче-

редно всеми клетями и моталкой на пониженной заправочной скорости. Далее все клетки, рольганг и моталка одновременно разгоняются до максимальной рабочей скорости. Торможение клеток осуществляется индивидуально после выхода заднего конца полосы из конкретной клетки.

На реверсивном стане 5000 обжатие осуществляется одной горизонтальной клетью кварто и расположенной за ней эджерной клетью с двумя вертикальными валками. Группа клеток работает в реверсивном режиме – прокатка сляба осуществляется в несколько проходов. Перед группой клеток и после нее установлены поворотные столы с боковыми линейками, обеспечивающие в случае необходимости разворот сляба на 90 град. Ускорение и замедление электропривода реверсивного стана осуществляется с металлом в валках. Ускорение – сразу после захвата металла валками, а момент начала замедления определяется необходимой скоростью выброса конца слитка на отводящий рольганг.

Указанные особенности определяют алгоритмы расчета скоростных и нагрузочных режимов работы электроприводов клеток, в том числе необходимость учета их загрузки от динамических токов и степени изменения магнитного потока возбуждения двигателя при ускорениях и замедлениях (в случае реализации системы тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока).

На расчет статического момента – момента прокатки определяющее значение оказывает отношение высоты очага деформации к радиусу рабочих валков. Для невысоких очагов деформации, имеющих место при традиционной для непрерывных широкополосных станов прокатке тонких полос, в литературе имеются соответствующие выражения, дающие при расчетах достаточную точность. При прокатке толстых полос применение известных методик приводит к существенным погрешностям. Авторам доклада разработаны уточненные выражения для расчета статического момента при прокатке толстых листов [1], которые можно представить в виде

$$M_{\text{пр}} = 2 \cdot P \cdot \psi \cdot \sqrt{R_g \cdot (h_0 - h_1) - \frac{(h_0 - h)^2}{4}}, \quad (1)$$

где ψ – коэффициент положения равнодействующей давления на валки; R_g – радиус рабочего валка; h_0, h_1 – толщина листа (штрипса) до и после прокатки; P – давление металла на валки, определяемое по зависимостям

$$P = \sqrt{P_x^{*2} + P_y^{*2}},$$

$$P_x^* = \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{g \cdot l_1} \cdot (l_1 - l_x) \cdot \frac{j}{\lambda} + \frac{G}{g \cdot l_1} \cdot l_x \cdot j; \quad P_y^* = \frac{b_0 + b_1}{2} \int_0^\alpha P_\phi;$$

$$P_\phi = \mp t_x \cdot \text{tg} \phi \mp \frac{8 \cdot R_g^2}{(h + 2 \cdot R_g) \sqrt{h \cdot (h + 4 \cdot R_g)}} \cdot \arctg \left(\frac{h + 4 \cdot R_g}{\sqrt{h \cdot (h + 4 \cdot R_g)}} \cdot \text{tg} \left(\frac{\phi}{2} \right) \right) \mp$$

$$\mp \frac{2 \cdot R_{\phi}}{h + 2 \cdot R_{\phi}} \cdot \ln \left| \frac{\operatorname{tg}(\varphi/2) + 1}{\operatorname{tg}(\varphi/2) - 1} \right| + k \cdot \ln \left| \frac{h}{2} + R_{\phi} \cdot (1 - \cos \varphi) \right| + k \cdot \left[1 - \ln \frac{h}{2} \right],$$

x, y – координаты расчетного сечения очага деформации на поверхности вала; φ – угол между касательной к дуге вала в точке расчета и горизонтальной плоскостью; t_x – удельная сила трения между прокатываемым металлом и поверхностью валков; b_0, b_1 – ширина листа (штрипса) до и после прокатки; l – длина пояса деформации; h_y – высота прокатываемой полосы в нейтральном сечении; G – вес полосы; l_1 – длина всей прокатанной полосы после ее выхода из валков; χ – вытяжка, полученная при пропуске полосы; l_x – длина участка полосы вышедшего из валков в данный момент; j – ускорение полосы при выходе из валков; g – ускорение свободного падения.

Авторами предлагаются аналитические зависимости для расчета эквивалентного тока электродвигателя клетки толстолистового стана [2]. Предложенная методика представляет собой развитие работ проф. Тищенко Н.А. и Оганьяна Я.П. и заключается в замене при расчете эквивалентного тока суммы интегралов

$$i_{\text{экв}}^2 \cdot \tau_{\text{ц}} = \int_0^{\tau_{\text{ц}}} (i(t))^2 dt = \int_0^{\tau_1} (i(t))^2 dt + \dots + \int_0^{\tau_k} (i(t))^2 dt + \dots + \int_0^{\tau_n} (i(t))^2 dt \quad (2)$$

на сумму выражений

$$i_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{(A_1 \cdot i_{C1}^2 + B_1 \cdot i_{C1} + C_1) + \dots + (A_n \cdot i_{Cn}^2 + B_n \cdot i_{Cn} + C_n)}{\tau_{\text{ц}}}}, \quad (3)$$

где i_{C1}, i_{Cn} – статический ток двигателя (в о.е.) в i -м и n -м проходах, обусловленный моментом прокатки, а коэффициенты A_1, B_1, C_1 и A_k, B_k, C_k , определяются технологическими параметрами: длиной прокатываемого участка, значениями установившихся скоростей, ускорений и замедлений по проходам.

В результате расчет эквивалентного тока значительно упрощается и напрямую связывается с технологическими параметрами, что позволяет при изменении программы прокатки вычислять его значение без промежуточных расчетов нагрузочной диаграммы.

В динамических режимах разгона и торможения полный ток двигателей представляется в виде суммы двух составляющих – статической и динамической: $i = i_C + i_{\text{дин}}$. Так, для k -го прохода в режиме разгона

$$i_k = i_{Ck} + i_{Pk}, \quad (4)$$

в режиме торможения

$$i_k = i_{Ck} - i_{Tk}, \quad (5)$$

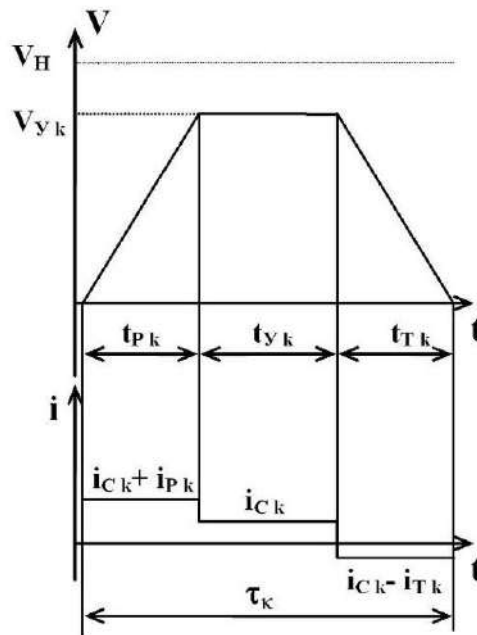
где $i_{Ck} = I_{Ck}/I_H$ – статический ток якоря (о.е.), $i_{Pk} = I_{Pk}/I_H = a_k/a_H$, $i_{Tk} = I_{Tk}/I_H = b_k/a_H$ – динамические токи в режимах разгона и торможения; a_k, b_k – ускорение и замедление в k -ом проходе; a_H, b_H – ускорение и замедление, соответствующие номинальному току двигателя

$$a_H = \frac{M_H \cdot R_B}{J_{ПП} \cdot j_P}, \quad (6)$$

M_H – номинальный момент двигателя; R_B – радиус рабочих валков клетки; $J_{ПП}$ – приведенный к валу двигателя момент инерции механизма; j_P – передаточное число редуктора.

Зависимости для расчета эквивалентного тока двигателя постоянного тока, работающего без ослабления потока возбуждения, и двигателей переменного тока идентичны и выполняются по скоростным и нагрузочным диаграммам, представленным на рисунке. Длительность каждого прохода на рис. 1 разбита на три участка:

1. Разгон до установившейся скорости в течение времени t_{Pk} ;
2. Прокатка на установившейся скорости в течение времени t_{Yk} ;
3. Торможение от установившейся скорости прокатки до нулевой в течение времени t_{Tk} .



Скоростные и нагрузочные диаграммы главного электропривода в k -м проходе при постоянном потоке

В этом случае выражение (3) принимает вид

$$\int_0^{\tau_k} (i(t))^2 dt = A_k i_{Ck}^2 + B_k i_{Ck} + C_k, \quad (7)$$

в котором коэффициенты A_k, B_k, C_k определяются следующими соотношениями

$$A_k = \tau_k = \frac{l_0}{V_0} \frac{c_{\tau k}}{n}, \quad B_k = 0, \quad C_k = (a_k + b_k) \cdot \frac{V_k}{a_n^2}, \quad (8)$$

где l_0 , – начальная длина сляба перед первым проходом; V_0, V_k – установившиеся скорости перед первым и в k -м проходе соответственно; n – число проходов при прокатке; $c_{\tau k} = n \cdot \tau_k / \tau_y$ – коэффициент длительности прохода.

Представленный подход был применен для расчета эквивалентного тока двигателей постоянного тока приводов клетей стана 2000 и электромагнитного момента синхронных двигателей клетки стана 5000. В табл. 1, 2 приведены результаты расчета и экспериментальных исследований нагрузочных режимов электроприводов клетей указанных станов. Для стана 2000 показаны режимы прокатки трубной заготовки из стали марки 22ГЮ, 09Г2Д, 09Г2С, 09ГСФ и 13Г1С-У, а для на стана 5000 – режимы прокатки слябов из следующих марок сталей: 10ХСНД, К56, К60, К65 и СтЗсп. Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований позволяет сделать вывод об адекватности теоретических расчетов – ошибка в расчетах не превышает 9...10 %.

Таблица 1

Результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований эквивалентного тока двигателей клетей стана 2000 горячей прокатки ОАО “ММК” при прокатке трубных марок стали

Вид работы	Эквивалентный ток двигателей по клетям, А								
	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10	№11	№12
Марка стали 22ГЮ, размер сляба 5900x1250x250									
Эксперимент	10624	9643	8564	7547	6421	8572	6058	6049	5552
Расчет	10321	8974	8573	7904	6989	8162	6511	6060	5023
Марка стали 09Г2Д, размер сляба 5550x1250x250									
Эксперимент	11110	11231	12591	7808	6019	6750	5376	5691	7095
Расчет	11056	11929	13434	8450	5588	6116	5768	5607	7015
Марка стали 09Г2С, размер сляба 9700x1650x250									
Рксперимент	17418	15777	16464	7864	7865	9695	7623	8009	7801
Расчет	17604	16770	16922	7547	7387	10458	7816	8342	8031
Марка стали 09ГСФ, размер сляба 9300x1730x250									
Эксперимент	16676	14420	15617	13028	11066	13744	11015	10570	8610
Расчет	15096	13135	17144	12042	10488	12383	11838	9619	8987
Марка стали 13Г1С-У, размер сляба 6000x1730x250									
Эксперимент	18356	16806	14947	11736	9685	12351	10490	11409	5736
Расчет	17071	17634	15987	12519	9700	12084	10748	11352	5383

Таблица 2

Результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований энергосиловых параметров процесса горячей прокатки на стане 5000 ОАО “ММК”

Марка стали	Размеры сляба, мм			Обжатие, %	Момент прокатки, кН	
	толщина	ширина	длина		эксперимент	расчет
10ХСНД	300	3040	2400	6,08	2984	3284
К56	300	3120	2050	11,28	4195	4700
К60	300	2600	2400	9,89	4124	4522
К65	300	2660	2400	11,89	5761	6242
СтЗсп	300	2900	2700	9,67	3084	3318

В целом, опыт расчетов эквивалентного тока (электромагнитного момента) показал, что предложенный алгоритм значительно упрощает расчеты и позволяет получать значения эквивалентного тока (электромагнитного момента) двигателя клетки без промежуточных расчетов нагрузочной диаграммы.

Список литературы

1. Гасияров В.Р., Пузанкова Е.А., Радионов А.А. Методика расчета момента прокатки на толстолистовом стане 5000 // Электротехнические системы и комплексы: межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ, 2009. Вып. 16. С. 100-109.

2. Карандаев А.С., Одинцов К.Э., Титов А.А. Аналитические зависимости для расчета эквивалентного тока электродвигателя клетки толстолистового стана // Изв. вузов. Электромеханика. 2009. № 1. С. 84-87.

*V. Galkin, A. Karandaev, V. Golovin, A. Rodionov, V. Xramshin, V. Gasiyarov, O. Zalogin
Algorithm of calculation of high-speed and loading modes of electric drives of cages of the rolling mill at the rolling of thick strips*

The algorithm of account of power parameters of electric drives of stands of the broad-strip mill 2000 and the plate mill 5000 hot rollings is developed. In algorithm the ground the cages considering features of geometry of the nucleation site for of deformation at rolling of a round billet, and also the dependence are assumed gained before dependence for definition of the moment of load of the main electric drive, allowing to define an equivalent current for a rolling cycle on technological parameters without intermediate accounts of the load chart.

Keywords: algorithm of the calculation, equivalent current, the static moment.

Получено 06.07.10