

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(национальный исследовательский университет)»

Ф. С. Дубинский, А. В. Выдрин, В. И. Крайнов, А. В. Шаламов

ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ НА СТАНАХ СОРТОВОГО ПЕРЕДЕЛА

Учебное пособие для самостоятельной работы
обучающихся по программам СПО

Челябинск

РАСЧЁТ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ НА СТАНАХ СОРТОВОГО ПЕРЕДЕЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЁТНЫХ МЕТОДИК

Исходные данные для расчета ЭСП и выходные переменные результатов расчета, их размерность и обозначения сведены в табл. 2.1.

Обозначения и смысл промежуточных переменных, используемых только в вычислительном процессе, приведены по ходу изложения методики расчета.

Таблица 2.1

Исходные данные и выходные переменные

№ п\п	Название переменной	Размерность	Обозначение
Исходные данные			
1	Коэффициенты для формулы расчёта сопротивления деформации	—	$K_b, K_0, K_U, K_\varepsilon, K_t$
2	Число проходов	—	n
3	Высота полосы на входе в очаг деформации	мм	h_0
4	Ширина полосы на входе в очаг деформации	мм	b_0
5	Высота полосы на выходе в очаг деформации	мм	h_1
6	Ширина полосы на выходе в очаг деформации	мм	b_1
7	Температура прокатки	°С	t
8	Диаметр вала по бочке	мм	D_B
9	Зазор между валками по буртам	мм	s
10	Передаточное число редуктора	—	I_p
11	Коэффициент трения в подшипниках	—	μ
12	Ширина калибра	мм	b_k
13	Частота вращения валков	об/мин	n_B
14	Приведённый маховый момент элементов привода	кН·м ²	GD^2
15	Ускорение (замедление) валков	об/мин·с	a

№ п\п	Название переменной	Размерность	Обозначение
Выходные параметры			
16	Номер прохода	–	i
17	Абсолютное обжатие металла в очаге деформации	мм	Δh
18	Степень деформации	–	ε
19	Средняя скорость деформации	c^{-1}	U_c
20	Коэффициент напряжённого состояния	–	n_σ
21	Горизонтальная проекция площади контакта металла с валками	$мм^2$	F_T
22	Среднее удельное давление	МПа	p_c
23	Усилие прокатки	кН	P
24	Коэффициент плеча приложения равнодействующей	–	ψ
25	Момент прокатки	кН·м	M_B
26	Момент на валу электродвигателя	кН·м	$M_{Дв}$
27	Мощность на валу электродвигателя	кВт	$N_{Дв}$

2.1. Методика расчета

Среднее сопротивление деформации σ_{sc} при горячей прокатке в каждом проходе может быть определено по одной из двух методик, приведённых в настоящем пособии.

По методике НИИМ [2]

$$\sigma_{sc} = K_b \cdot K_0 \cdot U_c^{K_u} \cdot (10 \cdot \varepsilon_c)^{K_\varepsilon} \cdot \left(\frac{t}{1000} \right)^{-K_t}, \quad (2.1)$$

где K_0 – базовое сопротивление деформации, МПа, определяемое при $U_c = 1 \text{ с}^{-1}$, $\varepsilon_c = 0,1$, $t = 1000^\circ \text{ C}$;

K_u, K_ε, K_t соответственно коэффициенты учета влияния скорости, степени и температуры на сопротивление деформации. Значения коэффициентов $K_b, K_0, K_u, K_\varepsilon, K_t$ для рассчитываемой марки стали по методике НИИМ сведены в табл. 2.2;

U_c – средняя скорость деформации вычисляется по формуле

$$U_c = 0,105 \cdot n_b \cdot \sqrt{\varepsilon \cdot \frac{R_v}{h_0}}, \quad (2.2)$$

где ε – степень деформации;

R_v – радиус валка по вершине калибра, мм.

Значение ε для различных схем прокатки определяется по соответствующим формулам [3], приведенным в табл. 2.3.

Таблица 2.2

Значения коэффициентов к выражению (2.1)

Марка стали	K_b , МПа	K_u	K_ε	K_t
Ст 3кп	67,26	0,135	0,164	2,8
Ст 3сп	85,44	0,124	0,167	2,54
Ст 5сп	80,696	0,144	0,208	3,35
15Г	85,042	0,126	0,188	2,74
23Г2А	82,732	0,123	0,229	3,23
35ГС	85,8	0,136	0,187	2,79
А35Г2	77,08	0,151	0,122	3,66
30ХГСА	87,906	0,134	0,25	3,34
15ХСНД	80,08	0,122	0,226	2,9
20Х12Ц	95,034	0,125	0,213	3,65
30ХГСНА	100,896	0,116	0,14	3,42
15ХГНТА	98,792	0,108	0,257	3,25
45	86	0,143	0,173	3,05
40Х	84,194	0,13	0,17	3,62
40ХН	81,345	0,134	0,234	3,47
40ХГНМ	87,87	0,173	0,144	2,64
38ХМЮА	99,568	0,114	0,273	3,72
40ХНМА	87,906	0,125	0,175	3,4
ТВМ (20Х1Н1ГС)	82,95	0,085	0,253	3,8
65Г	71,497	0,166	0,222	3,02
У7А	72,996	0,159	0,197	2,87
У10А	75,445	0,163	0,194	3,57
У12А	72,933	0,173	0,18	3,26
60С2	94,863	0,153	0,197	3,46
60С2ХА	93,654	0,139	0,115	3,84

Окончание табл. 2.2

Марка стали	K _в , МПа	K _U	K _ε	K _t
ЭЗА (ООСЗА)	44,415	0,198	0,074	3,85
ШХ15	78,78	0,137	0,22	4,07
12Х2Н4А	92,412	0,1	0,226	3,2
18Х2НЧВА	101,955	0,117	0,165	2,73
ЭП182 (20Х1М1Ф1Т)	141,831	0,12	0,108	4,63
В2Ф	115,9	0,135	0,119	3,69
ЭП257 (35Х5М1СФ)	138,262	0,127	0,103	3,99
30Х5МВПФСА	152,152	0,124	0,15	4,61
ЭИ962 (1Х11Н2В2МФ)	151,996	0,101	0,169	3,7
3Х2В8Ф	142,305	0,113	0,113	3,54
Р18 (70Х4В17Ф1М)	180,96	0,136	0,1	3,01
08Х13	134,9	0,102	0,125	3,5
20Х13	121,5	0,132	0,21	3,26
Х12М (160Х12МФ)	179,088	0,127	0,067	3,12
ВНС14 (1Х11Н1МБ)	120,6	0,124	0,208	4,88
14Х17Н2	107,384	0,13	0,063	4,72
ЭП56 (1Х16Н4Б)	148,335	0,106	0,139	3,95
ВНС16 (1Х14Н4М1В1ФБ)	131,703	0,107	0,15	4,93
ЭИ636 (ОХ18МФТ)	51,37	0,172	0,067	3,64
ЭИ439 (1Х25Т)	58,596	0,124	0,052	3,7
ЭИ811 (1Х22Н5Т)	132,3	0,077	0,067	3,23
ЭП302 (1Х15Н9С3Б1)	155,976	0,104	0,07	3
12Х18Н10Т	179,85	0,112	0,088	4,35
ЭИ654	172,98	0,155	0,064	4,48
ЭИ432 (1Х17Н13М3ТГ)	181,05	0,122	0,046	3,75
ЭИ448 (1Х17Н13М2ТГ)	192,978	0,072	0,173	2,31
ЭИ319 (2Х23Н14Г)	166,944	0,093	0,127	3,18
ОООХ21Н16АГ8	183,609	0,103	0,128	3,27
Х23Н18	175,536	0,093	0,105	3,18
ОООХ21Н21М4Б	206,622	0,096	0,151	3,21
ЭИ723 (25Х2М1Ф)	131,625	0,108	0,107	3,94
ЭИ711 (1Х14Н3Г14Т)	148,19	0,099	0,142	3,12
СП33 (33Х3Н1В1МФС)	113,87	0,114	0,2	2,95
ЭИ702 (ООХ12Н36Т3Ю1Г)	201,96	0,166	0,134	5,38
ЭИ943 (ООХ24Н28М3Д3Т)	223,074	0,109	0,089	3,46
ЭИ437Б (ОХ20Н75Т3Ю)	250,455	0,158	0,037	4,32
ЭИ602 (ОХ21Н7ТМ2Б1ЮТ)	305,802	0,116	0,153	3,22
ЭИ617 (1Х15Н7ОМ3В5Т2Ю2Ф)	287,646	0,108	0,118	3,87
ЭП487 (ОХ18Н6ОМ1ОВ5Т3Ю1)	403,559	0,132	0,06	6,47
ЭИ109 (1Х9Н58М7В7ЮБК12)	388,31	0,124	0,055	6,32
ЭИ220 (1Х10Н56М6В6Ю4К15Т2Ф)	460,122	0,086	0,026	8,06
СВИНЕЦ	20,139	0,034	0,37	0

Формулы для определения степени деформации
по различным схемам прокатки

№ п/п	Схема прокатки	Формула
1	Квадрат – плоский овал	$\varepsilon = \left(1 - \frac{h_1}{h_0}\right) \cdot \left\{1 + \left[0,031 \cdot \left(\frac{b_0}{b_B} - 0,3\right)^2 - 0,01\right] \cdot \left(\frac{h_0}{h_1}\right)^2 - 0,027 \cdot \left(\frac{b_0}{b_B} - 0,5\right)^2\right\}$
2	Квадрат – шестигранник	$\varepsilon = 1 - \frac{h_1}{h_0} + 0,5 \cdot \left(1 - \frac{b_B}{b_0}\right)^2$
3	Квадрат – овал	$\varepsilon = 1 - \frac{h_1}{h_0} \left(1,16 - 0,2 \cdot \frac{b_1}{b_k}\right)$
4	Квадрат – ромб Ромб – квадрат Овал – овал Овал – круг Круг – овал Ребровой овал – овал Овал – ребровой овал Круг – гладкая бочка	$\varepsilon = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{h_1}{h_0}\right)$
5	Прямоугольник – ящичный калибр Шестиугольник – квадрат Овал – квадрат Плоский овал – круг Прямоугольник – гладкая бочка Фасонные про- фили*	$\varepsilon = \left(1 - \frac{h_1}{h_0}\right)$

* Размеры фасонной полосы заменяются на размеры приведённой или соответственной полосы.

ε_c – средняя степень деформации, $\varepsilon_c = \frac{2}{3} \cdot \varepsilon$.

По методике ЧГТУ [4]:

$$\sigma_{sc} = K_0 \cdot U_c^{K_u} \cdot \varepsilon_1^{K_\varepsilon} \cdot e^{K_t \cdot t}, \quad (2.3)$$

где ε_1 – конечная логарифмическая степень деформации,

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{1}{1-\varepsilon},$$

Значения коэффициентов K_0 , K_u , K_ε , K_t для различных марок сталей при расчёте σ_{sc} по методике ЧГТУ сведены в табл. 2.4.

Среднее удельное давление определяем по выражению

$$p_c = \beta \cdot n_\sigma \cdot \sigma_{sc}, \quad (2.4)$$

где β – коэффициент Лодэ, для узких полос $\beta = 1$, для широких полос $\beta = 1,155$;

n_σ – коэффициент напряженного состояния определяется по методике Бровмана М. Я. [5], методике УПИ [6] или методике ЮУрГУ.

По методике Бровмана М. Я. [5]:

$$n_\sigma = \begin{cases} 1 & \text{при } \frac{l}{h_c} \leq 1; \\ 0,5 \cdot \left(\frac{l}{h_c} + \frac{h_c}{1} \right) & \text{при } 1 < \frac{l}{h_c} \leq 2; \\ (0,75 + 0,25 \cdot \frac{l}{h_c}) & \text{при } 2 < \frac{l}{h_c} \leq 4; \\ (1 + 0,25 \cdot \frac{l}{h_c}) & \text{при } \frac{l}{h_c} > 4, \end{cases} \quad (2.5)$$

где l – длина очага деформации, мм, $l = \sqrt{(h_0 - h_1) \cdot R_B}$;

h_c – средняя высота в очаге деформации, мм,

Таблица 2.4

Значения коэффициентов для формулы 2.3

Материал	Марка	Коэффициенты				Диапазон изменения параметров деформирования		
		K_0 , МПа	K_u	K_ϵ	K_t	U_c , с ⁻¹	$\epsilon_1 = \ln \frac{h_0}{h_1}$	t , °C
Стали и сплавы	45	1475	0,1990	0,0865	0,00275	1...100	0,1...0,7	900...1200
	10ГН	1410	0,0625	0,0803	0,00236	2...10	0,1...0,3	900...1100
	11ЮА	1454	0,1000	0,2170	0,00241	2...10	0,1...0,3	900...1100
	18ЮА	1763	0,1533	0,0924	0,00281	2...10	0,1...0,3	900...1100
	08Г2	2451	0,0066	0,1560	0,00283	1...100	0,1...0,3	800...1200
	08Г2ФЮ	4004	0,0460	0,1640	0,00339	1...100	0,1...0,7	800...1200
	08Г2МБФ	2695	0,1520	0,1740	0,00312	1...100	0,1...0,7	800...1200
	09Г2ФБ	3877	0,1280	0,1240	0,00354	1...100	0,1...0,7	800...1200
	14Г2АФ	1972	0,1100	0,2260	0,00269	1...100	0,1...0,7	800...1200
	14Г2МФБ	2170	0,1090	0,1860	0,00281	1...100	0,1...0,7	800...1200
	14Г2ФБ	2879	0,0490	0,1080	0,00305	1...100	0,1...0,7	800...1200
	17Г1СУ	2274	0,0935	0,1480	0,00288	1...100	0,1...0,7	800...1200
	30ХГСА	3884	0,1544	0,3730	0,00334	1...100	0,1...0,7	800...1200
	30ХГН2А	2789	0,1249	0,1502	0,00313	1...50	0,1...0,6	800...1200
	40ХГНМА	4546	0,1607	0,2124	0,00373	1...100	0,1...0,7	800...1200
	3Х2В8Ф	2733	0,1480	0,1993	0,00244	1...100	0,1...0,7	800...1200
	X12МВ	1841	0,2165	0,1919	0,00239	1...100	0,1...0,7	800...1200
	P6M5	1336	0,1990	0,2484	0,00173	1...100	0,1...0,8	900...1200
	14X17H2	10274	0,2100	0,2013	0,00439	5...25	0,2...0,6	900...1200
	08X18T1	1730	0,1697	0,1415	0,00341	2...15	0,1...0,3	850...1100
85X15MФСНТ	5263	0,1286	0,0827	0,00334	5...25	0,2...0,6	900...1200	
У20Х6Е2Д	6695	0,0538	0,0080	0,00347	5...15	0,2...0,6	900...1100	
12X18H10T	1892	0,0974	0,2637	0,00229	1...100	0,1...0,7	800...1200	
06X19H9T	2944	0,1958	0,2813	0,00272	1...100	0,1...0,7	800...1200	
4X18H25C2	5526	0,0372	0,1532	0,00272	1...100	0,1...0,7	800...1200	

	H42	1887	0,0682	0,2028	0,00193	1...100	0,1...0,7	800...1200
	X25H20C2	1897	0,1450	-0,1160	0,00434	1...100	0,1...0,7	800...1200
	47HД	3526	0,1278	0,1979	0,00303	5...25	0,2...0,6	900...1200
	X20H80	1538	0,0690	0,2384	0,00151	1...15	0,15...0,45	150...400
	Ж40	1077	0,0365	0,3098	0,00122	1...16	0,15...0,45	150...400
	Ж40	6649	0,1864	0,2576	0,00379	6...20	0,15...0,45	950...1150
	ВПМ-2	1883	0,1178	-0,06	0,00250	5...25	0,3...0,9	900...1100
	ПДУ-1	160781	0,2219	-0,0856	0,00634	2...10	0,1...0,4	1100...1230
	МЧ	584	0,0460	0,0610	0,00050	1...10	0,05...0,3	850...1075
	МЧ	3944	0,1309	0,3013	0,00190	1...10	0,05...0,3	1075...1300
	ВЧ	1118	0,0708	0,0892	0,0084	1...10	0,05...0,2	1100...1350
	Р6М5К5	3387	0,0934	0,0097	0,00268	10...40	0,3...0,8	850...1100
	Р6М5Ф3	1187	0,1284	0,0082	0,00184	10...40	0,3...0,8	800...1100
	ТН-1	1970	0,1776	0,0720	0,00282	10...40	0,2...0,5	600...1000
	ТН-1К	2337	0,1480	0	0,00283	10...40	0,2...0,5	600...1000
	ТН-1К	306	0,1235	0,1037	0,00143	5...20	0,15...0,4	800...1000
	ВТ1-00	126972	0,1044	0,3385	0,00842	2...30	0,15...0,4	800...900
	ВТ3-1	95031	0,2128	0,2195	0,00710	1...22	0,14...0,4	800...950
	ВТ5-1	2172	-0,0223	0,0608	0,00130	10...30	0,18...0,3	600...850
	ВТ5-1	1336211	0,1810	0,1920	0,00940	1...23	0,17...0,4	900...1100
	ВТ6	13346	0,1631	-0,1108	0,00550	1...30	0,15...0,4	800...900
	ВТ9	9779	-0,2993	0,1965	0,00200	10...30	0,15...0,25	600...800
	ВТ9	82667	0,1666	0,0005	0,00660	3...10	0,05...0,4	800...1050
	ВТ14	3933	0,1975	0,0921	0,00359	1...30	0,16...0,4	800...900
	ВТ16	14788	0,1800	-0,1833	0,00613	1...30	0,16...0,4	800...900
	ВТ22	25573	0,1784	0,1370	0,00590	1...28	0,16...0,4	750...900
	3М	28704750	0,0966	0,2148	0,01350	1...26	0,16...0,4	850...1000
	ОТ4	7407	0,1307	0,1759	0,00434	2...30	0,16...0,4	800...900

Порошковые
сплавы

Титановые
сплавы

$$h_c = \frac{h_0 + h_1}{2}.$$

При $\frac{l}{h_c} < 1$, n_σ можно определять по методике А. И. Целикова [7]:

$$n_\sigma = \left(\frac{l}{h_c} \right)^{-0.4} \quad (2.6)$$

При определении n_σ по методике УПИ значения n_σ для различных схем прокатки вычисляются по соответствующим выражениям табл. 3.8 [6].

Методика расчёта коэффициента напряженного состояния, разработанная на кафедре прокатки ЮУрГУ, выглядит следующим образом:

$$n_\sigma = k_f \cdot n_\sigma^0, \quad (2.7)$$

где n_σ^0 – базовое значение коэффициента напряжённого состояния;

k_f – коэффициент, учитывающий влияние формы калибра.

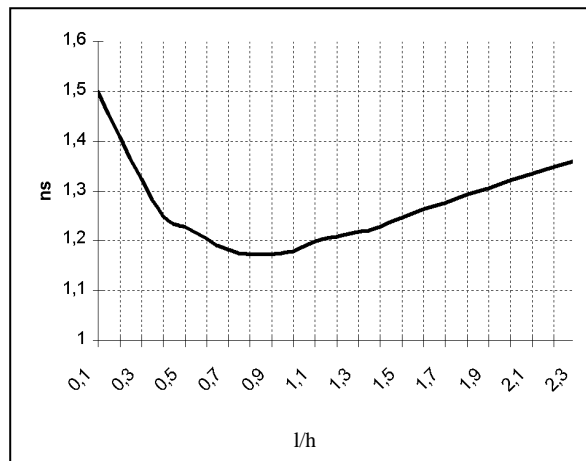


Рис. 2.1. Графическая зависимость для нахождения n_σ^0

После статистической обработки экспериментальных данных, а также анализа большого количества методик различных авторов была получена графическая за-

висимость для нахождения n_σ^0 , которую в различных диапазонах $\left(\frac{l}{h_c} \right)$ можно

записать в следующем виде:

$$\begin{aligned}
\frac{l}{h_c} \in [0,1...0,4] , \quad n_{\sigma}^0 &= 0,603 + e^{-1,09 \times m} ; \\
\frac{l}{h_c} \in [0,4...0,7] , \quad n_{\sigma}^0 &= 0,3519 + e^{-0,2663 \times m} ; \\
\frac{l}{h_c} \in [0,7...0,95] , \quad n_{\sigma}^0 &= 0,1826 + e^{-0,0134 \times m} ; \\
\frac{l}{h_c} \in [0,95...1,1] , \quad n_{\sigma}^0 &= 0,0134 + e^{-0,1532 \times m} ; \\
\frac{l}{h_c} \in [1,1...1,4] , \quad n_{\sigma}^0 &= 0,9614 + \sqrt{0,05 \times m} ; \\
n_{\sigma} &= \left(\frac{l}{h_c} \right)^{-0.4} , \quad n_{\sigma}^0 = 0,7702 + \sqrt{0,151 \times m} .
\end{aligned} \tag{2.8}$$

В общем случае n_{σ}^0 можно также найти по формуле:

$$n_{\sigma}^0 = -0,1679 \cdot \left(\frac{l}{h_c} \right)^3 + 0,9312 \cdot \left(\frac{l}{h_c} \right)^2 - 1,3646 \cdot \frac{l}{h_c} + 1,953 . \tag{2.9}$$

Численные значения коэффициента формы k_f приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Таблица значений коэффициента формы

Схема прокатки	Коэффициент k_f		
	$\frac{l}{h_c} \in [0,1...0,7]$	$\frac{l}{h_c} \in [0,7...1,5]$	$\frac{l}{h_c} \in [1,5...2,5]$
Овал – круг	1,035	1,04	1,038
Овал – квадрат	1,205	1,15	1,18
Ящичные	1,14	1,10	1,18
Ромб – квадрат	1,35	1,28	1,36
Круг – гладкие валки	1,1	1,1	1,12
Шестиугольник – квадрат	1,4	1,33	1,41

Усилие прокатки определяется по выражению

$$P = p_c \cdot F_r, \quad (2.10)$$

где F_r – горизонтальная проекция площади контакта полосы с валками.

При прокатке прямоугольной полосы на гладкой бочке

$$F_r = \frac{b_0 + b_1}{2} \cdot \sqrt{(h_0 - h_1) \cdot R_B}. \quad (2.11)$$

Для схем прокатки овал – овал, овал – круг

$$F_r = \frac{3}{4} \cdot b_1 \cdot \sqrt{(h_0 - h_1) \cdot R_B}. \quad (2.12)$$

Для схемы прокатки овал – квадрат

$$F_r = \frac{3}{4} \cdot R_B \cdot b_1 \cdot \sqrt{\frac{(h_0 - h_1)}{R_B}}, \quad (2.13)$$

а для схемы квадрат – овал

$$F_r = 0,54 \cdot (b_0 + b_1) \cdot \sqrt{(h_0 - h_1) \cdot R_B}. \quad (2.14)$$

При прокатке в квадратных и ромбических калибрах

$$F_r = \frac{2}{3} \cdot R_B \cdot b_1 \cdot \sqrt{\frac{(h_0 - h_1)}{R_B}}, \quad (2.15)$$

а при прокатке в ящичных калибрах

$$F_r = \left(\frac{2}{3} \cdot b_0 + \frac{1}{3} \cdot b_1\right) \cdot \sqrt{(h_0 - h_1) \cdot R_B}. \quad (2.16)$$

Горизонтальная проекция площади контакта определяется либо по вышеперечисленным формулам, либо по методике УПИ [6], где на с. 107 и 111 даны формулы для различных схем прокатки. Для двухвалкового калибра момент прокатки определяется следующим образом:

$$M_B = 2 \cdot P \cdot \Psi \cdot l, \quad (2.17)$$

а при прокатке в трёхвалковом калибре

$$M_B = 3 \cdot P \cdot \Psi \cdot l, \quad (2.18)$$

где ψ – коэффициент плеча приложения равнодействующей.

Коэффициент плеча приложения равнодействующей при горячей сортовой прокатке в двухвалковых калибрах можно приближенно принимать $\psi \approx 0,5$ или рассчитывать по формулам, приведённым в работе [2].

При прокатке в трёхвалковых калибрах можно принимать $\psi \approx 0,41$.

Момент трения в подшипниках валков:

$$M_{\text{тр}} = P \cdot \mu \cdot d_n, \quad (2.19)$$

где d_n - диаметр шейки валка, мм.

Коэффициент трения для подшипников качения $\mu = 0,003 \dots 0,005$, для подшипников жидкостного трения $\mu = 0,003$, для подшипников скольжения с текстолитовыми вкладышами $\mu = 0,01 \dots 0,02$, а при бронзовых вкладышах $\mu = 0,07 \dots 0,1$.

Крутящий момент на валу электродвигателя определяется выражением

$$M_{\text{дв}} = \frac{M_{\text{в}} + M_{\text{тр}}}{i_p \cdot \eta} + M_{\text{хх}} \pm M_{\text{дин}}, \quad (2.20)$$

где η – КПД линии привода определяется в зависимости от типа стана ($\eta = 0,75 \dots 0,95$);

i_p – передаточное число редуктора в линии привода.

$M_{\text{хх}}$ – момент холостого хода, необходимый для привода главной линии прокатного стана во время паузы.

$$M_{\text{хх}} = (0,05 \dots 0,1) \cdot M_{\text{н}},$$

где $M_{\text{н}}$ – номинальное значение момента на валу электродвигателя.

$$M_{\text{н}} = 9,55 \cdot \frac{N_{\text{н}}}{n_{\text{н}}}, \quad (2.21)$$

где $N_{\text{н}}$ и $n_{\text{н}}$ – соответственно номинальная мощность и номинальная частота вращения вала электродвигателя.

Можно принять $M_{xx} = (6...10)\% \cdot GD^2$.

Динамический момент $M_{дин}$ определяем по формуле

$$M_{дин} = \frac{GD^2}{375} \cdot a, \quad (2.22)$$

где GD^2 – маховый момент вращающихся частей стана и якоря электродвигателя, приведённый к валу последнего.

Приблизённо GD^2 принимают от 3000 до 5000 кН·м² в зависимости от размера валков стана, мощности и конструкции электродвигателя. Чем больше диаметр валков и мощность двигателя, тем больше маховой момент $GD^2 = 5000$ кН·м². Можно принять, например, для блюмингов с диаметром 1150...1300 мм $GD^2 = 5000$ кН·м², а для блюмингов с диаметром валков 900 мм – 3000 кН·м².

Оцениваем электродвигатели на кратковременную перегрузку.

$$\frac{M_{ДВ}}{M_H} \leq k, \quad (2.23)$$

где k – коэффициент перегрузки ($k = 2...2,5$).

В качестве примера на рис. 2.2 показана треугольная схема изменения частоты вращения валков при прокатке на реверсивном стане. В соответствии с (2.20) моменты на валу двигателя на разных участках составляют:

$$\begin{aligned} & \text{– участок разгона} \quad M_p = M_{xx} + M_a; \\ & \text{– участок ускорения} \quad M_y = M_{xx} + M_{ay} + M_b; \\ & \text{– участок замедления} \quad M_z = M_{xx} - M_{az} + M_b; \\ & \text{– остановка валков} \quad M_o = M_{xx} - M_{az}. \end{aligned} \quad (2.24)$$

В выражениях (2.24) $M_{\text{дин}} = M_{\text{ау}}$ при ускорении двигателя и $M_{\text{дин}} = M_{\text{аз}}$ при замедлении, а $M_{\text{в}} = \frac{M_{\text{пр}} + M_{\text{тр}}}{\eta}$ – момент, подводимый к валкам.

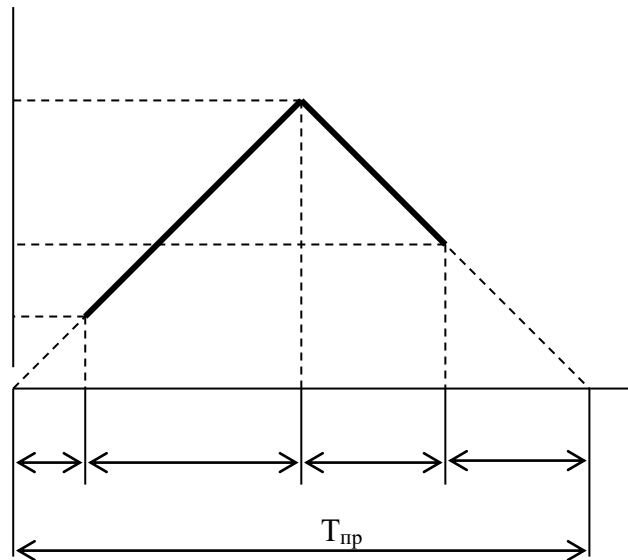


Рис. 2.2. Треугольная схема прокатки

Максимальный момент будет (как видно) на участке ускорения.

После этих расчётов нужно проверить в каждом проходе электродвигатель на кратковременную перегрузку:

$$- \text{при } n \leq n_{\text{н}} \quad M_{\text{у}} / M_{\text{Н}} \leq k ;$$

$$- \text{при } n > n_{\text{н}} \quad M_{\text{у}} \cdot \theta / M_{\text{Н}} \leq k, n$$

где $\theta = n / n_{\text{н}}$.

Проверку двигателя на нагрев выполняют по квадратичному моменту за весь период прокатки:

$$M_{\text{кв}\Sigma} \leq 0,9M_{\text{Н}}, \quad (2.25)$$

где 0,9 – коэффициент запаса электродвигателя по нагреву.

В отдельных проходах допускается перегрузка двигателя по $M_{\text{кв}}$ (обычно в первых проходах). Величину $M_{\text{кв}}$ за проход можно определить по выражению:

$$M_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{\sum M^2 \cdot \tau}{T_{\text{пр}}}} \quad (2.26)$$

Для треугольной схемы нагружения, приведённой на рис.2.2 (характерной для блюминга),

$$M_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{(M_p^2 \cdot \tau_p + M_y^2 \cdot \tau_y + M_3^2 \cdot \tau_3 + M_o^2 \cdot \tau_o)}{T_{\text{пр}}}} \quad (2.27)$$

где M_p, τ_p – момент и время разгона;

M_y, τ_y – момент и время ускорения;

M_3, τ_3 – момент и время замедления;

M_o, τ_o – момент и время остановки.

Момент квадратичный за весь период прокатки полосы

$$M_{\text{кв}\Sigma} = \sqrt{\frac{(\sum M^2 \cdot \tau)_1 + (\sum M^2 \cdot \tau)_2 + \dots + (\sum M^2 \cdot \tau)_n}{T_{\text{пр}1} + T_{\text{пр}2} + \dots + T_{\text{пр}n}}} \quad (2.28)$$

Мощность на валу электродвигателя

$$N_{\text{дв}} = M_{\text{дв}} \cdot \omega \quad (2.29)$$

где ω - частота вращения вала двигателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Выдрин А.В. Энергостатический метод расчета параметров процесса прокатки. – Челябинск: ЧПИ, 1982.
2. Андреюк Л.В. Инженерные расчёты в прокатном производстве. - Челябинск: Челябгипромез, 1974.
3. Дубинский Ф.С., Крайнов В.И., Расчёт энергосиловых параметров процесса прокатки с применением ЭВМ: Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию. – Челябинск : ЧГТУ, 1994.
4. Крайнов В. И., Оборудование методика и результаты пластометрических исследований: Учебное пособие. – Челябинск : ЧГТУ, 1995.
5. Бровман М.Я. Применение теории пластичности в прокатке. – М.: Metallurgia, 1991.
6. Теория прокатки: Справочник / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин и др. – М.: Metallurgia, 1982.