

Д3. Расчет усилия прокатки в непрерывной группе клеток НШПС

1) Усилие прокатки ($P_{пр}$) – важнейший параметр энергосиловых показателей листовой прокатки → определяет качество продукции, используется в проверочных расчетах оборудования на прочность, определяет затраты энергии на проведение процесса прокатки.

2) При определении P обычно учитывают лишь вертикальную составляющую:

$$P = B_{cp} \left[\int_0^{\alpha} p_x \frac{dx}{\cos \alpha_x} \cos \alpha_x + \int_{\gamma_H}^{\alpha} \tau_x \frac{dx}{\cos \alpha_x} \sin \alpha_x - \int_0^{\gamma_H} \tau_x \frac{dx}{\cos \alpha_x} \sin \alpha_x \right]$$

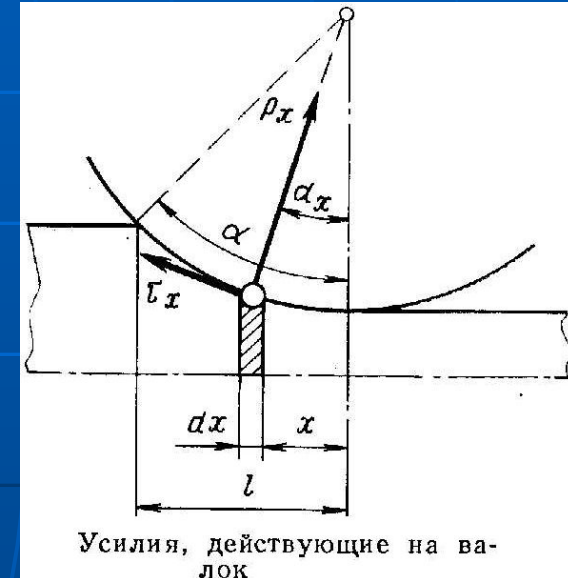
Второй и третий члены этого уравнения малы, тогда:

$$P = B_{cp} \int_0^l p_x dx \quad \longrightarrow \quad P = p_{cp} F = p_{cp} B l_d$$

3) Т.о. задача определения $P_{пр}$ сводится к определению p_{cp} и l_d . В соответствии с методикой А.И. Целикова:

$$p_{cp} = \gamma n_b n_{\sigma} \sigma_s$$

, γ – коэффициент Лодэ (1 – 1,15), n_b – коэффициент, учитывающий влияние ширины полосы на давление прокатки: при $b_0 > 5l_d$ $n_b = 1$, при $b_0 < 5l_d$ $n_b < 1$, n_{σ} – коэффициент напряженного состояния, σ_s – среднее значение сопротивления деформации (МПа).

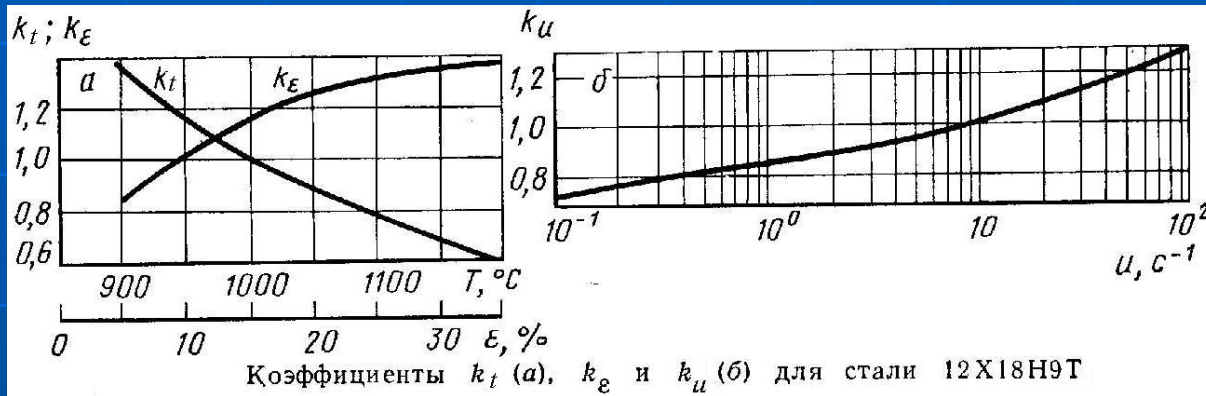


ДЗ. Расчет усилия прокатки в непрерывной группе клеток НШПС

4) Определение σ_s :

Метод термомеханических коэффициентов (В.И. Зюзин, А.В. Третьяков):

$$\sigma_s = \sigma_{\text{БАЗ}} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u$$



$$\sigma_s = \sigma_{\text{БАЗ}} A_1 A_2 A_3 e^{-m_1 t} \varepsilon^{m_2} u^{m_3}$$

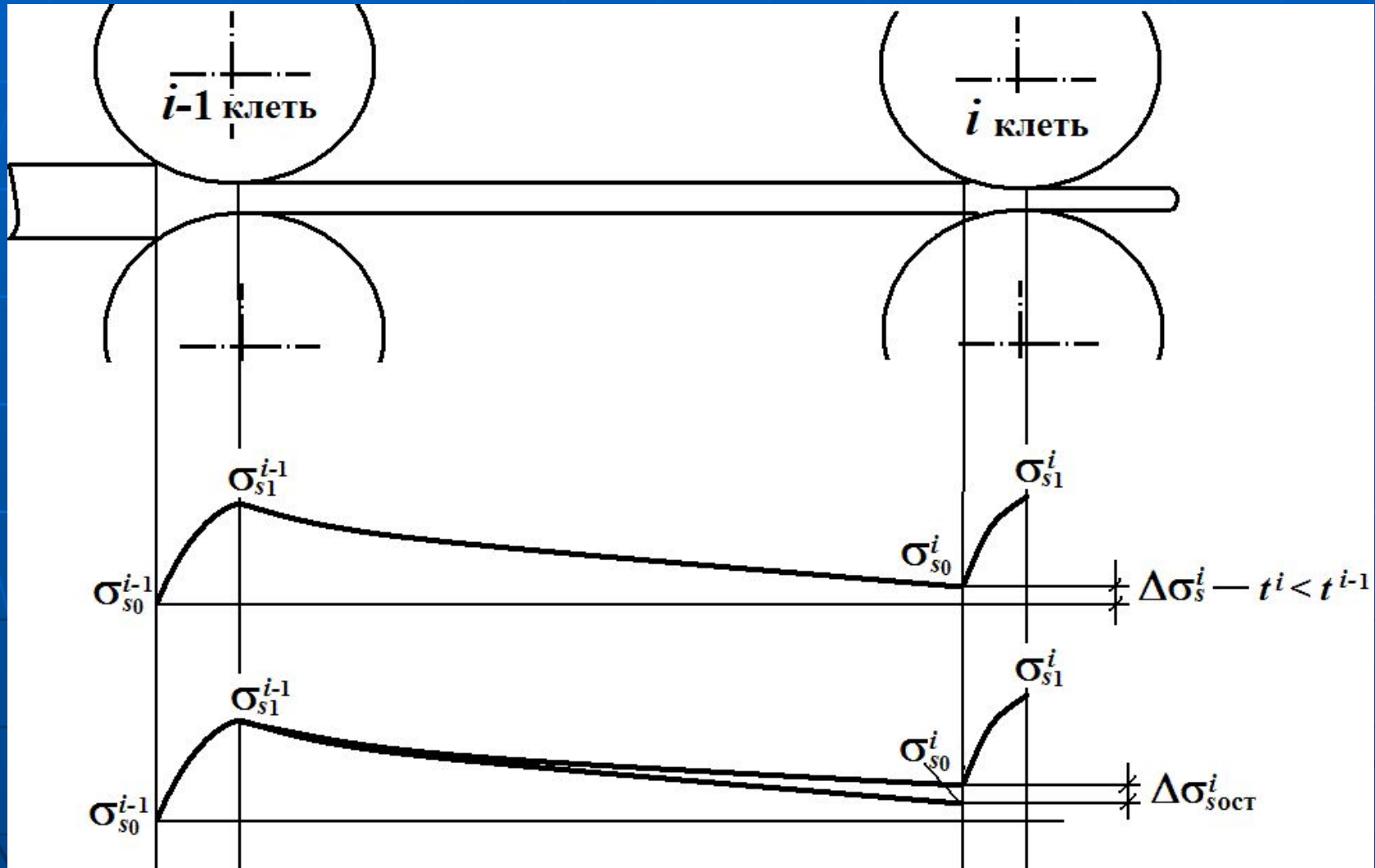
$k_t = A_1 e^{-m_1 t}$, $k_\varepsilon = A_2 \varepsilon^{m_2}$, $k_u = A_3 u^{m_3}$
 $A_1, A_2, A_3, m_1, m_2, m_3$ — коэффициенты, зависящие от марки стали.

Метод Л.В. Андreyюка, Г.Г. Тюленева:

$$\sigma_s = S \sigma_{\text{БАЗ}} u^a (10\varepsilon)^b (t/1000)^c$$

Д3. Расчет усилия прокатки в непрерывной группе клеток НШПС

Особенности определения σ_s в непрерывных группах клеток НШПС:



Д3. Расчет усилия прокатки в непрерывной группе клеток НШПС

Особенности определения σ_s в непрерывных группах клеток НШПС:

При прокатке в $(i-1)$ клетки происходит упрочнение Me , а в м/к промежутке (между $(i-1)$ и (i) клетями) – не успевает полностью разупрочниться вследствие ↓ температуры и ↑ скорости прокатки. Т.о. – при расчете σ_s в i -ой клетки, необходимо учитывать неполное разупрочнение в $(i-1)$ - (i) м/к промежутке. Дополнительное упрочнение, приходящее из предыдущей клетки зависит от величины упрочнения в предыдущей клетки, времени нахождения Me в м/к промежутке и температуры:

$$\Delta\sigma_{\text{соцт}}^i = f(\Delta\sigma_s^{i-1}, \tau_{\text{МК}}, t_{i-1})$$

$$\Delta\sigma_{\text{соцт}}^i = \Delta\sigma_s^{i-1} \exp(-A \tau_{\text{МК}})$$



$$\tau_{\text{МК}} = L_{\text{МК}} / v_{\text{ИП}}^{i-1} \quad \Delta\sigma_s^{i-1} = \sigma_{s1}^{i-1} - \sigma_{s0}^{i-1} \quad A = \frac{1}{(4,14 - 0,0036 t^{i-1})} \quad \text{- Для углеродистых сталей (данные Д.И. Сузрова)}$$

$$\sigma_s = \sigma_{\text{БАЗ}} A_1 A_2 A_3 e^{-m_1 t} \varepsilon^{m_2} u^{m_3} + \Delta\sigma_{\text{соцт}}^i$$

$$\sigma_s = S \sigma_{\text{БАЗ}} u^a (10 \varepsilon)^b (t/1000)^c + \Delta\sigma_{\text{соцт}}^i$$

Д3. Расчет усилия прокатки в непрерывной группе клеток НШПС

Определение деформационного упрочнения в предыдущей (i-1) клетки:

$$\Delta \sigma_s^{i-1} = \sigma_{s1}^{i-1} - \sigma_{s0}^{i-1}$$

При определении сопротивления деформации на входе в предыдущую клетку () σ_{s0}^{i-1} рекомендуется использовать следующие значения параметров процесса:

- температура – среднее значение температуры в данной клетке;
- скорость деформации – среднее значение скорости деформации в данной клетке;
- степень деформации - $\varepsilon_0^{i-1} \approx 0,05$;

При определении сопротивления деформации на выходе из предыдущей клетки (σ_{s1}^{i-1}) рекомендуется использовать следующие значения параметров процесса:

- температура – среднее значение температуры в данной клетке;
- скорость деформации – среднее значение скорости деформации в данной клетке;
- степень деформации - $\varepsilon_1^{i-1} = \frac{h_0^{i-1} - h_1^{i-1}}{h_0^{i-1}}$

Д3. Расчет усилия прокатки в непрерывной группе клеток НШПС

Методика расчета усилия прокатки в чистой группе клеток НШПС:

- 1) Определение деформационных параметров для расчетной (i) и предыдущей ($i-1$) клеток ($\Delta h, \varepsilon$);
- 2) Расчет длины очага деформации (l_d : $l_d = \sqrt{R \Delta h}$) для (i) и ($i-1$) клеток;
- 3) Расчет скоростей деф. для (i) и ($i-1$) клеток (u_{cp} : $u_{cp} = (v_1 / l_d) (\Delta h / h_0)$);
- 4) Расчет сопротивления деформации для (i) клетки без учета не полного разупрочнения в предыдущей ($i-1$) клетки по методике В.И. Зюзина или Л.В. Андреюка – Г.Г. Тюленева;
- 5) Расчет времени нахождения полосы в межклетевом промежутке между ($i-1$) и (i) клетями $\tau_{МК} = L_{МК} / v_{пр}^{i-1}$;
- 6) Расчет остаточного упрочнения в расчетной клетки, приходящего из предыдущей: $\Delta \sigma_{сост}^i = \Delta \sigma_s^{i-1} \exp(-A \tau_{МК})$;
- 7) Расчет полного сопротивления деформации в (i) с учетом остаточного упрочнения;

Д3. Расчет усилия прокатки в непрерывной группе клеток НШПС

Методика расчета усилия прокатки в чистой группе клеток НШПС:

8) Для расчета давления металла на валки ($P_{cp} = \gamma n_b n_\sigma \sigma_s$) определяем значение коэффициента Лодэ ($\gamma = 1,0-1,15$). При отсутствии уширения $\underline{\gamma = 1,15}$:

9) Определяем n_b – коэффициент, учитывающий влияние ширины полосы на давление прокатки: при $b_0 > 5l_d$ $n_b = 1$, при $b_0 < 5l_d$ $n_b < 1$

$$n_b = \frac{1 + (3b - l_d) / (6b f_{TP} l_d / h_{cp})}{1 + f_{TP} l_d / h_{cp}}$$

10) Определяем коэффициент трения:

Формула Бахтинова и Штернова для горячей прокатки

$$f_{TP} = k_1 k_2 k_3 (1,05 - 0,0005t)$$

k_1 – коэффициент, учитывающий материал валков:

$k_1 = 1$ – *стальные валки*, $k_1 = 0,8$ – *чугунные валки*;

k_2 – коэффициент, учитывающий окружную скорость валков:



Д3. Расчет усилия прокатки в непрерывной группе клеток НШПС

Методика расчета усилия прокатки в чистовой группе клеток НШПС:

k_3 - коэффициент, учитывающий хим. состав стали:

Низкоуглеродистая (например, Ст1)	1,0
Ледебуритная (P18)	1,10
Перлитно-мартенситная (ШХ15, 4Х13)	1,24...1,3
Аустенитная (Х13Н4Г9)	1,40
Аустенитная с избыточной фазой (Х18Н10Т)	1,45
Ферритная (1Х17ЮА)	1,55
Аустенитная с карбидами (Х15Н60)	1,60

11) Определяем коэффициент напряженного состояния: $n_{\sigma} = n'_{\sigma} n''_{\sigma} n'''_{\sigma}$

n'_{σ} - коэффициент, учитывающий влияние трения,

n''_{σ} - коэффициент, учитывающий влияние внешних зон;

n'''_{σ} - коэффициент, учитывающий влияние натяжения

12) Для определения коэффициента напряженного состояния рассчитываем параметр очага деформации

$$l_d / h_{cp} = \frac{\sqrt{R \Delta h}}{(h_0 + h_1) / 2}$$

Д3. Расчет усилия прокатки в непрерывной группе клеток НШПС

Методика расчета усилия прокатки в чистой группе клеток НШПС:

13) Коэффициенты n'_σ и n''_σ определяются параметром очага деформации

l_d/h_{cp} : при $l_d/h_{cp} = 0,05-1, n'_\sigma = 1$

при $l_d/h_{cp} = 1 - 2, n'_\sigma = 1 + l_d/6h_{cp}$

при $l_d/h_{cp} = 2 - 4, n'_\sigma = \frac{2h_n}{\Delta h(\delta-1)} [(h_n/h_1)^\delta - 1]$

здесь:

$$\delta = 2f_{TP}l_d/\Delta h, \quad h_n = \sqrt{h_1h_0}, \quad h_n/h_1 = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1)(h_0/h_1)^\delta}}{\delta + 1} \right]^{1/\delta}$$

n''_σ : при $l_d/h_{cp} = 0,05-1 \quad n''_\sigma = (l_d/h_{cp})^{-0,4}$

при $l_d/h_{cp} > 1 \quad n''_\sigma = 1$

14) Коэффициент $n''_\sigma = 1 - \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{2P_{cp}}$, где: $\sigma_0 = \frac{T_0}{h_0b_0}$ - напряжение заднего

натяжения, $\sigma_1 = \frac{T_1}{h_1b_1}$ - напряжение переднего натяжения.

Д3. Расчет усилия прокатки в непрерывной группе клеток НШПС

Методика расчета усилия прокатки в чистой группе клеток НШПС:

Определить величину n''_{σ} в данный момент мы не можем, так как неизвестна величина p_{cp} . На этом этапе принимаем $n''_{\sigma} = 1$ и находим величину

$P'_{cp} = \gamma n_b n'_{\sigma} n''_{\sigma} \sigma_s$ - условная величина давления без учета влияния натяжения.

Затем определяем величину $n'''_{\sigma} = 1 - \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{2P'_{cp}}$.

15) Находим величину давления металла на валки:

$$P_{cp} = \gamma n_b n'_{\sigma} n''_{\sigma} n'''_{\sigma} \sigma_s$$

16) Определяем величину длины очага деформации с учетом упругого сплющивания валка:

$$l_{d_e} = \sqrt{R\Delta h + x_1^2} + x_1$$

где -

$$x_1 = \frac{8(1-\mu^2)}{\pi E} R p_{cp}$$

Стальные валки:

$$E = 2,06 * 100000 \text{ МПа}, \mu = 0,3;$$

Чугунные валки:

$$E = 1,26 * 100000 \text{ МПа}, \mu = 0,25;$$

Д3. Расчет усилия прокатки в непрерывной группе клеток НШПС

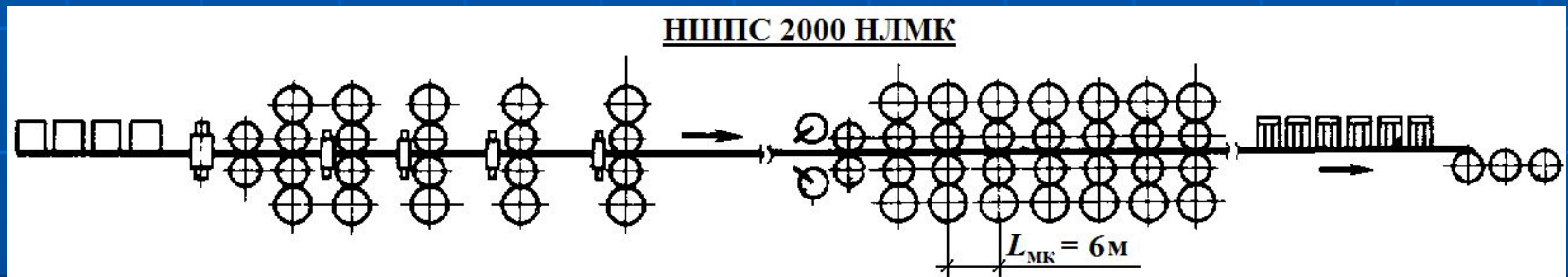
Методика расчета усилия прокатки в чистовой группе клеток НШПС:

17) Определяем площадь поверхности контакта: $F = Bl_{dc}$;

18) Полное усилие прокатки: $P = p_{cp}F = p_{cp} Bl_{dc}$

Исходные данные для расчета усилия прокатки в чистовой группе клеток НШПС

1) Схема стана:



- 2) Диаметр рабочих валков истовой группы: $D = 0,8 \text{ м}$;
- 3) Материал рабочих валков чистовой группы: *сталь, чугун*;
- 4) Материал прокатываемой полосы: *сталь 45*;

Д3. Расчет усилия прокатки в непрерывной группе клеток НШПС

Исходные данные для расчета усилия прокатки в чистовой группе клеток НШПС

5) Значения коэффициентов, для расчета сопротивления деформации для стали 45:

- по методике В.И. Зюзина:

$$\sigma_s = \sigma_{\text{БАЗ}} A_1 A_2 A_3 e^{-m_1 t} \varepsilon^{m_2} u^{m_3}$$

$$\sigma_{\text{БАЗ}} A_1 A_2 A_3 = 1330 \text{ МПа}; m_1 = -0,0025; m_2 = 0,252; m_3 = 0,143$$

- по методике Л.В. Андреюка и Г.Г. Тюленева:

$$\sigma_s = S \sigma_{\text{БАЗ}} u^a (10\varepsilon)^b (t/1000)^c$$

$$S \sigma_{\text{БАЗ}} = 87,4 \text{ МПа}; a = 0,143; b = 0,173; c = -3,05$$

6) Ширина прокатываемой полосы $B = 1500$ мм

ДЗ. Расчет усилия прокатки в непрерывной группе клетей НШПС

Исходные данные для расчета усилия прокатки в чистово группе клеток
НШПС

7) Режим прокатки I:

№ клетей	h_0 , мм	h_1 , мм	$v_{гр}$, м/с	$t_{пл.}$, °C	М/к натяжение, т	
					T_0	T_1
1	36,0	21,8	-	1000	0	20
2	21,8	14,6	-	970	20	14
3	14,6	10,66	-	940	14	10
4	10,66	8,42	-	915	10	8
5	8,42	6,65	-	880	8	6
6	6,65	5,55	-	840	6	5
7	5,55	5,0	5,0	800	5	0

Режим прокатки II:

№ клетей	h_0 , мм	h_1 , мм	$v_{гр}$, м/с	$t_{пл.}$, °C	М/к натяжение, т	
					T_0	T_1
1	32,0	19,0	-	980	0	14
2	19,0	13,0	-	970	14	9
3	13,0	9,0	-	940	9	7
4	9,0	7,0	-	900	7	5
5	7,0	5,5	-	880	5	4
6	5,5	4,6	-	850	4	3
7	4,6	4,0	8,0	820	3	0

ДЗ. Расчет усилия прокатки в непрерывной группе клеток НШПС

8) Варианты задания:

Примечание:

A-T – сопротивление деформации рассчитывать по методике Л.В. Андреюка – Г.Г. Тюленева;

З - сопротивление деформации рассчитывать по методике В.И. Зюзина.

