

Национальная академия наук Украины  
Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова

**Научно-техническая конференция  
«Молодая академия 2011»**

**«Основные подходы к расчету параметров прокатки в  
ЛПА»**

Докладчик инж. Бадюк С.И.



# ОСНОВНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОКАТКИ

## Среднее контактное нормальное напряжение

$$p_{\varphi} = n_{\gamma} \cdot n_k \cdot n_{\sigma} \cdot \sigma$$

$n_{\gamma}$  – коэффициент, учитывающий влияние среднего главного напряжения;  
 $n_k$  – коэффициент влияния формы калибра;  
 $n_{\sigma}$  – коэффициент напряженного состояния;  
 $\sigma$  – среднее напряжение текучести в очаге деформации.

## Коэффициент напряженного состояния

$$n_{\sigma} = n_b \cdot n'_{\sigma} \cdot n''_{\sigma} \cdot n'''_{\sigma}$$

$n_b$  – коэффициент, учитывающий влияние внешнего трения в связи с уширением;  
 $n'_{\sigma}, n''_{\sigma}, n'''_{\sigma}$  – коэффициенты, учитывающие влияние внешнего трения, внешних зон и натяжения (подпора).

## Сила прокатки

$$P = p_{\varphi} \cdot b_{cp} \cdot l_d$$

$l_d$  – длины дуги захвата с учетом упругого сплющивания валков;  
 $b_{cp}$  – средняя ширина раската в очаге деформации.

## Момент прокатки

$$M = 2 \cdot P \cdot l_d \cdot \psi + (T_0 - T_1) \cdot R$$

$\psi$  – коэффициент плеча момента;  
 $T_0$  и  $T_1$  – величины заднего и переднего натяжения соответственно;  
 $R$  – радиус рабочего валка.

## Коэффициент плеча момента

$$\psi = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{(1 + S) \cdot \ln(h_0 / h_1)}{[(1 + h_0 / h_1) \cdot \alpha \cdot l_d] / h_{cp}}$$

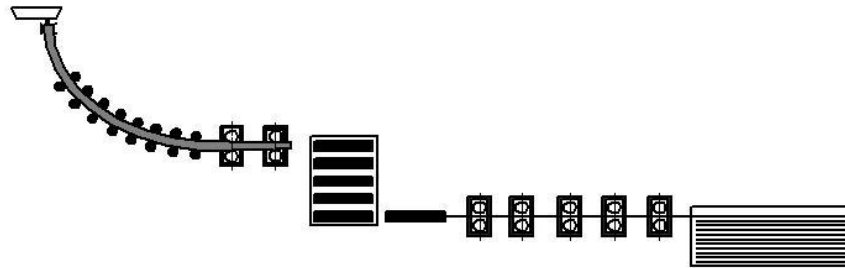
$S$  – опережение металла при прокатке.

## Мощность прокатки

$$N = M \cdot \omega$$

$\omega$  – угловая скорость валков

# ВЗАИМОСВЯЗЬ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ И ПРОКАТКИ В ЛПА



## Особенности прокатки непрерывнолитой заготовки в линии разливки:

1. Неравномерное температурное поле
2. Повышенные остаточные напряжения
3. Пониженная пластичность

Разливка

1. Формирование структуры непрерывнолитой заготовки
2. Температурное поле
3. Деформация заготовки в линии МНЛЗ (выпучивание корки, рагиб и др.)
4. Выделение вторичных фаз

*Термостатирование*

1. Гомогенизация свойств
2. Выравнивание температуры
3. Релаксация остаточных напряжений и увеличение ресурса пластичности
4. Выделение вторичных фаз
5. Рост зерна

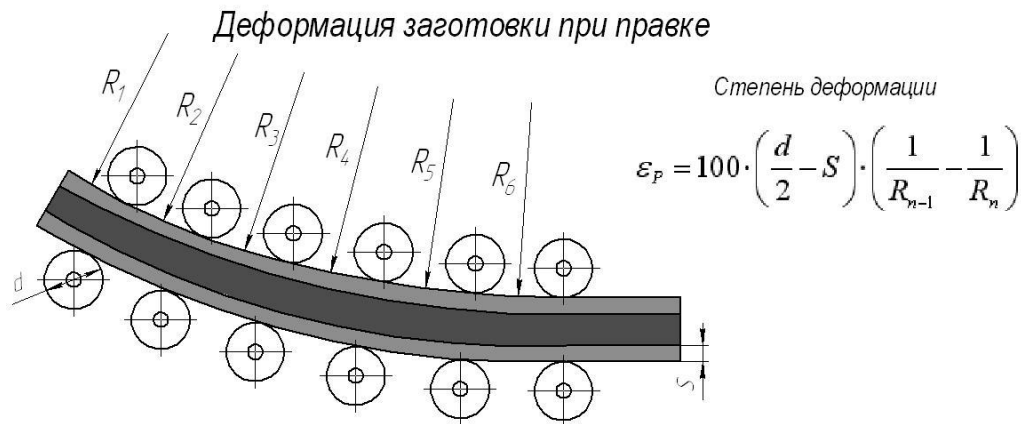
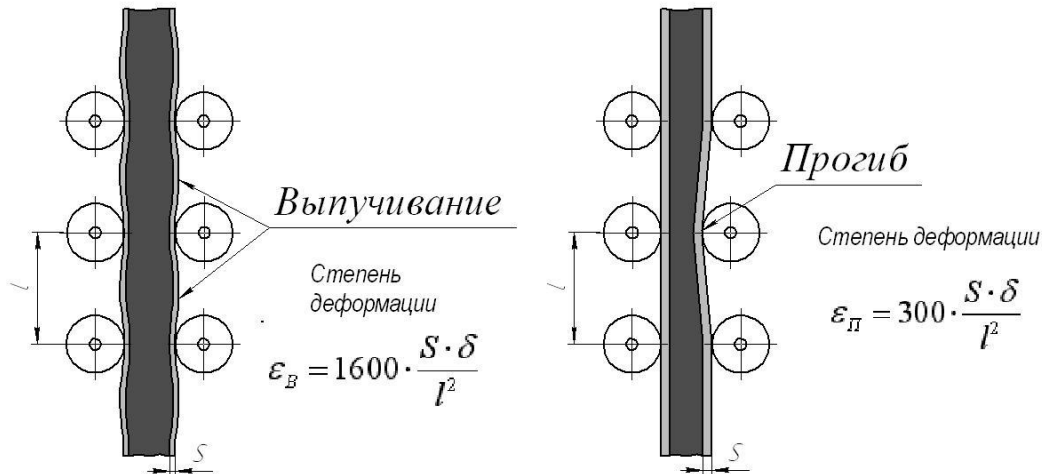
Прокатка

1. Проработка литой структуры заготовок
2. Измельчение зерен
3. Гомогенизация свойств
4. Выделение вторичных фаз

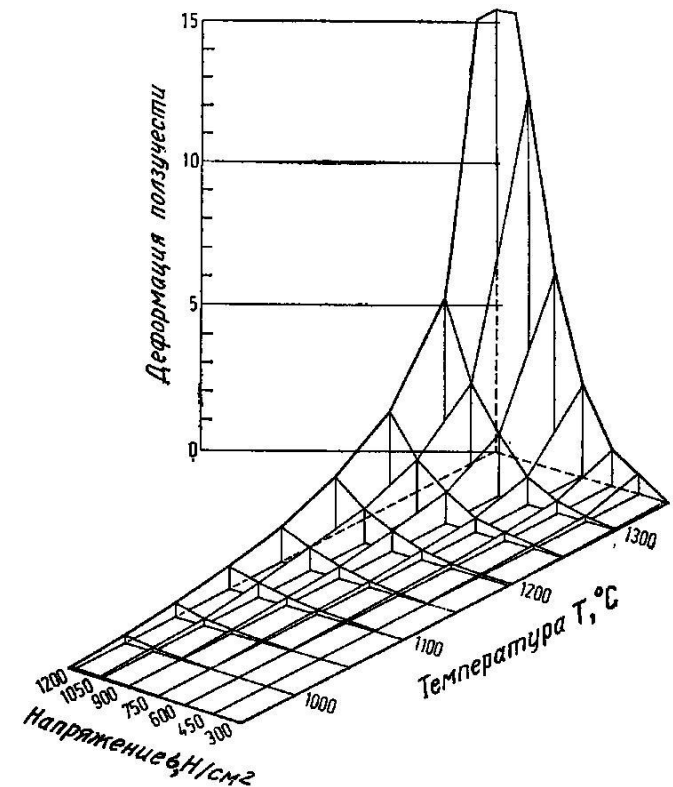


# ДЕФОРМАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ В ЛИНИИ МНЛЗ

Деформация заготовки при выпучивании корки и вследствие отклонения положения осей поддерживающих роликов



Высокотемпературная ползучесть металла



# ОСНОВНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ЗАПАСА ПЛАСТИЧНОСТИ

**Степень использования запаса пластичности:**

$$\psi = \int_0^{\Lambda} \frac{\Lambda}{\Lambda_p}$$

$\Lambda$  - степень деформации сдвига;

$\Lambda_p$  - степень деформации сдвига в момент разрушения.

**Степень деформации сдвига:**

$$\Lambda = H \cdot \tau$$

$H$  - интенсивность скоростей деформации сдвига;

$\tau$  - время.

**Степень деформации сдвига в момент разрушения:**

$$\Lambda_p = f\left(\frac{\sigma}{T}; H; t; B\right)$$

**Условие разрушения при горячей пластической деформации:**

$$\psi = \int_0^{t_p} E \times \frac{H \cdot d\tau}{\Lambda_p} = 1;$$

$E$  - функция наследственности;

$t_p$  - время деформации до момента разрушения.

$$0 \leq \psi \leq 1$$

**Функция наследственности:**

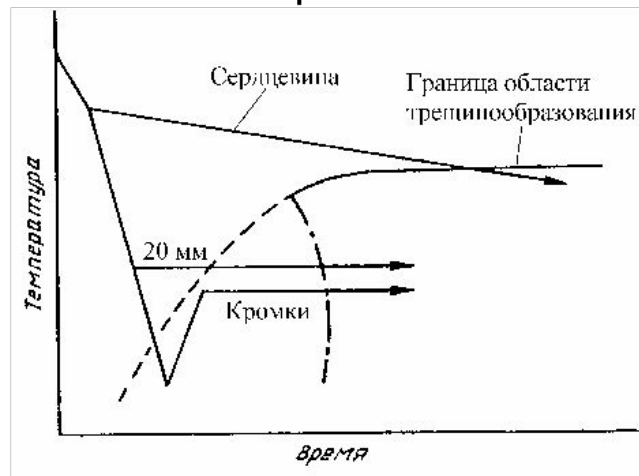
$$E = \exp(-a \cdot t) \leq 1$$

**Последовательность расчета степени использования запаса пластичности:**

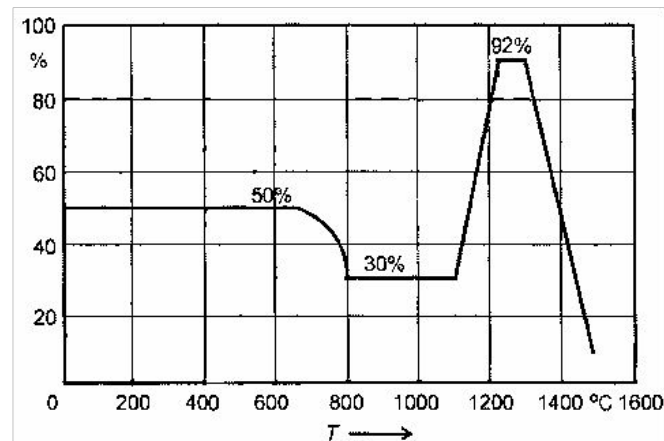
1. Определение напряженно-деформированного состояния металла.
2. Определение значений интенсивности скоростей деформации сдвига  $H$  и показателя напряженного состояния.
3. Определение пластичности металла в зависимости от различных термомеханических параметров.
4. Определение степени использования запаса пластичности

# ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОВРЕЖДЕННОСТЬ ЗАГОТОВОК

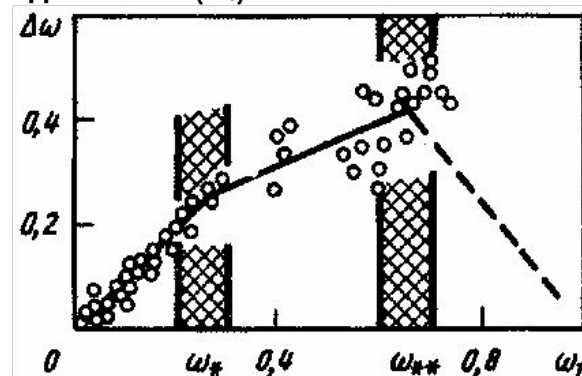
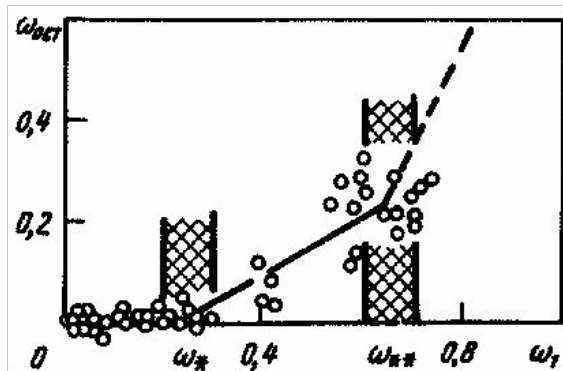
ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫЕ ОБЛАСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН В НЛЗ



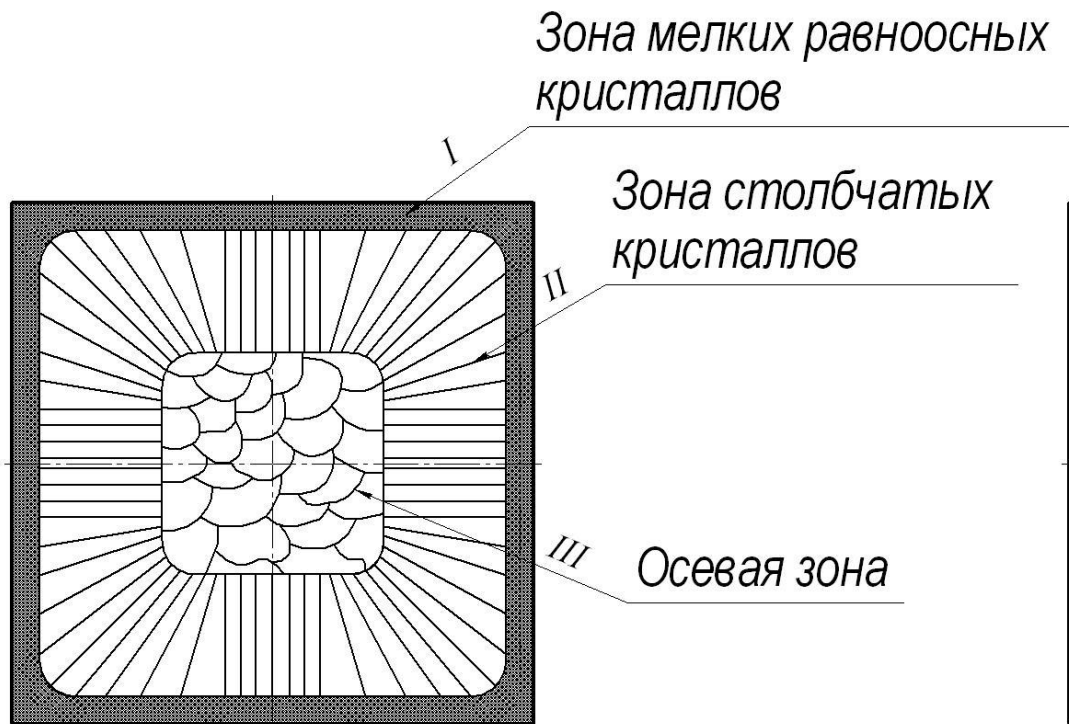
ЗАВИСИМОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОГО СУЖЕНИЯ СТАЛИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ



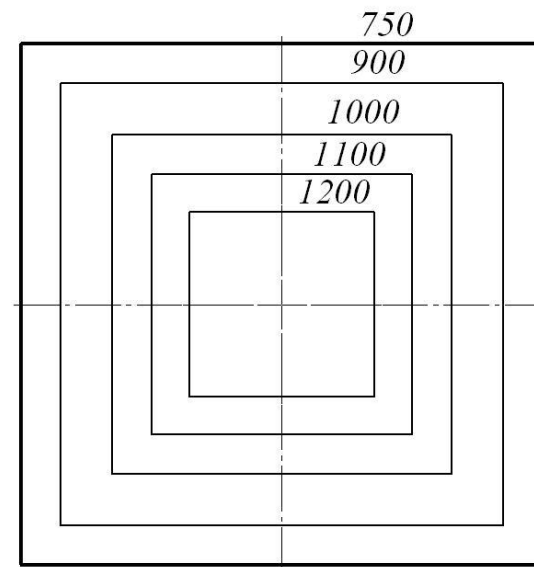
ИЗМЕНЕНИЕ ОСТАТОЧНОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ ( $\omega_{ост}$ ) И ЗАЛЕЧИВАНИЯ ( $\Delta\omega$ ) НЛЗ ПРИ ТЕРМОСТАТИРОВАНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИСХОДНОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ ( $\omega_1$ )



# ХАРАКТЕРНАЯ МАКРАСТРУКТУРА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО СЕЧЕНИЮ ЗАГОТОВКИ НА ВЫХОДЕ ИЗ МНЛЗ



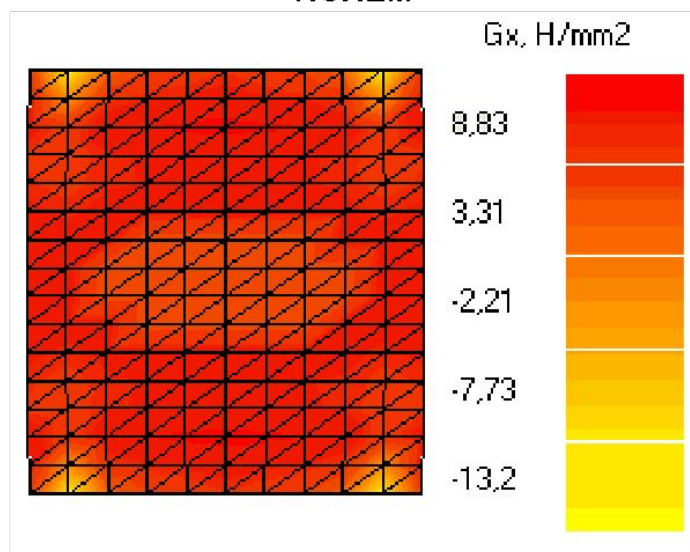
Напряжения текучести:  $\sigma_I > \sigma_{II} > \sigma_{III}$   
(при  $t = \text{const}$ )



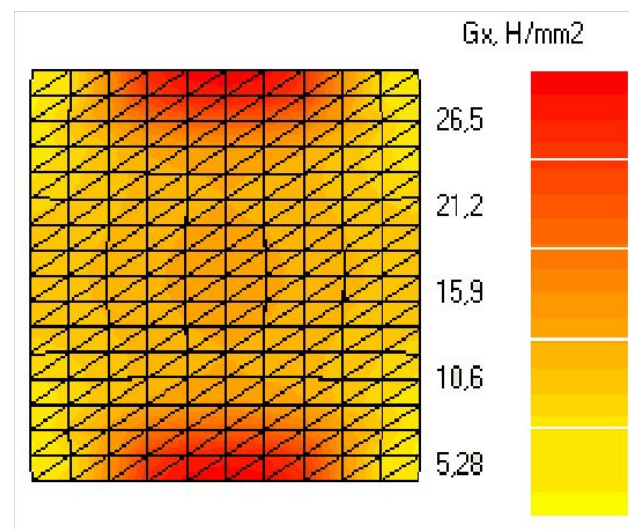
Напряжения текучести:  $\sigma_{750} > \sigma_{900} > \dots > \sigma_{1200}$   
(без учета структуры заготовки)

# ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ НА ПРОДОЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ НЛЗ

ХАРАКТЕР НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПРОКАТКЕ  
ЗАГОТОВКИ С РАВНОМЕРНЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ  
ПОЛЕМ



ХАРАКТЕР НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПРОКАТКЕ  
ЗАГОТОВКИ С НЕРАВНОМЕРНЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ  
ПОЛЕМ





# АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМАЦИИ В ЛПА

