

Результатом вышесказанного является, то что процесс непрерывного прессования «Конформ» схож с процессом равноканального углового прессования. Это подтверждается результатами, полученными в ходе моделирования: продеформированный металл, перемещающийся в горизонтальной части канала как единое целое, имеет такую же накопленную интенсивность деформации, как и в равноканальном угловом прессовании, около 110%; угол наклона сетки после деформации равен 26–27° и соответствует теоретическому углу сдвига. Заготовка имеет более однородное распределение интенсивности деформации, в нижней части угла нет «застойной зоны», по сравнению с заготовкой, прошедшей через канал с острыми углами.

Результатом вышесказанного является, то что процесс непрерывного прессования «Конформ» схож с процессом равноканального углового прессования. Это подтверждается результатами, полученными в ходе моделирования: продеформированный металл, перемещающийся в горизонтальной части канала как единое целое, имеет такую же накопленную интенсивность деформации, как и в равноканальном угловом прессовании, около 110%; угол наклона сетки после деформации равен 26–27° и соответствует теоретическому углу сдвига. Заготовка имеет более однородное распределение интенсивности деформации, в нижней части угла нет «застойной зоны», по сравнению с заготовкой, прошедшей через канал с острыми углами.

Библиографический список

1. Корнилов В.Н. Непрерывное прессование со сваркой алюминиевых сплавов. Красноярск: Изд-во педагогического ин-та, 1993. 216 с.
2. Сегал В.М., Резников В.И., Копылов В.И. Процессы пластического структурообразования металлов. Минск: Наука и техника, 1994.
3. Рыбин Ю.И., Рудской А.И., Золотов А.М. Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов давлением. СПб.: Наука, 2004. 644 с.

УДК 621.771

М. И. Румянцев, И. Г. Шубин, О. Ю. Носенко

КОНСТРУИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ПРОКАТКЕ НА ШСГП

В данной работе предлагается сконструировать математическую модель, адекватно описывающую изменение температуры металла при листовой горячей прокатке на широкополосных станах.

Ранее была сделана попытка выбора формул для расчета составляющих температурного баланса по критерию принадлежности клетки к черновой или чистовой группе клетей стана [2].

Продолжая работу в данном направлении, было решено отказаться от выбора формулы по критерию принадлежности клетки к группе клетей и найти другой критерий выбора формулы.

Главная идея нашего исследования заключалась в следующем:

1. Истинное значение любой составляющей температурного баланса есть среднее значение, полученное по всем рассмотренным нами зависимостям для расчета данной составляющей.

2. Для каждой составляющей температурного баланса можно найти существенный фактор технологического процесса, относительно которого изменчивость составляющей температуры выражена

наиболее отчетливо.

3. Наилучшей формулой для расчета составляющей температурного баланса в некотором диапазоне варьирования существенного фактора является та, которая в данном диапазоне дает наименьшее отклонение расчетного отклонения от среднего (табл. 1).

Расчеты выполнялись для полос толщиной 4–16 мм и шириной 1000–1700 мм из низколегированных марок сталей 09ГСФ, 13Г1С-У, 17Г1С-У, 12ГСБ, Х42, 10Г2ФБ.

Их влияние в качестве примера показано на рис. 1, 2.

Анализ построенных графиков показал, что во всех случаях зависимость имеет не более чем один максимум. Следовательно, во всех случаях допустимо в качестве аппроксимации рассматривать полином второй степени, а существенным признать тот фактор, по которому аппроксимация дает наибольший R<sup>2</sup>. Выбранные факторы приведены в табл. 2.

Таким образом, получаем, что для излучения и конвекции существенным является фактор τ/h, при контакте с рабочими валками решающим оказался фактор формы очага деформации, при пластической деформации – единичные обжатия.

Таблица 1  
Факторы, влияющие на значения изменения температуры

$\Delta t_e$	$\Delta t_r$	$\Delta t_R$	$\Delta t_\eta$
$t_{но}$	$t_{но}$	$T_{П-В}$	$P_{cp}$
$\frac{\tau}{h}$	$\frac{\tau}{h}$	$\frac{l_x}{h_{cp}}$	$\frac{l_x}{h_{cp}}$
	$\frac{V^{0,8}}{h^{0,2}}$	$V \cdot h_1$	$\frac{h_0}{h_1}$

Таблица 2  
Существенные факторы

$\Delta t_e$	$\Delta t_r$	$\Delta t_R$	$\Delta t_\eta$
$\frac{\tau}{h}$	$\frac{\tau}{h}$	$\frac{l_x}{h_{cp}}$	$\frac{h_0}{h_1}$

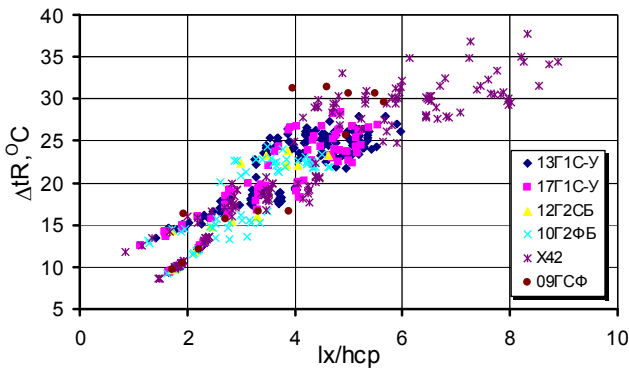


Рис. 1. График зависимости потерь тепла вследствие теплообмена с валами от параметра  $l_x/h_{cp}$

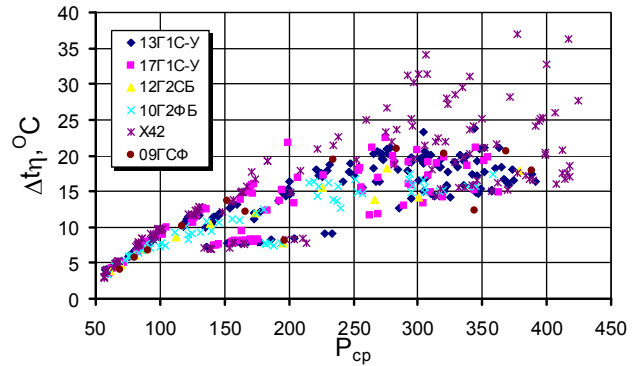


Рис. 2. График зависимости разогрева полосы вследствие пластической деформации от среднего контактного давления

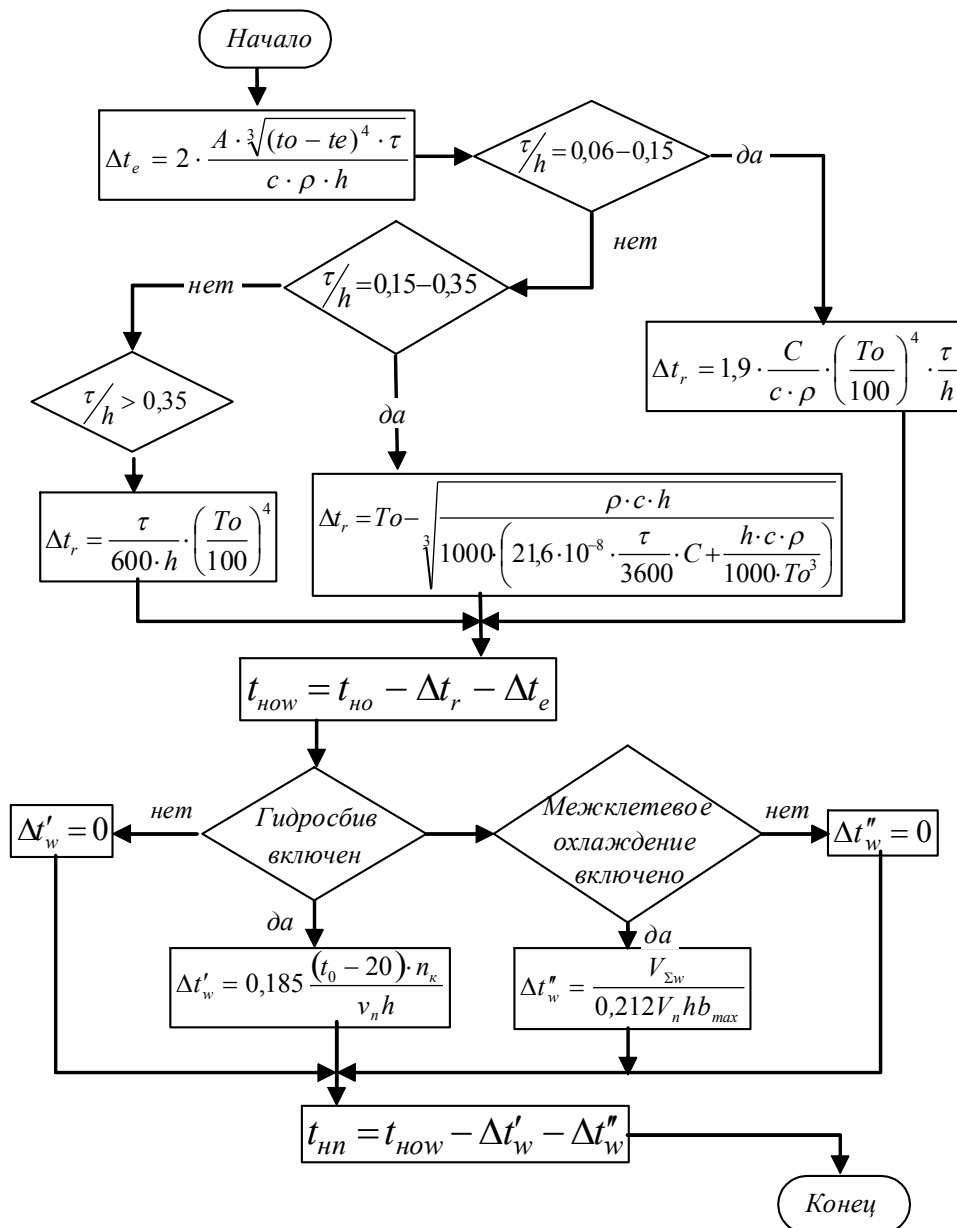


Рис. 3. Блок-схема расчета температуры металла на входе в очаг деформации

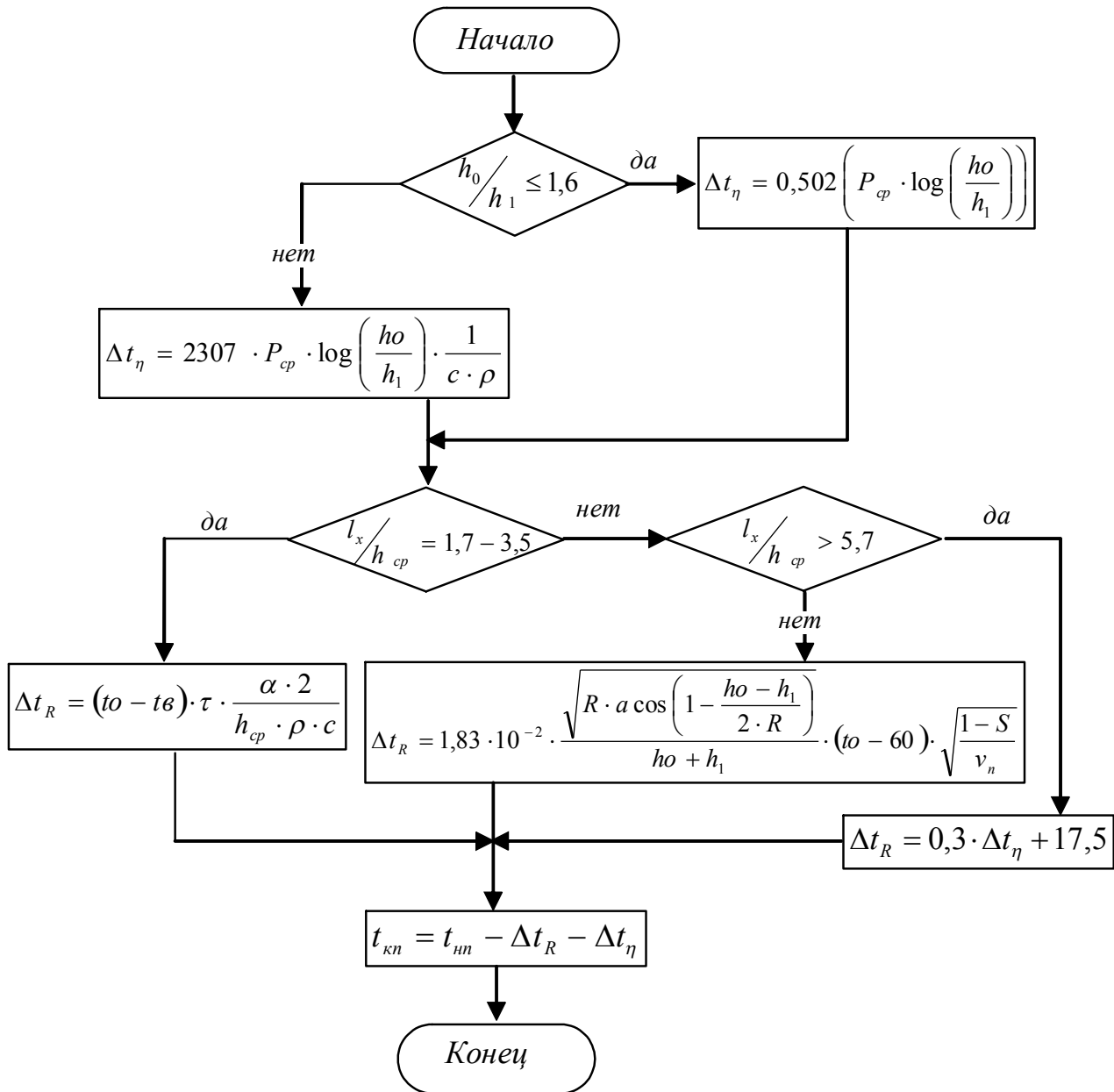


Рис. 4. Блок-схема расчета температуры металла после входа в очаг деформации

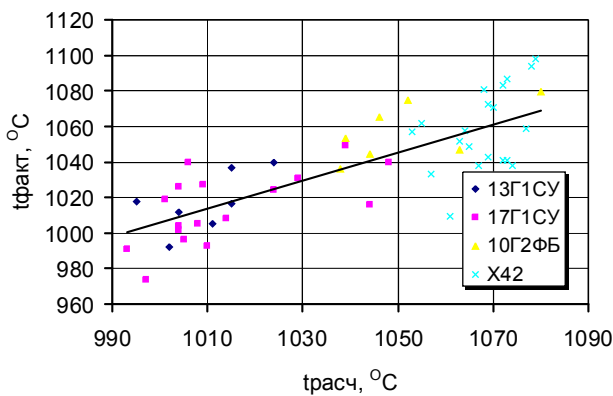


Рис. 5. Погрешность расчета за черновой группой

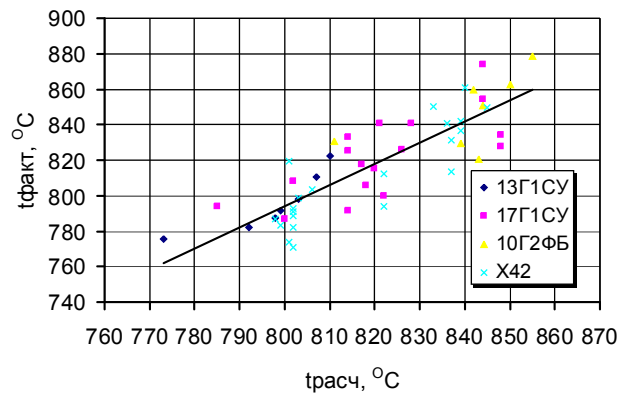


Рис. 6. Погрешность расчета за чистой группой

Следующий шаг проводимого эксперимента состоял в выборе формулы изменения температуры в зависимости от значения фактора. Для этого из всего множества значений влияющего фактора выбрали только уникальные значения. Формула, встречающаяся при данном значении фактора наиболее часто, является предпочтительной для расчета температурной составляющей.

Для расчета потерь тепла излучением предпочтительными являются формулы:

Ловай А., Кройлич Г.

$$\Delta t_r = T_0 - \sqrt[3]{\frac{\rho \cdot c \cdot h}{1000 \cdot \left( 21,6 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{\tau}{3600} \cdot C + \frac{h \cdot c \cdot \rho}{1000 \cdot T_0^3} \right)}}, \quad (1)$$

где  $C = 4,6 \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$ ;

Железнов Ю.Д., Цифринович Б.А.

$$\Delta t_r = 1,9 \cdot \frac{C}{c \cdot \rho} \cdot \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 \cdot \frac{\tau}{h}, \quad (2)$$

где  $C = 4,6 \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$ ;

Тягунов В.А.

$$\Delta t_r = \frac{\tau}{600 \cdot h} \cdot \left( \frac{T_0}{100} \right)^4, \quad (3)$$

где  $C = (1,9-5,54) \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$ .

Для расчета снижения температуры металла за счет конвективного теплообмена выбираем формулу

Крейндлина Н.Н.

$$\Delta t_e = 2 \cdot \frac{A \cdot \sqrt[3]{(t_0 - t_e)^4} \cdot \tau}{c \cdot \rho \cdot h}. \quad (4)$$

Потери тепла полосой за счет контакта с рабочими валками рассчитываем по формулам:

Гелеи Ш.

$$\Delta t_R = (t_0 - t_6) \cdot \tau \cdot \frac{\alpha \cdot 2}{h_{cp} \cdot \rho \cdot c}, \quad (5)$$

Ли П.В., Симс Р.Б., Райт Х.

$$\Delta t_R = 0,3 \cdot \Delta t_\eta + 17,5, \quad (6)$$

Железнов Ю.Д.

$$\Delta t_R = 1,83 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\sqrt{R \cdot a \cos \left( 1 - \frac{h_0 - h_1}{2 \cdot R} \right)}}{h_0 + h_1} \times$$

$$\times (t_0 - 60) \cdot \sqrt{\frac{1 - S}{v_n}}. \quad (7)$$

Для расчета увеличения температуры металла за счет энергии деформации выбранными формулами являются:

Крейдлин Н.И.

$$\Delta t_\eta = 2307 \cdot P_{cp} \cdot \log \left( \frac{h_0}{h_1} \right) \cdot \frac{1}{c \cdot \rho}, \quad (8)$$

Зюзин В.И.

$$\Delta t_\eta = 0,502 \left( P_{cp} \cdot \log \left( \frac{h_0}{h_1} \right) \right). \quad (9)$$

На рис. 3, 4 представлена блок-схема расчета температуры металла с использованием предлагаемой модели.

Для черновой группы относительная погрешность расчета  $\delta_R$  – не более 4,3%, для чистовой группы  $\delta_F$  не превышает 3,8% (рис. 5, 6).

### Выводы

1. По результатам анализа пригодности 33 наиболее известных зависимостей для расчета температуры металла при горячей прокатке сконструирована модель температурного режима прокатки на ШСГП полос толщиной 4–16 мм из низколегированных сталей.

2. Для расчета изменения температуры в результате конвекции допустимо использовать формулу Крейндлина при любом значении  $\tau/h$ .

3. Для расчета увеличения температуры в результате деформации целесообразно использовать формулы Крейндлина и Зюзина в зависимости от значения фактора  $h_0/h_1$ .

4. Для расчета потерь тепла металла за счет контакта с рабочими валками необходимо выбирать формулы Железнова, Гелеи, Ли-Симса-Райта в зависимости от значения фактора  $l_x/h_{cp}$ .

5. Для расчета потерь тепла излучением необходимо выбирать формулы Железнова, Ловайя, Тягунова в зависимости от значения фактора  $\tau/h$ .

6. Сконструированная модель отображает размерные и скоростные особенности прокатки низколегированных марок стали, поэтому рекомендуется к использованию для совершенствования технологии горячей прокатки на ШСГП ОАО «ММК» только для данной сортаментной группы.

### Библиографический список

1. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки: Справочник. М., Metallurgia, 1986. 430 с.
2. К вопросу построения модели для расчета составляющих температурного режима металла в линии широкополосного стана горячей прокатки / Румянцев М.И., Шубин И.Г., Загузов Д.Ю. и др. // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Сб. науч. трудов. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. С. 26–34.