

## ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ЭВТЕКТОИДНОМ ПРЕВРАЩЕНИИ

С.В. Бобырь, Е.С. Закирова, Я.Ю. Якименко

*Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры*

**Введение.** В металловедении одним из основных является представление об  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращении. Изучение различных аспектов этого превращения имеет большое значение и продолжается до данного времени. Знать физическую суть явлений, происходящих в материалах при воздействии на них различных факторов в условиях производства и эксплуатации, необходимо для того, чтобы показать их влияние на свойства металлов. Целью настоящей работы является установление зависимости предела текучести феррито-перлитной стали от величины переохлаждения ниже температуры эвтектоидного превращения.

Переохлаждение стали ниже температуры фазового превращения  $A_{c1}$  – параметр, который играет значительную роль в процессах формирования структуры стали при термической обработке. Следовательно, используя знания о рассмотренной в ходе работы зависимости, можно влиять на свойства стали, обеспечивая необходимые результаты.

**Методика расчетов.** В качестве материала исследования рассмотрены стали доэвтектоидного состава с содержанием перлита 0,1; 0,15; 0,2, с размером зерна 6 баллов. Ранее в работах Пэтча и Холла была выведена зависимость предела текучести от размера зерен феррита:

$$\sigma_T = \sigma_i + K_i * d^{-1/2}. \quad (1)$$

Аналогичная зависимость расчета предела текучести перлита была представлена в работе [1]:

$$\sigma_T = \sigma_i + K_i * (4,75 * S)^{-1/2}, \quad (2)$$

где  $S$  – межпластинчатое расстояние в перлите;

$\sigma_i$  – напряжение трения (сопротивление решетки твердого раствора движению дислокаций);

$4,75 * S$  – максимальное межпластинчатое расстояние, которое может преодолеть дислокация в феррите, входящем в состав перлита;

$K_i$  – коэффициент (для разных сталей практически одинаков; согласно работе [3], примем его равным 2).

При наличии в стали феррита и перлита предел текучести можно представить в виде линейной зависимости:

$$\sigma_T = \sigma_{\phi} * (1 - C_p) + \sigma_n * C_p, \quad (3)$$

где  $C_p$  – относительное содержание перлита в стали;

$\sigma_n$  – предел текучести перлита;

$\sigma_{\phi}$  – предел текучести феррита.

Подставив в уравнение (3) уравнения (1) и (2), получим:

$$\sigma_T = (\sigma_i + K_i * d^{-1/2}) * (1 - C_p) + (\sigma_i + K_i * (4,75 * S)^{-1/2}) * C_p \quad (4)$$

**Результаты расчетов.** Зависимость межпластинчатого расстояния  $S$  от величины переохлаждения  $\Delta T$  установлена в работе [2]:

$$S = \sqrt{\frac{(\alpha_1 + \alpha_2) q \rho D_x}{\alpha \Delta T}}, \quad (5)$$

где  $D_x$  – коэффициент диффузии,  $q$  – удельное количество теплоты, расходуемое на образование перлита;  $\gamma$  – удельный вес железоуглеродистого сплава;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – концентрационные коэффициенты для феррита и цементита соответственно.

Как известно [4], зависимость коэффициента диффузии от температуры имеет вид:

$$D_x = A \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right), \quad (6)$$

где  $Q$  – энергия активации,  $R$  – постоянная.

Диффузия углерода происходит в изотермических условиях при температуре  $T_{\Delta} - \Delta T$ .

$T_{\Delta} = 966 \text{ К}$  – равновесная температура эвтектоидного превращения,

$R = 1,986 \text{ кал/(моль*град)}$ .

Зависимость межпластинчатого расстояния перлита  $S$  от температуры превращения описывается уравнением (5). В отличие от модели Зинера [5], установленная зависимость между  $S$  и  $\Delta T$  не является линейной. Преобразуем это выражение к логарифмической шкале. Имеем:

при  $\Delta T > \Delta T_0$

$$\lg S = K_1 - 0,5 * \lg \Delta T_0 - 0,4343 * Q / (2 * R * \Delta T) \quad (7)$$

при  $\Delta T \leq \Delta T_0$

$$\lg S = K_2 - 0,4343 * Q / (2 * R * T), \quad (8)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – некоторые постоянные величины.

Параметр  $K_1$  можно найти как расчетным путем, так и на основании экспериментальных данных.

В данной работе не была должным образом учтена зависимость предела текучести феррита от переохлаждения.

В расчете полагали, что  $\sigma_{\phi}$  – величина гораздо меньшая, чем  $\sigma_n$ , о чем можно судить исходя из того, что  $4,75 * S$  намного меньше величины  $d^{-1/2}$ , поэтому ее приняли за постоянную величину.

В работе [3] установлено влияние размера зерен феррита на предел текучести низкоуглеродистой стали. Зависимость предела текучести перлита от величины переохлаждения представлена на рисунке 2. Зависимость является довольно точной и совпадает с практическими данными [1; 4].

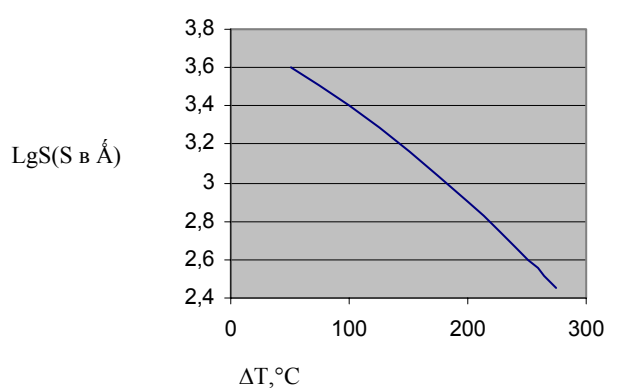


Рис. 1. Зависимость межпластинчатого расстояния перлита от степени переохлаждения сталей.

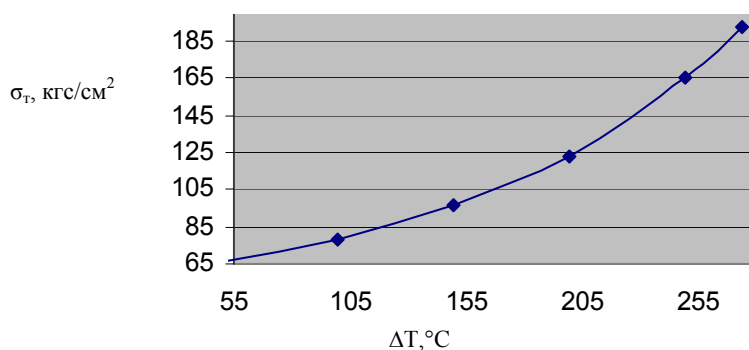


Рис. 2. Зависимость предела текучести перлита от величины переохлаждения.

Величина переохлаждения взята из расчета предельной температуры существования перлита в структуре стали. Согласно указанному в работе [3] соотношению, выберем  $\sigma_{\phi}$  равное 23 кгс/мм<sup>2</sup> при размере зерна в пределах 6-го балла.

Следовательно, уравнение (4) примет вид:

$$\sigma_T = 23 \cdot (1 - C_n) + (\sigma_i + K_i \cdot (4,75 \cdot S)^{-1/2}) \cdot C_n \quad (9)$$

Полученная рассматриваемая зависимость представлена на графике.

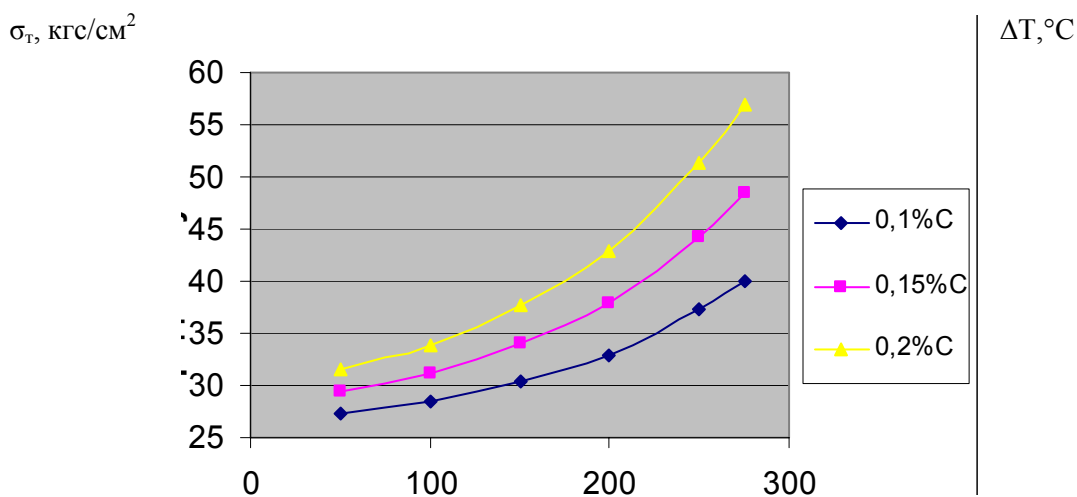


Рис. 3. Зависимость предела текучести феррито-перлитной стали от величины переохлаждения.

## ВЫВОДЫ

1. Уточнена зависимость межпластинчатого расстояния перлита для значительной степени переохлаждения сталей.
2. Установлена теоретическая зависимость предела текучести перлита от величины переохлаждения, с достаточной степенью точности совпадающая с экспериментальными данными.
3. С учетом зависимости предела текучести перлита при сделанных допущениях о величине предела текучести феррита получены зависимости, отражающие влияние величины переохлаждения на предел текучести нелегированной феррито-перлитной стали при различном содержании в ней углерода (0,1 – 0,2 %).

## Литература

1. *Гриднев В.И., Гаврилюк В.Р., Мешков Ю.Я.* Прочность и пластичность холоднодеформированной стали. – К.: Наукова думка, 1974 – 237 с.
2. *В.И. Большаков, С.В. Бобырь.* Кинетические параметры процесса образования перлита в железоуглеродистых сплавах // МиТОМ, 2004. – № 8. – С. 11–15.
3. *Л.И. Гладштейн.* Статистическая зависимость механических свойств строительной стали от величины зерна // МиТОМ, 1995. – № 8. – С. 16–22.
4. *Этин Р.И.* Превращение аустенита в стали. М.: ГНТИ, 1960. 252 с.
5. *Zener C.* Kinetics of decomposition of Austenite // Trans. AIME. – 1946. V. 167. – P. 550.