6. Г а з ы углеводородные сжиженные. Методы определения сероводорода и меркаптановой серы: ГОСТ 22985–90. – Введ. 01.01.92. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 8 с.

7. Г а з ы углеводородные сжиженные. Метод определения общей серы: ГОСТ 22986–78. – Введ. 01.01.80. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 6 с.

8. З о л о т о в, Ю. А. Основы аналитической химии / Ю. А. Золотов. – Л.: Высш. шк., 2000. –253 с.

9. Б р а й н и н а, Х. З. Инверсионные электроаналитические методы / Х. З. Брайнина, Я. Е. Нейман, В. В. Слепушкин. – М.: Химия, 1988. – 239 с.

Представлена кафедрой ПТЭ и Т Поступила 10.10.2011

УДК 669.041

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ГРАФИКИ НАГРЕВА ЭВТЕКТОИДНЫХ СТАЛЕЙ

Докт. техн. наук, проф. НЕСЕНЧУК А. П., магистр техн. наук КОВАЛЕВ С. С., канд. техн. наук РЫЖОВА Т. В., асп. МАТУСЕВИЧ А. В., студ. БЕГЛЯК В. В.

Белорусский национальный технический университет,
ОАО «Минский автомобильный завод»,
УП «Авторемпромпроект»

Сложившийся сегодня номенклатурный ряд изделий, нагреваемых в печах заготовительного и механосборочного производств машиностроительных предприятий, отличается значительной неоднородностью как по массе, так и по теплофизическим характеристикам материала, что не способствует грамотному построению температурного графика ведения процесса нагрева и конструкции нагревательного устройства. В итоге все это приводит к неоправданным затратам органического топлива.

При нагреве должно соблюдаться соответствие температурного графика теплофизическим свойствам садки и, конечно, конструкции нагревательного устройства.

Важнейшим показателем, характеризующим свойства стали (эвтектоидной), служит углерод. Даже его незначительное изменение (рис. 1) заметно влияет на свойства и прочностные характеристики стали. При содержании углерода более 2,14 % свойства и структура теряют свои характерные признаки, и сплав классифицируется как чугун [1].

Поэтому построению температурного графика нагрева под горячее формообразование и термическую обработку в высокотемпературных теплотехнологиях должен предшествовать серьезный анализ условий соответствия конструкции нагревательного устройства (его основных теплообменных характеристик $T_п$, $C_п$ и др.) характеристикам садки (таким как число Bi, теплофизические характеристики металла, взаимосвязь внутреннего теплообмена с теплообменом внешним и пр.) и разработанному графику. И только при наличии такого соответствия можно приступать к разработке и строительству оборудования, в котором будет выполняться нагрев садки.



Рис. 1. Диаграмма состояния (железо–углерод) эвтектоидных сталей

Во всех (без исключения) остальных случаях расход (удельный) натурального топлива (рис. 2) будет в 1,5–3,0 раза превышать норму, температурные напряжения в садке свое максимальное значение приобретают не в зоне основного нагрева (зоны 1 и 2, рис. 3), а в зоне выдержки, что скажется на качестве продукции (после нагружения при горячем формообразовании в изделиях образуются пороки).

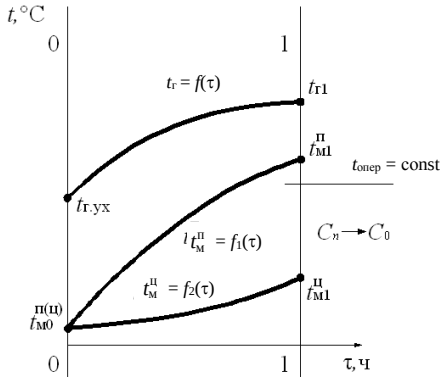


Рис. 2. Нагрев под горячее формообразование при условии $q_{вн} < q_{внешн}$, $t_{м0}^{ц} \sim t_{м1}^{ц}$, $C_n \to C_0$

Отмеченные недостатки, возникающие при нагреве (рис. 2, 3), могут быть исключены, но только в случае разумного согласования свойств нагреваемой стали и температурного графика ведения процесса с тепловыми характеристиками нагревательного устройства (нагревательной, термической печи).

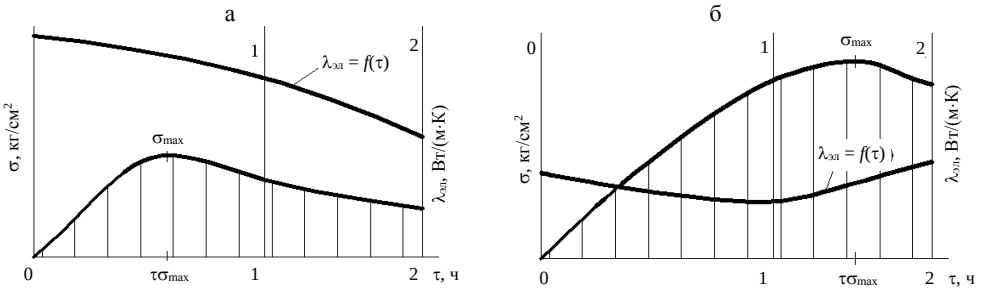


Рис. 3. Влияние величины теплофизических характеристик (теплопроводности стали) на величину напряжений, возникающих в садке при нагревании: а – для эвтектоидных сталей; б – для легированных сталей с низким значением коэффициента теплопроводности; 0–0, 1–1, 2–2 – границы зон основного нагрева садки

Обратимся к анализу влияния теплопроводности стали при нагреве садки на его качество. Наблюдается существенная зависимость (рис. 4) теплопроводности (ее коэффициента λ) с ростом температуры материала, что полностью соответствует диаграмме состояния (рис. 1): с ростом температуры в интервалах: 0–723; 723–910; 910–1392; 1392–1539 °С изменяются структура материала и его кристаллическая решетка [2] (данные для чистого железа).

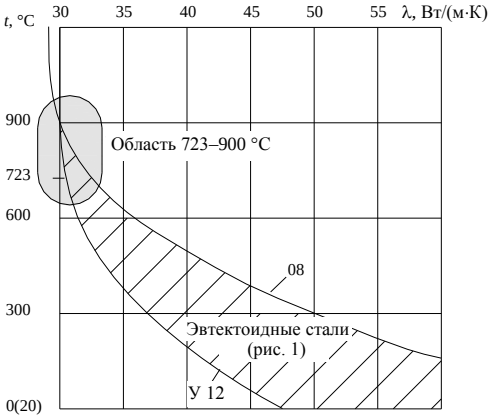


Рис. 4. Изменение теплопроводности эвтектоидной стали (08; Ст. 1; Ст. 3; Ст. 5; Ст. 6; Ст. 7; У 9; У 10; У 12; У 13) при нагревании

В качестве наглядного примера следует обратиться к рис. 5 и 6, на которых приведены кристаллические структуры мартенсита и аустенита. Такая зависимость (в частности, от содержания углерода) также усматривается при сравнении рис. 1 и 4. На обоих графиках стали расположены в порядке 08; Ст. 1; Ст. 3; Ст. 5 и т. д. При этом верхняя кривая (рис. 4) соответствует содержанию углерода 0,08, крайняя снизу – 1,2 % С. Как уже отмечалось, в промежутке (заштрихованная часть графика, рис. 4) расположены линии для Ст. 1; Ст. 3 и т. д. Такая зависимость также усматривается в точке, где металл имеет температуру 723 °С (рис. 1, 4), при нагревании до которой свойства (теплопроводность) изменяются незначительно и слабо зависят от температуры. После прохождения температуры 723 °С (700–900 °С) изменения кристаллической решетки становятся весьма ощутимыми, вплоть до линии *AE* диаграммы состояния. Что касается промежутка между линиями *GSE* и *AE* диаграммы, то структура металла здесь не изменяется (зона аустенита), а следовательно, зависимость (в интервале температур 700–900 °С) $\lambda = f(t)$ практически не наблюдается, затемненная область графика (рис. 4).

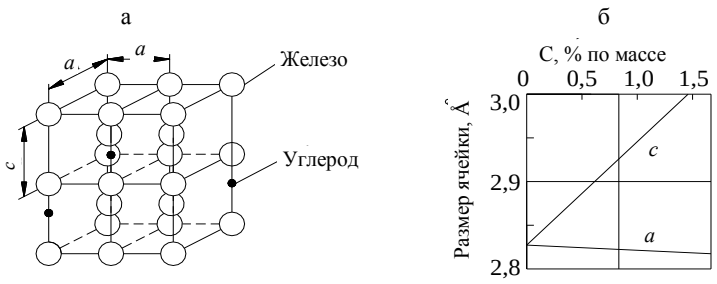


Рис. 5. Кристаллическая структура мартенсита: а – кристаллическая решетка; б – периоды решетки в зависимости от содержания углерода [3]

Для кристаллических металлических веществ формула для нахождения коэффициента теплопроводности имеет вид [4]

$$\lambda_{\Sigma} = a\lambda_{реш} + b\lambda_{эл}, \qquad (1)$$

где λ_Σ – эффективный коэффициент теплопроводности; *a, b* – эмпирические коэффициенты, зависящие от типа (вида) кристаллической решетки и структуры нагреваемого материала; $\lambda_{реш}$ – теплопроводность (проводимость) кристаллической решетки, связанная с колебаниями атомов (фононами); $\lambda_{эл}$ – то же, обусловленная электронами проводимости, модели кристаллической решетки.

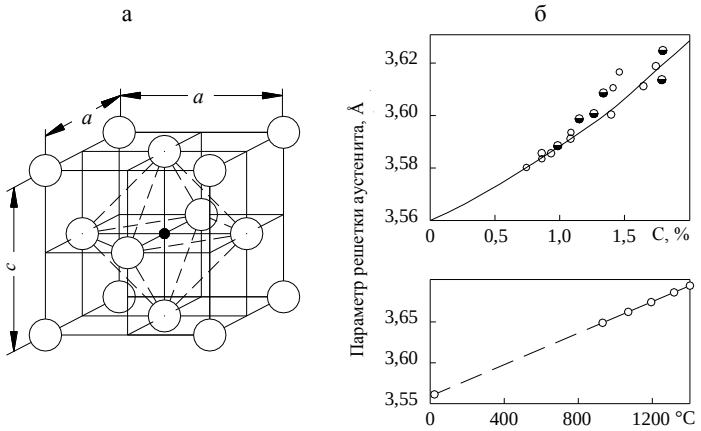


Рис. 6. Кристаллическая структура аустенита (а); периоды решетки в зависимости от содержания в сплаве углерода и температуры нагрева садки (б) [3]

При этом превалирующим механизмом процесса теплопроводности металлов (сплавов) является теплота электронной проводимости решетки. Что касается решеточной проводимости, входящей в (1), то ее величина незначительна. Она на порядок ниже по сравнению с электронной. Тогда для эвтектоидных сталей (1) перепишем

$$\lambda_\Sigma = \lambda_{эл} b. \qquad (2)$$

В Ы В О Д Ы

Показано, что при разработке температурного графика нагрева под горячее формообразование и термическую обработку, предшествующих строительству нагревательного устройства, необходимо соблюдать основные принципы согласования теплофизических свойств нагреваемого материала со свойствами (характеристиками) графика нагрева и конструкции нагревательного устройства (печи).

Также авторами показано, что игнорирование условий такого согласования всегда приводит к увеличению расхода условного топлива на нагрев, а в наиболее тяжелых случаях – к порче нагреваемого металла.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. М е т а л л о в е д е н и е и технология металлов: учеб. для вузов / Ю. П. Солнцев [и др.]. – М.: Металлургия, 1988.

2. Л а х т и н, Ю. М. Материаловедение: учеб. / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990.

3. Г у л я е в, А. П. Металловедение: учеб. для вузов / А. П. Гуляев. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1977.

4. Л и в ш и ц, Б. Г. Физические свойства металлов и сплавов / Б. Г. Лившиц, В. С. Крапошин, Я. Л. Линецкий. – М.: Металлургия, 1980.

Представлена кафедрой ПТЭ и Т Поступила 09.09.2011