

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КОТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ И МЕТАЛЛОВ

Венец Ю.С.

г. Никополь, Днепропетровская обл., Украина, НМетАУ
veniu@rambler.ru

В котельных сталях установлено влияние наличия в интервале их кристаллизации точки плавления атомов никеля на формирование разнотерности микроструктуры готовых труб. Отличие в разнотерности сопоставляется с различной жаростойкостью сталей 08X18H10T в 610 °С и 10X13Г12С2Н2Д2Б(ДИ-59) в 700 °С, что объясняется порционными изменениями теплоемкости основы сталей — железа. Приведены термодинамические описания теплоемкости железа, циркония и титана в связи с температурными зависимостями структуры электронной конфигурации этих элементов.

Металлы распространённые конструкционные материалы ядерной энергетики [1], где тепло цепной реакции топливных радиоактивных элементов преобразовывают в образование паров воды и их используют в паровых турбинах для выработки электроэнергии. При этом металлы подвергаются нагреву.

При нагреве у ферромагнитного Fe на кривой интегральной теплоемкости (рис.1) — излом в точке Кюри (фазовый переход второго рода) [2]. Для парамагнитных Ti и Zr мгновенная теплоемкость также предполагается с такими экстремумами.

Исходя из ранее проведенных исследований теплоемкость элементов предлагается описывать по параметру электронной конфигурации [3] (табл.1), рассчитываемого как:

$$\ln[a_i(T)] = A_i/T + B_i \quad (1)$$

Мольные теплоемкости, электронная C_{el} и не-электронная C_2 , описаны по:

$$C_{el} = dG(T)/dT = d\{RT \ln[a_i(T)]\}/dT = R \cdot B \quad (2)$$

$$C_2 = C_{el} K_0 e^{a_i(t)}, t < t_K \quad (3)$$

$$C_2 = C_{el} K_0 \cdot \frac{\int_{t_0}^x e^{a_i(t)} dt}{t_K - t_0}, t > t_K \quad (4)$$

Суммарная теплоемкость элементов:

$$C_{ai}^i(t) = C_{el} + C_2 \quad (5)$$

При температуре плавления элементов их теплоемкость по этим расчетам равна 9R/2 ($\Delta Fe-0,01\%$; $\Delta Zr-1,3\%$; $\Delta Ti-0,4\%$). С полученными ранее температурной зависимостью прочности сталей 08X18H10 и 20X25H19C2Л [4], количества феррита (0–60%) [5], растворимости азота [3] выполненные по (1) расчеты теплоемкости (рис.2, 3) на основе электронного строения рекомендуются как термодинамические.

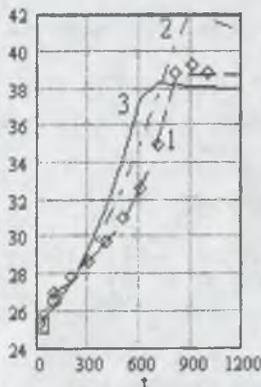


Рис. 1. Удельная мольная теплоемкость от 20°С (Дж/моль·°К).

Линии – расчетные данные, точки – литературные;
◊ – Fe, ◻ – Zr, ○ – Ti;
1 – Fe, 2 – Zr, 3 – Ti.

Таблица.1. Энергетические параметры (1) – (4).

Эл.	A	B	K_0	$t_K, ^\circ\text{C}$	$a(t_K)$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$a(t_0)$
Fe	-1909	2,528	2/7	768	2,0	17	1/56
Ti	-1166	1,702	5/7	627	1,5	-12	3/48
Zr	-1247	1,503	1	863	1,5	-66	1/91

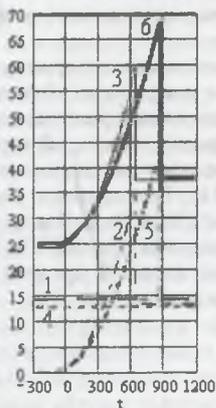


Рис. 2. Молярная теплоемкость, Дж/моль·°К.
1-3 – Ti; 4-6 – Zr; 1,4 – Cel;
3,6 – атома 2, 5 – [C₂ – K₀Cel].

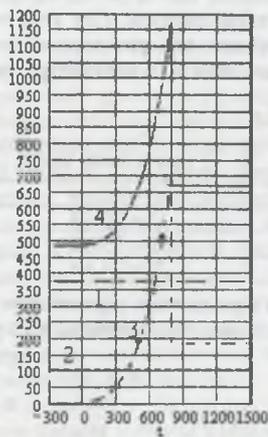


Рис. 3. Удельная теплоемкость Fe (Дж/кг·°К).
1 – Cel; 4 – атома,
2 – C₂ 3 – C₂'

В аустенитной стали 026X16Н15МЗБ(ЭИ 844БУ-ИД) для ТВЭЛ установлена однородность микроструктуры труб при уменьшении разноразмерности [6] (по ТУ 14-3-550 зерно №№7-11[1]). В итоге исследование ползучести обнаружило ее меньшую скорость на трубах [6], что определило увеличение срока эксплуатации труб-оболочек ТВЭЛ в активной зоне ядерных реакторов[6]. Авторы ГОСТ 5639 «Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна» предписывали разноразмерность описывать несколькими номерами зерна, «отличающиеся ... более чем на 1 номер» (т.е. 2 и более). При этом там же допускается расхождение оценок величины зерна методом сравнения не более одного номера. Ограничение по разноразмерности для стали 08X18Н10Т для АЭС зафиксировано ТУ 14-3-197 в ограничении размера зерна допустимым номером 5 [1] и для стали 026X16Н15МЗБ(ЭИ 844БУ-ИД) для труб-оболочек ТВЭЛ АЭС по ТУ 14-3-550 — номером 7 [1].

Микроструктуры металла 08X18Н10Т готовых труб (размер зерен №№4, 6, 8) и 03X17Н14М2 (размер зерен №№6, 8)[7] отличаются как по разноразмерности, так и по степени деформации 86% и 78% соответственно. Причиной этого полагается наличие у стали X18Н10Т точки плавления атомов никеля (1455°C) в температурном интервале ее кристаллизации (1440-1470°C), в отличие от стали 03X17Н14М2 с интервалом <1455°C, где этого нет, как и у сталей 026X16Н15МЗБ(ЭИ844БУ) и 10X13Г12С2Н2Д2Б(ДИ-59).

Анализ расчета теплоемкости основы сталей (железа), согласно выражению (1), выявил структурность увеличения неэлектронной части теплоемкости C_2 (рис.3, табл.2).

$$C_{Fe}(t) = Cel + C_2 = Cel + C_2' + C_2'' \quad (6)$$

Жаростойкость стали 08X18H10T в 610°C [8] сопоставляется с зёрнами 3-х номеров (№№4,6,8) и 3-х частей C_2 при этой температуре до точки Кюри (T_k) в 768°C, у 10X13Г12С2Н2Д2Б (ДИ-59) с 700°C [8] — 2-х (№№6,8) и 2-х частей C_2 при низкой концентрации серы. В терминах модели Холла-Петча большие по размеру зёрна обладают меньшей электронной плотностью [9], а также большей теплоёмкостью, что может приводить к прогару при эксплуатации на максимальных температурах. Повышение жаростойкости металлов вплоть до T_k , вероятно, обеспечивается формированием однородной зеренной микроструктуры. При этом ее разнородность для котельных аустенитных сталей менее двух номеров достичь, по-видимому, не удастся из-за деления электронной структуры γ -железа на две подструктуры [10].

Таблица 2.

$t, ^\circ\text{C}$	C_2 , части дроби $Ce/14$.
483	$11 = 7 \cdot 1 + 4$
610	$17 = 7 \cdot 2 + 3$
700	$23 = 7 \cdot 3 + 2$
768	$29 = 7 \cdot 4 + 1$

сравняется с равенством параметра ее электронной структуры $a(t)$ в 2,75 при этой температуре – половине этой величины в 5,5 у урана при плавлении по:

$$\ln[a_U(T)] = -3410/T + 4,131 \quad (7).$$

Список литературы

1. Проблемы оценки качества металла труб активной зоны атомных реакторов в процессе дореакторных испытаний / Е.Я. Лезинская, Т.Н. Бурак // ВАНТ 2004. №3. - С.66-75.
2. Марочник сталей и сплавов. Справочник. Под ред. М.М. Шишкова. Изд.3-е доп. Донецк: Юго-Восток. - 2002. 456 с.
3. Dependence of the nitrogen solubility in austenite and ferrite on alloying at the elemental level / Yu. Venets // High Nitrogen Steels' 2009. proc. of conf. М.: MISIS. 2009. - P. 57-63.
4. Расчет термодинамики предела текучести литых аустенитных жаропрочных сталей. / Венец Ю.С. // I московские чтения по проблемам прочности. Тез.докл. М.: 2009. – С.46.
5. Термодинамика выделений разупрочняющего феррита из литых аустенитных коррозионно-стойких сталей / Венец Ю.С. // там же. С. 45.
6. Формирование структуры и свойств стали и сплавов при изготовлении труб для ядерных энергетических установок : а-реф. дис. д.т.н. / В.С. Вахрушева Дн-ск: НМетАУ.-2003.-33 с.
7. Получение высококачественных труб из металла газокислородного рафинирования / Г.Г. Шепель, Т.Н. Бурак, В.С. Вахрушева А.В. Рабинович, Ю.В. Садовник, Ю.А. Нефедов // Металл и литье Украины. – 2009. №3. – С.23-24.
8. Жаростойкая, жаропрочная хромомарганцевая аустенитная сталь ДИ – 59 / Чель Л.А., Кузнецов Е.В., Орлов А.С., Школьников Б.Э. // Вестник МГТУ – 2008. №4. С.19-22.
9. Расчетный метод оценки структуры и механических свойств аустенитных и углеродистых сталей / Ю.С. Венец // Металлофизика, механика материалов, наноструктур и процессов деформирования МЕТАЛЛДЕФОРМ-2009 : 3-я междунар. науч.-техн. конф., СГАУ : тр. конф., Т 1., – Самара: из-во учебной литературы. – 2009. – С. 21-30.
10. О взаимосвязи растворимости газов в твердом железе и его электронной конфигурацией / Ю.С. Венец // Теория и практика металлургии. – 2006. – №1.2. – С. 38-42.
11. Проблемы радиационной стойкости конструкционных материалов ядерной энергетики / В.Н. Воеводин, И.М. Неклюдов // Вестник харьковского университета. – 2006. – №746 – С.3 – 22.