

О СТИМУЛИРУЮЩЕМ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕПЛООВОГО УДАРА НА ПРОЦЕССЫ СФЕРОИДИЗАЦИИ ЦЕМЕНТИТА В ПЕРЛИТНОЙ СТАЛИ

Пушкина О.В., Зозуля А.П.

Руководитель – проф., д.т.н. Алимов В.И.
ДонНТУ, г. Донецк, zozulyanastya@yandex.ua

Произведена оценка воздействия теплового удара на процессы сфероидизации цементита в перлитной стали; тепловой удар создавали пропусканием электрического тока через проволочные образцы из эвтектоидной углеродистой стали.

Проволока из углеродистой стали, содержащей порядка 0,8 % углерода, с исходной сорбитной структурой, подвергается холодной пластической деформации, характеризуется деформированными фазами феррита и цементита. Как следствие, в цементите формируется дислокационная структура, характеризующаяся формированием субграниц, являющимися потенциальными местами деления цементитной пластины при последующей сфероидизации. При ударном тепловом воздействии эти процессы могут быть активированы. В местах выхода субграниц на поверхность цементитной пластинки поверхностные напряжения не уравниваются друг друга, на поверхности пластины возникают канавки с углом, обеспечивающим равновесие. За счет переноса углерода на субграницах, происходит продвижение канавок вглубь цементита, как следствие происходит деление цементитной пластины по субгранице [1].

Формирование субграниц при воздействии теплового удара может привести к ускорению сфероидизации и коагуляции цементита. Для проволочных изделий наиболее удобным и эффективным тепловым воздействием может быть кратковременное (0,1–0,2 с) пропускание электрического тока высокой плотности ($\sim 3 \times 10^9$ А/м²) [2–4].

Целью данной работы является аналитическая оценка возможности инициирования деления и сфероидизации цементита посредством пропускания импульсов тока (теплового удара).

Так как сфероидизация происходит при воздействии теплового удара, из этого следует, что цементит (Ц) должен обладать большей энергией и выделять больше тепла в сравнении с ферритом (Ф). Для анализа нами были приняты следующие допущения для последующих расчётов.

В качестве материала приняты образцы проволоки из эвтектоидной стали, длиной 60 мм, Ø2 мм, для которых определяли электрическое сопротивление пластин Ф и Ц по формуле:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1)$$

где l и S – длина и сечение пластин феррита / цементита.

Известно, что удельное электросопротивление цементита ($\rho_{ц}$) и феррита ($\rho_{ф}$) равно соответственно $140 \cdot 10^{-8}$ и $10,4 \cdot 10^{-8}$ Ом·м [5], а также, что толщина пластины Ф больше толщины пластины Ц в среднем в 7,5 раз. При этом, учитывая, что межпластиночное расстояние равно усредненному значению толщин пластинок Ф и Ц, и принимая, что длина пластинок Ф и Ц приблизительно соответствует диаметру сорбитной колонии, которая примерно равна 1/5 диаметра зерна аустенита [6], рассчитывали электрическое сопротивление одной пластины Ф и Ц.

Принимаем, что ток, проходящий через образец, распределяется на пластины Ф и Ц в соответствии с их объемным соотношением. Для определения силы тока, проходящего через образец, проводили испытание, в ходе которого получили следующие данные: $U = 24,6$ В; $R = 24,8 \cdot 10^{-6}$ Ом, $I = 10^4$ А. Для того, чтобы определить значения силы тока, проходящего через одну пластину Ф и Ц, использовали формулу:

$$I_{Ф/Ц} = \frac{\sum I_{Ф/Ц}}{n_{Ф/Ц}} \quad (2)$$

где $\sum I_{Ф/Ц}$ – это суммарный ток, проходящий через все пластины феррита и цементита;

$n_{Ф/Ц}$ – количество пластин Ф и Ц в заданном объеме.

Используя приведенные данные (табл. 1), рассчитали с помощью закона Джоуля-Ленца количество тепла (Q), выделяемое в пластинах Ф и Ц по отдельности при прохождении через них тока.

Полученные в ходе расчетов данные сведены в таблицу 1.

Видно, что при кратковременном пропускании электрического тока высокой плотности большее количество энергии выделяется в цементитных пластинах. Известно [7], что запас энергии в бездислокационном цементите находится на уровне $0,64 \times 10^{-19}$ Дж, а при наличии дислокаций – $1,6 \times 10^{-19}$, что при дальнейшем пропускании тока способствует накоплению еще большего количества энергии на дислокациях.

Действие электрического тока на цементит можно сравнить с действием ударной волны при деформировании металла взрывом [8]: электрический ток возбуждает колебание атомов, которые скапливаются на границах субзерен и тем самым облегчают преодоление потенциального барьера – субграницы – при этом увеличивается энергия на границах, а, следовательно, повышается количество тепла, выделяемое при делении цементитной пластинки.

Таблица 1 – Результаты расчетов параметров после импульсного пропускания тока через двухфазную сталь

Параметр	Цементит		Феррит	
	min	max	min	max
Сечение $S, м^2 \cdot 10^{-12}$	0,066	0,165	0,494	1,237
Объем $V, м^3 \cdot 10^{-18}$	0,289	1,452	2,171	10,888
Сопротивление $R, Ом \cdot 10^{-2}$	74,67	93,33	0,74	0,93
Сила тока $I, А \cdot 10^{-7}$	0,15	0,77	1,15	5,77
Количество пластин в заданном объеме, $\cdot 10^9$	27,27	136,99	13,68	68,6
Количество тепла $Q, Дж \cdot 10^{-16}$	0,168	5,534	0,098	3,096

Таким образом, показано, что при тепловом ударе, получаемом посредством импульсного пропускания электрического тока, в перлитной стали активируются процессы сфероидизации цементита, начинающегося, главным образом, на дислокационных субграницах в цементитных пластинах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Яковлева, И. Л. Особенности перлитного превращения в углеродистых сталях / И. Л. Яковлева, Д. А. Мирзаев, В. М. Счастливец // Сб. науч. тр. Вып. 1.
2. Samuel E. I. Accelerated spheroidisation induced by high intensity electric pulse in a severely deformed eutectoid steel / E. I. Samuel, A. Bhowmik, R. S. Qin // J. Mater. Res.– 2010. – Vol. 25, № 6. – P. 1020–1024.
3. Qin R. S. Electropulse-induced cementite nanoparticle formation in deformed pearlitic steels / R. S. Qin, E. I. Samuel, A. Bhowmik // J Mater Sci.– 2011.– № 46. – P. 2838–2842.
4. Пат. № 69766 Україна, МПК C21D9/52 (2006.01). Спосіб термообробки сталевго холоднодеформованого дроту / Алімов В. І., Олейнікова (Пушкіна) О. В., Алімова С. В., Туков В. А., Пономарева І. В. -№ u201113101; заявл. 07.11.2011; опубл. 10.05.2012, бюл. № 9.
5. Таблицы физических величин. Справочник / под ред. И. К. Кикоин. – М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.
6. Лившиц, Б. Г. Физические свойства металлов и сплавов / Б. Г. Лившиц, В. С. Крапошин, Я. Л. Линецкий; под общ.ред. Б. Г. Лившица. – М.: Мир, 1982. – 447 с.
7. Соснин, О.В. Эволюция структуры и перенос атомов углерода в зоне усталостного роста трещины феррито-перлитной стали / О. В. Соснин, В. В. Целлермаер, Ю. Ф. Иванов [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2003. - № 10. – С. 79-87.
8. Эпштейн, Г. Н. Строение металлов, деформированных взрывом. / Г. Н. Эпштейн. – М.: Metallurgia, 1988. – 280 с.