

*к. т. н., доц. Ершов В.М.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **ТЕРМИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ ЦЕМЕНТИТНОЙ ФАЗЫ**

*Методом високотемпературної рентгенівської дифрактометрії досліджене термічне розширення кристалічних ґрат цементитної фази високовуглецевої сталі й білого чавунця. Установлено факт анізотропії термічного розширення цементиту при температурах нижче крапки Кюрі карбїду заліза*

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

Известно, что термоциклическая прочность металлических материалов в значительной степени зависит от соотношения термических коэффициентов расширения фаз, входящих в состав его структуры [1]. Большая разница в коэффициентах термического расширения (далее – КТР) фаз может привести к возникновению значительных межфазовых напряжений в изделиях при нагреве и охлаждении. Эти напряжения способны вызвать пластическую деформацию фаз или привести к хрупкому разрушению материала.

Исходя из особой важности цементитной фазы в механических свойствах железо-углеродистых сплавов, необходимо знать характеристики термического расширения цементита и соотношение КТР основных фаз металлического материала.

### **Анализ исследований и публикаций.**

Анализу термического расширения посвящен ряд исследований автора и других исследователей [2,3,4]. Так, в работе [3] автор методом высокотемпературной рентгенографии исследовал термическое расширение цементитной фазы железо-углеродистых сплавов. Здесь было установлено, что в области низких температур (до 200<sup>0</sup>С) КТР цементита в два раза меньше, чем у феррита. При нагреве выше точки Кюри ( для цементита - 210<sup>0</sup>С) КТР резко возрастает и достигает значений, свойственных ферритной фазе. Причем, все расчеты КТР в вышеназванных работах производились на основе анализа температурной зависимости межплоскостных расстояний кристаллической решетки цементита.

Данных по температурной зависимости параметров решетки цементита в литературе нет.

#### Постановка задачи.

Целью настоящей работы является анализ термического расширения кристаллической решетки цементита с расчетом параметров решетки и КТР для различных кристаллографических направлений.

#### Изложение материала и его результаты

Для настоящего исследования были выбраны железоуглеродистые сплавы: сталь У13А (1.28%С) и белый чугун (5.25%С). Из отожженных прутков исследуемых сплавов изготовили тонкие пластинки (20x10x1 мм) для проведения высокотемпературных рентгеновских исследований. Перед рентгеновской съемкой все образцы шлифовали и подвергали электрополировке.

Образцы-пластинки устанавливали в нагревающее устройство вакуумной высокотемпературной приставки УВД-2000 рентгеновского дифрактометра ДРОН-1.5 и при нагреве с температурными остановками через 25-50<sup>0</sup>С, вели запись дифрактограмм. Во время температурных остановок поддержание температуры в нагревающем устройстве осуществлялось с помощью высокоточного регулятора ВРТ-2 .

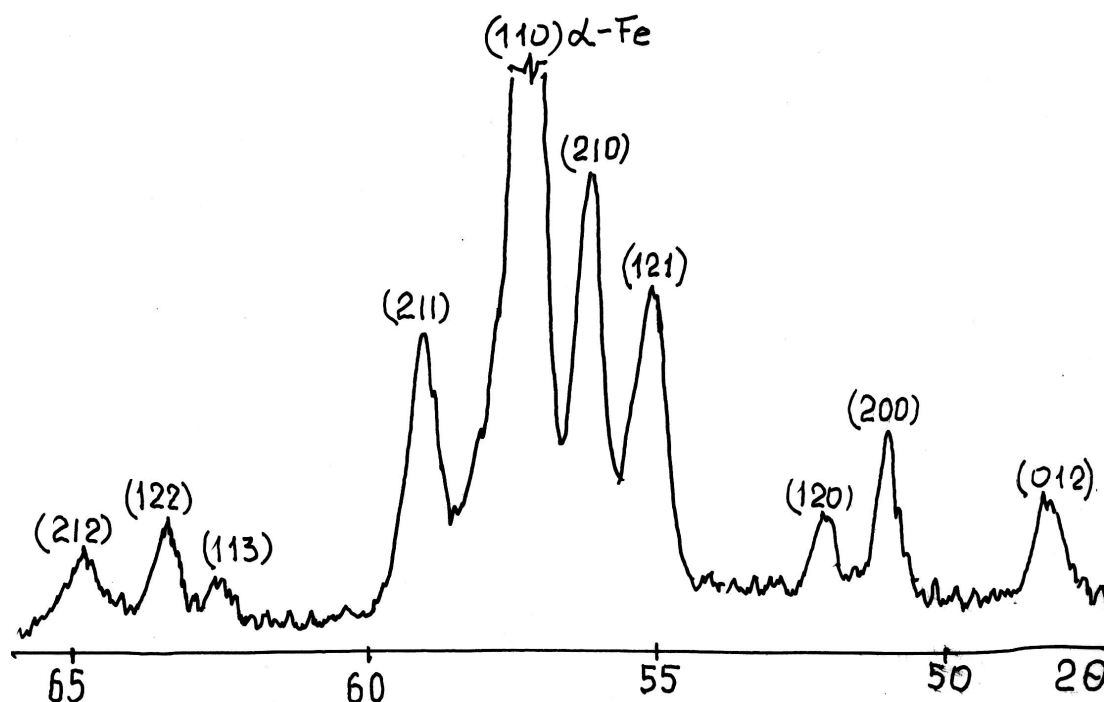


Рисунок 1.- Участок дифрактограммы исходного состояния образца из стали У13А. Фильтрованное железное излучение. Указаны индексы плоскостей цементитной и ферритной фаз.

Рентгенографирование образцов вели в железном фильтрованном излучении трубки БСВ-28. На ленте потенциометра регистрировали несколько дифракционных линий цементитной фазы: (121), (210), (211), (113) и (122), а также линию (110) ферритной фазы. Пример дифрактограммы стали У13А приведен на рис.1.

Как и в работе автора [3], расчет КТР проводили по результатам измерения межплоскостных расстояний в кристаллической решетке. Отличие состояло только в том, что данные по межплоскостным расстояниям были использованы для расчета параметров сложной ромбической решетки цементита:  $a, b, c$ . Расчет параметров кристаллической решетки производили на ЭВМ, решая системы из 3-х уравнений по методу Гаусса-Крамера.

Предварительный анализ точности измерения периодов решетки по дифракционным линиям с малыми индексами показал, что при уровне значимости в 0.05, погрешность измерения не превосходила величину в 0.001Кх. Учитывая то обстоятельство, что интенсивность дифракционных линий цементита весьма мала, не представлялось возможным произвести регистрацию дифракционных линий под большими углами. Кроме того, специфика высокотемпературных съемок такова, что в ходе исследования нет возможности многократного повторения съемок при постоянной температуре, а это приводит к необходимости использовать расчетную погрешность на весь температурный интервал исследования каждого образца.

Дифрактограммы белого чугуна имели существенно большую интенсивность дифракционных линий, чем у стали, что связано с большей объемной долей цементитной фазы (70-75%).

На рис.2 приведены данные по температурной зависимости параметров решетки цементитной фазы стали У13А и белого модельного чугуна.

Здесь видно, что температурная зависимость периодов решетки цементита стали и чугуна заметно различаются. Так, параметр решетки  $a$  цементита стали при нагреве до 200-250<sup>0</sup>С уменьшается, в то время как параметры  $b, c$  возрастают. Это говорит о том, что при низких температурах цементит ведет себя как анизотропный кристалл. Подобного эффекта у цементита белого чугуна не наблюдается. Здесь параметр решетки постоянно возрастает при нагреве.

Вторая аномалия параметра решетки цементита связана с началом процесса аустенитизации сплавов. Выше 730<sup>0</sup>С все три параметра решетки цементита у стали начинают уменьшаться и эта тенденция сохраняется при нагреве вплоть до полного исчезновения линий этой фазы. То-

лько параметр  $c$  при нагреве проходит минимальные значения, после чего вновь начинает расти до исчезновения дифракционных линий.

Аналогичная закономерность проявляется и у цементита белого чугуна. Здесь только часть цементита растворяется в аустените, поэтому основная доля первичного и ледебуритного карбида продолжает интенсивно расширяться до высоких температур ( $1020^{\circ}\text{C}$ ). Только параметр  $a$  цементитной фазы с завершением процесса аустенитизации продолжает скачкообразно изменяться. Этому явлению пока нет объяснения, но можно предположить, что снижение параметров решетки в процессе аустенитизации связано с частичным обезуглероживанием цементитных пластин как в стали, так и в белом чугуне. Здесь требуются специальные исследования.

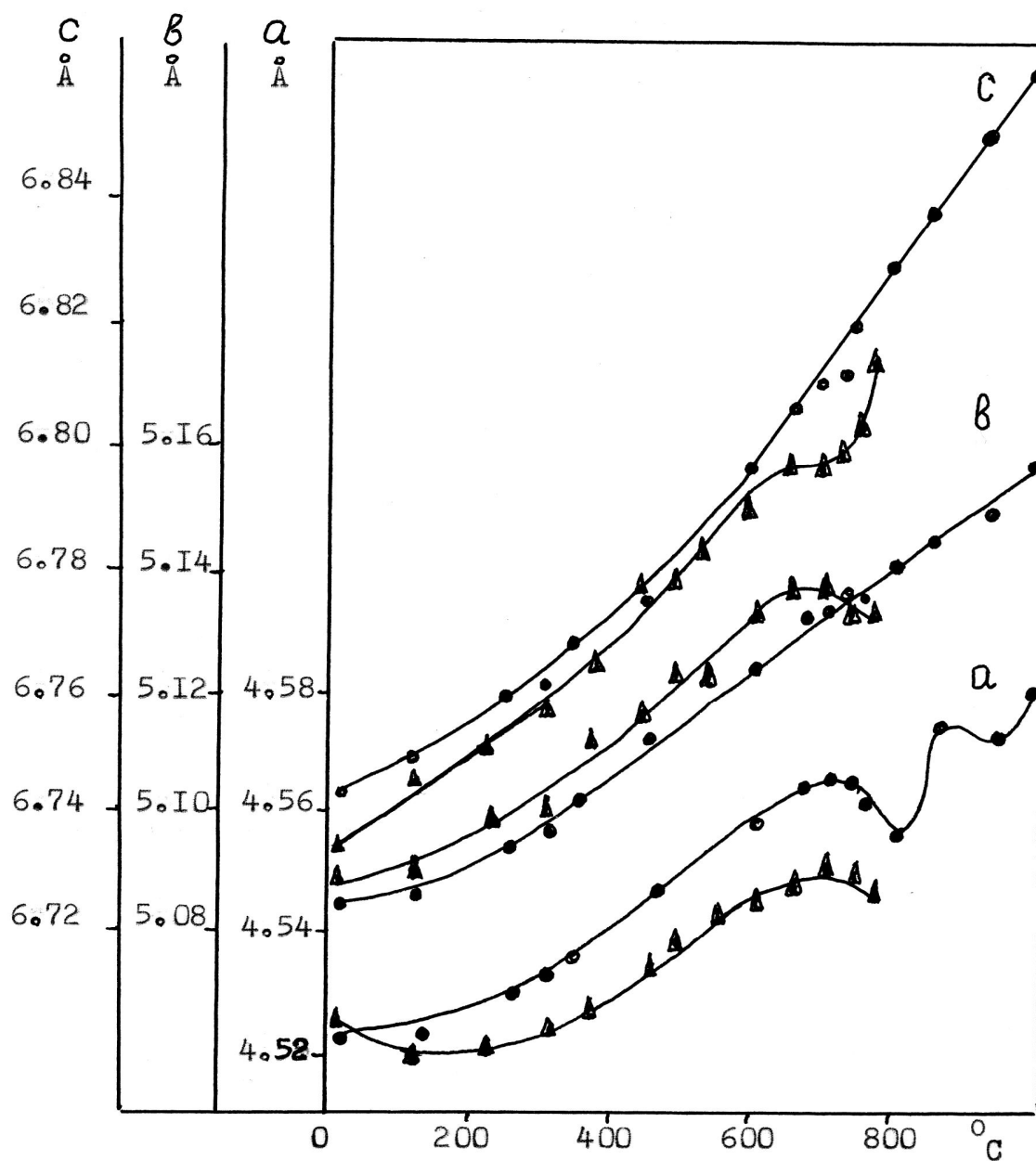


Рисунок 2. - Температурная зависимость параметров решетки цементитной фазы стали У13А (▲) и белого чугуна (●).

Полученные значения параметров решетки цементита были использованы для расчета КТР по формуле [3]:

$$\alpha_t = \Delta\alpha/\alpha_0 \Delta t,$$

где  $\alpha_t$  – КТР фазы;

$\Delta\alpha$  – изменение параметра решетки фазы в интервале изменения температуры  $\Delta t$ ;  $\alpha_0$  – исходное значение параметра решетки.

Температурная зависимость параметра кристаллической решетки  $\alpha$  определяет КТР по направлению в решетке - [100], - в – [010] , с – [001] .

Расчетные значения коэффициента термического расширения цементитной фазы углеродистой стали и белого чугуна приведены в таблице. Здесь представлены значения КТР для трех основных направлений в кристаллической решетке цементита и трех температурных интервалов.

Температурный интервал для расчета КТР	КТР цементита стали $\alpha_t, 10^{-6} \times 1/\text{град}$			КТР цементита белого чугуна $\alpha_t, 10^{-6} \times 1/\text{град}$		
	[100]	[010]	[001]	[100]	[010]	[001]
20-200	-14,7	+6,8	+15,6	+7,3	+7,9	+10,4
200-600	+12,9	+15,9	+16,0	+17,0	+17,2	+16,8
800-1000	-	-	-	+17,9	+15,2	+26,7

Таблица. Расчетные значения коэффициента термического расширения кристаллической решетки цементитной фазы -  $\alpha_e$  для стали и белого чугуна. ( $\alpha_t \pm 1 \times 10^{-6} \times 1/\text{град}$ )

Из данных таблицы следует, что у цементитной фазы стали, при температурах ниже точки Кюри проявляется ярко выраженная анизотропия термического расширения. В то время как КТР по направлениям [010] и [001] имеет положительные значения, по направлению [100] обнаруживается отрицательная величина, т.е. по двум направлениям идет расширение решетки, а по третьему – сжатие. За точкой Кюри (210<sup>0</sup>С) цементит стали теряет анизотропию и его термическое расширение идет изотропно. Причина данного явления, вероятнее всего, связана с ферромагнитными свойствами цементита. Когда обменное взаи-

модействие атомов железа в смежных призматических цепочках структуры цементита стягивает решетку в одном направлении, то в двух других – растягивает.

Потеря цементитом ферромагнитных свойств при температурах выше точки Кюри делает эту фазу подобной нормальным твердым растворам, у которых КТР изотропен.

Термическое расширение цементита белого чугуна заметно отличается от цементита стали. Это касается низкотемпературной области нагрева, т.е. ниже  $200^{\circ}\text{C}$ , где наблюдается весьма слабовыраженная анизотропии КТР, а термическое расширение характеризуется положительными значениями коэффициента КТР.

Причина существенных различий в КТР стали и белого чугуна пока не понятна.

Возможно данное различие связано с объемной долей цементитной фазы. Действительно, в стали У13А доля цементитной фазы составляет 19-20%, а в белом чугуне – 70-75%. Сильный ферромагнетизм ферритной составляющей структуры стали может вызывать магнито-стрикционный эффект термического расширения цементита, а слабая намагниченность феррита белого чугуна уже не способна оказать заметное воздействие на цементитную фазу.

Термическое расширение кристаллической решетки цементита белого чугуна вновь становится анизотропным при нагреве выше  $800^{\circ}\text{C}$ , когда КТР по направлению [001] достигает значений, свойственных аустениту.

#### **Выводы и направления дальнейших исследований.**

В результате исследования был подтвержден факт анизотропии термического расширения цементитной фазы стали при температурах ниже ее точки Кюри. Выше этой точки, термическое расширение цементитной фазы становится изотропным.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на поиск причин заметного различия в термическом расширении цементита стали и чугуна.

*Методом высокотемпературной рентгеновской дифрактометрии исследовано термическое расширение кристаллической решетки цементитной фазы высокоуглеродистой стали и белого чугуна. Установлен факт анизотропии термического расширения цементита при температурах ниже точки Кюри карбида железа.*

*Using the method of high-temperature X-ray diffractometry it was studied the the thermal expansion of lattice of cementite phase of high-*

*carbon steel and white iron. The case of anisotropy of cementite thermal expansion at the temperatures less Curie peak of ferric carbide was established.*

**Библиографический список.**

1. Фридман Я.Б. *Механические свойства металлов.* – М.: Машиностроение. 1974. С. 209.

2. Беликов А.М., Савинская А.А. *Анизотропия тепловых колебаний атомов в кристаллах цементита.* // *Физика металлов и металловедение.* 1962. т. 14, вып. 2. С. 299.

3. Ершов В.М. *Высокотемпературное рентгеновское исследование термического расширения решетки цементита.*//*Физика металлов и металловедение.* 1981, т.52. вып. 5. С. 1005.

4. Ершов В.М. *Высокотемпературное рентгеновское исследование термического расширения карбидных фаз.* // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия.* 1984. № 8. С. 101.

*Рекомендовано к печати  
к. т. н., проф. Луценко В.А.*