

Дендриты и зерна в низкоуглеродистых сталях

Уточнены представления о механизме образования структур в ферритных сталях конструкционного типа с полиморфным превращением $\delta \rightarrow \gamma$. Показаны существенные особенности полиморфных превращений после затвердевания низко-углеродистых легированных сталей конструкционного типа в связи с образованием полигональных наследственных субструктур. Ил. 5. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: низкоуглеродистые стали, дендриты, зерна, полиморфные превращения, структура

Refined understanding of the mechanism of pattern formation in ferritic steels, structural type of a polymorphic transformation dgg. Showing the essential features of polymorphic transformations after the solidification of low-carbon alloy steel structural type due to the formation of polygonal genetic substructure.

Keywords: low-carbon steel, dendrites, grains, polymorphic transformations, structure.

Постановка проблемы

Анализ фазово-концентрационных и морфологических особенностей структуры при кристаллизации и твердофазных превращениях в сталях с высоко-температурным начальным состоянием « δ -феррита» - важная часть процесса производства микролегированных и модифицированных современных сталей для отливок, листового и сортового проката. Существенными факторами могут быть особенности строения первичного (избыточного) « δ -феррита», микронеоднородность (дендритная ликвация), химическая и морфологическая наследственность, эффекты первичной рекристаллизации δ -фазы, полиморфного превращения $\delta \rightarrow \gamma$, текстурообразования и др.

С 60-70 гг. XX столетия многим исследователями (Франция – Philibert, Crussard, Япония – Morita, Tanaka, СССР – Гречный, Голиков, Масленков, Малиночка и др.) накоплен материал, в основном, - по вопросам дендритной ликвации в сплавах на основе железа. Слабее изучена твердофазная сегрегация особенно при наследственности структур, некоторые положения которой изложены в [1]. Опытные данные, полученные при исследовании структуры в сплавах на основе железа при затвердевании и в твердофазных высокотемпературных интервалах, позволяют их пополнить.

Изложение основного материала исследований

Цель работы – выявление связи состава и строения дендритной и зеренной структуры в сталях конструкционного типа с полиморфным превращением $\delta \rightarrow \gamma$.

Материал исследований – ферритные и феррито-аустенитные модельные сплавы и стали с $\alpha(\delta)$ и γ – стабилизаторами (Al, Si, Cr, P, Mo, Cu, Ni и др.). Содержание углерода в сталях 0,01-0,50 %, легирующих добавок – до 5,0–8,0 %. Методика комплексной количественной металлографии приведена в [1-3].

Как уже показано, при закалке расплавов можно

следить за процессами дендритной кристаллизации, используя анализ конечных структур, подобно твердофазным превращениям «концентрация–температура–время» (C-T-T), особенно при повышенном легировании (например, Al, Si > 4,0-5,0 %). Например, начало однофазной дендритной кристаллизации приведено на рис. 1а – дендрит с продолжением упорядоченного ячеистого роста боковых ветвей в жидкости и на рис. 1б – дендрит самостоятельный, «автономный» от остаточной жидкости при переохлаждении.

В полностью затвердевших первично-ферритных сталях можно отчетливо выявить исходное строение ферритных «матричных» дендритов, возникшие внутрикристаллитные и межкристаллитные твердорастворные границы, а также видимые следы их рекристаллизационного смещения (рис. 2а-г). Повидимому, именно в подобном состоянии морфология начальных структур видна наиболее определенно, без усложнения другими твердофазными процессами (твердорастворной рекристаллизацией, образованием промежуточных фаз, коалесценцией и пр.).

Процессы зернограницной–межкристаллитной миграции идут с сохранением исходного первично-ферритного фазового фона, без обязательных признаков сегрегационных выделений или полиморфизма, т.е. являются типичной диффузионной кристаллической перестройкой устойчивой твердорастворной матрицы. Но междендритные границы могут оказаться практически заторможенными в случае местных микропревращений – дисперсных выделений карбонида, фосфида и пр.

Интересно, что стимулировать растворные и выделительные межзеренные процессы можно циклическими обработками «нагрев-охлаждение» δ -ферритных сплавов (≥ 1000 -1200 °С). Также инициировать зарождение межзеренного образования карбида или аустенита возможно при непрерывных или ступенчатых температурных режимах.

В общем, процессы концентрационно-морфологических изменений в первично-ферритных сталях связаны с комплексом преобразований кристаллической решетки – текстурованностью, первичной рекристаллизацией, полиморфностью – итогом изменений фазового энергетического потенциала. Соответствующие структурные признаки иногда требуют специальных условий определения, например, связь текстур и морфологии промежуточных фаз.

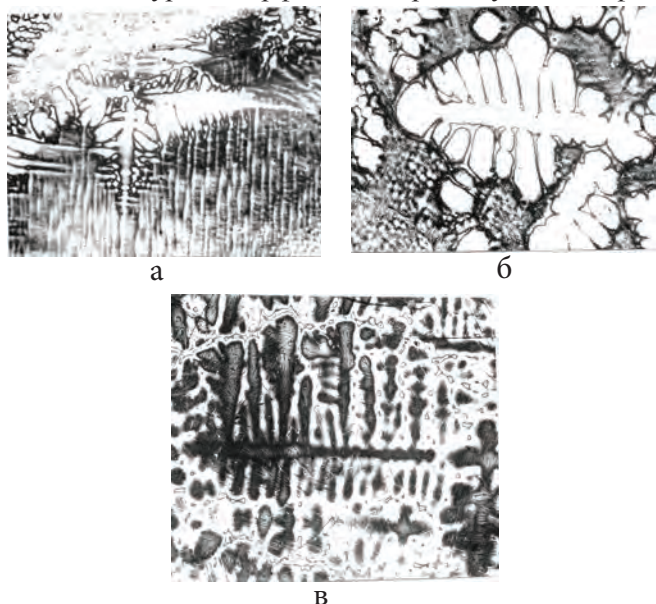


Рис. 1. Структура дендритов при кристаллизации низкоуглеродистых сталей: а – дендриты и упорядоченная остаточная жидкость в сплаве с $C = 0,05\%$, $Si = 0,25\%$; б – автономные дендриты в жидкости в сплаве с $C = 0,03\%$, $Si = 0,50\%$; в – окончание затвердевания сплава с $C = 0,05\%$, $Si = 0,20\%$; а, в – $\times 100$; б – $\times 200$; травление пикратом натрия

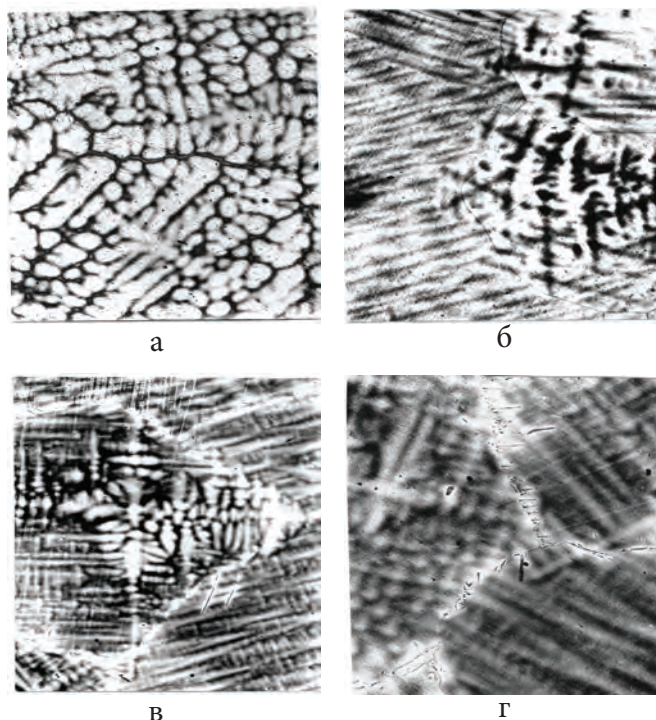


Рис. 2. Первичная рекристаллизация и границы зерен в дендритной структуре стали с δ -стабилизаторами: а, б – сплав с содержанием $C = 0,1\%$; $Al = 2\%$; $Si = 0,08\%$; $Mn = 0,45\%$; в, г – сплав с содержанием $C = 0,05\%$, $Si = 2,26\%$; а – $\times 200$; б, в, г – $\times 100$; травление пикратом натрия

Естественно, стали с полиморфным превращением $Fe_gFe_gFe_a$ при кристаллизации или в твердофазном состоянии представляют наиболее сложные структурные варианты.

Можно полагать, что процессы образования литой полигонально-зеренной структуры ($\delta \rightarrow \gamma$ или $\delta + \gamma \rightarrow \gamma$) полностью обеспечиваются общими энергетическими факторами кристаллических преобразований матричной фазы, как предельными состояниями – без диффузии элементов твердого раствора, в отличие от твердофазной диффузии. Комплексный анализ показывает условную схематичность такого понятия. В этом случае также реализуются диффузионные изменения, часто – в разных вариациях: поверхностно-зеренной сегрегации, коалесценции, образовании дополнительных межзеренных и субзеренных внутриматричных границ, особенно в ячеисто-полиморфных аустенитных структурах.

Перитектическое превращение всегда требует непосредственную связь матричных твердых растворов с жидкостью. Мы прослеживали начало и ход образования аустенита при фазовом контакте δ , γ и δ в сплавах с повышенной устойчивостью « δ -феррита» при введении Al , Si , $Cr > 3,0-5,0\%$.

При изотермических выдержках аустенит образуется на границе δ/δ в виде зерен, с преимущественным ростом от дендритов в остаточную жидкость. Контакт соседних γ -зерен может создавать пленочные участки вокруг δ -дендритных ветвей (рис. 3а, б).

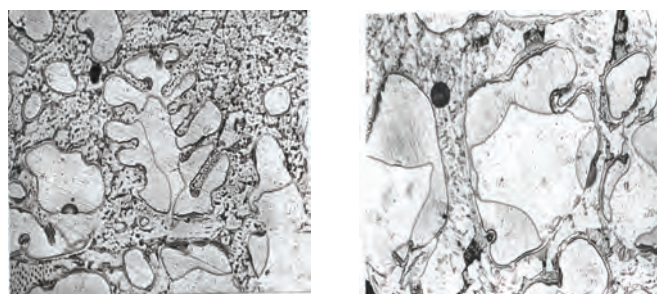


Рис. 3. Начало образования перитектического аустенита (зерна γ при фазовом контакте δ/δ): а, б – сплав с $C = 0,5\%$, $Si = 8,0\%$; а – $\times 800$, б – $\times 1500$, травление пикратом натрия

При закалочном охлаждении возможно также выделение дополнительно тонкой пленки γ вокруг дендритов. Охлаждение обычно сопровождается обратным превращением $\gamma \rightarrow \delta$ в наружных слоях дендритов. Иногда возможна иная последовательность превращения в сплавах с повышенным содержанием Si , P : появление внутри дендритных выделений аустенита (блоки, речные пакеты), без начального контакта γ/δ .

По существу, это не перитектическое, но отдельное по стадиям фазово-полиморфное превращение $\delta \leftrightarrow \delta$ и $\delta \leftrightarrow \gamma$. Для образующихся начальных структур, в принципе, характерна обратимость этих стадий. При этом может сохраняться межфазовый ровный фронт. Вероятно, это следствие высокотемпературного механизма диффузионной перестройки решеток $\gamma \leftrightarrow \delta$ при интенсивной атомной передвижке, указывающее на равномерность упорядоченного фазового превращения. Но, конечно, и в этих условиях не ис-

ключены эффекты дислокационных перемещений. Как мы нередко отмечаем, в легированных δ -сплавах достаточно распространены структуры с пластинчатой морфологией фаз внедрения. (рис. 4а, б).

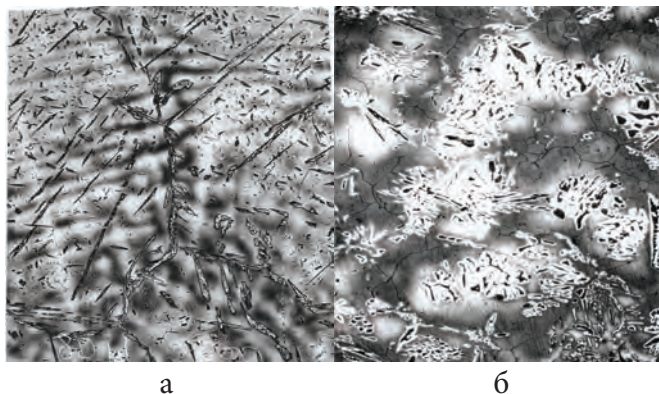


Рис. 4. Частичное превращение $\delta \rightarrow \gamma$ при закалке от 1300 °С: а – сплав с C = 0,17 %, Si = 2,5 %, Mn = 0,5 %; б – сплав с C = 0,04 %, Si = 2,0 %, Mn = 0,8 %; а – охлаждение 100 °С/мин; б – 10 °С/мин; а – $\times 50$; б – $\times 300$; травление пикратом натрия

Они явно имеют сдвигово-деформационное происхождение при определенных комбинациях с диффузионными процессами.

Это дает основание для пересмотра представлений о механизме фазовых выделительных и полиморфных процессов внутри матричных зерен и на межзеренных границах.

В некоторых сплавах «условно-критического состава», вероятно, фазово-энергетические и концентрационные условия могут обеспечить интенсивный внутрикристаллитный когерентный механизм превращения $\delta \rightarrow \gamma$, подобно ориентированному образованию промежуточных фаз. При ободковом росте аустенитного слоя на феррите создается «зубчато-пластинчатый фронт» $\delta \rightarrow \gamma$.

Механизм этого процесса – сдвиговая (дисло-

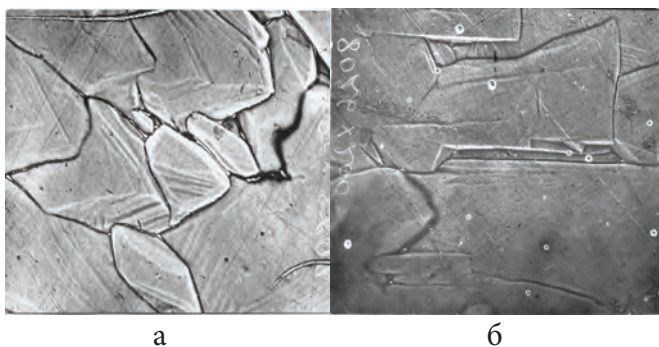


Рис. 5. Пластиночно-блочная структура и двойники при $\delta \rightarrow \gamma$ превращении: а, б – сплав с C = 0,1 %, Si = 2,0 %; а, б – $\times 200$, в поляризованном свете, травлено ниталем

кационно-блочная) перестройка решетки ($\delta \rightarrow \gamma$), в сочетании с упорядочением блочной субструктуры и диффузионным перераспределением примесей (рис. 5а, б).

Тогда возможен упорядоченный рост пластин γ с торможением или непрерывным движением через межзеренные границы, внутризеренное двойникование, частичное сохранение границ исходных зерен, в сочетании с новыми упорядоченными пластинчатыми субзернами аустенита или их следами после цикла превращения $\delta \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$.

Изучение и использование этого эффекта – дополнительная возможность регулирования структурных параметров первично ферритных сталей.

Выводы

1. Уточнены представления о механизме образования структур в ферритных сталях конструкционного типа с полиморфным превращением $\delta \rightarrow \gamma$.
2. Показаны существенные особенности полиморфных превращений после затвердевания низкоуглеродистых легированных сталей конструкционного типа в связи с образованием полигональных наследственных субструктур.

Библиографический список

1. Яценко А.И., Хрычиков В.Е., Хохлова Т.С. и др. Кристаллизация и первичная структура конструкционных сталей. – Днепропетровск: Журфонд, 2010. – 225 с.
2. Бунин К.П. Железоуглеродистые сплавы. – К.-М.: Машгиз, 1949. – 168 с.
3. Яценко А.И., Марцинив Б.Ф., Репина Н.И.. Влияние легирования на первичную структуру сталей перитектического типа // Известия АН СССР. Металлы. - 1981. - № 5. - С. 92-98.
4. Fredrikss H, Stjerndal J, Solidification of iron-base alloys // Met.Sci. - 1982, 16. - № 12. - P. 575-585.
5. Калинушкин Е.П. Перитектическая кристаллизация легированных сплавов на основе железа. – Днепропетровск: Пороги, 2007. – 172 с.

Поступила 21.05.2013