



The available experimental data are generalized with the purpose of determination of relation between speed of dendrite crystals growth and size of diffusion overcooling for different grades of steel.

Ю. А. САМОЙЛОВИЧ, НПП «ПЛАТАН», В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, И. А. ТРУСОВА, БНТУ,
А. В. МАТОЧКИН, ГНПО «Белстанкоинструмент»

УДК 621.246.5

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ТРАНСКРИСТАЛЛИЗАЦИИ СТАЛИ ПУТЕМ ЕЕ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ. СООБЩЕНИЕ 2. ОБОБЩЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В работе [1] приведены результаты развития теории кристаллизации расплава с учетом воздействия инокуляторов на формирование структуры слитков и заготовок, при этом основное внимание уделено исследованию условий существования в охлаждаемом расплаве нитридов титана как наиболее часто применяемых на практике с целью упрочнения конструкционной стали.

В настоящей работе в продолжение указанных исследований обобщены имеющиеся экспериментальные данные с целью установления зависимости между скоростью роста дендритных кристаллов и величиной диффузионного переохлаждения для различных марок стали.

Результаты воздействия инокуляторов – частиц нитрида титана на показатели кристаллической структуры опытных отливок из углеродистой стали, содержащей от 0,1 до 0,6% углерода, приведены в работе [2]. Исходной предпосылкой авторов являлось то, что при наличии в охлаждаемом расплаве соответствующих концентраций титана и азота частицы нитрида титана выделяются до начала процесса кристаллизации. При проведении экспериментов расплав углеродистой стали перегревали выше точки ликвидуса и затем до начала охлаждения вводили в расплав специальную TiN-лигатуру в виде дробы или мелких слиточков. По окончании расплавления лигатуры исследовали размеры частиц образованной в расплаве суспензии частиц нитрида титана. Как отмечено в работе [2], размеры частиц TiN изменялись от 0,7 до 10 мкм.

Эксперименты проводили со сталью, в которой содержание углерода составляло 0,1–0,2% (группа 1), 0,3–0,4% (группа 2) и 0,5–0,6% (группа 3). Для

всех трех групп количество вводимой TiN-лигатуры подбирали таким образом, чтобы получить в расплаве содержание титана, равное 0,01, 0,04, 0,07, 0,10 и 0,17%.

Результаты экспериментов сводятся к следующему:

- в слитках, затвердевших без добавки нитрида титана, наблюдаются хорошо развитые столбчатые кристаллы по всему поперечному сечению слитков;
- при содержании в расплаве 0,01% Ti зона столбчатых кристаллов несколько сокращается;
- при содержании в расплаве 0,04% Ti дендриты по всему сечению слитков становятся мелкодисперсными либо заменяются глобулярными кристаллами;
- при содержании в расплаве 0,07% титана все сечение опытных слитков полностью заполнено мелкими глобулярными дендритами.

Из практики известно, что при вводе TiN-лигатуры в плавильную печь часть образующихся в металле нитридов титана всплывает и смешивается со шлаком на поверхности металлической ванны, вследствие чего при последующей разливке в затвердевающий слиток поступает уменьшенное количество TiN-лигатуры. Для проверки данного явления авторы работы [2] выполнили специальную серию экспериментов, в ходе которых лигатуру вводили частично в плавильную печь, частично непосредственно в изложницу для отливки опытных слитков массой 35 кг при содержании углерода в пределах 0,3–0,4%. При этом количество вводимой в расплав лигатуры подбирали таким образом, чтобы содержание титана в затвердевшей стали изменялось в пределах 0,02, 0,07 и 0,15%.

Опыты подтвердили, что полное устранение столбчатых кристаллов в остывших стальных слитках достигается при исходном содержании титана в количестве 0,15% при подаче лигатуры в плавильную печь либо при содержании титана в количестве 0,07% при подаче лигатуры непосредственно в изложницу. Тем самым доказано существование значительных потерь титана при вводе лигатуры в плавильную печь и целесообразность ввода лигатур непосредственно в изложницу либо в металлическую ванну непрерывнолитой стальной заготовки.

Для ряда легированных марок стали влияние инокуляторов на формирование дендритной структуры слитков экспериментальным путем исследовано в работе Ю. З. Бабаскина [3], где основное внимание уделено режимам кристаллизации отливок из хромоникелевых сталей аустенитного типа, для которых склонность к развитой транскристаллизации обусловлена малой величиной интервала кристаллизации $\Delta T_{кр} = T_{лик} - T_{сол} = 25-35$ град, что вызывает незначительное развитие зоны переохлаждения перед вершинами растущих кристаллов.

Эксперименты в работе [3] проводили со слитками диаметром от 20 до 60 мм со сталью марок 38ХНЗМЛ, Х18Н19Л, Х18Н10Л и 1Х21Н11ВЗЛ. Исследование сочетало изучение температурно-временных характеристик остывания затвердевающего расплава (продолжительность снятия перегрева, длительность периода «стояния ликвидуса», общая длительность затвердевания) с детальным изучением основных показателей дендритной структуры отливок – ширины зоны столбчатых дендритов, средней величины равноосных кристаллов, расстояния между ветвями дендритов второго порядка. Полнота исследованных факторов процесса кристаллизации выгодно отличает работу Ю. З. Бабаскина [3] от ряда других исследований данной проблемы. Особенно наглядные результаты исследования воздействия тугоплавких инокуляторов на показатели дендритной структуры отливок полу-

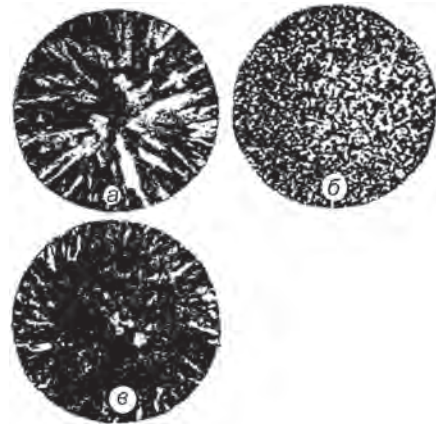


Рис. 1. Микроструктура стали Х18Н10Л в слитке диаметром 40 мм по данным [3]: а – без добавок; б – с добавкой 0,05% TiN; в – с добавкой 0,03% TiN; температура заливки 1560 °С. $\times 2,5$

чены автором [3] для аустенитной нержавеющей стали Х18Н10Л.

Микрофотографии (рис. 1, б, в) показывают влияние добавки различных количеств нитрида титана (0,05 и 0,3%) на характер получаемой литой структуры поперечного сечения опытного слитка диаметром 40 мм в сравнении со структурой слитка, отлитого без ввода инокулятора (рис. 1, а). На рис. 2 показано изменение ряда отмеченных показателей дендритной структуры отливки (помимо основного показателя, ширины зоны столбчатых кристаллов) от объемной плотности частиц инокулятора TiN от нуля до $3 \cdot 10^8$ шт./см³. Можно отметить определенное противоречие экспериментальных данных, соответствующих использованию нитрида титана и приведенных на рис. 1 и 2: графики 1 и 4, рис. 2, относящиеся к опытным слиткам диаметром 40 и 60 мм, указывают на снижение ширины зоны столбчатых кристаллов на 45–50%, тогда как макроструктура для слитка диаметром 40 мм (см. рис. 1, в) не обнаруживает никаких признаков столбчатых кристаллов. Возможно, это противоречие связано с использованием большей дозы инокулятора при проведении опытов, результаты которых приведены на рис. 1.

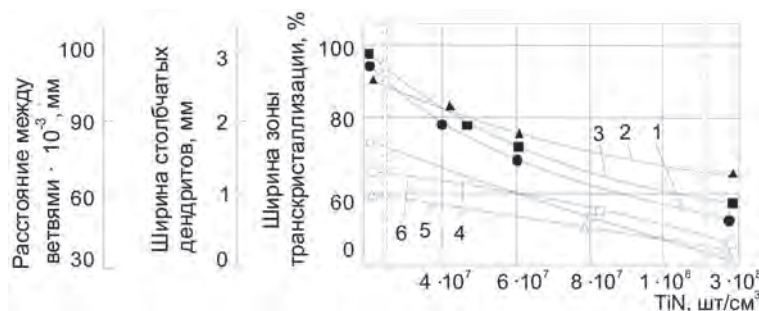


Рис. 2. Влияние добавок TiN на ширину зоны транскристаллизации (1, 4), среднюю ширину столбчатых дендритов (2, 5) и расстояние между ветвями второго порядка (3, 6) в слитках стали Х18Н9Л диаметром 60 мм (1–3) и Х18Н10Л диаметром 40 мм (4–6), температура заливки 1560 °С по данным [3]

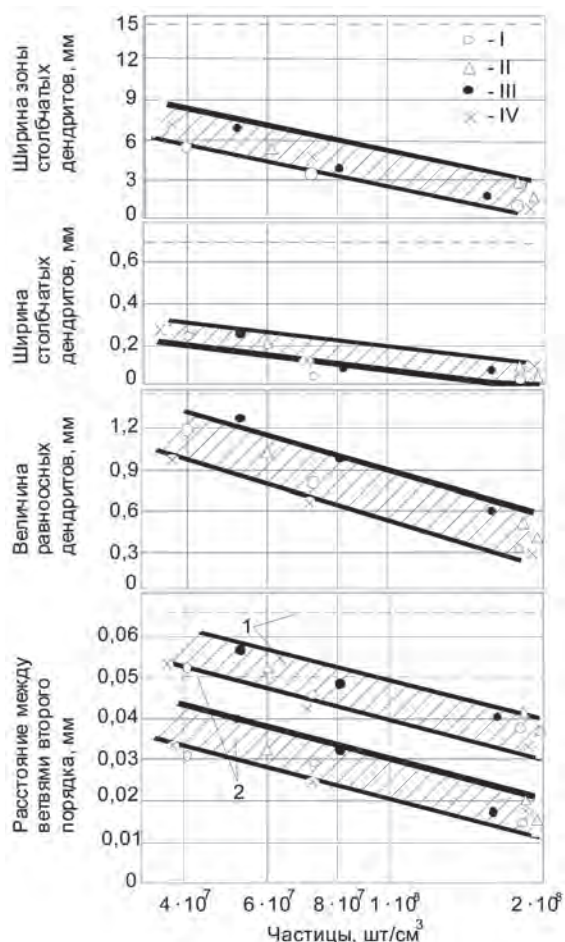


Рис. 3. Влияние тугоплавких индукторов на показатели кристаллической структуры стали 2X21H11B3Л в слитке диаметром 50 мм по данным [3]; тип индуктора: I – ZrC; II – ZrN; III – TiC; IV – TiN. Штриховые линии – значения показателей структуры без добавок частиц индуктора; 1 – в зоне равноосных дендритов; 2 – в зоне столбчатых дендритов

В работе [3], помимо нитридов титана, исследовано влияние ряда других тугоплавких индукторов (карбидов циркония и титана, нитрида ванадия) на характер дендритной кристаллизации отливок. В качестве примера на рис. 3 показано воздействие указанных индукторов на основные показатели дендритной структуры отливок при изменении объемной плотности частиц индукторов от $4 \cdot 10^7$ до $2 \cdot 10^8$ шт./см³.

На рис. 4 показано влияние частиц нитрида ванадия на основные показатели дендритной структуры отливок при изменении количества введен-

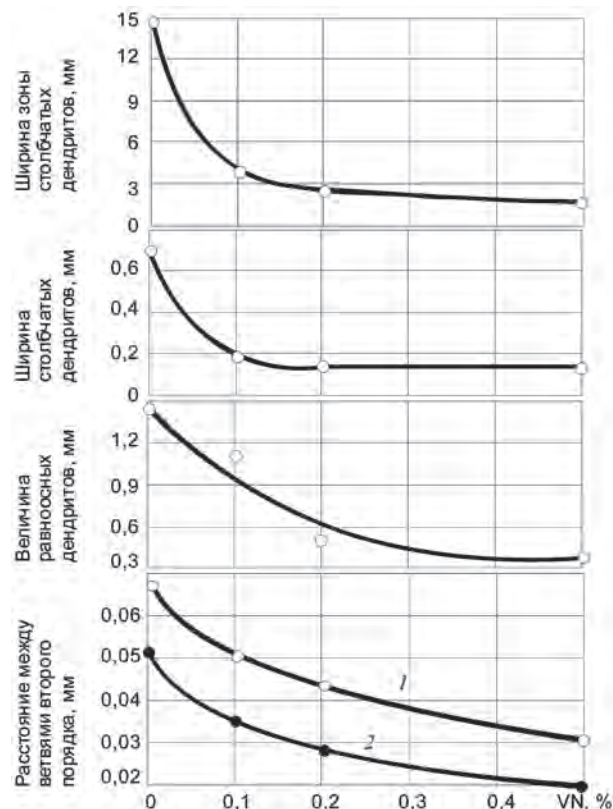


Рис. 4. Влияние добавок частиц индуктора VN на характеристики дендритной структуры стали 2X21H11B3Л в слитке диаметром 50 мм: 1 – в зоне равноосных дендритов; 2 – в зоне столбчатых дендритов по данным [3]

ного в расплав индуктора от нуля до 0,5% VN. Из рисунков видно, что введение тугоплавких индукторов различного рода весьма существенно снижает протяженность зоны столбчатых кристаллов – от 30 до 50%.

Для нитридов ванадия (рис. 4) зафиксировано снижение зоны столбчатых кристаллов с 15 до 3 мм, т. е. в 5 раз.

Несмотря на ограниченность исследованного набора марок стали, представленная в [3] комплексная методика исследования может служить примером выполнения аналогичных исследований, имеющих более непосредственное отношение к условиям кристаллизации непрерывнолитых заготовок в отношении химического состава наиболее ходовых марок стали, а также для режимов охлаждения, соответствующих условиям охлаждения заготовок на промышленной МНЛЗ.

Литература

1. Самойлович Ю. А., Тимошпольский В. И., Трусова И. А. Управление процессом транскристаллизации стали путем ее микролегирования при непрерывной разливке. Сообщение 1. Теоретические основы торможения роста столбчатых кристаллов // Литье и металлургия. 2009. № 4. С. 105–109.
2. Малиночка Я. Н., Близнякова Л. А., Балакина Л. А. О влиянии индукторов на кристаллизацию и структуру стального слитка // Проблемы стального слитка. М.: Металлургия, 1978. Т. 7. С. 47–48.
3. Бабаскин Ю. З. Структура и свойства литой стали. Киев: Наукова думка, 1980.