

О возникновении дополнительных центров кристаллизации при введении дробы в расплав

Рассмотрены особенности изменения структуры стальных дробинки в процессе их нагрева и плавления с образованием дополнительных центров кристаллизации в объеме затвердевающего расплава.

Ключевые слова: сталь, дробь, нагрев, плавление, структура

Стальные слитки и отливки с мелкокристаллической структурой имеют более высокое качество, физико-механические (прочность и пластичность) и служебные (сопротивление износу, коррозионная устойчивость и др.) свойства литого и деформированного металла [1-3]. Чтобы получить более мелкую первичную структуру прокатных и кузнечных слитков спокойной и кипящей стали при кристаллизации расплава в интервале температур ликвидус-солидус и мелкую вторичную структуру слитков при охлаждении затвердевшего металла необходимо увеличить скорость охлаждения их наружных и внутренних слоев.

К перспективным технологическим направлениям улучшения качества слитков и отливок и повышения физико-механических и служебных свойств литых заготовок относятся внешние воздействия на жидкий и кристаллизующийся металл [1]. Например, при введении в жидкую сталь частиц-микрохолодильников в виде стальной дробы можно существенно изменить [4, 5] температурное состояние стальных слитков и крупных отливок в процессе их затвердевания.

При интенсификации процесса внутреннего теплообмена между стальными дробинками-микрохолодильниками и затвердевающим расплавом в условиях перемешивания кристаллизующейся стали можно значительно уменьшить время затвердевания стальных слитков в чугуновых изложницах, непрерывнолитых заготовок в кристаллизаторах МНЛЗ и массивных отливок в литейных формах.

Чтобы в стальном слитке или крупной отливке получить структуру литого металла с мелкими дендритными кристаллами, необходимо увеличить количество центров кристаллизации в затвердевающем расплаве [6]. Для уменьшения физической, химической и структурной неоднородности стальных слитков и массивных отливок целесообразно интенсифицировать процесс перемешивания жидкого металла с введенными в расплав дробинками-микрохолодильниками.

Стальную дробь разных фракций диаметром от 0,5 до 5,0 мм с оптимальным содержанием углерода 0,3-0,5 % (например, сталь 45) получают [7], распыляя струю жидкой стали потоком воздуха с закалкой в воде образующихся капель расплава. В условиях быстрого охлаждения сформировавшихся стальных гранул от температуры солидус среднеуглеродистой

стали до температур 200-250 °С происходит [8] бездиффузионное превращение равновесной структуры крупных зерен аустенита в неравновесную структуру мелких зерен мартенсита. При охлаждении стальных дробинки, образовавшихся при распылении расплава, до температур ниже 200 °С их мартенситная структура не изменяется [7].

Согласно диаграмме состояния системы Fe-Fe₃C аустенит является [8] твердым раствором углерода в γ -железе с гранцентрированной кристаллической решеткой, а мартенсит представляет собой пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе с объемноцентрированной кристаллической решеткой. Поэтому механические свойства (прочность, микротвердость) стальных дробинки со структурой аустенита и со структурой мартенсита существенно различны.

Холодные дробинки, попадая в перегретый над температурой ликвидус расплав в объеме формирующейся слитка или массивной отливки, быстро нагреваются (рис. 1) до температуры начала плавления стали (температура солидус). При этом на поверхности каждой дробинки намораживаются [9] твердый и двухфазный слои гарнисажа. Стальные дробинки мелких, средних и крупных фракций в любой момент времени прогреваются (рис. 1 и 2) до разных температур с неодинаковой

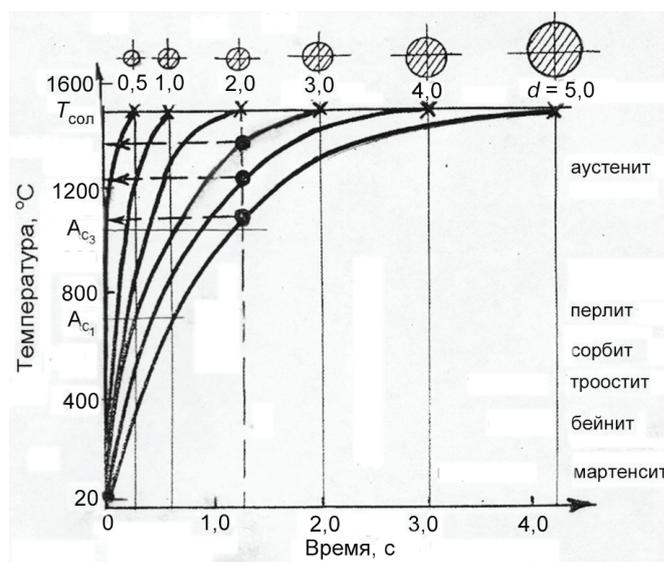


Рис. 1. Кинетика прогрева дробинки-микрохолодильников разного диаметра

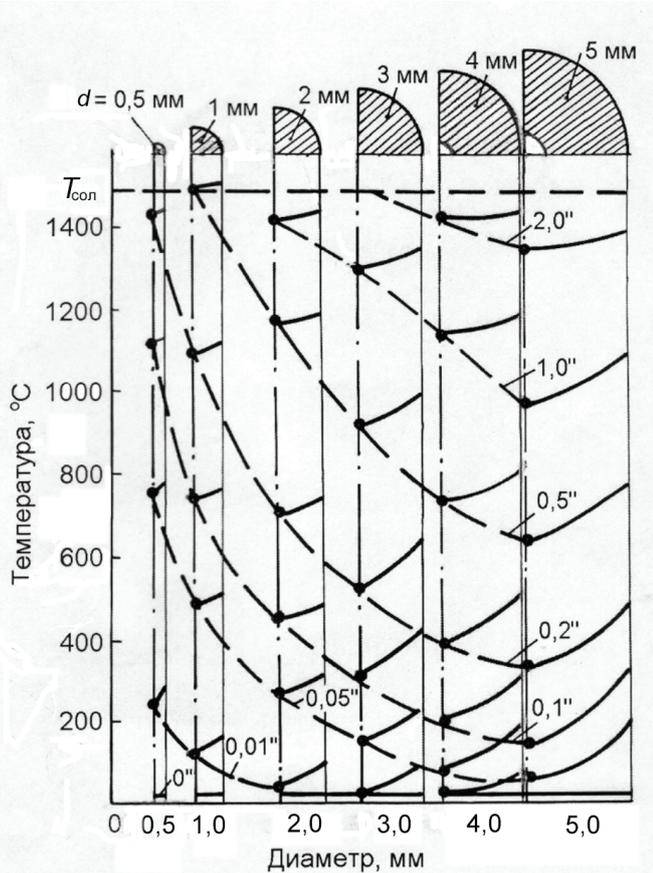


Рис. 2. Неравномерное распределение температуры по радиусу дробинок разных фракций при их быстром нагреве в расплаве стали

скоростью нагрева. При этом в литых дробинок-микрохолодильниках по-разному изменяется вторичная структура стали.

В низкотемпературной области нагрева стальных дробинок (от 20 до 200 °C и выше) на их кристаллическое строение влияют разные структурные превращения стали (рис. 1). Например, при нагреве дробинок из стали 45, полученных закалкой дроби в воде, возможно превращение мелкозернистой структуры мартенсита, который является переохлажденным аустенитом [8], в неравновесную структуру троостита (смесь пластинок феррита (α -железо) с мелкими пластинками цементита (карбид углерода Fe_3C)) или в неравновесную структуру сорбита (смесь более крупных пластинок феррита и цементита) [8].

При нагреве в расплаве дробинок из углеродистой стали до критической температуры A_{c1} (727 °C) в них происходит эвтектоидное превращение вторичной структуры с образованием перлита [8], представляющего собой механическую смесь феррита и цементита (карбидо-ферритная смесь). Структура неоднородных зерен перлита, состоящего из чередующихся пластинок феррита и цементита, более устойчива, чем структура зерен бейнита, троостита или сорбита [8]. Эти неравновесные (метастабильные) структуры могут образовываться при нагреве стальных дробинок (рис. 1) выше температуры 250 °C, при которой завершается распад мартенсита закалки, но ниже температуры 727 °C, при которой начинается эвтектоидное (пер-

литное) превращение вторичной структуры углеродистой стали.

В условиях интенсивного нагрева (рис. 1) стальных дробинок в объеме формирующейся слитки или крупной отливки до температур, расположенных между нижней и верхней критическими температурами стали A_{c1} и A_{c3} (на диаграмме состояния системы Fe- Fe_3C это температурная область вторичной кристаллизации [8]) в литых дробинок происходит структурное превращение углеродистой стали с образованием механической феррито-перлитной смеси.

Когда стальные дробинок нагреваются в расплаве до температур выше критической температуры A_{c3} , в их теле формируется твердый раствор углерода в γ -железе с образованием структуры аустенита [8]. В области высоких температур нагрева стальных дробинок устойчивая структура однородных зерен аустенита сохраняется в широком диапазоне температур их твердого состояния от температуры A_{c3} до температуры солидуса T_{con} , при которой начинается расплавление гарнисажа, замороженного [9] на поверхности литых дробинок и плавление самих дробинок. При нагреве стальных дробинок-микрохолодильников до предсолидусных температур их крупнозернистая структура аустенита более устойчива, чем исходная мелкозернистая структура мартенсита.

Следовательно, дробинок с неравновесной структурой мартенсита закалки (переохлажденный аустенит [8]) при нагреве в расплаве (рис. 1) последовательно проходят температурные области, в которых в твердой стали протекают разные структурные превращения. Поэтому в температурных областях метастабильных структурных превращений среднеуглеродистой стали в литых дробинок могут образовываться промежуточные структуры бейнита, троостита или сорбита. При дальнейшем нагреве стальных дробинок в температурные области стабильных структурных превращений от A_{c1} до A_{c3} (и выше) в них формируются устойчивые структуры, состоящие из зерен перлита и феррита (или крупных зерен аустенита).

В процессе структурных превращений при интенсивном нагреве стальных дробинок-микрохолодильников в объеме слитки или массивной отливки мелкие зерна мартенсита с объемноцентрированной α -решеткой [8] превращаются в крупные зерна аустенита с гранцентрированной γ -решеткой. Поэтому в стальных дробинок изменяется объем зерен, что приводит к появлению в них структурных напряжений. Кроме того, при нагреве дробинок в расплаве по их радиусу формируются (рис. 2) градиенты температуры, что приводит к возникновению температурных напряжений в поверхностных слоях литых дробинок.

Так как при нагреве стальных дробинок-микрохолодильников происходит изменение вторичной структуры в большом интервале температур (от начальной температуры до температуры солидуса), то в дробинок возникают структурные и температурные напряжения. Поэтому в литых дробинок может образоваться много микротрещин, что резко снижает их прочность при высоких температурах.

Расчеты на ПЭВМ [10-13] кинетики прогрева и плавления дробинок разного диаметра (от 0,5 до 5,0 мм)

показали, что кривые изменения во времени температурного состояния стальных дробин-микрохолодильников от начальной температуры до температуры солидуса стали существенно различаются (рис. 1). Скорость прогрева мелких фракций дробы 0,5-1,0 мм значительно больше скорости прогрева дробин крупных фракций 4-5 мм, что по-разному влияет на кинетику нагрева литых дробин в окружающем их расплаве. Поэтому в объем расплава при получении слитков и толстостенных отливок предпочтительнее вводить монолитную стальную дробь без усадочных пор в центре дробин, диаметр которых близок к оптимальной [9, 12] фракции литой дробы 3 мм.

Разница между скоростями нагрева (рис. 1) дробин-микрохолодильников в затвердевающем расплаве отчетливо наблюдается ниже предсолидусных температур их нагрева. После расплавления в жидком металле двухфазного и твердого слоев гарнисажа, намороженного на стальных дробинках, по границам их зерен происходит оплавление легкоплавких ликвационных прослоек. Поэтому в интервале температур ($T_{\text{соп}} - T_{\text{лик}}$) двухфазного состояния стали в литых дробинках образуются многочисленные межзеренные участки жидкой фазы.

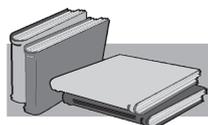
В условиях быстрого нагрева и плавления стальных дробин в интервале температур солидус-ликвидус температурное поле по их радиусу распределено неравномерно (рис. 2). Поэтому в соответствии с механизмом диспергирования (измельчения) литых дробин в области их твердо-жидкого состояния [9] при циркуляционном перемешивании жидкой стали

с дробинками облегчается их диспергирование (распад) на большое количество мелких частиц. Это интенсифицирует процесс измельчения дробин, так как под действием потока расплава литые дробинки с микротрещинами и жидкими ликвационными прослойками распадаются на множество мелких частиц, что способствует появлению дополнительных центров кристаллизации в жидком металле затвердевающих суспензионнолитых слитков и толстостенных отливок.

Выводы

Выявлен механизм образования дополнительных центров кристаллизации за счет диспергирования введенных в расплав стальных дробин. Согласно этому механизму быстрый нагрев и плавление дробин-микрохолодильников приводит к возникновению структурных и температурных напряжений, появлению микротрещин и легкоплавких межзеренных ликвационных прослоек, что способствует распаду литых дробин в их твердо-жидком состоянии на более мелкие частицы.

Возникновение дополнительных центров кристаллизации при введении литой дробы в расплав способствует получению более мелкой кристаллической структуры стальных слитков, массивных отливок и непрерывнолитых заготовок для повышения их качества, прочностных и пластических свойств литого металла.



ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимов В. А. Разливка и кристаллизация стали. – М.: Металлургия, 1976. – 552 с.
2. Бабаскин Ю. З., Шипицин С. Я., Афтандиянц Е. Г. Экономное легирование стали. – К.: Наукова думка, 1987. – 185 с.
3. Кондратюк С. Є. Структурутворення, спадковість і властивості литої сталі. – К.: Наукова думка, 2010. – 177 с.
4. Соколовская Л. А. Обоснование режимов теплофизического воздействия дробы на затвердевание стальных слитков // 50 лет в Академии наук Украины: прошлое, настоящее, будущее. – К.: Изд. ФТИМС НАНУ. – 2008. – С. 104-107.
5. Соколовская Л. А. О выборе рациональных тепловых режимов отливки стальных слитков с дробью // Металл и литье Украины. – 2013. – № 9. – С. 32-35.
6. Особливості формування структури суспензійнолитих зливок киплячої сталі / Л. А. Соколовська, В. П. Осипов, В. А. Мамишев, Є. П. Діюк // Металознавство та обробка металів. – 2000. – № 1-2. – С. 16-19.
7. Затуловский С. С., Мудрук Л. А. Получение и применение металлической дробы. – М.: Металлургия, 1988. – 182 с.
8. Гуляев А. П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1978. – 647 с.
9. Особенности теплофизического и физико-химического взаимодействия кипящей стали с введенной в расплав дробью / Л. А. Соколовская, В. П. Осипов, В. А. Мамишев, Е. Ф. Діюк // Процессы литья. – 2000. – № 2. – С. 35-37.
10. Соколовская Л. А., Мамишев В. А. Численное моделирование температурных полей в радиально-симметричных системах слиток-изложница и микрохолодильник-расплав // Физико-химические воздействия на кристаллизацию стали. – К.: Изд. ИПЛ АН УССР, 1982. – С. 71-77.
11. Исследование на ЭВМ температурного взаимодействия частиц-микрохолодильников с расплавом стали / Л. А. Соколовская, В. П. Осипов, Ю. Я. Скок и др. // Теплофизика стального слитка. – К.: Изд. ИПЛ АН УССР, 1980. – С. 107-110.
12. Применение ЭВМ для оценки температурного состояния стальной дробы при затвердевании кузнечного слитка / Л. А. Соколовская, В. А. Мамишев, С. М. Кутищев, М. М. Шанина // Суспензионное и композиционное литье. – К.: Изд. ИПЛ АН УССР, 1988. – С. 55-58.
13. Оценка на ЭВМ влияния перегрева и интервала кристаллизации стали на плавление микрохолодильников, / Л. А. Соколовская, В. А. Мамишев, В. В. Шепелев, Е. Ф. Діюк // Совершенствование процессов непрерывной разливки стали. – К.: Изд. ИПЛ АН УССР, 1985. – С. 41-43.

Анотація

Соколовська Л. А., Мамішев В. А.

Про утворення додаткових центрів кристалізації при введенні литого дроби в розплав

Розглянуті особливості зміни структури сталевих дробинок в процесі їх нагріву та плавлення з утворенням додаткових центрів кристалізації в об'ємі розплаву, що твердне.

Ключові слова

сталь, дріб, нагрівання, плавлення, структура

Summary

Sokolovska L. A., Mamishev V. A.

About rise the additional centres of crystallization in the time of introduce small shots in melt

It is examine peculiarities of alteration structure of steel small shots in process them warm and fusion with make of additional centres crystallization in volume of solidification melt.

Keywords

steel, small shot, warm, melt, structure

Поступила 19.05.14

**Продолжается подписка на журналы
«Металл и литьё Украины»
и «Процессы литья»
на 2014 год.**

Для подписки на журналы необходимо

направить письмо-заказ по адресу:

03680, Україна, м. Київ-142, МСП,

бул. Вернадського, 34/1,

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України

или факсом (044) 424-35-15.

Счёт-фактура согласно заказа высылается письмом или по факсу.

Редакция готова предоставить электронную версию журнала
на компакт-диске.

Стоимость одного журнала – 30 грн.

Годовая подписка – 360 грн. (для Украины).

Годовая подписка для зарубежных стран – 90 \$.