



The received results testify that introduction into composition complex of modifier of carbide-forming and surfactant elements promotes increasing of its efficiency on macro- and microstructure of steel.

О. С. КОМАРОВ, БНТУ, В. И. ВОЛОСАТИКОВ,
Д. О. КОМАРОВ, ГП «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»,
В. Д. ТУЛЬБЕВ, Н. И. УРБАНОВИЧ, БНТУ

УДК 621.74; 699.13

КОМПЛЕКСНОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Модифицирование стали химически-активными элементами (Ca, Al, PЗМ), сопровождающееся ее раскислением, нашло широкое применение в практике литейного производства [1, 2]. При его применении отмечается измельчение зерна на 2–3 балла, уменьшение глубины транскристаллизации и несколько возрастают прочностные характеристики. Аналогичный эффект наблюдается и при введении в сталь карбидообразующих элементов (V, B, Ti, Zr, Nb) [3, 4] или соединений в виде нитридов и карбонитридов [5, 6]. Существует мнение, что введение в состав модификаторов поверхностно-активных элементов (Te, Bi, Sb), так называемое комплексное модифицирование, должно усиливать эффективность модифицирования [7]. Однако для стали комплексное модифицирование не нашло широкого применения. Кроме того, остается открытым вопрос о влиянии количества карбидообразующих элементов в составе модификатора на его эффективность.

Целью настоящих исследований является изучение влияния количества карбидообразующего

элемента в составе комплексного модификатора на макро- и микроструктуру низкоуглеродистой стали.

Эксперименты проводили на стали, содержащей С – 0,25 мас.%, Si – 0,4; Mn – 0,55; Cr – 0,27 мас.%. Плавку осуществляли в печи ИСТ 0,4 с кислой футеровкой по стандартной методике. В качестве модификатора, который вводили под струю при заполнении ковша в дополнение к постоянным добавкам 0,01% Al и 0,001% МИГ2, использовали смесь, состоящую из химически-активных компонентов 0,04% Al, 0,01% Ti, карбидообразующих (до 0,01%) и поверхностно-активных (0,01%). Металл заливали в кокиль, окрашенный дистенсилиманитовой краской с толщиной слоя около 0,5 мм. Толщина стенок кокиля – 25 мм, высота – 125 мм, внутренняя полость 50×50 мм (рис. 1). Сверху на кокиль устанавливали чашу из стержневой смеси, объем которой равен объему внутренней полости кокиля. Полученные стальные слитки разрезали на половине высоты и после глубокого травления в смеси кислот исследовали их макроструктуру. Для изучения микроструктуры на половине высоты вырезали образцы размером 10×15 мм и дли-

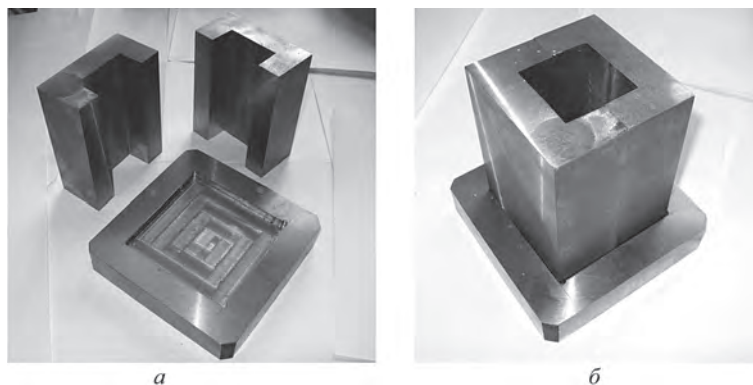


Рис. 1. Кокиль для заливки экспериментальных образцов: а – части кокиля; б – кокиль в сборе

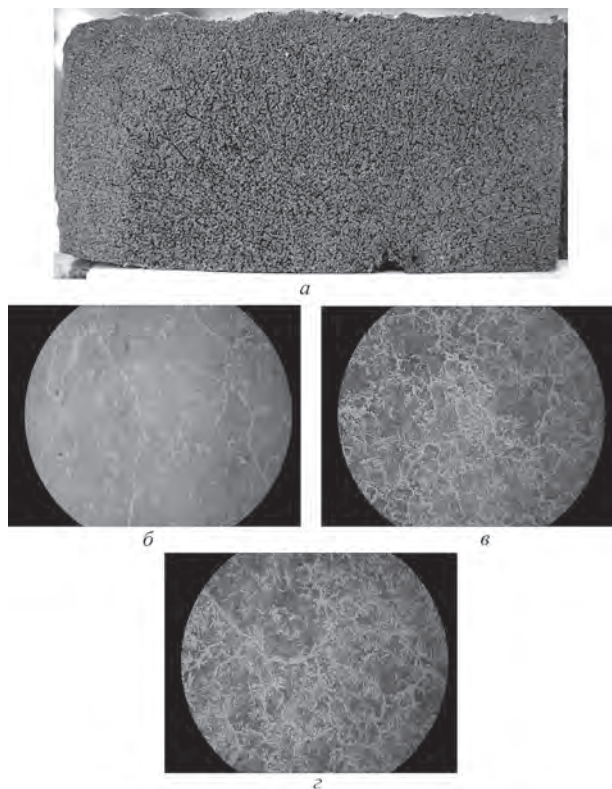


Рис. 2. Макро- (а) и микроструктура исходного слитка (б-г): б – номер зерна – 1; в – номер зерна – 2; г – номер зерна – 3. $\times 100$

ной 25 мм и на удалении 8, 16 и 24 мм от охлаждающей поверхности определяли номер зерна.

На рис. 2, а показана макроструктура половинки слитка, полученного после добавки 0,01% Al + 0,001% МИГ2, а на рис. 2, б-г – микроструктура на удалении 8, 16 и 24 мм от охлаждающей поверхности соответственно. Обработка расплава стали Al и МИГ2 принята в качестве базовой на УПП «Универсал-Лит» (г. Солигорск) и она оставалась неизменной в последующих опытах, в ходе которых дополнительно вводили Al, Ti, поверхностно-активный элемент и переменную по величине добавку карбидообразующего элемента.

На рис. 3 приведены аналогичные структуры для случая дополнительного модифицирования

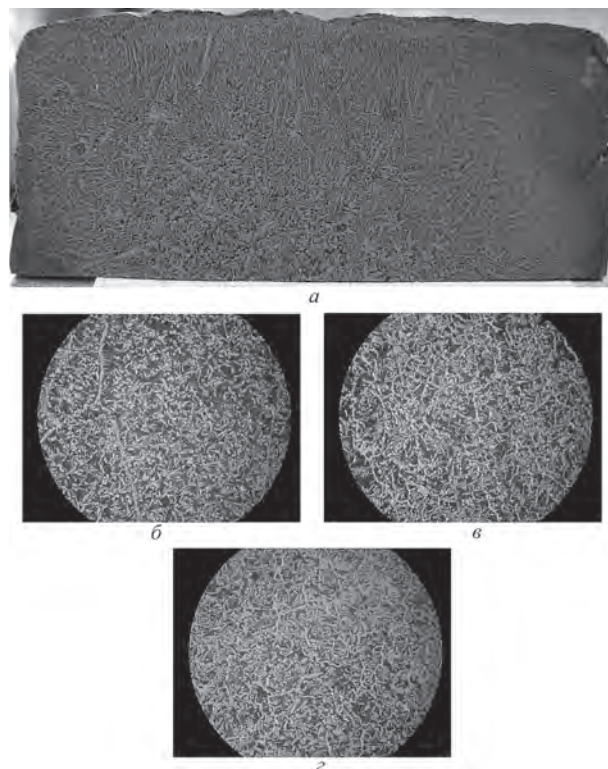


Рис. 3. Макро- (а) и микроструктура слитка с дополнительной добавкой Al, Ti, 0,01% поверхностно-активного и 0,006% карбидообразующего элемента (б-г): б – номер зерна – 4; в – номер зерна – 5; г – номер зерна – 6. $\times 100$

карбидообразующим и поверхностно-активным элементом в количестве 0,006 и 0,01% соответственно. Комплексное модифицирование обеспечило получение плотного слитка с мелкодисперсной дендритной структурой и повышение номера зерна примерно на 3 балла.

Для изучения влияния количества карбидообразующего элемента на структуру слитков измеряли соотношение площади поверхности, занятой зоной «замороженных» поверхностных кристаллов, зоной столбчатых (транскристаллитных) и равноосных кристаллов. Как следует из рис. 4, соотношение между зонами носит сложный характер. Наименьшая площадь, занятая транскристаллитной макрострук-

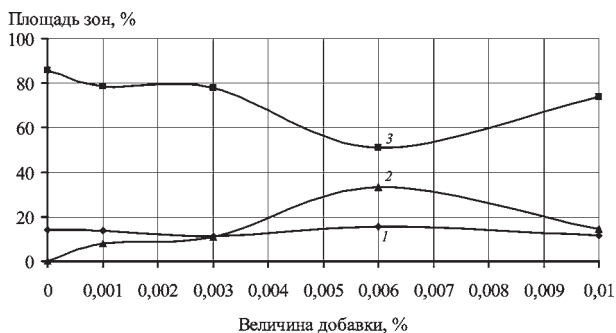


Рис. 4. Влияние величины добавки на соотношение зон: 1 – замороженные кристаллы; 2 – равноосная; 3 – транскристаллитная

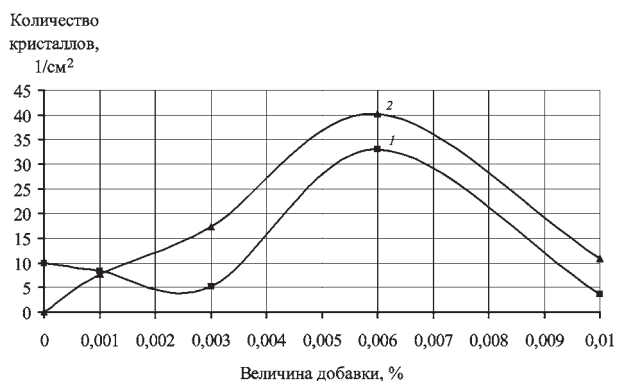


Рис. 5. Влияние величины добавки на количество дендритов: 1 – транскристаллитная; 2 – равноосная

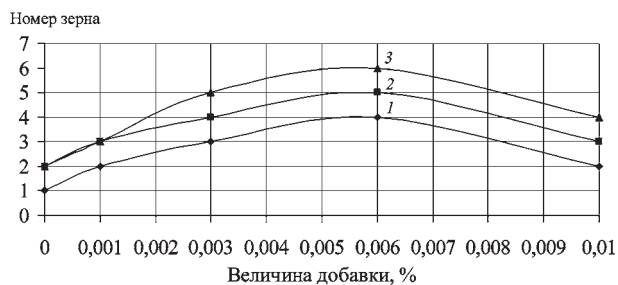


Рис. 6. Зависимость номера зерна от добавки карбидообразующего элемента: 1 – 8 мм от поверхности; 2 – 16; 3 – 24 мм

турой, соответствует 0,006% карбидообразующего элемента.

Важным показателем структуры является размер дендритов или их количество на единице поверхности шлифа. Результаты расчета для различных зон приведены на рис. 5. Из рисунка видно, что существует оптимальная величина добавки

карбидообразующего элемента, уменьшение или увеличение которой приводит к укрупнению макрозерна. Характерно синхронное измельчение структуры в обеих зонах.

Микроструктура слитков также зависит от величины добавки. Наиболее дисперсная структура соответствует добавке 0,006% карбидообразующего компонента (рис. 6).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что введение в состав комплексного модификатора карбидообразующих и поверхностно-активных элементов способствует увеличению эффективности его влияния на макро- и микроструктуру стали. Кроме того, опыты показали, что в каждом конкретном случае максимальный эффект можно получить при определенной по величине добавке карбидообразующего элемента, превышение которой может снизить эффективность модифицирования.

Литература

1. Андреев И. Д., Афонаскин А. В., Бажова Г. Ю., Дородный В. Д. Влияние технологических параметров модифицирования комплексными модификаторами на свойства отливок // Литейное производство. 2002. № 6. С. 13–15.
2. Муб Л. Г., Макаров В. В., Лялин О. П., Усманов Р. Г. Десульфурация стали 25л с помощью комплексных модификаторов с РЗМ // Литейное производство. 2003. № 3. С. 31–32.
3. Горелов В. Г., Романенко Д. Г., Демидова Е. И. Макролегирование кислой стали с использованием ванадийсодержащих отходов // Литейное производство. 2002. № 2. С. 9.
4. Бор, кальций, ниобий и цирконий в чугунах и сталях / Под ред. С. М. Винарова. М.: Металлургия, 1961.
5. Еремин Е. Н. Закономерности комплексного модифицирования литого электрошлакового металла // Анализ и синтез механических систем. Омск: Изд-во ОмГТУ, 1998. С. 131–134.
6. Комшук В. П., Фойгт Д. Б., Черепанов А. Н., Амелин А. В. Модифицирование непрерывнолитой стали нанопорошками тугоплавких соединений // Сталь. 2009. № 4. С. 65–68.
7. Давыдов И. В. Технология наномодифицирования доменных и ваграночных чугунов // Заготовительное производство. 2005. № 2. С. 3–9.