



The contents and technology of production of quick-chilled complex modifier on the basis of aluminium with additives of active components, which found wide application as graphitizing additive for cast iron, are developed.

А.Г. СЛУЦКИЙ, А. С. КАЛИНИЧЕНКО, В. А. ШЕЙНЕРТ, Г. А. ТКАЧЕНКО, БНТУ

УДК 621.74.669.14

БЫСТРООХЛАЖДЕННЫЙ КОМПЛЕКСНЫЙ МОДИФИКАТОР-РАСКИСЛИТЕЛЬ ДЛЯ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЛИТЕЙНОЙ СТАЛИ

Вопросам улучшения качественных характеристик отливок из железоуглеродистых сплавов уделяется большое внимание. В практике литейного производства для этих целей используется процесс модифицирования жидкого расплава, который обеспечивает изменение параметров кристаллизации сплава, измельчение литой структуры, снижение загрязненности расплава неметаллическими включениями, изменение фазового состава металлической основы.

В БНТУ разработаны состав комплексного модификатора на основе алюминия с добавками РЗМ и других активных элементов и способы его получения, включая гранулирование на специальной установке и намораживание на водоохлажденный кристаллизатор («чипс»-процесс) [1–4]. Данный быстроохлажденный модификатор хорошо зарекомендовал себя при внепечной обработке жидкого чугуна, особенно при тонкостенном литье как в разовые, так и постоянные формы. Перспективным направлением является использование его в качестве модификатора-раскислителя для литейных сталей. Модифицирование стали – один из способов повышения механических и технологических свойств отливок за счет изменения параметров кристаллизации, что приводит к измельчению макро- и микроструктуры литого сплава; влияния на поверхностное натяжение и вязкость расплава, склонность к переохлаждению; изменения состава, морфологии и степени дисперсности образующихся неметаллических включений и характера их распределения в микрообъемах; ослабления ликвационных явлений и повышения равномерности распределения в отливках элементов.

Один из важнейших показателей модифицирующей способности любого элемента – степень его

влияния на зародышеобразование в переохлажденной стали. Согласно [5], высокая модифицирующая способность – это низкие значения критического переохлаждения сплава. Например, если для железа это 170,1 °С, то для железа с оксидом алюминия (Al_2O_3) – всего 9,1 °С, а для железа с оксидом на основе РЗМ еще меньше (3 °С). Наряду с оксидами активное влияние на модифицирование стали оказывают сульфиды и окисульфиды РЗМ, обладающие высокой температурой плавления.

В лабораторных условиях были изготовлены опытные партии быстроохлажденных гранулированных модификаторов на основе алюминия, содержащих РЗМ, кальций и магний (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Составы исследуемых модификаторов

Наименование модификатора	Содержание элементов, %					
	Si	Fe	Mg	РЗМ	Ca	Al
с РЗМ	15,7	9,5	–	9	–	Остальное
с Ca	19,3	3,2	–	–	12	Остальное
с Mg	17,4	8,7	1,8	–	–	Остальное

Эффективность комплексных модификаторов исследовали в лабораторных условиях при выплавке углеродистой стали в индукционной тигельной печи ИСТ-006. Различные по величине добавки модификаторов вводили под струю при выпуске жидкой стали в разливочный ковш. Отливали в сухие песчаные формы заготовки, из которых после термической обработки вырезали образцы для исследования механических свойств полученной стали.

На рис. 1 показано влияние величины добавок комплексного модификатора-раскислителя, содержащего в своем составе РЗМ, магний и кальций, на механические свойства углеродистой стали.

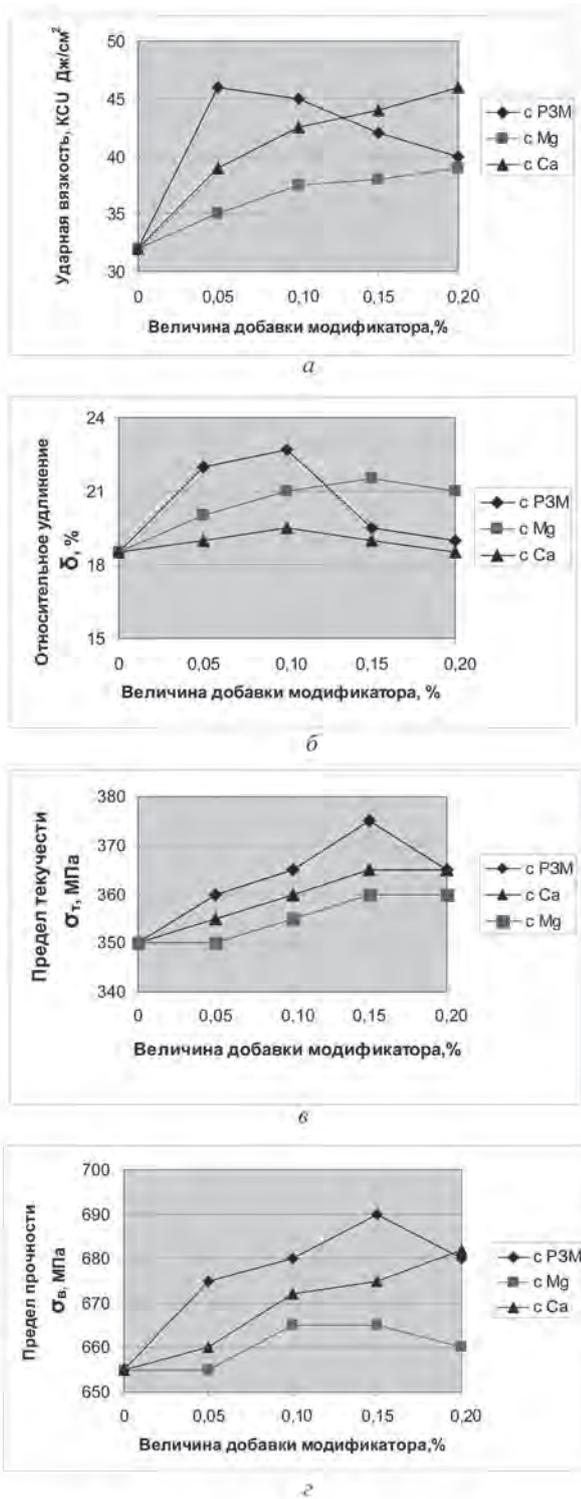


Рис. 1. Влияние активных элементов (P3M, Mg, Ca) в составе модификатора-раскислителя на механические свойства углеродистой стали

Из рисунка видно, что небольшие добавки модификаторов-раскислителей повышают механические свойства стали, особенно пластичность и ударную вязкость. Однако зависимости уровня свойств от величины присадки модификаторов, содержащих магний, кальций и особенно P3M, носят экстремальный характер.

Введение в состав быстроохлажденного модификатора магния также оказывает благоприятное влияние на свойства стали. По данным [6], это связано с диспергированием неметаллических включений вследствие микровзрывного характера воздействия паров магния на жидкую сталь. Кальций в составе модифицирующей присадки эффективно воздействует как на первичную структуру стали, так и на характер формирования неметаллических включений в отливках. Установлено, что лучшие результаты по уровню пластических и вязких свойств исследуемой стали после термической обработки (отжиг) получены с применением комплексного быстроохлажденного модификатора-раскислителя, содержащего P3M.

Нельзя не отметить и высокий модифицирующий эффект P3M, повышающего предел текучести стали по отношению к другим модификаторам (на основе Ca и Mg). Это объясняется тем, что P3M в составе модификатора блокирует образование пленочных сульфидов марганца, которые в свою очередь существенно снижают механические свойства стали.

Из рисунка видно, что модификатор с P3M очень эффективен по сравнению с другими модификаторами. При дальнейшем повышении количества модификатора наблюдается эффект перемодифицирования, что приводит к загрязнению и резкому ухудшению механических свойств материала за счет формирования новых фаз.

Таким образом, из приведенного выше можно отметить высокую эффективность воздействия P3M на свойства углеродистой стали. Поэтому, несмотря на высокую стоимость P3M, его использование в составе комплексного раскислителя очень выгодно, прежде всего за счет воздействия малых добавок на морфологию неметаллических включений, что, согласно [5], является процессом, легко реализуемым на практике.

Наличие в составе комплексного модификатора 60–70% алюминия является достаточным для раскисления стали, при этом повышается активность воздействия на расплав P3M, магния и кальция. Хотя, по мнению авторов [5, 6], увеличение содержания алюминия в составе комплексного модификатора нежелательно из-за резкого возрастания склонности такой лигатуры к рассыпанию при длительном хранении. Опыт промышленного использования разработанного в БНТУ комплексного модификатора на основе алюминия с P3M для графитизирующей обработки чугуна не подтверждает это, так как в основу способа получения положено быстрое его охлаждение в процессе гранулирования.



Рис. 2. Методика проведения опытных плавов (а) и общий вид полученных литых заготовок (б)

Ниже приведены предварительные результаты испытаний гранулированного модификатора-раскислителя на основе алюминия с РЗМ при обработке углеродистой стали, которые были проведены в Институте исследований атомной энергии (Республика Корея). Эксперименты проводили в лабораторной индукционной печи емкостью 10 кг с кислой футеровкой. Из-за небольшой емкости тигля сталь из печи выпускалась непосредственно в сухую песчаную форму (рис. 2, а). По такой методике была проведена серия плавов и модифицирования углеродной стали 40Л и изготовлены литые заготовки (рис. 2, б) для исследования структуры и свойств полученного сплава.

Модификатор-раскислитель в количестве 0,15% вводили в жидкую сталь по нескольким вариантам: в печь перед выпуском стали; под струю жидкого металла при выпуске из печи; на дно литейной формы. Из полученных литых заготовок после их отжига вырезали образцы для изучения структуры и твердости стали (табл. 2).

Анализ полученных результатов показал эффективность быстроохлажденного модификатора-раскислителя для устранения видманштеттовой структуры, снижения количества феррита. Это в свою очередь оказало существенное влияние на твердость стали.

По мнению многих исследователей [6, 7], модифицирование стали не изменяет величину наследственного зерна аустенита. Но при этом отмечается высокая эффективность малых добавок РЗМ на снижение склонности стали к образованию первичного камневидного излома. Это связано с образованием оксисульфидов и сульфидов РЗМ, нерастворимых в аустените. При охлаждении они не выделяются по границам аустенитных зерен. Высокая химическая активность РЗМ к кислороду и сере зачастую приводит к снижению эффективности модифицирования непосредственно в плавильной печи, что и подтвердили результаты экспериментов.

В качестве примера на рис. 3, а–г показаны микроструктуры исследуемых образцов. Из рисунка видно, что если в исходной стали (а) металлическая основа состоит из перлита и феррита, то при модифицировании (б–г) наблюдается перераспределение структуры в сторону снижения количества феррита.

В настоящее время большое внимание уделяется применению ультрадисперсных порошков химических соединений (нитриды, карбиды, оксиды, карбонитриды и др.) при получении новых материалов и сплавов. Размер частиц таких нанопорошков не превышает 100 нм. Обладая уникаль-

Таблица 2. Влияние способа модифицирования на микроструктуру и твердость стали

Вариант	Вариант ввода модификатора	Твердость НВ	Балл зерна	Диаметр зерна, мм ²	Микроструктура
1	Без модификатора	143	3 – 4	0,111 – 0,0788	По границам бывших аустенитных зерен и внутри зерна перлита большое количество игольчатого феррита (видманштетт)
2	На дно литейной формы	170	1 – 2	0,222 – 0,167	По границам бывших аустенитных зерен и внутри перлита видны образования игольчатого феррита (видманштетт)
3	Под струю стали при заливке формы	163	0 – 1	0,313 – 0,222	По границам бывших аустенитных зерен и внутри перлита небольшое количество феррита
4	В плавильную печь перед выпуском стали	179	0 – 1	0,313 – 0,222	По границам бывших аустенитных зерен феррит, а в теле перлита видно небольшое количество игольчатого феррита

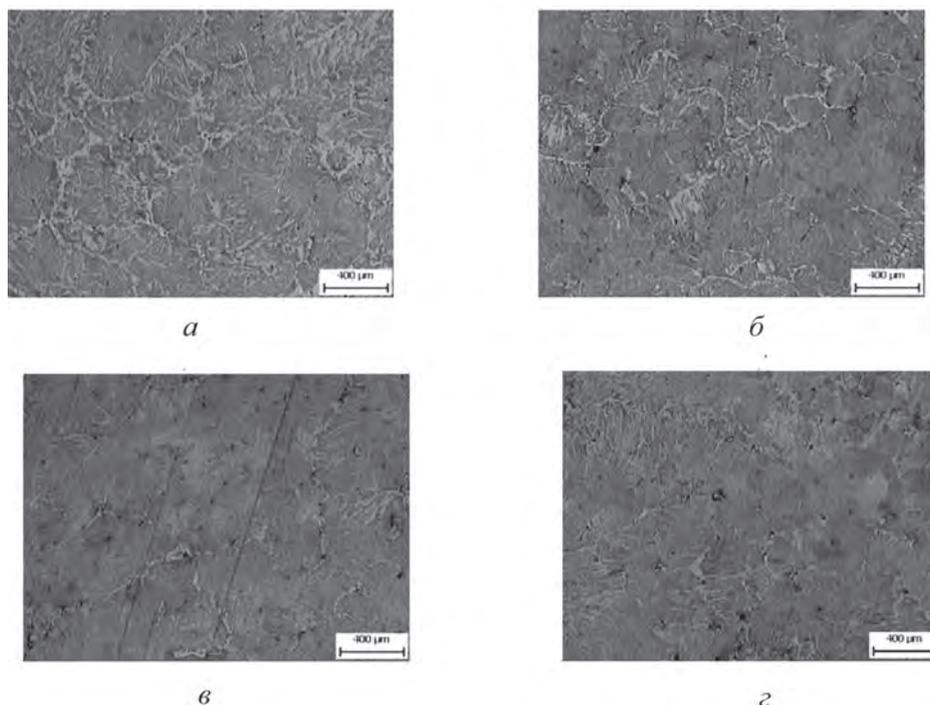


Рис. 3. Влияние способа ввода модификатора-раскислителя на микроструктуру стали: *а* – исходная сталь, раскисленная Al; *б* – добавка модификатора в форму; *в* – добавка под струю жидкого металла; *г* – добавка в печь перед выпуском

ными физико-химическими и механическими свойствами, они могут влиять на качество получаемых сплавов.

При обсуждении результатов проведенных экспериментов корейскими специалистами были высказаны пожелания дальнейшего сотрудничества и предложено использовать в составе комплексно-

го модификатора-раскислителя нанопорошковые тугоплавкие материалы, такие, как нитриды титана и бора, оксиды иттрия, карбид бора. В соответствии с программой совместных работ между Институтом исследования атомной энергии (Республика Корея) и БНТУ (Беларусь) опытные партии таких материалов были нами получены.

Таблица 3. Влияние добавок в составе модификатора ультрадисперсного порошка TiN на структуру и твердость стали в литом и отожженном состояниях

Образец	Модификатор с добавками	Балл зерна	Диаметр зерна, мм	Число зерен на 1 мм ²	Структура	Твердость НВ
В литом состоянии						
1	9% TiN	3	0,184	31	Крупные зерна пластинчатого перлита с включениями феррита, окруженные ферритом игольчатой формы (видманштеттова структура). Балл перлита 2	285
2	6% TiN	1	0,266 (отдельные зерна 1,5 мм)	16	Крупные зерна пластинчатого перлита с включениями феррита, окруженные ферритом игольчатой формы (видманштеттова структура). Балл перлита 4–5	269
3	3% TiN	0	0,352	16	Крупные зерна пластинчатого перлита с включениями феррита, окруженные ферритом. Балл перлита 1–2	229
После отжига						
1	9% TiN	6–7	0,029	1000	Мелкозернистая структура феррита и пластинчатого перлита	207
2	6% TiN	6–7	0,021	1000	Мелкозернистая структура феррита и перлита. В стали перлит имеет пластинчатую и зернистую форму в соотношении 5/95	183
3	3% TiN	7–8	0,027	1000	Мелкозернистая структура феррита и пластинчатого перлита	170

В лабораторных условиях были изготовлены опытные образцы модификатора-раскислителя на основе алюминия и РЗМ с добавками различного количества нанопорошка нитрида титана. Испытания технологии модифицирования проводили на литейном участке УП «Идея» при выплавке стали 40Л в индукционной тигельной печи с кислой футеровкой емкостью 400 кг. Модификатор вводили в разливочный ковш емкостью 40 кг в количестве 0,05%. По каждому варианту модифицирования были отобраны отливки для проведения исследований микроструктуры и твердости полученной стали как в литом состоянии, так и после термической обработки (табл. 3).

Обработка углеродистой стали модификатором с добавками нитрида титана изменила перлитно-ферритную структуру отливок. У стали, обработанной модификатором с добавками 6 и 9% нанопорошка нитрида титана, более высокие показатели твердости. В литой стали наблюдается крупнозернистая перлитная структура с включениями феррита игольчатой формы (видманштеттова структура). По мере увеличения добавок нанопорошка балл зерна литой структуры увеличивается. В структуре отливок из такой стали после отжига отмечается также равномерное распределение включений пластинчатого и зернистого перлита. Ряд исследователей отмечают положительную роль добавок нанопорошков в углеродистую сталь на глобуля-

ризацию неметаллических включений и более равномерное их распределение в отливке.

В настоящее время продолжаются экспериментальные исследования технологии ввода ультрадисперсных порошков в состав комплексного модификатора-раскислителя на основе алюминия.

Выводы

1. В БНТУ разработаны составы и технология получения быстроохлажденного комплексного модификатора на основе алюминия с добавками активных элементов. Он нашел широкое применение в качестве графитизирующей присадки для чугуна.

2. В лабораторных и промышленных условиях проведены экспериментальные исследования по применению разработанного материала в качестве модификатора-раскислителя литейной стали.

Установлено, что наличие в составе быстроохлажденной композиции таких активных элементов, как кальций, магний и особенно РЗМ, позволяет при внепечной обработке углеродистой стали 40Л существенно улучшить ее технологические и механические свойства.

3. Проведены предварительные исследования процесса получения модификатора-раскислителя, содержащего в своем составе ультрадисперсные порошки карбида и нитрида бора, нитрида титана и получены опытные образцы материала. Испытания, проведенные при внепечной обработке углеродистой стали, показали хорошие результаты.

Литература

1. С л у ц к и й А. Г., К а л и н и ч е н к о А. С., Ш е й н е р т В. А. Внепечная обработка высокоуглеродистых сплавов железа комплексными модификаторами // Сб. презентаций. Сеул, 2008. С. 78–84.
2. S l u t s k y A., K a l i n i c h e n k o A., S h e i n e r t V. Rapidly Solidified Complex Lnoculants With Souring Effect for Ferrous-Carbon Alloys. Korean-Belarusian joint Workshop on Nano Composite Technology 2009.
3. С л у ц к и й А. Г., К а л и н и ч е н к о А. С., С м е т к и н В. А., Ю х о Д. В. Быстроохлажденный комплексный модификатор для обработки чугуна и стали // Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производства. Барнаул, 2009.
4. С л у ц к и й А. Г. и др. Внепечная обработка стали комплексным модификатором // Металлургия. Мн.: БНТУ. 2008. Вып. 31.
5. Г о л ь д ш т е й н Я. Е., М и з и н В. Г. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. М.: Металлургия, 1986.
6. К у д р и н В. А. Металлургия стали. М.: Металлургия, 1981.
7. Л а х т и н Ю. М., Л е о н т ь е в а В. П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990.