

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СТРУКТУРУ СТАЛИ Ст3

И.Ю. Радченко

INFLUENCE OF MODIFIERS ON THE STRUCTURE OF St3 STEEL

I.Yu. Radchenko

Изучено модифицирование малоуглеродистой стали силикокальциевым модификатором. Рассматривались модификаторы различного производства: аргентинский, китайский и смесевой российский. Особое внимание уделено сравнению влияния различных модификаторов на микроструктуру и состав неметаллических включений в образцах стали Ст3. Было выявлено, что среди исследованных модификаторов наиболее эффективным является модификатор аргентинского производства.

Ключевые слова: модифицирование, силикокальциевый модификатор, микроструктура, неметаллические включения.

The paper is devoted to the study of modification of low-carbon steel by silicocalcium modifier. Modifiers of different manufacture were considered, namely Argentine, Chinese and mixed Russian. The focus is on comparing the influence of various modifiers on the microstructure and composition of non-metallic inclusions in the samples of St3 steel. It was found that the most effective modifier is the one of Argentine manufacture.

Keywords: modification, silicocalcium modifier, microstructure, non-metallic inclusions.

Производство высококачественной и конкурентоспособной продукции повсеместно решается методами внепечной обработки металлургических расплавов, предусматривающими технологии рафинирования, микролегирования и модифицирования расплава с использованием порошковой проволоки.

Под модифицированием обычно понимают введение в расплав малых добавок элементов, которые оказывают существенное влияние на процессы, происходящие в жидкой стали и в период ее кристаллизации. Это влияние проявляется прежде всего в изменении микростроения жидкой стали, которое, в свою очередь, определяет дисперсность кристаллизующихся фаз (модифицирование кристаллической структуры металла), а также в изменении состава и свойств выделяющихся из расплава неметаллических фаз. В связи с тем, что образование неметаллических включений (в основном сульфидов и оксидов) также происходит в жидкой стали и при ее кристаллизации, изменение их состава, размеров, формы и распределения под влиянием малых добавок активных компонентов также следует отнести к эффекту модифицирования (модифицирование неметаллических включений) [1].

В настоящее время при внепечной обработке стали наиболее широко применяются порошковые проволоки с кальцийсодержащими наполнителями (силикокальций, механическая смесь силикокальция и кальция металлического, чистый кальций или

в смеси с инертными и активными добавками). Это связано с уникальными свойствами кальция – высокой раскисляющей и десульфуризирующей способностью, целенаправленным модифицированием оксидных и сульфидных неметаллических включений в стали. Разнообразие кальцийсодержащих наполнителей связано с их применением для различного сортамента выплавляемых марок стали (алюминийсодержащих, с нормируемым содержанием алюминия и серы, безалюминиевых и безкремнистых) [2].

Для изучения влияния модифицирующих добавок на структуру малоуглеродистой стали было проведено исследование на образцах широко используемой стали Ст3.

При металлографическом исследовании были изучены образцы, модифицированные SiCa-модификаторами различного производства: смесевым российского производства, аргентинским, китайским. Предварительно было проведено раскисление стали Al, FeMn и FeSi.

Металлографический анализ образцов проводился при увеличениях $\times 100$, $\times 500$, $\times 1000$ на образцах, травленных в 4%-ном растворе азотной кислоты в спирте.

Микроанализ образцов, модифицированных российским смесевым модификатором, показал, что зерна имеют размер порядка 300–400 мкм (рис. 1). Микроструктура образцов идентичная, мартенситообразная. Наблюдается неоднородность структуры: в поверхностных слоях – крупноигольчатые выделения, в центральных – дис-

персные иглы (рис. 2). В структуре наблюдается усадочная рыхлость и пористость. Размер пор – от 20 до 100 мкм (рис. 3).

Микроанализ образцов, модифицированных китайским модификатором, показал, что размер зерен составляет 500–700 мкм (рис. 4). Микроструктура образцов мартенситообразная, неоднородная по сечению образца (рис. 5) – в центре встречаются дисперсные области.

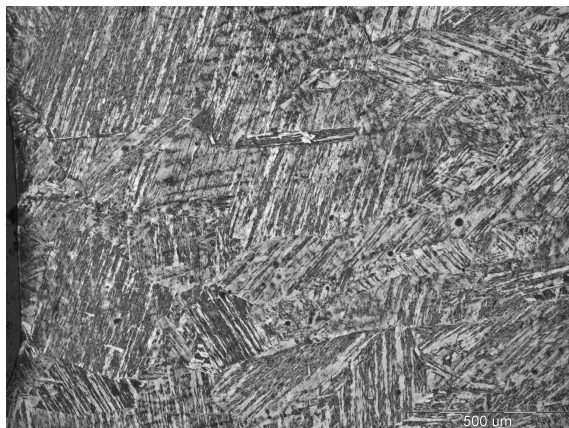


Рис. 1. Микроструктура поверхности образца стали Ст3, модифицированной российской смесью, $\times 100$

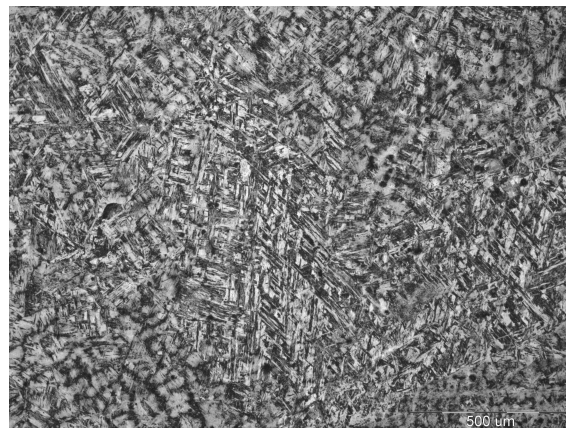


Рис. 2. Микроструктура центра образца стали Ст3, модифицированной российской смесью, $\times 100$

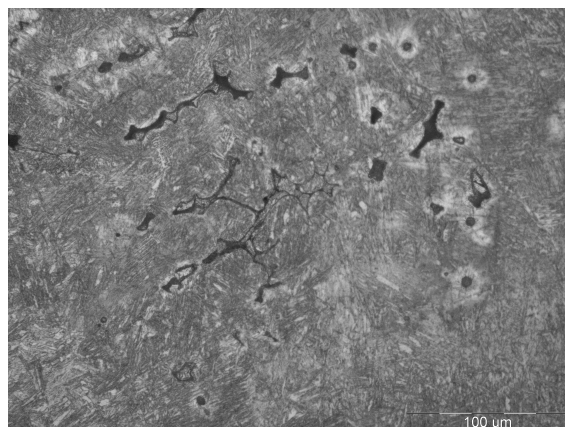


Рис. 3. Усадочные явления в образце стали Ст3, модифицированной российской смесью, $\times 100$

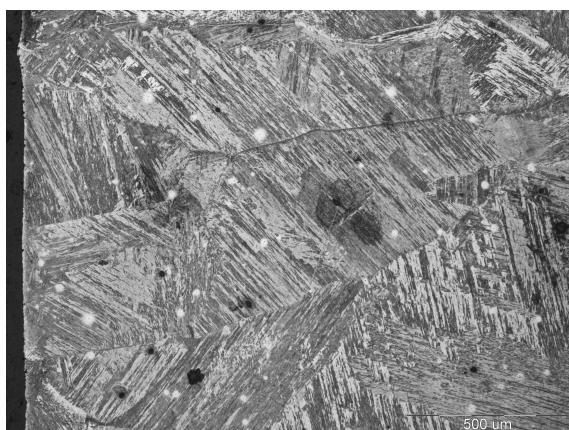


Рис. 4. Микроструктура поверхности образца стали Ст3, модифицированной китайским модификатором, $\times 100$

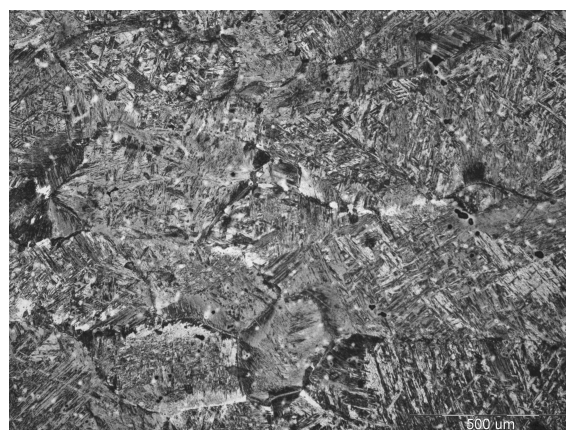


Рис. 5. Микроструктура центра образца стали Ст3, модифицированной китайским модификатором, $\times 100$

Микроанализ образцов, модифицированных аргентинским модификатором, показал, что размер зерен составляет 700–1000 мкм. На рис. 6 показана типичная микроструктура поверхностных слоев. По направлению к центру зерно заметно укрупняется. Микроструктура мартенситообразная. В центре образца имеются усадочные рыхлость и поры (рис. 7).

Наблюдается ликвационные проявления по границам зерен во всех видах образцов (рис. 8–10).

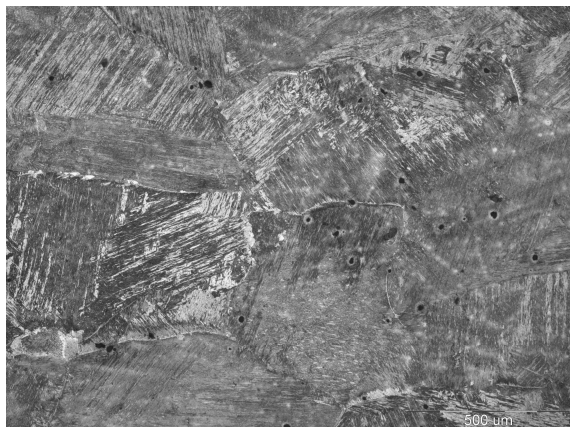


Рис. 6. Микроструктура поверхности образца стали Ст3, модифицированной аргентинским модификатором, $\times 100$

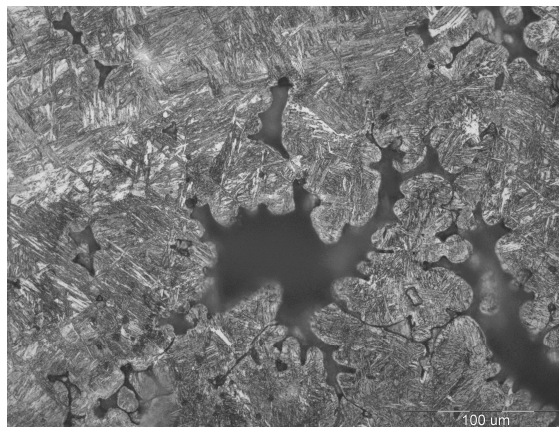


Рис. 7. Усадочные явления в образце стали Ст3, модифицированной аргентинским модификатором, $\times 100$

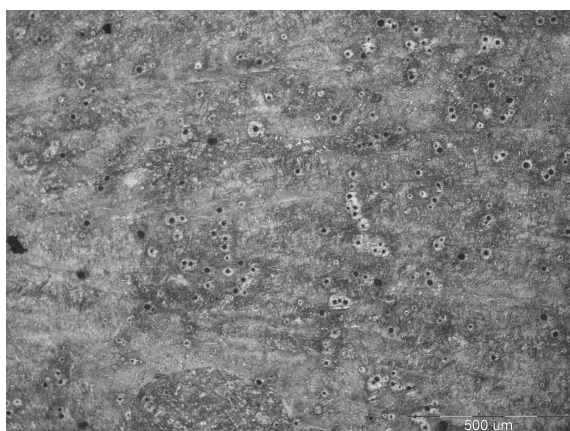


Рис. 8. Ликвация в образце стали Ст3, модифицированной российской смесью, $\times 100$

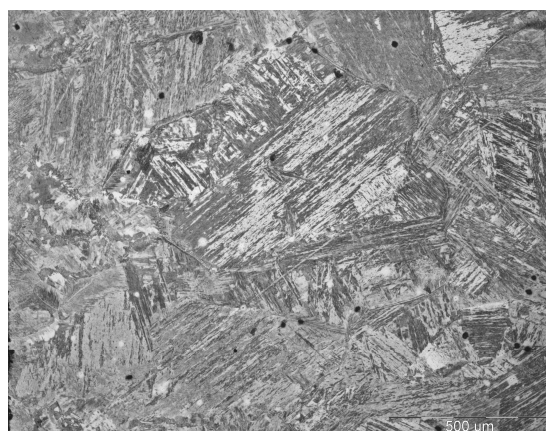


Рис. 9. Ликвация в образце стали Ст3, модифицированной китайским модификатором, $\times 100$



Рис. 10. Ликвация в образце стали Ст3, модифицированной аргентинским модификатором, $\times 100$

Особенностью материала является наличие большого количества еще не модифицированных включений (закалка материала производилась через 8 минут после введения порошковой проволоки).

Для анализа неметаллических включений на электронном микроскопе использовались нетравленные образцы.

Распределение неметаллических включений

происходит преимущественно по границам зерен (рис. 11–13).

В микроструктуре образцов было обнаружено 3 типа включений:

- дисперсные < 1 мкм;
- дисперсные 2–5 мкм;

– грубые, или шлаковые, 10–80 мкм (располагаются как в теле, так и на границе зерна).

Во всех исследуемых образцах Са обнаружи-

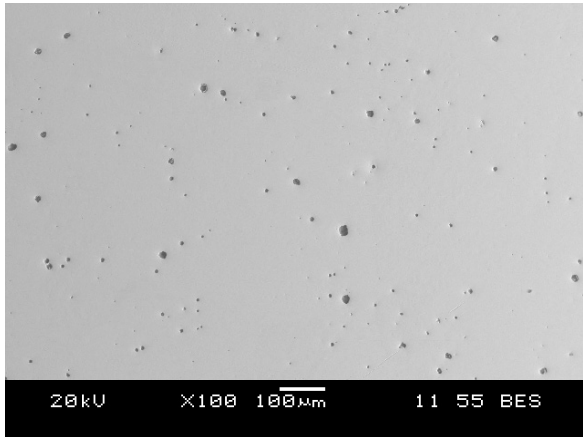


Рис. 11. Распределение включений в образце стали Ст3, модифицированной российской смесью

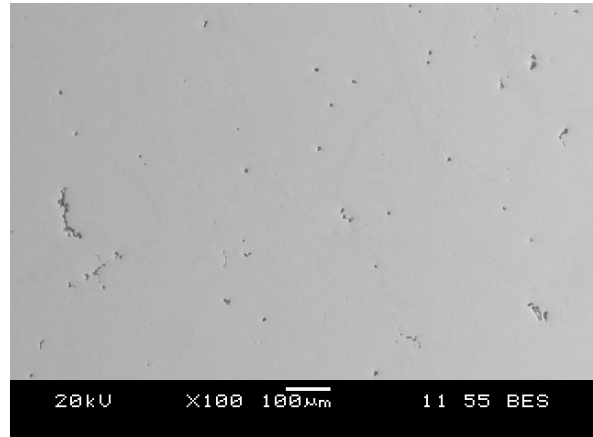


Рис. 12. Распределение включений в образце стали Ст3, модифицированной китайским модификатором

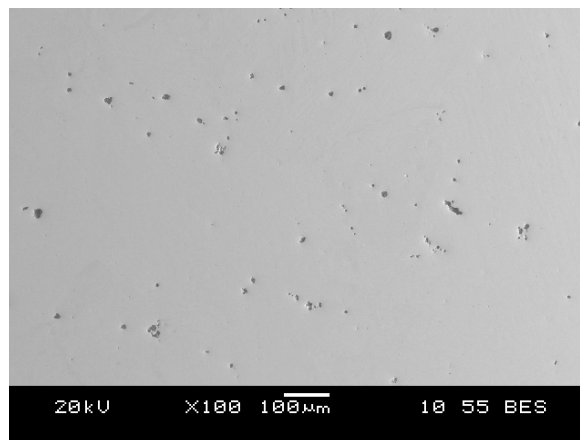


Рис. 13. Распределение включений в образце стали Ст3, модифицированной аргентинским модификатором

вается в дисперсных частицах размером ≤ 1 мкм. Неметаллические включения с Ca размером > 1 мкм встречаются только в образцах, модифицированных российской смесью. В образцах также были обнаружены оксиды Al_2O_3 , силикат SiO_2 , сульфиды Mn и Fe. В некоторых образцах обнаружено присутствие K и Cl. Предположительно это связано с подготовкой образцов (шлиф). Соли K также могут попадать при производстве Ca (электролиз расплава солей – одна из технологий получения Ca).

В образцах содержится большое количество комплексных включений. В образцах, модифицированных российской смесью, присутствуют шлаковые включения.

Таким образом, исследование показало, что наилучшая структура наблюдается у образцов, модифицированных аргентинским модификатором. В этих образцах наблюдается наименьшее количество еще не модифицированных включений

и наибольшее количество включений, модифицированных кальцием. Однако у этих образцов самые крупные зерна. Это можно исправить последующей термообработкой.

Самыми низкими свойствами обладают образцы, модифицированные российской смесью. В них наблюдается большое количество еще не модифицированных частиц при малом содержании частиц, модифицированных кальцием.

Литература

1. Поволоцкий, Д.Я. Основы технологии производства стали. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – 189 с.
2. Эффективность и механизм модифицирования рельсовой стали барием / А.А. Дерябин, В.В. Могильный, Л.А. Годик и др. // Черная металлургия: бюл. ин-та «Черметинформация». – 2007. – № 6. – С. 43–46.

Поступила в редакцию 13 сентября 2012 г.