

**ВЛИЯНИЕ МИКРОДОБАВОК ТИТАНА НА ПРОЦЕССЫ  
СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ  
В ЛИТОЙ СТАЛИ 23Г2А ПОСЛЕ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ  
РАЗЛИЧНЫМИ ТИТАНСОДЕРЖАЩИМИ ДОБАВКАМИ**

**Н. Н. Федоркова**

*Национальная металлургическая академия Украины*

**Введение.** Одним из основных ферросплавов для внепечной обработки сталей и сплавов в ковше несомненно является ферротитан, который успешно выполняет функции раскислителя и модификатора при получении качественных сталей. Однако технология его получения весьма сложная и дорогостоящая. Например, для выплавки ферротитана с содержанием титана 65–70 % применяют титановую губку ТГ–Тв, кусковые отходы, обрезь титана, отходы производства титановых слитков и другие отходы производства. После дробления ферротитан получают в виде немерных кусков, которые будут тем в меньшей степени усваиваться расплавом стали, чем меньше будут размеры кусков [1].

Чтобы исключить перечисленные выше недостатки взамен ферротитана, под научным руководством профессора, доктора технических наук О. М. Шаповаловой была разработана и изготовлена методом брикетирования комплексная технологическая добавка ДТ1 из стружки титановых и алюминиевых сплавов, смешанных в определенных пропорциях [2].

**Обзор литературы.** При разработке данной добавки были учтены такие факторы, как раскисляющее, модифицирующее и микролегирующее воздействие титана на марганцовистую сталь. Было сделано справедливое предположение, что при обработке стали добавкой ДТ1, где роль раскислителя играют и титан, и алюминий, выплавленная сталь будет иметь меньше загрязняющих примесей и неметаллических включений. В качестве модификатора титан, входящий в состав ДТ1, будет способствовать измельчению зеренной и тонкой структуры стали. Как микролегирующий компонент, титан будет измельчать на тонком уровне структурные и фазовые составляющие стали, образуя мелкодисперсные карбиды и нитриды. Столь комплексное и благотворное влияние титана и добавки ДТ1 в целом приведет к повышению общего уровня механических и технологических свойств обрабатываемой стали [3].

Поэтому создание технологической добавки ДТ1 является целесообразным с точки зрения процесса ее безрасплавного получения из стружки титановых и алюминиевых сплавов и экономически выгодным, так как ее применение, не увеличивая себестоимости обрабатываемых качественных сталей, повысит общий уровень их свойств [4]. Кроме того, благодаря экзотермической реакции алюминия и титана добавки ДТ1 с расплавом в ковше, можно выпускать из конвертера сталь с несколько более низкой температурой, что существенно экономит топливно-энергетические ресурсы и снижает себестоимость стали.

**Методики исследования.** В процессе исследования структуры были параллельно использованы несколько методов: исследование макро- и микроструктуры литой стали с помощью методов световой микроскопии, электронномикроскопическое изучение особенностей структуры высокодисперсных

фаз и оценка параметров структуры с помощью метода количественной металлографии.

**Цель работы.** Сравнительные исследования макро-, микро- и тонкой структуры литой стали марки 23Г2А после внепечной обработки в ковше различными титансодержащими добавками и влияния микродобавок титана на качество стали и ее структурные составляющие.

**Результаты работы и их обсуждение.** Как показано выше, химический состав оказывает большое влияние на качество металла. Поэтому представляло интерес изучить влияние химического состава на макро- и микроструктуру стали, обработанной ферротитаном и добавкой ДТ1. Для этой цели нами были взяты образцы, вырезанные из литых проб диаметром 0,033 м и высотой 0,04–0,07 м. Пробы (30 шт), отобранные при разливке стали в изложницы на участке разливки, разрезали на токарном станке. Образцы имели толщину 0,02 м. Макро- и микроструктуру исследовали в большом диапазоне увеличений, от 2 до 2000 крат. Визуально обнаружен разный цвет металла проб, обработанных ферротитаном и добавкой ДТ1. Поверхность обычных заводских проб была более тусклой, имела плотную окисную пленку  $Fe_2O_3$ . Поверхность металла, обработанного ДТ1, отличалась более темным цветом и большим металлическим блеском.

При порезке проб выявлено, что в исследуемых сечениях металл был плотным, отсутствовала макро- и микропористость.

Макроструктура литого металла характеризовалась наличием двух зон (рис. 1):

- поверхностной с крупными кристаллитами удлиненной формы;
- центральной, характеризующейся наличием равноосных кристаллов.

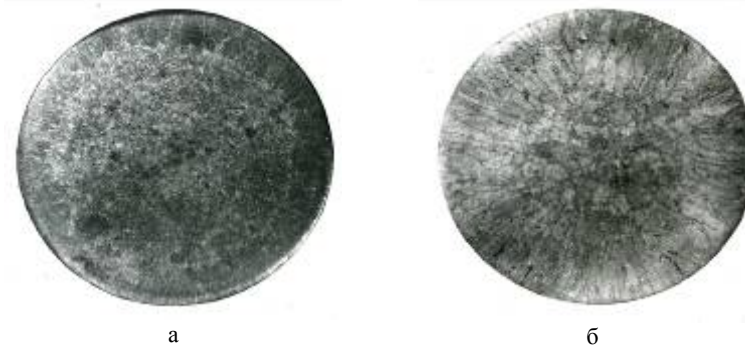


Рис. 1. Макроструктура литых образцов стали 23Г2А после обработки ДТ1 (а) и ФТи68 (б)

Зона столбчатых кристаллов в стали, обработанной добавкой ДТ1 (рис. 1, а), составляла 33–35 % сечения образца. То есть титансодержащая добавка из машиностроительной стружки вносила в жидкий расплав дополнительные центры кристаллизации, которые при большой скорости теплоотвода (металл заливали в металлические формы), препятствовали росту столбчатых кристаллов. Поэтому зона столбчатых кристаллов в этих плавках в 2–2,5 раза меньше, чем в стали, обработанной ФТи68, где она составляет 55–60 % (рис. 1, б). Зоны равноосных

кристаллов в сталях, выплавленных по заводской и разработанной технологиям, составляли, соответственно, 40–45 и 65–67 % сечения микрошлифа.

Кроме этого, зона равноосных кристаллов также состояла из более мелких зерен в стали, обработанной ДТ1, то есть кристаллизация из жидкого расплава развивалась на большем количестве центров кристаллизации, это указывало на повышенное модифицирующее действие новой добавки.

Оценка размера аустенитного зерна по величине ферритной сетки методом случайных секущих [5; 6] показала, что литая структура стали 23Г2А, обработанная ДТ1, характеризовалась более мелким зерном (средний балл – 4), по сравнению со сталью серийных плавов (средний балл – 3). От плавки к плавке размеры зерен практически не изменялись. Это явилось одной из причин стабилизации свойств опытной стали. Микроструктура исследуемой стали состояла из перлита и феррита, обнаружена слабо выраженная сетка нерастворенного первичного феррита (рис. 2).

Следует отметить, что размеры первичной ферритной сетки оказались дисперснее в стали, обработанной ДТ1 [7].

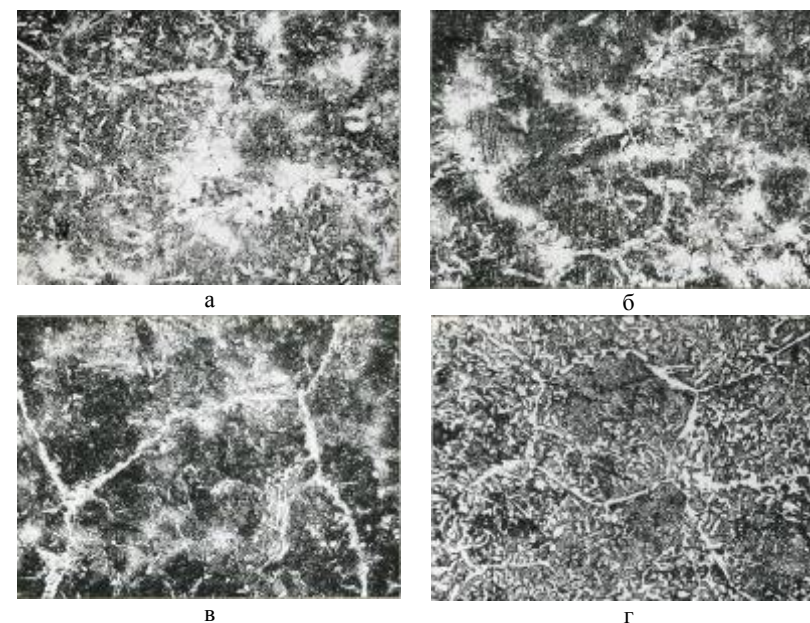


Рис. 2. Микроструктура стали 23Г2А – влияние содержания титана на размеры зерен первичного феррита по краю литого образца: а – 0,006 % Ti; б – 0,012 % Ti; в – 0,014 % Ti; г – 0,022 % Ti,  $\times 100$

Увеличение содержания титана в стали от 0,006 до 0,022 % (рис. 3) приводило к растворению первичной ферритной сетки, концентрации ферритной фазы по границам зерен, то есть к местам стока несовершенств кристаллической решетки, а также к измельчению зеренной структуры как с поверхности, так и в центре образца.

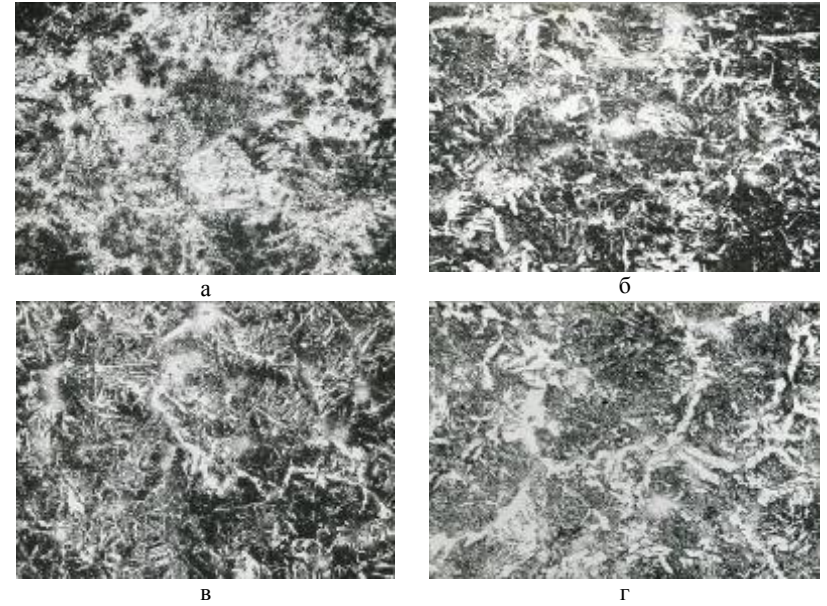


Рис. 3. Микроструктура стали 23Г2А – влияние содержания титана на размеры зерен первичного феррита в центре литого образца,  $\times 100$ : а – 0,006 % Ti; б – 0,012 % Ti; в – 0,014 % Ti; г – 0,022 % Ti

С целью сравнения изучена микроструктура образцов стали после обработки ФТи68 (рис. 4), она представляла собой крупнозернистую, грубую ферритно-перлитную структуру, местами переходящую в видманштеттовую.

Обладая такой структурой, сталь имела большой разброс значений механических свойств: высокую прочность и пониженные пластичность и ударную вязкость, все это понижало эксплуатационную стойкость стали.

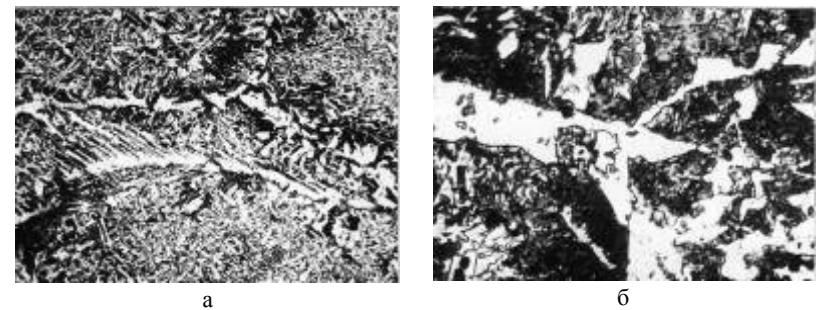


Рис. 4. Микроструктура стали 23Г2А после обработки ферротитаном: а –  $\times 100$ ; б –  $\times 800$

По данным электронномикроскопического исследования размеры перлитных колоний, ферритных зерен и цементита в литой стали в результате модифицирования добавкой ДТ1 существенно уменьшились по сравнению со сталью, обработанной ферротитаном (рис. 5, 6).

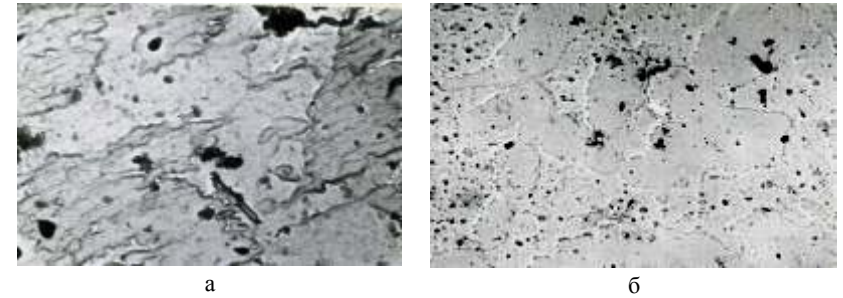


Рис. 5. Измельчение перлитных колоний в стали 23Г2А после обработки ферротитаном ФТи68 (а) и добавкой ДТ1 (б), ПЭМ,  $\times 4000$

Установлено также измельчение субзеренной структуры феррита (рис. 6, а, б), значительное уменьшение количества феррита (на 17,2 %) и цементита, и, соответственно, увеличение количества перлита по сравнению со сталью, обработанной ферротитаном (рис. 6 в, г).

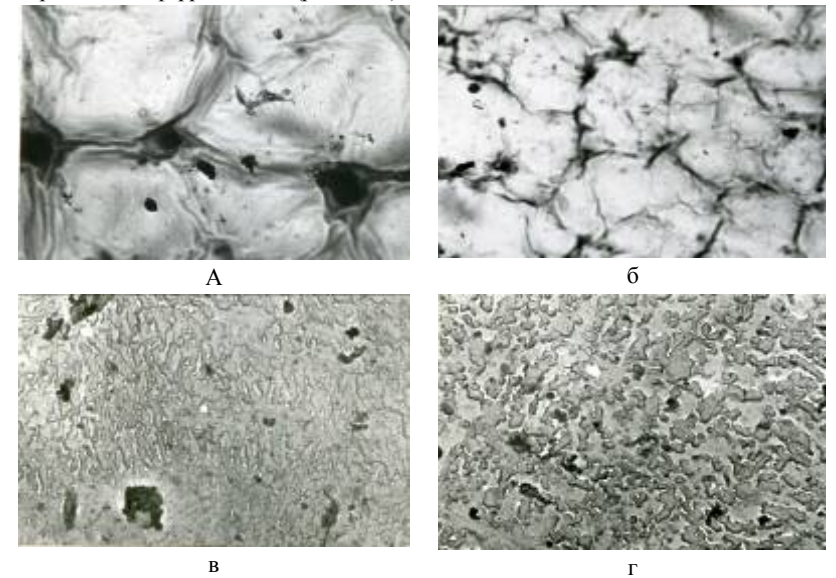
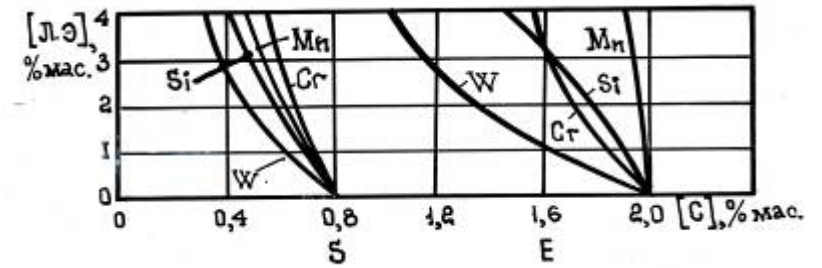
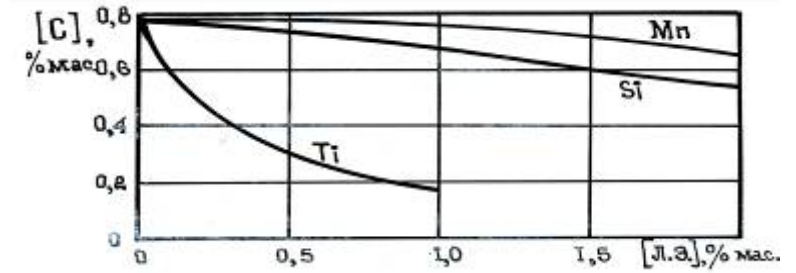


Рис. 6. Измельчение зерен феррита (а, б) и цементита (в, г) после обработки ДТ1 в сравнении с обработкой ФТи68, ПЭМ: а, в – обработка ФТи68; б, г – обработка ДТ1,  $\times 400$

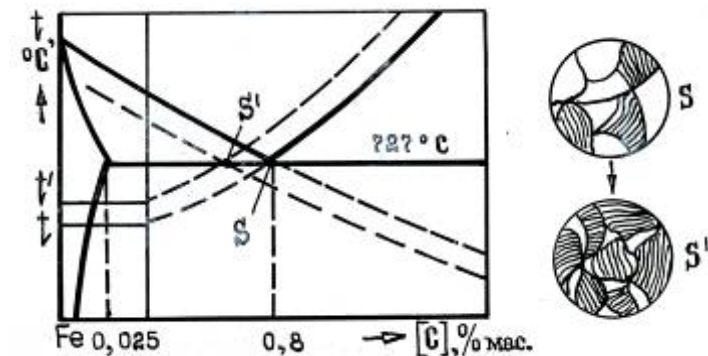
Обнаруженное явление объясняется тем, что марганец, кремний и титан сдвигают точку S диаграммы состояния Fe-C влево, в сторону уменьшения углерода в металле (рис. 7). При этом сужается область предварительного выделения феррита из аустенита, поэтому начало выделения перлита по реакции  $A \rightarrow \Phi + П$  происходит при более высокой температуре.



а



б



в

Рис. 7. Графики влияния легирующих элементов на содержание углерода в стали (а, б) и фрагмент диаграммы состояния системы Fe-C, иллюстрирующий процесс уменьшения количества феррита в стали 23Г2А (в)

## ВЫВОДЫ

Результаты проведенных исследований литой стали марки 23Г2А после обработки в ковше разными титансодержащими добавками позволили сделать следующие выводы.

При исследовании макро-, микро- и тонкой структуры литой стали 23Г2А, обработанной добавкой ДТ1 взамен ферротитана, обнаружено:

- повышение однородности структуры;
- уменьшение размеров аустенитного зерна на 1 балл;
- увеличение зоны равноосных кристаллов в литых пробах в ~ 1,5 раза;
- увеличение объемной доли перлита на ~ 16 %;
- уменьшение размеров зерен феррита и выделений перлита;
- повышение с ростом концентрации титана дисперсности перлита и степени легированности феррита.

Перечисленные факторы способствовали повышению однородности структуры стали, что, в свою очередь, обеспечило повышение уровня и стабильности механических свойств стали.

## Литература

1. Шаповалова О. М. Рациональные способы переработки титановых отходов / Состояние и пути улучшения использования отходов титановых сплавов: Тезисы докладов научно-технического совещания. – 1985. – г. В.Салда. – 31 с.
2. А.С. № 1201342 СССР. МКИ<sup>3</sup> С 22 С 35/00. Комплексная добавка для обработки низколегированной марганцевистой стали. О. М. Шаповалова, Н. И. Шевченко, Н. Н. Музыка и др.
3. Улучшение свойств титановых сплавов и сталей и проблема использования титановых отходов: Сб. научн. тр. / ДГУ. Научн. руковод. Шаповалова О. М. – Дн-ск, 1982. – 220 с.
3. Поволоцкий Д. Я., Токовой О. К., Абезгауз М. В. Улучшение качества конвертерной кипящей стали // Сталь, 1988. – № 1. – С. 25–26.
4. Исследование фазового состава стали, микролегированной титаном и азотом, и влияние на него температуры и деформации / Мирошниченко А. В., Киржнер О. М., Захарченко Л. Н. и др. // УкрНИИмет. Харьков, 1987. // Деп. в Черметинформации. 30.04.87, № 3975.
5. Матросов Ю. И. Измерение межпластиночного расстояния в перлите // Производство и свойства стали и сплавов: Сб. трудов ЦНИИЧермета. М.: Металлургия, 1968. Вып. 63. – С. 69–72.
6. Таран Ю. Н., Мазур В. И. Структура эвтектических сплавов. – М. : Металлургия, 1978. – 311 с.
7. Браун М. П. Микролегирование стали. – К. : Наукова думка, 1982. – 303 с.
8. Федоркова Н. Н. Сравнительные исследования состава и свойств современных титансодержащих добавок // Металознавство та термічна обробка металів. Науковий та інформаційний журнал. Д. : ПДАБА, 2009. – № 2. – С. 9–15.
9. Федоркова Н. Н. Исследование химического состава и механических свойств стали 23Г2А после внепечной обработки различными титансодержащими добавками // Металознавство та термічна обробка металів: Науков. та інформ. журн. // ПДАБА, Д., 2009. – № 3. – С. 38–47.