

Б.П. Середа, зав. кафедрой, д.т.н., профессор

С.П. Шейко, доцент, к.т.н.

Ю.А. Белоконь, доцент, к.т.н.

А.Н. Онищенко, аспирант

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ, ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ И СВОЙСТВА БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

*Запорожская государственная инженерная академия*

Розглянуто особливості впливу модифікаторів на властивості, мікроструктуру, та характер руйнування швидкорізальних сталей. Наведено результати мікрорентгеноспектрального, рентгеноспектрального аналізів, а також результати випробувань на ударну в'язкість.

Рассмотрены особенности влияния модификаторов на свойства, микроструктуру и характер разрушения быстрорежущих сталей. Приведены результаты микро-рентгеноспектрального, рентгеноспектрального анализов, а также результаты испытаний на ударную вязкость.

*Введение.* Быстрорежущие стали относятся к классу инструментальных сталей и являются основным материалом для изготовления режущего и штамповочного инструмента, работающего в условиях силового нагружения и значительного разогрева (до 500...700 °С) рабочих кромок. Кроме того, быстрорежущие стали находят применение для изготовления ряда деталей, работающих при повышенных температурах и в условиях износа (штампы холодного прессования, ножи для отрезки капель стекломассы, иглы топливной аппаратуры и др.) [1].

Основными служебными характеристиками, обеспечивающими высокую стойкость инструмента и других деталей из быстрорежущих сталей, являются вторичная твердость, красностойкость (теплостойкость), износостойкость, прочность и вязкость.

*Постановка задачи.* Задачей исследования является изучение особенностей влияния модифицирования на структуру, механические свойства, а также характер разрушения быстрорежущих сталей.

*Основная часть исследований.* С целью дальнейшего повышения надежности и долговечности инструмента из быстрорежущей стали было изучено влияние модифицирования на механические и служебные свойства разработанной экономнолегированной быстрорежущей стали. При этом ставили задачу добиться в результате модифицирования измельчения и более равномерного распределения карбидной фазы, а также снижения отрицательного влияния вредных примесей (кислород, сера, цветные металлы). В связи с этим в качестве модификаторов были выбраны элементы, обладающие высоким химическим сродством к углероду (титан, цирконий, ниобий, бор), сере и кислороду (кальций и РЗМ).

Паспортные заготовки одного исходного состава (4,5 % Cr; 2,30 % W; 1,90 % Mo; 1,82 % V; 0,95 % C; 0,71 % Si; 0,50 % Mn; 0,42 % Ni) расплавляли в течение 12...15 мин в индукционной печи емкостью 25 кг, при этом состав стали практически не изменялся [2]. Модификаторы в виде ферротитана ФТи30 (ГОСТ 4761-80), ферроциркония ФЦн60 (ГОСТ 17001.4-86), феррониобия ФН650 (ГОСТ 6773-85), ферробора ФБ30 (ГОСТ 14848-69) и лигатуры АКЦе (30,9 % алюминия, 27,8 % РЗМ, 11,9 % кальция, остальное – никель: ТУ

48-4-227-78) вводили в металл в ковше при температуре 1700 °С после его предварительного раскисления алюминием (0,1 %).

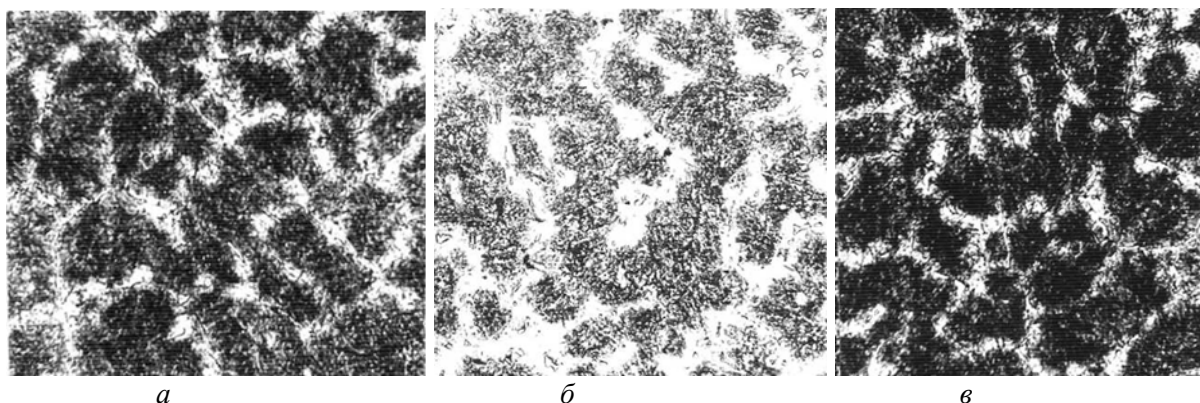
Образцы для испытаний получали из заготовок, отлитых в сухие песчаные формы и подвергнутых термической обработке по режиму: закалка в масло от температуры 1200 °С; трехкратный отпуск при температуре 560 °С (выдержка 1 ч, охлаждение на воздухе).

Микрорентгеноспектральный анализ в режиме сканирования на микрозонде «Самса MS-46» позволил обнаружить наличие титана, циркония и ниобия в составе карбидов (рис. 1). Наличие РЗМ в составе карбидов, как и следовало ожидать, не обнаружено, а бор, как известно, при помощи данного микрозонда определить нельзя.

Результаты рентгеноспектрального микроанализа состава карбидов показали, что титан, цирконий и ниобий образуют свои карбиды: содержание титана, циркония и ниобия в карбидах этих элементов превышает 70 %. Кроме ванадия, содержание которого составляет 9...15 %, другие элементы в карбидах титана, циркония и ниобия присутствовали в незначительных количествах.

Несмотря на незначительное количество, карбиды титана, циркония и ниобия оказали существенное влияние на процессы карбидообразования и как следствие, на свойства стали.

В немодифицированной стали карбиды  $M_6C$  (где  $M - Ti, Nb, Zn$ ) располагались исключительно по границам зерен, образуя в ряде случаев сплошную сетку, что приводило к получению излома, в котором участки хрупкого скола составляли около 50 % всей поверхности излома. Присадки титана, циркония и ниобия способствовали измельчению размеров зерен и эвтектических карбидов, а также получению разорванной карбидной сетки на границах зерен. Это привело к изменению характера разрушения от межзеренного к внутризеренному (рис. 2); на ударных образцах появились признаки пластической деформации.

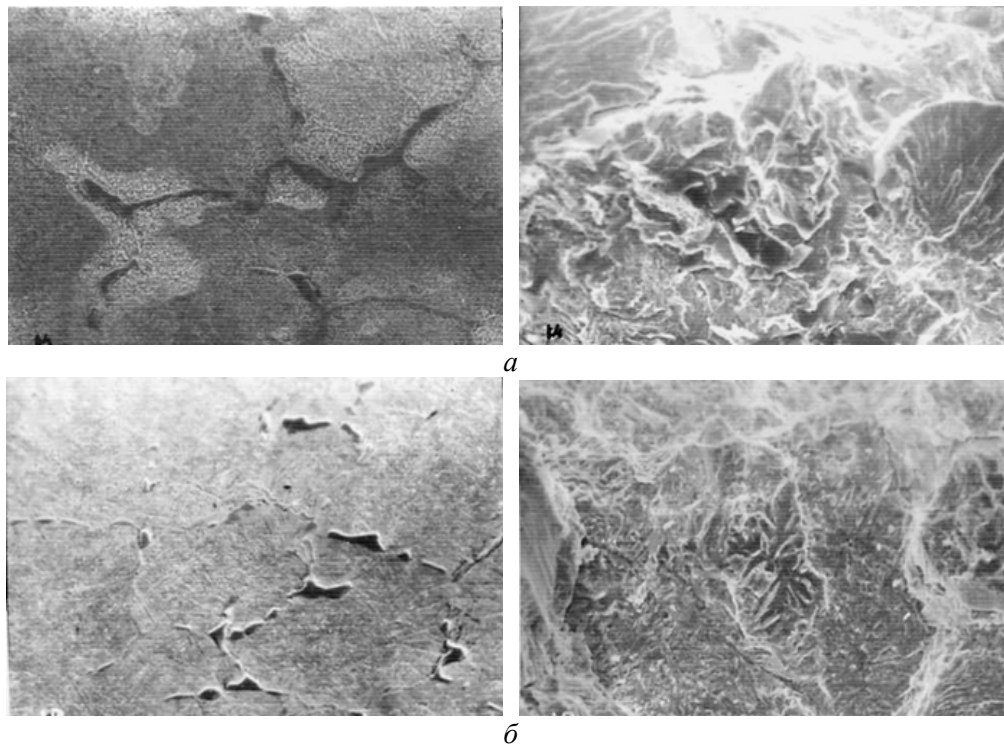


**Рисунок 1** – Микроструктура быстрорежущей стали после модифицирования,  $\times 400$ :  
*а - титаном, б - ниобием, в - цирконием*

Механизм влияния перечисленных выше модификаторов на свойства быстрорежущих сталей изучен недостаточно. Полученные нами результаты позволяют предположить, что карбиды титана, циркония и ниобия, а также нитриды этих элементов, образующиеся в жидком металле, выполняют функцию центров кристаллизации и вследствие этого увеличивают дисперсность дендритов  $\delta$ -феррита, что, в конечном итоге, выражается в изменении зерна стали, а также приводит к формированию более компактных, изолированных друг от друга эвтектических карбидов. Сказанное подтверждается наличием модификаторов в составе карбидов  $M_6C$ , а также  $MC$ .

Бор также является карбидообразующим элементом и, согласно литературным данным [2], способствует увеличению количества легко растворимых при температурах

закалки карбидов  $M_{23}C_6$  и уменьшению карбидов  $M_6C$ , в результате чего концентрация молибдена и вольфрама в карбидах уменьшается, а в твердом растворе возрастает, что положительно сказывается на теплостойкости стали. Кроме того, карбиды бора выполняют функцию центров кристаллизации, способствуя уменьшению размеров зерна и измельчению карбидной фазы, что, в целом, положительно сказывается на характере разрушения стали (рис. 2).



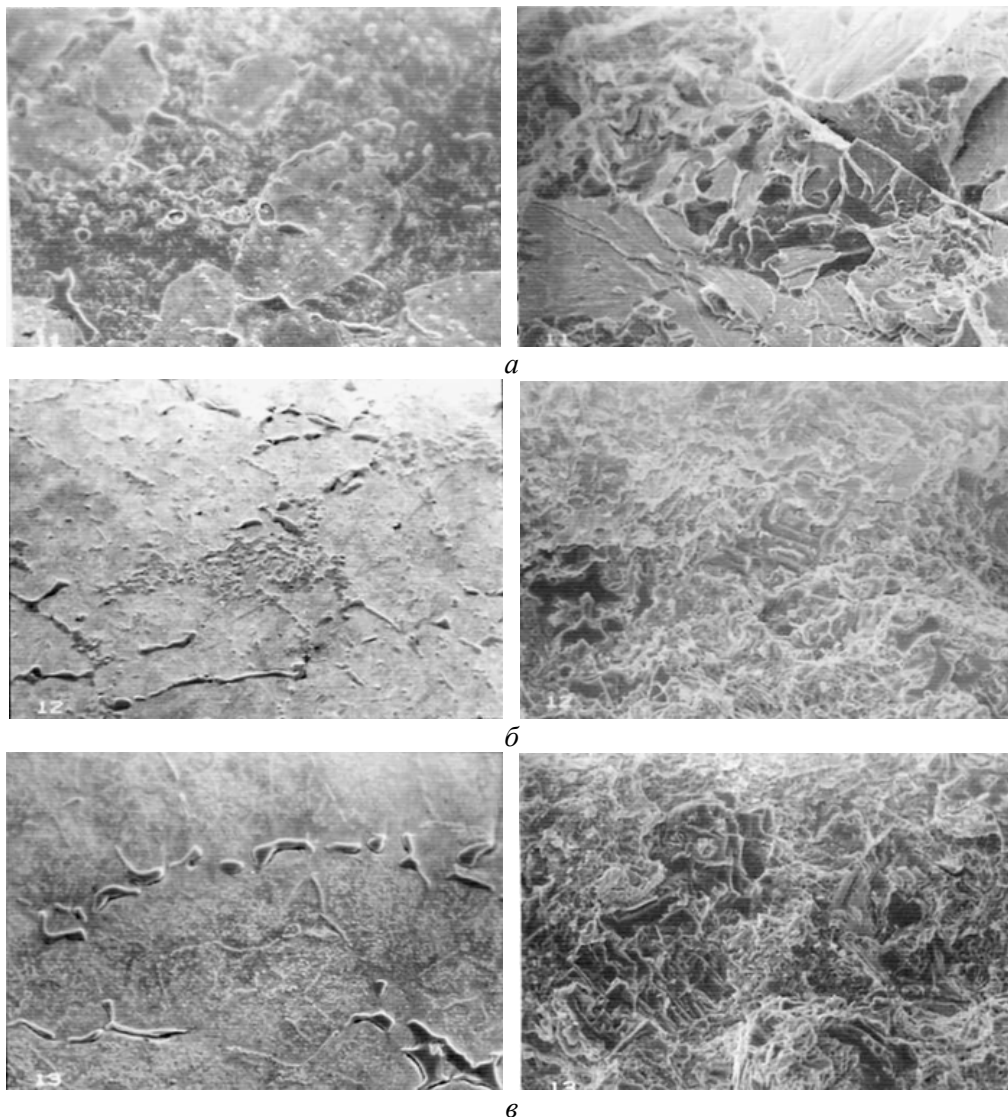
*а - без модифицирования, б - модифицирование титаном (0,21 %)*

**Рисунок 2** — Влияние модифицирования на структуру и строение изломов стали, х 1500:

Лигатура АКЦе содержит алюминий, кальций и РЗМ, которые являются раскислителями металла, а как поверхностноактивные вещества – модификаторами первого рода. Кроме того, кальций активно вступает в реакцию с серой, переводя ее в неактивное состояние, а редкоземельные металлы, имея высокое химическое сродство к кислороду и сере, нейтрализуют отрицательное влияние этих элементов, а также сурьмы, висмута, мышьяка, олова и других легкоплавких металлов, неизбежно попадающих в сталь в процессе ее производства. По данным металлографического анализа (рис. 3), применение лигатуры АКЦе привело к уменьшению размеров зерна стали, к разрушению сетки карбидов и их некоторой коагуляции, а также к получению квазивязкого излома.

Исследовано также влияние модификаторов на механические и служебные свойства стали при температурах 20 и 750 °С. Материалы исследований показали, что такие карбидообразующие элементы, как цирконий и ниобий, а также бор, обеспечили повышение прочности и твердости стали; особенно заметным было повышение твердости при температуре 750 °С (23 HRC), что имеет большое значение для но-жей, работающих в условиях высокой температуры и механического износа.

Эти же модификаторы обеспечили повышение износостойкости примерно в два раза. Повышение прочности, твердости и износостойкости стали можно объяснить уменьшением размеров зерна стали и увеличением дисперсности карбидов.



**Рисунок 3** – Влияние модифицирования на структуру и строение изломов стали,  $\times 1500$ :  
 а - 0,17 % циркония, б - 0,15 % ниобия, в - 0,004 % бора

Как отмечалось выше, основной причиной выхода ножей из строя является термохимическая эрозия – окисление и растворение в расплавленном стекле режущих кромок. Применительно к этому показателю наиболее благоприятными модификаторами являются ниобий, цирконий и бор, обеспечившие снижение износа на 12...15 %. Титан и лигатура АКЦе, наоборот, снижали сопротивление стали высокотемпературной эрозии, возможно, вследствие легкого растворения оксидов титана, кальция и РЗМ в расплавленном стекле.

#### *Выводы*

Результаты исследований показали, что для стали Р2М2Ф2Л наиболее эффективными модификаторами являются ниобий, цирконий и бор. Оптимальная концентрация в стали этих модификаторов составляет 0,2 % циркония, 0,15 % ниобия и 0,003 % бора.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Шейко С. П. Ресурсосберегающее производство ножей фидерных питателей стеклоформирующих машин / С. П. Шейко, Ю. В. Федько // X Науково-технічна конференція студентів магістрів та аспірантів і викладачів ЗДІА: тези доповідей. – Запоріжжя, ЗДІА. – 2005. – С. 57.
2. Серeda Б. П. Разработка и внедрение экономнолегированных быстрорежущих сталей / Б. П. Серeda, С. П. Шейко, И. В. Кругляк // X Міжнародна науково-технічна конференція // Нові

конструкційні сталі та стопи і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів: Збірка матеріалів. – Запоріжжя, ЗНТУ. – 2005. – С. 112-114.

Стаття надійшла до редакції 29.06.2011 р.  
Рецензент, проф. С.А. Воденніков