



*The investigation of heterogeneity of the boron-containing alloy structure with the aim of determination of the cooling speed influence on fragility is carried out in this work.*

Н. Ф. НЕВАР, Ю. Н. ФАСЕВИЧ, Ю. А. НИКОЛАЙЧИК,  
Белорусский национальный технический университет

УДК 621.141.25

## ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБОРОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

В настоящей работе было проведено исследование неоднородности строения борсодержащего сплава с целью определения влияния скорости охлаждения на хрупкость.

Сплавы с содержанием 0,3% С и 2,4% В получали плавлением в индукционной тигельной печи под слоем покровного шлака. Структуру сплавов исследовали в интервале скоростей охлаждения 0,06–30 К/с методом электронной микроскопии. Свойства сплавов оценивали по результатам измерения микротвердости структурных составляющих, а также склонности сплавов к образованию трещин, возникающих при приложении нагрузки 1500 Н по методике, предложенной в работе [1].

Особенности формирования твердых растворов в сплавах системы Fe–B–C связаны с наличием двух элементов внедрения: бора и углерода. Образование фаз внедрения сопровождается разрушением компактных решеток, которое приводит к изменению границ области гомогенности, возникновению участков с местным обогащением компонентами, обуславливающих структурную неоднородность твердых растворов. Аустенит в системе Fe–B–C кристаллизуется в виде трехмерных дендритов, которые при охлаждении претерпевают многофазный распад. При введении бора, имеющего больший атомный радиус по сравнению с углеродом, точки *E* и *S* на диаграмме состояния Fe–C смещаются в сторону меньших содержаний углерода. Начиная с 1,8–2,4% В, дендриты становятся трехмерными. На рис. 1, а ствол карбида ориентирован по направлению теплоотвода; ветви второго порядка короткие, большого размера, расположены под углом 60–70°; ветви третьего порядка отсутствуют. При содержании бора в сплаве 2% наблюдаются округлые трехмерные дендриты, морфология которых свидетельствует об увеличении изотропности кри-

сталлической решетки. В дендритах твердых растворов, по составу приближающихся к бориду Fe<sub>2</sub>B, наблюдаются ветви третьего и четвертого порядков (рис. 1, б). При увеличении скорости охлаждения отмечается снижение скорости эвтектического растворения в многофазном превращении. Вследствие этого в концентрационной области появляется мелкодифференцированная эвтектика (рис. 1, в).

Известно [2], что при первичной кристаллизации карбоборид железа Fe<sub>3</sub>(B, C) растет в виде прямых анизотропных призм. На основании результатов исследования фрактограмм, полученных с поверхностей изломов [3], в центральной области обнаружено большое количество включений с неоднородным строением. Данные рентгеновского фазового анализа сплава 2,4% В и 0,3% С позволили идентифицировать их как фазы Fe<sub>3</sub>(B, C). Эта фаза способствует зарождению и развитию трещин. При увеличении скорости охлаждения происходит зарождение ограненных дендритов. В сплаве при скорости охлаждения 6 К/с происходит уменьшение поперечных размеров ветвей дендритов, а также наблюдается изменение количества неметаллических включений.

Включения отсутствуют в случае, если скорости охлаждения ~10 К/с, а величина фазы Fe<sub>3</sub>(B, C) составляет 3–4 мкм. Существование описанной фазы можно объяснить механизмом секторального роста зерен структуры: вследствие анизотропии связей пирамиды, опирающейся на грани, имеющих на порядок большую скорость роста, чем опирающиеся на поверхность. При этом в центральных частях кристаллов накапливаются примеси и дефекты. Полное зарастание граней сопровождается возникновением поля растровых напряжений. По достижению величины напряжения, превышающего предел упругости бориды Fe<sub>2</sub>B, происходит развитие трещин с

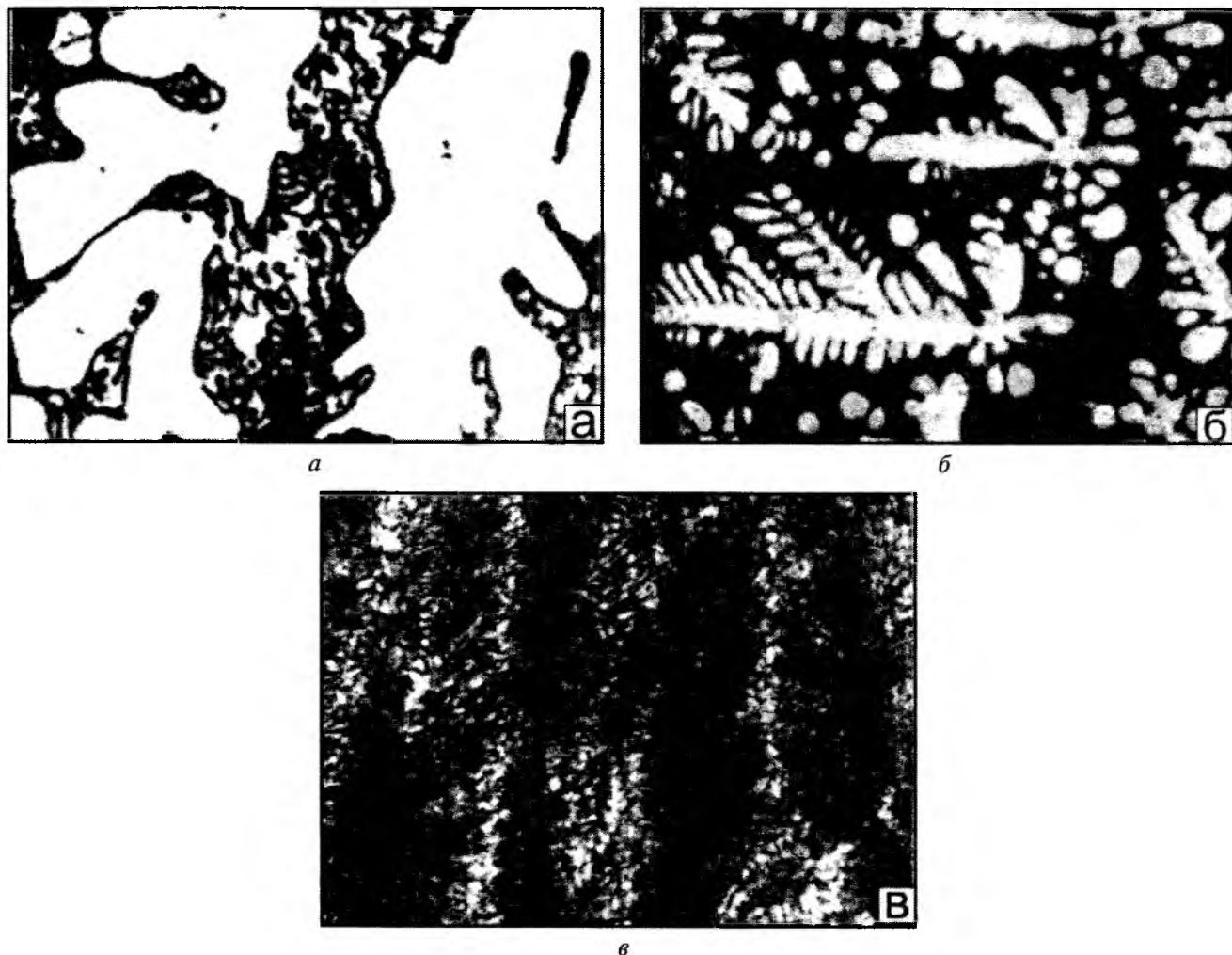


Рис. 1. Микроструктура железоборуглеродистых сплавов: *а* — дендрит ромбической фазы, обогащенной углеродом  $Fe_3C$  (В),  $\times 500$ ; *б* — дендрит фазы  $Fe_3C$  (В, С), обогащенной бором,  $\times 200$ ; *в* — структура сплава с 0,3% С и 2,4% В при охлаждении со скоростью более 15 К/с.  $\times 300$

последующим их оплавлением. Они зарождаются на хрупких включениях в пирамидах роста. Увеличение скорости охлаждения сопровождается уменьшением ширины зоны неоднородности с одновременным увеличением степени неоднородности. В зависимости от химического состава и критического соотношении  $C/C^*$  ликвация состава и дефектов препятствует зарастанию пирамид граней.

Происходит разделение на несколько ответвлений, относительно образовавшейся структуры. Появление дендритных форм не приводит к зарастанию граней и понижению уровня напряжений, а обеспечивает уменьшение количества трещиновидных включений [1].

Микротвердость сотовых и пластинчатых составляющих выше, чем стержневых (рис. 2). При увеличении скорости охлаждения различие в значениях микротвердости зон с разной структурой уменьшается, а микротвердость эвтектики увеличивается.

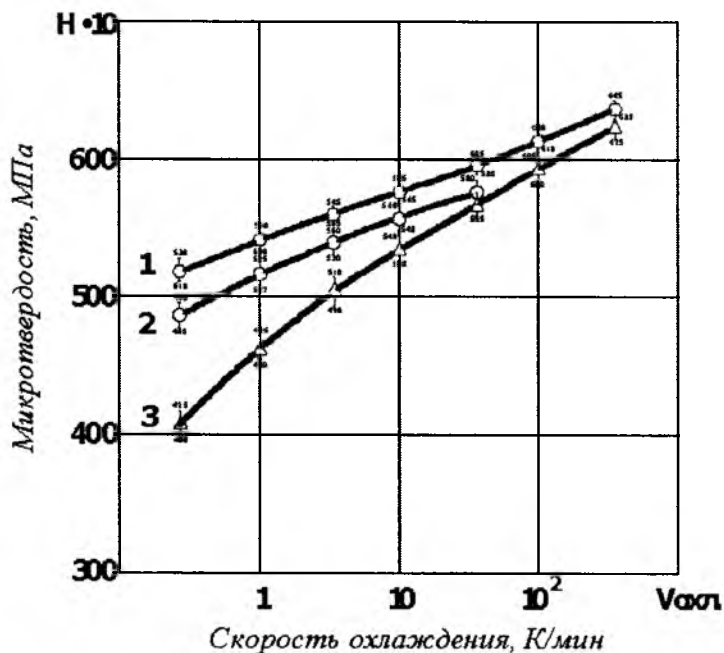


Рис. 2. Влияние скорости охлаждения на микротвердость структурных составляющих: 1 — пластинчатых; 2 - сотовых; 3 — стержневых

Области с пластинчатыми, стержневыми и сотовыми кристаллами обладают различной способностью к хрупкому разрушению (рис. 3).

3). При возникновении напряжений (от нагрузки 1500 Н) в стержнях боридов образуется большее количество трещин, чем в пластинах и сотовых составляющих. Трещины развиваются преимущественно по зонам стержневой составляющей, проходят по группе эвтектических зерен к границе с первичными кристаллами. Только образование в процессе кристаллизации  $\gamma$ -фазы тортмозит их распространение.

При увеличении скорости охлаждения до 7 К/с повышается однородность структуры и уменьшается количество трещин (рис. 3), возникающих под воздействием механических нагрузок. При кристаллизации сплавов со скоростью  $v_{\text{охл}} \geq 15$  К/с структура представляет собой карбоборид РСз(В, С) и мелкодифференцированную эвтектику (Fe—Рез(В, О)).

Таким образом, при совместном введении бора и углерода увеличивается их растворимость в  $\alpha$ -железе и резко уменьшается растворимость углерода в  $\gamma$ -железе; увеличение скорости охлаждения при кристаллизации, а также присутствие в сплаве фазы РСзВ способствуют повышению однородности структуры сплава, что в свою

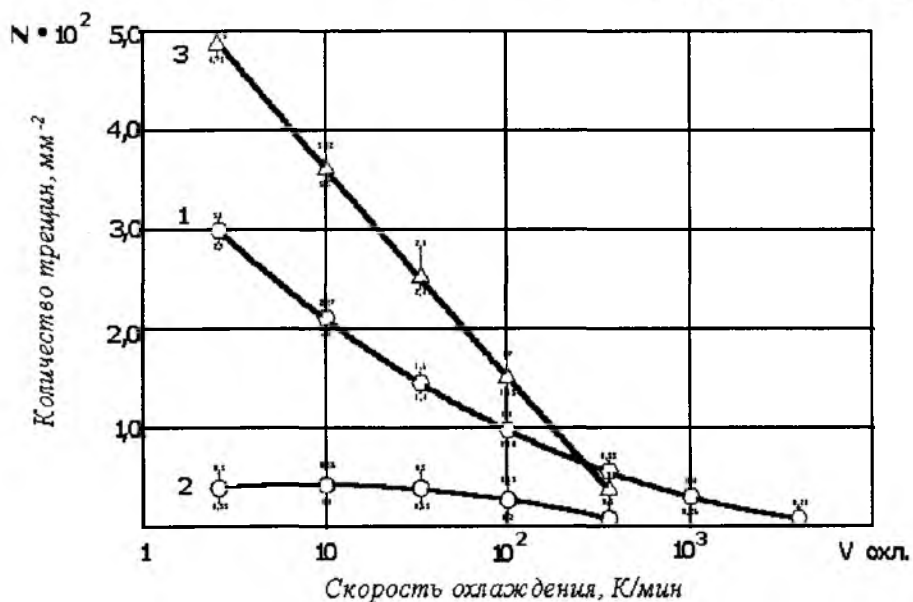


Рис. 3. Влияние скорости охлаждения на склонность к образованию трещин в зависимости от структурной составляющей сплава: 1 — пластинчатых; 2 — сотовых; 3 — стержневых

очередь приводит к снижению склонности к трещинообразованию.

### Литература

- Самсонов Г.В., Ткаченко Ю.Г., Берди-ков В.Ф. и др. Микротвердость, микрохрупкость и хрупкая микропрочность карбидов переходных металлов // Карбиды и сплавы на их основе. Киев: Наукова думка, 1976.
- Тавадзе Ф.Н., Гарибашвили В.Н., Нака-идзе Ш.Г. Форма растущих кристаллов первичных фаз в эвтектических сплавах системы Fe—FCjB, Ni—NijB // Металловедение и термическая обработка металлов. 1983. №1. С. 2—3.
- Невар Н.Ф., Фасевич Ю.Н. Исследование влияния бора и редкоземельных металлов на ударную вязкость литого материала // Литье и металлургия. 2003. №1. С. 119—121.