

УДК 669.017.16:639.2:620.18

**ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ НА СТРУКТУРУ  
НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА***Д.т.н., проф. Большаков В.И. \*, д.т.н., проф. Спиридонова И.М.\*\***асс. Н.А. Ротт\***\*ГВУЗ «Приднепровская государственная академия  
строительства и архитектуры»**\*\* Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара*

Железобористые легированные сплавы находят широкое применение в качестве износостойких наплавочных материалов [1].

Структура наплавленного металла формируется в условиях химической неоднородности, неравномерности теплоотвода, что приводит к значительным изменениям твердости и связанному с этим ухудшением обрабатываемости.

В производстве биметаллов актуальной проблемой является формирование поверхности наплавленного слоя, обеспечивающее минимальную механическую обработку, а так же целенаправленное воздействие на его структуру. В связи с этим исследовали влияние воздействия колебательных движений кристаллизатора на рельеф поверхности наплавленного материала и его внутреннюю структуру.

В момент заливки расплава кристаллизатор вибрировал с частотой 100 Гц и амплитудой 0,1 – 1,5 мм с шагом 0,1 мм. После охлаждения контейнеров, подложки с наплавленным материалом отрезали. В качестве наплавочного материала использовали железобористые сплавы с содержанием бора 4,5 % вес. и железоборуглеродистые сплавы с содержанием бора 4 % вес., углерода 1,5 % вес.

Исследования структуры сплава Fe-B, наплавленных на металлическую подложку заливкой расплава, подвергнутых воздействию колебаний частотой 100 Гц и амплитудой  $(0,1 - 1,5) \cdot 10^{-3}$  м при кристаллизации показало, что сплавы системы Fe-B состоят из первичных боридов Fe<sub>2</sub>B и эвтектики Fe-Fe<sub>2</sub>B. Формы и размеры первичных кристаллов и бикристаллов изменяются по высоте наплавленного слоя. В его приповерхностной части, соприкасающейся с виброкристаллизатором на высоты, наблюдается уменьшение поперечных размеров первичных кристаллов до  $(15 - 20) \cdot 10^{-6}$  м и уменьшения дифференцировки эвтектических колоний. В средней части наплавки размеры кристаллов Fe<sub>2</sub>B и в области линии плавления вновь уменьшаются до  $(18 - 20) \cdot 10^{-6}$  м, что можно объяснить влиянием теплоотвода через металлическую основу (рис. 1).

Кристаллы FeB растут в форме прямоугольных призм, имеющих в сечении квадрат. В средней части наплавленного слоя в них присутствуют дефекты роста – захват жидкости. Эвтектические колонии наследуют форму первичных кристаллов и имеют секториальное строение. В областях, примыкающих к поверхности виброкристаллизатора, и у линии сплавления фаза Fe<sub>2</sub>B кристаллизуется в виде скелетных дендритов с плоской и округлой

границами раздела. Нарушается регулярное строение эвтектических колоний (рис. 2).

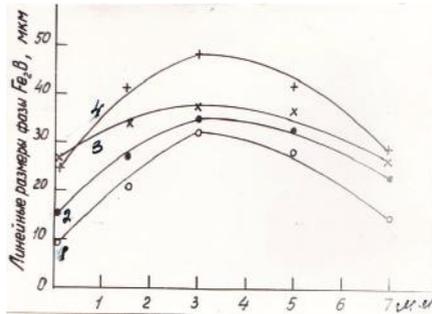


Рис. 1. Изменение величины первичных кристаллов по высоте наплавленного слоя: 1, 2 – для сплава Fe + 4,5 вес. % B, 3, 4 – для сплава Fe + 4,5 вес. % B + 1,5 % C (вес. %); 2, 4 – для сплавов, наплавленных без вибрации, 1, 3 – для сплавов, наплавленных с вибрацией (частота 100 Гц, амплитуда 0,8 мм)



Рис. 2. Микроструктура сплава системы Fe-B, наплавленного в присутствии низкочастотных колебаний с частотой 100 Гц:

а – в центре наплавленного слоя,  $\times 1000$ ;  
б – в зоне, примыкающей к виброкристаллизатору,  $\times 1000$

Сплавы системы Fe-B-C, содержащие бора 4 % весовых, углерода 1,5 % весовых, наплавливали в присутствии низкочастотных колебаний частотой 100 Гц и амплитудой  $(0,1 - 1,5) \cdot 10^{-3}$  м. структура наплавленного металла состоит из первичных плоскогранных кристаллов Fe<sub>2</sub>B, имеющих дефекты роста, в оболочке дендрита борокарбида Fe<sub>3</sub>(CB), образовавшейся по перетектической реакции Fe<sub>2</sub>B + Fe<sub>3</sub>(CB). имеют пластинчатое строение и наследуют дендритную форму роста борокарбида Fe<sub>3</sub>(CB).

Низкочастотные колебания изменяют кинетику протекания перетектической реакции. В связи с этим оболочка дендрита  $Fe_3(CB)$  вокруг фазы  $Fe_2B$  увеличилась, размеры боридов уменьшились по сравнению с размерами боридов и оболочки дендрита  $Fe_3(CB)$  в сплавах, наплавленных без воздействия вибрации (рис. 3).



Рис. 3. Микроструктура сплава Fe-B-C:

*а* – наплавленного в отсутствии низкочастотных колебаний,  $\times 1000$ ;  
*б* – наплавленного в присутствии колебаний 100 Гц, амплитудой 0,8 мм,  $\times 1000$

Различие размеров первичных фаз и эвтектических зерен по высоте наплавленного слоя характерно как для сплавов, закристаллизованных под воздействием низкочастотных колебаний, так и без них. Это связано с ускорением охлаждения при наличии теплоотвода через подложку и виброкристаллизатор. Однако применение колебаний с частотой 100 Гц и амплитудой  $1,5 \cdot 10^{-3}$  м значительно уменьшает величину зерна первичных кристаллов в системе Fe-B-C центральной части наплавленного слоя (рис. 4). Увеличение амплитуды колебаний повышает однородность структуры по глубине наплавленного слоя.



Рис.4. Микроструктура сплава Fe-B-C, наплавленного с частотой колебаний 100 Гц и амплитудой 1 м,  $\times 100$

На образцах, наплавленных сплавом Fe-B-C с колебаниями частотой 100 Гц, амплитудой  $(0,1 - 1) \cdot 10^{-3}$  м, зафиксированы структурные особенности ликвации химических элементов. В наплавленном металле в области кристаллизатора присутствуют участки с дендритами Fe<sub>3</sub>(CB) (рис. 4), а в зоне, примыкающей к линии оплавления, наблюдаются участки с морфологией секториальных эвтектических колоний Fe-Fe<sub>2</sub>B.

Ликвация химических элементов для сплавов, наплавленных с колебаниями 100 Гц и амплитудой  $1,5 \cdot 10^{-3}$  м, не наблюдается.

Упругие колебания, оказывая воздействие на структуру наплавленного металла, влияют на его свойства: твердость и плотность. В таблице 1 приведены сравнительные данные по твердости и плотности наплавленных сплавов системы Fe-B, Fe-B-C.

Для сплавов системы Fe-B, наплавленных с применением колебаний низкой частоты, наблюдается небольшое увеличение значений твердости и плотности. Последнее можно объяснить уменьшением газовой пористости и количества неметаллических включений в расплаве.

Присутствие углерода (система Fe-B-C) повышает общую твердость сплавов Fe-B. Однако при наплавке этих сплавов с колебаниями частотой 100 Гц и амплитудой  $(0,1 - 1) \cdot 10^{-3}$  м увеличение плотности фиксируется лишь в отдельных случаях, а значение твердости уменьшается по сравнению со сплавами, наплавленными без вибрации. Таким образом, в сплавах, содержащих углерод, изменения свойств под действием колебаний низкой частоты наблюдаются в меньшей мере.

*Таблица 1*  
*Свойства наплавленных сплавов Fe-B и Fe-B-C в зависимости от параметров колебаний*

Состав сплава	Частота колебаний, Гц	Амплитуда колебаний кристаллизатора, $10^{-3}$ м	Твердость	Плотность, г/см <sup>3</sup>
Fe-B	100	0,6	42,1	7,52
	100	0,6	41,6	7,32
	0	0,6	38,1	7,31
	100	0,6	40,6	7,51
Fe-B-C	100	1	52,8	7,31
	0	0	52,3	7,38
	100	1,5	51,3	7,45
	100	0,1	50,8	7,44
	100	0,25	52,2	7,3
	100	0,4	51,5	7,45
	100	0,75	51,5	7,25
	100	0,1	50,8	7,37

Воздействие низкочастотными колебаниями на процесс наплавки железобористых расплавов улучшает контактное взаимодействие расплава и наплавляемой поверхности.

Уменьшение размеров первичных кристаллов и степени их анизотропии является следствием блокирования направлений роста в зонах разряжения и разрушения растущих кристаллов на межфазном фронте.

Сложный характер перемещения жидкости при прохождении низко- и высокочастотных колебаний приводит к разветвлению плоскогранных кристаллов борида  $Fe_2B$ , их обламыванию с образованием будущих центров роста.

При последующем за ростом первичных кристаллов многофазного затвердевания в расплаве под воздействием колебаний в областях местного перегрева будет происходить растворение участков поверхности первичных кристаллов, вследствие этого плоскогранные кристаллы борида  $Fe_2B$  будут иметь округлую границу раздела.

Вследствие неоднородного распределения массы и температур в расплаве изменяется кинетика и механизм эвтектической и перетектической реакций. При росте эвтектических зерен колебательный процесс разрушает двухфазный кооперативный фронт роста и в строении колоний нарушается регулярность.

Ускорение перетектической реакции объясняется увеличением степени участия жидкой фазы в растворении как следствие перегрева областей расплава, так и разрушения колебательного процесса.

Неоднородное строение наплавленного металла по высоте объясняется расположением жидкой прослойки в момент воздействия низко- и высокочастотных колебаний.

Таким образом, при формировании наплавленного металла в присутствии низкочастотных колебаний, в нем возбуждаются высокочастотные колебания, которые интенсифицируют процессы структурообразования: роста первичных кристаллов, многофазных реакций поверхностных явлений. Вследствие этого изменяются структура и свойства упрочненного слоя: величина зерна, плотность, твердость.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Сб. Наплавка износостойких и жаростойких сталей и сплавов. Наплавленные материалы. – К.: ИЭС им. Е.О. Патона АН УССР, 1983. – 117 с.