

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

С. М. ВИНАРОВ

**КИНЕТИКА РОСТА ЗЕРНА АУСТЕНИТА В БОРОСОДЕРЖАЩЕЙ
СТАЛИ**

(Представлено академиком Н. Т. Гудцовым 26 X 1946)

В годы второй мировой войны большое применение в промышленности получила обработка стали небольшими количествами бора. Тысячные доли процента бора значительно увеличивают прокаливаемость стали и заметно улучшают механические свойства.

Физическая сущность этого интересного и важного явления остается совершенно невыясненной. В литературе встречаются лишь некоторые гипотезы, представляющие собой точки зрения тех или иных ученых. Важность проблемы явствует хотя бы из того, что ей посвящены устные или литературные выступления многих ученых (1—4).

Величина зерна аустенита является одной из основных характеристик стали, с которой непосредственно связаны ее физические, технологические и эксплуатационные свойства. Некоторые исследователи (5) находят, что бор укрупняет зерно стали, в то время как другие (6) находят, что бор измельчает или, во всяком случае, не укрупняет зерна. Выяснению этого вопроса и посвящена данная работа.

Для исследования была выплавлена серия плавок стали с содержанием от 0,35 до 0,37% С и от 0,001% до 0,1% В. Кованные и гомогенизированные прутки подвергались нагреву при разных условиях, после чего величина зерна аустенита определялась методом цементации и методом окисления и оценивалась по шкале ASTM.

Исследование показало, что в стали с разным содержанием бора кинетика роста зерна различна и характеризуется кривыми рис. 1. В стали без бора зерно почти не растет (при температурах 900—920° и выдержке до 8 часов). При 0,004% бора зерно сначала (первые 15—20 мин.) растет медленнее, чем в стали без бора, но далее рост зерна ускоряется, и зерно достигает большей величины, чем в предыдущем случае. При 0,010% бора замедление роста происходит лишь в течение 4—6 мин., затем рост резко ускоряется, в течение 15 мин. зерно достигает значительной величины, после чего рост зерна идет медленнее.

Для объяснения этого явления нами было произведено более тщательное изучение экспериментальных данных, а также были произведены расчеты, показавшие, что именно те количества бора, которые необходимы для образования одноатомного адсорбционного слоя на поверхности зерен, оказываются наиболее эффективными. Так при величине зерна № 8 требуется 0,003% бора, а при зерне № 10 — 0,005% бора и т. д. Таким образом, с изменением величины зерна изменяется количество бора, необходимого для образования одноатомного слоя. С другой стороны, в данной стали, при данном содержании бора и изменяю-

щемся (растущем) зерне количество бора последовательно оказывается недостаточным, достаточным и, наконец, избыточным для образования одноатомного (или близкого к этому) слоя.

На мысль о поверхностной активности бора по отношению к железу также наводит и положение бора в периодической системе элементов. Эта активность должна быть еще выше на поверхности зерен γ -фазы с ее более плотной упаковкой.

Элементы, высаживающиеся на поверхности, должны, по закону Гиббса, понижать поверхностную энергию (модификатор 1-го рода, по П. А. Ребиндеру). Поэтому и рост зерна в стали будет замедляться при образовании одноатомного адсорбционного слоя. При недостаточном количестве бора на зернах остаются ого-

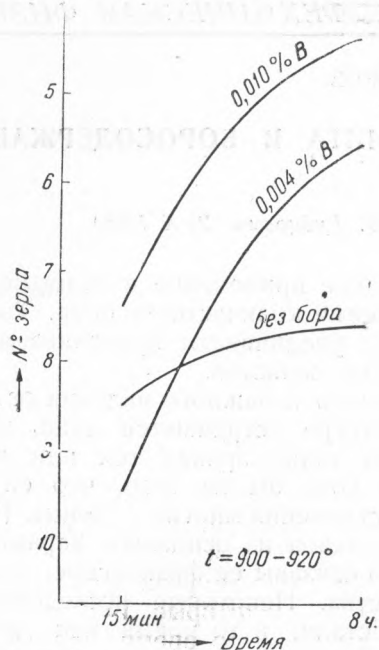


Рис. 1. Зависимость величины зерна аустенита от времени выдержки при $900-920^\circ$ для стали с разным содержанием бора

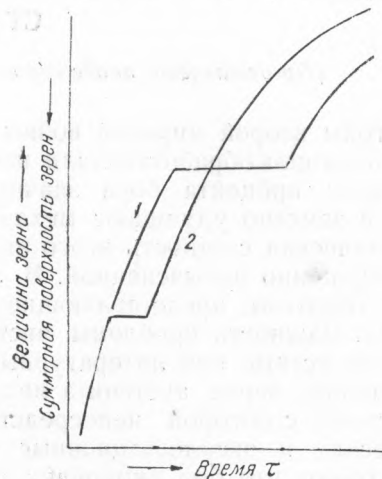


Рис. 2. Действительные кинетические кривые роста зерна в стали с разным содержанием бора (схема). 1—меньшее, 2—большее содержание бора

ленные участки с повышенной свободной энергией, благодаря чему рост зерна задерживаться не будет. При избыточном количестве бора образуются не одноатомные, а более толстые слои. Начинается образование обычных твердых растворов, вступают в действие силы химической связи, идет собиранье бора в отдельные „сгустки“ с дальнейшим выделением в виде особой фазы (бориды или карбобориды железа), наблюдаемой при микроскопическом исследовании.

Как известно, зерна аустенита имеют первоначально очень малую величину и большую суммарную поверхность. При росте зерен их суммарная поверхность уменьшается. Достигается „критическая“ поверхность, при которой имеющееся количество поверхностно-активного элемента (бора) образует одноатомный слой. Этим и вызывается уменьшение скорости роста зерна или полное прекращение такового в течение некоторого времени, определяемого интенсивностью внешнего воздействия на зерно (температура, время выдержки) и состоянием поверхности зерен.

Увеличение интенсивности внешнего воздействия раньше или позже преодолевает противодействие, создаваемое одноатомным адсорбционным слоем и выражаемое понижением свободной энергии, вследствие чего рост зерен продолжается.

Схематические кинетические кривые, соответствующие вышеизло-

женному, приведены на рис. 2 для сталей с разным содержанием бора. При большем содержании бора остановка роста зерна должна происходить раньше (т. е. при более мелком зерне) и быть короче (кривая 2).

Экспериментально нами найдено, что при температуре 900—920° в стали с 0,003—0,004% В задержка роста зерна наступает при 10—20-мин. выдержке. В стали с 0,01% В задержка наступает при более мелком зерне после 4—6 мин. выдержки. В стали с 0,05% В уловить и наблюдать задержку роста зерна не удастся. Расчет показывает, что она могла быть обнаружена при очень мелком зерне со средним диаметром порядка $4 \cdot 10^{-4}$ мм.

В результате мы приходим к выводу, что рост зерна аустенита задерживается при образовании одноатомного слоя бора, являющегося поверхностно-активным к γ -железу и уменьшающего свободную энергию зерен. Момент образования такого слоя зависит от количества бора в стали и от величины зерна аустенита. Сочетанием этих факторов определяется момент достижения „критической“ поверхности зерен.

Как до образования „критической“ поверхности и одноатомного слоя на ней, так и после использования их эффекта рост зерен будет происходить быстрее.

Таким образом, приводятся доводы в пользу ранее высказанной нами (7) гипотезы о поверхностных явлениях при введении в сплавы малых количеств легирующего элемента, что дает возможность считать ее теорией. Вполне вероятно, что предлагаемая теория может быть распространена и на другие случаи использования так называемых „малых добавок“ в разных сплавах.

Московский авиационный институт
им. Серго Орджоникидзе

Поступило
26 X 1946

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Т. Гудцов, Тр. ЦНИИ НКТП, № 19, 5 (1944). ² И. В. Андреев, Тр. ЦНИИ НКТП, № 19, 9 (1944). ³ А. П. Гуляев, Тр. ЦНИИ НКТП, № 1, 15 (1945). ⁴ В. И. Архаров, Тр. ЦНИИ МТМ, № 5, 23 (1946). ⁵ G. F. Corbett, Am. Inst. Min. Met. Eng. Techn. Pub., No. 1417 (1942). ⁶ R. V. Corbett and A. J. Williams, Iron Age, 156, No. 15, 54 (1945). ⁷ С. М. Винаров, Авиационные стали, М., 1940, стр. 30.