

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

С. М. ВИНАРОВ

ПРОКАЛИВАЕМОСТЬ СТАЛИ С МАЛЫМИ ДОБАВКАМИ БОРА

(Представлено академиком А. А. Бочваром 20 V 1947)

Прокаливаемость является важной характеристикой стали как с точки зрения конструктора, так и технолога. Физическая сущность прокаливаемости основывается на большей или меньшей устойчивости переохлажденного аустенита.

Как показано многими исследователями, устойчивость переохлажденного аустенита зависит от величины его зерна. Чем крупнее зерно, тем больше его устойчивость и тем больше прокаливаемость стали. В частности, Миркин⁽¹⁾ и Mehl⁽²⁾ уточнили роль параметров кристаллизации перлита: скорости зарождения центров „с. з. ц.“ и скорости роста „с. р.“.

Нами исследовалась прокаливаемость среднеуглеродистой конструкционной стали, обработанной очень малыми количествами бора, а также не обработанной бором. Сталь содержала 0,35—0,37% С, 0,20—0,23% Si и 0,50—0,67% Mn. Содержание бора было от 0,001 до 0,1% (табл. 1).

Определение величины действительного зерна аустенита показало, что зерно уменьшается с увеличением содержания бора до 0,003—0,004%, затем резко увеличивается до 0,010% и дальше медленно уменьшается (рис. 1).

Прокаливаемость исследовалась методом торцевой закалки с определением идеального критического диаметра*.

Итоговые данные приведены в табл. 1.

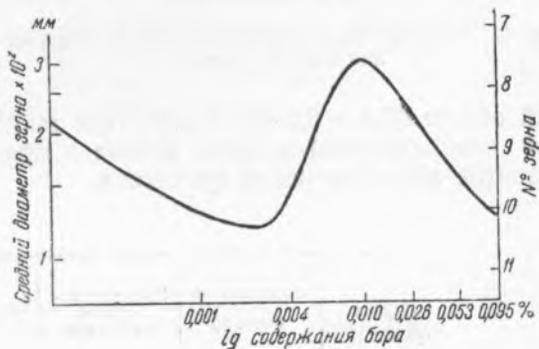


Рис. 1. Величина действительного зерна аустенита в зависимости от содержания бора в стали

* Идеальным называется тот критический диаметр, при котором сталь прокаливается насквозь, если охлаждение при закалке производилось в среде, дающей бесконечно большую скорость охлаждения на поверхности образца. Эта величина позволяет определить действительный критический диаметр для любых реальных условий закалки.

Под сквозной закалкой подразумевается такая, при которой в центре сечения твердость не ниже полумартенситной (т. е. структуры, состоящей из 50% мартенсита и 50% троостита).

На рис. 2 показана зависимость прокаливаемости от содержания бора.

Сравнивая рис. 1 и 2, можно видеть, что наилучшая прокаливаемость стали с бором получается при наименьшем зерне. Таким образом, отмечается противоречие с общераспространенными взглядами на связь между величиной зерна аустенита и прокаливаемостью.

Это можно объяснить особым характером влияния бора, который является поверхностно-активным по отношению к γ -железу. Адсорбируясь на поверхности зерен аустенита, бор уменьшает их свободную поверхностную энергию, уменьшая одновременно как склонность зерна к росту, так и склонность к превращению при переохлаждении.

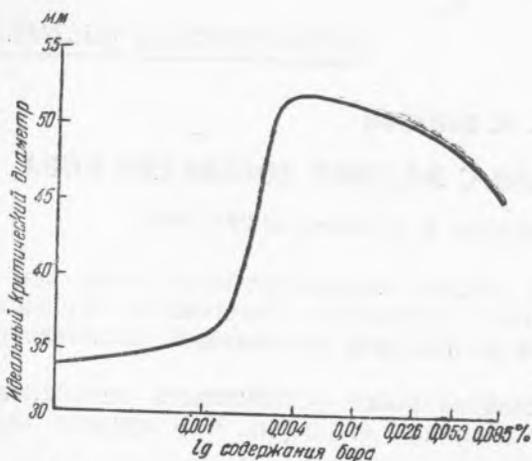


Рис. 2. Зависимость прокаливаемости от содержания бора в стали

Размеры зерна аустенита, с которыми приходится иметь дело при термической обработке, таковы, что сталь можно считать системой с значительной дисперсностью. Так, например, сталь с зерном № 6—8 имеет средний диаметр зерна $5,0 \cdot 10^{-2}$ мм, или средний объем $65,5 \text{—} 8,2 \cdot 10^{-6}$ мм³. При такой дисперсности роль свободной поверхностной энергии велика и прямым следствием ее является развитие адсорбционных процессов.

Адсорбируясь на поверхности зерен аустенита, бор уменьшает их свободную поверхностную энергию, уменьшая одновременно как склонность зерна к росту, так и склонность к превращению при переохлаждении.

Размеры зерна аустенита, с которыми приходится иметь дело при термической обработке, таковы, что сталь можно считать системой с значительной дисперсностью. Так, например, сталь с зерном № 6—8 имеет средний диаметр зерна $5,0 \cdot 10^{-2}$ мм, или сред-

ний диаметр зерна $5,0 \cdot 10^{-2}$ мм, или сред-

Таблица 1

Плавка	Содержание бора, %	Полумартенситная твердость	Число Джомини *, мм	Идеальный критич. диаметр, мм
А	—	39	3,5	34
Б	0,001	39	4,0	36
В	0,004	39	7,1	52
Г	0,010	39	7,0	51
Д	0,026	39	6,8	50
Е	0,053	39	6,5	48
Ж	0,095	39	6,0	45

* Число Джомини есть расстояние от закаливаемого конца образца (по образующей цилиндра) до точки с полумартенситной твердостью.

Расчеты показали, что для стали с величиной зерна № 8 требуется, действительно, около $0,003\%$ В для образования одноатомного адсорбционного слоя, что совпадает с приведенными выше данными о наиболее эффективном влиянии на величину зерна и на прокаливаемость.

Превращение начинается, как известно, на границах зерен. Но на границах зерен термодинамический потенциал выше, чем внутри зерен, на величину свободной поверхностной энергии. Согласно Гиббсу, положительно адсорбирующийся элемент понижает свободную поверхностную энергию, являясь, по Ребиндеру (3), модификатором 1-го ро-

да. Следовательно, образование адсорбционных слоев на зернах аустенита, уменьшая разность термодинамических потенциалов поверхности и внутренних зон зерна, будет уменьшать вероятность начала превращения аустенита.

Таким образом, может оказаться, что мелкое зерно является термодинамически более устойчивым (менее склонным к превращению), чем крупное, если мелкое зерно адсорбировало поверхностно-активное вещество.

Выводы

Среднеуглеродистая сталь, содержащая 0,003 — 0,004% В, обладает значительно лучшей прокаливаемостью, чем сталь с меньшим или большим содержанием бора, хотя величина зерна аустенита при этом наименьшая. Это должно быть объяснено тем, что бор является поверхностно-активным к γ -фазе, уменьшает свободную поверхностную энергию зерен аустенита и этим увеличивает термодинамическую устойчивость его.

Если содержание бора в стали меньше, чем указанное выше, то его может оказаться недостаточно для образования адсорбционного слоя. В этом случае прокаливаемость уменьшается. При большем содержании бора, когда его имеется избыточное количество, начинается образование новой фазы (бориды или карбобориды железа, в зависимости от содержания углерода в стали), играющей роль добавочных центров кристаллизации, и прокаливаемость снижается.

Можно полагать, что не только бор, но и другие элементы, поверхностно-активные к γ -фазе, оказывают такое же влияние при надлежащих количественных соотношениях.

Московский авиационный институт
им. Серго Орджоникидзе

Поступило
20 V 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ И. Л. Миркин, Тр. Моск. ин-та стали, 18 (1941). ² R. F. Mehl, ASM, Detroit, USA, X (1938). ³ Физический словарь, П. А. Ребиндер, 3, 616, 1937.