Доклады Академии наук СССР
1955. Том 100, № 6

*ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА*

Д. С. КАЗАРНОВСКИЙ

# К ВОПРОСУ О ДИФФУЗИИ МЫШЬЯКА В СТАЛИ

*(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 15 V 1954)*

Вопросу о влиянии мышьяка на свойства железа и стали посвящено значительное число работ. Большинство из них, однако, охватывает группу малоуглеродистых и частично среднеуглеродистых сталей. Свойства же и особенности высокоуглеродистых сталей с мышьяком изучены крайне слабо. Между тем высокоуглеродистая сталь как конструкционный материал в последнее время приобретает все большее значение.

Одной из специфических особенностей сталей, содержащих мышьяк, является наличие в их микроструктуре характерной полосчатости, создаваемой чередованием светлых и темных полос при травлении шлифов обычными реактивами (например, 2% раствором азотной кислоты в спирте).

Наличие полосчатости в структуре стали, содержащей мышьяк, обычно не связывают ни с наклепом, ни с неметаллическими включениями, хотя по данным некоторых авторов, а также по данным наших исследований, в светлых полосах мышьяковистой стали неметаллические включения, как правило, встречаются чаще.

Неоднородность структуры металла, содержащего мышьяк, исследователи уже давно связывают с неравномерным распределением мышьяка в стали, т. е. с микроликвацией его ([1]). Предполагается, что металл в междуосных промежутках дендритов, застывая последним, обогащается рядом примесей, в том числе и мышьяком, который, уменьшая растворимость углерода в железе, как бы вытесняет углерод из междуосных пространств в соседние участки.

Ряд авторов считает, что полосчатость в мышьяковистом металле не может быть устранена термообработкой ([2, 3]), что, по их мнению, связано с неспособностью мышьяка к диффузии в железе.

Нами проведена серия опытов, имевшая целью изучить диффузионную способность мышьяка в высокоуглеродистой конструкционной стали (0,67—0,80% C), применяемой для изготовления железнодорожных рельсов широкой колеи. Опыты проводились на мартеновской основной стали пяти плавок с разным содержанием мышьяка и, для сравнения, без мышьяка (см. табл. 1).

Таблица 1

Химический состав образцов стали (в %)

| №№ плавок | C | Mn | Si | S | P | As |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,70 | 0,82 | 0,19 | 0,042 | 0,024 | нет |
| 2 | 0,67 | 0,82 | 0,23 | 0,024 | 0,031 | 0,127 |
| 3 | 0,79 | 0,82 | 0,18 | 0,030 | 0,032 | 0,138 |
| 4 | 0,74 | 0,78 | 0,20 | 0,033 | 0,022 | 0,258 |
| 5 | 0,74 | 0,78 | 0,20 | 0,033 | 0,022 | 0,313 |

Сталь с содержанием 0,127 и 0,138% As отбиралась из текущего производства, а сталь с более высоким содержанием мышьяка была получена путем ввода железомышьяковистых брикетов (29,8% As) в изложницу при разливке металла (вес слитка 6,5 т).

Образцы для исследования вырезались из шейки рельсов, так как эти места характеризуются максимально развитой полосчатостью в микроструктуре. Образцы каждой плавки подвергались термической обработке по следующим режимам: 1) отжиг при 850°, выдержка 2 часа, охлаждение с печью; 2) нормализация от 850°, охлаждение на спокойном воздухе; 3) закалка от 800° в воде; 4) закалка от 800° в воде и отпуск при 600° 1 час; 5) диффузионный отжиг при 1100° в течение 4 час., охлаждение с печью и 6) диффузионный отжиг при 1100° в течение 8 час., охлаждение с печью. После термообработки изучалась микроструктура в оптическом микроскопе.

Результаты исследования приведены в табл. 2. На рис. 1 в качестве примера приведены фотографии микроструктур стали плавки № 5 с содержанием 0,313% As после разных вариантов термообработки.

Таблица 2

Характеристика микроструктуры стали с разным содержанием мышьяка после термообработки (степень полосчатости микроструктуры)

| №№ плавок | Содержание As, % | Режимы термообработки | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Отжиг при 850° 2 часа | Нормализация от 850° | Закалка от 800° в воде | Закалка 800° в воде, отпуск 600° в 1 час | Диффузионный отжиг. 1100° 4 часа | Диффузионный отжиг, 1100° 8 час. |
| 1 | нет | Небольшая | Отсутствует | Незначит. | Следы | Отсутствует | Отсутствует |
| 2 | 0,127 | Значит. | Резкая | Значит. | Резкая | Незначит. | " |
| 3 | 0,138 | " | " | " | " | " | " |
| 4 | 0,258 | Резкая | " | Резкая | Весьма резкая | Слабая | " |
| 5 | 0,313 | " | " | " | " | " | " |

Анализ полученных данных показывает, что отжигом при 850° в течение 2 час. полосчатость в микроструктуре не устраняется. Нормализация и закалка, а также закалка с последующим высоким отпуском не только не уменьшают полосчатости, а наоборот, делают ее еще более резкой (рис. 1 *б*). При этом степень полосчатости в микроструктуре после отжига, нормализации, закалки и закалки с отпуском значительно возрастает по мере увеличения содержания мышьяка в стали.

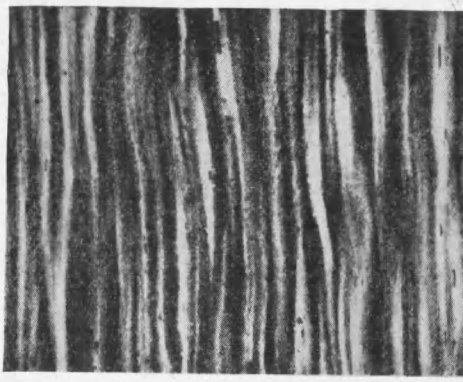
Диффузионный отжиг при 1100° в течение 4 час. резко ослабляет полосчатость структуры. Диффузионный отжиг при 1100° в течение 8 час. полностью устранил полосчатость; после такой обработки в структуре образцов стали всех исследованных плавок отсутствуют даже следы полосчатости (рис. 1 *в*).

Диффузионный отжиг при 1100° в течение 8 час., естественно, вызывает значительный рост зерна в стали. В связи с этим представляло интерес проверить однородность микроструктуры после диффузионного отжига и последующей перекристаллизации, обеспечивающей получение мелкодисперсной структуры. С этой целью образцы стали плавки № 5 с максимальным содержанием мышьяка (0,313%) были подвергнуты диффузионному отжигу при 1100° 8 час., а затем закалке от 800° в воде. После такой обработки микроструктура стали оказалась мелкодисперсной, вполне равномерно травящейся, без следов полосчатости (см. рис. 2).

Результаты проведенных опытов, таким образом, достаточно отчетливо показали, что при 1100° в аустените мышьяковистой стали происходит выравнивание концентрации мышьяка за счет диффузионного пере-



*а*



*б*



*в*

Рис. 1. Микроструктура образцов стали плавки № 5 после термообработки по режимам: *а* — отжиг, 850° 2 часа; *б* — закалка от 800° в воде и отпуск 600° 1 час; *в* — диффузионный отжиг, 1100° 8 час. Травление 2% $HNO_3$ в спирте. × 100

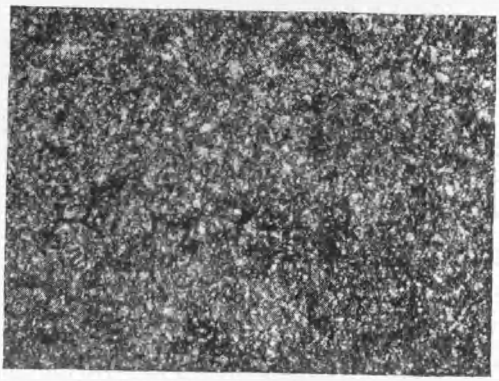


Рис. 2. Микроструктура образца стали плавки № 5 после диффузионного отжига при 1100° 8 час и последующей закалки с 800° в воде. Травление 2% $HNO_3$ в спирте. × 100

мещения его из мест большей концентрации (светлые полосы) в места меньшей концентрации. Важно подчеркнуть, что диффузия мышьяка происходит в среде аустенита с высокой концентрацией углерода (до 0,79%) и марганца (до 0,82%).

Из этих опытов можно сделать принципиально важный вывод, что в определенных условиях мышьяк способен к диффузии в стали на значительные расстояния.

Вопреки упомянутому выше мнению о неспособности мышьяка к диффузии в γ-железе и о невозможности в связи с этим уничтожить полосчатость структуры, результаты описанных здесь опытов открывают перспективу улучшения структуры и свойств изделий из мышьяковистой стали путем применения термической обработки по режимам, обычно применяемым для выравнивания состава стали (диффузионный отжиг).

Украинский научно-исследовательский
институт металлов
Харьков

Поступило
29 IV 1954

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Л. Бабошин, Металлография и термическая обработка железа, стали и чугуна, 2 (1935). [2] А. Камерон, Г. Ватергауз, Сборн. Керченская металлургия, 1, 1934. [3] Б. П. Селиванов, там же, 1, 1934.