

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Член-корреспондент АН СССР И. А. ОДИНГ и М. Г. ЛОЗИНСКИЙ

**К ВОПРОСУ О СТРОЕНИИ ЗЕРЕН МЕТАЛЛА ПРИ ВЫСОКОЙ
ТЕМПЕРАТУРЕ**

Современное представление о кристаллическом строении металлов и сплавов, основанное на многочисленных рентгенографических и иных исследованиях, позволило установить параметры кристаллической решетки у различных металлов и зависимость микроструктуры металлов от ряда факторов, связанных с условиями кристаллизации и обработки. Известно, что в результате кристаллизации металлов и сплавов появляются кристаллические образования в виде отдельных зерен. Рентгеноструктурные исследования позволили установить, что эти зерна не являются однородными по своему строению, а представляют собой совокупность блоков, повернутых относительно друг друга на некоторые небольшие углы. Однако микроструктурный анализ до сих пор не позволил подтвердить, что зерна металла составлены из блоков и поэтому вопрос о размерах и форме последних оставался открытым.

подавляющее большинство исследований микростроения металлов и сплавов было произведено при нормальной температуре. Микроструктура металлов, и в особенности внутреннее строение кристаллитов при высокотемпературном нагреве, изучались крайне мало. Проведенные нами экспериментальные работы показали, что при высокотемпературном нагреве образцов в вакууме может быть выявлено и внутреннее строение зерен.

При проведении опытных работ изучаемые образцы, имеющие форму пластинки длиной 60 мм и сечением 30 мм² (10 × 3 мм), нагревались за счет теплового действия пропускаемого по ним переменного тока промышленной частоты (50 герц). Скорость нарастания температуры при этом могла регулироваться в широких пределах. При выбранном значении температуры образцы выдерживались определенное время (от нескольких минут до десяти и более часов).

На одной из плоскостей образца предварительно приготавливался металлографический шлиф. Для предотвращения окисления шлифа при повышении температуры нагрев производился в вакууме (при остаточном давлении в рабочей камере порядка 10⁻⁴—10⁻⁵ мм рт. ст.).

Контроль температуры нагрева до 1400° осуществлялся при помощи термопары, спай которой прикреплялся к образцу точечной сваркой, для обеспечения надежного теплового контакта. При проведении опытов с нагревом образцов до 2000° и более о температуре образцов приходилось судить по величине их электрического сопротивления.

В результате высокотемпературного нагрева и выдержки при данной температуре на поверхности образцов четко выявляются границы зерен. Эта закономерность, установленная А. А. Байковым и Н. Т. Гудцовым более 40 лет назад, используется в настоящее время для ряда металловедческих исследований (1-4).

Причиной возникновения границ зерен является селективное испарение, протекающее неравномерно с плоскости шлифа. В отдельных участ-

ках на поверхности шлифа, имеющих большую энергию связи между частицами, отрыв частиц из кристаллической решетки затруднен. В зонах, где частицы имеют малую энергию связи, процесс испарения протекает более интенсивно. Поэтому при выдержке нагретого образца в вакууме устанавливается четкая картина строения границ зерен, соответствующая температуре данного опыта.

По мере повышения температуры интенсивность испарения возрастает и поэтому длительность экспозиции для получения тех же результатов может быть сокращена. Выявляемый рельеф позволяет судить о строении исследуемого материала при температуре опыта, хотя рассмотрение микроструктуры производится при комнатной температуре, после охлаждения образца до комнатной температуры и извлечения его из рабочей камеры.

Проведенные нами опыты по выявлению микроструктуры путем нагрева в вакууме образцов чистых металлов (до температур в диапазоне $1000\text{--}2000^\circ$) позволили выявить некоторые интересные детали внутреннего строения зерна. Было установлено, что при температурах примерно равных $0,80\text{--}0,75$ от температуры плавления выявляется своеобразное «расслаивание» зерен. Получаемая микроструктурная картина позволяет предположить, что полиэдры металла построены из плоских блоков, имеющих толщину порядка сотен и, в ряде случаев, тысяч параметров кристаллической решетки исследуемого материала. Можно допустить, что в участках соприкосновения этих плоских блоков уровень энергии связи ниже, чем в плоскости среза (в торцевых зонах, лежащих на поверхности шлифа). Результатом этого должна явиться различная интенсивность испарения.

Обратимся к некоторым экспериментальным данным. На рис. 3 а приведена микрофотография чистого вольфрама при увеличении 200, нагреве до 2000° в вакууме и выдержке при этой температуре в течение 15 минут. На рис. 3 б показан при линейном увеличении в 2000 крат участок, обведенный на рис. 3 а кружком. На микрофотографии рис. 3 б четко видны границы отдельных плоских блоков, образующих зерно вольфрама.

Аналогичная закономерность строения иллюстрируется на рис. 1, на котором приведена при увеличении в 500 раз микрофотография поверхности образца чистого молибдена, после нагрева до 1450° и 20-минутной выдержки.

Толщина обнаруженных плоских блоков была измерена и сопоставлена с размерами параметра кристаллической решетки металла. Для вольфрама это соотношение оказалось около 400, а для молибдена около 500. Толщина отдельных блоков внутри зерна несколько колеблется. Длина же их значительно больше толщины.

Следует еще обратить внимание на изгиб этих плоских блоков, наблюдаемый в областях, прилегающих к границам зерен. Хотя это наблюдается не по всей периферии границ зерен, все же эта деталь указывает на то, что границы зерен чистых металлов могут иметь иную прочность, чем тело зерна. Будучи деформированы (изогнуты), они могут быть более жесткими (5).

Исследованный вольфрам и молибден были высокой чистоты. Было интересно поэтому сопоставить строение чистых полиэдров со строением полиэдров, представляющих собой твердый раствор. Для этого образец углеродистой стали с 0,45% С при температуре 1100° выдерживался 11 час. в рабочей камере с остаточным давлением около 10^{-4} мм рт. ст. На рис. 2, на котором приведена микрофотография этого образца, видны границы зерен аустенита, а также и указанные выше плоские блоки, составляющие зерно аустенита. Отношение толщины блока к параметру кристаллической решетки в этом случае составляет от 400 до 1500. Ориентация этих плоских блоков в стали имеет несколько иной харак-

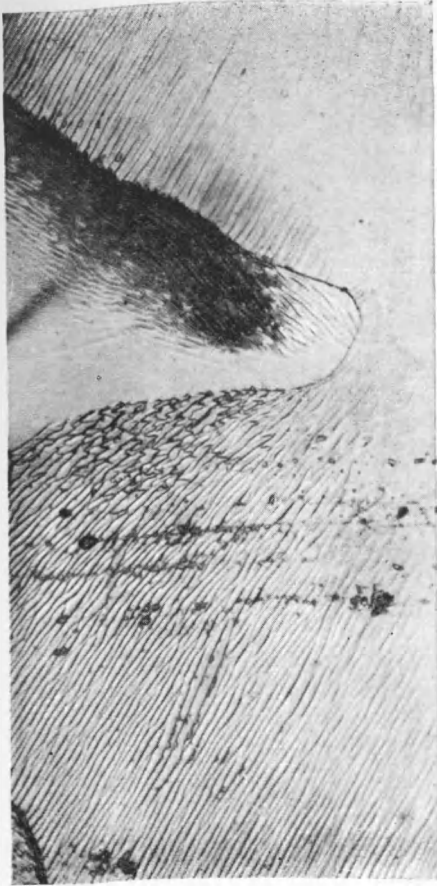


Рис. 1. Микрофотография поверхности образца чистого молибдена, нагретого до 1450° и выдержанного при этой температуре 20 мин. при остаточном давлении 10^{-4} мм рт. ст.
 $\times 500$

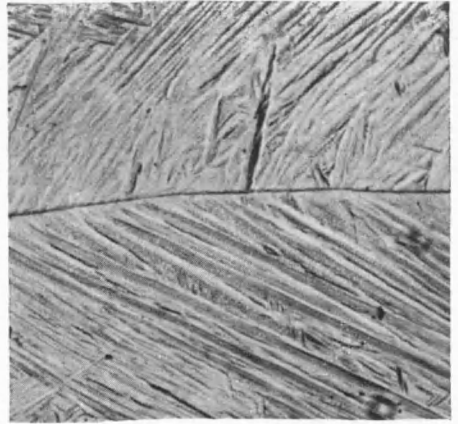


Рис. 2. Микрофотография поверхности образца стали 45 после 11-час. выдержки в вакууме при нагреве до 1100° .
 $\times 300$

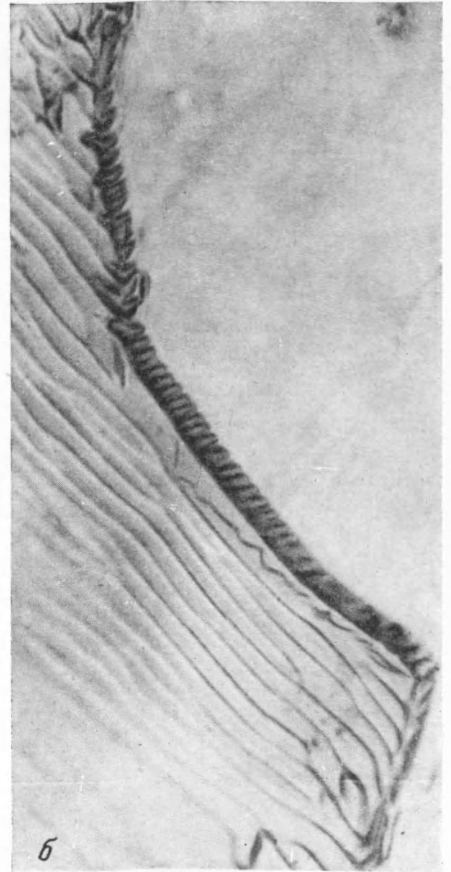
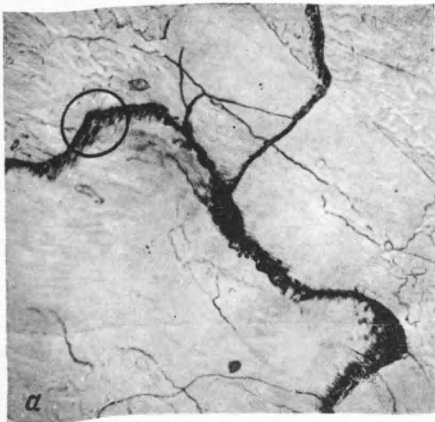


Рис. 3. *а* — микрофотография поверхности образца чистого вольфрама, выдержанного в вакууме при 2000° в течение 15 мин. ($\times 200$); *б* — микрофотография участка того же образца, обведенного на рис. 3, *а* кружком. $\times 2000$

тер, чем на рассмотренных выше снимках, что может быть объяснено, во-первых, иным строением кристаллической решетки аустенита по сравнению с решеткой вольфрама и молибдена, а, во-вторых, концентрационной неоднородностью аустенита при высокой температуре. Неизбежное искажение кристаллической решетки на границах плоских блоков должно обусловить иную — большую способность искажений решетки растворять углерод. Поэтому в данном случае на блочное строение полиэдра накладывается еще и дополнительное явление ликвационного характера.

Поступило
8 VIII 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. Т. Гудцов, Сборн., посвящ. 30-летию Великой Октябрьской революции, изд. АН СССР, 1947. ² К. Л. Малышев и И. Б. Трубин, Тр. Ин-та физики металлов Уральского филиала АН СССР, в. 10, 30 (1947). ³ Н. Т. Гудцов с сотруди., Изв. АН СССР, ОТН, № 1, 108 (1950). ⁴ М. Г. Лозинский, ДАН, 82, № 1, 53 (1952). ⁵ И. А. Одинг, Металлург, № 9—10 (1937).