

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

М. Г. ЛОЗИНСКИЙ

К ВОПРОСУ О МИГРАЦИИ ГРАНИЦ ЗЕРЕН АУСТЕНИТА

(Представлено академиком Н. Т. Гудцовым 31 X 1951)

В современной технике находят все большее распространение механизмы, отдельные части которых работают при высокотемпературном нагреве. Это вызывает большой интерес к различным методам, позволяющим производить контроль и изучение строения материалов в интервале высоких температур, порядка 1200—1400°. В частности, значительное внимание уделяется способам, дающим возможность быстро изменять размеры зерен аустенита стали. К числу указанных выше способов относится методика выявления границ зерен аустенита, а также микроструктуры при нагреве в вакууме, развитая за последние годы под руководством Н. Т. Гудцова (6-8).

В настоящей статье приводятся сведения о разработанных автором аппаратуре и методике, позволяющих производить изучение кинетики миграции границ зерен аустенита стали в зависимости от температуры исследуемого образца, а также от длительности его выдержки при нагреве в вакууме.

По способу нагрева исследуемых образцов все типы экспериментальных установок могут быть разделены на две группы. К первой группе мы относим установки, в которых образцы нагреваются путем радиации и теплопроводности от внешних источников тепла; вторую группу способов составляют устройства, в которых нагрев осуществляется за счет выделения тепла непосредственно внутри самих образцов (в результате преобразования в тепловую энергию пропускаемого по образцам электрического тока).

На рис. 1 приведены принципиальные схемы различных типов устройств для нагрева образцов в вакууме. На рис. 1 а и 1 б рассматриваются примеры нагрева образцов внешними источниками тепла. Простейшим является иллюстрируемый на рис. 1 а нагрев образца 1 в кварцевой трубе 2, помещенной в электрическую печь 3. Недостатком этого способа является невозможность нагрева до температуры более 1300°, так как при этой температуре резко снижается термическая стойкость керамики, в частности кварца. Нагрев до более высоких температур осуществляется при использовании схемы рис. 1 б. При этом образцы 1 размещаются на жаростойких подставках 2 и нагреваются за счет радиации от кольцевого (или иной формы) нагревателя 3, соединенного с питающей электрической сетью. Экран 4 служит для снижения тепловых потерь от нагревателя. Вакуумная рабочая камера образуется колпаком 5, кромка которого тщательно пришлифована к плоскости плиты 6. Откачка воздуха и газов из вакуумной камеры производится через патрубок 7.

Методы электронагрева образцов внутренним источником тепла в свою очередь разделяются на две подгруппы. Первая охватывает типы установок, в которых исследуемый образец является элементом, непо-

средственно включенным в цепь питающего тока. Такие устройства мы называем установками контактного нагрева. Вторая подгруппа основана на использовании методов бесконтактного, индукционного нагрева (9).

На рис. 1 *в* показана схема установки для контактного электронного нагрева образца 1. Электроды 2 и 3 приключены к источнику питающего напряжения. Образец присоединяется к электроду 2 и через гибкую токопроводящую перемычку 4 (служащую для предотвращения деформации образца при его объемных изменениях с температурой) — к электроду 3. Керамический упор 5 поддерживает образец в процессе опыта. Воздух и газы откачиваются через патрубок 6.

На рис. 1 *г* приведена схема установки для бесконтактного нагрева образца 1 в вакууме индукционным способом. Исследуемый образец на

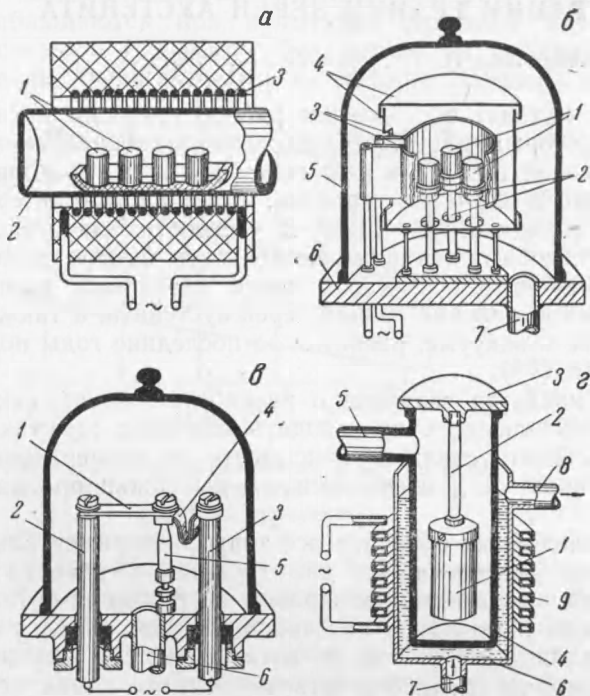


Рис. 1

стойке 2 прикреплен к крышке рабочей камеры 3. Керамический корпус камеры 4 снабжен патрубком 5, через который из него производится откачка воздуха и газов. Охлаждение корпуса 4 (при нагреве образца до высоких температур) осуществляется путем пропускания воды через пластмассовый (выполненный, например, из плексигласса) кожух 6, имеющий штуцеры 7 и 8. Стрелками на рис. 1 *г* показано направление движения воды. Цифрой 9 обозначен нагревательный индуктор, соединенный с питающим генератором токов высокой частоты.

К числу особенностей методов нагрева внешними источниками

тепла следует отнести осуществимость исследования образцов из любых материалов (не только металлов, но и полупроводников и диэлектриков). При этом скорость нарастания температуры на образце обычно не превышает 50—100°/мин. Методы электронного нагрева, применимые только для хорошо проводящих электрический ток образцов, ценны возможностью проведения опытов с большими скоростями нарастания температуры (достигающими десятков тысяч град/мин), что позволяет устанавливать влияние фактора времени на кинетику изучаемых процессов.

Как известно, в результате высокотемпературного нагрева при низком остаточном давлении (не более $1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.) и выдержке при данном значении температуры на полированной поверхности образца выявляются границы зерен аустенита, соответствующие данной температуре нагрева (1-6). Причиной появления границ зерен, повидимому, является более интенсивное испарение материала, располагающегося в этих участках. В результате возникает рельеф, хорошо наблюдаемый в микроскоп.

По мере повышения температуры происходит увеличение размеров зерен аустенита. Для изучения кинетики миграции границ этих зерен

автором применялась следующая методика (см. рис. 2). При нагреве образца от комнатной температуры T_1 до T_2 (порядка $1100-1200^\circ$) происходит образование зерен аустенита. При выдержке в течение времени t_1-t_2 (обычно порядка нескольких минут) происходит выявление границ зерен аустенита, соответствующих данной температуре. Последующее повышение температуры до значения T_3 ($T_3 - T_2 \cong 50 \div 100^\circ$) вызывает рост зерен аустенита, а выдержка в интервале t_3-t_4 сопровождается появлением новых границ. Однако при этом в течение непродолжительного времени сохраняется на поверхности образца рельеф, созданный старыми границами зерен, и, если в момент t_4 начать охлаждение образца, то при последующем рассмотрении образца в микроскоп видны одновременно старые и новые границы.

На приводимых микрофотографиях показаны отдельные зоны поверхности образцов с выявленной по описанной выше методике двойной системой границ аустенитных зерен.

На рис. 3 (см. вклейку) показана микроструктура поверхности образца (состава: С 0,11%, Сг 16,05%, Ni 25,1%, Мо 6,7%, Mn 1,35%, Si 0,56%, N 0,1%), подвергнутого нагреву со скоростью нарастания температуры около $50^\circ/\text{мин}$ по схеме рис. 1 а.

На микрофотографии хорошо видна миграция границ зерен аустенита, происходящая в результате двух последовательных нагревов в вакууме: первого при температуре 1200° и выдержке в течение 15 мин. и второго нагрева до 1300° , продолжающегося 10 мин. Удлинение выдержки при высокой температуре вызывает увеличение ширины границ между зернами аустенита.

Как показали измерения на образцах из данной марки стали, ширина границ зерен аустенита при нагреве до 1100° в течение 10 мин. составляет около 2μ , а при той же длительности выдержки при 1300° ширина границ увеличивается до $7-10 \mu$.

Миграция границ зерен аустенита протекает с сравнительно большой скоростью. На ряде опытов нами было установлено, что достаточно произвести нагрев образца всего лишь в течение 1 мин., чтобы возникли новые границы зерен, соответствующие вновь установленной температуре.

На рис. 4 приведена микрофотография образца из стали ЭИ-69, имеющего на поверхности двойную систему границ аустенитных зерен, выявленную при скоростном электроннагреве (при нарастании температуры со скоростью около $1000^\circ/\text{мин}$) по схеме рис. 1 в при остаточном давлении в рабочей камере около $1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. Четкие и широкие границы, соответствующие первоначальной выдержке в течение 15 мин. при 1200° , переплетаются с новыми, более узкими границами зерен аустенита, возникшими при выдержке в течение 1 мин. при 1300° .

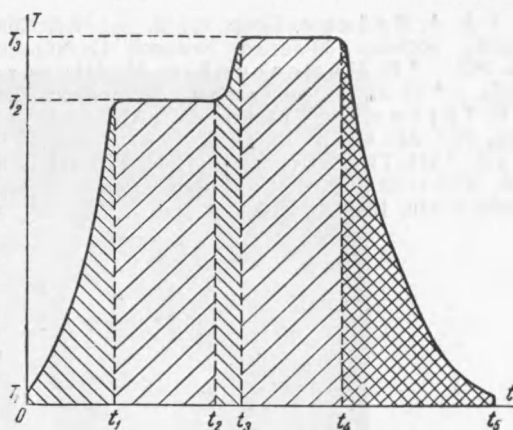


Рис. 2

Выводы

Разработанная автором методика позволяет определять миграцию границ зерен аустенита путем последовательных непродолжительных выдержек при нагреве до определенных значений температуры (порядка

1000—1200° и 1250—1350°) в вакууме (при остаточном давлении около $1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.).

Установлено, что ширина границ зерен аустенита увеличивается с повышением температуры и длительности выдержки при данной температуре, что может быть объяснено возрастанием интенсивности процесса селективного испарения с этих участков поверхности образца. Применение способа скоростного электронагрева (со скоростью нарастания температуры порядка 1000°/мин) способствует получению более четких границ аустенитных зерен.

Использование описанных выше устройств и методики расширяет возможности металлографических исследований, особенно в области изучения строения жаростойких материалов при высокотемпературном нагреве.

Институт машиноведения
Академии наук СССР

Поступило
25 X 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Байков, Собр. тр., 2, изд. АН СССР, 1948, стр. 62. ² Н. Т. Гудцов, Собрн., посвящ. 30-летию Великой Октябрьской революции, изд. АН СССР, 1947, стр. 620. ³ Н. Чижевский и Н. Шульгин, Журн. Русск. металл. об-ва, № 4 (1915). ⁴ Л. И. Шушпанов, Металлург, № 6 (1937). ⁵ К. Л. Малышеви и И. Б. Трубин, Тр. Уральск. фил. АН СССР, 10, 39 (1947). ⁶ Н. Т. Гудцов сотр., Изв. АН СССР, ОТН, № 1, 108 (1950). ⁷ Н. Т. Гудцов и М. Г. Лозинский, ДАН, 73, № 4 (1950). ⁸ Н. Т. Гудцов и М. Г. Лозинский. Зав. лаб., № 9, 1072 (1950). ⁹ М. Г. Лозинский, Поверхностная закалка и индукционный нагрев стали, 1949.

К статье Б. А. Багаряцкого
и М. И. Мордухович, стр. 45

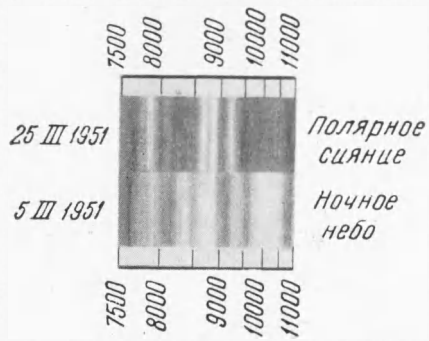


Рис. 1. Спектры полярного сияния и
ночного неба

К статье М. Г. Лозинского, стр. 53

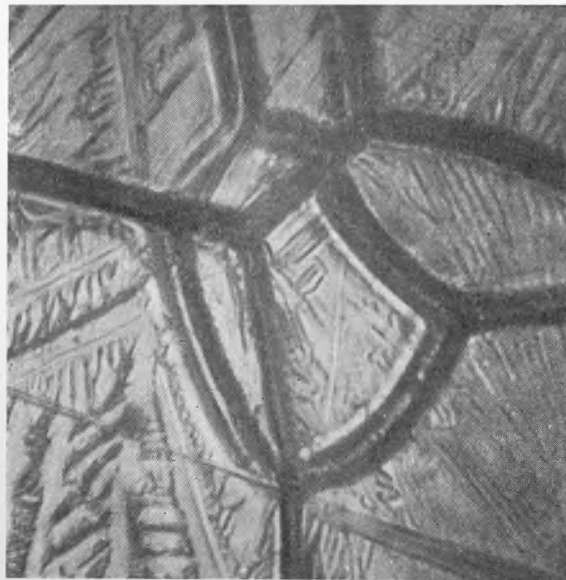


Рис. 3. Микроструктура поверхности образца, под-
вергнутого нагреву от внешнего источника тепла.
× 1000. Репрод. 4:5

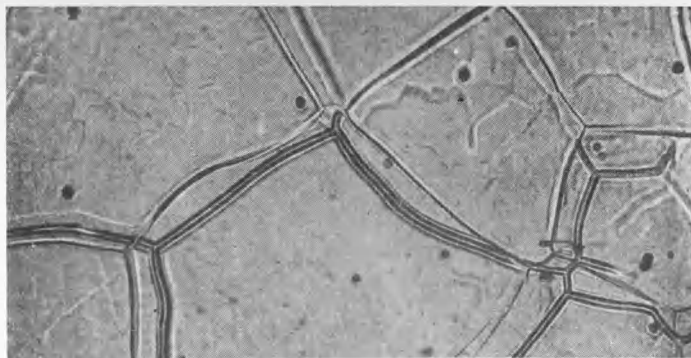


Рис. 4. Микроструктура поверхности образца, подвергнутого
контактному электронагреву. × 300. Репрод. 4:5