

УДК 666.653

*А. Г. Карина, Х. Х. Аль Джебур Халдун, В. П. Шелохвостов\**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МОНО-  
И ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ  
МАРГАНЦЕВО-ЦИНКОВЫХ ФЕРРИТОВ**

Одной из главных причин, препятствующих широкому применению ферритов, особенно в случаях, когда они испытывают механические усилия, является их относительная хрупкость. Обычно ферриты способны лишь в очень малой степени испытывать пластическую деформацию и имеют низкую устойчивость к ударным нагрузкам. В то же время теоретическая прочность таких материалов весьма велика. Реальные ферритовые материалы относятся к хрупким материалам, так как их деформации при разрушении не превышают 0,1...0,2%, и ферриты характеризуются относительно низкими механическими свойствами, которые в первую очередь зависят от структурного состояния материала.

Одним из основных видов механического испытания ферритов принято испытание на твердость.

Испытания на микротвердость монокристаллических ферритов проводили на микротвердомере ПМТ-3 с нагрузкой 100 г.

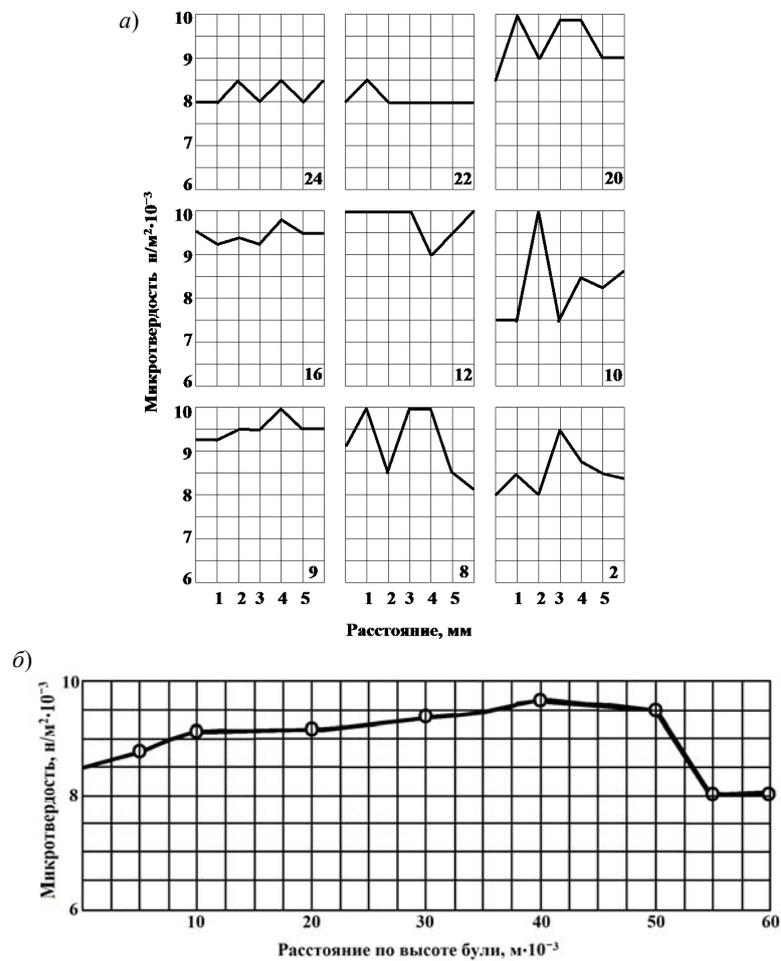
Результаты испытаний приведены на рис. 1. Точки на графиках представляют средние из 25 измерений. Микротвердость феррита колеблется в пределах  $(8 - 10) \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}^2$ . Средняя микротвердость  $9 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}^2$ . В верхней и нижней частях она составляет  $8 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}^2$ , в средней имеет большее значение (до  $10 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}^2$ ). Такой разброс значений может быть связан с тем, что у отпечатков во многих случаях были микротрещины.

Была сделана попытка оценить условия возникновения микротрещин. С этой целью испытания проводили с различной нагрузкой и строили зависимость микротвердости от нагрузки. Кроме того, такая методика, по-видимому, может дать приближенную оценку запаса упругой энергии в образцах.

Измерения проводили с нагрузками от 20 до 200 г с интервалом 25 г. При каждой нагрузке делали 25 измерений и брали среднее значение. Данные измерения показаны на рис. 2 (кривая 1). Как видно, до нагрузки 50 г микротвердость практически не меняется. Дальнейшее нагружение несколько снижает ее, что особенно заметно при нагрузке свыше 100 г.

---

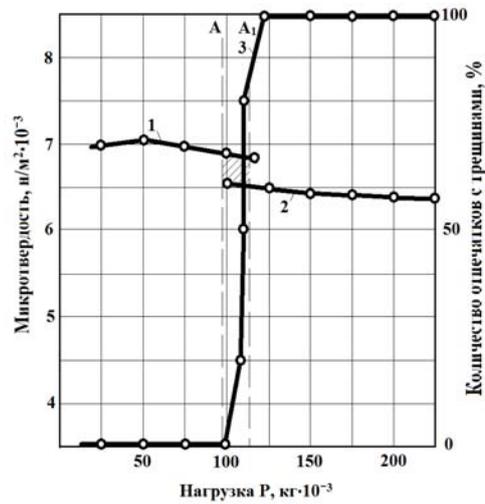
\* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» В. П. Шелохвостова.



**Рис. 1. Распределение микротвердости:**

*a* – по диаметру; *б* – по высоте монокристаллической заготовки (були)

Это в первую очередь зависит от появления микротрещин у отпечатков (кривая 2) и иллюстрируется кривой 3, показывающей количество отпечатков с трещинами в процентах. До нагрузки 100 г трещины отсутствуют у всей серии в 25 отпечатков при каждой нагрузке. Свыше 125 г у всех отпечатков образуются трещины. В интервале 100 – 125 г лишь у части отпечатков наблюдаются трещины, причем количество отпечатков с трещинами увеличивается с ростом нагрузки.



**Рис. 2. Влияние нагрузки на твердость поликристаллического феррита:**

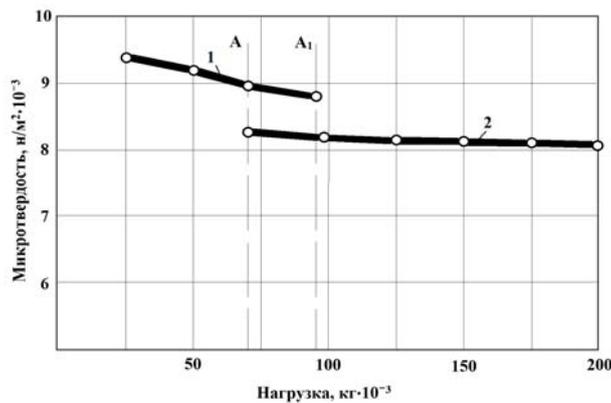
1 – без трещины у отпечатков; 2 – с трещинами;  
3 – зависимость трещинообразования от нагрузки

Показанный на графике интервал  $AA_1$ , по-видимому, характеризует сопротивление деформации и разрушению с учетом воздействия на эти процессы накопленной упругой энергии (внутренних напряжений). Возможно, что положение интервала  $AA_1$  на шкале нагрузок косвенно характеризует уровень внутренних напряжений.

Подтверждением этого могут служить результаты такого же эксперимента на образцах неотожженного и отожженного по заводскому режиму монокристаллов (рис. 3, 4).

При нагрузках до 50 г твердость в обоих случаях практически одинакова и составляет  $(9...9,3) \cdot 10^{-3}$  Н/м<sup>2</sup>, не изменяясь от нагрузки. Дальнейшее нагружение приводит, в целом, к снижению микротвердости. Интервал  $AA_1$  также характеризует область нагрузок, при которых у отпечатков наблюдается частичное образование трещин. Правее  $AA_1$  твердость снижается в большей степени (до  $7,8...8,5$  Н/м<sup>2</sup>·10<sup>-3</sup> при  $P = 200$  г) из-за большего числа микротрещин и их размеров. В диапазоне от 50 г до интервала  $AA_1$  снижение твердости возможно за счет микротрещин, не обнаруживаемых оптической микроскопией, и особенностей микропластической деформации под индентором.

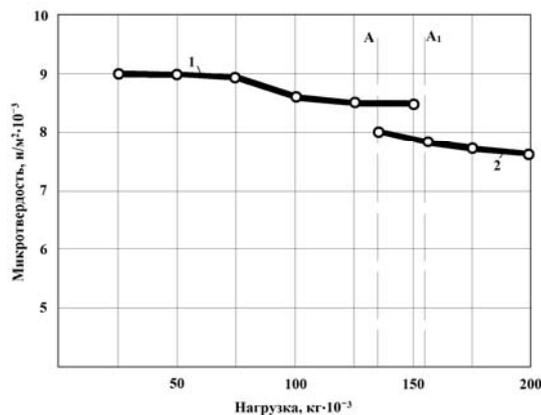
Положение интервала  $AA_1$  для неотожженного кристалла соответствует 70 – 100 г, для отожженного – 140 – 160 г, т.е. отжиг смещает критическую нагрузку появления трещин вправо. Поскольку твердость в обоих случаях при малых нагрузках одинакова, а стало быть, мало меняются прочностные характеристики, то смещение интервала  $AA_1$  характеризует изменение уровня внутренних напряжений, повышение запаса пластичности материала.



**Рис. 3. Зависимость микротвердости неотожженного монокристалла феррита от величины нагрузки:**

1 – отпеч-  
трещин; 2  
с трещи-

чатки без  
– отпечатки  
нами



**Рис. 4. Зависимость микротвердости отожженного монокристалла феррита от величины нагрузки:**

1 – отпечатки без трещин; 2 – отпечатки с трещинами

Таким образом, эта характеристика отражает изменение целого комплекса свойств кристалла и может рекомендоваться для приближенной оценки качества материала (отжига).

#### Список литературы

1. Глазов, В. М. Микротвердость металлов / В. М. Глазов, В. Н. Вигдорович. – М. : Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1962. – 224 с.

*Кафедра «Материалы и технология» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*