

Академик В. Д. САДОВСКИЙ, Д. П. РОДИОНОВ, Л. В. СМИРНОВ,
В. М. СЧАСТЛИВЦЕВ

**ОТПУСКНАЯ ХРУПКОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ
КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ**

При отпуске ряда конструкционных сталей в интервале 500—550° С или в результате замедленного охлаждения после высокого отпуска наблюдается снижение ударной вязкости (обратимая отпускная хрупкость). Кроме того, во всех сталях, которые закаляются на мартенсит, наблюдается резкое снижение ударной вязкости после отпуска в интервале температур 250—400° С (необратимая отпускная хрупкость). Обратимая отпускная хрупкость объясняется процессами обогащения приграничных зон фосфором или его химическими аналогами, проис-

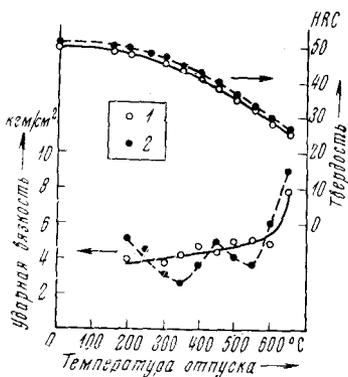


Рис. 1

Рис. 1. Зависимость ударной вязкости моно- (1) и поликристаллических (2) образцов от температуры отпуска

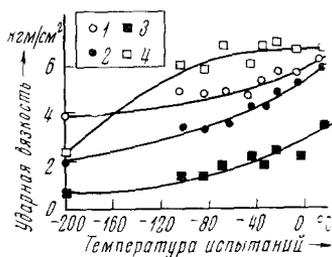


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость ударной вязкости моно- (1, 2) и поликристаллических (3, 4) образцов от температуры испытания (серийные кривые). 1—4 — вязкая разновидность; 2, 3 — хрупкая разновидность

ходящими при отпуске (1, 2). Необратимая отпускная хрупкость связывается с процессами карбидообразования при отпуске мартенсита (3, 4).

Известно, что при развитии обратимой и необратимой отпускной хрупкости падение ударной вязкости (смещение порога хладноломкости) сопровождается возникновением хрупкого межкристаллитного излома по границам старых аустенитных зерен (5). Очевидная связь обратимой и необратимой отпускной хрупкости с процессами, происходящими на границах аустенитных зерен, позволяет ставить вопрос, как будут вести себя монокристаллы закаленной стали после охрупчивающего отпуска.

Материалом для исследования служили монокристаллы стали 37ХНЗА. Монокристаллы выращивали из расплава, охлаждали до 850° С и закаливали в масле. Кристаллы имели при комнатной температуре мартенситную структуру (6). Ударные испытания проводили на микрообразцах (4,5 × 4,5 × 30 мм) на копре типа МК-1,5. Сравнительные испытания проводили на поликристаллических образцах, полученных в результате перекристаллизации монокристаллов при нагреве их до 1250° С и последующей закалки в масле.

На рис. 1 представлены результаты ударных испытаний монокристалльных и поликристаллических образцов в зависимости от температуры двухчасового отпуска. Из приведенных данных видно, что в то время как поликристаллические образцы подвержены в значительной мере обоим видам отпускной хрупкости, в монокристалльных образцах ударная вязкость непрерывно повышается с увеличением температуры отпуска. Изломы монокристалльных образцов при всех температурах отпуска имеют волокнистый вид, тогда как поликристаллические образцы после отпуска в интервалах развития необратимой и обратимой отпускной хрупкости имеют блестящий интергранулярный излом. Таким образом, в монокристалльных образцах при испытании на ударный изгиб при комнатной температуре подавлены оба вида хрупкости.

Чтобы более точно оценить степень развития хрупкости в монокристаллах, были проведены сериальные испытания. Монокристалльные и поликристаллические образцы с этой целью были отпущены при 650°C (2 часа) с охлаждением в воде (вязкая разновидность). Половина образцов из обеих партий была дополнительно отпущена в течение 6 час. при 550°C с последующим охлаждением с печью (хрупкая разновидность).

При испытании поликристаллических образцов заметна существенная разница в ударной вязкости хрупкой и вязкой разновидностей образцов (рис. 2). Различие наблюдается и в том, что изломы вязкой разновидности поликристаллических образцов сохраняют волокнистый вид вплоть до -100°C , а изломы охрупченных поликристаллов во всем интервале температур испытания остаются интеркристаллитными.

Что касается монокристалльных образцов, то их ударная вязкость монотонно уменьшается с понижением температуры испытания вплоть до -196°C (рис. 2). Если при комнатной температуре разница в ударной вязкости хрупкой и вязкой разновидностей монокристаллов практически не заметна, то с понижением температуры она увеличивается и достигает $1,5-2\text{ кгм/см}^2$. Однако такое охрупчивание незначительно по сравнению с изменением ударной вязкости поликристаллических образцов.

Таким образом, в монокристалльных образцах в значительной мере ослаблена как обратимая, так и необратимая отпускная хрупкость. Факт, что в одном и том же материале в зависимости от того, есть или нет в нем большеугловые границы, связанные с аустенитным зерном, отпускная хрупкость может проявляться в полной мере или практически отсутствовать, свидетельствует о решающей роли большеугловых границ в развитии отпускной хрупкости. Последнее обстоятельство определяет и характер разрушения, так как эти границы являются местом легчайшего распространения трещины.

Незначительное понижение ударной вязкости монокристаллов после охрупчивающего отпуска, по-видимому, связано с развитием охрупчивающих процессов на малоугловых границах. Возможно, отдельные участки мартенситной структуры могут служить местом развития охрупчивающих процессов, а впоследствии и местом легкого распространения трещины.

Институт физики металлов
Уральского научного центра
Академии наук СССР
Свердловск

Поступило
9 VIII 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ D. R. Stein, A. Joshi, R. P. Laforce, Trans. ASM, 62, 776 (1969). ² H. L. Marcus, R. W. Palmberg, Trans. AIME, 245, 1664 (1969). ³ В. И. Саррак, Р. И. Энтин, Сборн. Проблемы металловедения и физики металлов, в. 7 (1962). ⁴ Е. Н. Соколов, В. Д. Садовский, Тр. Инст. физ. мет. УФАН СССР, в. 18, 3 (1956). ⁵ В. Д. Садовский, Г. Н. Богачева, М. П. Браун, Сборн. Проблемы конструкционной стали, М., 1949, стр. 220. ⁶ В. М. Счастливцев, Д. П. Родионов и др., Физ. мет. и металловед., 30, в. 6, 1238 (1970).