

Ю. В. ЗИМА, О. Н. РОМАНИВ, академик АН УССР Г. В. КАРПЕНКО

О НОВОМ МОРФОЛОГИЧЕСКОМ ЭЛЕМЕНТЕ МИКРОПОВЕРХНОСТИ ВЯЗКОГО РАЗРУШЕНИЯ ДОЭВТЕКТОИДНЫХ СТАЛЕЙ

Исследованиями послевоенных лет (¹⁻³) показано, что вязкое разрушение металлов и сплавов обусловлено коагуляцией микропустот, образующихся в результате значительной пластической деформации, реализуемой при нагружении, когда отсутствует альтернатива грифитовского распространения трещины. В соответствии с многочисленными электроннофрактографическими исследованиями (^{2, 3}) выделено два основных структурных элемента микроповерхности вязкого разрушения: ямки (именуемые еще впадинами или димплами) и плоскости гладкого расщепления (известные еще как плоскости Крюссара). Согласно (³), существует три способа коалесценции микропустот, в местах расположения которых образуются на поверхности излома димплы равноосного или удлиненного типа; кроме того, димплы могут значительно отличаться друг от друга как по размеру, так и по конфигурации. Что касается участков гладкого расщепления, то их принято рассматривать как результат расслоения вязкого материала по плоскостям скольжения.

Ниже будет рассмотрен новый морфологический элемент поверхности, обнаруженный нами при электроннофрактографическом изучении вязких изломов доэвтектоидных сталей. Для исследования использовали группу хромистых сталей, отличающихся по содержанию углерода, в том числе 20Х, 40Х, 7Х2 и ШХ15 в состоянии после отжига. Для каждой стали предварительно строили кривые хладноломкости по результатам серийных ударных испытаний на стандартных образцах Менаже. Как видно из рис. 1а, у всех перечисленных сталей обнаружены четкие пороги хладноломкости и температурные области вязкого разрушения (справа от верхнего порога хладноломкости). Несмотря на значительное различие содержания углерода вязкие изломы всех сталей, соответствующие указанной температурной области, имеют специфический волокнистый характер, на них (рис. 2б) четко выделяются сильно развитые боковые скосы (так называемые губы среза А), а также наклонные срезные участки В и В' у дна концентратора и в зоне долома соответственно. Прицельно-статистический электроннофрактографический анализ показал, что указанные поверхности, а также

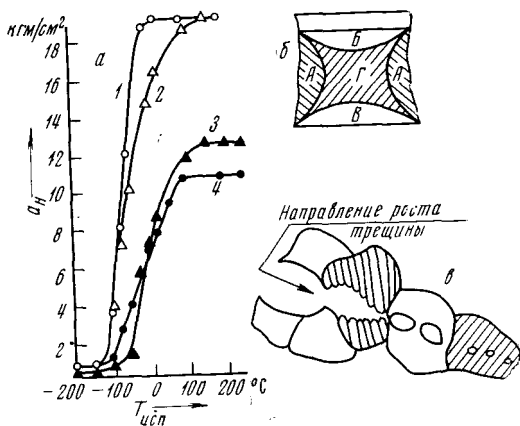


Рис. 1. а — кривые хладноломкости хромистых сталей в отожженном состоянии. Схема, представляющая макроструктуру вязкого ударного излома (б) и иллюстрирующая микромеханизм образования перлитовой полосчатости при распространении вязкой трещины (в) в доэвтектоидных сталях; 1 — 20Х, 2 — 7Х2, 3 — ШХ15, 4 — 40Х

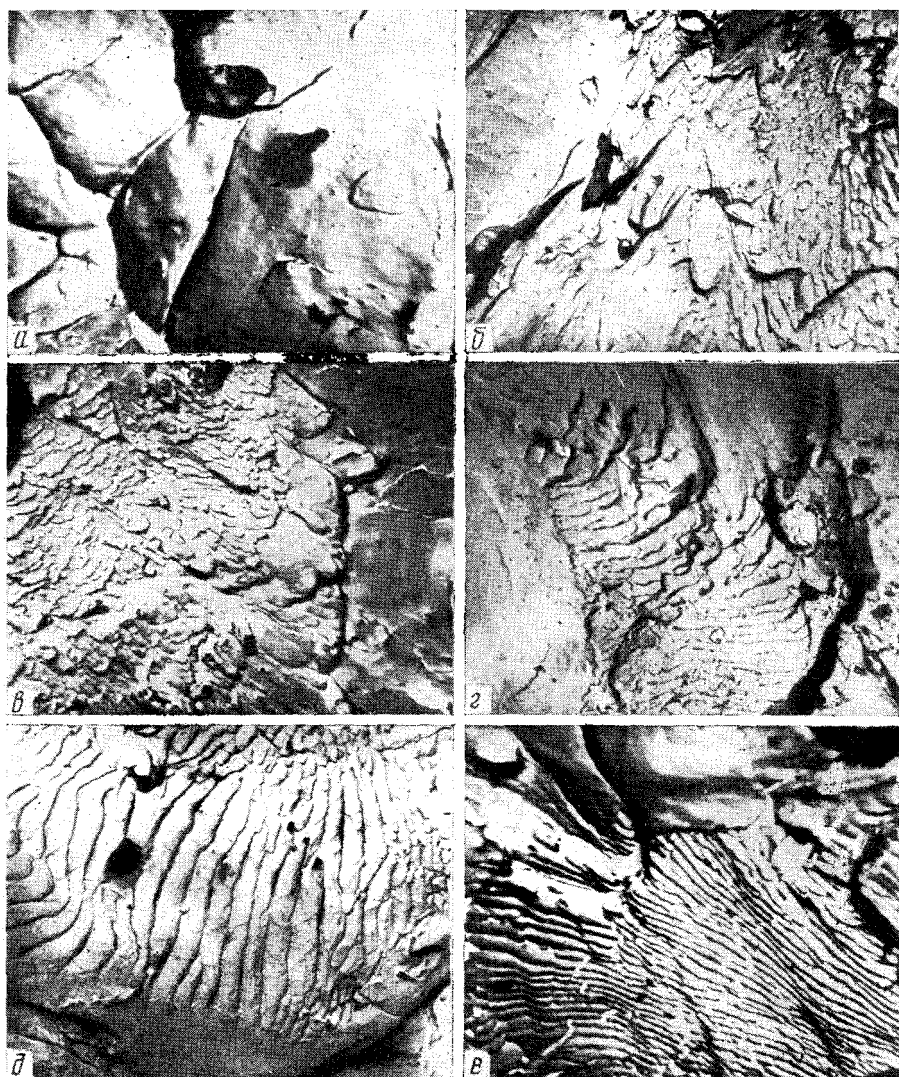


Рис. 2. Электронные фраттограммы поверхностей вязких изломов сталей 20Х (а — г) и 40Х (б, е). $T_{исп} = +200^\circ \text{C}$. Двухступенчатая пластико-угловая реплика; $4700\times$

средняя зона Г (рис. 1б), заполнены микробразованими вязкого типа: преимущественно димплами (рис. 2а), кроме того в ряде случаев до 30% поверхности занимают гладкие плоскости Крюссара. Таким образом, проведенный нами статистический анализ подтвердил вывод ⁽⁴⁾ о полном соответствии микро- и макрокартины вязкого разрушения в надпороговой области температур испытаний.

Вместе с тем при электроннофраттографическом анализе сталей 20Х и 40Х наряду с крупными димплами, характерными для этих сталей, обнаружены значительные микроучастки поверхности, заполненные вырожденными поперечными впадинами, которые, как правило, переходят в фронтально расположенные полосы (рис. 2б, в). В ряде случаев полосы резко удлиняются и выпрямляются (рис. 2 г — е), при этом микроповерхность напоминает структуру пластинчатого перлита, поэтому новый вид образований был назван нами перлитовой полосчатостью.

Имеются доказательства, подтверждающие наше предположение, что перлитная полосчатость соответствует распространению магистральной вязкой трещины на участках перлитных зерен, в частности, просмотр многочисленных реплик, снятых с поверхностей изломов и шлифов, показал размерное и количественное соответствие перлитных зерен и участков с полосчатостью (ср. рис. 2*д, е* с 3*а, б*). Кстати, на стали 40X участков с

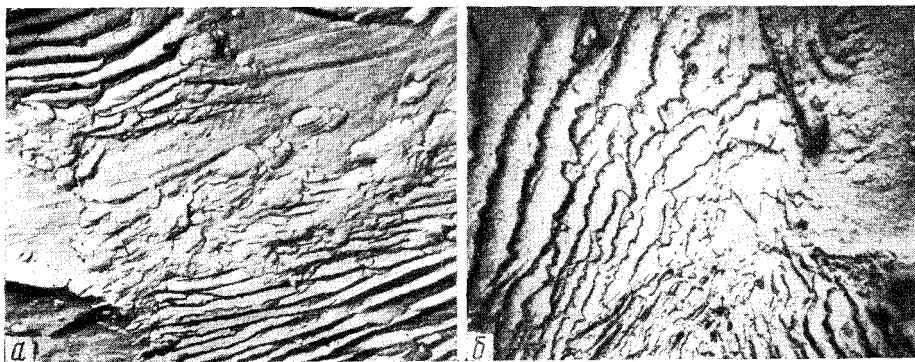


Рис. 3. Микроструктура сталей 20X (*а*) и 40X (*б*). Двухступенчатая пластико-угольная реплика; 4700 $\times$

перлитной полосчатостью значительно больше, чем на стали 20X. Электронномикроскопическое изучение ширины межпластинчатых расстояний в перлите показало также их соответствие шагу полос на поверхности излома.

Прямые доказательства связи полосчатости со структурой перлита дает анализ микрогеометрии профиля изломов на шлифах, покрытых ни-

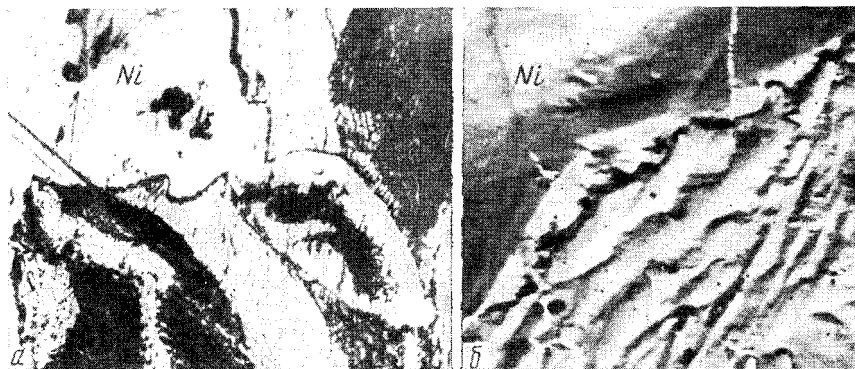


Рис. 4. Микрогеометрия профиля вязкого излома при ударном изгибе стали 20X. $T_{исп} = +200^{\circ}\text{C}$; *а* — 1350 $\times$; *б* — двухступенчатая пластико-угольная реплика, 4700 $\times$

кем. Даже при просмотре профиля на оптическом микроскопе в местах выхода перлита к поверхности излома видны регулярно чередующиеся зубцы, соответствующие межпластинчатому расстоянию (рис. 4*а*). Особенно четко обнаруживается связь зубцов с пластинчатостью перлита при больших увеличениях на электронном микроскопе (рис. 4*б*).

Хотя полосы являются результатом образования надрывов (сколов) на границах между ферритом и цементитом, этот вид поверхностных образований следует считать новым морфологическим элементом вязкого разрушения, поскольку его возникновение возможно только в условиях

значительной пластической деформации при коалесценции пустот.

Микромеханизм образования перлитной полосчатости можно представить следующим образом. В результате различной деформационной способности феррита и перлита, в процессе увеличения внешних нагрузок, происходит локализация пластической деформации в зернах феррита, где и начинается зарождение и коагуляция пустот. Вторая стадия разрушения заключается в распространении магистральной вязкой трещины через участки материала, на которых коагуляция еще отстаёт. К таким участкам следует отнести перлитные зерна. Если направление развития вязкой трещины перпендикулярно плоскостям, в которых расположены чередующиеся пластины цементита и феррита (или расположены под значительным углом к ним), то развитие генеральной трещины будет сопровождаться образованием надрывов на границах фаз феррит — цементит, являющихся концентраторами деформации (рис. 1в). Образование надрывов тормозит развитие трещины, однако в целом характер раскрытия полосей (коагуляции) при этом сохраняется. Как правило, полосы являются структурными элементами крупных димплов, поскольку дно последних испещрено регулярно чередующимися микронадрывами.

Установлено, что перлитная полосчатость не образуется в доэвтектоидных сталях на участках, соответствующих зернистому перлиту, она также отсутствует в закаленных сталях со структурами отпуска, отличными от пластинчатого перлита. Такую структуру поверхности излома не удалось также обнаружить на эвтектоидных и заэвтектоидных сталях (в том числе 7Х2 и ШХ15). Это означает, что при отсутствии ферритных зерен деформация всей матрицы протекает сравнительно гомогенно, при этом нет локальных изменений скорости коагуляции от зерна к зерну.

Перлитная полосчатость присуща не только изломам, образующимся при ударном изгибе, она наблюдалась нами также на срезных изломах низкоуглеродистой стали после испытаний на кручение. Это даёт основание признать перлитную полосчатость универсальным структурным элементом, присутствующим вязкому разрушению доэвтектоидных сталей.

Физико-механический институт
Академии наук СССР
Львов

Поступило
12 X 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ш. Крюссар, Ж. Плато и др., В кн. Атомный механизм разрушения, 1963.
² H. C. Burghard, D. L. Davidson, Proc. First Intern. Conf. on Fracture, Japan, Sendai, 2, 1965, p. 571, Sendai, Japan, 1966. ³ C. D. Beauchem, R. M. N. Pelloux, In: Fracture Toughness Testing and its Applications, ASTM STP, № 381, 1965. ⁴ А. П. Гуляев, А. М. Рим-Хенкина, Металловед. и термич. обработка, № 12, 28 (1969).