

Ш. Я. КОРОВСКИЙ

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ИЗЛОМОВ В ПОВЕРХНОСТНОАКТИВНЫХ СРЕДАХ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 12 IV 1971)

Среди методов, применяемых для выяснения причин разрушения деталей, важное место занимает анализ изломов (фрактография). В работе ⁽¹⁾ содержится анализ разнообразных видов изломов в зависимости от природы разрушаемого материала, его структуры и условий нагружения. Однако почти совершенно не анализируется влияние на вид излома поверхностно-активных сред. Между тем, уже давно известно ⁽²⁻⁵⁾, что п.а.в. часто весьма существенно изменяют условия деформирования и разрушения, а следовательно и вид излома ⁽⁷⁾.

В современной технике много агрегатов работают при повышенных давлениях и температурах, нередко в постоянном или случайном контакте с сильно действующими поверхностноактивными жидкометаллическими или солевыми расплавами (теплоносители, нагревательные и антикоррозионные среды, специальные смазки, припой, флюсы и т. п.). Более слабые п.а.в. содержатся во многих органических смазках. Не исключено и случайное попадание п.а.в. на детали.

В данной статье отмечается ряд признаков, которыми отличаются изломы в поверхностноактивных средах от изломов в неактивной среде и которые могут служить, в частности при расследовании причин поломок деталей, указанием на то, что весьма вероятными агентами разрушения были именно п.а.в., остатки которых затем уже обнаружить на поверхности изломов не столь сложно.

Как известно, сильно действующие п.а.в. — некоторые расплавы легкоплавких металлов и солей — охрупчивают в определенных условиях материал — снижают общую пластическую деформацию до разрушения ^(1, 6). При этом вследствие понижения удельной энергии образования новых поверхностей в поверхностноактивных средах поверхность излома часто значительно более развита, чем при разрушении в неактивных средах.

На рис. 1 приведены изломы образца поликристаллического дуралюмина после разрыва статическим растяжением ($v = 6$ мм/мин) в неактивной среде — на воздухе (слева) и в сильнодействующем поверхностноактивном расплаве — галлии ⁽⁶⁾, нанесенном на образец $d = 20$ мм в виде узкого кольца шириной в 4 мм. В то время как в неактивной среде разрушение произошло при напряжении $\sigma_b = 44,5$ кг/мм² и удлинении 18% от среза под углом примерно 45° к продольной оси образца, в поверхностноактивной среде излом, имея в общем более развитую поверхность, был сконцентрирован в зоне кольца с нанесенным активным веществом. Напряжение разрыва составило всего 21 кг/мм² и удлинение 3,5%. Сеть трещинок излома выражена более четко. При прикосновении к образцу в месте разрыва легко выкрашивались кусочки металла. Металлографический анализ показал, что если в неактивной среде трещины разрушения проходят в основном транскристаллитно, в сильно действующей поверхностноактивной среде разрыв по преимуществу интеркристаллитен. Поверхностноактивный металл проникает как по раскрывающимся трещинам, так и по дислокационным ядрам и другим дефектам структуры, содержащимся по преимуществу у границ зерен. В прессованном материале развитая поверхность границ совпадает с продольной осью образца и часто (даже после разрыва образца) образуются сколы с поверхностями, параллельными продольной оси.

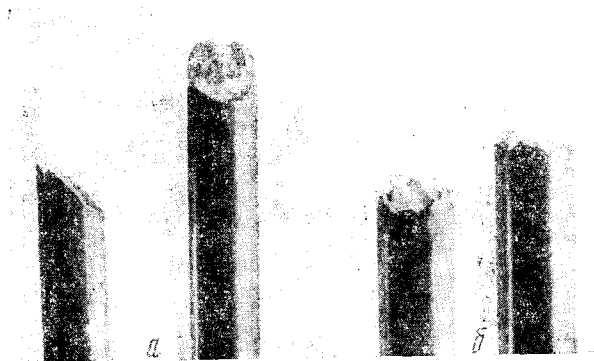


Рис. 1

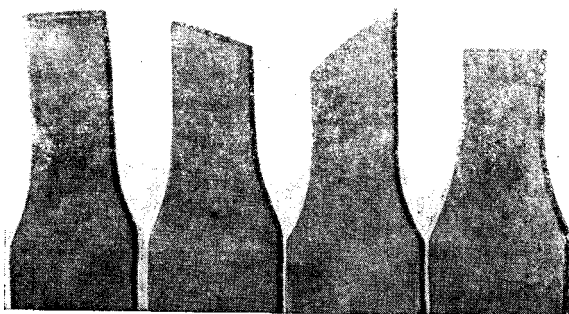


Рис. 2

На рис. 2 изображены половинки плоских разрывных образцов из отожженного дуралюмина, изломанных статическим изгибом перпендикулярно продольной оси. Слева — образец сломанный на воздухе. Излом как обычно перпендикулярен оси изгиба. По характеру излома видно, что материалу присуща заметная пластичность. Три образца сплава изломались под разными углами, в соответствии с тем, как на них наносилась узкая полоска (0,5—1 мм) жидкого галлия. Излому в активной среде также присуща более развитая поверхность, а его характер свидетельствует об охрупчивании под действием поверхностноактивной среды. На зависимость формы поверхности излома при статическом изгибе от величины действующих напряжений и скорости разрушения было обращено внимание в (4).

На рис. 3 представлены микрофотографии шлифов у мест излома листового дуралюмина путем его неоднократного перегиба на 180° на воздухе (слева) и после нанесения на поверхность капли галлия. В последнем случае образец ломался при однократном изгибе на угол меньше 180° . Во втором образце явно видно резкое увеличение поверхности излома и расслоение прокатанного металла вдоль волокон. Резкое возрастание поверхности излома четко проявляется и при усталостном разрушении.

На рис. 4 представлены фотографии усталостных изломов в неактивной (слева) и в поверхностноактивной средах. Сверху изображены изломы нормализованной стали 40X, разрушенной знакопеременным кручением на машине «Шенк» с частотой 1440 мин^{-1} при $\tau_{\text{max}} = 24,2 \text{ кг/мм}^2$: А — в неактивной среде — двукратно очищенном вазелиновом масле (после 1 660 000 циклов нагружения); Б — в мягкой поверхностноактивной среде — том же вазелиновом масле с присадкой 0,2% олеиновой кислоты или 0,3% цетилового спирта (после 670 000 циклов — среднее по 3 образцам).

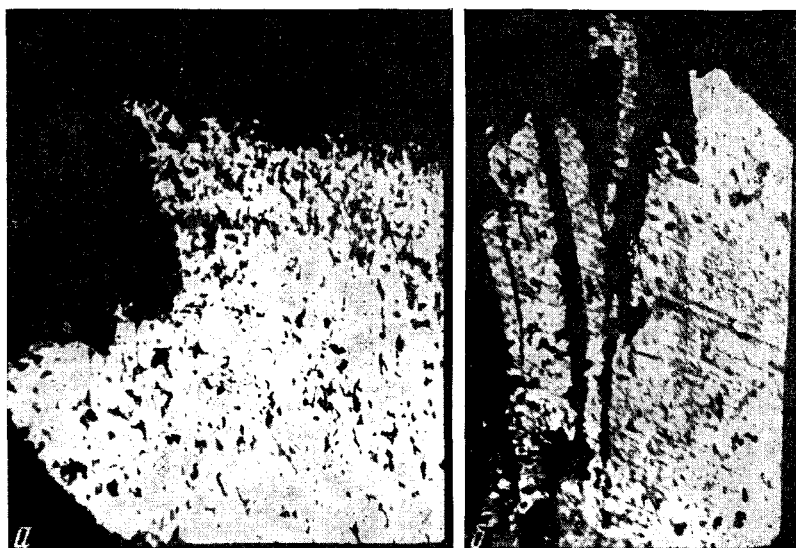


Рис. 3

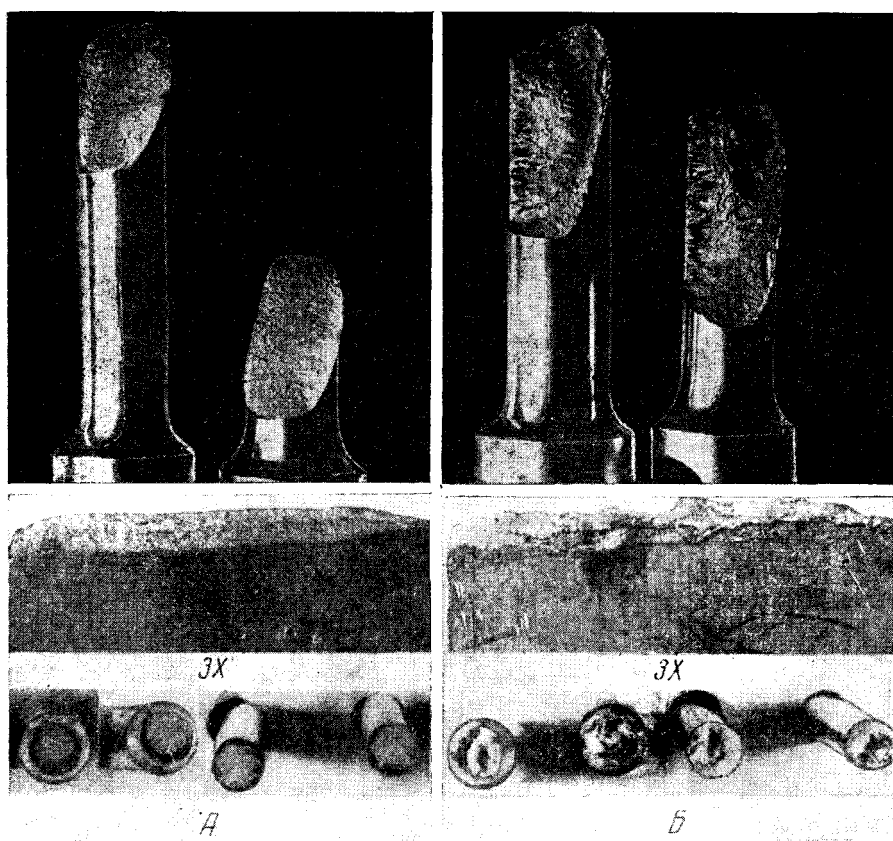


Рис. 4

Если излом в неактивной среде происходит спиралеобразно, с уклоном близким к 45° , то трещинки, зарождающиеся в поверхностноактивной среде, часто раскрывали волокна материала, зона излома оказывалась более вытянутой по оси образцов, а поверхность излома заметно более развитой, чем в первом случае. Анализ магнитной дефектоскопией мест излома выявлял большее количество зародившихся трещин, чем в первом случае.

В средней части рис. 4 приведены фотографии изломов плоских дуралюминевых закаленных и состаренных образцов Д16АТ сечением 20×2 мм, нагружавшихся на специально сконструированном пульсаторе симметричными треугольными циклами «растяжение — разгрузка», частотой 1 цикл в секунду. При напряжении $\sigma_{\max} = 41$ кг/мм² число циклов до разрушения на воздухе (рис. 4А) составило (в среднем из более чем 10 образцов 78 000); при нанесении на поверхность с одной стороны полоски жидкого галлия шириной 1 мм средняя долговечность образца в данных условиях снизилась до 196 циклов, а поверхность излома стала значительно более развитой (рис. 4Б).

При испытании образцов из дуралюмина на усталость изгибом консольных образцов $d = 10$ мм при $\sigma_{\max} = 23$ кг/мм² число циклов нагружения до излома на воздухе составляло (в среднем по 5 образцам) 322 150 циклов, а при нанесении круговой плоскости жидкого галлия шириной около 1 мм и напряжении 9,8 кг/мм² 4200 циклов нагружения. Изменение характера поверхности излома при переходе от неактивной (А) к активной (Б) среде в этих условиях нагружения видно на нижней серии фотографий рис. 4.

Также при испытании на усталость чистым изгибом образцов из дуралюмина (600 циклов нарушения в минуту при $\sigma_{\max} = 22,4$ кг/мм², диаметр рабочей части 9,48 мм) при нанесении полоски жидкого галлия на $1/4$ окружности средняя долговечность снизилась с $1,94 \cdot 10^5$ до $1,8 \cdot 10^4$ циклов, а поверхность излома стала значительно более развитой.

Аналогично и при испытаниях на ползучесть разрушение наблюдалось в зоне нанесения п.а.в., а поверхность излома была более развитой по сравнению с поверхностью излома в неактивных средах.

Итак, испытания в разных условиях нагружения при нагрузках, близких к эксплуатационным, свидетельствуют, что под действием п.а.в. поверхность излома и сопровождающая зону излома трещиноватость часто развиты значительно сильнее, чем при разрушении в инактивных средах.

Излом в сильнодействующих п.а.в. концентрируется в местах, на которые нанесено или в которые проникает в процессе разрыва активное вещество и его очертания могут быть весьма причудливыми, не следуя за максимальными растягивающими или срезающими напряжениями.

Наличие этих признаков в изломе, особенно когда разрушение имело место при низких нагрузках или малых сроках службы, делает весьма вероятной гипотезу, что опасному снижению прочности содействовали п.а.в. (случайно расплавившийся припой или антикоррозионное покрытие и т.п.). Эта гипотеза может быть проверена и часто подтверждается специальными методами анализа — спектральным, электронографическим и рентгенографическим — для металлических п.а.в., флуоресцентным — для многих органических п.а.в.

Рижский институт инженеров гражданской авиации
им. Ленинского комсомола

Поступило
20 I 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Я. Б. Фридман, Т. А. Гордеева, А. М. Зайцев, Строение и анализ изломов металлов, 1960. ² В. И. Лихтман, Е. Д. Щукин, Г. В. Карпенко, Физико-химическая механика металлов, Изд. АН СССР, 1962. ³ В. И. Лихтман, П. А. Ребиндер, Г. В. Карпенко, Влияние поверхностноактивной среды на процессы деформации металлов, Изд. АН СССР, 1954. ⁴ Ю. В. Горюнов, Н. В. Перцов, Б. Д. Сумм, Эффект Ребиндера, «Наука», 1966. ⁵ Ш. Я. Коровский, ДАН, 59, 1449 (1948). ⁶ У. Ростокер, Дж. Мак-Когги, Г. Маркус, Хрупкость под действием жидких металлов, ИЛ, 1962. ⁷ Ш. Я. Коровский, Влияние поверхностно-активных сред на выносливость стали, Кандидатская диссертация, М., 1947.