

УДК 543.423+669.14

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Н. В. КОРОЛЕВ, С. К. ГИНЗБУРГ, В. Д. КИСЕЛЕВ,
Е. М. МЕНЬШИКОВА, Н. И. ВОРОБЬЕВА, Ю. В. ШАХНАЗАРОВ

ПОСЛОЙНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ МИКРОАНАЛИЗ ИЗЛОМОВ ЛИТОЙ СТАЛИ

(Представлено академиком В. П. Линником 8 X 1974)

Сведения о роли второй фазы (в частности, неметаллических включений) в формировании поверхности разрушения металлов противоречивы. Поэтому, наряду с фрактографическими исследованиями ⁽¹⁾, особый интерес представляет оценка химического состава поверхности излома в сравнении с составом зон, расположенных под поверхностью, и средним составом металла.

Широко применяемый для определения состава локальных объемов металла рентгеновский спектральный микроанализ не применим для изучения фаз на поверхностях изломов по той причине, что в существующих микроанализаторах регистрируются рентгеновские кванты, выходящие под большими углами к средней нормали на поверхность излома.

Для определения химического состава литой стали использован послойный электроразрядно-лазерный способ оптического эмиссионного микроанализа ⁽²⁾. Оптическая и электрическая схемы прибора для микроанализа электроразрядно-лазерным способом показаны на рис. 1. Пучок света из газового лазера ЛГИ-21 (1) за призмой 2 кварцевым обратным микрообъективом 3 фокусируется на поверхности излома 4. Под действием лазерного импульса света с поверхности излома в месте фокусировки пучка осуществляется многофотонная электронная эмиссия. По этой причине следующий за лазерным пучком импульсный электрический разряд между копчиком электрода 5 и поверхностью излома 4 проходит через место фокусировки лазерного пучка. Канал электрического разряда линзой 7 проектируется на щель дифракционного спектрального прибора 9. Установка излома и приставного электрода относительно спектрального прибора производится с помощью 10-кратного микроскопа 11.

Работа генератора высоковольтных электрических импульсов состоит в следующем. Выпрямителем 10 кв заряжаются два конденсатора с емкостями $C_1=1$ мкф и $C_2=2$ мкф. Импульс тока накачки газового лазера после капилляра пропускают через первичную обмотку импульсного трансформатора ИТР. По вторичной обмотке ИТР возникает при этом э.д.с., подающаяся на третий поджигающий электрод вспомогательного промежутка — триггетрона ВП. Таким образом осуществляется пробой промежутков ВП и АП, и через место фокусировки лазерного пучка на изломе начнется разряд конденсаторов C_1 и C_2 . При параметрах разрядной цепи $L=10$ мкн, $R=1,5$ ом импульс тока имеет униполярный характер.

Опыт показывает, что под действием ударов положительных ионов за время разряда конденсаторов с поверхности излома испаряется слой вещества толщиной около 0,2 мкм с площадки диаметром около 0,3 мм. Спектрограмма получается за 5 разрядных импульсов тока. Поскольку разряды на изломе строго локализованы, есть возможность снимать подряд несколько спектрограмм, анализируя на изломе слой за слоем. Фотометрическая обработка спектрограмм дает возможность определить как распределены элементы по глубине.

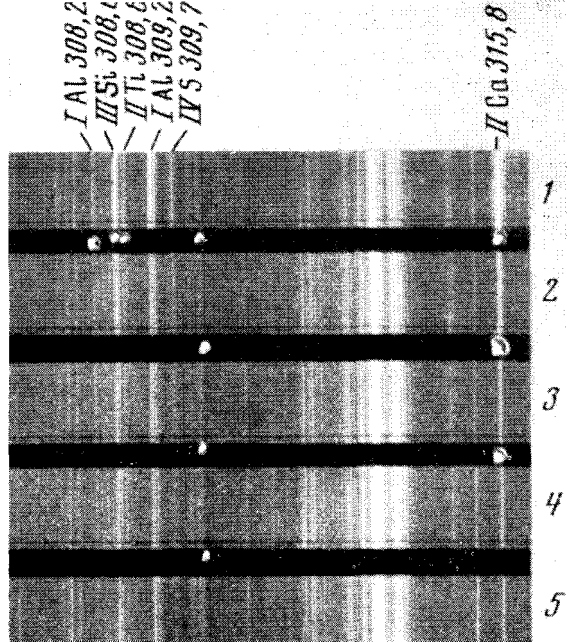


Рис. 2. Участок спектрограмм послойного анализа литой стали

Рис. 2

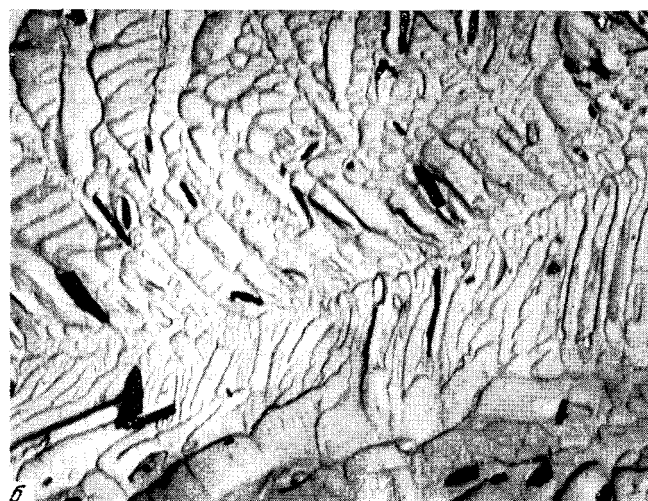
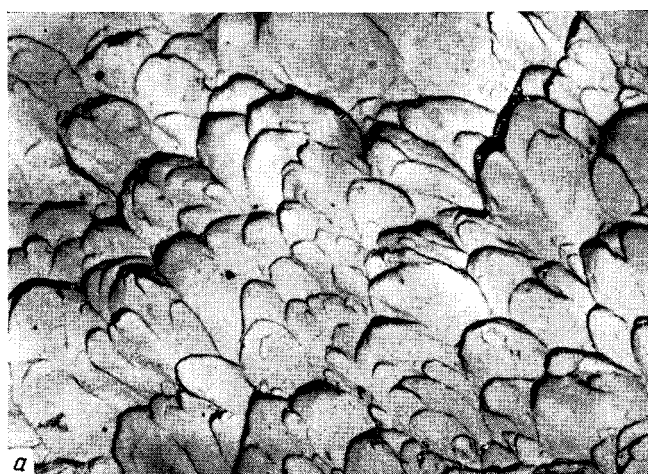


Рис. 3. Фрактограммы изломов литых сталей с различной энергоемкостью разрушения. *а* — $a_n = 9 \text{ кгм/см}^2$, *б* — $a_n = 1,5 \text{ кгм/см}^2$; $5000\times$

Рис. 3

Исследования проводили на различно раскисленных сталях примерно следующего состава: 0,08% С, 5% Мп, 7% Ni, 0,8% Мо, 0,15% V. Литые заготовки перед разрушением подвергали закалке и низкому отпуску. Анализировали полухрупкие ⁽³⁾ изломы образцов, различающихся по ударной вязкости — от 1,1 до 9 кгм/см². На рис. 2 приведен участок спектрограмм послойного анализа, а в табл. 1 — результаты фотометрической обработки одного и того же места излома.

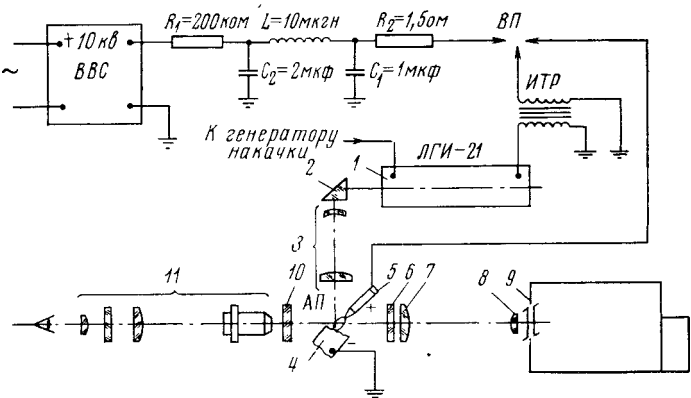


Рис. 1. Оптическая и электрическая схемы микро-анализатора

На основе анализа все определяемые элементы можно разделить на две группы: а) элементы, содержание которых на поверхности излома, на глубине 4—5 мкм и в среднем составе одинаково. Это Мп, Ni, Мо, V; б) элементы, концентрирующиеся на поверхности излома: С, S, Ti, Mg, Са, Се, Al, Si.

Характерно, что во второй группе оказались элементы, образующие в стали неметаллические включения (окислы, силикаты, карбиды, сульфиды).

Таблица 1

Расстояние от поверхности излома, мкм	Отношение интенсивности спектральных аналитических линий к интенсивности линий железа *											
	$\frac{I_C}{I_{Fe}}$	$\frac{I_{Ni}}{I_{Fe}}$	$\frac{I_{Mn}}{I_{Fe}}$	$\frac{I_{Mo}}{I_{Fe}}$	$\frac{I_{Si}}{I_{Fe}}$	$\frac{I_S}{I_{Fe}}$	$\frac{I_{Ti}}{I_{Fe}}$	$\frac{I_{Al}}{I_{Fe}}$	$\frac{I_V}{I_{Fe}}$	$\frac{I_{Ca}}{I_{Fe}}$	$\frac{I_{Mg}}{I_{Fe}}$	$\frac{I_{Ce}}{I_{Fe}}$
0	0,75	0,53	1,88	0,14	0,16	0,18	0,34	0,14	0,06	0,91	3,46	0,71
1	0,22	0,36	2,27	0,11	0,11	0,06	0,17	0,06	0,11	0,52	2,52	0,14
2	0,17	0,46	2,31	0,12	0,08	0,02	0,08	0,03	0,11	0,28	1,65	0,05
3	0,08	0,58	1,44	0,09	0,04	0,01	0,04	0,01	0,07	0,08	0,67	0,01
4	0,03	0,57	1,58	0,09	0,03	0,01	0,03	0,01	0,08	0,05	0,42	0,02
Средний состав	0,04	0,50	1,64	0,11	0,03	0,01	0,04	0,01	0,10	0,04	0,30	0,04

* Отношение интенсивностей аналитических линий пропорционально отношению концентрации определяемых элементов к концентрации железа, принятого за внутренний стандарт.

Фрактографическим исследованием установлено уменьшение количества неметаллических включений (или их следов), наблюдаемых на поверхности разрушения, по мере повышения ударной вязкости (рис. 3). Независимо от этого характер распределения элементов по глубине для всех исследованных сталей аналогичен приведенному в табл. 1. Концентрация элементов второй группы на поверхности изломов превышает среднюю у всех сталей по Si примерно в 5 раз, по Mg и Ti — в 10 раз, Al — в 15 раз, по С и Са — в 25, по Се — в 70 раз.

Постоянным микроанализом электроразрядно-лазерным способом установлено, что независимо от энергоемкости разрушения и количества включений в полухрупком изломе литых сталей магистральная трещина проходит по зонам, обогащенным элементами, образующими неметаллические включения.

Поступило
2 X 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Методы испытаний, контроля и исследования машиностроительных материалов. т. 1, Физические методы исследования металлов, М., «Машиностроение», 1971, стр. 552.
² Н. В. Королев, В. В. Рюхин, С. А. Горбунов, Эмиссионный спектральный анализ. Л., 1971. ³ Ю. В. Шахназаров, Н. И. Воробьева, Тез. докл. Всесоюз. научно-технич. конфер.: Современные способы упрочнения деталей машин термической обработкой. Ташкент, 1973, стр. 44.