

**Шевеля В.В.,
Калда Г.С.,
Олександренко В.П.,
Шевеля И.В.**

Технологический университет
Подолья, г. Хмельницкий, Украина
ОАО «УкрНИИпластмаш», г. Киев,
Украина

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ СТАЛИ НА ФРЕТТИНГ-ФАКТОР ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИИ

Известно [1-3], что интенсивность физико-химических процессов изнашивания при фреттинг-коррозии существенно зависит от комплекса внутренних свойств (структуры) стали и параметров внешнего воздействия. Однако однозначная корреляция между износостойкостью и характеристиками статической прочности и пластичности отсутствует.

Физические и механические свойства металлов и сплавов тесно связаны со структурным состоянием материала.

Исследовалась сталь 40X, закаленная и отпущенная на различную твердость. Температуры отпуска: 473, 673, 873, 1073 К. Таким образом, обеспечивался набор структур от мартенситной до феррито-перлитной.

Испытывались одноименные пары трения при нагрузке 15, 30 и 60 МПа, частоте вибрации 30 Гц, в диапазоне амплитуд скольжения 20...450 мкм, базе испытаний $4 \cdot 10^5$ циклов, в среде керосина ТС-1. В соответствии с работами [4,5] независимо от геометрии контакта, кинематики движения, сочетания трущихся материалов низкомолекулярные углеводородные среды по смазывающим свойствам располагаются в один ряд, что позволяет проводить исследования относительной износостойкости материалов в одной среде.

После испытаний на фреттинг осуществлялось микрометрирование поверхности методом локального замера максимальной глубины повреждений H на оптиметре ИКВ-3 с оптической приставкой. Величина H (среднее значение пяти экспериментов) характеризует повреждаемость сопряженных пар трения схватыванием (локальный адгезионный износ). Кроме того, с помощью профилометра-профилографа оценивался средний «равномерный» линейный износ h на участках дорожки трения, не поврежденных схватыванием.

Испытания на фреттинг-коррозию проводились в среде низкомолекулярных углеводородов в условиях граничного трения. При этом значительно облегчаются условия выхода продуктов износа из зоны трения и затруднен подвод к этой зоне кислорода воздуха. Поэтому ведущим повреждающим процессом при трении является адгезионный износ. Эксперименты показали, что достаточно мощные узлы схватывания возникают уже на ранних стадиях испытаний; с другой стороны, для развития коррозионных процессов требуется определенное время. Поэтому было выдвинуто предположение о том, что, если коррозионные процессы при фреттинге в среде низкомолекулярных углеводородов и имеют место, то они не играют ведущей роли, а в этом случае повреждаемость и износ контактирующих поверхностей главным образом определяются процессами схватывания. В общем случае склонность к схватыванию и масштабы его проявления зависят от материала и структурного состояния сопряженных поверхностей, а также от нагрузочно-скоростных режимов трения.

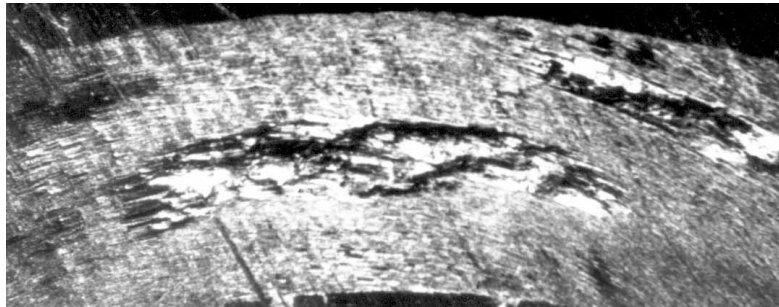
Основные результаты проведенных исследований повреждаемости в условиях фреттинга стали 40X в различных структурных состояниях, представленные на рис. 1-3, сводятся к следующему:

1) в отличие от локального адгезионного износа H «равномерный» фреттинг-износ h всегда возрастает с повышением температуры отпуска стали, однако, величина его остается на порядок меньше адгезионного износа.

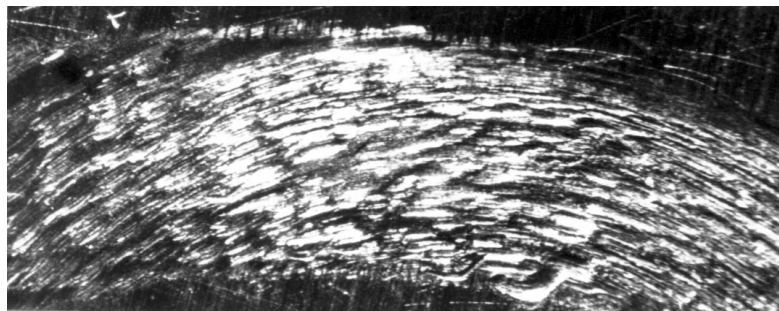
На рис. 2 показана схема совмещения зависимостей $h = f(T_{omn})$ и $H_c = f(T_{omn})$, где h – средний «равномерный» износ, H_c – средняя дополнительная глубина локальных вырывов вследствие схватывания.

Как известно [1,6], в отличие от других видов износа повреждаемость при фреттинге отличается сильной локализованностью вследствие малой амплитуды относительного проскальзывания. Для характеристики степени локального повреждения при фреттинге принята величина $\Phi = H/h$ (см. рис. 2). Параметр Φ можно назвать фреттинг-фактором по аналогии с питтинг-фактором, который обычно применяют для оценки глубины питтинговой коррозии [2]. Если износ имеет равномерный характер, фреттинг-фактор стремится к единице, при возникновении лишь локальных повреждений фреттинг-фактор стремится к бесконечности.

Анализ показал (рис. 3), что фреттинг-фактор Φ зависит от режима термообработки; причем характер этой зависимости и общий уровень значений Φ определяются амплитудой скольжения;



а)



б)

Рис. 1 - Внешний вид дорожек трения при фреттинге стали 40X ($A = 100$ мкм, $P = 60$ МПа); температуры отпуска: а – 673 К; б – 1073 К

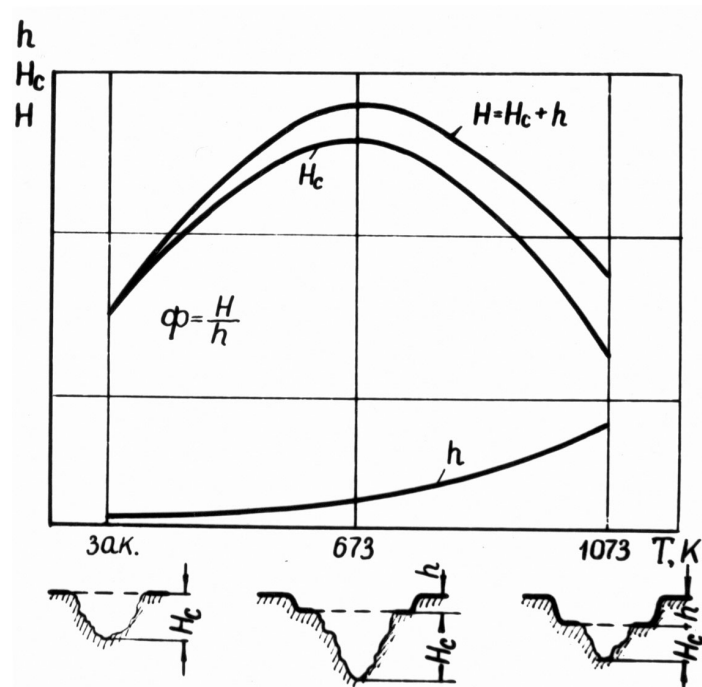


Рис. 2 - Зависимость среднего линейного износа h , глубины локальной повреждаемости схватыванием H_c , суммарного локального износа H от температуры отпуска стали (схема)

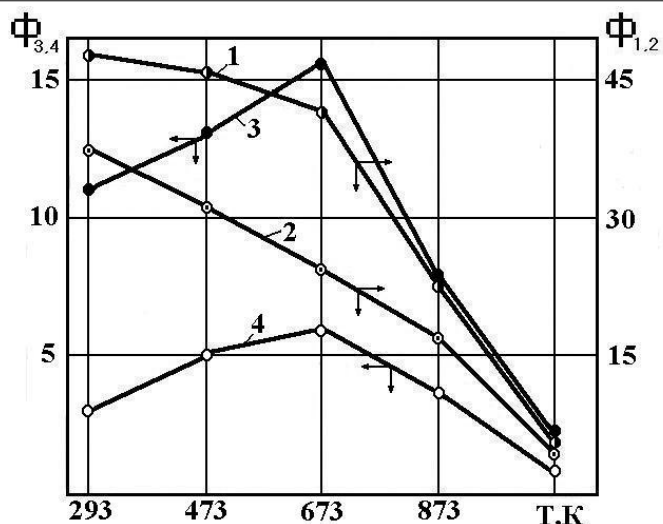


Рис. 3 - Влияние температуры отпуска на фреттинг-фактор ($P = 60$ МПа): 1, 2, 3, 4 – $A = 50, 100, 200, 300$ мкм

2) однозначная корреляция между величиной адгезионного износа, амплитудой скольжения и контактным давлением отсутствует.

Таким образом, если учесть, что с повышением температуры отпуска твердость и прочность стали снижаются, к установленным «аномальным» эффектам следует отнести:

- проявление минимальной фреттингостойкости структуры, полученной отпуском при 673 К;
- пониженную локальную повреждаемость структур высокого отпуска.

На основании экспериментальных данных для нагрузочно-амплитудных режимов, при которых проявился экстремальный характер зависимости $H = f(T_{omn})$, были получены зависимости локального адгезионного износа от предела упругости стали 40Х в различных структурных состояниях, приобретенных после термообработки. Учитывая, что рост предела упругости стали характеризует повышение ее релаксационной стойкости (снижение способности к релаксации напряжений), можно констатировать, что при определенных амплитудно-нагрузочных режимах фреттинга адгезионный износ стали пропорционален ее релаксационной способности в исходном состоянии (т.е. при однократном нагружении). Другими словами, в этих условиях структурная наследственность, проявляющаяся по величине (глубине) адгезионного износа, сохраняется. При этом повреждаемость зависит от запаса микропластичности, который сохранился после соответствующего отпуска закаленной стали: чем меньше этот запас (чем больше предел упругости), тем более заторможены процессы релаксации, что и обуславливает развитие схватывания с возникновением более глубоких вырывов на контактирующих поверхностях.

Можно предположить, что при указанных режимах фреттинга температурно-скоростные условия деформации поверхностных слоев таковы, что неизбежно возникающие в процессе трения структурные изменения по своему характеру и эффективности остаются тесно связанными с исходной структурой стали и степенью ее стабильности. При отходе от указанных режимов структурные изменения уже будут сопровождаться подключением новых факторов, которые нарушат проявление рассматриваемой формы наследственности. В зависимости от исходной структуры стали механизм релаксации напряжений и соответствующие субструктурные изменения в процессе фреттинга могут быть различными, о чем свидетельствуют результаты рентгенографического исследования.

Послойный рентгеноструктурный анализ и измерение микротвердости на косых шлифах участков, подверженных фреттингу, показали (рис. 4) различный характер изменения по глубине поверхностного слоя ширины рентгеновских интерференционных линий у сталей с мартенситной и сорбитно-перлитной структурой: для сорбитной структуры ширина линий α -фазы в деформированном состоянии больше, чем в недеформированном, а для мартенситной структуры (закалка без отпуска) ширина линий в деформированном состоянии по всей глубине упрочненного слоя меньше, чем до деформации. На основании этого можно сделать вывод, что деформация сорбитной структуры (у которой тетрагональность отсутствует и уровень микроискажений низкий) сопровождается только процессами наклепа (накопление дефектов строения) и дробления блоков когерентного рассеяния. Мартенситной структуре (в связи с особенностями фазового превращения) присуща резко выраженная концентрационная неоднородность и связанная с этим неоднородность напряженного состояния при весьма высоком общем уровне микроискажений. Поэтому при вибрационном проскальзывании

возникает релаксация локальных напряжений и устраняются очаги с пониженным сопротивлением микропластическим деформациям. Происходит выравнивание исходной микронеоднородности, что сопровождается охрупчиванием и значительным повышением среднестатической твердости [7]. Следовательно, можно сделать вывод о том, что механизм упрочнения поверхностей трения при фреттинге мартенсита и сорбита различный: у мартенсита вклад релаксации напряжений превалирует над наклепом, а у сорбита – наоборот. Описанные результаты рентгенографического анализа и микродюрометрии качественно согласуются с экспериментальными данными, описанными в работе [8].

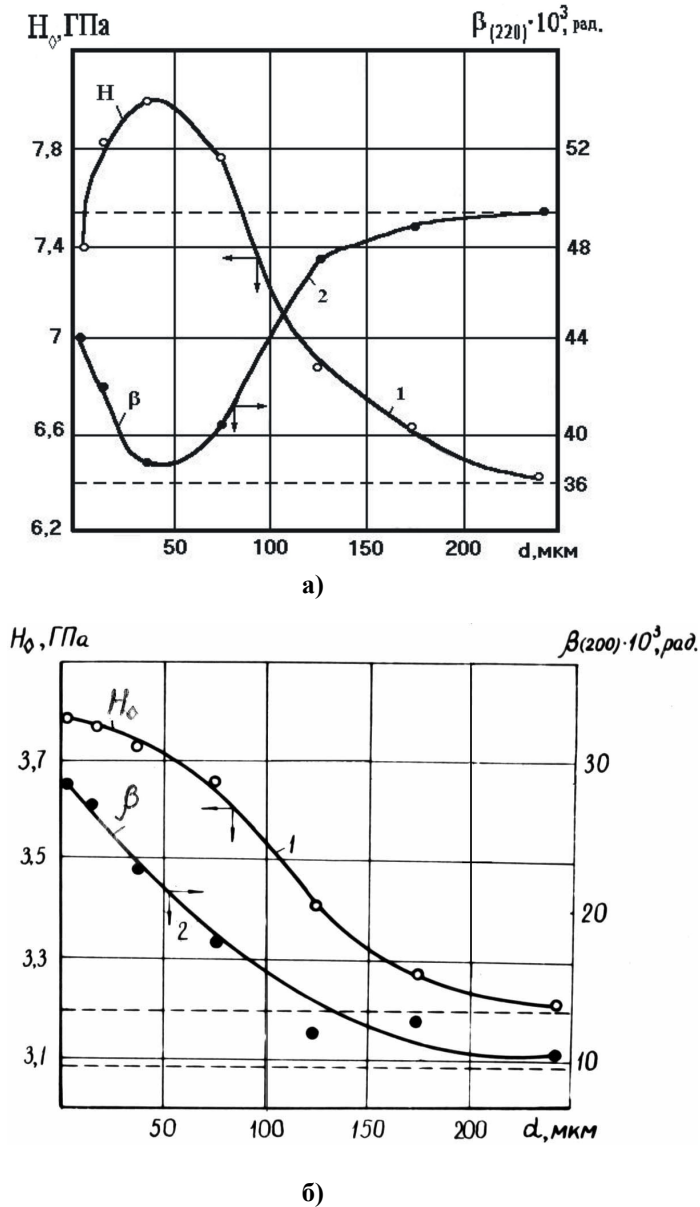


Рис. 4 - Изменение ширины рентгеновской линии $\beta(220)$ и микротвердости (H_0) по глубине поверхностного слоя в результате фреттинга ($A = 100$ мкм, $P = 60$ МПа): а – закалка; б – отпуск 873 К

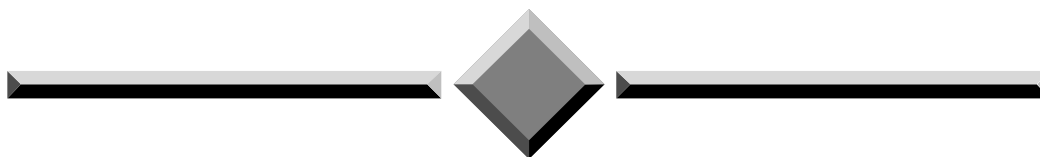
Из рис. 4,а следует, что в отличие от структуры сорбита в тонком поверхностном слое мартенсита обнаруживается участок относительного разупрочнения, что может быть связано с особенностями микротекучести поверхностных слоев вообще и со спецификой работы подповерхностных источников дислокаций в мартенсите.

Литература

1 Голего Н.Л., Алябьев А.Я., Шевеля В.В. Фреттинг-коррозия металлов. – К.: Техніка, 1974. – 270 с.

-
- 2 Улиг Г. Коррозия металлов. – М.: Metallurgiya, 1968. – 36 с.
 - 3 Уотерхауз Р.Б. Фреттинг-коррозия. – М.: Машиностроение, 1976. – 272 с.
 - 4 Аксенов А.Ф., Белянский В.П., Шепель А.Я. О некоторых путях повышения износостойких металлов при трении в углеводородных жидкостях // Трение и износ. - 1980. – Т. 1, № 1. – С. 70-78.
 - 5 Аксенов А.Ф., Шепель А.Я. Особенности выбора материалов узлов трения, работающих в низкомолекулярных углеводородных средах // Вестник машиностроения. – 1982. - № 4. – С. 34-37.
 - 6 Филимонов Г.Н., Балацкий Л.Т. Фреттинг в соединениях судовых деталей. – Л.: Судостроение, 1973. – 296 с.
 - 7 Кудрявцев И.В., Рыминова Е.В. Повышение твердости сталей в результате наклепа // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1961. - № 10. – С. 29-31.
 - 8 Балтер М.А. Упрочнение деталей машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 184 с.

13.03.2002



ЧИТАЙТЕ
журнал
“**Problems of Tribology**”
во всемирной сети
INTERNET !

<http://www.tup.km.ua>

ИЛИ

<http://www.r-style.kiev.ua/tribology/journal.htm>