ВЛИЯНИЕ ФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ ПРУЖИННОГО КЛАССА

Федоренко О.Н.
Руководитель – проф., д.т.н. Бараз В.Р.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
olgm@list.ru

В данной работе рассмотрен один из способов поверхностной упрочняющей механической обработки стальных изделий, а именно: поверхностное фрикционное деформирование, основанное на упрочнении неподвижной заготовки движущимся под нагрузкой индентором. При подобной схеме нагружения трением в поверхностном слое обрабатываемого материала может создаваться объемное напряженное состояние с высоким удельным давлением. В результате становится возможным образование в тонком поверхностном слое высокодисперсной структуры.

Материалом исследования служили ленточные образцы стали 70С2ХА, являющейся классическим материалом для упругих элементов.

Получение образцов из этой стали было осуществлено по следующей схеме. Предварительно проволочная заготовка диаметром 2,15 мм была подвергнута патентированию (аустенизация при 920 °С + изотермическое превращение на тонкопластинчатый сорбит при ~ 600 °С в течение 2 минут). Затем проволока подвергалась плющению в ленту сечением 0,40…4,50 мм. Использовались образцы длиной 120 мм. Их термическая обработка состояла в закалке от 860 °С (нагрев в соляной ванне длительностью 5 мин с последующим охлаждением в масле) и заключительном отпуске при 400 °С в течение 1 ч.

Часть ленточных образцов после закалки подвергали фрикционному деформированию (с обеих сторон) в режиме сухого трения путем механического воздействия твердосплавного индентора.

Рентгенографическое исследование фазового состава показало, что в данной стали после закалки фиксируется практически полное мартенситное состояние – количество остаточного аустенита составляет не более 4%.

В таблице для указанных обработок (с трением и без него) представлены результаты измерения периода решетки мартенсита. Расчет содержания углерода на основе оценки степени тетрагональности *c/a* показывает, что его концентрация в мартенсите после закалки близка к 0,65%. Фрикционное деформирование приводит к резкому снижению количества углерода в решетке α-фазы – примерно до 0,20%.

Таблица. Период решетки мартенсит и концентрация в нем углерода

Обработка	*a*, нм	*c*, нм	*c/a*	Содержание углерода, %
Закалка 860 ºС	0,2858	0,2932	1,026	0,65
Закалка 860 ºС + отпуск 400ºС, 1 ч	0,2866	-	-	-
Закалка 860 ºС + трение	0,2868	0,2879	1,004	0,18
Закалка 860 ºС + трение + отпуск 400 ºС, 1 ч	0,2867	-	-	-

Данные рентгенографического исследования показывают, что нагружение трением стимулирует деформационный распад тетрагонального мартенсита закаленной стали. Считается, что в подобных условиях деформирования углерод уходит из решетки пересыщенного □-твердого раствора и осаждается на размноженных дислокациях, обеспечивая их эффективную блокировку.

На рис.1 представлены данные, характеризующие прочностные свойства (микротвердость и условный предел упругости) обработанных ленточных образцов. Видно, что обработка трением приводит к очевидному повышению указанных характеристик.

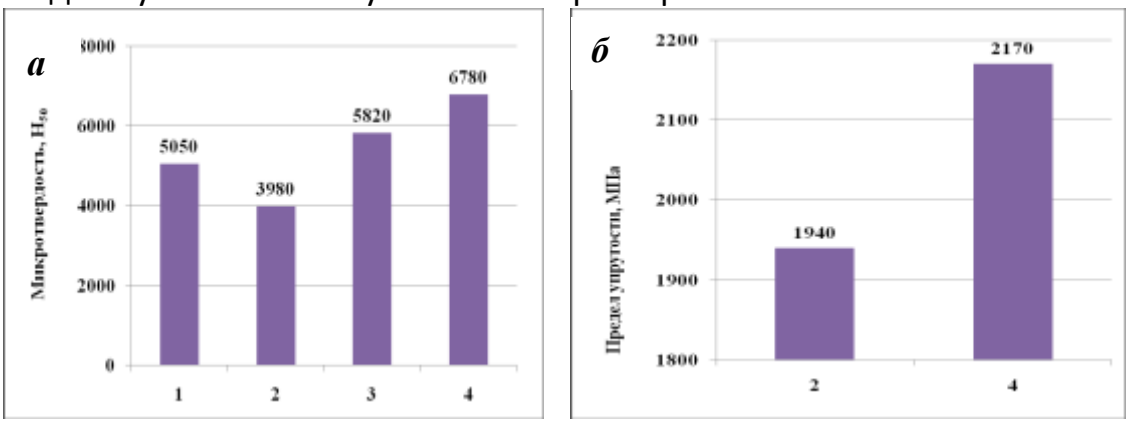

Рис.1 Влияние трения на микротвердость (*а*) и предел упругости (*б*) стали 70С2ХА:

1 – закалка 860ºС;
2 – закалка 860ºС + отпуск 400ºС, 1 ч;
3 – закалка 860ºС + трение;
4 – закалка 860ºС + трение + отпуск 400ºС, 1 ч.

Результаты усталостных испытаний приведены на рис.2. Здесь можно выделить вполне ожидаемый результат – дополнительная обработка трением существенно усиливает сопротивление циклическому нагружению. Если прочностные характеристики (H_{50}, $\sigma_{0,03}$) возрастают относительно умеренно (до 15%), то усталостные свойства более

чувствительно реагируют на фрикционную обработку: число циклов до разрушения увеличивается 3 раза.

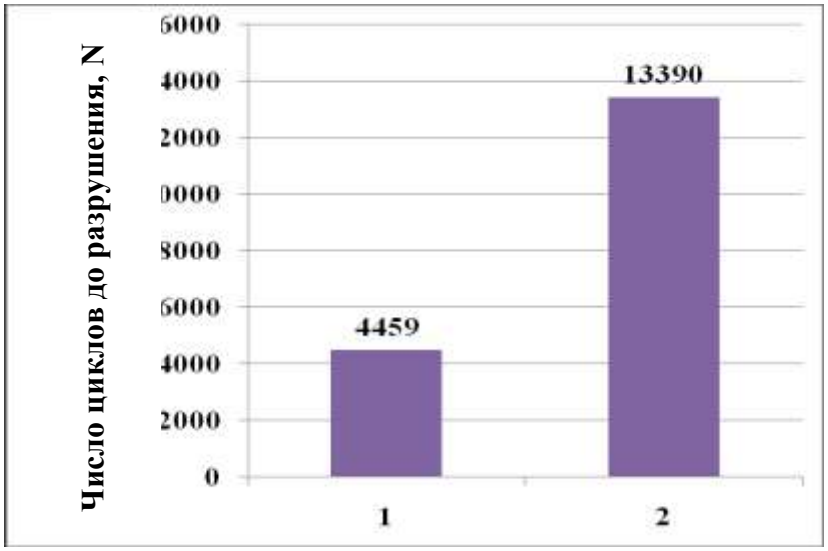

Рис. 2. Результаты усталостных испытаний ленточных образцов стали 70С2ХА:

1 – закалка 860°С + отпуск 400°С,1 ч;

2 – закалка 860°С + трение + отпуск 400°С,1 ч.

Таким образом, поверхностная фрикционная обработка закаленной пружинной стали 70С2ХА приводит к деформационному наклепу поверхностного слоя, что выражается в повышении условного предела упругости $\sigma_{0,03}$ и микротвердости H_{50}. Причиной упрочняющего эффекта можно считать сильное повышение плотности дислокаций, а также протекание интенсивной фрагментации кристаллов мартенсита.

Дополнительная обработка трением благоприятно влияет на уровень усталостных свойств. Повышение циклической стойкости может быть обусловлено не только активным размножением дислокаций, но и их закреплением за счет формирования сегрегационных атмосфер из примесных атомов внедрения (углерода) вследствие распада тетрагонального мартенсита. Можно полагать, что подобный поверхностный наклеп создает также напряженное состояние с преобладанием контактных сжимающих напряжений.