

Рис.3. Аппроксимация кинетики термического старения стали 15X2NMFA при 320 °С

Согласно уравнению (1), при ресурсе τ около 60 лет (420 тыс. ч.) среднее значение ΔT_T составляет примерно 3,6 °С.

Таким образом, на базе аппроксимации расчетной зависимости $\Delta T_T(\tau)$ получена прогнозная оценка для ΔT_T материала оборудования на ресурс 60 лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юханов В.А. // Труды ЦНИИТМАШ. 1980. № 155. С. 57 – 60.
2. Юханов В.А., Шур А.Д. // МиТОМ. 2006. № 7.
3. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПН АЭ Г-7-002-86). Госатомэнергонадзор СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

© 2013 г. А.А. Петелина, В.А. Юханов
Поступила 6 сентября 2013 г.

УДК 620.178

В.В. Мыльников, Д.И. Шетулов, Е.А. Чернышов

Нижегородский государственный технический университет

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ 03Н18К9М5Т-ЭЛ НА ПАРАМЕТРЫ МИКРОПЛАСТИЧЕСКОЙ И ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Аннотация. Рассмотрена корреляция параметров микропластической деформации с показателями сопротивления усталости. Исследованию подвергнута сталь 03Н18К9М5Т-ЭЛ (ВСК-210). Названная сталь подвергалась закалке с последующим отпуском при различных температурах.

Ключевые слова: температура отпуска, микропластическая деформация, закалка, циклическая деформация, усталость металла.

STEAL 03Н18К9М5Т-ЭЛ THERMIC TREATMENT IMPACT ON MICROFLOW AND REPEATED DEFORMATION PARAMETERS

Abstract. The paper addresses parameter correlation of microflow process with fatigue resistance results. The research has been performed on steel 03Н18К9М5Т-ЭЛ (ВСК-210). The mentioned steel has been subjected to hardening with further drawing at various temperatures.

Keywords: drawing temperature, microflow, hardening, repeated deformation, metal fatigue.

Вопросы поведения материалов при различных видах нагружения привлекают внимание многих исследовательских коллективов ввиду своей фундаментальной и прикладной значимости. Многочисленные исследования по микропластической и циклической деформации металлов и сплавов не дают достаточной информации о природе и кинетике их взаимодействия. В настоящее время не удается предвидеть всех сложных физических явлений, происходящих в инструментальных сталях при различных видах нагружения.

Целью работы являлось определение закономерностей изменения показателя сопротивления и предела усталости в зависимости параметров микропластической деформации при различных температурах отпуска стали 03Н18К9М5Т-ЭЛ (ВСК-210).

О корреляции параметров микропластической и циклической деформации сообщалось в работе [1]. Экспериментальные измерения параметров микропластической деформации стали ВСК-210 показаны на рис. 1.

Как видно из рис. 1, микроскопическая деформация наиболее заторможена при напряжениях ниже σ_2^0 (напряжение релаксации), выше этого напряжения величина $\Delta\sigma$ (приращение напряжения) начинает интенсивно и непрерывно возрастать с увеличением внешней нагрузки.

Для сталей с ОЦК – основной характерна так же независимость параметра $\Delta\sigma_2^0$ от приложенной нагрузки в определенном интервале напряжений. Это означает, что при одинаковом приращении внешней нагрузки ($\Delta\sigma_H$) наблюдается одинаковая величина

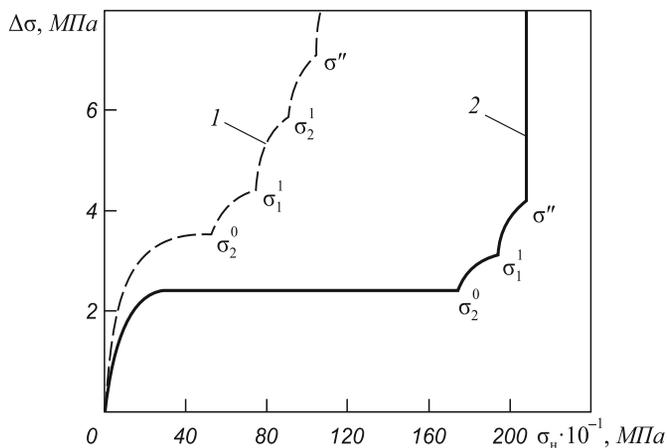


Рис. 1. Влияние старения на развитие микропластической деформации в стали ВСК-210:
1 – закаленное состояние; 2 – после старения при 500 °С

релаксации напряжений ($\Delta\sigma_2^0$). Поэтому для оценки пригодности стали для изготовления специальных упругих устройств со стабильными свойствами при циклическом нагружении из всех измеряемых параметров микропластической деформации важный интерес представляет σ_2^0 и его приращение $\Delta\sigma_2^0$. Очевидно, что чем меньше величина $\Delta\sigma_2^0$, тем больше сопротивление стали к микропластическим деформациям, тем меньше изменение микроструктуры под действием циклических нагрузок и, следовательно, можно ожидать большей стабильности свойств материала в процессе циклической нагрузки и высокого уровня предела усталости. С другой стороны критическое напряжение σ_2^0 должно как можно далее отстоять от максимальных рабочих напряжений ($\sigma_{\text{раб}}$), поскольку даже случайные перегрузки (выше σ_2^0) могут привести к повышенным пластическим деформациям.

Необходимо иметь в виду, что характерный параметр σ'' фактически соответствует пределу текучести материала. Испытания проводились на образцах, изготовленных из этой стали после каждого вида отпуска.

Испытания на циклическую нагрузку образцов прямоугольного сечения 5×22 мм с рабочей длиной 43 мм проводили на резонансном электромагнитном стенде с частотой 240 Гц. Кроме предела усталости (σ_{-1}), показателем сопротивления циклическому нагружению считался наклон левой ветви кривой усталости к оси циклов $\text{tg} \alpha_w = \frac{d \lg \sigma}{d \lg N}$ [2 – 7].

Результаты испытаний сплава 03Н18К9М5Т-ЭЛ (ВСК-210) приведены на рис. 2, из которого хорошо видно, что прочность стали уменьшается с понижением температуры отпуска после закалки с 550 до 300 °С. Предел усталости изменяется при этом от 730 МПа при температуре отпуска 550 °С до 480 МПа при температуре 300 °С, но при 200 °С предел усталости составил 525 МПа. Монотонность снижения параметра σ_{-1} была нарушена.

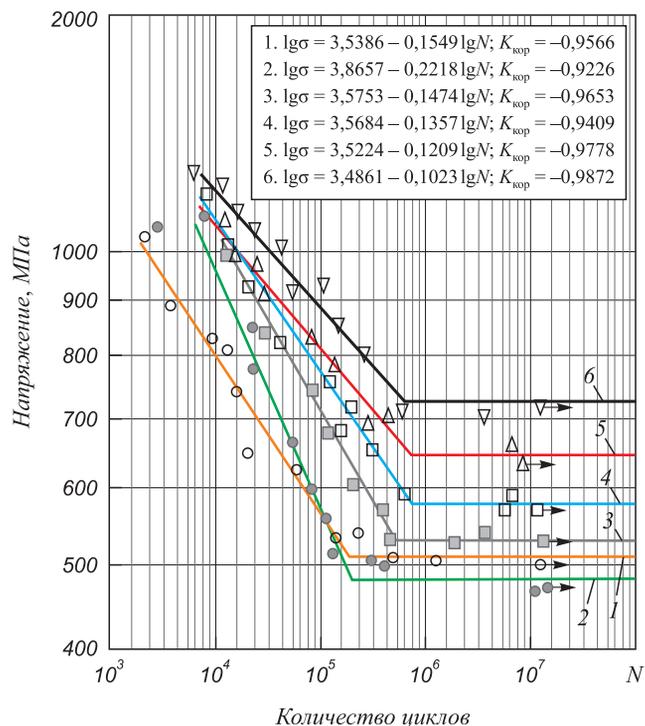


Рис. 2. Кривые усталости стали 03Н18К9М5Т-ЭЛ (ВСК-210) после закалки при температурах отпуска, °С:
1 – 200, 2 – 300, 3 – 400, 4 – 450, 5 – 500, 6 – 550

Значения параметров сопротивления усталости, обработанных с помощью математической статистики, и параметра микропластической деформации σ'' представлены в таблице, из которой видно, что наибольшие значения $\text{tg} \alpha_w$ отмечаются у кривой усталости, построенной по результатам испытаний образцов, отпущенных при температуре 300 °С. Нужно отметить небольшой разброс экспериментальных точек на кривых усталости стали, обработанных при всех температурах отпуска после закалки, что свидетельствует о стабильном поведении материала при многоцикловом нагружении. Все значения $\text{tg} \alpha_w$ укладываются на плавную кривую (рис. 3).

Выводы. У стали 03Н18К9М5Т-ЭЛ (ВСК-210) видно снижение значения предела усталости с понижением

Результаты испытаний стали 03Н18К9М5Т-ЭЛ (ВСК-210)

Номер кривой усталости	Температура отпуска, °С	Параметр $\text{tg} \alpha_w$	Предел усталости σ_{-1} , МПа	Критическое напряжение σ'' , МПа
1	200	0,1549	525	1050
2	300	0,2218	480	1200
3	400	0,1474	535	1550
4	450	0,1357	560	1800
5	500	0,1209	640	2050
6	550	0,1023	730	2000

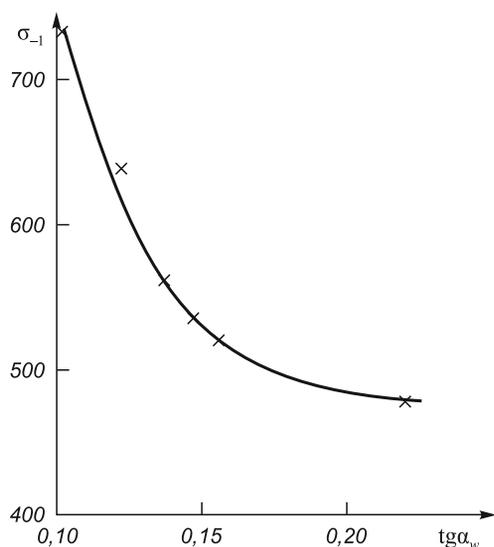


Рис. 3. Зависимость предела усталости от показателя $\text{tg}\alpha_w$ стали ВСК-210, закаленной и отпущенной при разных температурах

ем температуры отпуска (см. таблицу). Исключение составляет величина, полученная после отпуска при температуре 200 °С ($\sigma_{-1} = 525$ МПа).

Наибольшее значение показателя сопротивления усталости $\text{tg}\alpha_w$ наблюдается при температуре отпуска, равной 300 °С.

Приведенные на рис. 1 – 3 и в таблице экспериментальные данные показывают, что в случае изменения параметра микропластической деформации σ'' и с

уменьшением показателя $\text{tg}\alpha_w$, т.е. с улучшением сопротивления усталости, предел усталости увеличивается за исключением некоторых «выпадов» (рис. 2, кривая I), т.е. налицо корреляция показателя параметров микропластической деформации с характеристиками усталости стали 03Н18К9М5Т-ЭЛ (ВСК-210).

Увеличение параметра σ'' соответствует росту σ_{-1} и уменьшению $\text{tg}\alpha_w$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крюков Л.Т., Мадянов С.А. // Прикладные проблемы прочности и пластичности. ННГУ им. Лобачевского. 1997. С. 54.
2. Мыльников В.В., Шетулов Д.И., Чернышов Е.А. // Технология металлов. 2010. № 2. С. 19 – 22.
3. Шетулов Д.И. // Изв. АН. Металлы. 1991. № 5. С. 160.
4. Мыльников В.В., Чернышов Е.А., Шетулов Д.И. // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 7. С. 41 – 45.
5. Шетулов Д.И., Андреев В.В. // Известия АИН РФ. 2001. № 1. С. 426 – 435.
6. Мыльников В.В., Чернышов Е.А., Шетулов Д.И. // Заготовительные производства в машиностроении. 2009. № 2. С. 33 – 36.
7. Мыльников В.В., Шетулов Д.И., Пронин А.И., Чернышов Е.А. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 9. С. 32 – 37.

© 2013 г. В.В. Мыльников, Д.И. Шетулов,
Е.А. Чернышов
Поступила 31 июля 2013 г.