

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЦО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРАКТАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИЗЛОМА СТАЛЕЙ

В.Ю. Иващенко, А.П. Чейлях

*Приазовский государственный технический университет,
ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, 87500*

Аннотация. Для выбора оптимального режима ТЦО с переменными параметрами используется методика фрактального описания поверхностей изломов, полученных при испытаниях механических свойств сталей.

Ключевые слова: термоциклическая обработка, сталь 50ХН, свойства, фрактальные показатели.

Введение

Традиционные приемы управления свойствами материалов базируются на триаде “состав–структура–свойства”, предложенной Н. Курнаковым и используемой в научных разработках И. Фещенко-Чопивским. Основным объектом исследования в металловедении остается структура, и, как известно, на нее можно эффективно воздействовать различными приемами, образующими в структуре металла препятствия для движения дислокаций. Такой подход выделил в металловедении новое научное направление – дислокационное металловедение [1, 2], в котором новая парадигма связывает свойства металла не с исходной микроструктурой, а с развивающейся мезоструктурой, самоорганизующейся в неравновесных условиях.

В последнее время мультифрактальный формализм все шире применяется в металловедении, поскольку именно природа процессов, протекающих в металле, не позволяет применить для описания линейный подход и параметры эвклидова пространства. За последние 10–15 лет учеными-металловедами накоплен некоторый опыт в описании ненаблюдаемых непосредственно процессов разрушения или распада [3–6] и решении прикладных задач металловедения с помощью теории фракталов и принципа самоподобия геометрических объектов.

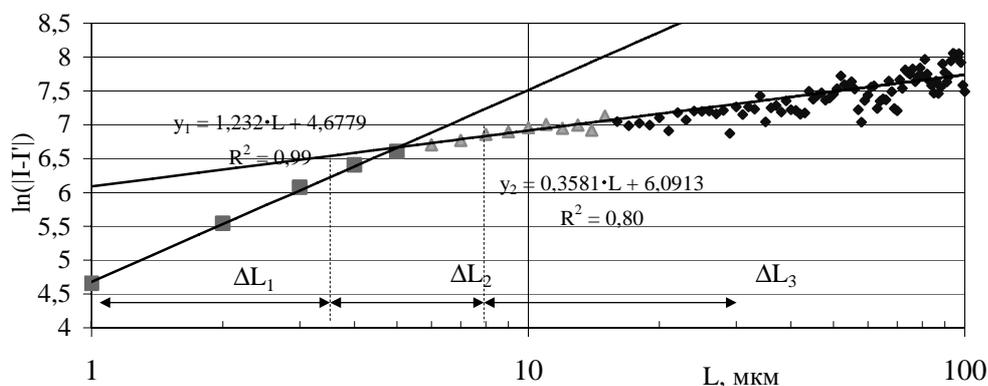
Оптимизация сложных видов термообработки с большим количеством параметров является одной из важных задач в организации машиностроительного производства, решение которой позволяет эффективно управлять свойствами при экономии энергии и затрат времени на термообработку.

В этой работе оптимизированы режимы термоциклической обработки (ТЦО) стали 50ХН с помощью количественной обработки топографии поверхностей изломов и теории фракталов.

1. Методика анализа поверхностей разрушения с помощью фрактальных показателей

Образцы из стали 50ХН подвергались ТЦО по разработанным нами режимам с переменными верхними (T_{\max}) и нижними температурами (T_{\min}) термоциклирования с количеством циклов от двух до четырех. Например, режим включал 4 цикла с печным нагревом до верхних температур, изменяющихся от цикла к циклу: $T_{\max 1}=780\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\max 2}=880\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\max 3}=780\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\max 4}=880\text{ }^{\circ}\text{C}$, охлаждением на воздухе до нижней температуры $T_{\min}=250\text{ }^{\circ}\text{C}$ во всех циклах, кроме последнего, где охлаждение осуществлялось до $T_{\text{комн}}$. При T_{\max} осуществлялись выдержки с учетом размера сечения образца.

Исследовано влияние ТЦО с переменными параметрами на развитие разрушения стали 50ХН при испытаниях на растяжение. Для этого после каждого цикла ТЦО были испытаны механические свойства, полученные поверхности изломов сфотографированы с помощью РЭМ при увеличении $X 750$. Изображения поверхностей оценивались по известной методике, основанной на анализе разности в яркости ($|I-I'|$) точек изображения, находящихся на расстоянии L друг от друга [5]. Зависимости, полученные для каждого образца, прошедшего определенное число циклов ТЦО (см. рисунок), имеют по два участка, каждый из которых аппроксимируется линейной функцией.



Графическая зависимость логарифма ($|I-I'|$) от расстояния между точками на поверхности излома образца

Для каждого участка был рассчитан фрактальный показатель D_{ci} , который является основным количественным показателем для анализа влияния числа циклов ТЦО на характер разрушения. Уравнение y_1 (см. рисунок) характеризует вид поверхности излома на размерном уровне субзерна, а y_2 – на уровне зерна.

2. Оптимизация режимов ТЦО стали

Известно, что увеличение количества циклов ТЦО способствует измельчению зерна, формированию развитой ячеистой структуры, повышению химической однородности и, как следствие, росту ударной вязкости [7]. Однако для одновременного повышения прочностных свойств нами предложено также варьировать верхними и нижними температурами в циклах, что позволяет реализовать различные фазово-концентрационные и, следовательно, структурные состояния сталей. С целью последующей оптимизации режима ТЦО представляло интерес изучить влияние T_{max} , T_{min} в цикле, количества циклов в режиме на особенности разрушения. Влияние T_{max} на свойства стали 50ХН с учетом перегрева относительно A_{c3} при изменяющихся параметрах ТЦО для различных схем чередования в циклах ранее было описано в работе [8].

При фрактальной обработке выявлен определенный характер смещения кривых в зависимости от числа циклов ТЦО и ее параметров T_{max} и T_{min} в циклах. Обнаружено сходство в динамике изменения плотности дислокаций в феррите, измеренной с помощью рентгеноструктурного анализа, и показателя D_{c1} . Сходный характер изменения наблюдается также между показателями относительного сужения (ψ) и D_{c2} : обычно максимальные значения показателя D_{c2} совпадают с максимумами ψ , которые приходятся чаще на третий цикл в опробованных режимах ТЦО.

Установлено, что точке пересечения двух прямых y_1 и y_2 (см. рисунок) соответствует определенный размерный уровень, при превышении которого система скачкообразно переходит от механизма пластического течения к механизму образования микрораскрытий. Каждый размерный уровень характеризуется подобными геометрическими элементами на поверхности излома, размеры которых находятся в пределах ΔL_i . Размерный уровень L_1 связан с дислокациями как с

элементарными носителями пластического течения. Таким образом, ΔL_1 – это диапазон размеров участков разрушения микроуровня, колеблющийся для испытанных режимов ТЦО в узких пределах – в среднем от 0,51 до 2,20 мкм.

Размерный уровень L_2 связан с объемными элементами, совершающими сдвиг с поворотом, в результате которого образуются микрораскрытия в толще металла [1]. Такими элементами можно считать дисклинации, приграничные объемы субзерен и зерен, а показатель ΔL_2 – это диапазон размеров участков разрушения мезоуровня. Так, например, наибольшие по величине отрезки ΔL_2 8,0–(5,0 мкм) соответствуют циклам, где T_{\max} незначительно превышает точку A_{c3} , после этих циклов получены наибольшие значения КСУ и ψ . При превышении точки A_{c3} на 100 °С и более при нагреве до $T_{\max4}$, величина ΔL_2 уменьшается по сравнению с предыдущим циклом, что, по-видимому, связано с изменениями в субструктуре. Также уменьшению ΔL_2 способствует высокий отпуск, выполненный после ТЦО.

На графиках (см. рисунок) наблюдается еще один участок с хаотическим разбросом точек (ΔL_3), который свидетельствует об отсутствии сходства в протекании процессов разрушения на больших размерных уровнях микрофрактограмм.

В результате выполнения исследований установлено, что плотность дислокаций взаимосвязана с величиной D_{c1} , но не влияет на длину отрезка корреляции на микроуровне, поэтому для повышения прочностных свойств следует стремиться к повышению D_{c1} .

Однако также известно, что стали после ТЦО менее склонны к короблению [7], что свидетельствует о возможности пластических деформаций в микрообъемах металла. Например, ТЦО по сравнению с типичной термообработкой валковой стали 50ХН (нормализация и высокий отпуск) увеличивает длину отрезка корреляции ΔL_2 , соответствующего мезоуровню разрушения в два и более раза, что соответствует увеличению критического размера микрораскрытий, способных к стремительному росту путем объединения их в магистральную трещину. Поскольку увеличение микрораскрытий контролируется процессами пластического течения, то при периодическом торможении дислокаций у стенок ячеек скорость роста микрораскрытия будет замедляться. Другими словами, увеличение ΔL_2 свидетельствует о резерве надежности и увеличении продолжительности срока службы изделия до возникновения поломки. Таким образом, целесообразно применять те режимы ТЦО, которые дают наибольшие величины ΔL_2 .

В общем виде самоорганизацию структуры под действием переменных условий нагрева-охлаждения при ТЦО можно описать так. Кристаллическая структура металлов, как система с большим количеством взаимодействующих элементов, под действием циклически изменяющихся условий постепенно эволюционирует к некоторому состоянию, при достижении которого самоорганизованная упрочненная структура с точечными и линейными дефектами достигает закритической плотности этих дефектов и при испытаниях механических свойств ведет себя как разупрочнённая. В этой связи интересно выявить пороговые условия обработки (параметры ТЦО), при которых возникает самоорганизованная структура со стабилизированной упрочняющей дефектностью, способствующей минимальной повреждаемости при испытаниях или эксплуатации.

Фрактальная микро- и мезоструктура, полученная после ТЦО с переменными параметрами (три цикла с возрастающей T_{\max}), характеризующаяся большим диапазоном длин отрезков ΔL_2 , очевидно, имеет более высокий пороговый показатель перехода в разупрочненное состояние. В результате достигается повышение прочностных, пластических свойств и ударной вязкости стали, что недостижимо традиционными режимами термообработки и ТЦО с постоянными параметрами циклирования.

Выводы

1. При выборе оптимального режима ТЦО для повышения комплекса свойств конструкционной стали необходимо стремиться к понижению фрактального показателя микроуровня D_{c1} и повышению длины отрезка корреляции мезоразмерного уровня ΔL_2 . Это позволяет оптимизировать выбор режима и параметров ТЦО.

2. Разработанные новые режимы ТЦО с переменными температурными параметрами можно рассматривать как упрочняющую технологию, самоорганизующую фазово-структурное состояние сталей типа 50XH, содержащее эффективные барьеры на пути движения дислокаций и развития магистральных трещин.

Литература

1. Иванова В.С., Баланкин А.С., Бунин И.Ж. и др. Синергетика и фракталы в материаловедении. – М.: Наука, 1994. – 383 с.
2. Большаков В.И., Дубов Ю.И., Бардах А.Е. Причины, приведшие к возникновению теории фракталов и особенности ее применения в материаловедении // Стародубовские чтения, 2002. – С. 43–52.
3. Бунин И.Ж., Колмаков А.Г., Встовский Г.В. Мультифракталы в оценке диссипативных свойств металлических материалов // Металлы, 1998. – № 1. – С.103–106.
4. Vstovsky G.V., Bunin I.J. Multifractal parametrization of structures in material science // J. Advanc. Mater, 1994. – V.1. – № 3. – P. 230.
5. Бобро Ю.Г., Мельник В.Н., Шостак А.В., Волошин В.У. Определение фрактальности поверхностей разрушения по данным РЭМ-стереоизмерений // Металлы, 1999. – № 3. – С.109–113.
6. Трефилов В.И., Каргузов В.В., Минаков Н.В. Фрактальная размерность поверхности изломов // МиТОМ. – 2001. – № 3. – С.10–13.
7. Федюкин В.К., Смагоринский М.Е., Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. – Л.: Машиностроение, 1989. – 255 с.
8. Іващенко В.Ю. Вплив ТЦО на властивості валкової сталі 50XH // Захист металургійних машин від поломок, 2000. – С. 257.

THE CHOICE OF OPTIMUM THERMOCYCLICAL MODE WITH THE USING OF FRACTAL INDEXES OF FRACTURE'S SURFACE OF STEELS

V.Y. Ivaschenko, A.P.Cheiliakh

Abstract. *For the choice of the optimum thermocyclical mode with the variable parameters in this work was used a method of multyfractal description of the fracture's surfaces, which was got after tests of mechanical properties.*

Keywords: *thermocyclical treatment, steel, properties, fractal indexes.*