

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ УПРОЧНЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ПРИ СТАТИКО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ

Кокорева О.Г.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва

Ключевые слова: металлографические исследования, статико-импульсная обработка, напряженное состояние поверхностного слоя деталей машин, эффективность упрочнения, дислокационная структура, поверхностно-пластическая деформация.

Аннотация. Выполнен сравнительный анализ микроструктуры образцов из высокомарганцевистой стали термообработанных и упрочненных статико-импульсной обработкой. Установлена математическая зависимость числа двойников в микроструктуре от твердости по глубине упрочненных образцов. Представлены результаты металлографических исследований образцов при статико-импульсной обработке. Выполнен анализ напряженного состояния поверхностного слоя при упрочнении с позиций теории дислокаций, а также влияния физической природы процесса обработки на эффективность упрочнения.

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE DEGREE OF HARDENING OF SAMPLES DURING STATIC-PULSE TREATMENT

Kokoreva O.G.

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

Keywords: metallographic studies, static-pulse treatment, stress state of the surface layer of machine parts, hardening efficiency, dislocation structure, surface plastic deformation.

Abstract. Comparative analysis of the microstructure of sample made of high-manganese steel, heat-treated and hardened by static-pulse treatment, is carried out. The mathematical dependence of the number of twins in the microstructure on the hardness along the depth of hardened specimens has been established. The results of metallographic studies of samples during static-pulse processing are presented. The analysis of the stress state of the surface layer during hardening is carried out from the standpoint of the theory of dislocation, as well as the influence of the physical nature of the processing process on the effectiveness of hardening.

Известно, что эффективным средством борьбы с интенсивным износом деталей является упрочнение. Разработанный способ статико-импульсной обработки сочетает в себе достоинства статических и динамических способов поверхностно-пластическая деформация (ППД). Цель исследований – сравнительный анализ микрошлифов образцов литой высокомарганцевистой стали (ВМС), термообработанных образцов и образцов, упрочненных статико-импульсной обработкой (СИО). Процесс упрочнения высокомарганцевистой стали имеет сложный характер.

Доказательством этого является тот факт, что до сих пор не создана общепринятая теория ее упрочнения. Проанализировав существующие гипотезы [1, 2], можно выделить два основных направления, объясняющих механизм упрочнения высокомарганцевистой стали при обработке поверхностно-пластической деформацией:

- упрочнение за счет возникновения высокой плотности дислокаций, большого числа дефектов упаковки и механических двойников, приводящих к изменению тонкой кристаллической структуры (дроблению зерен на блоки и разориентации этих блоков в пределах зерна);
- упрочнение путем образования в плоскостях сдвига вторичных фаз (карбидов), которые являются эффективными барьерами затрудняющие пластическое движение металла.

Высокомарганцовистая сталь имеет поликристаллическое строение и состоит из зерен, различающихся по составу и ориентации, и имеющими определенную дислокационную структуру. Упрочнение ВМС находится в прямой связи с линейной дислокационной структурой и плотностью дислокаций, определяющейся отношениями суммарной длины линий дислокаций к объему, в котором они находятся. В результате ППД плотность дислокаций увеличивается от $10^{-7} \dots 10^{-8} \text{мм}^2$ до $10^{-10} \dots 10^{-12} \text{мм}^2$ [1]. Однако, возможности упрочнения металла с помощью увеличения плотности дислокаций ограничены. Это связано с тем, что дислокации создают в кристаллической решетке упругие возмущения. Эти возмущения усиливаются при взаимодействии дислокаций. Возможные формирования их скоплений создают напряжения, которые самостоятельно или в совокупности с внешними нагрузками могут приводить к образованию микротрещин. Сопротивление перемещению дислокаций зависит от внешнего усилия при упрочнении металла, а также от характера и распределения скоплений дислокаций в металле. Упрочнение ППД обусловлено разнообразными по физической природе явлениями, которые определяются условиями нагружения детали и оцениваются следующими параметрами: степенью и глубиной упрочнения, микроструктурой, твердостью, пределом усталости и временным сопротивлением, ударной вязкостью и т.д. Увеличение прочности металла связано с формируемой дислокационной структурой. Характер этой структуры зависит от типа кристаллической решетки, степени упрочнения (пластической деформации) и температуры деформирования. Известно, что характерной особенностью ВМС является ее высокая способность к упрочнению при пластической деформации, что определяет ее прочностные и пластические свойства. Важными факторами, влияющими на физико-механические свойства деформированной ВМС, являются более мелкое зерно, отсутствие пористости, наличие неметаллических включений, к которым относят соединения оксидов, фосфидов, сульфидов и нитридов.

Металлографические исследования образцов, упрочненных статико-импульсной обработкой, показали наличие площадок постоянной твердости, которые связаны определенным образом с распределением ударных двойников. Обнаружена зависимость между максимальным числом двойников в отдельном зерне и положением площадки твердости. Число направлений уменьшается при переходе на каждую следующую площадку. Так, металлографические исследования показали, что наибольшее число двойников в отдельном зерне в области первой площадки оказалось равным четырем [2]. Во второй площадке наибольшее число направлений двойников равно трем; для третьей и четвертой число направлений двойников соответственно два и одно. В области пятой площадки, где твердость, по существу, та же, что и в исходном материале,

двойников не обнаружено совсем. Для характеристики зависимости числа двойников от твердости при распределении по глубине упрочненного образца из ВМС рассмотрим следующую зависимость:

$$D = (2 + K_D) \frac{\Delta h}{N},$$

где D – число двойников; K_D – коэффициент, характеризующий количественную однородность двойников (определяется по таблице 1); Δh – расстояние по глубине образца; N – номер площадки твердости.

Определяем число двойников для некоторых площадок твердости (табл. 1).

Табл. 1.

№ площадки твердости, N	1	2	3	4	5	6	7	8
Коэффициент однородности двойников K_D	0	1	1	0	1	1	0	1

Таким образом, исследован механизм структурных изменений, происходящих в образцах из ВМС при статико-импульсной обработке. Установлено изменение степени деформации зерна по сечению от поверхности к центру, при этом, с увеличением степени деформации происходит рост упрочнения. Проведенные исследования показали, что причиной упрочнения является дробление зерен аустенита на более мелкие блоки и двойникование зерен.

Список литературы

1. Киричек А.В., Кокорева О.Г., Лазуткин А.Г., Соловьев Д.Л. Статико-импульсная обработка и оснастка для её реализации // СТИН. 1999. №6. С. 20-24.
2. Кокорева О.Г. Результаты производственных испытаний по упрочнению сердечников крестовин стрелочных переводов // Вестник машиностроения. – 2010. – №3. – С. 85-88.
3. Кокорева О.Г., Фадеев Ф.О. Металлографическое исследование результатов при упрочнении тяжело нагруженных поверхностей деталей машин // Научно-практические аспекты развития современной техники и технологий: Материалы международной научно-технической конференции. – Стерлитамак, 2017. – С. 112-115.

Сведения об авторе:

Кокорева Ольга Григорьевна – к.т.н., доцент, МАИ, г. Москва.