

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ОБРАЗЦОВ, УПРОЧНЕННЫХ СТАТИКО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Кокорева О.Г.

Ключевые слова: микроструктура, деформация, статико-импульсная обработка, глубина упрочнения, размер зерна, высокомарганцовистая сталь.

Аннотация. Представлены результаты исследований микроструктуры лабораторным и производственным способами. Выполнена количественная оценка микроструктуры упрочненных образцов по глубине поверхности. Выполнен сравнительный анализ микроструктуры изменения твердости по глубине поверхности. Проведены исследования микроструктуры в зависимости от режимов упрочнения.

STUDY OF MICROSTRUCTURE OF SAMPLES STRENGTHENED BY STATIC AND PULSE TREATMENT

Kokoreva O.G.

Keywords: microstructure, deformation, static-pulse treatment, depth of hardening, grain size, high manganese steel.

Abstract. The results of microstructure research by laboratory and production methods are presented. A quantitative assessment of the microstructure of hardened specimens over the surface depth was performed. A comparative analysis of the microstructure of changes in hardness over the surface depth is performed. Microstructure studies were carried out depending on the hardening regimes.

Проведена оценка микроструктуры методом просмотра травленных микрошлифов на металлографическом микроскопе и сравнение с эталонными изображениями по ГОСТу 5639-82. Основными элементами, контролируемыми металлографическим способом, являются зерно аустенита, карбидная составляющая, неметаллические включения (силикаты, оксиды, нитриды и т.д.), микропоры, продукты дисперсионного твердения.

Зерна могут объединять несколько ячеек, а их границы совпадать с границами ячеек [3]. При этом межзеренный износ высокомарганцовистой стали демонстрирует своеобразное строение границ зерна, они являются волнистыми, повторяя очертания границ ячеек. Поэтому повышенное упрочнение приобретают области вдоль границ зерен и линий скольжения [1].

Количественная оценка микроструктуры высокомарганцовистой стали (ВМС) произведена по десятибалльной шкале. Отмечается, что микроструктура образца из ВМС до упрочнения статико-импульсной обработкой (СИО) - это чистый аустенит, неравномерное зерно, которое соответствует 2...3 баллам по шкале ГОСТа 5639-82 с ударной вязкостью $1,95 \text{ МДж/м}^2$ и твердостью HB 284.

Структура образцов определенно разнотернистая: мелкое зерно типа А4...А5 отмечается у поверхности, далее удаляясь от поверхности увеличивается размер зерна от А4...А3 – на глубине 4,5...7,5 мм, до А2...А1 – на глубине 8...10 мм по сечению образца. У поверхности наблюдаются самая

большая степень твердости и деформации (НВ 570...620), это соответствует более мелкому зерну ВМС. При микроструктурном исследовании ВМС, которая упрочнена СИО, считали среднюю площадь, средний диаметр зерна и число зерен на единице поверхности шлифа (1мм^2). В данном случае для образцов, которые упрочнены СИО и шлифов неупрочненных образцов, имеем число зерен 68 и 116 на площади 1мм^2 , средний диаметр зерна 0,125 и 0,044 мм, среднюю площадь сечения 0,0147 и 0,00862 мм^2 , размер зерна от 2...3 баллов до 4...5 баллов. Проведенные исследования наглядно показали, что в результате СИО высокомарганцовистой стали отмечается формирование мелкозернистой структуры, что в свою очередь предполагает улучшение прочностных характеристик высокомарганцовистой стали [2].

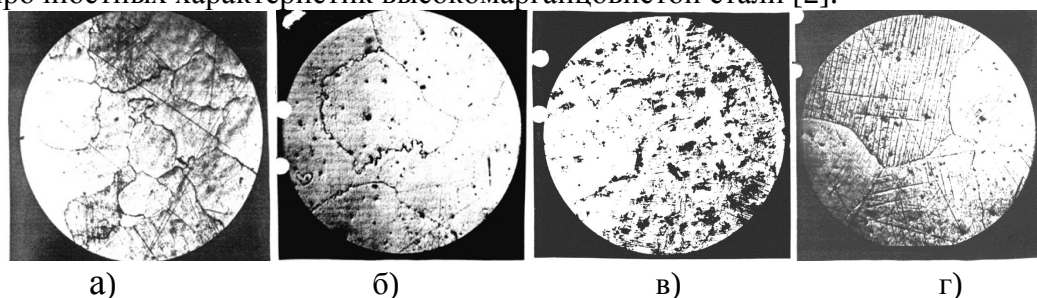


Рис. 1. Микроструктура термообработанной ВМС: а) закалка при температуре 1050°C , охлаждение на воздухе, аустенит и вторичные карбиды по границам зерна; б) закалка: охлаждение в воде, при $t^\circ 30^\circ\text{C}$ аустенит и вторичные карбиды по границам зерна; в) закалка при температуре 950°C , аустенит и первичные карбиды; г) закалка при температуре 1050°C , охлаждение в проточной воде, аустенит

Повышение твердости упрочненных образцов объясняется так же увеличением степени деформации зерна, об этом свидетельствуют данные проведенных микроструктурных исследований (табл. 1).

Результаты измерения размера зерна ВМС представлены в таблице 2.

Лабораторные исследования показали, что если увеличить энергию удара до 18 Дж происходит пропорциональное уменьшение размера зерна. В результате СИО деформация распространяется на определенную глубину при соответствующем энергетическом воздействии (табл. 3).

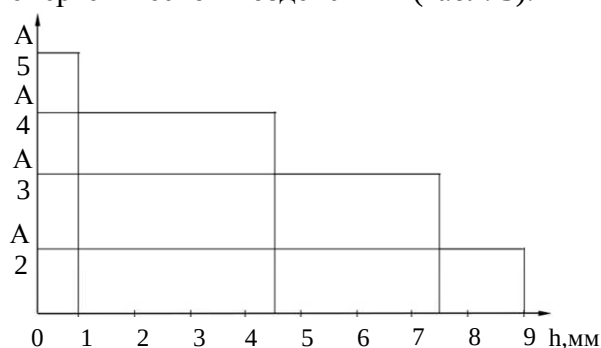


Рис. 2. Распределение размера зерна ВМС по глубине упрочненного слоя

Табл. 1. Данные проведенных микроструктурных исследований

Твердость	Распределение твердости по глубине, мм	Глубина влияния по микроструктуре, мм	Оценка размера зерна в баллах
620...540	0...0,42	4,65	5
540...460	0,42...5,28	6,18	4
460...420	5,28...6,96	7,52	3

Табл. 2. Результаты измерения размера зерна ВМС

Номер зерна А	Площадь сечения зерна, мм ²	Число зерен по площади 1 мм ² , м	Диаметр зерна d _м , мм
2	0,0156	64	0,177
3	0,00781	128	0,125
4	0,00390	256	0,088
5	0,00195	512	0,062

Табл. 3. Распространение деформация на определенную глубину при соответствующем энергетическом воздействии в результате статико-импульсной обработки

Номер диаметра отпечатка индентора	Глубина распределения деформации, мм	Энергия удара, Дж
1	0...2,7	2,4
2	2,7...3,0	4,8
3	3,0...3,2	7,2
4	3,2...3,4	9,6
5	3,4...3,9	12

Результаты металлографических исследований представлены в табл. 4.

Табл. 4. Результаты металлографических исследований

Энергия удара, Дж	Распределение размера зерна D, мм по глубине h, мм				
	0	2	5	8	10
6	0,078	0,082	0,094	0,115	0,136
12	0,067	0,079	0,088	0,107	0,125
18	0,042	0,063	0,077	0,095	0,118

Анализируя влияние энергии обработки на размер зерна аустенита, введем экспериментальный коэффициент, который характеризует эффективность статико-импульсного упрочнения:

$$K_{\phi} = d_m / E, \quad (1)$$

где d_m – средний диаметр зерна, мм; E – энергия при СИО.

Таким образом в результате микроструктурных исследований образцов из ВМС, упрочненных СИО, в металлографической лаборатории удалось установить, что существенное влияние на распределение и характеристики полос скольжения оказывают скорость и усилие СИО.

Табл. 5. Расчет коэффициента упрочнения

Энергия удара, Дж	Распределение по глубине сечения коэффициента эффективности упрочнения $K_{\text{эф}}$				
	0	2	5	8	10
6	0,0111	0,0117	0,0134	0,0165	0,0194
12	0,00500	0,00718	0,00782	0,00972	0,0113
18	0,00428	0,0042	0,00513	0,00633	0,00786

Список литературы

1. Кокорева О.Г. Механизм микроструктурных изменений процесса упрочнения высокомарганцевистой стали при статико-импульсной обработке // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. - 2013. - №1. - С. 40-43.
2. Кокорева О.Г. Управление параметрами качества поверхности деталей машин при статико-импульсной обработке // Технология металлов. - 2016. - №6. - С.16-20.
3. Кокорева О.Г. Исследование параметров качества поверхностного слоя тяжело нагруженных деталей машин, упрочненных методами поверхностно-пластического деформирования // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2017. - № 11. - С. 487-490.

References

1. Kokoreva O.G. The mechanism of microstructural changes in the process of hardening high-manganese steel with static-pulse treatment // Bulletin of FGOU VPO MSAU. - 2013. - №1. - P. 40-43.
2. Kokoreva O.G. Control of the quality parameters of the surface of machine parts with static-pulse processing // Technology of metals. - 2016. - №6. - P. 16-20
3. Kokoreva O.G. Investigation of the quality of the surface layer of heavily loaded machine parts, strengthened by methods of surface plastic deformation // Strengthening technologies and coatings. - 2017. - № 11. - P. 487-490.

Кокорева Ольга Григорьевна – кандидат технических наук, доцент, кафедра портовых подъемно-транспортных машин и робототехники, Московская государственная академия водного транспорта – филиал Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. Москва, Российская Федерация, kokoreva_olga_2.11@mail.ru

Kokoreva Olga Grigorievna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of port hoisting-and-transport machines and robotics, Moscow State Academy of Water Transport – branch of State University of Maritime and river fleet named after Admiral S.O. Makarov, Moscow, Russian Federation, kokoreva_olga_2.11@mail.ru

Received 03.04.2019