Научная статья

УДК 155.3:669.14.018.8

Влияние отжига на структуру и микротвердость многослойного композита на основе высокохромистой азотированной стали и сплава системы Fe—Cr—V

Екатерина Николаевна Токмакова

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия

katrin.2027@yandex.ru

Аннотация. Исследовано влияние отжига при температуре 850 °C с выдержкой 10 ч на микротвердость и структуру слоистого композита, состоящего из чередующихся слоев нержавеющей стали AISI 439 с высоким содержанием азота и слоев сплава Fe—20Cr—5V. Методами РЭМ и МРСА установлено выделение нитридов ванадия преимущественно овальной формы, незначительно повышающих микротвердость ванадийсодержащего сплава.

Ключевые слова: азотирование, слоистый композит, ферритная высокохромистая сталь, отжиг, нитриды, микротвердость, микроструктура

Original article

Effect of Annealing on the Structure and Microhardness of a Multilayer Composite Based on High-Chromium Nitrided Steel and Fe—Cr—V Alloy System

Ekaterina N. Tokmakova

National Research Technological University "MISiS", Moscow, Russia katrin. 2027@yandex.ru

Abstract. The effect of annealing at a temperature of 850 °C with holding for 10 h on the microhardness and structure of a layered composite consisting of alternating layers of AISI 439 stainless steel with a high nitrogen content and layers of the Fe–20Cr–5V alloy was investigated. The SEM and EDS methods established the separation of vanadium nitrides, predominantly of an oval shape, slightly increasing the microhardness of the vanadium-containing alloy.

Keywords: nitriding, laminated composite, high-chromium ferritic steel, annealing, nitrides, microhardness, microstructure

остоянное ужесточение требований со стороны промышленности ставит задачу создания конструкционных материалов, сохраняющих прочностные свойства при все более высоких температурах. Это возможно, например, при применении азотирования за счет получения наиболее стабильных нитридов в структуре материала, таких как VN, TiN или ZrN. Одним из перспективных методов повышения жаропрочности сплавов, содержащих тугоплавкие металлы, является азотирование из твердой фазы, т. к. при таком способе химико-термической обработки обеспечивается большая дисперсность указанных нитридов, чем в случае распространенного на производстве метода высокотемпературного газофазного азотирования, что приводит к повышению термической стабильности материала [1; 2].

В работе В. М. Хаткевича «Влияние твердофазного азотирования на формирование структуры и упрочнение сплава типа Fe—Cr—V» была показана возможность проведения твердофазного азотирования путем отжига слоистого композиционного материала, в котором слои, обогащенные азотом, чередуются со слоями, не содержащими азот [3]. В настоящем исследовании композит из азотированной высокохромистой стали AISI 439 и неазотированного сплава Fe—20Cr—5V подвергался отжигу при температуре 850 °C с выдержкой 10 ч и последующим охлаждением на воздухе, после чего методом РЭМ исследовалась микроструктура на границе соединения слоев стали и ванадийсодержащего сплава, а также измерялась микротвердость по сечению образца композита.

На изображениях поверхности поперечного шлифа образца, полученных с помощью РЭМ в области слоев из сплава Fe—20Cr—5V, наблюдались выделения частиц более темного цвета, чем основной металл (рис. 1).

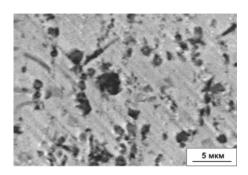


Рис. 1. Микроструктура диффузионной зоны композита, образовавшейся в сплаве Fe—20Cr—5V в процессе отжига при 850 °C, 10 ч

Анализ их химического состава методом MPCA показал, что этими выделениями являлись нитриды ванадия типа VN со средним размером 1,47 мкм, которые имели преимущественно овальную форму. Также в структуре были обнаружены малочисленные пластинчатые выделения нитридов размерами 2,67 \times 0,52 мкм. Таким образом, при данной температуре отжига наблюдается выделение нитридов ванадия меньших размеров по сравнению с частицами VN со средним размером 3,65 мкм, выделившихся при азотировании из газовой фазы сплава Fe-20Cr-5V. Кроме того, было установлено, что в ходе отжига по выбранному режиму азот практически полностью продиффундировал из слоев высокохромистой стали в слои ванадийсодержащего сплава.

После горячего прессования микротвердость изменялась скачкообразно (рис. 2, *a*) по толщине образца вследствие неравномерного распределения азота в слоях: для азотированного слоя стали AISI 439 ее усредненное по трем линиям измерений значение изменялось в диапазоне 401—463 HV, что выше твердости данной стали после азотирования (320 HV). Это связано с возможным выделением мартенсита в структуре в процессе охлаждения образца после горячего прессования. Для неазотированного слоя из сплава Fe—20Cr—5V средняя величина микротвердости была существенно ниже и составила 205 HV.

Отжиг в течение 10 ч при температуре 850 °C вызвал перераспределение азота между слоями композита, что сказалось на характере изменения микротвердости по толщине образца (рис. 2, δ), который стал более равномерным, хотя отчетливо наблюдались две зоны вблизи поверхностей композита, обогащенные азотом, в которых значе-

ние микротвердости составило около 500 HV. Это может объясняться тем, что при температуре 850 °C практически весь азот из слоев стали AISI 439 диффундирует в слои ванадийсодержащего сплава. Однако слои у поверхности композита имеют большую толщину по сравнению со слоями в середине композита из-за разной степени деформации в середине композита и вблизи его поверхностей [3]. Таким образом, в слоях стали AISI 439, находящихся близко к поверхности слоистой композиции, концентрация азота остается более высокой. Кроме того, при температуре выше 800 °C нитриды хрома типа Cr_2N растворяются в твердом растворе, в результате чего он пересыщается азотом и при последующем охлаждении даже на воздухе в структуре образуется мартенсит. Это и определяет высокую твердость внешних слоев стали AISI 439.

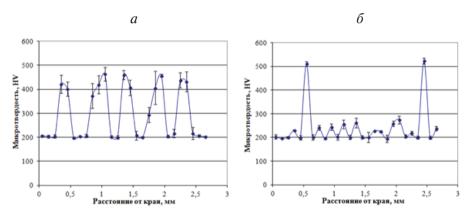


Рис. 2. График распределения микротвердости по толщине образца в двух состояниях:

a — образец после горячего прессования; δ — образец после горячего прессования и отжига при температуре 850 °C и длительности 10 ч

В других частях композита с более низким содержанием азота измеренное число микротвердости оказалось существенно меньшим — в пределах от 195 до 274 HV. Усредненное по всем измерениям значение микротвердости образца составило 231 HV (после исключения из подсчетов зон с аномально высокой микротвердостью, обсужденных ранее), что примерно на 12% выше, чем микротвердость слоев сплава Fe—20Cr—5V до отжига.

Список источников

- 1. Microstructure influence on corrosion behavior of a Fe-Cr-V-N tool alloy studied by SEM/EDS, scanning Kelvin force microscopy and electrochemical measurement / M. Sababi [et al.] // Corrosion Science. 2013. Vol. 66. P. 153–159.
- 2. Токмакова Е. Н. Анализ нитридообразования в слоистом композите на основе стали AISI 439 и ванадийсодержащего сплава при твердофазном азотировании // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте. Кемерово: Кузбас. гос. техн. ун-т, 2020. С. 376—378.
- 3. Влияние твердофазного азотирования на формирование структуры и упрочнение сплава типа Fe−Cr−V / В. М. Хаткевич [и др.] // Деформация и разрушение материалов. 2019. № 6. С. 17–21.

References

- 1. Microstructure influence on corrosion behavior of a Fe-Cr-V-N tool alloy studied by SEM/EDS, scanning Kelvin force microscopy and electrochemical measurement / M. Sababi [et al.] // Corrosion Science. 2013. Vol. 66. P. 153–159.
- 2. Tokmakova E. N. Analysis of nitride formation in layered composite based on AISI 439 steel and vanadium-containing alloy by solid-phase nitriding // Innovations in information technology, mechanical engineering and motor transport. Kemerovo: Kuzbass State Technical University, 2020. P. 376–378.
- 3. Effect of solid phase nitriding on structure formation and hardening of Fe-Cr-V system alloy / V. M. Khatkevich [et al.] // Deformation and destruction of materials. 2019. No. 6. P. 17-21.