МОДИФИКАЦИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМЦ КОМПРЕССИОННЫМ ПЛАЗМЕННЫМ ПОТОКОМ

Н.Н. Черенда¹⁾, В.М.Асташинский²⁾, В.А. Емельянов³⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Ф. Скорины 4, 220080 Минск, Беларусь, Тел. +375 17 2095512. E-mail: cherenda@bsu.by

²⁾Институт молекулярной и атомной физики НАН Беларуси, пр. Ф. Скорины 70, 220072 Минск, Беларусь, Тел. +375 17 2841065. E-mail: ast@imaph.bas-net.by

³⁾Научно-производственное объединение «Интеграл», пл. Казинца 1, 220108 Минск, Беларусь, Тел. +375 17 2773232. E-mail: eva@integral.minsk.by

Структурно-фазовые изменения, морфология поверхности и поведение микротвердости алюминиевого сплава АМЦ при воздействии компрессионного плазменного потока азота с различной плотностью энергии были изучены в данной работе. Обнаружено растворение фаз FeAl₃ и MnAl₆, что приводит к разупрочнению поверхностного слоя. Установлено изменение параметра решетки алюминия, связываемое с внедрением в решетку атомов примеси.

Введение

Широко распространенным способом повышения эксплуатационных свойств алюминия и его сплавов является азотирование поверхности с помощью различных ионноплазменных методов. Относительно большое время обработки изделий из алюминия для концентрации увеличения И глубины проникновения азота - один из основных Обработка недостатков этих методов. компрессионными плазменными потоками является новым перспективным способом повышения механических свойств материалов [1], прежде всего, из-за высокой скорости обработки (от 100 мкс) и большой глубины модификации поверхностного слоя (несколько десятков микрометров).

Использование в данном методе азота в качестве плазмообразующего вещества позволяет ожидать формирование поверхностном слое алюминиевых сплавов нитрида алюминия, что приводит к увеличению твердости и износостойкости сплавов. Вместе с тем, высокая энергия плазменного потока обуславливает модификацию не только алюминиевой матрицы, но и интерметаллидных фаз. Поэтому целью данной работы являлось структурно-фазового изучение состояния алюминиевого сплава, подвергнутого обработке компрессионным плазменным потоком в диапазоне поглощенной энергии 3-13 Дж/см², а также влияние воздействия на механические свойства.

Методика эксперимента

Объектом исследования являлись образцы термически неупрочняемого алюминиевого сплава АМЦ, допустимое содержание примесей в котором по данным [2] следующее: Fe - 0.7%, Si -0.6%, Mn - 1.6%, Zn - 0.1%, Mg - 0.2%, Cu - 0.1%, Ti - 0.2% (вес. %).

Модификация поверхностного слоя образцов

компрессора изложены в работах [1, 3]. Длительность разряда составляла ~ 100 мкс. Эксперимент проводился в режиме «остаточного газа», при котором предварительно откачанную вакуумную камеру заполняли азотом до давления 400 Па. Плотность поглощенной образцом энергии (*E*) варьировалась в диапазоне 3-13 Дж/см², что осуществлялось путем изменения расстояния между обрабатываемыми образцами и электродом.

Структурно-фазовое состояние поверхностного слоя алюминиевого сплава изучалось с помощью рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ДРОНЗ в Си Ка излучении, в геометрии Брэгга-Брентано. Глубина зондирования рентгеновских лучей в исследуемом диапазоне углов составляла около 12 мкм.

Микротвердость по Виккерсу определялась на твердомере ПМТ-3.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлен участок рентгенограмм образцов сплава до, и после воздействия азотного плазменного потока.



проводилась в газоразрядном магнитоплазменном компрессоре при напряжении на конденсаторной батарее 4 кВ. Более подробно схема и принцип работы

Рис. 1 Участок рентгенограммы исходного образца сплава (а) и образцов, подвергнутых плазменному воздействию при E=3 Дж/см² (б) и E=13 Дж/см² (в)

5-я международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом» 6-9 октября 2003 г., Минск, Беларусь 5-th International Conference "Interaction of Radiation with Solids" October 6-9, 2003, Minsk, Belaru Рис. 1 Участок рентгенограммы исходного образца сплава (а) и образцов, подвергнутых плазменному воздействию при E=3 Дж/см² (б) и E=13 Дж/см² (в)



Рис. 2 Участок рентгенограммы образца алюминия марки А95 подвергнутого плазменному воздействию при E=13 Дж/см²





Рис. 4. Морфология поверхности образцов сплава АМЦ при различных режимах плазменной обработки:

E=13 Дж/см² (а), E=9 Дж/см² (б), E=3 Дж/см² (в)

В исходном состоянии в структуре сплава присутствуют выделения вторых фаз FeAl₃ и MnAl₆. После обработки при *E*=13 Дж/см² указанные фазы на рентгенограмме отсутствуют, что указывает на их растворение. При уменьшении *E* до 3 Дж/см² видимых изменений в концентрации вторых фаз не наблюдается. Растворение вторых фаз может быть связано с высокой температурой (~ 2700 K) поверхностного слоя при данном типе методов обработки [4]. В тоже время, температура плавления фазы MnAl₆, составляет 943-983 K, a FeAl₃ – 1420 K [5].

Формирование нитрида алюминия методом рентгеноструктурного анализа зафиксировано не было. Фазовый анализ образца алюминия марки А95 после плазменной обработки при аналогичных условиях показал формирование нитрида алюминия с кристаллической решеткой типа вюрцита (рис. 2). Различие в условиях формирования нитрида в алюминии и сплаве АМЦ может быть обусловлено различием в величине структурных напряжений в исходном состоянии и возможным влиянием вторых фаз. Вероятно, азот в поверхностном слое сплава АМЦ после плазменной обработки будет находиться в пересыщенном твердом растворе в алюминиевой матрице.

Обработка компрессионным плазменным потоком сплава АМЦ ведет к изменению параметра решетки алюминия (рис. 3). Параметр решетки (а) определялся по линиям (111)АІ и (200)АІ. В исходном образце сплава величина а для линии (111) составляла 0.4055 нм, а для линии (200) – 0.4050 нм.

Как видно из рисунка, максимальное увеличение параметра решетки на 0.65% наблюдается после обработки при E=13 Дж/см² (200). Для других режимов для линии плазменной обработки параметр решетки алюминия приближается к параметру решетки эталона. Более значительное увеличение межплоскостного расстояния для плоскостей (200), чем для плоскостей (111) в ГЦК решетке наблюдалось как при имплантации примесей внедрения в алюминий [6], так и при плазменном азотировании сталей [7]. Наблюдаемое явление обусловлено тем, что внедряемые атомы занимают в ГЦК решетке преимущественно октаэдрические поры, так как их размерный фактор - 0,415 - больше, чем у тетраэдрических пор – 0,225. Поскольку октаздрические поры располагаются на ребрах ГЦК решетки, то занятие этих пустот атомами внедрения будет приводить к преимущественному увеличению расстояний между плоскостями типа (100). Данный эффект может свидетельствовать как об





B)

увеличении концентрации азота в поверхностном слое при *E*=13 Дж/см⁻, так и может являться следствием растворения вторых фаз в алюминиевой матрице. Вероятно, именно атомы азота, а не элементы, выделяющиеся из растворенных вторых фаз, будут занимать

5-я международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», 6-9 октября 2003 г., Минск, Беларусь 5-th International Conference "Interaction of Radiation with Solids", October 6-9, 2003, Minsk, Belarus Для образцов, подвергнутых воздействию компрессионных плазменных потоков, характерна развитая морфология поверхности (рис. 4), зависящая от параметров обработки. Из рисунка видно, что наиболее развитый рельеф поверхности наблюдается при увеличении *E*. В работе [3] указывается, что формирование рельефа поверхности обусловлено воздействием целого ряда факторов, связанных с процессами быстрого нагрева и охлаждения поверхности, а также сложным характером взаимодействия налетающей плазмы с поверхностью материала.



Рис. 5 Зависимость микротвердости образцов сплава АМЦ от глубины проникновения индентора при различных режимах плазменной обработки

Изменение микротвердости алюминиевого сплава при различных режимах плазменной обработки коррелирует со структурно-фазовыми изменениями (рис. 5). Растворение упрочняющих фаз в поверхностном слое ведет к уменьшению его твердости после обработки. Максимальное уменьшение твердости наблюдается при *E*=13 Дж/см² – режиме, обуславливающем максимальное растворение.

Заключение

89

Воздействие компрессионного плазменного потока азота на сплав АМЦ приводит к растворению упрочняющих вторых фаз MnAl₆ и FeAl₃. С уменьшением плотности энергии, подводимой к образцу, проявление этого эффекта уменьшается. Максимальное увеличение параметра решетки на 0,65% по сравнению с исходным образцом наблюдается для линии (200)Al, что связывается с внедрением атомов примеси в октаэдрические поры ГЦК решетки алюминия.

Изменение микротвердости сплава АМЦ, обработанного компрессионными плазменными потоками, коррелирует со структурно-фазовыми изменениями. Микротвердость сплава уменьшается из-за растворения упрочняющих фаз.

Список литературы

- Anishchik V.M., Uglov V.V., Astashynski V.V., Astashynski V.M., Ananin S.I., Kostyukevich E.A., Kuzmitski A.M., Kvasov N.T., Danilyuk A.L., Rumianceva I.N. // Vacuum.-2003.-V.70.-P.269.
- 2. Гелин Ф.Д. Металлические материалы. Справочник. – Мн.: Высш. шк., 1987.- 368 с.
- Uglov V.V., Anishchik V.M., Astashynski V.V., Astashynski V.M., Ananin S.I., Askerko V.V., Kostyukevich E.A., Kuz'mitski A.M., Kvasov N.T., Danilyuk A.L. // Surface and Coatings Technology.-2002.-V.158-159.-P.273.
- Akamatsu H., Tanaka H., Yamanishi T., Egawa S., Yamasaki T., Miki M., Yatsuzuka M. // Vacuum.-2002.-V.65.-P.563.
- Структура и свойства алюминиевых сплавов. Под ред. Мондольфо Л.Ф. М.: Металлургия, 1979.- 639 с.
- Углов В.В., Черенда Н.Н., Данилюк А.Л., Ходасевич В.В. // Физика и химия обработки материалов.-2000.-№.2.-С.12.
- Xiaolei Xu, Zhiwei Yu, Liang Wang, Jianbing Qiang, Zukun Hei // Surface and Coatings Technology.-2002.-V.162.-P.242.

MODIFICATION OF ALUMINIUM ALLOY AMC BY COMPRESSIVE PLASMA FLOW

N.N. Cherenda¹⁾, V.M.Astachinski²⁾, V.A. Emelyanov³⁾ ¹⁾Belarussian State University, pr. F. Scoriny 4, 220080 Minsk, Belarus. Tel. +375 17 2095512. E-mail: cherenda@ bsu.by ²⁾institute of molecular and atomic physics of Belarus NAS, pr. F. Scoriny 70, 220072 Minsk, Belarus. Tel. +375 17 2841065. E-mail: ast@imaph.bas-net.by ³⁾Scientific Production Corporation «Integral», Kazintsa sq. 1, 220108 Minsk, Belarus. Tel. +375 17 2773232. E-mail: eva@integral.minsk.by

The phase and structure changes, surface morphology, microhardness behaviour of the aluminium alloy AMC treated by a compressive nitrogen plasma flow of a different energy density were investigated in this work. It was found that the dissolution of FeAl₃ and MnAl₆ phases took place thus resulting in hardness decrease of the surface layer. The change of the aluminium lattice constant due to the impurity atoms introduction into the lattice was revealed

5-т международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом» 6-9 октября 2003 г., Минск, Беларусь 5-th International Conference Interaction of Radiation with Solids", October 6-9, 2003, Minsk, Belaru