

многих местах она выходит на границу между алюминием и основным металлом, то есть отслоение покрытия происходит на границе алюминиевый подслоя - основной металл. Трещины в порошковом слое проходят по границам частиц между отдельными несплошностями и во многих случаях тормозятся внутри слоя на неокисленных границах. Угол между направлением трещин и границей меняется от 0 до 45°, практически не наблюдается перпендикулярных направлений. Зона разрушения характеризуется повышенной пластичностью, видны "языки", сформированные конгломератом частичек, отороченных окисленными границами и несплошностями.

Микроструктура в зоне разрушения после дополнительных обработок имеет существенные отличия от необработанных покрытий. Так, после обеих обработок продольная магистральная трещина проходит практически по центру алюминиевого подслоя. Она более разветвлена по сравнению с исходным случаем и имеет большое число разрывов. Это подтверждает повышенную прочность сцепления на границе алюминий - основной металл. Напыленное покрытие разрушается более хрупко, о чем свидетельствует высокая плотность магистральных трещин, проходящих перпендикулярно плоскости напыления. Кроме перпендикулярных есть также и продольные трещины, особенно в зоне окончательного разрушения. Характер прохождения трещин по покрытию подтверждает повышенное охрупчивание границ зерен при окислении.

Дополнительный отжиг практически не меняет износостойкость покрытий при абразивном изнашивании. После дополнительной цементации износостойкость становится намного ниже в сравнении с исходным состоянием и отжигом, что объясняется уменьшением прочности связи между частицами покрытия из-за интенсивного окисления их границ. Потеря массы, которая в исследовании являлась критерием износостойкости, резко возросла при массовом отрыве частиц.

Таким образом, дополнительная тепловая обработка повышает силу сцепления напыленного слоя и подложки, не изменяет или даже снижает износостойкость покрытия.

ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА АЗОТИРОВАННОГО СЛОЯ НА МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ И АДГЕЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРЕСС- ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Онопrienко В.Г., Колягин Е.Ю., Марчук С.И., Труш Е.С.

Украина, Донецкий национальный технический университет, onoprienko_v@mail.ru

INFLUENCE OF THE PHASE COMPOSITION OF THE NITRIDED LAYER ON THE MECHANISM OF DESTRUCTION AND THE ADHESIVE DURABILITY OF THE WORKING SURFACE OF MOLDS FOR THE INJECTION MOLDING

Onoprienko V.G., Kolyagin E.YU., Marchuk S.I., Trush E.S.

The Ukraine, Donetsk national technical university, onoprienko_v@mail.ru

In the work studied the special features of the destruction of the surface of the nitrided matrices of molds, utilized for the casting of critical aluminum components, and developed the methods of increasing their durability. They established that the surface diffusion layer on the basis of high-nitride ξ -phase is unfavorable structure for the articles of the type of molds, since its destruction with the cyclic, thermal and deformation loads leads to increase in the adhesion of aluminum alloy and strengthening of the destruction of surface. For increasing the adhesive durability is proposed the ion-plasma nitration, which makes it possible to form on the surface layer of the solid solution of nitrogen without the embrittling starts of nitrides of Fe₂N.

В работе изучили особенности разрушения поверхности азотированных матриц пресс-форм, используемых для литья ответственных алюминиевых деталей компрессоров холодильной техники, и разработали методы повышения их стойкости.

Микроструктурные исследования, проведенные методами химического и теплового травления, показали, что в результате взаимодействия с алюминием происходит разрушение поверхностного слоя, при этом разрушенный слой характеризуется большим количеством трещин расположенных параллельно и перпендикулярно поверхности.

Выявлены следующие особенности зоны разрушения:

- твердый раствор на базе нитридной фазы не сплошной, имеет разрывы в месте максимального разрушения;
- отколотый слой окрашен также как и лежащий ниже твердый раствор азота в α -Fe, что свидетельствует об их близкой морфологии;

Рентгенофазовый анализ изношенной и исходной поверхностей матрицы показал различие в фазовом составе для участков с адгезией алюминиевого сплава и без нее (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты рентгенофазового анализа зоны разрушения

Участок поверхности	Выявленные фазы			
	тв. р-р азота в α -Fe	Fe_2N (ξ -фаза)	Fe_3N (ϵ -фаза)	интерметаллид Fe_3Al
без разрушения	+	+	+	-
зона с адгезией алюминиевого сплава	+	-	$\pm$	+

Из таблицы видно, что в зоне воздействия расплава алюминия, т.е. в зоне с максимальными тепловыми и динамическими нагрузками не выявляются нитриды. Имеется только предположительно ϵ -фаза (Fe_3N), которая содержит меньше азота, чем ξ -фаза (Fe_2N), что возможно связано с деазотацией поверхности при контакте с жидким алюминием во время эксплуатации пресс-формы. Присутствуют интенсивные дифракционные линии интерметаллида Fe_3Al .

Анализ зоны разрушения позволяет сделать следующие выводы:

1. В зоне максимального теплового и деформационного воздействия происходит растворение нитридов в α -твердом растворе.
2. Образование трещин в твердом растворе вблизи поверхности начинается от нитрида, который является концентратором напряжений. Дополнительно охрупчивают приповерхностную область и приводят к поверхностным сколам обнаруженные на глубине 40-60 мкм нитевидные включения нитридной фазы;
3. Адгезия алюминиевого сплава начинается в месте разрушения нитридной фазы;

Таким образом, поверхностный диффузионный слой на основе высокоазотистой ξ -фазы является неблагоприятной структурой для изделий типа пресс-форм, т.к. его разрушение при циклических, термических и деформационных нагрузках приводит к повышению адгезии алюминиевого сплава и усилению разрушения поверхности.

Ионно-плазменное азотирование (ИПА) взамен газового позволило получить наряду с азотированным ферритом только низкоазотистую γ' -фазу (Fe_4N), которая имеет твердость несколько ниже, чем ξ -фаза после газового азотирования, при этом в диффузионной зоне количество выделений ξ -фазы вдоль границ бывших аустенитных зерен меньше, а в приповерхностной зоне они вообще отсутствуют. Такая структура в сочетании с отсутствием нитридной сетки повышает на 20 – 30 % прочность и вязкость стали.

После ИПА значения микротвердости стали 4Х5МФС до глубины 100 – 110 мкм являются постоянными и равными примерно 7000 Н/мм², микротвердость нитридной зоны (до 30 мкм) - 9500 Н/мм². Пониженную микротвердость после ИПА по сравнению с газовым азотированием можно объяснить меньшей плотностью нитридных частиц в диффузионной зоне.

Различия в адгезионной стойкости поверхности после ИПИ и газового азотирования связаны с пористостью слоя, его стойкостью в среде расплавленного алюминиевого сплава, теплопроводностью и т.д. Исходные различия в адгезии обязательно сказываются при последующих контактах с расплавленным металлом.

Оценку адгезионной стойкости диффузионных слоев после газового и ионно-плазменного азотирования проводили методом расчета краевых углов в основании капли расплавленного алюминиевого сплава на изучаемой поверхности.

Величину адгезии расплава к поверхности W_a рассчитывали по формуле Дюпре-Юнга:

$$W_a = \sigma(1 + \cos \varphi)$$

где: σ – поверхностное натяжение на границе расплава с твердым телом, которое для случая «сталь – алюминиевый сплав» принимается равным 775 Дж/м²;

φ – угол в основании капли жидкости, град.

Алюминиевый сплав АЛ7 нагревали в лабораторной печи до температуры 750⁰С и наносили с высоты 20-30 мм в виде капель на изучаемые поверхности образцов при комнатной температуре и при 600⁰С, что близко к рабочей температуре поверхности пресс-формы.

Измерение угла проводили по следующей методике: фотографировали профильные изображения капель с помощью бинокулярного микроскопа МБС-9 при увеличении $\times 12$, а затем с помощью компьютерной программы ImageTool измеряли требуемый угол φ . Для каждого объекта производили не менее 4 измерений. Результаты измерения показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Значения краевых углов смачивания после различных видов азотирования

Вид обработки	Угол φ , град	
	20 ⁰ С	600 ⁰ С
Газовое азотирование	149,72	144,38
ИПА	148,53	156,50

Видно, что при нанесении капли на холодную поверхность значения величины углов близки, а при предварительном подогреве до 600⁰С поверхность различия в углах смачивания более существенны. Расчетная величина адгезии W_a для газового и ИПА равна 145 и 64,27 Дж/м² соответственно, т.е. снижается более, чем в 2 раза. Это согласуется с особенностями фазового состава после этой обработки: отсутствием хрупкой ξ - фазы (Fe_2N) на поверхности и в виде протяженных частиц в диффузионной зоне.

Таким образом, по характеру распределения фазовых и структурных составляющих, по свойствам азотированного слоя, а также адгезионной стойкости для пресс-форм работающих в контакте с расплавом алюминия, из возможных способов азотирования лучшим является ИПА, которое позволяет сформировать на поверхности слой твердого раствора азота без охрупчивающих включений нитридов Fe_2N .

ОСОБЕННОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ТИТАНОВЫХ ЗАГОТОВОК ПРИ СВАРКЕ ВЗРЫВОМ

Павлюкова Д.В., Мали В.И., Батаев А.А., Батаев И.А., Макарова Е.Б.

Россия, Новосибирский государственный технический университет, pavlyukova_87@mail.ru

PARTICULARITIES OF PLASTIC DEFORMATION OF TITANIUM SHEET BARS SURFACE LAYERS DURING THE EXPLOSION WELDING PROCESS

Pavliukova D.V., Mali V.I., Bataev A.A., Bataev I.A., Makarova E.B.

Abstract

Particularities of plastic flow localization in titanium alloy VT23 during a high-speed collision with VT1-0 titanium plates have been investigated. Structural survey of "VT1-0 – VT23" four-layered composite gives evidence about the formation of clearly seen localized flow bands. Presence of α - and β -titanium phases allows to estimate a character of plastic flow in localized zones of material. Microprobe analysis of vortex zones located near crests and trough of waves suggests that the melted zones are composed of the mixture of titanium alloy and α -titanium.

Аннотация

Исследованы особенности локализации пластического течения в титановом сплаве ВТ23 в процессе высокоскоростного соударения с пластинами титана марки ВТ1-0. Структурные исследования четырехслойного композита «ВТ1-0 – ВТ23» свидетельствуют об образовании явно выраженных полос локализованного течения. Присутствие в сплаве фаз α - и β -титана позволяет