

соба штифт-шайба ($v = 9,8$ м/с, $p = 0,14$ МПа). В качестве контртела использовалась закаленная шайба из стали 45. Покрытия из карбида титана имеют несколько лучшую износостойкость, чем образцы из стали 45. Покрытия из карбида титана с никель-молибден-фосфорной матрицей характеризуются почти в 2 раза меньшей интенсивностью изнашивания в сравнении со стальными образцами и покрытиями из чистого карбида титана.

Таким образом, плакирование частиц карбида титана позволяет значительно улучшить процесс подачи порошка в плазменную струю, снизить скорость окисления частиц TiC и потери углерода при напылении, а также улучшить физико-механические и эксплуатационные свойства покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mash D.R., Weare N.E., Walker D.L. Process variables in plasma - jet Spraying // Journal of metals. - 1961. - No 7. - С. 473-478.
2. Голего Н.Н., Горбачевская Л.А., Ковальчук Ю.М. Осаждение никель-молибден-фосфорных покрытий на порошкообразные материалы // Порошковая металлургия. - Киев, 1975. - Вып. 11. - С. 5-9.
3. Blume F., Eckart G., Jarmak Ju. Plasmaspritzen verschleißbeständiger TiC - Schichten // Schweißtechnik. - Berlin, 1986. - No 6. - С. 251-253.

УДК 621.793:669.018.4

Е.Н. СТАШЕВСКАЯ

АНАЛИЗ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ИХ ИСПЫТАНИЙ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ УСТАЛОСТЬ

Самофлюсующиеся твердые сплавы на никелевой основе хорошо зарекомендовали себя в качестве защитных покрытий деталей, работающих в условиях повторно-переменного воздействия давлений и температур. Например, срок службы упрочненного стеклоформирующего пуансона возрос в 3-4 раза по сравнению с серийным из чугуна. Одной из причин выхода из строя упрочненных деталей является растрескивание покрытия и основы.

Исследование термической усталости проводили на биметаллических круглых "свободных" образцах: покрытие - из сплава ПГ-Ср4 или ПГ-Ср2, основа - чугун СЧ20. Образцы нагревались в муфельной печи до 873 К, охлаждались до комнатной температуры в воде.

Анализ разрушения в результате длительной термической усталости показал [1], что количество трещин возрастает с увеличением продолжительности испытаний, т.е. с возрастанием количества циклов нагружения. Образцы с покрытием выдерживали меньшее количество циклов, чем образцы без покрытия. В образцах из твердого сплава и чугуна в исходном состоянии трещин немного. Они имеют вид линейных отрезков с редкими отростками. Такого вида трещины характерны для хрупких материалов. При повторном термическом воздействии наибольшие напряжения возникают в других местах. Если вначале скорость развития трещин была относительно велика, то по мере их распространения вглубь постепенно падала. Лишь в редких случаях трещина

успевала пройти через все сечение. При дальнейших испытаниях интенсивно развивались лишь одна или две трещины. Все трещины начинались непосредственно у поверхности круглого образца.

Исследовались образцы с покрытиями в исходном состоянии и после испытаний на термическую усталость. Микротвердость поверхностных слоев образцов измерялась с помощью прибора ПМТ-3.

Микротвердость образцов измеряли вдоль поверхности на расстоянии 0,05...0,1 мм от края через 0,1 мм, перпендикулярно к поверхности через 0,05 мм, вдоль трещины на расстоянии 0,03...0,06 мм от нее через 0,05 мм.

Микротвердость сплава ПГ-Ср4 в биметаллических образцах, испытанных на термический удар, составляет 4650...7680 МПа, сплава ПГ-Ср2 — 2140...4330 МПа. Для сплава ПГ-Ср4 при количестве циклов 38 и 100 "пик" микротвердости сместился вправо, в сторону увеличения по сравнению с микротвердостью исходной структуры. При 200 циклах значения микротвердости сместились влево, однако "пик" микротвердости идентичен "пику" для исходной структуры. После 200 циклов (образцы разрушились) "пик" микротвердости смещен влево. Микротвердость образцов из сплава ПГ-Ср2 не изменилась. Микротвердость их, измеренная около трещин, меньше, чем вдали от трещин. Вероятно возле трещин структура разрыхлена, что и оказывает влияние на микротвердость образцов.

Металлографический анализ при увеличении в 315 раз показал следующее. Сплав ПГ-Ср4 имеет структуру среднезернистую, неоднородную с небольшим количеством пор. В выходном состоянии структура сплава ПГ-Ср2 среднезернистая, в некоторых местах крупнозернистая, имеются поры.

Самофлюсующиеся сплавы нанесены на основу из чугуна. Чугун после нанесения и обработки покрытий имел перлитную или перлитоферритную структуру (около 20 % феррита). В основе наблюдается зона повышенной тривимости (зона термического влияния), толщина которой, как правило, равна толщине слоя покрытия.

В процессе испытания на термическую усталость после 100 циклов трещины в сплаве тонкие, параллельные, переходящие в чугуне в одну большую. Сплав ПГ-Ср4 имеет среднезернистую структуру, ближе к основе зерна укрупняются. У сплава ПГ-Ср2 — крупнозернистая структура, у поверхности зерна меньше, много пор.

После 200 циклов нагружения на поверхности образцов имеются скалывающиеся и сколовшиеся частицы, крупные поры. В сплаве ПГ-Ср2 направление трещин — параллельное и перпендикулярное к поверхности образца, много пор.

В процессе испытаний образцов происходит разрыхление и разрушение графитных включений. Кислород воздуха проникает на их границы, образуются оксиды, которые способствуют возникновению и развитию трещин. Развитие трещин наблюдается во всей графитной колонии. Трещины распространяются в зону перехода между чугуном и сплавом. При увеличении числа циклов графит начинает разрушаться, высвобождается.

Термическая усталость является результатом действия переменных напряжений, возникающих при температурных изменениях в детали. Нагрев и охлаждение биметаллической детали вызывает неравномерные деформации, что также приводит к возникновению напряжений. Термическая усталость — про-

цесс, идущий во времени. Действие повторных нагревов и охлаждений сопровождается сложным комплексом явлений: окислением материала, изменением диффузионной подвижности атомов, старением, рекристаллизацией, ползучестью, "ростом" чугуна, возникновением остаточных напряжений (в частности, в результате различия коэффициентов термического расширения сплавов и основы) и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сташевская Е.Н., Кардаполова М.А. Термостойкость сплавов на никелевой основе // Машиностроение и приборостроение. – Мн., 1977. – Вып. 9. – С. 37–39.

УДК 621.983.073.048.7:621.373.826

Г.Я. БЕЛЯЕВ, С.С. ДРОЗДОВ,
В.Н. КОВАЛЕВСКИЙ, Э.А. КОЛЧАНОВ,
М.А. МИШКИНА, В.Г. ОРЛОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ ПРИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИИ

В настоящее время все более широкое применение находит такой метод упрочнения инструментальной оснастки, как электроискровое легирование (ЭИЛ) [1, 2], заключающийся в импульсном тепловом и механическом воздействии искрового разряда на металл. Поток электронов вызывает локальный разогрев электрода, а поперечное магнитное поле создает высокое давление в плазменном шнуре разряда. На поверхности электродов появляются объемные источники теплоты, способствующие возникновению эрозийных лунок на аноде и катоде с тремя зонами: испарения, плавления и напряженного состояния [3]. Зона напряженного состояния возникает за счет волны термических и термомеханических напряжений в результате импульсного нагрева, реактивного действия плазменной струи. Причем имеют место напряжения как растягивающие, так и сжимающие. Высокие растягивающие напряжения на рабочей поверхности электрода как раз и являются основной причиной образования трещин при ЭИЛ деталей. Кроме того, электроискровое легирование может сопровождаться снижением степени упрочнения поверхностных слоев за счет термических эффектов, вызывающих рекристаллизационные процессы и рост зерен в приповерхностных слоях детали.

Высокие скорости термического нагружения, обусловленные интенсивным теплоотводом от нагретых тонких поверхностных слоев детали, могут стать причиной образования микротрещин за счет термоусталостных явлений [2]. Значительную роль в формировании износостойкого покрытия играет материал подложки, который должен обеспечивать необходимую прочность сцепления покрытия с основой и его работоспособность в условиях нагружения.

Значительным недостатком электроискрового легирования является ограниченная толщина обработанного поверхностного слоя. Можно предполо-