

ротвёрдости наплавленного металла по сравнению с основой; довольно широкая зона термического влияния; наличие внутренних дефектов.

В рамках разработки технологии выполнена восстановительная наплавка гребешков бандажных полок турбинных лопаток. Технология основывается на лазерной наплавке и родственном ей методе прямого лазерного выращивания, которое является новейшим и актуальнейшим методом обработки и создания материалов. Наплавку производили на предварительно подготовленные гребешки бандажных полок лопаток га-

зотурбинного двигателя. В качестве наплавленного материала использовались порошки жаропрочных сплавов, применяемые в турбиностроении. Полученные валики характеризуются малой зоной термического влияния и плотной структурой. Геометрия наплавленных валиков отличается от известных методов припуском на последующую размерную обработку в пределах нескольких сотен микрон.

Показан положительный экономический эффект применения разрабатываемой технологии по сравнению с существующими аналогами.

УДК 621.791.9

ПОВЫШЕНИЕ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ

©2016 С.П. Мурзин, М.В. Блохин, С.А. Афанасьев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

ADJUSTMENT OF WEAR RESISTENCE COATING ADHESION STRENGTH ON AIRCRAFT ENGINES PARTS BY THE LASER MACHINING

Murzin S.P., Blokhin M.V., Afanasiev S.A. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The work presents a method to increase the adhesion strength of wear-resistant coating that based on titanium carbide and heat-sensitive Ni-Al alloy, which deposited on a substrate of alloy AL4 which is possible with implementation modes that provide high-speed melting of the upper layer of substrate without remelting of all volume of the coating. As the melting temperature of aluminum alloy is much less than the melting point of Ni and TiC, occurs a fusing pores and cracks, takes place the welding of coating and substrate.

Преимущества газотермических методов нанесения покрытий обусловлены широким выбором материалов для напыления; возможностью нанесения покрытий на изделия из различных материалов; высокой производительностью процесса, возможностью механизации и автоматизации; достаточной экономичностью метода при изготовлении деталей машин различной формы. На прочность соединения частиц при напылении существенное влияние оказывает длительность взаимодействия, определяемая периодом кристаллизации частиц, изменяющимся в зависимости от температуры перегрева частиц и температуры подогрева основы. При газотермических способах нанесения покрытий некоторого увеличения заполнения контактной поверхности очагами схватывания

достигают повышением удельной мощности плазменной струи в пределах допустимых значений, не допуская характерного лучеобразного разбрызгивания при формировании покрытия. Повышение удельной мощности плазменной струи увеличивает уровень остаточной напряжённости, происходит интенсивное трещинообразование и отслоение покрытия. Причиной образования остаточных напряжений являются: высокие градиенты температур, неоднородная пластическая деформация, неоднородное изменение удельных объёмов при фазовых превращениях, диффузии и химических реакциях из-за высоких скоростей охлаждения. Одним из наиболее распространённых термических методов регулирования свойств покрытий, позволяющим повысить их качество, является по-

вышение температуры основы за счёт либо предварительного подогрева изделия, либо плазмой в пятне напыления.

Лазерная обработка нанесённых покрытий в этом случае предпочтительнее проплавления в газовой печи, плазменной струе или высокочастотным нагревом. Она имеет свои характерные особенности, обусловленные локальностью действия, высокими плотностями мощности ($q = 10^7 \dots 10^9$ Вт/м²) и скоростями обработки ($v = 5 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^2$ м/с). Важнейшей особенностью лазерной обработки, обеспечивающей кратковременное расплавление напылённого слоя и последующее охлаждение с высокими скоростями, является сохранение легирующих элементов, содержащихся в предварительно нанесённых напылением покрытиях, и их равномерное распределение по глубине оплавленной зоны. Поэтому лазерное оплавление может быть прогрессивным процессом для улучшения свойств напылённых покрытий на тяжело нагруженных участках поверхности.

Повышение адгезионной прочности износостойкого покрытия детали двигателя летательного аппарата на основе карбида титана и терморегулирующего никель-алюминиевого сплава, нанесённой на алюминиевый сплав АЛ4, возможно при реализации режимов, обеспечивающих высокоскоростное плавление верхнего слоя основы без переплавления всего объёма покрытия. Реализация таких режимов возможна, поскольку температура плавления доэвтектидного алюминиевого сплава системы Al-Si не превышает $T_{пл} \approx 850 \dots 900$ К, что намного ниже температуры плавления Ni ($T_{пл} = 1725$ К) и TiC ($T_{пл} = 3450 \dots 3550$ К). Происходит заплавление пор, трещин, осуществляется приварка покрытия к основе.

В отличие от сталей и чугунов зона лазерного влияния Al-сплавов состоит фактически из одного слоя, полученного закалкой из жидкого состояния, т.е. зоны оплавления. Зона термического влияния практически отсутствует. Структура сплава АЛ4 после закалки и старения представляет собой пер-

вичные светлые зерна α - твёрдого раствора и эвтектику α +Si. Имеет место выделение в стабильном и метастабильном состояниях различных интерметаллидных фаз и эвтектического кремния. В результате лазерной обработки в режиме плавления основы происходит повторная кристаллизация алюминиевого сплава. Высокие скорости нагрева и охлаждения обуславливают образование мелкодисперсной квазиэвтектической (α -фаза+эвтектика) структуры с размером зерна $r_3 = (8 \dots 10) \cdot 10^{-6}$ м и микротвёрдостью $H_\mu = 100 \dots 180$ кг/мм², превосходящей значение микротвёрдости для эвтектики в исходной структуре ($H_\mu = 90 \dots 140$ кг/мм²) и для первичных α -кристаллов ($H_\mu = 70 \dots 90$ кг/мм²).

Происходит перенасыщение твёрдого раствора за счёт растворения интерметаллидных фаз и кремния. Остроугольные фазы в исходной структуре эвтектики в результате лазерного оплавления приобретают сферoidalную форму, что приводит к изменению механических свойств приповерхностного слоя основы.

Оплавление алюминиевого сплава лазерным излучением и быстрая кристаллизация не приводят к образованию пор и трещин в приповерхностном слое основы, так как процесс кристаллизации сплава АЛ4, обладающего пониженной склонностью к образованию горячих трещин, протекает в узком интервале температур и идёт сплошным фронтом. В этом случае между первичными кристаллами образуется сплошной слой мелкозернистой эвтектики, что препятствует образованию усадочных каналов между зёрнами твёрдого раствора и в местах контакта покрытия и основы. Для оптимальных режимов характерно незначительное (глубиной $h_n < 0,05 \cdot 10^{-3}$ м) оплавление покрытия никель-карбид титана практически без ухудшения микрогеометрии поверхности. Так как рекомендуемая толщина нанесённого покрытия перед шлифовкой не превышает $\delta_n = (0,4 \dots 0,5) \cdot 10^{-3}$ м, целесообразно проводить лазерную обработку перед механической.