

где E_0, E_n — модуль упругости материала основы и покрытия; $I_0, I_{об}$ — момент инерции сечения материала основы без покрытия и с покрытием; I_n — момент инерции сечения материала покрытия.

Результаты данных расчетов представлены в виде графиков зависимостей остаточных напряжений от глубины стравленного слоя (рис. 2).

Анализ графиков показывает, что с увеличением толщины основы остаточные напряжения увеличиваются. Остаточные напряжения в покрытиях на данном материале основы являются сжимающими, что обусловлено большим коэффициентом термического растяжения у материала основы, чем у покрытия.

Остаточные напряжения в покрытии из самофлюсующегося твердого сплава имеют несколько большие значения, чем остаточные напряжения после упрочняющей термической обработки, например в стали с содержанием углерода 0,3 % после закалки в воде измеренные остаточные напряжения достигали 800 МПа [4].

Разработанное устройство по определению остаточных напряжений при проведении исследований обеспечивает надежную работоспособность и стабильные результаты измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д а в и д е н к о в Н.Т., Ш е в а н д и н Е.М. Исследование остаточных напряжений, создаваемых изгибом. — ЖТФ, 1939, т. 9, вып. 12, с. 37—39.
2. К о л е в К.С. Вопросы точности при резании металлов. — М.—Киев, 1961, с. 80—87.
3. С б р и ж е р А.Г., М а н о й л о Е.Д., Б о н д а р е в Е.А. Остаточные напряжения при упрочнении стальных деталей самофлюсующимися сплавами. — Сварочное производство, 1979, № 5, с. 9—11.
4. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под ред. Ю.М.Дахтина, А.Г.Рахштада. — М., 1980. — 238 с.

УДК 621.793.72

Н.В.СПИРИДОНОВ, канд. техн. наук,
Н.И.ЛУЦКО (БПИ)

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ КЕРАМИКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Для нанесения керамических покрытий до недавнего времени применялось преимущественно плазменное напыление. В последнее время возможности газопламенного напыления возросли за счет увеличения энергетических характеристик газокислородной струи. Это достигается применением газовых дюз для обжатия факела. Такие конструкции горелок позволяют напылять керамические материалы с температурой плавления до 2200 °С и достигать практически такой же прочности сцепления и коэффициента использования порошка, как при плазменном напылении.

Главными задачами, стоящими при напылении керамики, являются снижение хрупкости покрытия и повышение прочности сцепления с подложкой.

Чтобы предотвратить отслоение покрытий, происходящее из-за большой разницы в коэффициентах термического расширения напыленной керамики и стальной подложки, применяют три способа. По первому вначале напыляют порошок из металла основы, затем к нему постепенно добавляют керамический материал, а количество порошка металла основы убавляют и, наконец, переходят к напылению чистой керамики [1]. По второму способу покрытие армируют волокнами вольфрама или молибдена. Благодаря этому наблюдается изменение коэффициента термического расширения покрытия и увеличение его теплопроводности. Это приводит к выравниванию температурных полей, снижению термических напряжений, и в результате отслоение покрытия предотвращается [2].

По третьему способу напыление керамики ведут на предварительно напыленный подслоя из металла или сплава с коэффициентом термического расширения, имеющим промежуточное значение между коэффициентом термического расширения покрытия и основы. В качестве подслоя используют следующие материалы: NiCr, NiAl, NiCrAl, Mo [3, 4].

В настоящей работе с целью получения прочных износостойких покрытий исследовались возможности напыления керамических материалов с последующей обработкой их лазером.

Для проведения исследований была выбрана широко применяемая окись алюминия Al_2O_3 . Грануляция порошка составляла 0,02...0,05 мм. Напыление производилось плазменным и газоплазменным методами на установках УПУ-ЗД и ТРУ-БПИ (газопламенная установка, разработанная в Белорусском политехническом институте), при этом часть образцов напылялась с подслоем, а часть без него. В качестве подслоя на плоские образцы напылялся порошок NiAl. Толщина подслоя выдерживалась в пределах 0,08...0,1 мм при общей толщине покрытия не более 1,0 мм. В качестве подготовки поверхности использовалась дробеструйная обработка стальной дробью.

Замечено, что на образцах, на которые перед напылением керамики наносился подслоя, отслоений покрытий не наблюдалось; на образцах, напыленных без подслоя, они возникали довольно часто. Несколько реже наблюдалось отслоение у образцов, напыленных плазменным методом, что объясняется более высокими температурой и скоростью плазменной порошковой струи и соответственно более высокой прочностью сцепления керамического покрытия с основой. Коэффициент использования порошка при плазменном напылении по этой же причине также был несколько выше, что вызывает необходимость доработки конструкции газопламенной горелки специально для напыления керамики.

После проведения напыления часть образцов обрабатывалась лазером на CO_2 в непрерывном излучении (поверхностная плотность 10^4 Вт/см², скорость относительного перемещения 700 мм/мин). Обработка велась зонами шириной 1,5...2 мм при шаге 6...8 мм. Глубина обработанной лазером зоны не превышала 0,3...0,5 мм, при этом в керамическом слое образовывалась канавка, а вокруг нее наблюдалось значительное уплотнение покрытия и сильная диффузия покрытия и основы (или подслоя). Все упрочненные образцы шлифовались эльборовым кругом со съемом слоя толщиной приблизительно 0,1 мм. После этого все образцы испытывались на износ по ускоренной методике на установке торцевого трения при контактном давлении 11 МПа и ско-

рости скольжения 0,333 м/с. Износ определялся при помощи профилографа-профилометра модели 252.

Ускоренные испытания на износостойкость предварительно показали, что износ образцов, обработанных лазером, примерно в 1,5...2 раза ниже, чем у образцов, не проходивших лазерную обработку. Это позволяет предположить, что обработка лазером способствует лучшему схватыванию покрытия с основой и улучшению его физико-механических свойств. Кроме того, очевидно, образованные лазером канавки являются своеобразным накопителем продуктов износа, оказывающих наиболее сильное влияние на интенсивность изнашивания, и одновременно смазочными карманами, что значительно повышает износостойкость покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпинос Д.М., Зильберберг В.Г. Повышение прочности сцепления плазменных покрытий с деталью. — Порошковая металлургия, 1972, № 3, с. 106—107.
2. Карпинос Д.М., Зильберберг В.Г., Клименко В.С. Плазменные армированные керамические покрытия. — В сб.: Защитные высокотемпературные покрытия. Л., 1972, с. 100—106.
3. Messbacher A. Thermisches Spritzen im Fludtriebwerkbaue. — Werkstattstechnik, 1975, № 10, p. 619—624.
4. Randa swamy S., Her man H., Sa fa i S. Thermal expansion study of plasma-sprayed oxide coatinds. — Thin Solid Films, 1980, № 1, p. 43—52.

УДК 621.785

О.С.КОБЯКОВ, канд. техн. наук,
Е.Г.ГИНЗБУРГ, Н.Я.ШЛЯХТЕНКО (БПИ)

ЗОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Современные источники нагрева, такие как: лазерный, плазменный, электронный позволяют концентрировать значительную тепловую мощность на ограниченной поверхности упрочняемых деталей. Интенсивный отвод тепла от малой массы нагретого металла способствует большим скоростям охлаждения (до $10^4 \dots 10^7$ °С/с) через теплопроводящую подложку, что приводит к возникновению ряда фазовых, структурных и аллотропических превращений, обуславливающих резкое повышение прочностных и износостойких свойств металла.

Нами исследован процесс упрочнения поверхности сталей путем зонной закалки в твердой фазе и из жидкого состояния с помощью газового разряда, формирующего локальную зону нагрева диаметром $(1 \dots 1,5) 10^{-3}$ м. При упрочнении наибольший интерес представляют процессы, основанные на фазовых превращениях, происходящих при резком охлаждении металла и приводящих к образованию мартенситной структуры.

Игольчатое строение мартенсита, его высокая твердость (HRC₃ 63...67) являются одной из причин повышенной износостойкости мартенситного слоя. Сильная взаимная разориентация межатомных плоскостей кристаллов мартенсита затрудняет их взаимное перемещение и оказывает большое сопротивление пластической деформации. Кроме того, разориентация плоскостей соз-