

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрельницкий В.Е., Падалка В.Г., Вакула С.И. Некоторые свойства алмазоподобных углеродных пленок, полученных при конденсации плазменного потока в условиях использования высокочастотного потенциала // Журн. техн. физики. – 1978. – № 2. – С. 377–381.
2. Свойства вакуумно-плазменных покрытий на основе нитрида титана / В.М. Береснев, М.П. Борушко, А.П. Любченко и др. // Диффузион. насыщение и покрытия на металлах. – Киев: Наук. думка, 1983. – С. 59–63.
3. Бабук В.В., Ивашенко С.А., Моисеев С.И. Изменение исходной шероховатости плоских деталей при нанесении покрытий из нитрида титана // Машиностроение. – Мн.: Выш. шк., 1983. – Вып. 8. – С. 88–90.

УДК 621.78.019.84

Н.В. СПИРИДОНОВ, А.Б. ПАНКОВ, Т.Э. ОПЕКУНОВА

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ОПЛАВЛЕНИЯ НА СТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ

Использование самофлюсующихся сплавов системы Ni–Cr–B–Si–C позволяет получать покрытия высокой износ- и коррозионной стойкости. Покрытия наносят плазменным или газоплазменным напылением с последующим оплавлением. Наряду с традиционными методами оплавления – печным, индукционным, газовой горелкой, сопровождающимися объемным нагревом детали, все большее применение находит оплавление источниками локального нагрева, в частности лучом лазера.

Исследования структуры оплавленными лазером покрытий, их эксплуатационных характеристик, и в частности коррозионной стойкости, проводились на цилиндрических образцах из стали 45 диаметром 16 мм и высотой 8 мм. Покрытия толщиной 0,6...0,8 мм наносили на установке плазменного напыления УПУ-ЗД при силе тока $I = 250$ А, напряжении $U = 90$ В, дистанции напыления 150 мм. Оплавление производили на установке непрерывного действия ЛГН-702: мощность излучения – 800 Вт, скорость перемещения луча – 20...150 мм/мин, диаметр фокального пятна – 1...5 мм. В качестве эталонных применялись образцы с покрытиями, оплавленными газовой горелкой "Москва" при 1050...1080 °С.

Металлографические исследования выполнялись на оптическом микроскопе Neophot-21 с использованием методов цветного химического и электрохимического травления.

Рентгенофазовый анализ проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3,0 по стандартной методике.

Исследовалась коррозионная стойкость покрытий в 5 %-м растворе H_2SO_4 . Поляризационные кривые снимали на потенциостате П-5827М при температуре 20 °С в условиях естественной аэрации. Применяли трехэлектродную прижимную ячейку с площадью рабочей поверхности исследуемого электрода 1 см². В качестве вспомогательного электрода использовали платиновую проволоку. Электродом сравнения служил насыщенный хлорсеребряный электрод. Скорость развертки потенциала составляла 1 мВ/с.

Установлено, что, несмотря на различия в химическом составе, покрытия, полученные из самофлюсующихся сплавов ПН-ХН80С3Р3 и ПН-ХН80С4Р4, состоят из одних и тех же фаз: твердого γ -раствора на основе никеля ($\gamma - Ni$), борида хрома CrB с орторомбической решеткой, карбида хрома Cr_7C_3 с гексагональной решеткой, борид никеля Ni_3B с орторомбической решеткой и силицида никеля Ni_5Si_2 с гексагональной решеткой.

Матрицей сплавов является твердый γ -раствор на основе никеля дендритной и ячеисто-дендритной структуры. Борид никеля входит в состав пластинчатой эвтектики CrB– Ni_3B (рис. 1, а).

Упрочняющими структурными составляющими являются карбид хрома Cr_7C_3 , формирующийся в виде шестигранных стержней и звездообразных зерен эвтектики $Cr_7C_3 - Ni$ (рис. 1, б), и борид хрома CrB, кристаллизующийся в виде вытянутых или крестообразно расположенных ромбов (рис. 1, в).

Силицид никеля Ni_5Si_2 кристаллизуется по перитектической реакции на границах зерен никеля. В сплаве ПН-ХН80С4Р4 концентрация бора увеличивается на 1 % по сравнению с ПН-ХН80С3Р3, и как следствие возрастает содержание в нем борид хрома. Это нужно учитывать при выборе режимов получения покрытия.

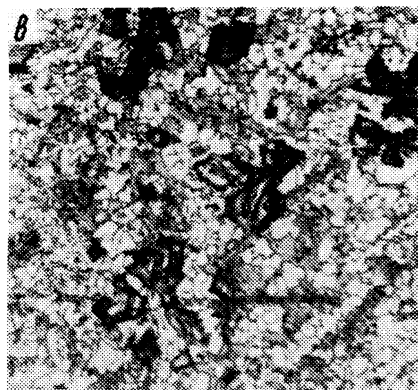
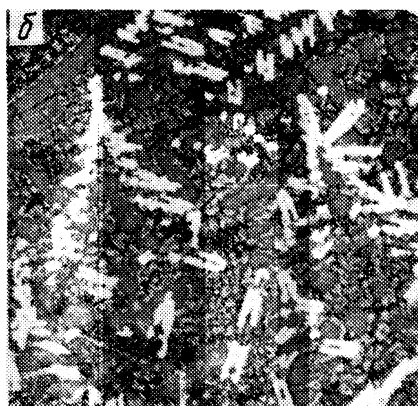
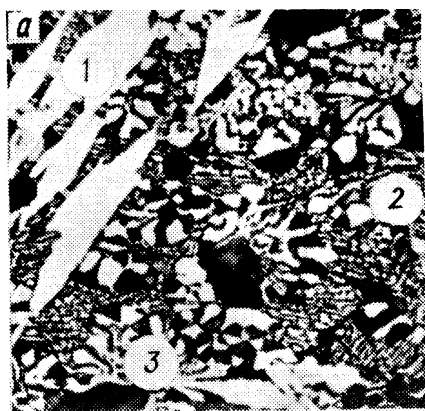


Рис. 1. Микроструктура покрытий из самофлюсующихся сплавов, оплавленных лучом лазера:

а – сплав ПН-ХН80С3Р3 ($\times 1200$); б – карбиды хрома (светлые) в сплаве ПН-ХН80С3Р3 ($\times 700$); в – бориды хрома (темные) в сплаве ПН-ХН80С4Р4 ($\times 700$); 1 – карбид хрома Cr_7C_3 ; 2 – пластинчатая эвтектика CrB– Ni_3B ; 3 – скелетная эвтектика $Cr_7C_3 - Ni$

Упрочнение покрытий из самофлюсующихся сплавов на основе никеля после лазерной обработки достигается за счет создания мелкодисперсной, с равномерным распределением упрочняющих фаз по объему структуры [1]. Однако, учитывая, что самофлюсующиеся сплавы на основе никеля являются эвтектическими, нужно отметить влияние эвтектик на их упрочнение. Решающими факторами, от которых зависит структура оплавленного покрытия, являются температура нагрева и скорость его охлаждения. Температуры, достигаемой при лазерном нагреве, достаточно для плавления упрочняющих фаз. Последующее охлаждение с высокими скоростями приводит к значительному переохлаждению и формированию эвтектических структур. При исследованных режимах оплавления карбиды и бориды хрома, входящие в состав скелетных эвтектик, образуют разветвленную арматуру колонии, а ведомые менее прочные фазы никеля и бориды никеля заполняют промежутки между их ответвлениями. Армирование более пластичной матричной фазы скелетной фазой позволяет получать оптимальное сочетание прочностных и пластических характеристик сплава [2] и увеличивать износостойкость покрытий, оплавленных лучом лазера [3].

Для выяснения процесса разрушения покрытия в 5 %-м растворе H_2SO_4 исследовалась стойкость структурных составляющих при анодном гальвано-

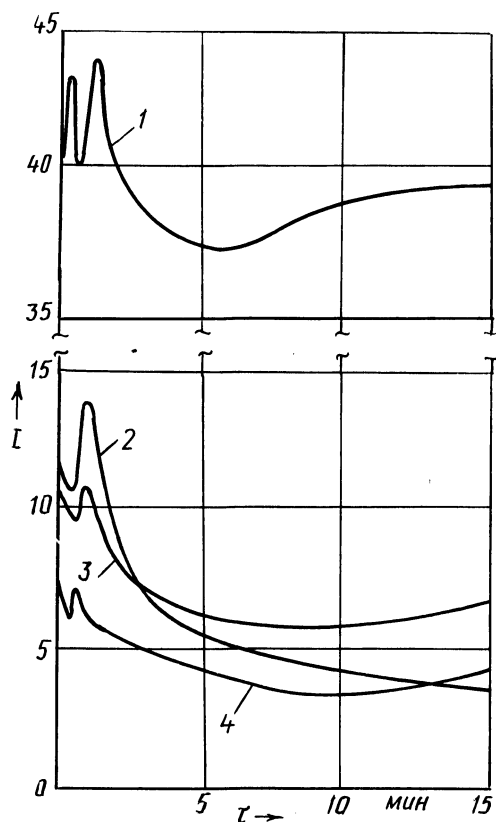


Рис. 2. Изменение интенсивности I рентгеновских линий фаз сплава ПН-ХН80СЗР3 в процессе его анодного гальваностатического растворения в 5 %-м растворе H_2SO_4 :

1 - Ni ($2\theta = 52^\circ$); 2 - Ni_3B ($2\theta = 42^\circ$); 3 - CrB ($2\theta = 38^\circ$); 4 - Cr_7C_3 ($2\theta = 39^\circ$)

статическом растворении покрытия из сплава ПН-ХН80С3Р3, оплавленного лучом лазера при скорости перемещения луча 150 мм/мин и диаметре фокального пятна 3 мм. Рентгенограммы были получены после анодного растворения образцов при плотности тока $i = 25 \text{ mA/cm}^2$. Изменение интенсивности I рентгеновских дифракционных линий фаз в процессе растворения сплава показано на рис. 2. Интенсивность линий никеля не меняется после 16 мин травления, а линий карбидов и боридов хрома — несколько снижается, что связано с их частичным растворением. Интенсивность линий силицида никеля (на рисунке не приведена) не изменяется. Наименее стойкой является фаза Ni_3B , которая растворяется практически полностью. В начале процесса растворения наблюдается колебание интенсивности линий фаз, указывающее на сложный процесс коррозии. Это связано с появлением после лазерного оплавления тонкодифференцированных эвтектик $\text{CrB-Ni}_3\text{B}$ и $\text{Cr}_7\text{C}_3\text{-Ni}$. Растворение одной из составляющих эвтектики приводит к уменьшению интенсивности ее линий на рентгенограмме и увеличению интенсивности линий другой фазы.

Для сравнения коррозионной стойкости покрытий из сплавов ПН-ХН80С3Р3 и ПН-ХН80С4Р4, оплавленных горелкой и лучом лазера, и оценки влияния на нее слоя аморфного бора, наносимого на покрытия перед оплавлением лучом лазера, снимали анодные поляризационные кривые сплавов, представляющие зависимость между плотностью анодного тока i и потенциалом электрода φ (рис. 3). Токи активного растворения и пассивации покрытий, оплавленных горелкой, практически равны и примерно в 4 раза больше, чем для покрытий, оплавленных лучом лазера. При потенциалах от $\varphi = +259$ до $\varphi = +800$ мВ покрытия, оплавленные лазерным лучом, пассивируют-

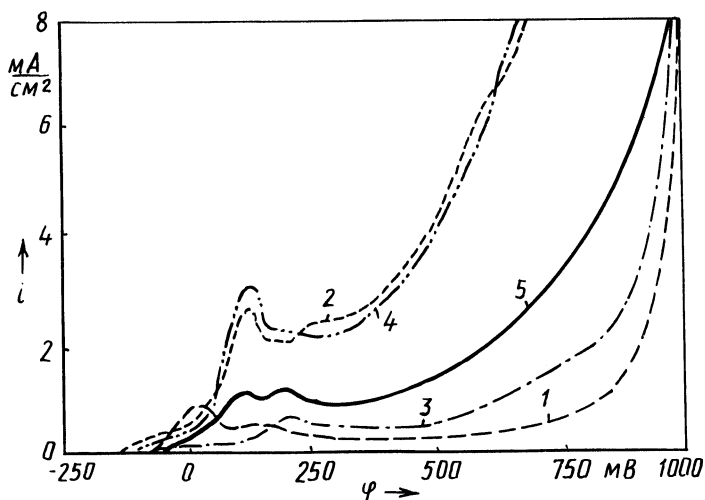


Рис. 3. Поляризационные кривые сплавов при разрушении в 5%-м растворе H_2SO_4 : 1 — сплав ПН-ХН80С3Р3, оплавленный лучом лазера; 2 — ПН-ХН80С3Р3, горелкой; 3 — ПН-ХН80С4Р4, лучом лазера; 4 — ПН-ХН80С4Р4, горелкой; 5 — ПН-ХН80С3Р3, оплавленный лучом лазера с предварительным нанесением слоя аморфного бора

ся, причем ток полной пассивации сплава ПН-ХН80С4Р4 в 2 раза больше, чем сплава ПН-ХН80С3Р3. Таким образом, коррозионная стойкость покрытий, оплавленных лучом лазера, выше, чем покрытий, оплавленных газовой горелкой. Это можно объяснить наблюдаемым после лазерной обработки измельчением структуры сплавов и образованием разветвленной пространственной эвтектической структуры стойких фаз, способствующей экранированию менее стойких структурных составляющих.

Нанесение слоя аморфного бора на покрытие из сплава ПН-ХН80С3Р3 перед оплавлением лучом лазера приводит к увеличению примерно в 2 раза тока активного его растворения и тока полной пассивации, что свидетельствует о снижении коррозионной стойкости покрытия. По коррозионной стойкости покрытие, полученное оплавлением лучом лазера с предварительным нанесением слоя аморфного бора, занимает промежуточное место между покрытиями, оплавленными лучом лазера и газовой горелкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование метода оплавления сплавов системы Ni-Cr-Si-B / Н.В. Спиридонов, В.С. Ивашко, В.А. Протасевич и др. // Машины и нефтяное оборуд. - М.: ВНИИОЭНГ, 1982. - Вып. 8. - С. 21-22. 2. Т а р а н Ю.Н., М а з у р В.И. Структура эвтектических сплавов. - М.: Металлургия, 1978. - 311 с. 3. П р о т а с е в и ч В.А., С п и р и д о н о в Н.В., С а м о д е е в а Т.И., О п е к у н о в а Т.Э. Некоторые особенности влияния лазерной обработки на структуру и триботехнические свойства покрытий из самофлюсующихся сплавов // Тез. докл. 2-й всесоюз. конф. "Технол. упр. характеристиками узлов машин". - Кишинев, 1985. - С. 55-57.