

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕПЛОЗАЩИТА

С.С. Солнцев, Н.В. Исаева, В.В. Швагирева, Г.А. Соловьева

ЖАРОСТОЙКИЕ ЭМАЛЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ И ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

Жаропрочные сплавы и коррозионностойкие стали, обладая необходимыми показателями механической прочности при высоких температурах, не удовлетворяют требованиям в отношении жаростойкости. Присутствие в сплавах легирующих элементов, повышающих их жаропрочность, отрицательно влияет на окалиностойкость. Жаропрочные сплавы и коррозионностойкие стали склонны к поверхностному окислению, межкристаллитной коррозии при воздействии газового потока, обладают низкой стойкостью к агрессивным средам и общеклиматическим условиям. Нагрев сплавов и сталей в интервале температур 800–1000°C сопровождается образованием окалины, состоящей из фаз переменного состава (Cr_2O_3 , NiCr_2O_4 , Fe_2O_3 , CrFe_2O_3 и др.), а также рыхлых подокаленных слоев и зон внутреннего окисления, что вызывает существенное изменение химического состава и прочностных характеристик металла.

С целью повышения сопротивляемости сталей и сплавов высокотемпературной коррозии эффективны жаростойкие эмалевые покрытия, которые регламентируют окисление поверхности металлов и являются барьером на пути агрессивных сред. Жаростойкие эмалевые покрытия обладают прочным сцеплением с металлической подложкой, газоплотностью, высокой жаростойкостью, термостойкостью и коррозионной стойкостью при одновременном воздействии высоких температур и агрессивных сред. Покрытия выдерживают циклические нагрузки, тепловой удар и устойчивы к действию низких температур.

Для защиты коррозионностойких сталей разработаны и освоены жаростойкие стеклоэмалевые покрытия ЭВ-300-60М, ЭВ-27-1 и др. Аморфная структура матрицы покрытий, наличие объемной микрокристаллизации, оптимизация химического состава и регулирование соотношения тугоплавкой и стеклообразующих фаз обеспечивают высокую работоспособность стеклоэмалевых покрытий. Стеклоэмалевые покрытия обладают широким интервалом размягчения, высокой адгезией к металлической поверхности. Применение покрытий снижает окисление коррозионностойких сталей при температуре до 900°C в 6–8 раз. Кроме того, стеклоэмалевые покрытия применяются в качестве высокотемпературного электроизоляционного слоя (удельное объемное сопротивление при температурах 600–900°C составляет $4,5 \cdot 10^7 \div 4,2 \cdot 10^4$ Ом/см). Защитные свойства стеклоэмалевых покрытий приведены в таблице.

Защитные свойства жаростойких стеклоэмалевых покрытий

Покрытие (температура формирования)	Жаростойкость при 900°C, г/м ² ·ч, для образцов		Термостойкость, цикл, при испытании по режиму: 900 \pm 20°C	Коррозионная стойкость
	без покрытия	с покрытием		
ЭВ-300-60М (1160°C)	0,47	0,058	Более 150	Стойкость к продуктам сгорания топлива, работо- способность во всекли- матических условиях
ЭВ-27-1 (1170°C)	0,47	0,042	Более 200	

Для защиты жаропрочных сплавов разработаны и освоены стеклокристаллические покрытия ЭВК-103, ЭВК-103Л и др. Высокие эксплуатационные характеристики стеклокристаллических покрытий обеспечиваются их способностью к кристаллизации в процессе формирования (1200°С) и эксплуатации при температуре до 1000°С с выделением тугоплавких фаз. Кроме того, объемная микрокристаллизация и равномерное распределение мелкодисперсной кристаллической фазы способствуют увеличению коэффициента степени связности кремнекислородного каркаса (f_{Si}). По сравнению со стеклоэмалью у стеклокристаллических покрытий f_{Si} увеличивается с 0,48 до 0,73, что способствует образованию высококварцевой структуры гетерогенной системы покрытия и повышению основных эксплуатационных характеристик. Применение стеклокристаллических покрытий снижает удельную потерю массы образцов жаропрочных никелевых сплавов в продуктах сгорания топлива в интервале температур 980–1020°С в 5–10 раз. Покрытие выдерживает более 250 теплосмен при переменном нагреве и охлаждении. На рис. 1 приведена кинетика окисления жаропрочного никелевого сплава.

Стеклокристаллические покрытия отличаются повышенным сопротивлением абразивному износу благодаря наличию тонкодисперсной и твердой кристаллической фазы в составе покрытия.

Однако температура формирования стеклокристаллических покрытий (1180–1200°С) может привести к деформации и нарушению геометрии крупногабаритных тонкостенных деталей и узлов сложной конфигурации. Для применения в этих случаях рекомендованы покрытия нового класса – *реакционноотверждаемые* (ЭВК-103М, ЭВК-112 и др.), при разработке которых используется эффект реакционного отверждения при формировании покрытия путем введения химически активных добавок (бориды, легкоплавкие боросиликатные фритты и др.).

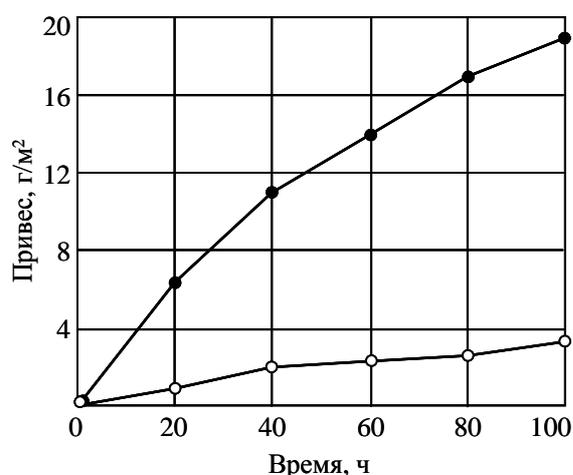


Рис. 1. Кинетика окисления при 1000°С жаропрочного сплава без покрытия (●) и с покрытием (○)

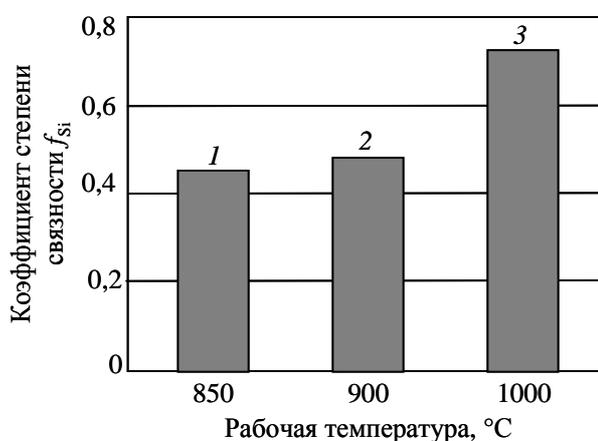


Рис. 2. Зависимость рабочей температуры жаростойких эмалевых покрытий (1, 2 – стеклоэмалевые покрытия; 3 – стеклокристаллические и реакционноотверждаемые покрытия) от коэффициента степени связности кремнекислородного каркаса

Введение активных добавок, способных взаимодействовать с тугоплавким стеклом с образованием жидкой боросиликатной фазы, которая скрепляет частицы фритты, позволило формировать покрытие на металлической подложке в широком температурном интервале (1140–1160°С) с сохранением основных эксплуатационных свойств.

На рис. 2 представлена зависимость рабочей температуры жаростойких эмалевых покрытий от степени связности кремнекислородного каркаса. Как показывают приведенные данные, наибольшей жаростойкостью обладают стеклокристаллические и реакционноотверждаемые покрытия типа ЭВК.

Разработанная технология приготовления и нанесения стеклоэмалевых, стеклокристаллических и реакционноотверждаемых покрытий на детали и изделия из коррозионностойких сталей и жаропрочных сплавов позволила обеспечить получение качественных покрытий с оптимальной толщиной, минимальной разнотолщинностью.

Жаростойкие эмалевые покрытия обеспечивают защиту изделий из коррозионностойких сталей и жаропрочных сплавов от воздействия агрессивных сред до температуры 1000°C, значительно превосходят покрытия, полученные физическими методами, и не имеют аналогов в мировой практике. Применение покрытий повышает ресурс и надежность работы изделий из жаропрочных сплавов и коррозионностойких сталей в 1,5–2 раза. Жаростойкие эмалевые покрытия на основе экологически чистых, недефицитных компонентов, полученные по традиционной шликерно-обжиговой технологии, не требующей сложного оборудования, внедрены на производстве большой номенклатуры деталей ГТД.