

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

УДК 669.15+621.793

**КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ  
С КОМПЛЕКСНЫМИ ТЕРМОДИФФУЗИОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ  
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ КАЛИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Басалай И.А. (УО «Белорусский национальный технический университет», г. Минск, Беларусь)

*В статье приведены результаты лабораторных исследований коррозионной стойкости углеродистых сталей с комплексными покрытиями, полученными при термодиффузионной обработке из порошковых насыщающих сред. Приводятся результаты опытно-промышленных испытаний некоторых видов изделий, эксплуатирующихся в условиях калийного производства.*

**Введение**

Развитие добывающей промышленности предъявляет весьма жесткие требования к рабочим свойствам изделий: их сопротивляемости износу, коррозионной стойкости в жидких и газообразных средах, в частности, в растворах солей. Увеличение коррозионных потерь и изменение характера коррозионных разрушений повышают требования к надежности оборудования и деталей машин которая, в значительной мере, определяется их коррозионной стойкостью.

Особенно остро проблема защиты деталей машин и оборудования от коррозии стоит в горнодобывающей промышленности, в частности, на разрабатываемых соляных месторождениях.

Особенностью технологических процессов на предприятиях калийного производства является непрерывность потоков по открытым желобам и трубопроводам большого количества солевых растворов, сухих и влажных калийных руд, сильвинитовых концентратов, а также отходов производства. Коррозионному и абразивному износу подвержены практически все детали горношахтного и обогащательного оборудования, особенно служащего для разработки пласта полезного ископаемого и транспортирования руды: элементы исполнительных органов комбайнов, звездочки и цепи конвейеров. На интенсивность износа и потерю их работоспособности большое влияние оказывают параметры окружающей среды: газовый состав атмосферы, ее влажность и температура, содержание в ней агрессивных веществ. Весьма агрессивными являются пыль и рассолы.

Около 90 % конструкционных материалов, используемых в отрасли, составляют углеродистые стали. Скорость их коррозии в этих условиях в отдельных случаях составляет 3-5 мм/год, поэтому повышение их стойкости при воздействии хлорсодержащих сред является острой необходимостью. Повышение надежности машин калийного производства решается за счет применения легированных сталей с соответствующей термической обработкой, применения специальных износостойких и коррозионностойких материалов, но в условиях всемирных тенденций к ресурсо- и энергосбережению использование дорогостоящих легированных сталей или периодическая замена пришедших в негодность элементов конструкций и механизмов не рациональны.

Разрушение деталей машин начинается с поверхности, поэтому именно к поверхностным слоям относятся вышеперечисленные требования. Во многих случаях наиболее эффективным путем повышения эксплуатационной стойкости изделия является создание защитных покрытий, полученных, например, газопламенным напылением, ионной металлизацией, поверхностным легированием [1].

В связи с этим все большее внимание уделяется поверхностному упрочнению. Одним из наиболее перспективных способов получения упрочняющих защитных покрытий на изделиях является термодиффузионное насыщение их поверхности одним или несколькими элементами из порошковых насыщающих сред, полученными методом внепечной металлотермии [2, 3]. Их экономичность заключается в том, что в качестве поставщиков основных насыщающих элементов используются не порошки чистых элементов, а их дешевые и недефицитные оксиды. Этот метод дает возможность получать различные по составу и свойствам металлооксидные композиции, использование которых при термодиффузионной обработке изделий приводит к формированию на поверхности обрабатываемых материалов защитных покрытий с соответствующими показателями физико-химических и эксплуатационных свойств. Термодиффузионные покрытия обладают 100 %-ной плотностью, высокой прочностью связи с основой. Технологический процесс получения покрытий термодиффузионным способом является высокопроизводительным и экономичным, обладает высокой универсальностью и простотой.

Целью данной работы является исследование коррозионной стойкости сталей с термодиффузионными покрытиями, полученными из разработанных порошковых насыщающих сред, при эксплуатации в агрессивных технологических средах калийного производства.

### Результаты исследований и обсуждение

Известно, что значительной агрессивностью по отношению к сталям обладают водные растворы солей, особенно хлористых. Повышенное содержание хлор-ионов придает морской воде и водным растворам хлористых солей повышенную агрессивность к большинству современных конструкционных материалов.

Для предварительного анализа коррозионной стойкости углеродистых сталей 20 и 45 с диффузионными покрытиями, полученными металлотермическим методом, использовали результаты сравнительных испытаний в 3 %-ном водном растворе хлористого натрия NaCl (таблица 1).

Для дальнейшего исследования выбраны покрытия с наименьшей потерей массы.

Режимы их получения и толщина приведены в таблице 2.

Лабораторные испытания коррозионной стойкости осуществлялись в 3 %-ном растворе сильвинитовой руды в технической воде при комнатной температуре. Подготовка растворов производилась непосредственно перед испытанием. Количество агрессивной среды брали из расчета 10-12 см<sup>3</sup> на 1 см<sup>2</sup> поверхности образца. Агрессивная среда менялась один раз в неделю.

Ускоренные испытания при повышенной температуре (50 и 80 °С) проводили в термостате. Оценку коррозионного разрушения оценивали по изменению массы образца, цвета и состояния поверхности, наличию зон отслоений и зон очаговой коррозии.

Исследовано также влияние концентрации раствора сильвинитовой руды и его температуры на скорость окисления сталей с разработанными покрытиями. Результаты испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 1 – Коррозионная стойкость углеродистых сталей с диффузионными покрытиями в 3 %-ном растворе NaCl ( $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\tau_{\text{исп}} = 70\text{ ч}$ )

Вид покрытия	Потеря массы, г/м <sup>2</sup>	
	Сталь 20	Сталь 45
Без покрытия	5,2	4,5
Хромирование (Cr)	7,2	0,6
Алитирование (Al)	5,6	5,3
Борирование (B)	10,0	13,0
Силицирование (Si)	15,0	12,0
Хромоалитирование (Cr-Al)	2,1	2,5
Бороалитирование (B-Al)	4,0	8,0
Хромоалитирование (Cr-Al)	3,0	1,5
Хромоникелирование (Cr-Ni)	0	0
Алюмосилицирование (Al-Si)	3,2	5,2
Хромоалюмосилицирование (Cr-Al-Si)	1,9	1,7
Хромоалюмоникелирование (Cr-Al-Ni)	0	0

Таблица 2 – Режимы термодиффузионной обработки и толщина формирующихся покрытий

Вид покрытия	Режим обработки		Толщина покрытия, мкм	
	$t, ^{\circ}\text{C}$	$\tau, \text{ч}$	Сталь 20	Сталь 45
B	900	6	100	85
	1000	6	110	100
Cr-Al	1100	6	250	200
Cr-Ni	1000	4	140	110
Al-Si	950	6	170	150
Cr-Al-Si	950	6	130	120
Cr-Al-Ni	1050	6	110	90

Таблица 3 – Влияние условий испытания на скорость коррозии (г/м<sup>2</sup> · сут) стали 45 с термодиффузионными покрытиями (время испытания 2 суток)

Вид покрытия	Концентрация раствора, %	Температура испытаний, $^{\circ}\text{C}$		
		20	50	80
Al-Si	5	0,25	1,25	1,50
	17	0,20	0,75	1,15
	пересыщенный	0,15	0,35	0,50
Cr-Al	5	4,0	0,75	0,30
	17	3,0	0,40	0,15
	пересыщенный	2,0	0,25	0,20
Cr-Ni	5	0	0	0
	17	0	0	0
	пересыщенный	0	0,05	0
Cr-Al-Si	5	1,0	0,60	0,80
	17	3,0	1,05	1,05
	пересыщенный	4,5	1,75	2,20
Cr-Al-Ni	5	0	0	0
	17	0	0	0
	пересыщенный	0	0	0
Без покрытия	5	4,5	6,0	7,5
	17	3,5	5,5	6,5
	пересыщенный	3,0	4,5	5,0

Как показали результаты, агрессивность раствора сильвинитовой руды уменьшается с увеличением ее концентрации. Это утверждение справедливо для всех температур испытания. С увеличением температуры рассолов коррозионная стойкость покрытий повышается.

Результаты длительных лабораторных испытаний при комнатной температуре (рисунок 1) показали, что почти все исследуемые покрытия в достаточной степени защищают от коррозии. Состояние поверхности покрытий в течение 30 суток (за исключением Cr-Al-Si) не изменялось. После 100 суток испытаний в случае хромоалюмосилицирования площадь пораженной коррозией поверхности образцов составила 25-30 %, наблюдалось изменение их размеров, частичное отслоение покрытий. Эти образцы были сняты с дальнейших испытаний. После 200 суток испытаний удельное изменение массы образцов из стали 45 с покрытиями на основе Cr-Al, Cr-Ni и Cr-Al-Ni составило соответственно 18,0; 2,0 и 0,03 г/м<sup>2</sup>.

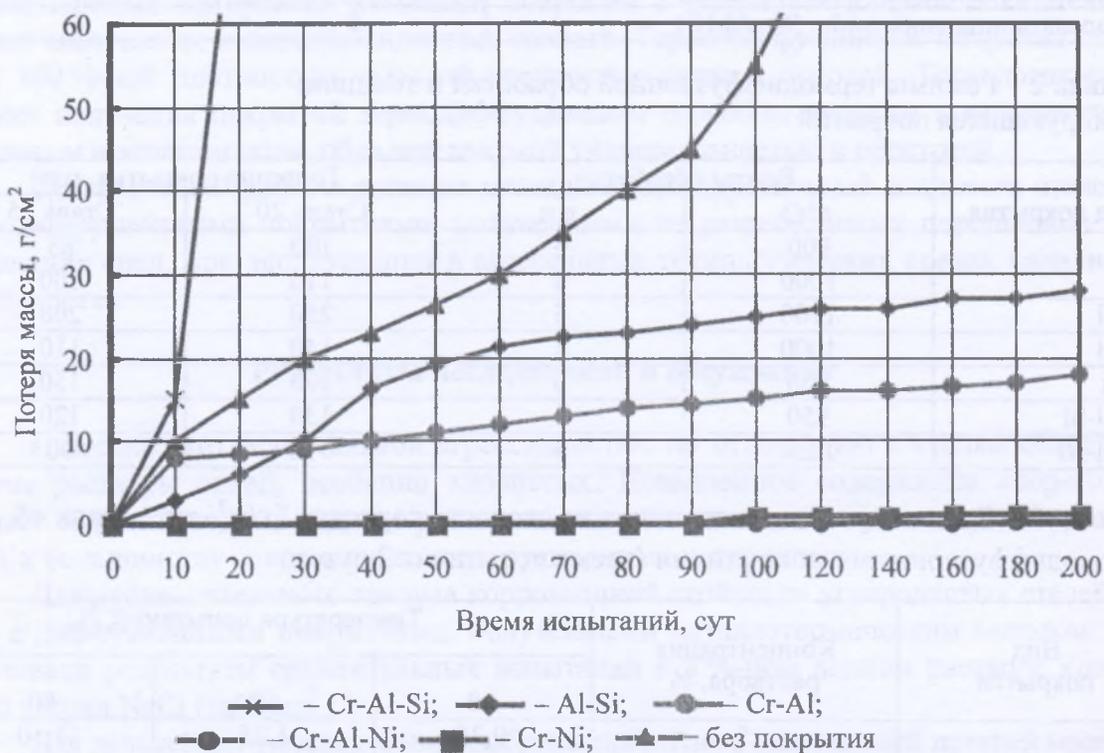


Рисунок 1 – Изменение показателя коррозионной стойкости стали 45 с покрытиями в зависимости от времени испытаний

Для опытно-промышленных испытаний использовали несколько видов быстроизнашивающихся изделий с исследуемыми покрытиями, эксплуатирующихся в непосредственном контакте с агрессивной средой. Изделия подвергали термодиффузионной обработке (таблица 2) после окончательной механической обработки. После упрочнения изделия не требовали дополнительных операций по очистке, обработанная поверхность оставалась чистой, без налипаний, полученные покрытия – равномерные по толщине, плотные, серого цвета.

Для производственных испытаний в условиях интенсивного коррозионного износа были переданы детали резьбовых соединений грунтовых насосов 5Гр-8 и 8Гр-8, изготовленные из стали 45 с комплексными покрытиями Cr-Ni и Cr-Al-Ni. Толщина диффузионного слоя составляла соответственно 110 и 90 мкм. Насосы, предназначенные для перекачивания насыщенного раствора NaCl + KCl, эксплуатируются на шла-

моотстойнике обогатительной флотационной фабрики при температуре промышленных сред 10-20 °С и влажности 100 %. Вследствие постоянной циркуляции, растворы хорошо аэрированы. Резьбовые детали насосов подвергаются интенсивной электрохимической коррозии, в результате чего быстро теряют работоспособность. Коррозионный износ углеродистых сталей в подобных условиях эксплуатации достигает 1,0-1,5 мм/год. При профилактическом осмотре насосов после эксплуатации в течение 6 месяцев на испытываемых деталях следов коррозии не обнаружено, все детали насосов использовали повторно.

Крепежные изделия и резьбовые детали, изготовленные из сталей 20 и 45 с боридными покрытиями, комплексными покрытиями на основе хрома и комплексными покрытиями на основе алюминия испытывали на конвейере солевотвала. Профилактическим осмотром после 5000 часов эксплуатации установлено, что изделия с покрытиями на основе бора и алюминия имели очень незначительный коррозионный износ поверхности, а поверхность изделий с хромоникелевым покрытием не имела следов коррозии. Разборку и сборку деталей проводили без применения повышенных усилий. Витки резьбы имели первоначальные размеры. Все обработанные резьбовые детали пригодны для дальнейшего применения.

### Заключение

Результаты проведенных лабораторных исследований и опытно-промышленных испытаний деталей горношахтного оборудования, эксплуатирующихся в условиях калийного производства, показали, что применение процессов термодиффузионного насыщения для защиты от коррозии позволяет увеличить ресурс работы упрочненных изделий в 3-5 раз, предложить замену дорогостоящих нержавеющей и специальных сталей на углеродистые с термодиффузионными покрытиями, а также в некоторых случаях исключить из технологического цикла изготовления деталей операции термической обработки.

### Список использованных источников

1. Ворошнин, Л.Г. Антикоррозионные диффузионные покрытия / Л.Г. Ворошнин. – Минск: Наука и техника, 1982. – 296 с.
2. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник / Л.С. Ляхович [и др.]; под ред. Л.С. Ляховича. – М.: Металлургия, 1981. – 424 с.
3. Многокомпонентные диффузионные покрытия / Л.С. Ляхович [и др.]; под ред. Л.С. Ляховича. – Минск: Наука и техника, 1994. – 288 с.

**Basalay I.A.**

**The corrosion resistance of carbon steels with complex thermodiffusion coatings in technological medium of potash production**

*The article presented results of laboratory researches on corrosion resistance of carbon steels with complex coatings obtained by thermodiffusion processing from saturating powdered mediums. The pilot tests results of some types of products which are operated in the medium of potash production were provided.*

Поступила в редакцию 08.02.2011 г.