

**Исследование коррозии углеродистых сталей  
с комплексными покрытиями  
в растворах хлорсодержащих солей**

И.А. Басалай<sup>1</sup>, В.В. Гоян<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Технический университет Молдовы  
Кишинев, Молдова

Развитие химической 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 от коррозии стоит в горнодобывающей промышленности, в частности, на соляных месторождениях. Условия эксплуатации оборудования на этих предприятиях характеризуются высокой агрессивностью сред, воздействием абразивных частиц на рабочие поверхности деталей и элементы машин, присутствием в атмосфере значительного количества агрессивных газов.

Особенностью технологических процессов в калийном производстве является непрерывность потоков по открытым желобам и по трубопроводам большого количества солевых растворов, сухих и влажных калийных руд, а также отходов производства. На интенсивность износа горно-шахтного и обогащательного оборудования, потерю их работоспособности большое влияние оказывают параметры окружающей среды, такие как газовый состав атмосферы, ее влажность и температура, присутствие 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 коррозионной стойкости при воздействии хлорсодержащих сред является острой необходимостью.

Разрушение деталей машин и инструмента начинается с поверхности, поэтому именно к поверхностным слоям относятся вышеперечисленные требования. В связи с этим все большее внимание уделяется методам поверхностного упрочнения. Известно, что одним из основных методов поверхностного легирования (а, следовательно, и упрочнения) является термодиффузионная обработка. Повышение надежности деталей решается упрочнением их поверхности различными методами. Одним из наиболее эффективных методов повышения коррозионной стойкости является нанесение на поверхность покрытий из порошковых насыщающих смесей.

Для предварительного изучения коррозионной стойкости углеродистых сталей с различными покрытиями в водных растворах солей использовали результаты исследований, проведенных в работах [1, 2]. Авторами показано, что скорость коррозии железоуглеродистых сплавов в растворах солей зависит от природы растворенной соли, концентрации раствора, температуры среды, химического состава и т.д. Отмечается также, что наиболее агрессивными по отношению к углеродистым сталям являются хлористые соли.

Сравнительные показатели коррозионной стойкости углеродистых сталей 20 и 45 с диффузионными покрытиями, полученными металлотермическим методом, в 3%-ном водном растворе хлористого натрия приведены в таблице 1.

Исходя из анализа вышеприведенных результатов, для дальнейших исследований в данной работе было использовано комплексное насыщение поверхности. Нами разработан ряд оригинальных составов порошковых сред для получения диффузионных слоев целевого назначения.

Таблица 1

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

Тип покрытия	Потеря массы, г/м <sup>2</sup>	
	Сталь 20	Сталь 45
1	2	3
Cr	7,2	0,6
Al	5,6	5,3
B	10,0	13,0
Si	15,0	12,0
Al-Si	3,2	5,2
Cr-Al	2,1	2,5
Cr-Si	3,0	1,5
Cr-Ni	0	0
Cr-Al-Si	1,9	1,7
Cr-Al-Ni	0	0
Без насыщения	5,2	4,5

Виды исследуемых покрытий, режимы их получения и толщина приведены в таблице 2.

Таблица 2

Режимы обработки и толщина формирующихся покрытий

Тип покрытия	Режим обработки		Толщина покрытия, мкм	
	t, °C	$\tau$ , ч	Сталь 20	Сталь 45
Cr-Al	1100	6	250	200
Cr-Ni	1000	4	140	110
Si-Al	950	6	170	150
Cr-Al-Si	950	6	130	120
Cr-Al-Ni	1050	6	110	90

Предварительные лабораторные испытания на коррозионную стойкость осуществляли в модельной среде - 3%-ном растворе смеси хлорсодержащих солей CaCl<sub>2</sub>, NaCl, KCl (раствор сильвинитной 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 1 раз в неделю. Испытания при повышенной температуре (50 и 80°C) проводили в термостате 63Е. Оценку коррозионного разрушения оценивали по изменению веса образца, цвета и состояния поверхности, наличию зон отслоений и зон очаговой коррозии.

Результаты проведенных лабораторных испытаний при комнатной температуре, представленные на рисунке, показали, что почти все исследуемые покрытия в достаточной степени защищают от коррозии. Состояние поверхности всех покрытий в течение 30 суток остается без изменения. 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 130 суток испытаний удельное изменение массы образцов из стали 45 с покрытиями на основе Cr-Al, Cr-Ni и Cr-Al-Ni составило соответственно 16,0; 2,0 и 0,02 г/м<sup>2</sup>.

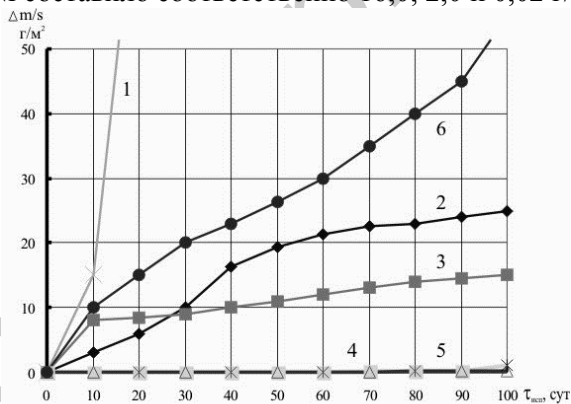


Рисунок 1. Изменение показателя коррозионной стойкости стали 45 с покрытиями в зависимости от времени испытаний.

1 – Cr-Al-Si; 2 – Al-Si; 3 – Cr-Al; 4 – Cr-Al-Ni; 5 – Cr-Ni;  
6 - без покрытия.

Было изучено влияние концентрации раствора сильвинитной руды и его температуры на скорость окисления. Эти результаты представлены в таблице 3.

Установлено, что агрессивность среды уменьшается с увеличением концентрации. Это утверждение справедливо для всех температур испытаний. Увеличение температуры рассолов до 80°C существенного влияния на скорость коррозии стали с исследуемыми покрытиями не оказывает.

Таким образом, лабораторные исследования показали, что лучшей коррозионной стойкостью в промышленных хлорсодержащих средах обладают комплексные покрытия Al - Cr, Cr - Al - Ni и Cr - Ni.

Таблица 3

Влияние условий испытания на скорость коррозии (г/м<sup>2</sup> сут.) стали 45 с комплексными покрытиями

Тип покрытия	Концентрация раствора, %	Температура испытаний, °С		
		20	50	80
Al-Si	5	0,25	1,25	1,5
	17	0,2	0,75	1,15
	пересыщенный	0,15	0,35	0,5
Cr-Al	5	4,0	0,75	0,3
	17	3,0	0,4	0,15
	пересыщенный	2,0	0,25	0,2
Cr-Ni	5	0	0	0
	17	0	0	0
	пересыщенный	0	0,05	0
Cr-Al-Si	5	1,0	0,6	0,8
	17	3,0	1,05	1,05
	пересыщенный	4,5	1,75	2,2
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

Примечание: время испытаний – 2 суток.

Были проведены опытно-промышленные испытания нескольких видов быстроизнашивающихся деталей (в частности, резьбовых деталей) и технологической оснастки, работающих в непосредственном контакте с подобными агрессивными средами. В результате профилактического осмотра после шести месяцев эксплуатации установлено, что коррозионный износ поверхностей деталей очень незначителен, разборка и сборка деталей производится без применения усилий. Все обработанные резьбовые детали пригодны для дальнейшего применения. Испытания подтвердили высокую стойкость указанных покрытий: на деталях и после полугода эксплуатации. На деталях с покрытиями не отмечено следов коррозии, в то время как на контрольных деталях (необработанных) коррозионный износ достигал 1,5-3,0 мм/год.

Опытно-промышленные испытания быстроизнашивающихся деталей с предложенными покрытиями, эксплуатирующихся в различных агрессивных условиях показали увеличение ресурса их работы в 5-6 раз и также позволили в некоторых случаях предложить замену дорогостоящих нержавеющей и специальных сталей на углеродистые с термомодифицированными покрытиями.

#### Литература

1. Ворошнин Л.Г., Кухарева Н.Г., Ловшенко Ф.Г. Повышение коррозионной стойкости сталей. – Минск, Беларусь, - 1978.
2. Басалай И.А., Гоян В.В. Влияние комплексного легирования поверхности углеродистых сталей на коррозионную стойкость в Cl-содержащих средах. – Деп. в ВИНТИ №1688-B2001 от 17.07.2001 г.