

# КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НАВЕСНЫХ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ

На сегодняшний день алюминий и его сплавы применяются для возведения навесных вентилируемых фасадов (НВФ) зданий. Учитывая активное развитие нового направления в строительстве, был проведен детальный анализ их коррозионной стойкости на основе исследований ОАО «ВИЛС» в природных условиях и испытаний в лаборатории образцов и узлов систем НВФ «MAVent», разработанных ООО «АМА ГРУПП». Для исследования использовались прессованные профили из сплава 6063 в естественно состаренном состоянии (Т по отечественным стандартам; Т3, Т4 – по зарубежным) и искусственно состаренном состоянии (Т1 по отечественным стандартам, Т6 – по зарубежным). Химический состав приведен в табл. 1, механические свойства – в табл. 2.

## ИСПЫТАНИЯ НА РАССЛАИВАЮЩУЮ КОРРОЗИЮ

Расслаивающая коррозия (РСК) связана с развитием коррозионного процесса в направлении прокатки или прессования, в основном по границам зерен кристаллитов, имеющих продолговатую форму.

По опыту эксплуатации, длительным (до 50 лет) испытаниям в различных атмосферных условиях и результатам лабораторных испытаний по современным методикам, чувствительность к РСК у сплава типа 6063 в состояниях Т4 и Т6 отсутствует.

Тем не менее образцы профилей из сплава 6063 в состояниях Т4 и Т6, используемые в НВФ «MAVent», были испытаны на РСК по двум методикам, используемым во всем мире. Первая была разработана в ОАО «ВИЛС» (ГОСТ 9.904.82, ISO11881). Испытания проводятся в растворе (г/л) HCl 13,5 и K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 20 при полном погружении в течение 7 суток. Вторая была разработана АЛКОА, США (ASTMG34, ISO11881) с использованием раствора, предложенного ВИАМ для испытаний на коррозионное растрескивание. Испытания проводятся в растворе г/л NaCl 225, KNO<sub>3</sub> 50, HNO<sub>3</sub> 5,5 2 суток. В соответствии с полученными результатами исследований, проведенных по двум основным методикам, было установлено, что профили из сплава 6063 не чувствительны к РСК. Увеличение времени испытаний в два раза не изменило результатов.

В документе, выпущенном ИЦ «ЭкспертКорр-МИСиС», говорится о том, что сплавы типа АД31 чувствительны к РСК. Однако результаты отсутствуют. Приведена микрофотография (рис. 1), подпись под которой свидетельствует, что она демонстрирует межкристаллитную коррозию.

Из подрисуночной надписи следует, что она показывает и межкристаллитную

и расслаивающую коррозию, но на ней нет ни той, ни другой. Диаметр питтинга, который виден на микрофотографии при минимальном увеличении, составляет не более 0,2 мм, а при максимальном – 0,1 мм. Таким образом, речь идет о питтинговой коррозии, причем достаточно слабо выраженной.

## ИСПЫТАНИЯ НА КОРРОЗИОННОЕ РАСТРЕСКИВАНИЕ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

В качестве образцов были взяты два прессованных профиля в состоянии Т6. Круглые образцы испытывались при заданной растягивающей нагрузке в поперечном направлении на установке типа Сигнал, а плоские ДКО (двойной консольный образец) при предварительно выращенной в надрезе усталостной трещины длиной 10 мм. Эти образцы испытывались при заданной деформации в поперечно-долевом направлении (т.е. трещина развивалась в долевом направлении, а напряжения действовали в поперечном). Оба типа образцов

испытывались при переменном погружении в 3,5% раствор NaCl в течение 45 суток.

В соответствии с полученными результатами был сделан вывод, что сплав 6063Т6 не чувствителен к коррозионному растрескиванию (КР).

## ИСПЫТАНИЯ В АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЯХ

Испытания проводились на четырех атмосферных станциях и на палубе научно-исследовательского судна (НИС), курсирующего в течение 4 месяцев по Индийскому океану. На атмосферных станциях испытания проводились в течение 45 лет. Сплав 6063Т6 подвергался только питтинговой коррозии. Максимальная глубина ее была пропорциональна агрессивности станций и возрастала в порядке (мм): 3 – 0,14; Б – 0,16; В – 0,26; С – 0,32 (рис. 2). Таким образом, в среднеагрессивной атмосфере глубина питтинговой коррозии возрастала не более чем в два раза по сравнению со слабоагрессивной.

Прогнозирование увеличения глубины

Табл. 1. Химический состав

сплав	испытание	поставщик материала	состав в % по массе								
			Si	Fe	Mg	Cu	Mn	Cr	Zn	Ti	другие
6063	лабораторные	«АМА ГРУПП»	0,36	0,18	0,52	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,02	
	атмосферные	ВИЛС	0,43	0,29	0,64	0,02	0,03	–	–	0,04	–
	по DIN 1725	–	0,2-0,6	≤0,35	0,45-0,9	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,15	≤0,1	≤0,05

Табл. 2. Механические свойства профилей

сплав	состояние	временное сопротивление σ <sub>т</sub> , МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )		предел текучести σ <sub>0,2</sub> , МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )		относительное удлинение, δ	
		минимальное	типичное	минимальное	типичное	минимальное	типичное
6063 по DIN 1725	T4	131,5 (13,4)	172,7 (17,6)	68,7 (7)	89,3 (9,1)	≥14	22
	T6	207 (21,1)	241,3 (24,6)	172,7 (17,6)	213,9 (21,8)	≥8	8
6063 фактические испытания	T4	–	198 (20,2)	–	132,4 (13,5)	–	22,8
	T6	–	273,6 (27,9)	–	242,3 (24,7)	–	13,7



Рис. 1. Микрофотография межкристаллитной коррозии алюминиевого сплава АД-31

питтинговой коррозии проводится по формуле:

$h = K \tau^{1/n}$ , где  $h$  – максимальная глубина питтинга,  $K$  – глубина питтинга за 1-ый год,  $n$  – константа (в воде и атмосфере  $n \approx 3$ ).

Максимальное значение глубины для состояния Т6 на 25% выше, чем для состояния Т4. Но абсолютное значение (0,26 мм) достаточно мало и, как показали эксперименты, не влияет на механические свойства.

Из табл. 3 видно, что в интервале толщин полуфабриката 2-4 мм коррозия как в состоянии Т4, так и в состоянии Т6 практически не изменяет механических свойств. Полученные цифровые значения находятся в пределах разброса значений, свойственного механическим испытаниям.

Исследования на гальваническую (контактную) коррозию сплава 6063 Т6 были проведены на НИС в особо агрессивных условиях (табл. 4). Увеличение глубины питтинговой коррозии на сплаве 6063 Т6 в контакте с аустенитной сталью достигло 40%. При этом глубина питтингов на расстоянии 7 мм от места контакта составляла не более 0,4 мм и не оказывала существенного отрицательного влияния на соединения.

**Следует отметить, что в испытаниях натуральных и лабораторных условий в течение 45 лет не наблюдалось ни одного случая расслаивающей коррозии или коррозионного растрескивания сплава типа 6063. Эти виды коррозии отсутствовали даже в тех случаях, когда образцы закреплялись на корпусе НИС в напряженном и ненапряженном состоянии.**

### ПИТТИНГОВАЯ КОРРОЗИЯ СТАЛИ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Десятилетиями ВИЛС отвечал за выбор алюминиевых сплавов и их коррозионную стойкость и был одним из основных

участников при выпуске документов организациями Госстроя в этом направлении, однако в последние годы эти функции присвоили себе организации, специализирующиеся на сталях. Появился тезис, что алюминиевые сплавы типа 6063Т6 в отличие от нержавеющей сталей нельзя применять не только из-за их чувствительности к РСК и КР, но и из-за их чувствительности к питтинговой коррозии. Для того чтобы разобраться в данном вопросе, сопоставим коррозионную стойкость сталей и алюминиевых сплавов.

Обычные углеродистые стали корродируют в атмосферных условиях при расположении электродного потенциала коррозии в активной области. При этом наблюдается не только общее растворение, но и слоистое развитие коррозии по типу РСК для высоколегированных алюминиевых сплавов. Поэтому сталь без защиты начинает разрушаться от коррозии сразу после монтажа, и достаточно интенсивно.

Лакокрасочные покрытия на малоуглеродной стали начинают разрушаться уже после 4-6 лет, а с подслоем цинка через 10-12 лет. Оцинковка толщиной 200 мкм позволяет обеспечивать на стационарных строительных объектах срок службы до 20

лет. Оцинковка толщиной 20-40 мкм в промышленной атмосфере выходит из строя за 1-1,5 года.

В агрессивной промышленной атмосфере практически исключить зарождение и развитие коррозионного питтинга на аустенитной стали можно при легировании молибденом. При содержании молибдена 2,6% по массе площадь поражения питтинговой коррозией составляет всего лишь около 0,01%.

У аустенитной стали без молибдена сопротивление питтинговой коррозии уменьшается на два порядка. Ферритная сталь по сравнению с аустенитной без молибдена при оценке питтинговой коррозии по площади поражения в 10 раз менее стойка, а при оценке по потерям массы – в 1,5 раза.

В промышленной атмосфере глубина питтингов на аустенитной стали меньше, чем на сплаве типа 6063, в морской атмосфере – такая же или больше.

Таким образом, ферритные стали типа 08Х18Т1 и 08Х17Т не следует применять в конструкциях НВФ. Они значительно более чувствительны к питтинговой коррозии, чем аустенитная. На них значительно быстрее образуется обычная ржавчина. Они не рекомендуются для сварки и для конструкций, работающих при температурах ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ , в соответствии с ГОСТ 5632. Как следует из предварительного анализа, в производственных условиях их часто не разделяют, и это, естественно, может наносить существенный вред конструкции в целом при выполнении сварных узлов.

### МЕЖКРИСТАЛЛИТНАЯ КОРРОЗИЯ, ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ

Как показали многочисленные лабораторные и длительные атмосферные испы-

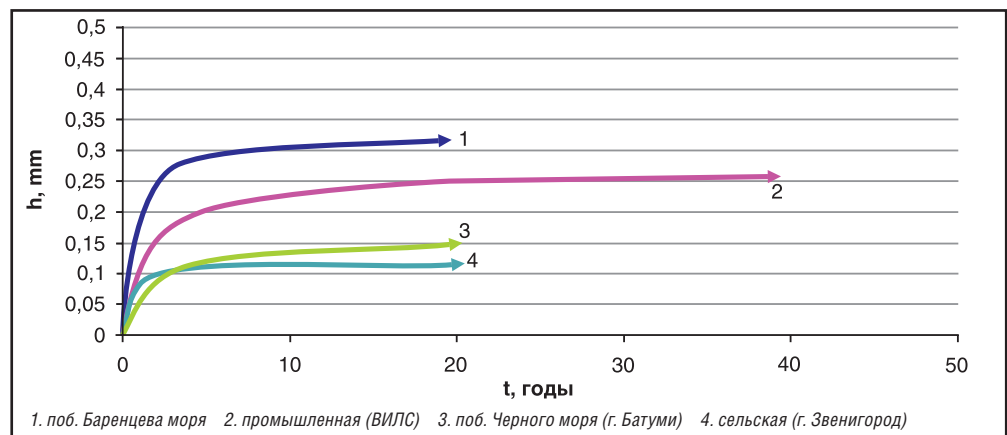


Рис. 2. Зависимость максимальной глубины питтинговой коррозии на сплаве 6063Т6 от продолжительности испытаний в различных атмосферных условиях

Табл. 3. Изменение механических свойств после испытаний в промышленной атмосфере (ВИЛС) профилей сплава 6063

длительность испытаний (годы)	состояние	маркировка	исходные после 10 лет хранения в помещении			после 45 лет испытаний			абсолютные потери			относительные потери		
			$\sigma_s$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{02}$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\delta$ ,%	$\sigma_s$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{02}$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\delta$ ,%	$\Delta \sigma_s$	$\Delta \sigma_{02}$	$\delta$ ,%	$\sigma_s$	$\sigma_{02}$	$\delta$ ,%
45	естественное старение T4	ЖТ 2 мм	22,3	14,6	24,5	26,1	17,9	23,2	–	–	1,3	–	–	5
		ЖТ 4 мм	22,0	14,1	24,9	25,8	18,4	23,8	–	–	1,1	–	–	4
45	искусственное старение T6	ЖТ1 2 мм	27,7	24,7	14,7	26,7	24,2	14,4	1,0	0,5	0,3	3,5	2	2
		ЖТ1 4 мм	26,7	23,4	14,3	26,2	23,9	12,6	0,5	–	1,7	2	–	12
40	естественное старение T4	36 2,5 мм	21,5	13,8	20,8	23,7	15,1	19,1	–	–	1,7	–	–	7
40	искусственное старение T6	37 2,5 мм	23,7	19,7	16,4	23,4	18,5	15,0	0	1,2	1,4	0	6	7

тания, в различных условиях у алюминиевого сплава типа 6063 отсутствует чувствительность к межкристаллитной коррозии. Имеют место две формы питтинга: транскристаллитная – преимущественно у сплавов в естественно состаренном состоянии – и межкристаллитная – в искусственно состаренном. Обе формы чаще развиваются в атмосферных условиях по тоннельному механизму, а не в виде формы, близкой к полусфере. По количественным характеристикам, глубине и числу питтингов они не различаются. Потери механических свойств у них невелики и одинаковы, а потери массы весьма незначительны.

Межкристаллитная коррозия становится опасной в тех случаях, когда сплав одновременно чувствителен к коррозии под напряжением, прежде всего к коррозионному растрескиванию. Нержавеющая аустенитная сталь 12X18H10T, рекомендуемая для НВФ в исходном состоянии не чувствительна к КР. В этой связи для нее, как и для сплавов типа 6063, из которого изготавливаются элементы систем «MAVent», межкристаллитная коррозия не представляет опасности. После сварки у нержавеющей стали появляется чувствительность к КР. Это всегда должно учитываться в конструкциях, как, например, учитывается в уста-

Табл. 4. Гальваническая (контактная) коррозия сплава 6063Т6

контактирующий материал	максимальная глубина вне контакта, (мм, h <sub>в</sub> )	максимальная глубина в контакте, (мм, h <sub>к</sub> )	h <sub>в</sub> /h <sub>к</sub>
12X18H10T		0,4	1,4
титан		0,32	1,1
АДОМ		0,32	1,1
6063Т6	0,29	–	–

новках по первичной переработке нефти. Поэтому нецелесообразно изготавливать кронштейны для НВФ из стали 12X18H10T. Проще, дешевле и безопаснее изготовить их из сплава 6063Т6.

### ВЫВОДЫ

1. Многолетние испытания (45 лет) в различных климатических зонах (тропиках, научно-исследовательском судне и лабораториях) показали, что прессованные профили из сплава 6063Т6, применяемые в системах «MAVent», не чувствительны к расслаивающей коррозии и коррозионному растрескиванию под напряжением, что обеспечивает надежную, длительную (более 50 лет) эксплуатацию НФС без защитных покрытий (кроме покрытий на внешней облицовке).

2. Питтинговая коррозия, которая свойственна пассивирующимся сплавам, в том числе и аустенитной стали типа 12X18H10T, у алюминиевого сплава 6063Т6 после 10 лет выдержки в наиболее агрессивной атмосфере достигает в отдельных редких точках до 0,3 мм. При дальнейшем увеличении выдержки до 45 и более лет развитие питтинговой коррозии в глубину практически полностью прекращается за счет электрохимического торможения (репассивации). Образовавшиеся коррозионные питтинги не влияют на механические свойства и работоспособность изделий.

3. Гальваническая (контактная) коррозия в сплавах типа 6063Т6 и в контакте с аустенитной сталью 12X18H10T увеличи-

вается не существенно: глубина отдельных питтингов возрастает на 30-40% в зоне до 7 мм от линии контакта. Это не сказывается на работоспособности изделий.

**4. Прогнозы показывают, что НФС «MAVent», выполненные из сплава типа 6063Т6, с клеммерами и крепежом из стали 12X18H10T, обеспечат длительность эксплуатации НФС до 50-100 лет.** НФС из стали 12X18H10T не обеспечат долговечность более 25 лет из-за чувствительности сварных соединений этой стали к коррозионному растрескиванию.

5. Ферритные стали типа 08X18Т1 не пригодны для НФС из-за низкой коррозионной стойкости и недопустимости для изделий, которые могут эксплуатироваться при температуре ниже –20°С.

Из углеродистых сталей НФС не допустимо делать при любых системах защиты, поскольку необходимость в ремонте может возникнуть значительно раньше установленных сроков эксплуатации. **✗❗**

Анотационный отчет ВИЛС. Исполнители:  
В.С. СИНЯВСКИЙ, д.т.н., профессор,  
В.Д. КАЛИНИН, к.т.н., ведущий научный сотрудник,  
В.В. УЛАНОВА, старший научный сотрудник.  
ОАО «ВИЛС»



Группа Компаний «АМА ГРУПП»  
119361, г. Москва, ул. Большая Очаковская, д. 10  
тел.: +7 (495) 437-98-61/63/64  
факс: +7 (495) 437-98-65  
www.amagroup.ru  
e-mail: ama@amagroup.ru

**Несущий каркас здания КБ был изготовлен 50 лет назад из профилей, близких по составу к 6063, но более легированных по основным компонентам: магнию и кремнию. Обшивка была изготовлена из тонких листов (~ 1,2 мм) сплава АМц. На сегодняшний день алюминиевые конструкции находятся в отличном состоянии. Глубина питтинговой коррозии затормозилась на уровне 0,2-0,25 мм.**