

ВИАМ/2014-Тр-07-11



УДК 621.357.77

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-7-11-11

**КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЛИСТОВ СПЛАВА
Д16ч.-Т В МОРСКИХ СУБТРОПИКАХ**

В.В. Семенычев

кандидат технических наук

Июль 2014

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

*В.В. Семенычев*¹

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЛИСТОВ СПЛАВА Д16ч.-Т В МОРСКИХ СУБТРОПИКАХ

Исследована коррозионная стойкость образцов из листов сплава Д16ч.-Т в условиях морских субтропиков. Показано, что с удалением от моря интенсивность коррозионных поражений образцов снижается, что обусловлено снижением концентрации ионов хлора. Проведена статистическая обработка результатов экспериментов, и предложены математические модели, характеризующие распределение хлоридов на различных расстояниях от моря.

Ключевые слова: морской климат, концентрация хлоридов, характер коррозионных поражений, сплав Д16ч.-Т.

V.V. Semenychev

CORROSION RESISTANCE OF ALLOY D16CH.-T SHEETS IN MARINE SUBTROPICS

The corrosion resistance of alloy D16ch.-T sheets samples in a marine subtropics are investigated. It is shown that the distance from the sea intensity of corrosive damage is reduced because of the decrease in the concentration of chloride ions. Statistical processing of the results of the experiments was carried out and mathematical models, which characterize the distribution chlorides at various distances from the sea, were offered.

Keywords: sea climate, the concentration of chloride, corrosive the nature of lesions, alloy D16ch.-T.

¹Ульяновский научно-технологический центр
[Ulyanovsk scientific and technological center] E-mail:untcviam@viam.ru.

В настоящее время авиационная промышленность остается одним из наиболее высокотехнологичных секторов экономики, потребляющих наукоемкую продукцию [1, 2]. Алюминиевые деформируемые сплавы остаются базовыми конструкционными материалами современной и перспективной авиационной техники благодаря легкости, удачному комплексу необходимых эксплуатационных характеристик, хорошей технологичности и освоенности в металлургическом и авиационном производствах [3]. При этом

сплавы должны одновременно обладать необходимым уровнем эксплуатационных свойств: вязкостью разрушения, сопротивлением усталости, коррозионной стойкостью, которые обеспечивают надежность и безопасность эксплуатации конструкции [4].

Конструкционные алюминиевые деформируемые сплавы нашли широкое применение в самолетостроении, они применяются в виде различных полуфабрикатов и эксплуатируются в самых различных климатических зонах [5, 6], наиболее агрессивными из которых с коррозионной точки зрения являются морские условия, характеризующиеся наличием в атмосфере ионов хлора [7–9].

Осаждаясь на увлажненную поверхность металла, хлориды образуют электролиты различной концентрации, что приводит к различной интенсивности коррозионных поражений. Однако количественные данные, характеризующие зависимость интенсивности коррозии от концентрации хлоридов в воздухе, в литературе освещены недостаточно. Поэтому вопрос о закономерностях изменения содержания хлоридов в воздухе в зависимости от удаленности от моря, а также влияние их концентрации на интенсивность коррозии конструкционных материалов вызывает как научный, так и практический интерес.

Скорость осаждения хлоридов ежемесячно определяли методом «сухого полотна» на расстояниях 50, 100, 200, 500 и 2000 м от моря, усредненные результаты этих измерений за 20 мес приведены на рис. 1. Видно, что с удаленностью от уреза воды количество хлоридов существенно уменьшается. Так, в точках, удаленных от моря на 50 и 2000 м, количество ионов хлора отличается более чем в 10 раз.

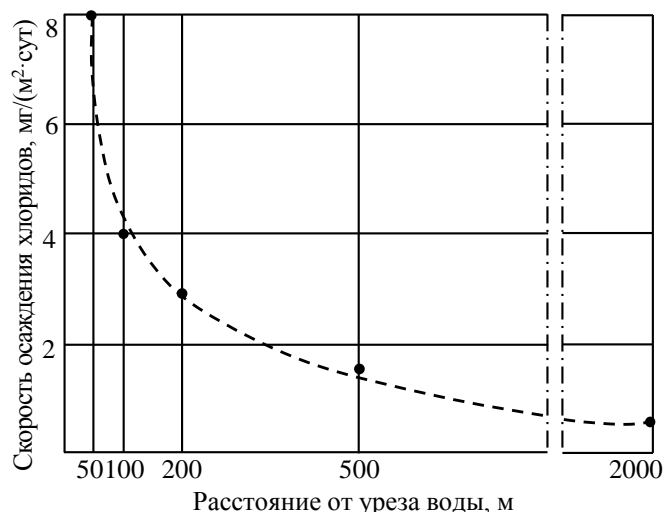


Рисунок 1. Скорость осаждения хлоридов на различных расстояниях от уреза воды

Статистическая обработка результатов измерений ионов хлора на различных расстояниях от уреза воды позволила получить уравнение регрессии, характеризующее изменение скорости осаждения хлоридов в зависимости от удаленности от моря:

$$\lg C = 1,93 - 0,66 \lg X_1, \quad (1)$$

где C – скорость осаждения хлоридов, мг/(м²·сут); X_1 – расстояние от моря, м.

Для оценки влияния скорости осаждения ионов хлора на интенсивность коррозии сплава Д16ч.-Т, плакированные и неплакированные образцы из этого сплава, вырезанные в виде карточек размером 100×150 мм из листа толщиной 5 мм, были установлены на тех же стендах, на которых определяли скорость осаждения хлоридов. Образцы экспонировали как под навесом, так и в открытой атмосфере; длительность испытаний составила 30 мес.

Относительную влажность на различных расстояниях регистрировали недельными гигрографами М-21А. Разность измеренных значений относительной влажности на различных расстояниях от моря не превышала погрешности приборов, а концентрация сернистого газа в районе проведения испытаний составляла $4 \cdot 10^{-3}$ мг/м³, что является фоновым значением [10], поэтому различная интенсивность коррозии экспонируемых образцов определяется только различной концентрацией ионов хлора. Действительно, при прочих равных условиях (относительная влажность, роза ветров, интенсивность прямой солнечной радиации, количество осадков, температура воздуха) испытания образцов отличались лишь различной концентрацией хлоридов. Несмотря на то что существует множество способов ускоренных коррозионных испытаний [11, 12], самыми надежными сведениями о коррозионной стойкости материалов являются сведения, полученные в результате длительных испытаний в естественных климатических условиях.

В качестве критериев, оценивающих степень коррозионных поражений образцов, использовали следующие:

- время до появления первых очагов коррозии;
- площадь поверхности образцов, пораженных коррозией;
- скорость коррозии;
- глубину и характер коррозионных поражений;
- изменение механических характеристик.

Результаты визуальных осмотров, а именно – время до появления первых очагов коррозии и площадь коррозионных поражений поверхности образцов в зависимости от расстояния от моря, представлены на рис. 2 и 3 соответственно.

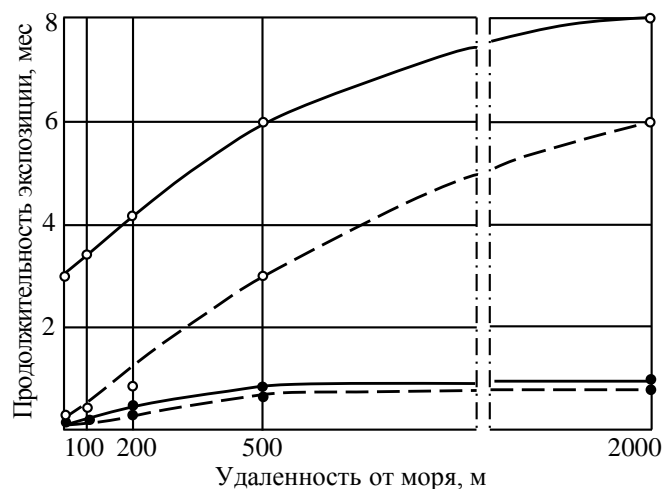


Рисунок 2. Время до появления первых очагов коррозии на образцах из сплава Д16ч.-Т (○, ● – плакированные и неплакированные образцы), испытанных под навесом (- - -) и в открытой атмосфере (—) на различных расстояниях от моря

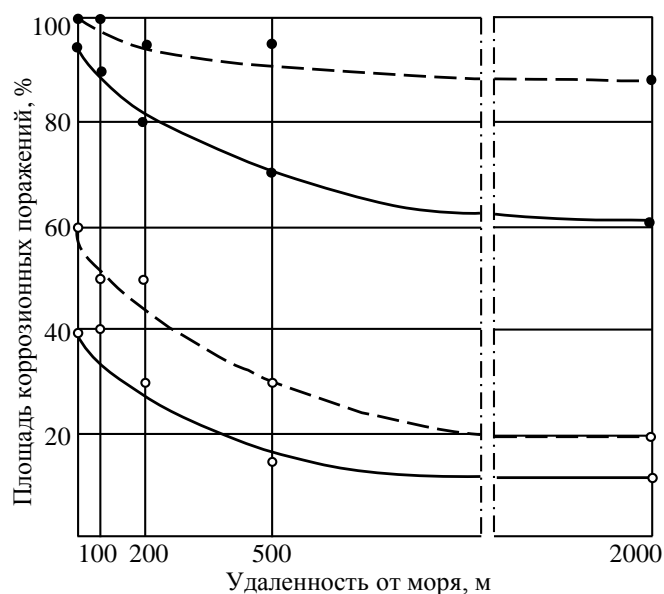


Рисунок 3. Площадь коррозионных поражений образцов из сплава Д16ч.-Т (○, ● – плакированные и неплакированные образцы), испытанных под навесом (- - -) и в открытой атмосфере (—) на различных расстояниях от моря после 30 мес экспозиции

Видно (см. рис. 2), что первые очаги коррозии на неплакированных образцах возникли в первые дни экспозиции на расстояниях 50 и 100 м от моря, а за первый месяц испытаний появились и на остальных образцах, расположенных на более удаленных от моря стендах.

Первые очаги коррозионных поражений на плакированных образцах, испытанных под навесом и в атмосфере на расстоянии 50 м от моря, появились через 10 и 90 дней соответственно, а на образцах, расположенных на стендах на расстоянии 2000 м от моря, – через 6 мес под навесом и через 8 мес в атмосфере.

На графиках, приведенных на рис. 3, характеризующих площадь коррозионных поражений, видно, что неплакированные образцы прокорродировали в значительно большей степени, чем плакированные, испытанные в аналогичных условиях. Так, на неплакированных образцах, испытанных под навесом на удалении 2000 м от моря, площадь коррозионных поражений составляет 90%, в то же время на плакированных образцах, испытанных в тех же условиях, коррозией поражено только 20% поверхности. Полученные результаты также свидетельствуют о том, что условия испытания под навесом значительно более жесткие, чем условия на открытой атмосферной площадке.

Значительный интерес представляет и кинетика коррозии образцов, т. е. изменение площади коррозионных поражений во времени. На рис. 4 показаны кинетические кривые таких зависимостей для расстояний 50 и 2000 м удаленности от моря. По кинетическим кривым можно не только проследить развитие коррозии во времени, но и сопоставить результаты коррозионных испытаний образцов, выставленных на различных расстояниях от уреза воды. Так, поверхность неплакированных образцов, прошедших испытания под навесом на расстоянии 50 м от моря, прокорродировала на 100% через один год экспозиции, а поверхность аналогичных образцов, испытанных на расстоянии 2000 м от моря, прокорродировала на 90% за 2,5 года (за год экспозиции площадь поверхности этих образцов, пораженная коррозией, составила 50–60%).

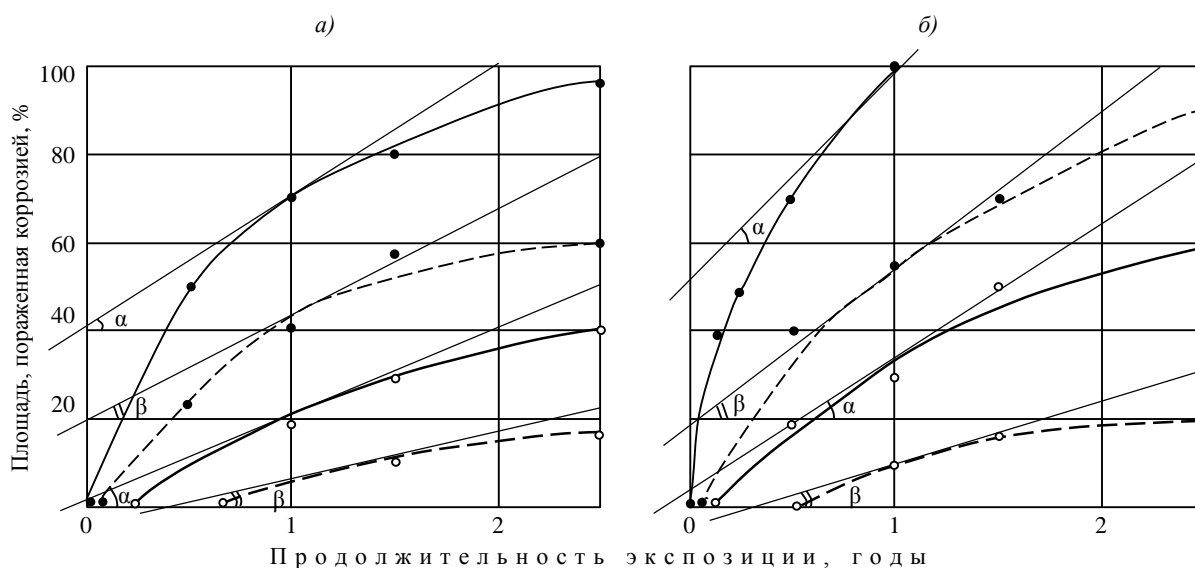


Рисунок 4. Кинетика коррозии образцов из сплава Д16ч.-Т(○, ● – плакированные и неплакированные образцы), испытанных на расстояниях 50 (—) и 2000 м (- - -) от моря при экспозиции в открытой атмосфере (а) и под навесом (б)

Интенсивность распространения коррозии характеризуют углы наклона касательных к оси абсцисс для кинетических кривых образцов, испытанных на расстояниях 50 (угол α) и 2000 м (угол β) удаленности от моря.

В табл. 1 приведены значения углов наклона касательных для кривых показанных на рис. 4. Видно, что угол наклона касательных к кинетическим кривым неплакированных образцов всегда больше угла наклона касательных к кинетическим кривым плакированных образцов, что свидетельствует о более интенсивной коррозии неплакированных образцов. Углы наклона касательных для расстояния 50 м удаленности от моря больше, чем для расстояния 2000 м, что также свидетельствует о более интенсивном развитии коррозии на менее удаленных от моря образцах.

Таблица 1

Значения углов наклона касательной к оси абсцисс и тангенса угла наклона для кривых, характеризующих развитие коррозии во времени (см. рис. 4)

Состояние поверхности	Расстояние от моря, м	Угол наклона касательной к оси абсцисс		Тангенс угла наклона	
		при экспозиции			
		под навесом	в атмосфере	под навесом	в атмосфере
Неплакированная	50	45	31	1	0,6
	2000	35	25	0,7	0,47
Плакированная	50	32	24	0,63	0,46
	2000	19	15	0,35	0,27

Тангенс угла наклона касательной к оси абсцисс, являясь первой производной площади коррозионных поражений по времени испытаний, характеризует темпы распространения коррозии: чем больше значение тангенса угла наклона касательной, тем выше темпы распространения поверхностной коррозии.

Результаты по скорости коррозии образцов, испытанных на различных расстояниях от уреза воды, показаны на рис. 5. Видно, что скорость коррозии и плакированных, и неплакированных образцов падает с увеличением расстояния от моря, а следовательно, и с уменьшением концентрации хлоридов и за указанный период испытаний на отметке, удаленной от моря на 2000 м, принимает одинаковые значения, что, по-видимому, связано с пониженной концентрацией хлоридов, сопоставимой с фоновыми значениями, которые по ГОСТ 9.039 составляют 0,3 мг/(м²·сут).

Скорость коррозии неплакированных образцов после 30 мес коррозионных испытаний не определялась в связи с тем, что эти образцы были подвержены расслаиваю-

шей коррозии. Причем при экспозиции неплакированных образцов в течение 2,5 лет на всех выбранных расстояниях от моря происходит развитие расслаивающей коррозии.

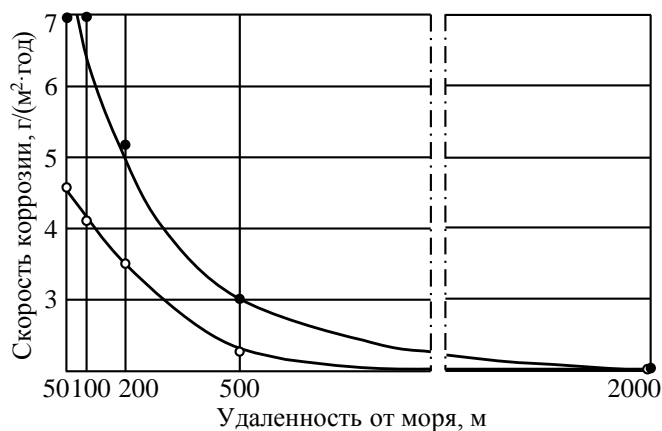


Рисунок 5. Скорость коррозии лакированных (○) и нелакированных (●) образцов из сплава Д16ч.-Т, испытанных под навесом на различных расстояниях от моря в течение 8 мес

Наряду с оценкой площади коррозионных поражений и скорости коррозии металлографическим методом проведено исследование глубины и характера коррозионных поражений после 30 мес испытаний в зависимости от различной удаленности экспонируемых образцов от моря (рис. 6, а). Видно, что глубина коррозионных поражений лакированных и нелакированных образцов тем больше, чем ближе место испытаний к урезу воды, еще больше различий наблюдается в зависимости от условий испытаний – под навесом и на открытой атмосферной площадке. На расстоянии 2000 м это различие значительно меньше, что, по-видимому, связано с меньшей скоростью осаждения хлоридов, которые в значительной степени определяют скорость коррозии при одинаковой степени относительной влажности. Но и в этом случае испытания под навесом являются более жесткими, чем в открытой атмосфере, что иллюстрируется зависимостью глубины коррозионных поражений образцов из сплава Д16ч.-Т и среднемесячной скоростью осаждения ионов хлора (рис. 6, б).

Глубина коррозии на лакированных образцах невелика и изменяется с ростом концентрации хлоридов – от 0,03 до 0,08 мм. Зависимость представляет собой прямую линию, описываемую уравнением:

$$Y=0,0078C+0,024, \quad (2)$$

где Y – глубина коррозионных поражений, мм; C – скорость осаждения хлоридов, мг/(м²·сут).

Для неплакированных образцов, испытанных в условиях открытой атмосферы, диапазон изменения глубины коррозии с ростом скорости осаждения хлоридов расширяется от 0,06 до 0,35 мм.

Глубина коррозионных поражений неплакированных листов, испытанных под навесом, изменяется с ростом скорости осаждения ионов хлора от 0,1 до 0,9 мм, т. е. десятикратное увеличение концентрации хлоридов приводит почти к такому же увеличению глубины коррозионных поражений.

Объяснить полученный характер кривых можно тем, что именно точка, удаленная от уреза воды на расстояние 200 м, является границей между крутой и пологой ветвями кривой зависимости скорости осаждения хлоридов от удаления от моря (см. рис. 1). Поскольку неплакированные образцы обладают значительно меньшей коррозионной стойкостью по сравнению с плакированными образцами, то именно на них наиболее заметно проявилось влияние изменения концентрации хлоридов.

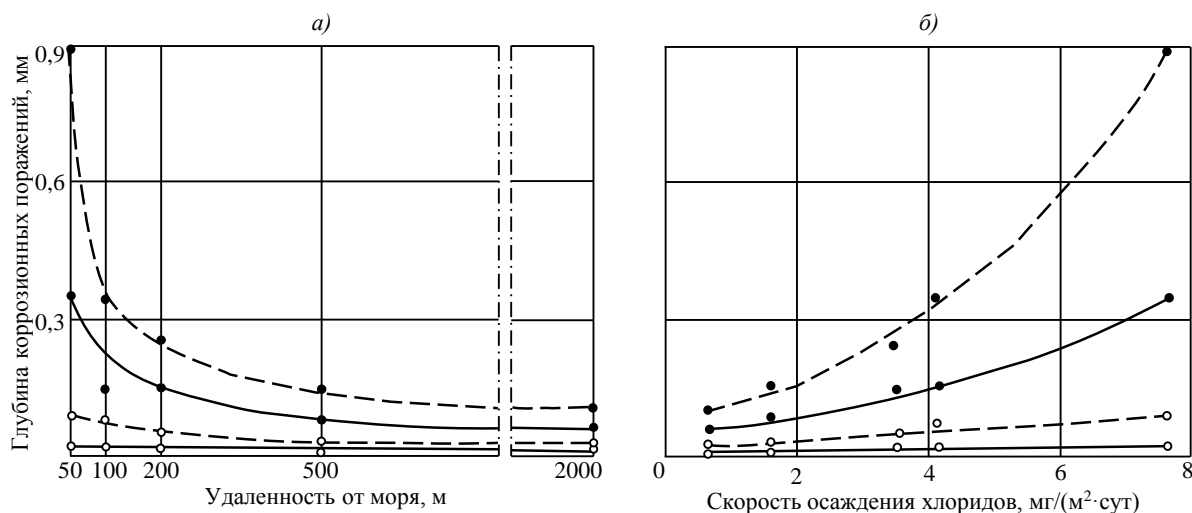


Рисунок 6. Глубина коррозионных поражений плакированных (○) и неплакированных (●) образцов из сплава Д16ч.-Т, прошедших испытания в течение 30 мес на различных расстояниях от моря (а) и в зависимости от скорости осаждения хлоридов (б) при экспозиции в открытой атмосфере (—) и под навесом (---)

Известно, что наличие коррозионных поражений приводит к снижению статической и особенно циклической прочности материала [13–16]. Изменение механических характеристик (σ_b , $\sigma_{0,2}$) после 30 мес экспозиции под навесом плакированных и неплакированных образцов из сплава Д16ч.-Т показано на рис. 7.

Исходные механические свойства образцов соответствовали следующим значениям:

– для плакированных – $\sigma_b=470$ МПа, $\sigma_{0,2}=330$ МПа;

– для неплакированных – $\sigma_B=490$ МПа, $\sigma_{0,2}=350$ МПа.

Из данных рис. 7 видно, что механические характеристики плакированных образцов, прошедших экспозицию на различных расстояниях от моря, остались на исходном уровне. Предел прочности (σ_B) и условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$) неплакированных образцов этого сплава изменяются в зависимости от удаления экспонируемых образцов от моря. Так, предел прочности, определенный после экспозиции образцов на удалении от моря 2000 м, составил 450 МПа, а после экспозиции на расстоянии 50 м от моря: 390 МПа, т. е. наиболее жесткие условия экспозиции приводят к большему снижению прочности.

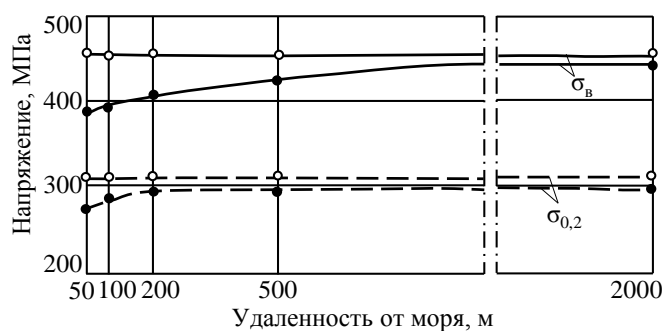


Рисунок 7. Механические свойства плакированных (○) и неплакированных (●) образцов из сплава Д16ч.-Т после 30 мес экспозиции под навесом на различных расстояниях от моря

Неплакированные образцы, испытанные на различных расстояниях от моря в открытой атмосфере в течение 30 мес, сохранили свои механические характеристики на исходном уровне, за исключением образцов, испытанных на расстоянии 50 м от моря – $\sigma_B=430$ МПа. Плакированные образцы, испытанные в открытой атмосфере в течение 30 мес, свои механические свойства не изменили.

Регрессионный и корреляционный анализы значений предела прочности и условного предела текучести, полученных после экспозиции неплакированных образцов на различных расстояниях от моря, позволили вывести уравнения, описывающие изменения механических характеристик сплава Д16ч.-Т в зависимости от удаленности экспонируемых образцов от моря.

Остаточные значения пределов прочности и текучести описываются уравнениями:

$$\lg Y_1 = 2,51 + 0,04 \lg X_1; \quad R = 0,96; \quad (3)$$

$$\lg Y_2 = 2,39 + 0,03 \lg X_1; \quad R = 0,92, \quad (4)$$

где Y_1 – предел прочности (σ_B), МПа; Y_2 – условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$), МПа; X_1 – расстояние экспонируемого образца от моря, м; R – коэффициент корреляции.

Эти уравнения показывают, что чем больше расстояние от уреза воды, тем ниже темпы падения предела прочности.

Число опытов по определению каждой из механических характеристик составило 16, а для такого числа измерений критическое значение коэффициента корреляции $R_{кр}=0,47$ [17]. В данном случае расчетные значения коэффициентов корреляции составили 0,96 для предела прочности и 0,92 для условного предела текучести, т. е. они выше, чем критическое значение, следовательно, соблюдается условие $R>R_{кр}$. Это является математическим доказательством наличия зависимости между остаточными механическими характеристиками и удаленностью экспонируемого образца от моря.

Рассчитанные по уравнениям значения предела прочности и условного предела текучести образцов из сплава Д16ч.-Т, прошедших испытания на различных расстояниях от моря, практически совпадают с экспериментальными, следовательно, можно определить расчетным путем изменения механических свойств образцов, испытанных на различных расстояниях от уреза воды (табл. 2).

Таблица 2

Экспериментальные и расчетные значения исследуемых характеристик образцов из сплава Д16ч.-Т после 30 мес коррозионных испытаний

Удаление от моря, м	$\sigma_{в2}$, МПа		Относительная ошибка, %	$\sigma_{0,2}$, МПа		Относительная ошибка, %
	экспериментальные значения	расчетные значения		экспериментальные значения	расчетные значения	
50	390	380	1,3	270	267	0,6
100	390	390	0	280	281	0,2
200	400	402	0,25	290	288	1,6
500	430	420	1,2	300	296	0,7
2000	450	441	1,0	300	308	1,3

Наряду с рассмотренными изменениями механических характеристик в зависимости от удаления образцов от моря представляет практический интерес и снижение прочности образцов во времени (рис. 8).

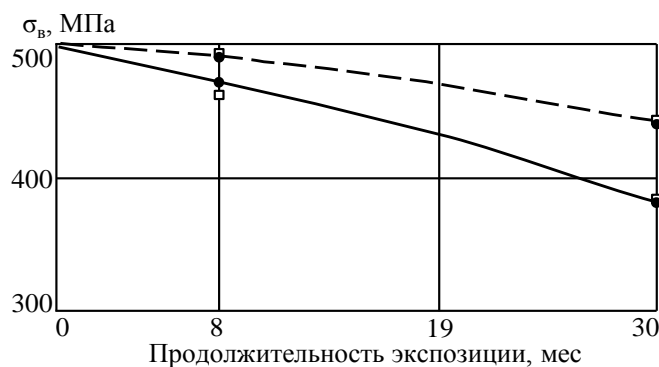


Рисунок 8. Изменение предела прочности (● – экспериментальные значения; □ – расчетные значения) неплакированных образцов из сплава Д16ч.-Т в зависимости от длительности коррозионных испытаний под навесом при экспозиции в 50 (—) и 2000 м (---) от уреза воды

Регрессионный анализ проведен по результатам 18 измерений. В результате расчетов получены уравнения регрессии для неплакированных образцов, прошедших испытания под навесом на расстояниях 50 и 2000 м от моря:

– для расстояния 50 м от моря:

$$\lg Y_1 = 2,69 - 0,071 \lg X_2; \quad (5)$$

– для расстояния 2000 м от моря:

$$\lg Y_1 = 2,69 - 0,0251 \lg X_2, \quad (6)$$

где Y_1 – предел прочности (σ_b), МПа; X_2 – продолжительность экспозиции, мес.

Эти уравнения позволяют определить прочностные характеристики сплава Д16ч.-Т в зависимости от продолжительности экспозиции. Используя оба уравнения регрессии зависимости прочностных свойств от расстояния экспонируемого образца от моря и продолжительности экспозиции, можно спрогнозировать изменение механических характеристик образцов из этого сплава.

Металлографические исследования коррозионных поражений образцов, прошедших испытания в течение 2,5 лет, показали, что после 30 мес коррозионных испытаний под навесом на всех расстояниях от моря (50, 100, 200, 500, 2000 м) неплакированные образцы проявили склонность к расслаивающей коррозии, следствием чего и явилось снижение механических характеристик.

Плакированные образцы, прошедшие испытания как под навесом, так и в открытой атмосфере, были поражены питтинговой коррозией, при этом интенсивность коррозионных поражений образцов, испытанных в условиях навеса, выше, чем у образцов, прошедших экспозицию в открытой атмосфере.

На рис. 9 показан характер поражений неплакированных и плакированных образцов из сплава Д16ч.-Т, прошедших коррозионные испытания под навесом в течение 30 мес.

Металлографические исследования позволили также установить, что за указанный период коррозионных испытаний ни в одном случае не отмечены сквозные поражения плакирующего слоя.

Сопоставляя полученные экспериментальные материалы, можно отметить, что для сплава Д16ч.-Т как в плакированном, так и в неплакированном состоянии наиболее жесткими условиями являются испытания под навесом. Такое положение можно объяснить тем, что атмосферные осадки в виде дождей играют профилактическую роль, смывая осевшие на материал хлориды. Кроме того, пленка влаги на образцах, экспони-

руемых под навесом, сохраняется дольше, чем у образцов в открытой атмосфере из-за менее интенсивного ее испарения.

Следовательно, хранение авиационной техники в непосредственной близости от моря должно осуществляться при минимально возможном попадании на нее ионов хлора [18, 19].

Этим условиям могут отвечать такие виды хранения, как постановка изделия в закрытый ангар (не под навес) или его зачехление. Если такие возможности отсутствуют, то изделие целесообразнее хранить под открытым небом.

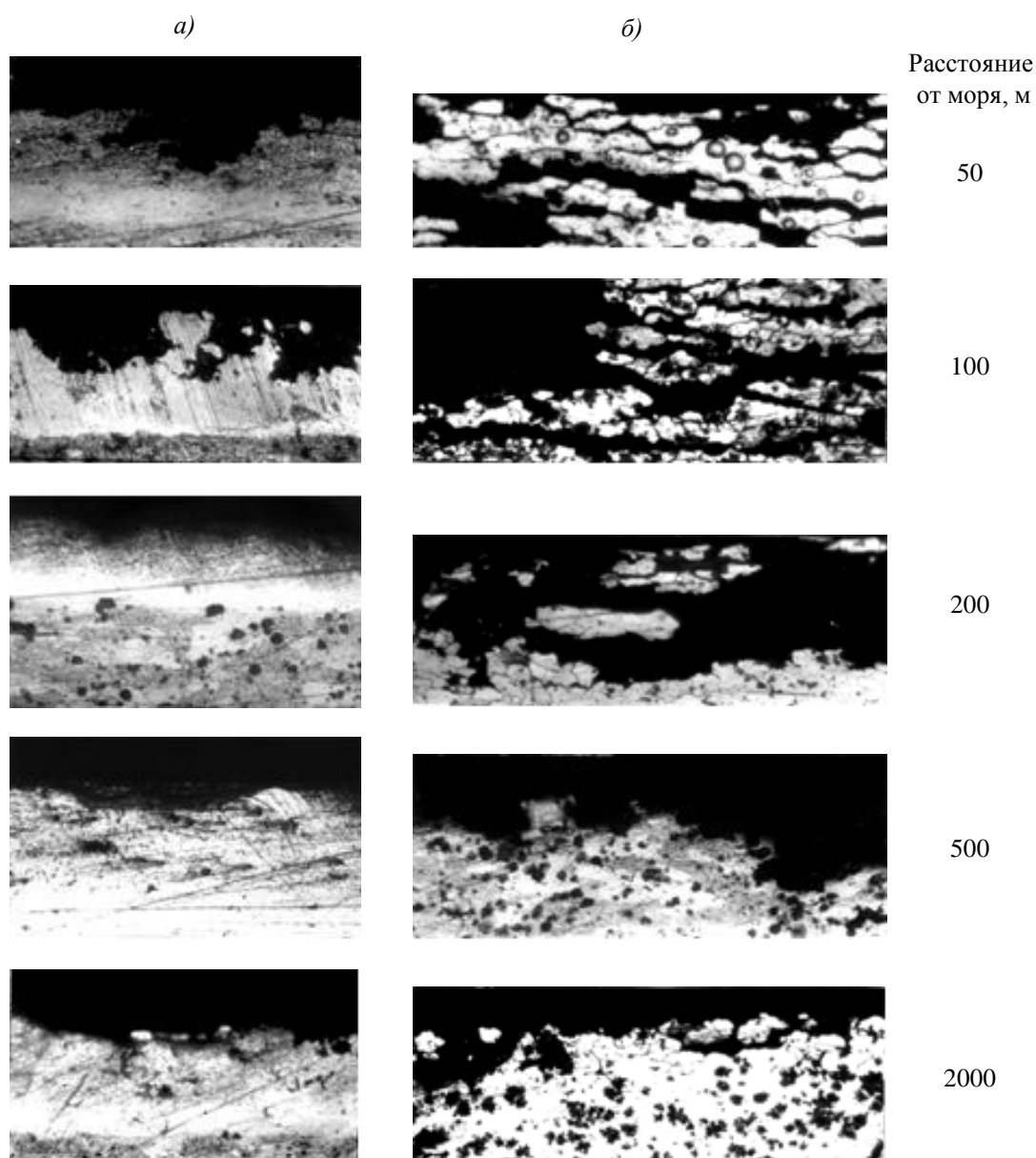


Рисунок 9. Коррозионные поражения плакированных (*a*) и неплакированных (*б*) образцов из сплава Д16ч.-Т после 2,5 лет экспозиции под навесом на различных расстояниях от моря

Как уже было показано выше, большое значение имеет выбор места хранения техники, так как интенсивность коррозионных поражений материала находится в зависимости от концентрации хлоридов, которая, в свою очередь, снижается с ростом расстояния от моря. Степень коррозионных повреждений материала, а следовательно, и снижение его механических характеристик будет тем меньше, чем дальше от моря хранится изделие.

Большое значение для повышения надежности изделия имеет лакировка обшивочных листов. По всем изученным критериям, оценивающим стойкость материала к климатическим воздействиям (время до появления первых коррозионных поражений, площадь коррозии, скорость коррозии, глубина коррозионных поражений и их характер), лакированный материал имеет преимущество перед нелакированным.

Особо следует остановиться на прочностных характеристиках материала при его длительных испытаниях в морском климате.

Если в исходном состоянии предел прочности и условный предел текучести нелакированных образцов из сплава Д16ч.-Т несколько выше, чем лакированных, то уже через 8 мес экспозиции образцов под навесом, удаленном от моря на 50 м, остаточные свойства нелакированных образцов становятся ниже, чем лакированных.

С увеличением срока экспозиции растет и преимущество лакированных образцов перед нелакированными. Так, предел прочности и условный предел текучести лакированных образцов из сплава Д16ч.-Т за 2,5 года испытаний не изменились, а у нелакированного материала снизились практически в 1,2 раза.

Сохранение механических характеристик лакированных образцов из сплава Д16ч.-Т на исходном уровне (несмотря на наличие коррозионных поражений) можно объяснить тем, что коррозия лакировки носит характер пятен и питтингов, при этом питтинги по своей глубине не превышают толщину лакировки. Кроме того, коррозионные поражения лакированных образцов равномерно рассредоточены по поверхности, следовательно, эффективными концентраторами напряжений такие коррозионные поражения быть не могут, о чем свидетельствуют результаты оценки механических свойств образцов после коррозионных испытаний.

Снижение механических характеристик нелакированных образцов объясняется изменением площади поперечного сечения образцов за счет локальных видов коррозии, а также вследствие межкристаллитной и расслаивающей коррозии, нарушающих целостность металла по границам зерен.

Таким образом, применение лакированного материала, правильное хранение авиационной техники, а также выбор места ее хранения относительно морского побережья являются простыми, но эффективными методами повышения надежности изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
2. Антипов В.В., Сенаторова О.Г., Ткаченко Е.А., Вахромов Р.О. Алюминиевые деформируемые сплавы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 167–182.
3. Каблов Е.Н. Коррозия или жизнь //Наука и жизнь. 2012. №11. С. 16–21.
4. История авиационного материаловедения. ВИАМ – 80 лет: годы и люди /Под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ. 2012. С. 78–81.
5. Синявский В.С., Вальков В.Д., Калинин В.Д. Коррозия и защита алюминиевых сплавов. М.: Металлургия. 1986. С. 266–287.
6. Каримова С.А., Жиликов В.П., Михайлов А.А. и др. Натурно-ускоренные испытания алюминиевых сплавов в условиях воздействия морской атмосферы //Коррозия: материалы, защита. 2012. №10. С. 1–3.
7. Семенычев В.В. Влияние концентрации хлоридов на коррозию листов из сплава Д16ч.-Т в условиях морских субтропиков //Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. №4–3. С. 791–797.
8. Жиликов В.П., Каримова С.А., Лешко С.С., Чесноков Д.В. Исследование динамики коррозии алюминиевых сплавов при испытании в камере солевого тумана (КСТ) //Авиационные материалы и технологии. 2012. №4. С. 18–22.
9. Ивонин В.Н., Чинь Куок Кхань и др. Об эффективности противокоррозионной защиты алюминиевых сплавов конверсионными покрытиями в условиях влажного тропического климата //Коррозия: материалы, защита. 2012. №10. С. 44–48.
10. ГОСТ 9.039–74. Коррозионная агрессивность атмосферы.
11. Синявский В.С., Калинин В.Д., Александрова Т.В. Новый метод ускоренных коррозионных испытаний алюминиевых сплавов //Технология легких сплавов. 2013. №2. С. 89–93.
12. Курс М.Г., Каримова С.А., Махсидов В.В. Сравнение коррозионной стойкости деформируемых алюминиевых сплавов по результатам натуральных и натурно-

- ускоренных испытаний под навесом //Вопросы материаловедения. 2013. №1(73). С. 182–190.
13. Синявский В.С. Влияние начальных стадий атмосферной коррозии на циклическую прочность алюминиевых сплавов //Технология легких сплавов. 2012. №1. С. 93–97.
14. Синявский В.С. Коррозионные свойства прессованных полуфабрикатов из алюминиевых сплавов Д16Ч и 1933 при статическом и циклическом нагружении //Технология легких сплавов. 2011. №4. С. 101–104.
15. Гриневич А.В., Луценко А.Н., Каримова С.А. Исследование остаточной усталостной долговечности алюминиевого сплава В95п.ч.-Т1 после экспозиции в различных условиях //Вопросы материаловедения. 2013. №2(74). С. 118–122.
16. Салахова Р.К. Коррозионная стойкость стали 30ХГСА с «трехвалентным» хромовым покрытием в естественных и искусственных средах //Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 59–66.
17. Кенуй М.Г. Быстрые статистические вычисления. М.: Статистика. 1979. С. 8.
18. Хохлатова Л.Б., Колобнев Н.И., Антипов С.А. и др. Влияние коррозионной среды на скорость роста трещины усталости в алюминиевых сплавах //Авиационные материалы и технологии. 2011. №1. С. 16–20.
19. Панченко Ю.М., Стрекалов П.В., Чесноков Д.В. и др. Зависимость коррозионной стойкости сплава Д16 от засоленности и метеопараметров приморской атмосферы //Авиационные материалы и технологии. 2010. №3. С. 8–14.

REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of development of materials and technologies to process them for the period up to 2030] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
2. Antipov V.V., Senatorova O.G., Tkachenko E.A., Vahromov R.O. Aljuminievye deformiruemye splavy [Aluminium wrought alloys] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 167–182.
3. Kablov E.N. Korrozija ili zhizn' [Corrosion or life] //Наука и жизнь. 2012. №11. С. 16–21.
4. Istorija aviacionnogo materialovedenija. VIAM – 80 let: gody i ljudi [History of aviation materials. VIAM - 80 years: the years and people] /Pod obshh. red. E.N. Kablova. М.: VIAM. 2012. С. 78–81.

5. Sinjavskij V.S., Val'kov V.D., Kalinin V.D. Korrozija i zashhita aljuminievyh splavov [Corrosion protection of aluminum alloys]. M.: Metallurgija. 1986. S. 266–287.
6. Karimova S.A., Zhilikov V.P., Mihajlov A.A. i dr. Naturno-uskorenyye ispytaniya aljuminievyh splavov v uslovijah vozdeystviya morskoy atmosfery [Natural-accelerated testing of aluminum alloys under the action of the marine atmosphere] //Korrozija: materialy, zashhita. 2012. №10. S. 1–3.
7. Semenychev V.V. Vlijanie koncentracii hloridov na korroziju listov iz splava D16ch.-T v uslovijah morskikh subtropikov [Effect of chloride concentration on the corrosion of the alloy sheets D16ch.-T conditions in subtropical marine] //Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN. 2012. T. 14. №4–3. S. 791–797.
8. Zhilikov V.P., Karimova S.A., Leshko S.S., Chesnokov D.V. Issledovanie dinamiki korrozii aljuminievyh splavov pri ispytanii v kamere solevogo tumana (KST) [Study of the dynamics of corrosion of aluminum alloys when tested in the salt spray chamber (SSC)] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №4. S. 18–22.
9. Ivonin V.N., Chin' Kuok Khan' i dr. Ob jeffektivnosti protivokorrozionnoj zashhity aljuminievyh splavov konversionnymi pokrytijami v uslovijah vlazhnogo tropicheskogo klimata [About the effectiveness of corrosion protection of aluminum alloys conversion coatings in a humid tropical climate] //Korrozija: materialy, zashhita. 2012. №10. S. 44–48.
10. GOST 9.039–74. Korroziionnaja agressivnost' atmosfery [Corrosiveness of the atmosphere].
11. Sinjavskij V.S., Kalinin V.D., Aleksandrova T.V. Novyj metod uskorenyh korroziionnyh ispytanij aljuminievyh splavov [New method of accelerated corrosion testing of aluminum alloys] //Tehnologija legkih splavov. 2013. №2. S. 89–93.
12. Kurs M.G., Karimova S.A., Mahsidov V.V. Sravnenie korroziionnoj stojkosti deformiruemyh aljuminievyh splavov po rezul'tatam naturnyh i naturno-uskorenyh ispytanij pod navesom [Comparison of the corrosion resistance of aluminum alloys deformed by results of natural and natural-accelerated tests under a canopy] //Voprosy materialovedeniya. 2013. №1(73). S. 182–190.
13. Sinjavskij V.S. Vlijanie nachal'nyh stadij atmosfernoj korrozii na ciklicheskuju prochnost' aljuminievyh splavov [Influence of the initial stages of atmospheric corrosion cyclic strength aluminum alloys] //Tehnologija legkih splavov. 2012. №1. S. 93–97.
14. Sinjavskij V.S. Korroziionnye svojstva pressovannyh polufabrikatov iz aljuminievyh splavov D16Ch i 1933 pri staticheskom i ciklicheskom nagruženii [Corrosion proper-

- ties of extruded semi-finished aluminum alloy D16CH and 1933 under static and cyclic loading] //Tehnologija legkih splavov. 2011. №4. S. 101–104.
15. Grinevich A.V., Lucenko A.N., Karimova S.A. Issledovanie ostatochnoj ustalostnoj dolgovechnosti aljuminievogo splava V95p.ch.-T1 posle jekspozicii v razlichnyh usloviyah [Investigation of the residual fatigue life of aluminum alloy V95p.ch.-T1 after exposure to different conditions] //Voprosy materialovedenija. 2013. №2(74). S. 118–122.
 16. Salahova R.K. Korroziionnaja stojkost' stali 30HGSA s «trehvalentnym» hromovym pokrytiem v estestvennyh i iskusstvennyh sredah [The corrosion resistance of steel with 30KhGSA «trivalent» chromium plated in natural and artificial environments] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №2. S. 59–66.
 17. Kenuj M.G. Bystrye statisticheskie vychislenija [Quick Aggregates]. M.: Statistika. 1979. S. 8.
 18. Hohlatova L.B., Kolobnev N.I., Antipov S.A. i dr. Vlijanie korroziionnoj sredy na skorost' rosta treshhiny ustalosti v aljuminievyh splavah [Effect of environment on corrosion fatigue crack growth rate in aluminum alloys] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №1. S. 16–20.
 19. Panchenko Ju.M., Strekalov P.V., Chesnokov D.V. i dr. Zavisimost' korroziionnoj stojkosti splava D16 ot zasolennosti i meteoparametrov primorskoj atmosfery [The dependence of the corrosion resistance of the alloy D16 meteoparameters salinity and coastal environments] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2010. №3. S. 8–14.