

УДК 667.6:620.193

Т.М. Ракова¹, А.А. Козлова¹, Н.И. Нефедов¹, А.Б. Лантнев¹

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ НА КОРРОЗИОННОЕ РАСТРЕСКИВАНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-6-12-12

Проведены исследования защитного действия органических и неорганических ингибиторов коррозии, их совместного действия на развитие трещины в высокопрочных сталях в водных средах и при введении в состав лакокрасочного покрытия.

Установлено, что среди неорганических солей и оксидов наиболее эффективными при защите высокопрочных сталей от хрупкого разрушения являются хроматы, обеспечивающие наибольшее время до разрушения образцов и наилучшую защиту стали от общей коррозии.

Исследования показали, что наибольшее защитное действие, обеспечиваемое наличием синергического эффекта, оказывают смеси неорганических и органических ингибиторов коррозии.

Ключевые слова: лакокрасочные покрытия, ингибиторы коррозии, коррозионное растрескивание, хрупкое разрушение.

It was conducted studies of organic and inorganic corrosion inhibitors, their combined effect on the development of cracks on high-strength steels and in aqueous media when introduced into the paint coating.

It was found that among the inorganic salts and oxides of the most effective in protecting from high-strength steels are brittle chromates provide the longest time to failure of samples and the best protection against general corrosion of steel.

Studies have shown that the greatest protective effect is a mixture of inorganic and organic corrosion inhibitors provide a synergistic effect.

Keywords: paint coatings, corrosion inhibitors, stress-corrosion cracking, brittle fracture.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

В различных отраслях техники широкое применение находят высокопрочные конструкционные стали (низколегированные стали, прочностные характеристики которых обеспечиваются соответствующей термообработкой), имеющие предел прочности до 2000 МПа. Однако с увеличением прочности отмечается снижение сопротивления коррозионному растрескиванию. Особенно большую опасность оно представляет для деталей из высокопрочных конструкционных сталей с мартенситной структурой, которые эксплуатируются при больших рабочих напряжениях.

Вопрос защиты высокопрочных сталей, которые применяются для изготовления ответственных деталей в авиационной технике от коррозионного растрескивания, является актуальным и связан в первую очередь с повышением надежности и долговечности изделий. Поэтому представляло интерес исследовать влияние различных ингибиторов коррозии, применяемых при изготовлении ингибированных лакокрасочных материалов, на коррозионное растрескивание высокопрочных конструкционных сталей.

Для защиты от коррозии в водных средах применяют лакокрасочные покрытия (ЛКП), неорганические и органические ингибиторы коррозии. При изучении механизма защитного действия ЛКП большинство исследователей исходят из концепции, что пленка не влияет на механизм процесса коррозии металла, а выполняет роль диффузионного барьера. В случае деградации слоя ЛКП и появления трещин и пористости защитное действие его снижается [1–9]. Многими исследователями показано, что использование ингибирующих добавок к ЛКП позволяет обеспечить приемлемую защиту металлических поверхностей даже в условиях нарушения ЛКП. Защитное действие комплексного ЛКП основано на взаимодействии входящих в его состав ингибиторов с энергетически неоднородными участками металлической поверхности с нарушенным ЛКП. Большинство ингибиторов коррозии замедляют коррозионные процессы путем блокирования анодных (выход ионов металла в раствор) и катодных (нейтрализация электронов ионами-деполяризаторами) зон путем адсорбции молекул ингибитора за счет сил физического и химического взаимодействия [10–13]. Для того чтобы ингибитор создавал защитную пленку в местах нарушенного ЛКП, необходимо чтобы он имел некоторую подвижность, т. е. за счет поверхностно-активных свойств диффундировал из ЛКП и адсорбировался на металлической поверхности. При определении эффективности защитного действия того или иного ингибитора, необходимо учитывать не только его защитное действие, но и возможность перехода из ЛКП без существенного нарушения его барьерных свойств [14–18].

Изучение влияния добавок (ингибиторов), входящих в состав лакокрасочного покрытия, на развитие трещин в высокопрочных конструкционных сталях необходимо проводить в водных растворах, что позволяет значительно облегчить выбор и оптимальный состав наиболее эффективных ингибиторов [19].

Хрупкое разрушение высокопрочных конструкционных сталей в коррозионных средах (коррозионное растрескивание) происходит в три стадии: зарождение трещины, стабильный рост, лавинообразное разрушение.

Считают, что долговечность изделий из высокопрочных конструкционных сталей в большинстве случаев определяется стадией стабильного роста трещины, так как различные дефекты (риски, царапины, структурные неоднородности и т. п.), инициирующие рост трещины под нагрузкой, могут возникать в процессе получения стали в высокопрочном состоянии или при нарушении условий ее эксплуатации. В этих случаях образование и развитие трещины может происходить под действием коррозионной среды и растягивающих напряжений.

В этой связи, независимо от причин, вызвавших появление трещины, испытания высокопрочных сталей проводили на образцах с предварительно выращенной трещиной. Это дает возможность определить факторы, способные затормозить развитие трещины, а также исключить погрешности различного рода, связанные с длительностью протекания инкубационного периода развития трещины, т. е. до момента ее зарождения, и, соответственно, с изменением условий испытаний. Одновременно подобная методика дает возможность значительно повысить точность и сократить число испытаний.

Целью данной работы являлось изучение влияния органических и неорганических ингибиторов коррозии на коррозионное разрушение высокопрочных сталей [20–25].

Работа выполнялась в рамках реализации комплексного научного направления 17.7. «Лакокрасочные материалы и покрытия на полимерной основе» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [16].

Материалы и методы

Исследование влияния неорганических и органических ингибиторов коррозии на развитие коррозионных трещин проводили в водной среде, для чего готовили водные вытяжки ингибиторов коррозии. Исследования проводили на основе серийно применяемых лакокрасочных материалов путем их модификации органическими и неорганическими ингибиторами коррозии [7]. На практике для защиты высокопрочных сталей от коррозии широкое применение нашли хроматные грунтовки на основе акриловой АК-070 (ГОСТ 25718–73) и эпоксиднополиамидной ЭП-076 (ТУ 6-10-755–84) смол [8].

В качестве модификаторов выбрали следующие неорганические соли: хроматы, фосфаты, молибдаты, вольфраматы, которые являются эффективными неорганическими ингибиторами в нейтральных средах. При выборе других солей исходили из их невысокой растворимости в водных растворах и возможного гидролиза, стимулирующего образование труднорастворимых соединений на поверхности стали марки 30ХГСН2А. Исследовали также оксиды некоторых металлов, широко используемых в качестве наполнителей в составе грунтовочных покрытий.

В качестве органических ингибиторов коррозии использовали вещества, нашедшие широкое применение для защиты от коррозии металлов в различных условиях.

Испытания проводили на образцах из стали 30ХГСН2А (ГОСТ 11269–76), термообработку – по режиму: закалка при 900°С в течение 15 мин в масле + отпуск при 200°С в течение 3 ч, затем охлаждение на воздухе. На образцах из стали 30ХГСН2А без нанесенного ЛКП путем усталостного нагружения предварительно выращивали трещину. Затем образец с трещиной выдерживали под статической нагрузкой в коррозионной среде. Результатом исследований явилось измерение времени от момента приложения нагрузки к образцу с трещиной и погружения его в ингибированную дистиллированную воду до момента разрушения образца.

Измерения электродных потенциалов проводили на потенциостате ПИ-50-1.

Результаты

Результаты по исследованию влияния неорганических и органических ингибиторов коррозии на время разрушения образцов из высокопрочной стали, а также данные по рН и состоянию поверхности образца к моменту разрушения приведены в табл. 1 и 2. Данные табл. 1 показывают, что в пределах выбранной группы ингибиторов время до разрушения стали существенно различается.

На основании полученных данных (табл. 1) установлено, что в растворах хроматов лишь хромат бария не оказывает существенного влияния на развитие трещины. В остальных хроматах время до разрушения стали увеличивается до 30–37 ч. Стационарные электродные потенциалы стали 30ХГСН2А в растворах хроматов значительно смещены в положительную область по сравнению со значениями в дистиллированной воде. Из данных, приведенных в табл. 1, видно, что значения рН растворов хроматов несколько смещены в щелочную область.

В растворах вольфраматов и молибдатов также наблюдается увеличение времени до разрушения стали, причем для растворов молибдата магния наблюдается наибольшее время до разрушения по сравнению со всеми исследованными растворами: 54,3 ч. Наименее эффективным оказался вольфрамат кобальта. Для всех растворов молибдатов и вольфраматов имеет место резкое смещение электродного потенциала стали в отрицательную сторону.

Таблица 1

**Влияние неорганических ингибиторов коррозии
на хрупкое разрушение стали 30ХГСН2А**

Ингибитор коррозии	Время до разрушения, ч	pH	Значение электродного потенциала стали, В	Состояние поверхности стального образца
Дистиллированная вода	5,3	6,8	-0,200	Коррозия
SrCrO ₄	37,8	7,8	+0,200	Без изменения
ZnCrO ₄	30,1	7,6	+0,240	То же
CaCrO ₄	28,5	8,1	+0,300	««
BaCrO ₄	6,1	7,7	+0,040	««
Ba ₃ (PO ₄) ₂	44,8	7,6	-0,400	Коррозия
CrPO ₄	9,1	6,2	-0,410	То же
BaWO ₄	48,1	7,8	-0,390	««
CoWO ₄	12,7	6,7	-0,430	««
MgMoO ₄	54,3	6,2	-0,410	««
CaMoO ₄	34,5	7,0	-0,410	««
CoC ₂ O ₄	17,7	7,2	-0,420	««
MnC ₂ O ₄	11,2	7,0	-0,440	««
Zn(AlO ₂) ₂	7,3	6,0	-0,400	««
Mg(AlO ₂) ₂	14,1	9,2	-0,410	««
BaSiO ₃	47,2	8,5	+0,100	Без изменения
Cr ₂ O ₄	6,1	7,3	-0,420	Коррозия
ZnO	5,8	7,1	-0,400	То же
MgO	26,3	9,9	+0,120	Без изменения
TiO ₂	6,3	8,9	-0,450	Коррозия

Среди фосфатов наиболее эффективным ингибитором является фосфат бария – время до разрушения образцов стали в растворе составляет 44,8 ч, а наименее эффективным – фосфат хрома, время до разрушения в котором равняется 9,1 ч. Стационарные электродные потенциалы металла также смещены в отрицательную сторону.

Оксалаты кобальта и марганца не являются эффективными ингибиторами, значения pH растворов находятся в нейтральной области. В растворах алюминатов время до разрушения образцов составляет 14,1 и 7,3 ч.

Силикат бария смещает электродный потенциал стали в сторону положительных значений, значения pH смещены в щелочную область, а по защитному действию он уступает только молибдату магния. Время до разрушения образцов в растворе силиката бария: 47,2 ч.

Среди оксидов наиболее эффективным является оксид магния – время до разрушения образцов в его растворе составляет 26,3 ч.

Стационарный электродный потенциал стали смещен в область положительных значений до +0,120 В и значения pH находятся в щелочной области. Другие ионы (Cr³⁺, Zn²⁺, Al³⁺) не оказывают существенного влияния на развитие трещины – время до разрушения образцов составляет 5,8–6,3 ч и наблюдается резкое смещение стационарного электродного потенциала в отрицательную сторону.

Данные, приведенные в табл. 2, показывают, что исследованные ингибиторы коррозии по времени до разрушения образцов практически не различаются. Так, значения pH раствора ингибитора М-2 смещено в щелочную область, однако время

до разрушения образцов составляет всего 6,1 ч, а величина стационарного электродного потенциала смещена в положительную область и на металлической поверхности нет коррозионных поражений.

Испытания органических ингибиторов коррозии (табл. 2) показали, что в растворах технических фракций синтетических жирных кислот и ингибиторов марок ВНХ-5, ВНХ-1, ВНХ-12 при низких значениях рН время до разрушения образцов составляет 5,4–7,2 ч, значения электродных потенциалов значительно смещены в область положительных значений.

Таблица 2

**Влияние органических ингибиторов коррозии
на хрупкое разрушение стали 30ХГСН2А**

Ингибитор коррозии	Время до разрушения, ч	рН	Значение электродного потенциала стали, В	Состояние поверхности стального образца
Дистиллированная вода	5,3	6,8	-0,200	Коррозия
ВНХ-5	5,4	5,7	+0,240	Без изменения
Технические фракции СЖК	5,9	6,7	+0,340	То же
М-2	6,1	9,4	+0,220	««
ВНХ-1	7,0	6,5	+0,180	««
ВНХ-12	7,2	6,2	+0,120	««
Бензотриазол	7,0	6,0	+0,086	««
ВНХ-101	7,1	7,0	+0,050	««
ВНХЛ-49	6,9	6,9	+0,040	««
ИКБ-4	6,5	6,8	+0,040	««
ТАЛ-2	7,0	8,6	-0,020	««
ЛБ-39	5,0	6,6	-0,020	««
ИФХАНГАЗ	4,9	–	-0,175	Коррозия
ИФХАН-100	4,8	–	-0,250	То же
ИКБ-2	5,4	7,2	-0,280	««
ИКБ-2-2	6,0	7,0	-0,300	««
ТАЛ-3	6,2	7,2	-0,300	««
ЛБ-123	6,5	7,9	-0,360	««
ЛБ-40	6,8	6,6	-0,409	««

В растворах ингибиторов марок ВНХ-101, ВНХЛ-49, ИКБ-4, бензотриазола при значениях рН менее 7, время до разрушения образцов составляет 6,5–7,1 ч, стационарный потенциал стали находится в области положительных значений.

Введение в водный раствор ингибитора ТАЛ-2 смещает рН в щелочную область до значения 8,6, однако время до разрушения образцов составляет всего 7,0 ч, а потенциал смещен в сторону отрицательных значений.

Ингибиторы марок ИФХАНГАЗ, ИФХАН-100, ИКБ-2, ИКБ-2-2 не тормозят процесс хрупкого разрушения высокопрочной стали и не защищают сталь от общей коррозии.

Ингибиторы марок ЛБ-39, ЛБ-123, ЛБ-40 также не увеличивают время до разрушения образцов в водных вытяжках.

Для повышения надежности защиты высокопрочных сталей от хрупкого разрушения исследована возможность совместного применения органических и неорганических ингибиторов коррозии. При исследовании влияния смесей ингибиторов коррозии

на хрупкое разрушение использовали органические и неорганические ингибиторы коррозии, оказывающие наибольшее влияние на процесс торможения развития коррозионной трещины, обеспечивающие смещение электродного потенциала в область положительных значений и наилучшую защиту стали от общей коррозии. Среди неорганических ингибиторов выбрали: SrCrO_4 , ZnCrO_4 , CaCrO_4 , $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$, BaWO_4 , MgMoO_4 , CaMoO_4 , BaSiO_3 , а среди органических – ингибиторы марок: ВНХ-5, М-2, ТАЛ-2, СЖК, ВНХ-101, ВНХ-12, ВНХЛ-49, бензотриазол.

Наиболее эффективными оказались смеси неорганического ингибитора коррозии хромата стронция и органических ингибиторов коррозии марок ВНХ-5 или М-2, или ТАЛ-2, или СЖК.

В растворах указанных смесей образцы не разрушаются в течение более 3000 ч. Защитные свойства смеси повышаются в 75–600 раз по сравнению с защитными свойствами отдельно взятых хромата и органического ингибитора.

Совместное применение других хроматов – цинка и кальция с органическими ингибиторами коррозии к повышению защитных свойств смеси не приводит – время до разрушения образцов составляет не более 35 ч. Внешний вид металлической поверхности остается без изменений в течение всего времени испытания – на поверхности отсутствуют коррозионные поражения.

Сочетание органических ингибиторов коррозии с фосфатами, молибдатами, силикатами, алюминатами к повышению защитных свойств смеси не приводит – время до разрушения образцов в растворах составляет от 24,8 до 40,1 ч.

Обсуждение и заключения

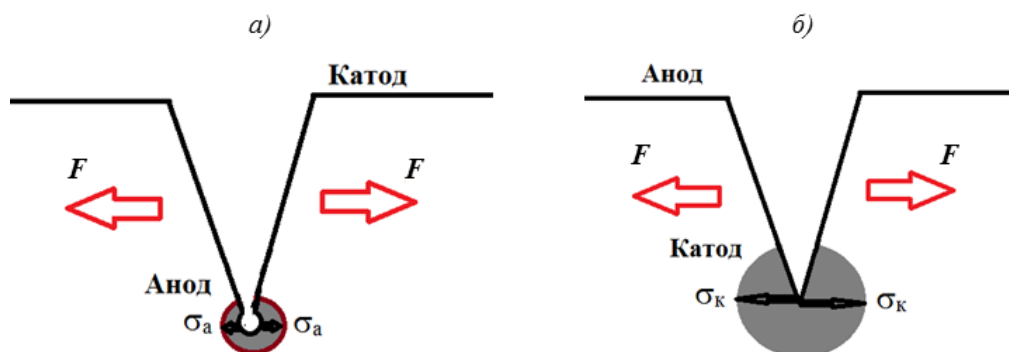
Известно, что скорость роста трещины во многом зависит от напряжений, возникающих в металле. Эти напряжения обусловлены структурой металла и могут быть охарактеризованы понятием остроты трещины. Так, для вязкого материала напряжения меньше и ниже скорость роста трещины, для хрупкого – напряжения выше и выше скорость развития трещины. В данной работе проведен анализ влияния коррозионной среды на развитие трещины, т. е. на скорость ее развития и напряжения на линии фронта ее распространения. Коррозионная среда приводит к изменению скорости роста трещины за счет создания либо дополнительных напряжений на линии фронта путем формирования на линии фронта продуктов коррозии большего объема или наводороживания металла, либо к снижению напряжений путем растворения части металла (закруглению острой трещины), т. е. к снижению уровня напряжений.

Установлено, что среди неорганических ингибиторов коррозии (солей и оксидных соединений) наиболее эффективными при защите высокопрочных сталей от хрупкого разрушения являются хроматы (в частности – хромат стронция), обеспечивающие наибольшее время до разрушения образцов и наилучшую защиту стали от общей коррозии.

Измерение потенциала поверхности образца в ингибированной дистиллированной воде показало, что смещение потенциала поверхности в анодную область ($0 \div +0,4$ В) приводит к увеличению времени до разрушения образца, смещение в катодную ($0 \div -0,4$ В) – к снижению. На рисунке показано перераспределение катодных и анодных зон в ингибированной дистиллированной воде.

Изменение электродного потенциала поверхности образца свидетельствует о процессах, происходящих на поверхности, и превалировании одного из двух основных процессов. Так, замедление за счет образования двойного электрического слоя большой емкости растворения ионов металла на аноде приводит к смещению потенциала в катодную область, а замедление деполяризации, например водородом, на катоде

приводит к смещению потенциала в анодную область. Таким образом, при смещении потенциала в катодную область поверхность металла образца не корродирует – является катодом, следовательно трещина служит активным анодом и металл в вершине трещины активно растворяется, что приводит к закруглению трещины и снижению напряжений (рис. 1, а). При смещении потенциала поверхности образца в анодную область происходит обратный процесс – трещина становится катодом и снятия напряжений не происходит, трещина растет быстрее (рис. 1, б).



Уровень интенсивности напряжений анодной σ_a (а) и катодной σ_k (б) зон при смещении электродного потенциала поверхности соответственно в анодную и катодную области и действие растягивающей силы F

Исходя из полученных результатов, можно заключить следующее:

1. Для высокопрочных сталей, таких как сталь 30ХГСН2А, работающих в высоконапряженном состоянии, наиболее важным фактором, обеспечивающим длительную эксплуатацию, является снижение скорости роста трещины.

2. Скорость коррозии поверхности стали в ингибированной дистиллированной воде не должна учитываться при оценке скорости роста трещины. Для высокопрочных сталей должны быть использованы другие критерии оценки стойкости, такие как определение скорости роста трещины при статическом и знакопеременном нагружении в коррозионных средах.

3. Наиболее эффективными ингибирующими добавками в ЛКП являются $MgMoO_4$ (54,3 ч), $BaWO_4$ (48,1 ч), $BaSiO_3$ (47,2 ч), $Ba_3(PO_4)_2$ (44,8 ч), $CaMoO_4$ (34,5 ч). Органические добавки, по-видимому из-за большой молекулярной массы и стерических затруднений, при доставке в вершину трещины для защиты высокопрочных сталей от растрескивания неэффективны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаптев А.Б., Николаев Е.В., Павлов М.Р. Исследование причин разрушения стали 06Х16Н15М2Г2ТФР змеевика печи и разработка метода защиты // Практика противокоррозионной защиты. 2017. №1 (83). С. 39–44.
2. Розенфельд И.Л., Рубинштейн Ф.И. Антикоррозионные грунтовки и ингибированные лакокрасочные покрытия. М.: Химия, 1980. С. 95–112.
3. Ингибитор «Реакор-2» коррозионно-механического разрушения низколегированных сталей: пат. 2068628 Рос. Федерация. №94010478/02; заявл. 25.03.94; опубл. 27.10.96, Бюл. №30. 5 с.
4. Рахманкулов Д.Л., Бугай Д.Е., Габитов А.И., Голубев М.В., Лаптев А.Б., Калимуллин А.А. Ингибиторы коррозии. Уфа: Реактив, 1997. Т. 1: Основы теории и практики применения. С. 117–128.

5. Бугай Д.Е., Голубев М.В., Лаптев А.Б. и др. О защитных свойствах некоторых аминов, кето-сульфидов, ацеталей и их аналогов при ингибировании коррозии под напряжением строительной стали // Башкирский химический журнал. 1996. Т. 3. №4. С. 59–63.
6. Астафьев В.И., Радаев Ю.Н., Степанова Л.В., Ширяева Л.К. Накопление поврежденности и разрушение металлов в условиях коррозионного растрескивания под напряжением. Самара: Изд-во Самар. ун-та, 1998. 123 с.
7. Гареев А.Г., Насибуллина О.А., Ризванов Р.Г. Исследование особенностей коррозионного растрескивания под напряжением образца стали X70, отобранного из очаговой зоны разрушения // Нефтегазовое дело. 2015. Т. 13. №4. С. 244–248.
8. *n*-изобутил-*n*-2-триметилсилилокси(этил)-*n*-циклогексан-2-онилметиламин в качестве ингибитора коррозионно-механического разрушения низколегированных сталей: пат. 2119492 Рос. Федерация. №93047885; заявл. 15.10.93; опубл. 27.09.98, Бюл. №30. 5 с.
9. Бугай Д.Е., Лаптев А.Б., Габитов А.И. Учет характера адсорбции ингибиторов на стали при определении защитных свойств в сероводородных средах при коррозии под напряжением // Башкирский химический журнал. 1994. Т. 1. №2. С. 25–27.
10. Бугай Д.Е., Габитов А.И., Лаптев А.Б. и др. Механизм защитного действия ингибиторов стресс-коррозии класса ацеталей // Башкирский химический журнал. 1994. Т. 1. №2. С. 28–32.
11. История авиационного материаловедения. ВИАМ – 80 лет: годы и люди / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2012. 520 с.
12. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение: итоги и перспективы // Вестник Российской академии наук. 2002. Т. 72. №1. С. 3–12.
13. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
14. Курс М.Г., Лаптев А.Б., Кутырев А.Е., Морозова Л.В. Исследование коррозионного разрушения деформируемых алюминиевых сплавов при натурно-ускоренных испытаниях. Часть 1 // Вопросы материаловедения. 2016. №1. С. 116–126.
15. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
16. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
17. Чеботаревский В.В., Кондрашов Э.К. Технология лакокрасочных покрытий в машиностроении. М.: Машиностроение, 1978. С. 76–105.
18. Кондрашов Э.К., Кузнецова В.А., Семенова Л.В., Лебедева Т.А. Основные направления повышения эксплуатационных, технологических и экологических характеристик лакокрасочных покрытий для авиационной техники // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 96–102.
19. Семенова Л.В., Малова Н.Е., Кузнецова В.А., Пожого А.А. Лакокрасочные материалы и покрытия // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 315–327.
20. Нефедов Н.И., Семенова Л.В. Тенденции развития в области конформных покрытий для влагозащиты и электроизоляции плат печатного монтажа и элементов радиоэлектронной аппаратуры // Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 50–52.
21. Козлова А.А., Кондрашов Э.К., Деев И.С., Щеголева Н.Е. Исследование влияния фракционного состава и удельной поверхности антикоррозионных пигментов на защитные свойства эпоксидных покрытий // Коррозия: материалы, защита. 2013. №3. С. 42–48.
22. Козлова А.А., Кондрашов Э.К., Деев И.С. Защитные свойства лакокрасочных покрытий на основе фторсодержащего пленкообразующего // Коррозия: материалы, защита. 2014. №4. С. 43–48.

23. Яковлев А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий: учеб. пособ. для вузов. Л.: Химия, 1981. С. 166–170.
24. Кондрашов Э.К., Кузнецова В.А., Семенова Л.В., Лебедева Т.А., Малова Н.Е. Развитие авиационных лакокрасочных материалов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №5. С. 49–54.
25. Семенова Л.В., Нефедов Н.И. Применение эпоксидных модифицированных грунтовок в системах ЛКП // Авиационные материалы и технологии. 2014. №3 (34). С. 38–44. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-3-38-44.