



УДК 620.193:669.14.018.8

doi: 10.18577/2307-6046-2015-0-11-10-10

**КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ И ПОДГОТОВКА
ПОВЕРХНОСТИ ХОЛОДНОКАТАНОЙ ЛЕНТЫ ИЗ
СТАЛИ ВНС-9-Ш ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО
МАТЕРИАЛА**

В.Я. Белоус

А.О. Лощинина

В.Е. Варламова

Я.Ю. Никитин

Ноябрь 2015

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.Я. Белоус¹, А.О. Лощинина¹, В.Е. Варламова¹, Я.Ю. Никитин¹

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ И ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ ХОЛОДНОКАТАНОЙ ЛЕНТЫ ИЗ СТАЛИ ВНС-9-Ш ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТАЛПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

doi: 10.18577/2307-6046-2015-0-11-10-10

Рассмотрены результаты сравнительных испытаний двух плавок холоднокатаной ленты из стали ВНС-9-Ш на межкристаллитную и питтинговую коррозию. Исследована возможность подготовки поверхности ленты методом травления в различных кислотных растворах с целью изготовления металполимерного композиционного материала, определены значения шероховатости R_a и изучено влияние травления на пластичность материала.

Ключевые слова: коррозионностойкая сталь, холоднокатаная лента, травление, кислотные растворы, шероховатость, микроструктура, пластичность, перегиб, композиционный материал.

V.Ya. Belous, A.O. Loshchinina, V.E. Varlamova, Y.J. Nikitin

Corrosion resistance and preparation of a surface of a cold rolled tape from VNS9-Sh steel for production of metalpolymeric composite material

The results of comparative tests of two meltings of cold rolled tape from VNS-9-Sh steel on intergranular corrosion and pitting corrosion are considered in this work. Possibility of preparation of the tape surface by means of etching in various acid solutions in order to manufacture metalpolymeric composite material is investigated. Values of a roughness and influence of etching on plasticity of material are defined.

Keywords: stainless steel, cold rolled tape, etching, acid bath, acid solutions, roughness, microstructure, plasticity, folding test, composite material.

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

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) имеют ряд преимуществ перед металлическими материалами (например, более высокую удельную прочность).

Наибольшее распространение полимерные композиционные материалы получили в авиационной, космической и автомобильной промышленности. Применение композиционных материалов (КМ) в конструкциях ежегодно увеличивается на 5–7%. В области авиастроения доля применения ПКМ составляет 50% от массы планера [1–3].

Высокие прочностные характеристики, особенности технологии производства [4–6], эксплуатационная надежность ПКМ зависят от многих факторов:

- от состава связующих [7, 8];
- от способа модифицирования [9, 10];
- от вида композиционного материала и др. [11, 12];
- от способов изготовления, обработки и раскроя [13].

Разработка ПКМ и функциональных металлических КМ с улучшенными эксплуатационными характеристиками (прочность, термостойкость, стойкость к климатиче-

ским воздействиям) и создание высокопрочных ПКМ на основе сплавов Al, Cu, Ti или коррозионностойких сталей является в настоящее время одной из основных задач, решаемых исследователями.

Коррозионностойкая сталь 23X15H5AM3-Ш (ВНС-9-Ш), разработанная в ВИ-АМ, широко применяется для изготовления пластин торсионов вертолетов Ка-226, Ка-62, Ка-52, Ми-26 и других, пластинчатых муфт привода основного винта вертолетов Ми-26, Ми-28, Ми-34, Ми-38, а также в виде тонкой холоднокатаной ленты. Сталь интенсивно упрочняется вследствие превращения аустенита в мартенсит при холодной деформации. Нагартовка с высокой степенью деформации обеспечивает получение ленты толщиной 0,2–0,4 мм с высокой прочностью и пластичностью [14].

Лента из стали ВНС-9-Ш до 2011 года выпускалась ОАО «ММЗ «Серп и Молот». В связи с прекращением производства продукции ОАО «ММЗ «Серп и Молот» в 2012 году на заводе «Электросталь» проведена плавка материала ДШ33774 и изготовлены сутунки из стали ВНС-9-Ш, из которых специалистами ВИАМ получены холоднокатаные листы толщиной $0,28 \pm 0,02$ мм [15].

Оценку коррозионной стойкости изготовленной ленты проводили в сравнении с материалом предыдущей плавки Н5Ш3619.

Целью данной работы являлось проведение сравнительной оценки коррозионной стойкости металла промышленной выплавки стали ВНС-9-Ш (различных годов выпуска) и подготовка поверхности стали ВНС-9-Ш для изготовления металлополимерного композиционного материала (МПКМ) на основе высокопрочной стали и углепластика.

Материалы и методы

Исследование коррозионной стойкости стали ВНС-9-Ш проведено на материале двух промышленных плавов – Н5Ш3619 и ДШ33774. Образцы были изготовлены из холоднокатаной ленты толщиной 0,28 мм.

Образцы плавки Н5Ш3619 изготовлены из металла серийного выпуска холоднокатаной ленты толщиной 0,28 мм, изготовленной на ОАО «ММЗ «Серп и Молот», плавки ДШ33774 – из холоднокатаных листов толщиной 0,28 мм, полученных на оборудовании ВИАМ из сутунок производства завода ОАО «Электросталь».

Химический состав исследуемых плавов соответствовал требованиям ТУ14-1-4126–86. Содержание хрома составляло 15,03% (по массе) в плавке шифра Н5Ш3619 и 14,5% (по массе) в плавке шифра ДШ33774.

Испытания на межкристаллитную коррозию (МКК) проводили по ГОСТ 6032–2003 на образцах размером 80×20 мм по методу АМУФ в водном растворе серноокислой меди, фтористого натрия и серной кислоты при температуре 20°C в течение 3 ч. Наличие МКК оценивали по наличию трещин на образцах, изогнутых после испытаний на угол 180 град.

Стойкость стали ВНС-9-Ш к питтинговой коррозии определяли по ГОСТ 9.912–89 на образцах размером 30×20 мм в 10%-ном водном растворе трихлорида гексагидрата ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) при температуре 20°C в течение 5 ч. Оценка стойкости проводилась по средней условной скорости питтинговой коррозии.

Степень воздействия химической обработки (различных составов, температуры и продолжительности) на сталь ВНС-9-Ш контролировали по скорости травления образцов. Изменение состояния поверхности исследовали с помощью микроскопа Olympus GX51, шероховатости – с помощью оптического профилометра P Lu NEOX 3D.

Влияние различных составов растворов для травления на пластические характеристики стали ВНС-9-Ш оценивали по результатам испытаний образцов после травления при перегибе по ГОСТ Р 52764–2007, заключающихся в повторяющихся изгибах на 90 град в противоположных направлениях при скорости не более 1 изгиба в секунду.

Результаты

Сравнительная оценка коррозионной стойкости различных плавок стали ВНС-9-Ш проведена по результатам исследования межкристаллитной и питтинговой коррозии (табл. 1).

Таблица 1

Склонность к межкристаллитной (МКК) и питтинговой коррозии образцов из стали ВНС-9-Ш

Тип коррозии	Результаты испытаний образцов плавок шифра	
	Н5Ш3619	ДШ33774
Межкристаллитная (ГОСТ 6032–2003)	Не склонны к МКК	Не склонны к МКК
Питтинговая (ГОСТ 9.912–89)	Повреждений в виде питтингов не обнаружено ($V_m=0,4$ г/(м ² ·ч))*	Повреждений в виде питтингов не обнаружено ($V_m=0,36$ г/(м ² ·ч))*

*Средняя условная скорость питтинговой коррозии.

После изгиба образцов на угол 180 град ни на одном из исследованных образцов ленты обеих плавок, испытанных на МКК, трещин не обнаружено (рис. 1).

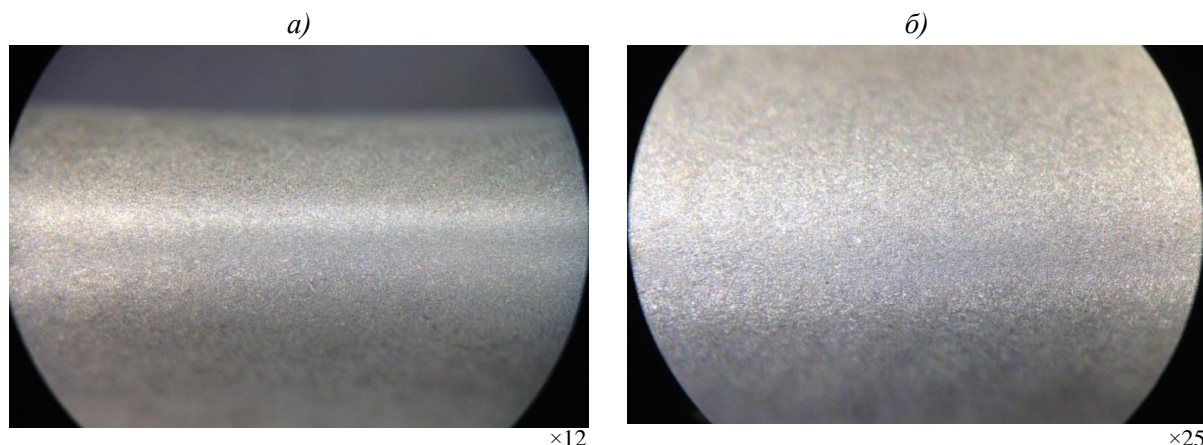


Рис. 1. Внешний вид образцов стали ВНС-9-Ш после испытаний на межкристаллитную коррозию и перегиб на угол 180 град Н5Ш3619: а – плавка Н5Ш3619; б – плавка ДШ33774

После испытаний на питтинговую коррозию образцов обеих плавок повреждений в виде питтингов не обнаружено, поэтому сравнительная оценка коррозионной стойкости проведена по условной скорости питтинговой коррозии, которая составляла 0,4 и 0,36 г/(м²·ч) независимо от производителя металла. Внешний вид поверхности образцов плавки ДШ33774 после испытаний показан на рис. 2.

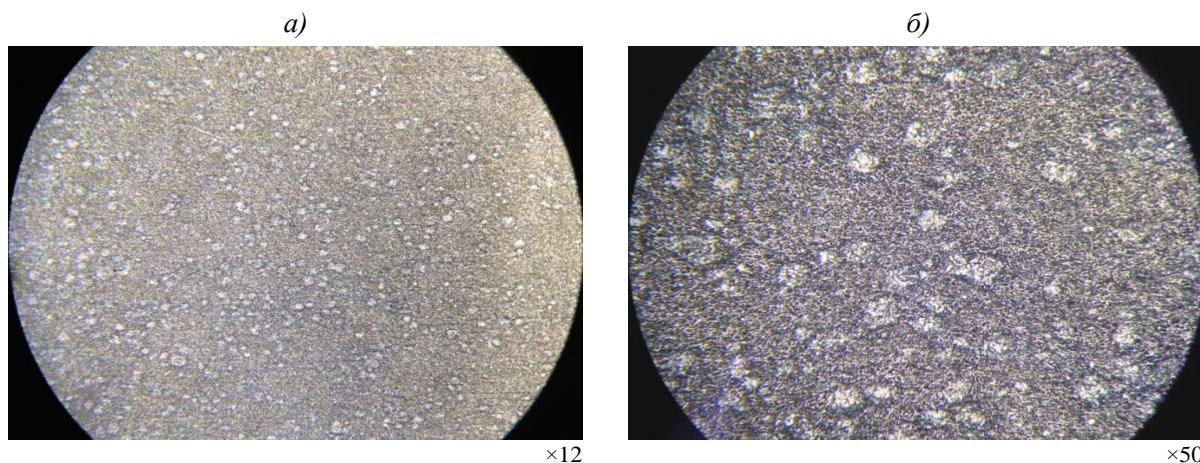


Рис. 2. Внешний вид поверхности образцов стали ВНС-9-Ш (плавка ДШ33774) после испытаний на стойкость к питтинговой коррозии

С учетом вышесказанного можно констатировать, что образцы из стали ВНС-9-Ш независимо от поставщика металла обладают стойкостью к межкристаллитной и питтинговой коррозии.

При создании новых композиций ПКМ большое значение имеет адгезионная прочность металлического материала (Al, Cu, Ti, стали) со связующим, поэтому важной технологической операцией является специальная обработка поверхности холоднокатаной ленты.

Известно, что наиболее распространенными методами повышения адгезии являются все виды абразивных обработок (обдувка корундом или стальным песком, гидropескоструйная обработка) и химическое травление, увеличивающее шероховатость поверхности (R_a).

В настоящее время наиболее широкое распространение для химического травления сталей имеют растворы на основе соляной и серной кислот. С учетом того, что сталь ВНС-9-Ш является высоколегированной, для ее травления требуются более активные растворы.

В данной работе исследовано воздействие четырех различных по составу кислотных растворов, оказывающих при различных температуре и продолжительности влияние на состояние поверхности стали ВНС-9-Ш:

- раствор 1 – смесь азотной и плавиковой кислот: при температуре 18–30°C, продолжительность 10–30 мин;
- раствор 2 – смесь соляной и азотной кислот с добавкой хлорида железа: при температуре 18–30°C, продолжительность 10–40 мин;
- раствор 3 – смесь соляной, азотной и серной кислот с добавками тропеолина: при температуре 43–52°C, продолжительность 1–5 мин;
- раствор 4 – смесь соляной, азотной, серной и фосфорной кислот: при температуре 20–32°C, продолжительность 1–5 мин.

Влияние составов растворов и продолжительности обработки в них представлено на рис. 3, а, б.

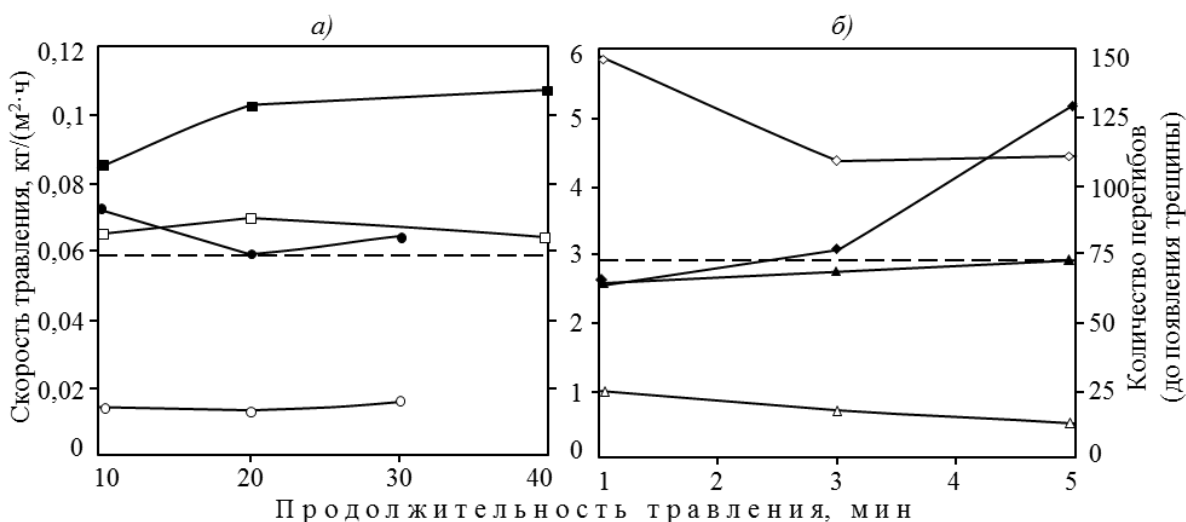


Рис. 3. Зависимость скорости травления образцов из стали ВНС-9-III в растворах 1 и 2 (а), 3 и 4 (б) и количества перегибов (средние значения) от продолжительности травления: \circ , \blacksquare , \triangle , \diamond – скорость травления в растворах 1, 2, 3 и 4 соответственно; \bullet , \square , \blacktriangle , \blacklozenge – количество перегибов после травления в растворах 1, 2, 3 и 4 соответственно (--- количество перегибов на исходном образце)

При обработке в растворе 1 скорость травления металла составляет ~ 15 г/(м²·ч). Увеличение продолжительности выдержки с 10 до 30 мин практически не влияет на скорость травления стали ВНС-9-III.

При обработке в растворе 2 скорость травления стали ВНС-9-III больше, чем в растворе 1, и составляет 80 г/(м²·ч), с увеличением продолжительности выдержки до 40 мин скорость травления возрастает в $\sim 1,5$ раза (рис. 3, а).

Установлено, что обработка в растворах 3 и 4 приводит к большому перетраву металла (от 1 до 6 кг/(м²·ч)) и, соответственно, не может использоваться в производственных условиях при обработке тонкой ленты (рис. 3, б).

Известно, что процесс химического травления сталей в растворах кислот сопровождается выделением атомарного водорода и поглощением его обрабатываемым металлом [16]. Сорбция металлом выделяющегося водорода приводит к снижению механических свойств: уменьшению вязкости, ухудшению упругих характеристик и др. Влияние возможного наводороживания стали ВНС-9-III в процессе травления оценивалось по результатам испытаний образцов на перегиб после различных режимов травления.

На рис. 3 одновременно со скоростью травления показаны зависимости результатов испытаний на перегиб травленных образцов от активности составов и продолжительности обработки. Установлено, что травление в растворах 1 и 2 не вызывает заметного снижения значений перегиба независимо от продолжительности обработки в сравнении с исходными образцами.

Обработка образцов из стали ВНС-9-III в более активных растворах 3 и 4 приводит не только к большому перетраву металла, но и ухудшает свойства материала (число перегибов образцов после травления снижается более чем на 10%). Исключение составляют образцы после травления в растворе 4 в течение 5 мин, на которых число перегибов увеличилось по сравнению с исходными образцами (70–76 перегибов) в ~ 2 раза и составило 130–138, вероятно, вследствие снижения шероховатости поверхности.

Оценка состояния поверхности стали ВНС-9-III после химической обработки проводилась по результатам металлографического анализа.

Микроструктура поверхности образцов ленты после обработки в растворе 3 представлена на рис. 4. Обработка в течение 1 мин приводит к растраву зернограничных областей (рис. 4, б). С увеличением продолжительности обработки наблюдается сильный растрав зерен с поверхности, границы зерен расширяются, но становятся менее глубокими (рис. 4, в, г). Это подтверждается исследованиями торцевых шлифов: образуются округлые повреждения глубиной до 6–8 мкм (рис. 5).

При обработке в растворе 4 происходит более равномерное травление поверхности без локального растрова границ зерен (рис. 4, д, е, ж); с увеличением продолжительности обработки образцов шероховатость поверхности уменьшается. Следует отметить, что при травлении дополнительно образуется большое количество питтингов на поверхности образцов.

Травление образцов в растворе 1 независимо от продолжительности обработки происходит с локальным травлением по границам зерен (рис. 6); глубина образующихся повреждений, как и в случае травления в растворе 3, составляет ~5–8 мкм, но форма повреждений не овальная, а в виде надрезов (рис. 7).

Обработка в растворе 2 идет с большей скоростью и более равномерно по поверхности, при этом травление зернограничных зон усиливается с увеличением продолжительности обработки.

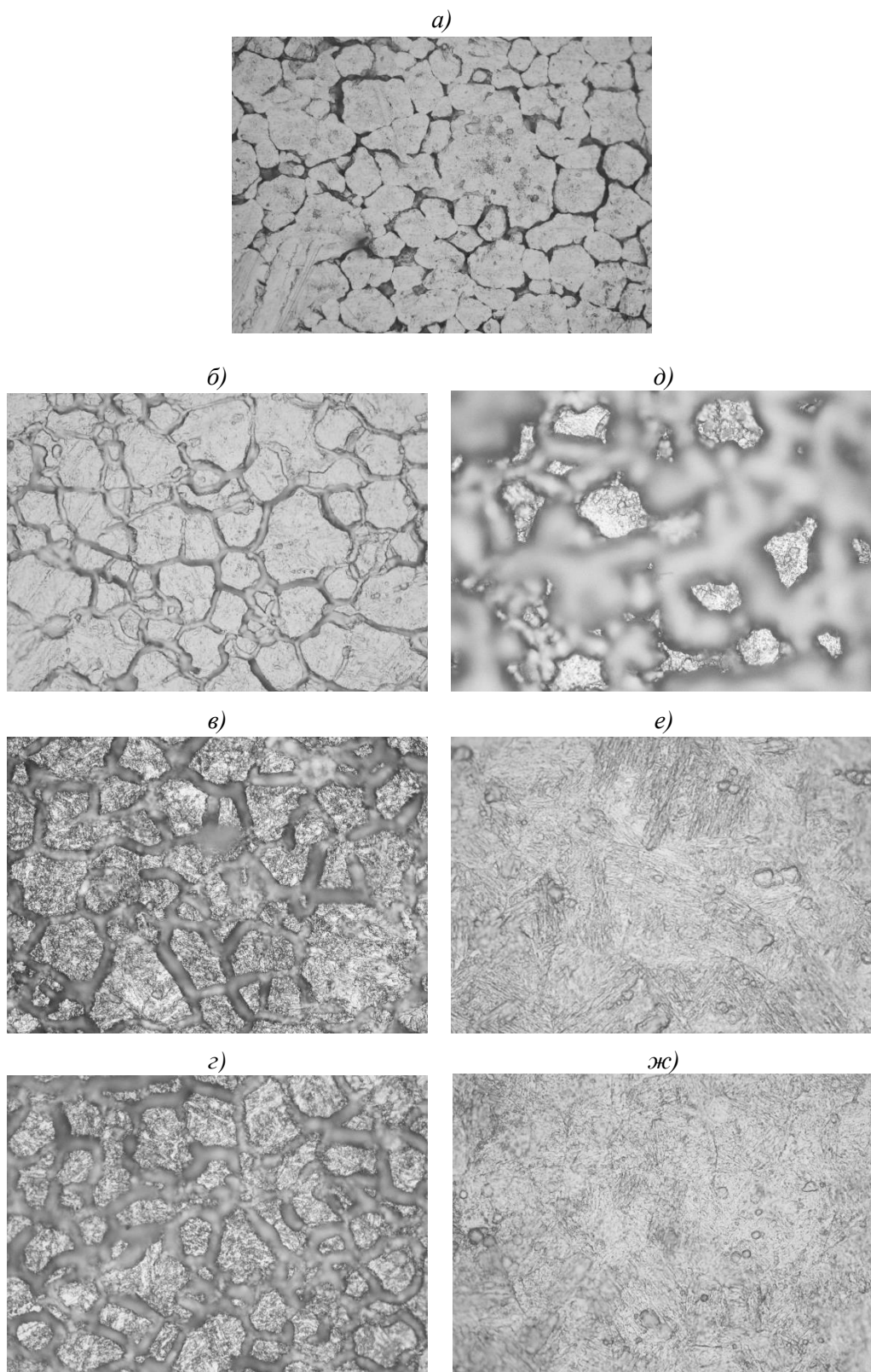


Рис. 4. Микроструктура ($\times 250$) поверхности образцов ленты до (а) и после обработки в растворах 3 (б, в, г) и 4 (д, е, ж) в течение 1 (б, д), 3 (в, е) и 5 мин (г, ж)

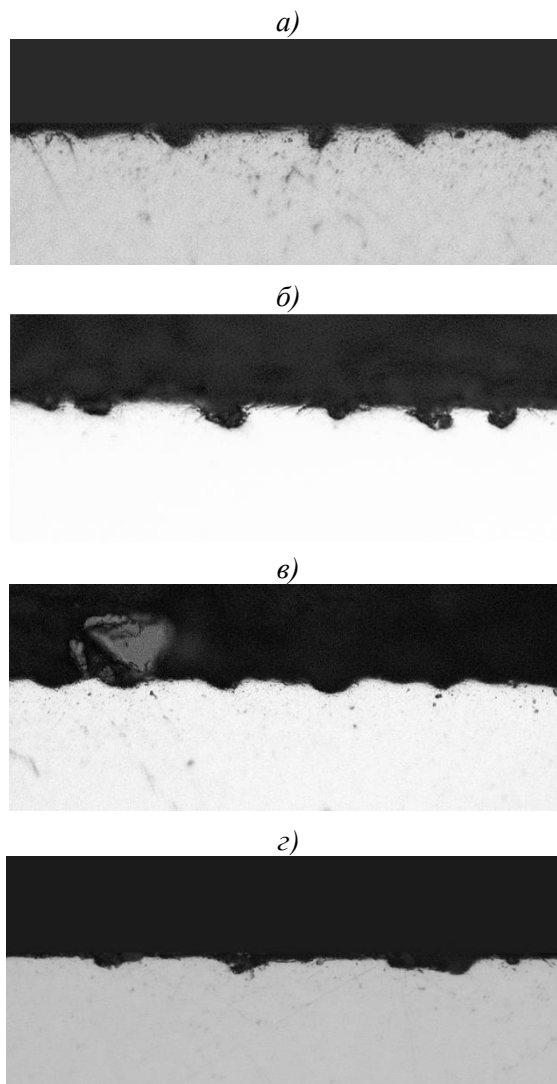


Рис. 5. Вид ($\times 1000$) поверхностных округлых повреждений на образцах до обработки (а) и после травления в растворе З в течение 1 (б), 3 (в) и 5 мин (г)

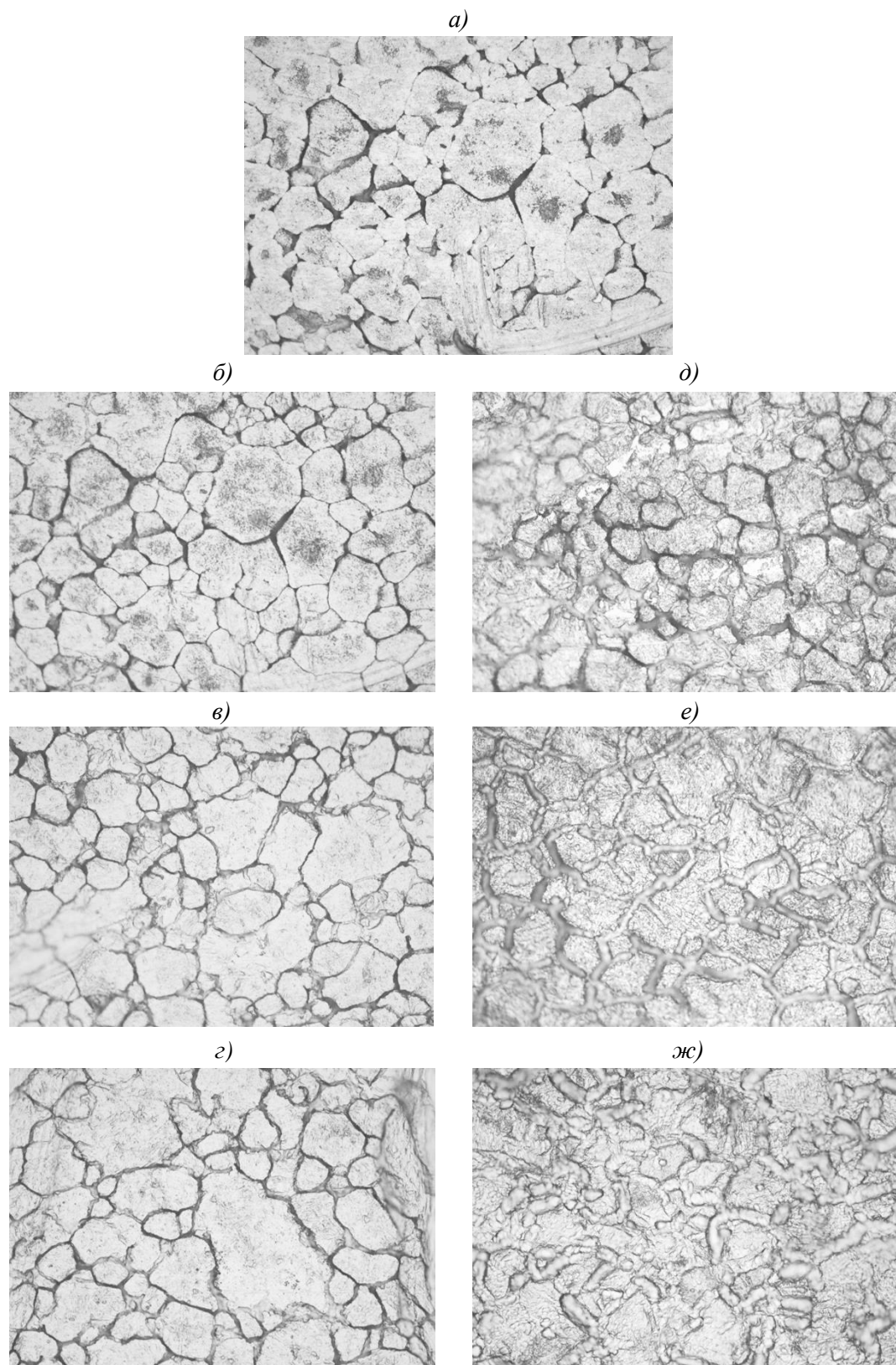


Рис. 6. Микроструктура ($\times 250$) поверхности образцов ленты до (а) и после обработки в растворах 1 (б, в, з) и 2 (д, е, ж) в течение 10 (б, д), 20 (в, е), 30 (з) и 40 мин (ж)

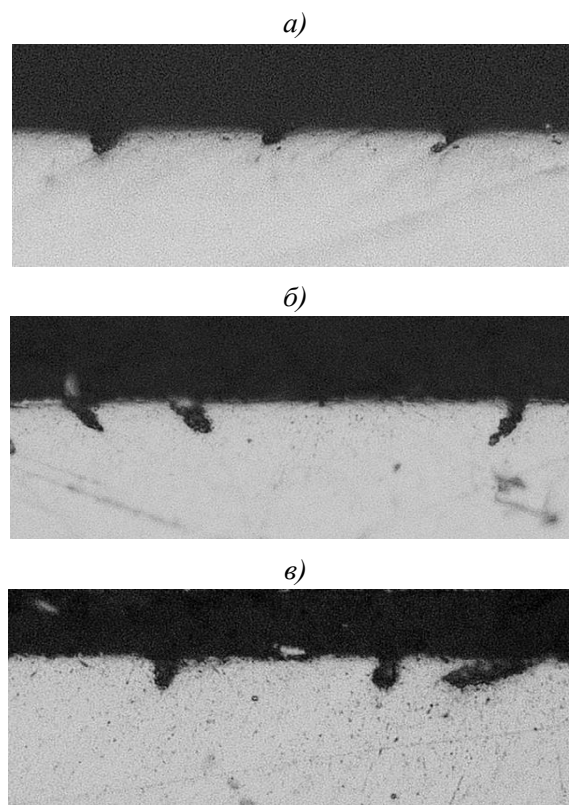


Рис. 7. Вид ($\times 1000$) поверхностных повреждений в виде надрезов на образцах после травления в растворе 1 в течение 1 (а), 3 (б) и 5 мин (в)

Результаты определения шероховатости поверхности образцов после травления в различных растворах представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты определения шероховатости

Обработка	Продолжительность обработки, мин	Степень шероховатости R_a , мкм (средние значения)
Травление в растворе 1	10	0,36
	20	1,96
	30	4,00
Травление в растворе 2	10	0,59
	20	1,44
	40	3,24
Травление в растворе 3	1	1,32
	3	1,51
	5	2,20
Травление в растворе 4	1	2,61
	3	2,06
	5	1,66
Оксидное фосфатирование	10–20	0,36*
Обдув корундовым песком	Не более 3	2,84*

* Данные получены Л.И. Шубадеевой (ФГУП «ВИАМ») в ранее проведенных исследованиях.

После травления ленты в растворе 1 в течение 10 мин шероховатость такого же уровня, как и после оксидного фосфатирования ($R_a=0,36$).

Наибольшая шероховатость поверхности получена после травления ленты в растворах 1 и 2 в течение 30 и 40 мин: R_a составляет 4,0 и 3,24 соответственно. Обдув ленты корундовым песком повышает шероховатость (R_a) до 2,84. Однако данная обработка не может быть рекомендована для обработки холоднокатаной ленты толщиной 0,28 мм, так как это может привести к короблению заготовок и неравному наклепу поверхности.

Представленные данные подтверждают результаты металлографических исследований: для повышения шероховатости поверхности стали ВНС-9-Ш и адгезионной стойкости композиционных материалов не следует использовать кислотные растворы вследствие их высокой агрессивности.

Применение растворов 1 и 2 при небольшой продолжительности обработки позволяет получить поверхность холоднокатаной ленты с шероховатостью $\sim 0,6-1,5$.

Обсуждение и заключения

По результатам исследования установлено, что обе партии холоднокатаной ленты из стали ВНС-9-Ш обладают достаточно высокой стойкостью к межкристаллитной и питтинговой коррозии, независимо от изготовителя металла.

Определены значения шероховатости поверхности ленты из стали ВНС-9-Ш после травления в различных растворах кислот. Показано, что обработка в сильнодействующих растворах, состоящих из смеси трех или четырех кислот, кроме большого перетрава металла приводит к снижению характеристик пластичности (перегибов) более чем на 10%.

Травление в растворах HNO_3+HF и $\text{HNO}_3+\text{HCl}+\text{FeCl}_3$ обеспечивает шероховатость поверхности ленты стали ВНС-9-Ш, равную 0,5–1,5, при этом характеристики пластичности не снижаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники //Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
3. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение: итоги и перспективы //Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 72. №1. С. 3–12.
4. Душин М. И., Хрульков А.В., Мухаметов Р.Р., Чурсова Л.В. Особенности изготовления изделий из ПКМ методом пропитки под давлением //Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 18–26.
5. Хрульков А.В., Душин М.И., Попов Ю.О., Коган Д.И. Исследования и разработка автоклавных и безавтоклавных технологий формования ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 292–301.
6. Григорьев М.М., Коган Д.И., Твердая О.Н., Панина Н.Н. Особенности изготовления ПКМ методом RFI //Труды ВИАМ. 2013. №4. Ст. 03 (viam-works.ru).
7. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Чурсова Л.В., Коган Д.И. Новые полимерные связующие для перспективных методов изготовления конструкционных волокнистых ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2011. №2. С. 38–42.
8. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Ким М.А., Бабин А.Н. Расплавные связующие для перспективных методов изготовления ПКМ нового поколения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 260–265.
9. Гуняев Г.М., Каблов Е.Н., Алексашин В.М. Модифицирование конструкционных углепластиков углеродными наночастицами //Российский химический журнал. 2010. Т. 54. №1. С. 5–11.

10. Каблов Е.Н., Кондрашов С.В., Юрков Г.Ю. Перспективы использования углеродсодержащих наночастиц в связующих для полимерных композиционных материалов //Российские нанотехнологии. 2013. Т. 8. №3–4. С. 24–42.
11. Кириллов В.Н., Старцев О.В., Ефимов В.А. Климатическая стойкость и повреждаемость полимерных композиционных материалов, проблемы и пути решения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 412–423.
12. Кириллов В.Н., Ефимов В.А., Шведкова А.К., Николаев Е.В. Исследование влияния климатических факторов и механического нагружения на структуру и механические свойства ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2011. №4. С. 41–45.
13. Столянков Ю.В., Исходжанова И.В., Антюфеева Н.В. К вопросу о дефектах образцов для испытаний углепластиков //Труды ВИАМ. 2014. №10. Ст. 10 (viam-works.ru).
14. Терентьев В.Ф., Слизов А.К., Просвирнин Д.В. и др. Влияние скорости деформирования растяжением на механические свойства и фазовый состав трип-стали ВНС-9-Ш //Деформация и разрушение материалов. 2014. №10. С. 40–43.
15. Вознесенская Н.М., Капитаненко Д.В., Тонышева О.А., Елисеев Э.А. Оптимизация технологических режимов получения тонких листов и ленты из коррозионностойкой стали ВНС-9-Ш //Металлы. 2014. №1. С. 46–51.
16. Гурвич Л.Я., Лащевский В.Б. Коррозия и защита сплавов в морских условиях /В сб. Вопросы авиационной науки и техники. Сер. «Авиационные материалы». М.: ВИАМ. 1985. С. 64–81.

REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Innovacionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravlenij razvitiya materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030»] //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
2. Kablov E.N. Materialy i himicheskie tehnologii dlja aviacionnoj tehniki [Materials and chemical technologies for aviation engineering] //Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
3. Kablov E.N. Aviacionnoe materialovedenie: itogi i perspektivy [Aviation materials science: results and perspectives] //Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2012. Т. 72. №1. С. 3–12.
4. Dushin M. I., Hrulkov A.V., Muhametov R.R., Chursova L.V. Osobennosti izgotovleniya izdelij iz PKM metodom propitki pod davleniem [Features of manufacturing of products from PCM impregnation method under pressure] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 18–26.
5. Hrulkov A.V., Dushin M.I., Popov Yu.O., Kogan D.I. Issledovaniya i razrabotka avtoklavnyh i bezavtoklavnyh tehnologij formovaniya PKM [Researches and development autoclave and out-of-autoclave technologies of formation of PCM] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 292–301.
6. Grigorev M.M., Kogan D.I., Tverdaya O.N., Panina N.N. Osobennosti izgotovleniya PKM metodom RFI [Features of manufacturing of PCM RFI method] //Trudy VIAM. 2013. №4. Ст. 03 (viam-works.ru).
7. Muhametov R.R., Ahmadiya K.R., Chursova L.V., Kogan D.I. Novye polimernye svyazujushhie dlya perspektivnyh metodov izgotovleniya konstrukcionnyh voloknistyh PKM [New polymeric binding for perspective methods of manufacturing of constructional fibrous PCM] //Авиационные материалы и технологии. 2011. №2. С. 38–42.
8. Muhametov R.R., Ahmadiya K.R., Kim M.A., Babin A.N. Rasplavnye svyazujushhie dlya perspektivnyh metodov izgotovleniya PKM novogo pokoleniya [Melt binding for perspective methods of production of PCM of new generation] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 260–265.
9. Gunyaev G.M., Kablov E.N., Aleksashin V.M. Modificirovanie konstrukcionnyh ugleplastikov uglerodnymi nanochasticami [Modifying constructional ugleplastikov carbon nanoparticles] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. Т. 54. №1. С. 5–11.
10. Kablov E.N., Kondrashov S.V., Yurkov G.Yu. Perspektivy ispolzovaniya uglerodsoderzhashhih nanochastic v svyazuyushchih dlya polimernyh kompozicionnyh materialov [Perspectives of use of

- carbon-containing nanoparticles in binding for polymeric composite materials] //Rossijskie nanotehnologii. 2013. T. 8. №3–4. S. 24–42.
11. Kirillov V.N., Startsev O.V., Efimov V.A. Klimaticheskaya stojkost i povrezhdaemost polimernyh kompozicionnyh materialov, problemy i puti resheniya [Climatic firmness and damageability of polymeric composite materials, problems and solutions] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 412–423.
 12. Kirillov V.N., Efimov V.A., Shvedkova A.K., Nikolaev E.V. Issledovanie vliyaniya klimaticheskikh faktorov i mehanicheskogo nagruzheniya na strukturu i mehanicheskie svojstva PKM [Research of influence of climatic factors and mechanical loading on structure and the PCM mechanical properties] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №4. S. 41–45.
 13. Stolyankov Yu.V., Ishodzhanova I.V., Antyufeeva N.V. K voprosu o defektah obrazcov dlya ispytaniy ugleplastikov [On the question of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) test specimen flaws] //Trudy VIAM. 2014. №10. St. 10 (viam-works.ru).
 14. Terentev V.F., Slizov A.K., Prosvirnin D.V. i dr. Vliyanie skorosti deformirovaniya rastyazheniem na mehanicheskie svojstva i fazovyy sostav trip-stali VNS-9-Sh [Influence of speed of deformation by stretching on mechanical properties and phase composition of VNS-9-Sh trip-steel] //Deformatsiya i razrushenie materialov. 2014. №10. S. 40–43.
 15. Voznesenskaya N.M., Kapitanenko D.V., Tonysheva O.A., Eliseev E.A. Optimizatsiya tehnologicheskikh rezhimov polucheniya tonkih listov i lenty iz korrozionnostojkoj stali VNS-9-Sh [Optimization of technological modes of receiving thin sheets and tape from the VNS-9-Sh corrosion-resistant steel] //Metally. 2014. №1. S. 46–51.
 16. Gurvich L.Ya., Lashhevskij V.B. Korroziya i zashhita splavov v morskikh usloviyah [Corrosion and protection of alloys in sea conditions] /V sb. Voprosy aviacionnoj nauki i tehniki. Ser. «Aviacionnye materialy». M.: VIAM. 1985. S. 64–81.