

А.М. Игнатова, А.М. Ханов, М.М. Черных

Пермский государственный технический университет

КВАЛИМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ СПЛАВОВ

Установлена средняя долговечность облицовочных изделий из симиналов, а так же разработаны рекомендации по проведению испытаний для определения долговечности симиналов в реальных условиях эксплуатации и обработки результатов этих испытаний. В результате проведенные исследования доказывают целесообразность использования симиналов для изготовления облицовочных изделий и перспективность замены облицовочных изделий из недолговечных горных пород на изделия из них.

«Натуральный камень» – самый распространенный материал для декоративной облицовки зданий. Обычно натуральным камнем принято называть всю гамму горных пород, используемых с этой целью. Принято считать, что облицовочные изделия из натурального камня могут служить практически вечно, однако это ошибочно: все горные породы имеют различные показатели долговечности. В соответствии с прогнозируемой продолжительностью эксплуатации все горные породы делятся на четыре группы: весьма долговечные, долговечные, относительно долговечные и недолговечные.

Назначенный ресурс пород, относящихся к недолговечным, не превышает 70 лет, что не соответствует определению «вечный», и именно к этой классификационной группе относятся самые популярные для производства облицовочных изделий горные породы (цветной мрамор, известняк и т.д.) [1].

Породы, обладающие действительно внушительным сроком службы, который исчисляется столетиями, в качестве облицовки используются редко, в силу их высокой стоимости и дефицитности. Учитывая этот факт, производители облицовочных изделий из натурального камня стремятся продлить срок службы недолговечных горных пород, прибегая к различным способам их обработки, например используют различные покрытия, пропитки т.д. Однако все эти приемы не позволяют увеличить срок службы облицовки в значительной степени.

Единственной возможностью обеспечить долгий срок службы облицовочных изделий без увеличения их стоимости и использования редких горных пород на сегодняшний день является замена натуральных материалов аналогичными искусственными альтернативными материалами. В большин-

стве своем альтернативные горным породам материалы проигрывают им в долговечности, но при этом превосходят по технологичности, а также являются более доступными с финансовой точки зрения – такими аналогами являются материалы на вяжущей и спеченной основе. Материалами, способным стать равноценной заменой горных пород, относящихся к группе долговечных, являются синтетические минеральные сплавы (симиалы).

Синтетические минеральные сплавы (симиалы) – это группа материалов, получаемых по технологии высокотемпературного синтеза плавлением ВСП (технология каменного литья). Сырьем для производства симиалов служат основные и ультраосновные горные породы и зольно-шлаковые отходы техногенного происхождения (доменные шлаки, топливные золы и т.д.). Все материалы данной группы обладают структурой, сочетающей в себе признаки полимеров и композиционных материалов, при этом они являются полностью неорганическими. Проведенные нами исследования доказали [2], что в строении симиалов присутствуют минеральные кристаллические и аморфные фазы, которые близки к природным минералам, но не идентичны им, т.е. являются самостоятельными синтетическими веществами. Нами также установлено [3], что существует возможность получать симиалы с управляемыми показателями эксплуатационных (абразивостойкость, термостойкость и т.д.) и эстетических (цвет, блеск и т.д.) свойств через управление их структурными параметрами. Благодаря тому, что изделия из симиалов производятся по технологическому принципу, схожему с получением металлических отливок, т.е. посредством заливки минерального расплава в литейные формы [4], они значительно технологичнее не только естественных пород, но и всех популярных аналогов. Внешний вид облицовочных изделий из симиалов представлен на рис. 1.

Для использования изделий из симиалов для облицовки зданий необходимо иметь точное представление о сроке их долговечности и, что немало важно, о возможности контроля этого качества у готовых изделий. Настоящая работа преследует цель определить величину долговечности симиалов и облицовочных изделий из них, а также разработать рекомендации по испытаниям для установления долговечности облицовочных изделий в реальных условиях эксплуатации.

Долговечность является характеристикой, описывающей потребительские качества материала. Согласно ГОСТ 27.002–89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения», долговечность – это свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Под предельным состоянием в данном случае подразумевается такое состояние объекта, в котором он не может эксплуатироваться, а его дальней-

ший ремонт нецелесообразен. Количественно долговечность исчисляется единицами измерения времени. Долговечность симиналов, из которых изготавливаются облицовочные изделия, измеряется годами, а иногда и десятками и сотнями лет. Разумеется, вычислить такую величину долговечности на практике, т.е. экспериментально, невозможно. Поэтому для того, чтобы судить о величине долговечности, используются квалиметрические методы, т.е. методы, основанные на сравнении и сопоставлении [6].



Рис. 1. Облицовочные изделия из симиналов: *а* – полированная плитка из симинала на основе базальта (200×120×15); *б* – неполированная плитка из симинала на основе горнблендита (200×100×15); *в*, *з*, *д* – розетки, полученные литьем в песчаную форму из симинала на основе горнблендита (Ø 300, Ø 230, Ø 120); *е* – рельефная плита, полученная литьем в разовую песчаную форму из симинала на основе горнблендита (200×100×15); *ж* – полированная плитка из симинала на основе горнблендита со вставками из натурального гранита (200×100×15) [5]

При оценке долговечности симиналов необходимо выявить факторы, оказывающие негативное влияние на долговечность облицовки, и определить, какие свойства симиналов позволяют сопротивляться этим факторам. Затем следует установить, каков количественный показатель того или иного фактора, и сопоставить его величину с соответствующим свойством симиналов. Вывод о величине долговечности следует сделать по результатам этого сопоставления.

Факторов, оказывающих значительное негативное воздействие на облицовочные изделия, достаточно много, их можно разделить на две группы:

1) неустраняемые, т.е. присутствующие во внешней среде и не поддающиеся регулированию, к таковым относятся:

- атмосферно-климатические (воздух, влага, цикличное замораживание, инсоляция и др.);
- биодеструкция (бактерии, водоросли, грибы, лишайники, мхи и др.);
- механические воздействия (ветер и пыль);
- техногенные факторы (вибрации).

2) технологические, возникающие в результате несоблюдения технологии производства расплавов симиналов, их обработки и производства готовых изделий, а также в результате использования изделий в более жестких условиях эксплуатации, чем изначально планировалось [7].

Атмосферно-климатические факторы являются крайне агрессивными, особенно в условиях современных городов. Воздух крупных населенных пунктов, особенно с развитой промышленностью, буквально переполнен газообразными соединениями таких вредных элементов, как, например, сера. Известно, что в среднем в 1 м^3 воздуха промышленного района содержится 5 мг сернистого газа и, по разным оценкам, от 8 до 13 мг углекислого. Эти газообразные соединения, находясь в атмосфере, растворяются в дождевой воде, что приводит к образованию серной (сернистой) и угольной кислот, которые потом входят в состав осадков, называемых кислотными дождями. Сопротивляться агрессивному внешнему воздействию облицовке помогает такое свойство, как кислотостойкость.

Как известно, облицовочные изделия укладываются на цементно-вяжущий раствор, поэтому следует учитывать, что осадки могут воздействовать не только на поверхность самих изделий, но и на поверхность стыковых швов. При воздействии осадков на поверхность швов происходит эксфильтрация дождевой воды, что в итоге приводит к образованию высолов, причем не только на поверхности стыков, но и на поверхности самих облицовочных изделий. Под высолами понимаются трудноустраняемые белые (реже цветные) налеты солевого или щелочного состава, они образуются в результате кристаллизации продуктов взаимодействия осадков с кладочным раствором, на который укладываются литые плиты из симинала.

Характерная особенность атмосферно-климатических факторов – в том, что они, как правило, оказывают негативное воздействие в комплексе. Слабокислотные осадки оказывают порой гораздо более сильное воздействие, чем более концентрированные растворы агрессивных веществ, поскольку воздействие осадков подкрепляется жесткими температурными перепадами, причем в достаточно большом диапазоне, от $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ в зимнее время, до $+50\dots+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ под воздействием инфракрасных лучей в летнее время. Циклические температурные нагрузки способствуют тому, что влага, впитываемая в материал облицовки, постоянно то расширяясь, то сужаясь, приводит к образованию микротрещин. Таким образом, в противостоянии облицовки внешней среде важную роль играет комплекс таких свойств, как водонасыщение, морозостойкость, водостойкость, а поскольку речь идет о физическом разрушении, то имеют вес и механические свойства симиналов, в частности ползучесть.

Рассматривая воздействие атмосферно-климатических факторов на симиналы, следует учитывать, что в настоящее время отсутствуют какие-либо данные о том, каким образом на них оказывают воздействие ультрафиолетовые лучи в течение длительного времени. Известно, что некоторые породы натурального камня выцветают под их воздействием, не исключено, что некоторые разновидности белых и цветных симиналов могут терять часть своих прочностных и эстетических свойств под воздействием ультрафиолетовых лучей.

Другой вид внешнего воздействия, который является губительным для долговечности, – это биодеструкция, т.е. поражение различными организмами (бактериями, водорослями и различными видами грибов, лишайниками и даже высшими растениями). Опыт эксплуатации облицовочных плит из некоторых разновидностей симиналов в качестве облицовки стенок колодцев свидетельствует о том, что они практически не подвергаются разрушающему воздействию живых систем и организмов [7].

Причина высокой биологической стойкости симиналов пока не выяснена окончательно, однако существует два наиболее вероятных объяснения. Первое заключается в том, что на начальной стадии затвердевания минерального расплава в литейной форме образуется тончайший ирригационный поверхностный слой. Это слой является сверхтонким и сверхпрочным, при этом он аморфный по своей структуре и не содержит ни пор, ни органических соединений, поэтому биологическое загрязнение просто не действует на симинал. Второе объяснение заключается в том, что в процессе переплава и разлива минерального расплава в производственных условиях контакта с различными органическими веществами в процессе производства не происходит, это означает, что таких активных и нестабильных соединений, как сульфиды и прочие, в структуре симиналов не присутствует, что подтверждается результатами силикатного анализа, а это означает, что биодеструкция

не происходит, поскольку не происходит взаимодействия между симиналом и биологическим агрессором.

В то же время стойкость симиналов к микроорганизмам, лишайникам и т.д. не означает их полную биологическую неуязвимость. Опасностью, сокращающей срок их службы, являются деревья, кустарники, травы, которые размещают корневую систему по трещинам в материале или в открытых швах облицовки. Утолщаясь и удлиняясь по мере роста растения, корни способны расширить трещину или шов и постепенно сдвинуть монолитный облицовочный блок или разрушить массивную архитектурную деталь. Поэтому механическая прочность симиналов крайне важна при оценке влияния биодеструкции на их долговечность.

Роль ветровых потоков в деструкции облицовочных изделий из симиналов сводится, прежде всего, к переносу абразивных частиц, воздействующих на фасады зданий (абразивное выветривание), а также других компонентов городской пыли, осаждение которых на поверхности облицовки ведет к образованию пленок, которые становятся, в свою очередь, проводниками для других разрушающих внешних видов воздействий (осадки, биоагрессоры и т.д.). Потому на долговечность изделий из симиналов большое значение оказывает их абразивостойкость.

Техногенные факторы, снижающие показатели долговечности облицовки, являются, пожалуй, самыми труднопрогнозируемыми, поскольку они могут достаточно быстро меняться, а степень их воздействия может интенсивно расти. Наиболее ощутимое техногенное воздействие на облицовку оказывает вибрация, возникающая в основной кладке здания, на которое облицовка непосредственно уложена. В результате такой вибрации в симиналах начинает проявляться такое явление, как усталость материала, оно приводит к образованию и развитию трещин, имеющих обычно Х-образную форму, следовательно, опять же без данных о механической прочности симиналов объективно судить об их долговечности невозможно.

Таким образом, мы определили факторы, влияющие на долговечность негативно, и свойства симиналов, противодействующие этим факторам. Для того чтобы провести квалитетическую оценку долговечности, мы свели численные значения воздействующих факторов и соответствующих свойств, которые, по сути, являются критериями долговечности симиналов, в таблицу [8, 9, 10].

Для расчета уровня долговечности D использовали формулу, разработанную НИИМОССТРОЙ [11]:

$$D = \frac{M \cdot P \cdot K}{12}, \quad (1)$$

где M – среднее количество месяцев, соответствующее одному циклу испытаний; P – количество циклов при испытании в климатической камере;

K – коэффициент стабильности и надежности работы камеры, $K = 0,85 \dots 1,0$;
 12 – количество месяцев в году.

Факторы, негативно влияющие на долговечность облицовочных изделий из симиналов, и противодействующие им свойства

Негативный фактор	Численное значение воздействия фактора	Противодействующее свойство симинала (критерий долговечности) и численное значение свойства
Атмосферно-климатические	Раствор серной кислоты (менее 5 %), пары и растворы NaCl, ксеноновое излучение 1 400 Вт/м ² , электродуговое излучение 3760 Вт/м ² , ультрафиолетовое излучение – 45 Вт/м ² , влажность воздуха 5–30 %, температурный интервал от –35 до +70°C	Кислотостойкость 98 %, Щелочестойкость 95 %, Водостойкость 99 %, Морозостойкость 250 циклов, Термостойкость 25–120 циклов
Биодиструкция	–	Не устанавливалась
Механические воздействия	Твердость абразива 4МПа, скорость перемещения абразива до 40 м/с, сжимающая нагрузка до 1,2 ГПа	Предел прочности при сжатии 250–550 МПа, истираемость 0,01 г/мм ² , твердость 5 ГПа, ползучесть 5 %
Техногенные факторы	Вибрация 150 Гц	Вибростойкость не устанавливалась

Для того чтобы судить о долговечности каждого конкретного вида симиналов, а также для контроля качества изделий из них с точки зрения оценки срока службы, мы, опираясь на стандартные методики и рекомендации НИИМОССТРОЙ, составили программу по контролю показателя долговечности облицовочных изделий из симиналов.

Перед испытаниями на долговечность необходимо оценить будущие условия эксплуатации изделий, поскольку значения нагрузок при испытании должны варьироваться. При подготовке образцов выполняются все процессы комплексной технологической системы, предусмотренные в производственных условиях. Рекомендуемые размеры образцов по длине и ширине принимаются не менее 90×90×20 мм, их поверхность тщательно очищается от жировых пятен и других загрязнений. До начала испытаний образцы должны выдерживаться в нормальных климатических условиях не менее 7 сут.

Циклы испытаний на воздействие атмосферно-климатических факторов рассчитывали на основании усредненных климатических факторов, воздействующих на изделия в натуральных условиях, и с учетом времени перехода от одного цикла к другому. В исследованиях использована климатическая камера марки Zwick – Z250 (Германия).

Цикл режима испытания следующий:

- первая часть цикла – 8 ч:
 - повышение температуры до 55 ± 3 °С и относительной влажности воздуха до 97 ± 3 % в течение 3 ч, выдержка образцов при этих условиях: 1 ч – подъем, 2 ч – выдержка;
 - снижение температуры до -30 ± 3 °С и относительной влажности воздуха до 75 ± 3 % в течение 3 ч, выдержка при этих условиях: 2 ч – снижение, 1 ч – выдержка;
 - повышение температуры до $+60 \pm 3$ °С и снижение относительной влажности воздуха до 10 ± 3 % в течение 2 ч, выдержка образцов при этих условиях: 1 ч – подъем, 1 ч – выдержка;
- вторая часть цикла – 8 ч:
 - облучение образцов ультрафиолетовыми и инфракрасными лучами с максимальной освещенностью при температуре 55 ± 2 °С и относительной влажности воздуха 75 ± 3 % в течение 8 ч;
- третья часть цикла – 8 ч:
 - обработка образцов, соевым, щелочным и кислотным растворами при температуре 55 ± 2 °С и относительной влажности воздуха 75 ± 3 % в течение 8 ч;
 - снижение температуры до -30 ± 3 °С и относительной влажности воздуха до 75 ± 3 % в течение 3 ч, выдержка при этих условиях: 2 ч – снижение, 1 ч – выдержка.

Интегральная поверхностная плотность потока излучения на заданном расстоянии от излучателя до образца при непрерывном облучении ксеноновыми лампами составляет $1\ 120 \pm 140$ Вт/м², электродуговыми и ртутно-кварцевыми лампами в аппаратах «ИП-1» составляет 3730 ± 140 Вт/м² при поверхностной плотности потока ультрафиолетового излучения 30 ± 5 Вт/м². Солевой раствор – 20%-ный раствор NaCl, щелочной раствор – 50%-ный раствор NaOH, кислотный раствор – 50%-ный раствор H₂SO₄.

Испытание, позволяющее учесть механическое и техногенное воздействие на облицовку, проводится следующим образом: длительность испытания 1 сут: в течение 3 ч подаются абразивные частицы твердостью 4 МПа параллельно изделию с нарастающей скоростью от 2 до 30 м/с; изменение угла подачи от 0 до 90 ° в течение 2 ч с равномерной скоростью 15 м/с, затем – воздействие абразива, параллельно направленное, со скоростью 5 м/с, сопровождается вибрацией в 120 Гц [12].

Результаты испытаний обрабатывали по формуле (1), в результате установили, что квалиметрический срок долговечности симиналов находится в пределах от 150 до 200 лет, что позволяет классифицировать симиналы как долговечные и относительно долговечные облицовочные материалы.

Таким образом, в ходе проведенной работы получены следующие результаты:

- установлена средняя долговечность для симиналов и облицовочных изделий из них, которая составляет 150–200 лет;
- разработаны рекомендации по проведению испытаний для определения долговечности симиналов в реальных условиях эксплуатации и обработки результатов этих испытаний;
- доказана целесообразность использования симиналов для изготовления облицовочных изделий и перспективность замены облицовочных изделий из недолговечных горных пород на изделия из симиналов.

Список литературы

1. Лащук В.В. Долговечность облицовочного камня Кольского полуострова. – Апатиты: Апатиты, 1996. – 138 с.
2. Игнатова А.М., Ханов А.М. Нанотвердость и особенности структуры синтетического каменного литья // Новые материалы, наносистемы и нанотехнологии: матер. всерос. молодежн. науч.-техн. интернет-конф. – URL: <http://nano-world.ulstu.ru>
3. Игнатова А.М. Правила управления структурой и свойствами каменного литья // Вестник ПГТУ. Машиностроение, материаловедение. – Пермь, 2010. – № 3. – Т. 14.
4. Использование каменного литья для изготовления портретных барельефов и горельефов / А.М. Игнатова [и др.] // Дизайн. Материалы. Технологии. – 2010. – № 1. – С. 27–32.
5. Игнатова А.М., Черных М.М. Оценка степени пригодности каменного литья для изготовления декоративных и архитектурно-художественных изделий // Матер. XII всерос. науч.-практ. конф. по специальности «Технология художественной обработки материалов»; Рост. гос. строит. ун-т. – Ростов-н/Д. – С. 32–49.
6. Азгальдов Г.Г., Азгальдова Л.А. Количественная оценка качества (Квалиметрия). Библиография. – М.: Изд-во стандартов, 1971.
7. Разработка и внедрение методов экспресс-оценки состояния зданий и сооружений с каменной облицовкой. Информация о Госконтракте № 8/3–175н-07. № госрегистрации 0120.0711493. – М.: Управление НТП Научно-технический совет Комплекса градостроительной политики и строительства города Москвы, 2009.
8. Игнатова А.М. Разработка модели абразивного износа материала каменного литья с привлечением нанотехнологических исследований // Вестник ПГТУ. Машиностроение, материаловедение. – Пермь, 2010. – № 2. – Т.13.

9. Игнатова А.М., Мерзляков А.Ф., Ханов А.М. Методика и оборудование определение предела механической прочности на сжатие литых образцов синтетических минеральных сплавов // Вестник ПГТУ. Машиностроение, материаловедение. – Пермь, 2010. – № 3. – Т. 14.

10. Игнатова А.М., Скачков А.П. Методика определения твердости анизотропных литых синтетических минеральных сплавов методом наносклерометрии // Вестник ПГТУ. Машиностроение, материаловедение. – Пермь, 2010. – № 3. – Т. 14.

11. ТР 174–05. Технические рекомендации по определению долговечности отделочных и облицовочных материалов.

12. МГСН 2.04–97. Московские городские строительные нормы. Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях.

Получено 5.07.2010