

А.М. Игнатова

Пермский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КАМНЕЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ С ЗАДАННОЙ СТЕПЕНЬЮ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПО ЭТАЛОНАМ

Рассмотрены факторы, влияющие на формирование шероховатости поверхности изделий из каменного литья, и особенности восприятия поверхности. В результате исследований установлена зависимость степени шероховатости поверхности от зернового состава формовочных материалов, получены образцы каменного литья с различной степенью шероховатости.

Натуральный камень – материал, который широко используется во все времена для оформления фасадов зданий и интерьеров помещений вне зависимости от модных тенденций. Этому есть две основные причины: прежде всего, натуральный камень удовлетворяет естественную потребность человека созерцать нестандартные формы и разнообразие узоров природных элементов. Человеку не под силу воспроизвести свойственные природе элементы хаоса и композиционной свободы. Созданные художником узоры в аналогичных условиях (количество и размер элементов и т.д.) всегда будут уступать природным в легкости и спонтанности. Второй причиной неизменной востребованности натурального камня является его высочайшая долговечность, стойкость к любым внешним воздействиям, будь то агрессивная среда, экстремальные температуры, статические нагрузки или абразивное воздействие, в сочетании с полной экологической чистотой. Именно благодаря этим причинам натуральный камень может быть использован для оформления любых помещений. Высокие показатели эксплуатационных свойств (износостойкость, коррозионная стойкость и т.д.) и экологическая чистота обеспечили популярность натурального камня не только как декоративного строительного материала, но и как конструкционного и строительного материала в различных сферах промышленности (облицовка полов, трубопроводов и т.д.).

Использование натурального камня в гражданском и промышленном строительстве ограничивается его высокой стоимостью, которая обусловлена трудностью добычи и необходимостью сложной многоступенчатой механической обработки. Наиболее дорогими являются цельные пласты декоративного камня (например, мрамор или черный гранит), так как они являются отборным и редким материалом. Попытки сделать натуральный камень более

доступным заключаются в основном в поиске более производительных и дешевых способов и инструментов для механической обработки, однако эти меры не обеспечивают желаемую доступность натурального камня. Опыт использования различных материалов на основе полимеров или вяжущих составов в качестве замены натурального камня также не привел к решению проблемы, поскольку ни один заменитель не сочетает в себе всех эстетических и эксплуатационных свойств натурального камня.

Материалом, способным равноценно заменить натуральный камень по всем параметрам и при этом быть более доступным, является каменное литье. Каменное литье – общее название для технологии и материала, получаемого с ее помощью. Технология заключается в высокотемпературной переплавке сырья минерального (основные и ультраосновные горные породы) и техногенного (металлургические шлаки, топливные золы и т.д.) происхождения и последующей обработке и заливке полученного огненно-жидкого расплава в формы. Сам материал является разновидностью силикатов и в настоящее время применяется в промышленности в качестве абразиво- и коррозионно-стойкого материала. С точки зрения строения он представляет собой совокупность кристаллических структурных составляющих и аморфной фазы. Этот материал сочетает в себе все эксплуатационные свойства натурального камня, поскольку натуральные породы являются сырьем для его получения, и свободу формообразования, которая обеспечивается методом литья. Высокая доступность каменного литья, в сравнении с доступностью натурального камня, обеспечивается тем, что для его производства начальные эстетические характеристики горной породы не являются определяющими и могут быть улучшены при обработке расплава, а возможность придания формы изделиям посредством литья позволяет существенно сократить объем механической обработки до нескольких доводочных операций [2].

Технология каменного литья позволяет тиражировать изделия практически любой сложности достаточно большими партиями, а значит, позволяет создавать типовые облицовочные изделия, архитектурные элементы и ритуальные изделия и элементы их компоновки.

Традиционно при проектировании и создании изделий из натурального камня особое внимание уделяют выбору фактуры его поверхности, поскольку состояние поверхности является одной из главных составляющих эстетического восприятия и качества художественного изделия. Восприятие поверхности происходит на двух уровнях – зрительном (матовая или блестящая) и осязательном (гладкая или шероховатая). Разная шероховатость или сочетание шероховатых поверхностей с гладкой задают многогранность восприятия изделия. Например, шероховатая поверхность может быть по-разному воспринята в зависимости от освещения, при котором она кажется в разной

степени шероховатой (слабо-, средне-, сильношероховатая, грубая). Гладкая поверхность также может восприниматься по-разному, в основном отличия описываются на зрительном уровне: например, блеск может быть глянцевый, зеркальный, рассеянный и т.д.

Правильный выбор степени шероховатости камня способствует повышению его эстетической ценности и, что немаловажно, влияет на эксплуатационные характеристики, а именно определяет уровень сопротивления поверхности агрессивным факторам, адгезионные свойства, а также может обеспечить нескользимость, что особенно важно при использовании камня в качестве напольного покрытия. Степень шероховатости влияет на цветовые параметры камня, может приглушать его основной цвет или гасить его рисунок. Камни, лишенные цвета и выразительности, могут приобрести эстетические характеристики путем создания на их поверхности высокой степени шероховатости, которая обеспечивает игру светотени [3].

При проектировании декоративных и художественных изделий из каменного литья невозможно использовать рекомендации по выбору и достижению необходимой степени шероховатости поверхности изделий из натурального камня, так как они касаются исключительно его механической обработки. В свою очередь, существующие технологические разработки в области каменного литья ориентированы на получение исключительно технических изделий и не содержат рекомендаций по изготовлению художественных изделий с запланированными эстетическими характеристиками поверхности. Отсюда становится очевидна необходимость в разработке способов получения запланированной степени шероховатости на поверхности изделий из каменного литья [4].

Для создания таких рекомендаций необходимо проведение классификации видов поверхностей каменного литья и изучение факторов, влияющих на формирование степени их шероховатости. Выполнение этих исследований обеспечит расширение технологических возможностей использования каменного литья в различных сферах дизайна.

Виды поверхностей камнелитых изделий могут быть классифицированы по условиям формирования: существуют поверхности, образовавшиеся при контакте:

- с песчаной формой,
- с металлической формой,
- с графитовой формой,
- с воздухом (открытые поверхности).

Наиболее доступным и экономичным способом получения художественных отливок, изготавливаемых в единственном экземпляре или малыми партиями, является метод литья в разовые песчано-глинистые формы. Поэто-

му в своем исследовании мы рассматриваем именно этот метод. Песчаные формы могут быть закрытые или открытые. Таким образом, при этом методе литья могут быть получены поверхности двух видов:

- образовавшиеся при контакте с песчаной формой,
- образовавшиеся при контакте с воздухом (открытые поверхности).

Поверхности, сформировавшиеся при контакте с воздухом, воспринимаются зрительно скорее как волнистые, чем шероховатые (рис. 1, *a*).

Поскольку условия формирования двух видов поверхности разные, то и факторы, влияющие на их формирование, различны. Открытые поверхности формируются в зависимости от поверхностного натяжения расплава и от усадки, эти факторы по мере затвердевания соответственно влияют на форму жидкой поверхности и изменяют ее уровень. Кроме того, существует эффект возникновения «террас», т.е. участков поверхности, параллельных характерным кристаллографическим плоскостям. Поскольку каменный расплав достаточно вязкий, то на его поверхности неровности образуются еще и в соответствии с траекторией заливочной струи.



a

б

Рис. 1. Фактуры поверхности при литье в песчаные формы:

a – фактура, образованная при контакте с воздухом; *б* – фактура, образованная при контакте с формой

Формирование фактуры поверхности при контакте с песчаной формой – более сложный процесс, на него влияют следующие физические факторы: силы когезии и адгезии, радиус пор, находящихся в поверхности песчаной формы, и статическое давление расплава. Статическое давление каменного расплава и адгезия существенно влияют на чистоту поверхности, увеличивая степень шероховатости; силы когезии, радиус пор, напротив, препятствуют образованию шероховатости. Если между этими противоположными по влиянию силами устанавливается равновесие, то степень шероховатости будет наименьшей. В случае преимущества на стороне «положительных» сил на поверхность отливки начинает действовать сила, равная разнице между «по-

ложительными» и «отрицательными» силами, такое воздействие также приводит к увеличению степени шероховатости [1].

Радиус пор в пограничной зоне – один из важнейших факторов, влияющих на степень шероховатости. Расплав поступает в пористую пограничную зону и проникает в нее на различную глубину. Рассматривая частицы формовочной смеси как сферические, можно сказать о том, что форма таких капилляров коническая, и чем больше будет радиус этих сфер, тем крупнее будут поры, а значит, и объем капилляров для проникновения расплавов будет больше, что приведет к увеличению степени шероховатости. Технологически повлиять на размер пор можно выбирая размер частиц формовочных материалов, их дисперсность, однако не менее важна их сходность по размеру. Чем больше диапазон зернистости формовочных материалов, тем выше степень шероховатости.

Статическое давление расплава также напрямую влияет на степень шероховатости: чем оно выше, тем шероховатость больше; зависимость имеет линейный характер до достижения критической точки. В критической точке петруггический расплав перестает давить на форму и начинает проникать в нее, что, естественно, только увеличивает шероховатость. Оказать существенное влияние на величину статического давления расплава крайне сложно, так как оно прежде всего зависит от физических свойств (плотности расплава), однако высота стояка и общий объем отливки оказывают некоторое влияние на данную величину. В свою очередь, плотность набивки смеси в форме помогает увеличить ее сопротивление давлению расплава, что приводит к снижению степени шероховатости. Однако следует помнить о том, что наибольшее уплотнение должно концентрироваться непосредственно в области отпечатка, а если вся смесь в форме будет слишком сильно уплотненной, существенно понизится ее газопроницаемость [1].

Проанализировав технологию изготовления отливок из каменного литья и проследив взаимосвязь между технологическими параметрами и физическими величинами, влияющими на формирование поверхности, мы установили, что наиболее значительным параметром является дисперсность формовочных материалов. Поэтому в своем исследовании мы провели ряд экспериментов, позволяющих установить зависимость степени шероховатости поверхностей камнелитых отливок, контактирующих с песчаной формой, от дисперсности формовочных материалов.

Перед началом экспериментов необходимо было выбрать способ оценки шероховатости. Классические методики с использованием стандартных образцов не позволяют оценить поверхность отливки достоверно, так как обычно она очень неравномерна, зачастую на ней встречаются дефекты, которые образуют резкие пики и впадины на профиле поверхности. Наиболее

современным и достоверным способом является установление степени шероховатости с помощью специализированных приборов – профилометров. Мы использовали профилометр модели 170623 производства ОАО «Калибр». Принцип действия данного устройства основан на ошупывании неровностей измеряемой поверхности щупом индуктивного датчика – алмазной иглой – в процессе трассирования (перемещения датчика вдоль измеряемой поверхности с постоянной скоростью) и последующем преобразовании перемещения щупа в аналоговый электрический сигнал, который обрабатывается с помощью персонального компьютера. Нами представлен интерфейс программного обеспечения, которое позволяет обрабатывать результаты, полученные при оценке степени шероховатости профилометром (рис. 2).

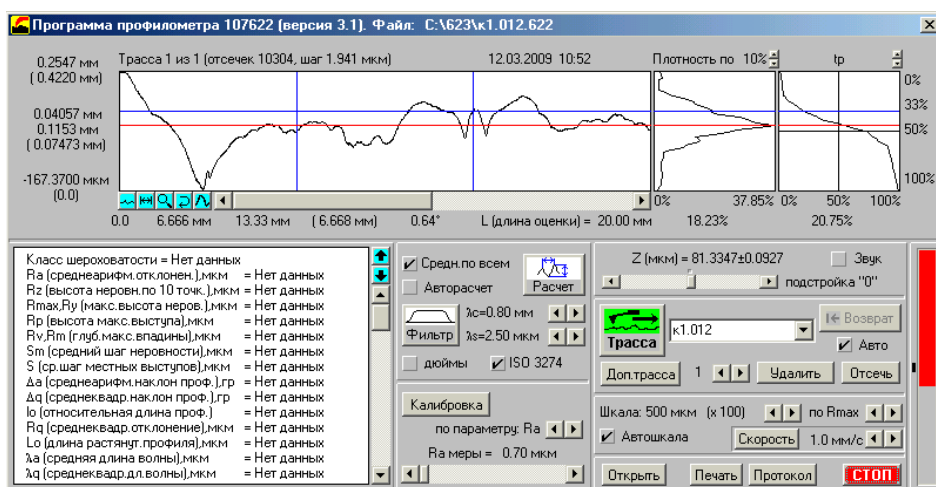


Рис. 2. Интерфейс программного обеспечения, поставляемого с профилометром

Для проведения серии экспериментов мы подготовили пять видов формовочной смеси, одинаковых по соотношению компонентов, но различных по их дисперсности. Соотношение компонентов во всех образцах смеси было следующее: песок 70–75% и глина 25–30%, во всех случаях в качестве связующего использовали воду, влажность приготовленных смесей также оставалась без изменений и во всех случаях составила 4%. Для достоверности результатов эксперимента формовочные материалы были подготовлены и разделены по дисперсности.

Формовочный песок был обработан потоком воды для удаления пылевидной фракции и инородных включений. Фракционный состав песка определяли путем просеивания через 11 сит с размерами ячеек от 2,5 до 0,005 мм. Для приготовления формовочных смесей был отобран песок пяти различных марок: 1К01А, 1К016А, 1К02А, 1К025А, 1К03А.

При определении дисперсности глин использовали метод осаждения глинистых частичек из водных суспензий. В отличие от дисперсной, коллоидная часть не осаждается. Для эксперимента были отобраны глины трех видов: грубодисперсная (размер частичек составляет от 22 до 5 мкм), мелкодисперсная (от 5 до 1 мкм) и коллоидная (менее 1 мкм). Составы смесей, используемых в эксперименте, представлены в табл. 1.

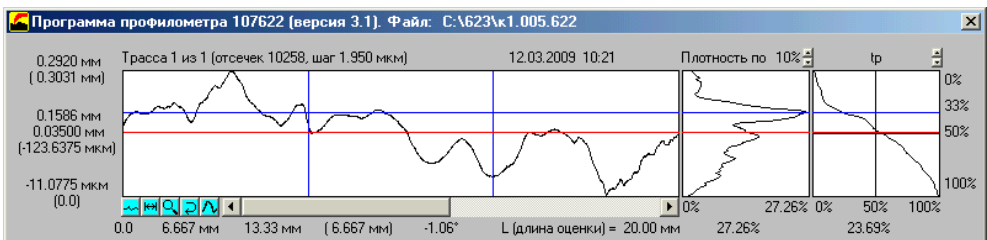
Таблица 1

Составы формовочных смесей

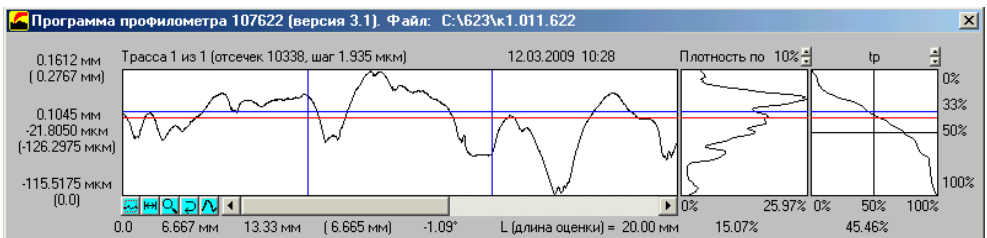
№ образца смеси	Зерновой диапазон песка, мм (марка песка)	Вид используемой глины
1	До 0,14 (1К01А)	Коллоидная
2	0,14–0,18 (1К016А)	Мелкодисперсная
3	0,19–0,23 (1К02А)	Мелкодисперсная
4	0,24–0,28 (1К025А)	Мелкодисперсная
5	Свыше 0,28 (1К03А)	Грубодисперсная

Из каждого вида смеси вручную были изготовлены литейные формы для изготовления образцов. Образцы для определения степени шероховатости в зависимости от формы представляли собой плитки размером 180×115×18 мм. Все формы были изготовлены по одной деревянной модели, изначальная шероховатость которой составляла R_m 25 мкм. Формы были открытого типа, т.е. заливка осуществлялась непосредственно в полость формы. Каждая форма перед заливкой подвергалась сушке и нагреву в камерной печи в два этапа: сначала каждая форма выдерживалась в течение 3 ч при температуре 50–60 °С, а затем нагревалась до 800–850 °С. Общее время сушки и прокаливания форм составило 8 ч. Заливку каменного расплава в полость литейных форм проводили из металлического нефутерованного ковша на заливочном плацу. При заливке обращали особое внимание на равномерность струи расплава и ее высоту, которая не должна превышать 25 см, в противном случае струя начала бы закручиваться, захватывая воздух, что могло привести к дефектам поверхности. Температура каменного расплава при заливке в форму составляла 1250–1320 °С. Залитые формы через 10–12 мин помещали в электрическую кристаллизационно-отжигательную печь туннельного типа длиной 38 м, мощность 220 кВт. После полного программного завершения цикла кристаллизационно-термической обработки (через 24 ч) отливки извлекали из форм и тщательно отчищали от остатков формовочной смеси. Поверхность отчищенных образцов изучали профилометром.

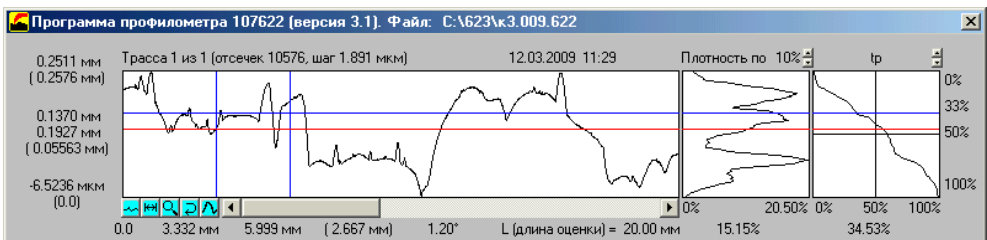
Измерение шероховатости производили на наиболее ровных частях поверхности отливок, с каждого образца было снято по 20 профилограмм, по которым выводилось среднее арифметическое значение величин R (среднее арифметическое отклонение профиля) и R_m (наибольшая высота неровностей профиля). Рассмотрим показательные профилограммы поверхностей, полученных в формах из смесей различных составов (рис. 3).



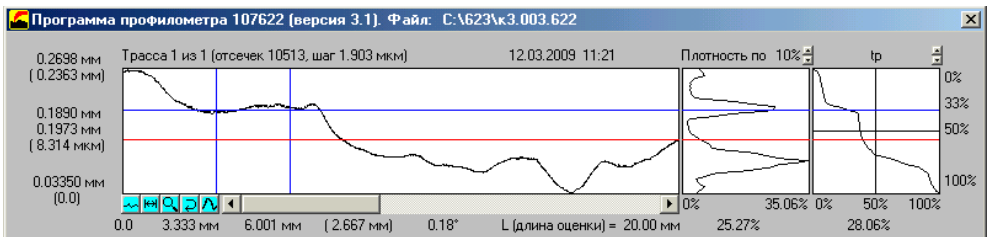
a



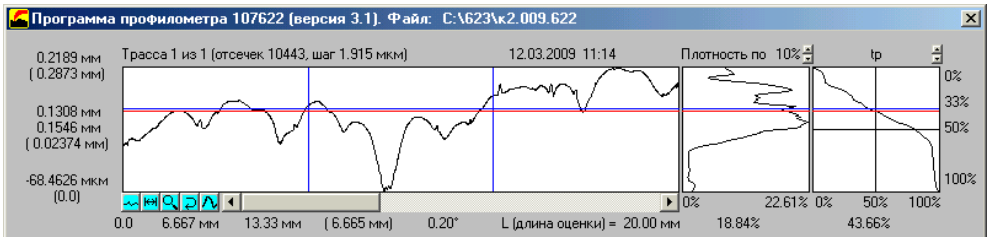
б



в



г



д

Рис. 3. Профилограммы поверхностей, полученных в формах из смесей различных составов: *a* – № 1; *б* – № 2; *в* – № 3; *г* – № 4; *д* – № 5

Поскольку все отливки образцов были получены в открытые формы, мы провели дополнительное исследование поверхностей, которые затвердели при контакте с воздухом. Типовые профилограммы свободных «волнистых» поверхностей представлены на рис. 4.

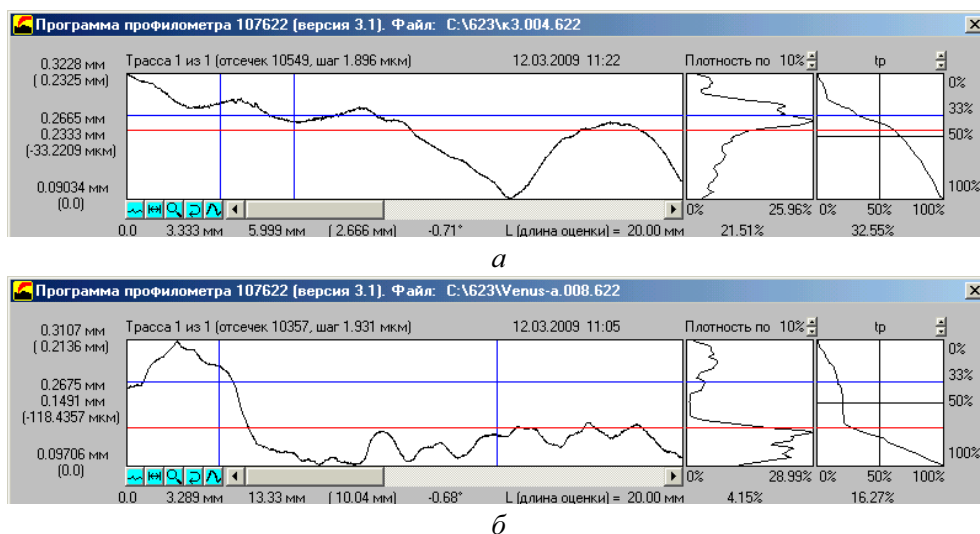


Рис. 4. Типовые профилограммы для свободной «волнистой» поверхности:
 а – $R = 12,9$ мкм, $R_m = 40,1$ мкм; б – $R = 1,26$ мкм, $R_m = 6,24$ мкм

Результаты экспериментов по выявлению зависимости между степенью шероховатости поверхности камнелитых отливок и дисперсностью формовочных материалов представлены в табл. 2. На рис. 5 представлены эталоны поверхностей каменных отливок с разной степенью шероховатости, на рис. 6 представлен график, характеризующий выявленную зависимость между степенью шероховатости поверхности отливок и дисперсностью формовочных материалов. Зависимости между степенью волнистости свободной поверхности и параметрами формовочной смеси не наблюдается.

Таблица 2

Результаты экспериментов по выявлению зависимости между степенью шероховатости поверхности камнелитых отливок и дисперсностью формовочных материалов

№ смеси	Зерновой диапазон песка, мм (марка песка)	Параметры шероховатости
1	До 0,14	$R = 2,92$ мкм, $R_m = 17,2$ мкм
2	0,14–0,18	$R = 2,5$ мкм, $R_m = 21,5$ мкм
3	0,19–0,23	$R = 12,9$ мкм, $R_m = 40,1$ мкм
4	0,24–0,28	$R = 23,2$ мкм, $R_m = 85$ мкм
5	Свыше 0,28	$R = 20,8$ мкм, $R_m = 94,2$ мкм

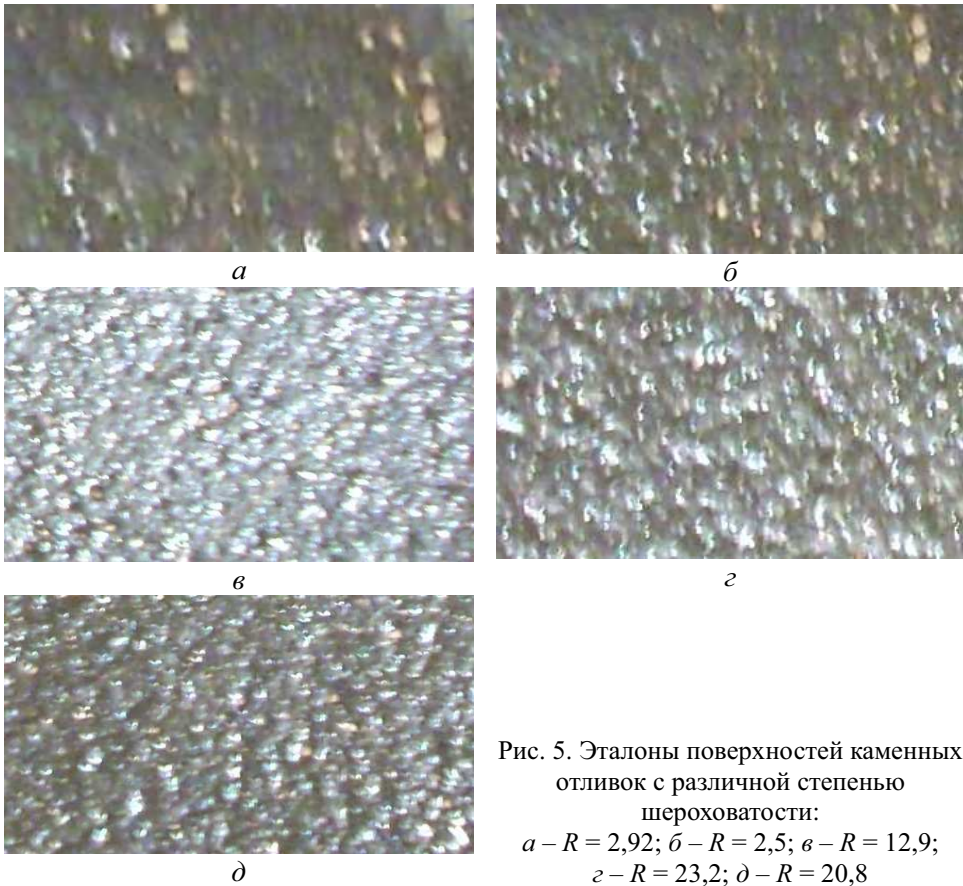


Рис. 5. Эталоны поверхностей каменных отливок с различной степенью шероховатости:
a – $R = 2,92$; *б* – $R = 2,5$; *в* – $R = 12,9$;
г – $R = 23,2$; *д* – $R = 20,8$

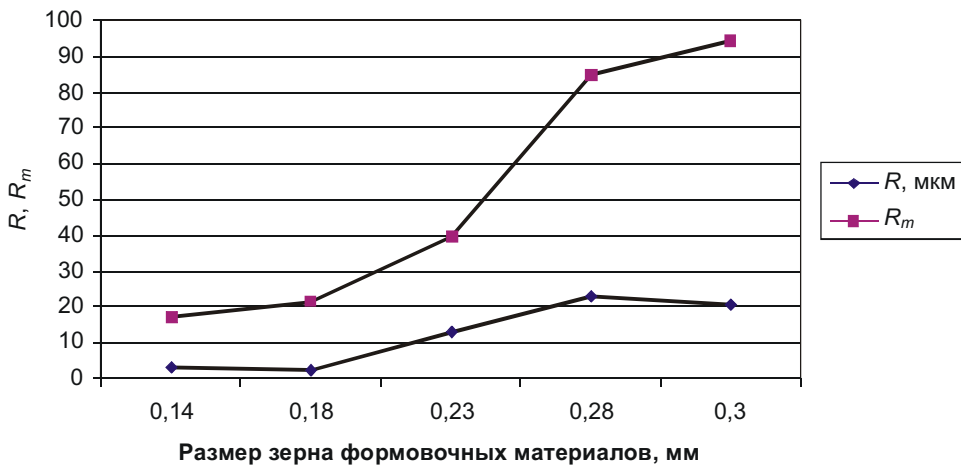


Рис. 6. Зависимость параметров шероховатости R и R_m от дисперсности формовочных материалов

Создавая дизайн будущего камнелитого изделия, следует учитывать важность восприятия человеком предметов через характеристики их поверхности. Пространственное восприятие создается в результате сочетания контуров и распределения яркостей. Равномерный фон противодействует эффекту пространственности, а значит, для того чтобы выгодно подчеркнуть форму изделия или передать художественный рельеф, не всегда нужна минимальная степень шероховатости. Наличие теней, создаваемых неровностями профиля поверхности, является одним из решающих факторов для восприятия объема и глубины.

Эталоны поверхностей с различной степенью шероховатости позволят конструктору запланировать эстетическое восприятие изделия из каменного литья, предусмотреть сочетание участков его поверхности с различной шероховатостью для придания изделию необходимого декоративного вида. Полученные зависимости, в свою очередь, позволят технологу правильно подобрать состав формовочной смеси для каждого участка изделия, чтобы наиболее точно воплотить замысел конструктора.

Таким образом, на основании проведенных экспериментальных исследований установлены зависимости между степенью шероховатости поверхности камнелитых отливок и дисперсностью формовочных материалов, получены эталоны поверхностей отливок с различной степенью шероховатости. На основании полученных результатов предложены рекомендации по достижению заданной степени шероховатости.

Установлено, что минимальные параметры степени шероховатости поверхности камнелитых отливок (наиболее гладкая поверхность), получаемых методом литья в песчано-глинистые формы, составляют: $R = 2,5$ мкм, $R_m = 17,2$ мкм. Для их достижения следует использовать формовочные материалы, размер зерна которых лежит в пределах 0,14–0,18 мм, например, песок марки 1К016А и мелкодисперсную глину. Максимальные параметры шероховатости камнелитых отливок составляют: $R = 20,8$ мкм, $R_m = 94,2$ мкм, для их достижения следует использовать формовочные материалы, размер зерна которых лежит в пределах 0,28–0,4 мм, например, песок марки 1К03А и грубодисперсную глину.

Полученные результаты были использованы в практике при изготовлении художественного барельефа «Пушкин» (рис. 7).



Рис. 7. Художественный барельеф из каменного литья «Пушкин»

Таблица 3

Подбор зернового состава формовочной смеси в соответствии с запланированными требованиями по шероховатости

Размер деталей рельефа, мм	Элемент художественного барельефа «Пушкин»	Запланированные параметры шероховатости	Марка формовочного песка	Зерновой диапазон песка, мм
1–1,5	Глаза, общий фон лица	$R = 2,92$ мкм, $R_m = 17,2$ мкм	1К01А	До 0,14
2,5–3	Нос, губы, ухо	$R = 2,5$ мкм, $R_m = 21,5$ мкм	1К016А	0,14–0,18
3–6	Бакенбарды, кудри, ворот	$R = 12,9$ мкм, $R_m = 40,1$ мкм	1К02А	0,19–0,23
6–10	Цифры	$R = 23,2$ мкм, $R_m = 85$ мкм	1К025А	0,24–0,28
Свыше 10 мм	Общий фон	$R = 20,8$ мкм, $R_m = 94,2$ мкм	1К03А	Свыше 0,28

Художественный рельеф отливок состоял из различных по размеру элементов, и для каждой размерной группы элементов использовалась формовочная смесь определенного зернового состава.

Список литературы

1. Медведев Я.И., Валисовский И.В. Технологические испытания формовочных смесей. – М.: Машиностроение, 1973. – 312 с.
2. Игнатова А.М., Черных М.М. Каменное литье в изготовление декоративных изделий и архитектурно-художественных элементов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: материалы 5-й междунар. конф. – Тула: Изд-во Тул. гос. ун-та, 2009. – Т. 2. – С. 33–41.
3. Игнатова А.М., Черных М.М. Оценка степени пригодности каменного литья для изготовления декоративных и архитектурно-художественных изделий // Технология художественной обработки материалов: материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростов. гос. строит. ун-та, 2009. – С. 27–30.
4. Технологические основы изготовления декоративных и художественных изделий из каменного горнблэндитового литья / А.М. Игнатова [и др.] // Молодежная наука Прикамья: сб. науч. тр. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. – № 10. – С. 95.

Получено 12.01.2010