

УДК 579.852.11: 666.3

Л. В. Якимович¹, Р. М. Маркевич¹, Л. В. Свистунова²
¹Белорусский государственный технологический университет,
²ОАО «Белхудожкерамика»

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОПЫТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БИООБРАБОТАННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ ОАО «БЕЛХУДОЖКЕРАМИКА»

В производственных условиях ОАО «Белхудожкерамика» показана целесообразность использования бактерий *Bacillus amyloliquefaciens* Г, выделенных из глины белорусского месторождения «Гайдуковка», для улучшения свойств сырья на основе данной глины. Препараты для обработки глинистого сырья получали выращиванием бактерий *B. amyloliquefaciens* Г на питательных средах разного состава. Обработку формовочного шликера проводили в течение 72 ч при температуре 28–30°C, обработанную гончарную массу вылеживали в течение 5 сут при температуре 23–25°C. Далее технологический процесс изготовления керамических изделий соответствовал производственному регламенту.

В результате бактериальной обработки понизились вязкость и коэффициент загустеваемости шликера, существенно сократилась продолжительность набора черепка. Воздушная линейная усадка образцов после обжига не превышала 5%. Установлены условия обработки, приводящие к наиболее существенному снижению водопоглощения образцов, что является свидетельством повышения их механической прочности. Электронно-микроскопические изображения поверхностей сколов опытных образцов характеризуются большей плотностью и однородностью по сравнению с промышленным образцом. При повторном литье образуется максимально плотная поверхность и понижается пористость изделий.

Впервые показано положительное воздействие вылеживания глин, обработанных культуральной жидкостью бактерий *B. amyloliquefaciens* Г на пластичные свойства гончарных масс.

Ключевые слова: керамическая промышленность, глина, *Bacillus amyloliquefaciens*, бактериальный препарат, шликер, водопоглощение, число пластичности.

L. V. Yakimovich¹, R. M. Markevich¹, L. V. Svistunova²
¹Belarusian State Technological University, ²OAO “Belkhudozhkeramika”

PRODUCTION OF TEST PRODUCTS FROM THE BIOPROCESSED CERAMIC MASSES UNDER PRODUCTION CONDITIONS OF OAO “BELKHUDOZHKERAMIKA”

The production expediency of bacteria *Bacillus amyloliquefaciens* G, isolated from clay from Belarusian deposit Gaidukovka for improvement of properties of raw materials was shown under production conditions of OAO “Belkhudozhkeramika”. Preparations for processing of raw clay materials were obtained by cultivation of bacteria *B. amyloliquefaciens* G in different nutrient media. Processing of a forming slurry was carried out during 72 h at a temperature 28–30°C, pottery mass was kept for 5 days at a temperature 23–25°C. Further, the technological process of production of pottery corresponded to production regulations.

The viscosity and coefficient of solidification of a ceramic slurry decreased as a result of bacterial processing, crock set duration significantly reduced. Air linear shrinkage of samples after burning did not exceed 5%. The processing conditions leading to the most essential decrease of water absorption of samples are established, that is the evidence of increase of their mechanical strength, are established. Electron microscopic images of chipped surfaces of test samples are characterized by higher firmness and uniformity in comparison with an industrial sample. The maximum dense surface is formed and porosity of products decreases at the repeated molding.

Positive impact on maturing of clays, processed by cultural liquid of bacteria *B. amyloliquefaciens* G, on plastic properties of pottery masses was first shown.

Key words: ceramic industry, clay, *Bacillus amyloliquefaciens*, bacterial preparation, ceramic slurry, water absorption, plasticity number.

Введение. ОАО «Белхудожкерамика» является самым крупным производителем керамических изделий хозяйственно-бытового и художественного назначения в Республике Беларусь.

Основным сырьем для производства изделий на данном предприятии является дисперсная, умереннопластичная, среднечувствительная к сушке глина белорусского месторождения «Гайдуков-

ка». Высокую механическую прочность готовых керамических изделий можно обеспечить только при использовании тонкодисперсного, высокопластичного сырья.

Существует ряд традиционных (реагентных) методов обработки глинистого сырья, использование которых ведет к диспергации частиц и повышению числа пластичности, что неизбежно приводит к увеличению чувствительности глин к сушке. Альтернативным методом, позволяющим повышать число пластичности и при этом снижать чувствительность глин к сушке, является микробиологическая обработка. Изменение свойств глинистого сырья при многолетнем вылеживании связано с воздействием продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. При введении в глинистое сырье препаратов на основе бактерий технологические характеристики глины улучшаются за значительно более короткий срок [1].

Цель работы заключалась в установлении возможности повышения качества и увеличения механической прочности готовых керамических изделий, полученных из биообработанного керамического сырья на основе глины белорусского месторождения «Гайдуковка».

Основная часть. Наиболее распространенным объектом для исследования влияния микробиологической обработки на свойства глинистого сырья являются бактерии рода *Bacillus*. Эффективность использования бактерий *B. amyloliquefaciens* Г, выделенных из глины белорусского месторождения «Гайдуковка», и *B. mucilaginosus* 4 показана и для улучшения качества глин белорусских месторождений [2].

Препараты для обработки глинистого сырья получали выращиванием бактерий *B. amyloliquefaciens* Г в шейкере-инкубаторе ES-20 (200 об/мин) при температуре 30°C на протяжении 48 ч. Для получения культуральных жидкостей бактерий, отличающихся по своему составу, использовали разные питательные среды, (г/л): среда № 1: сахароза – 5; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 0,5; $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ – 0,26; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,2; NaCl – 0,1; K_2SO_4 – 0,1; среда № 2: сахароза – 20; NaNO_3 – 0,5; $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ – 0,26; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,2; NaCl – 0,2; K_2SO_4 – 0,1.

Производственные испытания включали две серии экспериментов. В первой серии керамические изделия изготавливали методом литья из биообработанного формовочного шликера, вторая серия экспериментов заключалась в получении готовых изделий на гончарных кругах после вылеживания биообработанной гончарной массы. Кроме того, с целью сравнения воздействия на свойства глин и готовых изделий бактерий *B. amyloliquefaciens* Г и *B. mucilaginosus* 4 проведена обработка гон-

чарных масс культуральными жидкостями этих бактерий.

В серии экспериментов по обработке формовочного шликера провели предварительные исследования с целью выбора используемой для обработки культуральной жидкости бактерий и продолжительности набора черепка.

Каждую из культуральных жидкостей бактерий *B. amyloliquefaciens* Г, полученных на разных питательных средах, вносили исходя из расчета 2 мл на 100 г сухой массы глинистого сырья. Обработку керамического шликера влажностью 58–59% без добавления электролита проводили в течение 72 ч при температуре 28–30°C. Установлено, что бактериальная обработка привела к понижению вязкости и коэффициента загустеваемости шликера.

После выдержки шликер вручную заливали в гипсовые формы емкостей для тушения «Тыква» (первое литье). Для выбора необходимой продолжительности набора черепка изменяли время в диапазоне 30–80 мин с шагом 10 мин. Оптимальная толщина стенок изделия получена при продолжительности набора черепка 40 мин. Слитый остаток шликера использовали для отлива кружек (второе литье), время набора черепка также составляло 40 мин.

Далее технологический процесс изготовления керамических изделий соответствовал производственному регламенту, принятому на предприятии: после подвялки, оправки и сушки до влажности 3% изделия обжигали в камерной печи при температуре 860–880°C. Затем на изделия наносили глазурь с добавлением пигментов. Глазурованные изделия обжигались в туннельной печи при температуре 980°C. Внешний вид обожженных изделий соответствовал требованиям стандарта (СТБ 841-2003 «Изделия керамические народных художественных промыслов»), дефектов в глазурном покрытии не обнаружено. Воздушная линейная усадка образцов после обжига не превышала 5%.

Механическая прочность изделий зависит от их плотности и пористости, о чем в производственных условиях судят по значению водопоглощения (ГОСТ 2409-95) (табл. 1). Согласно полученным результатам, для микробиологической обработки формовочного шликера целесообразно использовать культуральную жидкость бактерий *B. amyloliquefaciens* Г, полученную на питательной среде № 1.

С целью изучения возможности уменьшения затрат на производство бактериального препарата провели производственный эксперимент по выпуску изделий с добавлением меньшего количества культуральной жидкости бактерий *B. amyloliquefaciens* Г (1 мл на 100 г сухой глины). Технологический цикл производства изделий не

отличался от описанного выше, производили отливку изделий разных размеров и форм: пивных и детских кружек, кофейных чашек, плакеток. Установлено, что как и в предыдущем случае, бактериальная обработка способствовала изменению технологических свойств шликера (текучесть и коэффициент загустеваемости), после обжига у опытных образцов, по сравнению с производственными, понижалась воздушная линейная усадка. Отмечено существенное уменьшение количества наколов (особенно наглядно это отображается на небольших по размеру изделиях), что значительно снижает процент брака.

Таблица 1
Характеристика исследуемых образцов при введении в формовочный шликер 2 мл препарата на 100 г сухой глины

Наименование образцов	Водопоглощение, %	Время набора черепка, мин
Производственный	16,8–17,0	110–120
Опытный с добавлением КЖ <i>V.a.-1</i> (первое литье)	15,9	40
Опытный с добавлением КЖ <i>V.a.-1</i> (второе литье)	15,6	40
Опытный с добавлением КЖ <i>V.a.-2</i> (первое литье)	16,2	40
Опытный с добавлением КЖ <i>V.a.-2</i> (второе литье)	16,4	40

Примечание. КЖ *V.a.-1* – культуральная жидкость бактерий *V. amyloiligefaciens* Г, полученная на среде № 1; КЖ *V.a.-2* – культуральная жидкость бактерий *V. amyloiligefaciens* Г, полученная на среде № 2.

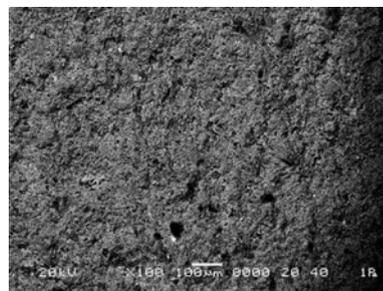
Как видно из табл. 2, изменение количества вносимого бактериального препарата привело к понижению водопоглощения готовых изделий: до 14,3% в случае первого литья изделий и до 13,8% в варианте второго литья. Время набора черепка при втором литье составило 30 мин.

Ниже представлены электронно-микроскопические изображения (рис. 1) поверхностей сколов опытных и промышленных изделий, изготовленных методом шликерного литья. Данные фотографии получены на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610 LV.

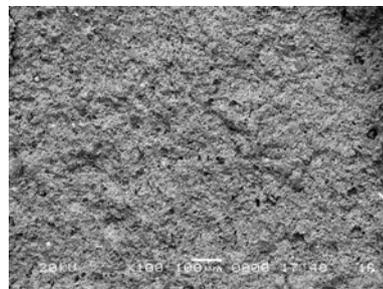
Таблица 2
Характеристика исследуемых образцов при введении в формовочный шликер 1 мл препарата на 100 г сухой глины

Наименование образцов	Водопоглощение, %	Время набора черепка, мин
Производственный	16,8–17,0	110–120
Опытный с добавлением КЖ <i>V.a.-1</i> (первое литье)	14,3	40
Опытный с добавлением КЖ <i>V.a.-1</i> (второе литье)	13,8	30

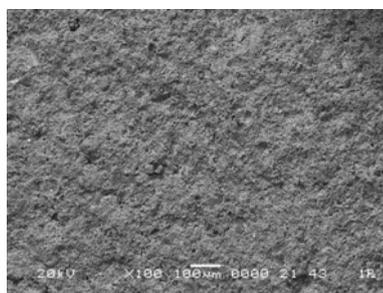
Примечание. КЖ *V.a.-1* – культуральная жидкость бактерий *V. amyloiligefaciens* Г, полученная на среде № 1.



а



б



в

Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения поверхностей сколов ($\times 100$): а – производственный образец; б – опытный образец первого литья; в – опытный образец второго литья

Из представленных фотографий видно, что опытные образцы характеризуются большей

плотностью и однородностью поверхности по сравнению с промышленным образцом. Также заметно, что при втором литье удастся получить максимально плотную поверхность и уменьшить пористость изделий.

В результате бактериальной обработки керамического сырья за счет изменения микроstructures на 15–18% уменьшилось значение водопоглощения изделий, что положительно отражается на их механической прочности.

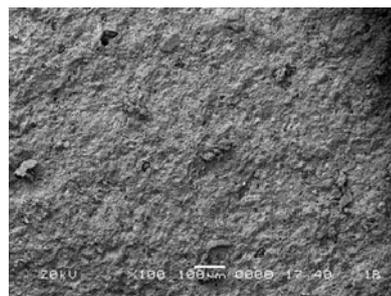
Вторая серия производственных испытаний на ОАО «Белхудожкерамика» заключалась в вылеживании гончарной массы с добавлением бактериального препарата и последующем получении готовых изделий на гончарных кругах. На процесс и результат работы гончара с глиной важное влияние оказывает пластичность сырья. В свою очередь повышение числа пластичности глины ведет к образованию более плотной структуры, что положительно отражается на механической прочности изделий.

В гончарную массу влажностью 18% вводили культуральные жидкости бактерий *B. amyloliquefaciens* Г разного состава в концентрациях 1 и 2 мл на 100 г глины (по сухому веществу). Биообработанную гончарную массу вылеживали в течение 5 сут при температуре 23–25°C (температура в цеху), после чего из нее изготавливали изделия на гончарном круге. После сушки и оправки проводили утильный обжиг при температуре 920°C, далее политой обжиг при температуре 950°C.

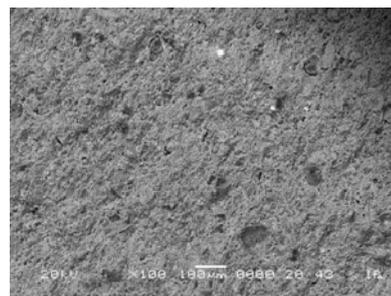
Внешний вид изделий соответствовал требованиям стандарта (СТБ 841-2003). В процессе изготовления изделий на гончарном круге были отмечены более комфортные условия работы за счет повышения пластичности глины, обработанной культуральной жидкостью бактерий *B. amyloliquefaciens* Г, полученной на питательной среде № 1, добавленной в количестве 1 мл на 100 г сухой глины.

Следующий этап исследований заключался в сравнении результатов вылеживания гончарных масс при добавлении культуральных жидкостей бактерий *B. amyloliquefaciens* Г и *B. mucilaginosus* 4, полученных на питательной среде № 1, и без добавления культуральной жидкости (контрольный образец). Количество вносимых препаратов составляло 1 мл на 100 г сухой глины.

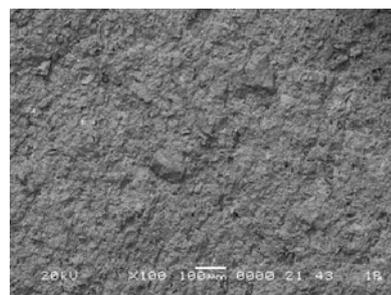
Как следует из табл. 3, значение числа пластичности глины (ГОСТ 21216.1–93) после вылеживания с добавлением культуральных жидкостей бактерий *B. amyloliquefaciens* Г и *B. mucilaginosus* 4 увеличилось на 36 и 29% соответственно. Водопоглощение изделий, полученных на гончарном круге из биообработанных масс, представлено в табл. 3, а электронно-микроскопические изображения поверхностей сколов этих изделий – на рис. 2.



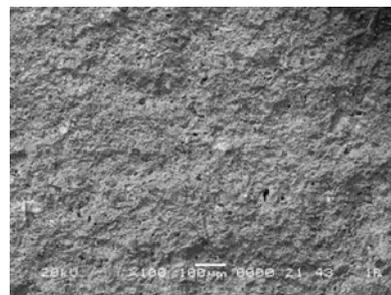
а



б



в



г

Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения поверхностей сколов ($\times 100$): а – производственный образец; б – контрольный образец; в – образец из гончарной массы, обработанной культуральной жидкостью *B. amyloliquefaciens* Г; г – образец из гончарной массы, обработанной культуральной жидкостью *B. mucilaginosus* 4

Вылеживание глины с добавлением культуральной жидкости бактерий *B. amyloliquefaciens* Г ведет к понижению водопоглощения образца, полученного из этой глины, на 13%. Данный образец характеризуется наименьшей пористостью и наибольшей плотностью и однородностью.

Таблица 3
Характеристика исследуемых образцов
при вылеживании гончарной массы

Наименование образцов	Водопоглощение, %	Число пластичности, %
Производственный	13,8–14,0	12,2
Контрольный	13,6	12,5
Опытный с добавлением КЖ <i>V.a.</i> -1	12,1	16,6
Опытный с добавлением КЖ <i>V.m.</i> -1	12,6	15,7

Примечание. КЖ *V.a.*-1 – культуральная жидкость бактерий *V. amyloliquefaciens* Г, полученная на среде № 1; КЖ *V.m.*-1 – культуральная жидкость бактерий *V. mucilaginosus* 4, полученная на среде № 1.

Заключение. Проведенные в производственных условиях испытания доказали возможность повышения качества и увеличения механической прочности готовых изделий, изготовленных из биообработанного керамического сырья на основе глины белорусского месторождения «Гайдуковка». При использовании бактерий *V. amyloliquefaciens* Г показана возможность уменьшения в 2 раза количества препарата этих бактерий, по сравнению с ранее используемым препаратом бактерий *V. mucilaginosus* 4 [2]. Установлен факт понижения водопоглощения и повышения плотности и однородности изделий в варианте второго литья. Впервые показано положительное воздействие вылеживания глин, обработанных культуральной жидкостью бактерий *V. amyloliquefaciens* Г на пластичные свойства гончарных масс.

Литература

1. Платова Р. А. Биологическая обработка глинистых материалов и керамических масс: основные направления, способы и опыт применения // Стекло и керамика. 2012. № 7. С. 15–25.
2. Куис Л. В., Маркевич Р. М., Дятлова Е. М. Биотехнологическая обработка глин // Наука и инновации. 2009. № 10. С. 38–41.

References

1. Platova R. A. Bio-processing of clay materials and ceramic masses: main trends, techniques and practical experience. *Steklo i keramika* [Glass and ceramics], 2012, no. 7, pp.15–25 (in Russian).
2. Kuis L. V., Markevich R. M., Dyatlova E. M. Biotechnological processing of clays. *Nauka i innovatsii* [The Science and Innovations], 2009, no. 10, pp. 38–41 (in Russian).

Информация об авторах

Якимович Людмила Васильевна – младший научный сотрудник кафедры биотехнологии и биоэкологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Mila2005@tut.by

Маркевич Раиса Михайловна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры биотехнологии и биоэкологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Markevich@belstu.by

Свистунова Людмила Викторовна – начальник производственно-технического отдела. ОАО «Белхудожкерамика» (222322, Минская обл., г. п. Радошковичи, ул. Советская, 12, Республика Беларусь).

Information about the authors

Yakimovich Lyudmila Vasil'yevna – junior researcher, Department of Biotechnology and Bioecology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Mila2005@tut.by

Markevich Raisa Mikhaylovna – Ph. D. Chemistry, associate professor, associate professor, Department of Biotechnology and Bioecology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Markevich@belstu.by

Svistunova Lyudmila Viktorovna – Head of Production and Technical Department, ОАО “Belkhudozhkeramika” (12, Sovetskaya str., 222322, c. Radoshkovichi, Minsk region, Republic of Belarus)

Поступила 20.02.2015