

количество в весовых частях выбранных видов натуральных крахмалов. Полученные числа весовых частей располагают также справа сверху и снизу соответственно. Они указывают, сколько весовых частей каждого из натуральных крахмалов с известным средним размером гранул следует взять, чтобы получить комбинаторный натуральный крахмал с требуемым средним размером крахмальных гранул.

4. На завершающем этапе производят тщательное механическое перемешивание рассчитанных и отобранных частей натуральных крахмалов в мешалке. Время работы которой длится от 1 до 4 минут со скоростью вращения от 1,5 до 2,0 с⁻¹ [3, 4].

Использование предлагаемого способа дает возможность получить комбинаторный натуральный крахмал, обладающий необходимыми свойствами, путем смешивания двух различных сортов натурального крахмала, полученного из различного крахмалосодержащего сырья с разными средними размерами крахмальных гранул.

После этого полученный комбинаторный нативный крахмал с улучшенными и целенаправленно измененными свойствами отправляют на дальнейшую технологическую стадию по удалению металломагнитных примесей. Затем осуществляют последовательно фасовку, упаковку, маркировку и транспортирование готового продукта [1-4].

Заключение. Нами предложен новый, эффективный, экономный и безопасный с точки зрения экологии способ получения комбинаторных натуральных крахмалов, обладающих гибкими и легко изменяемыми характеристиками, учитывающими требования потребителей. Главными преимуществами предлагаемой технологии является надежность, простота и доступность применяемого технологического оборудования, экологическая безопасность и возможность исключения использования в технологическом процессе модифицирующих факторов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Заболотец, А.А. Методика получения комбинаторных нативных картофельных крахмалов / А.А. Заболотец, В.В. Литвяк, А.И. Ермаков // Техника и технология пищевых производств: материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф., 23–24 апреля 2020 г., в 2-х т., Могилев / Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»; редкол.: А.В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев: МГУП, 2020. – Т.1. – С. 400–401.
2. Заболотец, А.А. Получение комбинаторных нативных крахмалов / А.А. Заболотец, В.В. Литвяк, А.И. Ермаков // Международная научно-практическая конференция «Зерновая отрасль: состояние и перспективы развития», посвященная 70-летию академика Национальной Академии наук Республики Казахстан Изтаева Ауельбека Изтаевича (28 февраля 2020г.) – Алматы: АТУ, 2020. – с.140 – 142.
3. Литвяк, В.В. Способ получения комбинированных нативных крахмалов: Патент № 2727282. RU, МПК7 С 08В 30/00 / В.В. Литвяк, В.Г. Лобанов, Ю.Ф. Росляков, А.А. Заболотец, Д.И. Гоман, М.С. Алексеенко, А.И. Ермаков; заявка №2019122198; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный технологический университет» (ФГБОУ ВПО «КубГТУ»); опубл. 24.07.2020 // Государственный реестр изобретений Российской Федерации. – 2020.
4. Петюшев, Н.Н. ТУ ВУ 190239501.955-2020 «Крахмал нативный комбинаторный» / Н.Н. Петюшев, А.А. Заболотец, В.В. Литвяк // РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию». Минск, 2020. – 19 с. – Государственная регистрация №059802 от 27.09.2020 г.
5. Андреев, Н.Р. Новые исследования в области химии, технологии и маркетинга крахмала и крахмалопродуктов. О международной конференции «Химия и технология крахмала» г. Детмольд, Германия / Н.Р. Андреев, Д.Н. Лукин, В.Г. Гольдштейн // Пищевая промышленность. – 2017. – № 1. – С. 25–31.
6. Андреев, Н.Р. Основы производства нативных крахмалов / Н.Р. Андреев. – М.: Пищепромиздат, 2001. – 289 с.
7. Грошева, Л.П. Растворы. Расчет составов. Разбавление, смешение, концентрирование растворов. Расчет состава и характеристик твердых материалов: Методическое пособие / Л.П. Грошева. – Великий Новгород: Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, 2006. – 13 с.

УДК 615.33; 615.35

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИСЕРНЫХ МЕЛЬНИЦ В ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ

О. Запорожец, аспирант К. Р. Грининг, канд. техн. наук, доцент О. О. Губеня,

канд. техн. наук, доцент Ю. С. Телечук,

Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина

Был проведен аналитический обзор использования бисерных мельниц в фармацевтической биотехнологии для получения внутриклеточных компонентов для лекарственных препаратов. Цель исследования – определить спектр возможностей и оптимальные параметры работы бисерной мельницы для дезинтеграции клеточной стенки микроорганизмов. Проанализированы результаты исследований ученых со всего мира, которые занимаются изучением дезинтеграцией клеточных стенок с помощью бисерных мельниц для получения внутриклеточных целевых продуктов биосинтеза. Выведены ключевые параметры работы установки для максимизирования полученных результатов разрушения биомассы микроорганизмов.

Ключевые слова: мельница, бисер, клетка, стенка, дезинтеграция, микроорганизм.

Введение: В фармацевтической биотехнологии используются целевые продукты биосинтеза микроорганизмов, которые могут быть внеклеточными и внутриклеточными. Для внутриклеточных продуктов сначала необходимо разрушить оболочку клеток. Это можно осуществить дезинтеграцией, разрушив клеточную оболочку физическими, химическими или биотехнологическими методами. Далее содержимое клеток - белки, энзимы, аминокислоты, липиды, углеводы и др. выделяются из раствора методами, общими для внеклеточных и внутриклеточных продуктов.

Основная часть. NETZSCH-Feinmahltechnik GmbH (Германия) предлагают оборудование для дезинтеграции клеточных оболочек микроорганизмов. Для этого они создали бисерные мельницы NETZSCH Alpha – модульная универсальная платформа, на которой могут быть установлены четыре различных системы измельчения: дисковая система измельчения Discus, система измельчения Zeta, штифтовая система Masco и система измельчения Neos.

Postma P.R., Suarez-Garcia E. и др. исследовали энергоэффективность процесса дезинтеграции микроводорослей *Chlorella vulgaris*, *Neochloris oleoabundans* и *Tetraselmis suecica* на бисерной мельнице для высвобождения белков и углеводов при различных размерах бисера (0,3-1 мм). Было обнаружено, что дезинтеграция бисером является энергоэффективным и мягким методом, а маленькие шарики (0,3 мм) привели к более высоким кинетическим показателям, с минимальным удельным энергопотреблением.

Alavijen R.S., Karimi K. и др. также исследовали процесс комбинирования измельчения бисерным мельницей и ферментативного гидролиза для фракционирования основных ценных компонентов биомассы (белков, углеводов и липидов) из микроводорослей *Chlorella vulgaris*. Максимальный выход всех компонентов был получен после ферментативного гидролиза липазы размолотой на гранулы биомассы при 37 °C и pH 7,4 в течение 24 ч, давая 88% липидов в твердой фазе, и 74% углеводов и 68% белка в жидкостной фазе. Выход компонентов после ферментативного гидролиза биомассы без дезинтеграции был на 44% ниже, чем в измельченной биомассе.

Belo I., Santos J. A. L., Cabral J. M. S., Mota M. исследовали восстановления рекомбинантного внутриклеточного белка цитохрома b5 из клеток *Escherichia coli* TB1 путем измельчения в бисерной мельнице. Было изучено несколько параметров: время работы, количество и размер шариков, концентрация клеточной суспензии и наличие толуола и лизоцима. Для экспериментальных условий, которые использовались, только время обработки и нагрузка бисером оказали значительное влияние.

Schütte H., Kroner K.H., Hustedt H., Kula M.-R. исследовали дезинтеграцию некоторых штаммов дрожжей и бактерий в непрерывно работающей промышленной мельнице Netzsch LME 20. Изучали влияние скорости мешалки, скорости потока, концентрации микроорганизмов в суспензии, насыпной плотности и диаметра стеклянных шариков на процесс разрушения. Было обнаружено, что процесс дезинтеграции в бисерной мельнице эффективен для дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces carlsbergensis* и *Candida boidinii*, а также для бактерий *Escherichia coli*, *Brevibacterium ammiagenes*, *Bacillus sphaericus* и *Lactobacillus confusus*. Расположение желаемого фермента в клетке имеет значение для выбора диаметра шарика и плотности загрузки стеклянных шариков, а на повышение температуры и потребления энергии во время измельчения сильно влияет объем рабочих тел в мельнице.

Bunge F., Pietzsch M., Müller R., Syldatk C. исследовали дезинтеграцию *Arthrobacter* sp. DSM 3747 в бисерных мельницах для выделения внутриклеточных ферментов, расщепляющих гидантоин. В результате исследования обнаружили, что выход ферментной активности можно максимизировать разрушением клеток механическим способом с помощью бисерной мельницы.

Baldwin C.V., Moo-Young M. изучали восстановления целлюлаз мицеллярного гриба *Neurospora sitophila*, который был разрушен с помощью предварительной ферментативной обработки в сочетании с механическим разрушением бисерным мельницей. В результате было достигнуто почти 100% разрушение клеток мицелия гриба, что может обеспечивать вторичный источник целлюлаз с *Neurospora sitophila* в дополнение к внеклеточному первичному источнику, полученного из отфильтрованного (необработанного) ферментационного бульона.

Закключение. В результате аналитического обзора было определено спектр возможностей бисерных мельниц в фармацевтической биотехнологии, ключевые и оптимальные параметры работы для дезинтеграции клеточной стенки микроорганизмов:

1. Дезинтеграция эффективна как для дрожжей, так и для бактерий, микроводорослей и даже мицеллярных грибов;

2. Ключевые параметры для дезинтеграции: скорость подачи суспензии, количество проходов суспензии, объем рабочих органов в камере, скорость рабочего органа, диаметр рабочих тел, время пребывания продукта в рабочей камере. Так же возможно максимизировать выход продукта за счет комбинирования, например, ферментативным гидролизом;

3. Минимальные оптимальные параметры дезинтеграции такие: объем рабочих органов в камере 65-85%, диаметр рабочих тел 0,3-0,4 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alavijen R.S., Karimi K., Wijffels R., van den Berg C., Eppink M. Combined bead milling and enzymatic hydrolysis for efficient fractionation of lipids, proteins, and carbohydrates of *Chlorella vulgaris* microalgae // *Bioresource Technology*. – 2020. – 309. – 12321. – P.1-9.

2. Baldwin C.V., Moo-Young M. Disruption of a filamentous fungal organism (*N. sitophila*) using a bead mill of novel design // *Biotechnology Techniques*. – 1991. – Volume 5. – №5. – P. 331-336.
3. Belo I., Santos J. A. L., Cabral J. M. S., Mota M. Optimization Study of *Escherichia coli* TB1 Cell Disruption for Cytochrome *b*₅ Recovery in a Small Scale Bead Mill // *Biotechnol. Prog.* – 1996. – 12, – P.201-204.
4. Bunge F., Pietzsch M., Müller R., Syldatk C. Mechanical disruption of *Arthrobacter* sp. DSM 3747 in stirred ball mills for the release of hydantoin-cleaving enzymes // *Chemical Engineering Science*. – 1992. - Volume 47. - Issue 1. – P. 225-232.
5. NETZSCH - мировой лидер-производитель машино- и приборостроения: анализ и тестирование, измельчения и диспергирования, насосы и другие системы. Режим доступа: <https://www.netzsch-grinding.com>
6. Postma P.R., Suarez-Garcia E., Safi C., Yonathan K., Olivieri G., Barbosa M.J., Wijffels R.H., Eppink M.H.M. Energy efficient bead milling of microalgae: Effect of bead size on disintegration and release of proteins and carbohydrates // *Bioresource Technology*. – 2017. – Volume 224. – P. 670-679.
7. Schütte H., Kroner K.H., Hustedt H., Kula M.-R. Experiences with a 20 litre industrial bead mill for the disruption of microorganisms // *Enzyme and Microbial Technology*. – 1983. – Volume 5. - Issue 2. – P. 143-148.
8. Доровський О.В. Світовий фармацевтичний ринок: структура, тенденції розвитку, точки зростання // *Науковий вісник Херсонського державного університету*. – Випуск 9-1. – Частина 3. – 2014. – с. 34-38.
9. Новіков В.П., Сидоров Ю.І., Швед О.В. Тенденції розвитку комерційної біотехнології // *Вісник НАН України*. - №2. – 2008. – с. 25-39.

УДК 621.793

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ СЕРОГО ЧУГУНА СИЛИЦИДАМИ

И. М. Косякова, канд. техн. наук М. А. Кардаполова, ОНИЛ «Плазменные и лазерные технологии», доктор техн. наук. О. Г. Девойно, ОНИЛ «Плазменные и лазерные технологии», БНТУ, г. Минск

Приведены результаты исследования микроструктуры, микротвердости и износа серого чугуна СЧ20 после лазерного легирования SiC и B+Si. Обработку осуществляли с использованием непрерывного CO₂-лазера мощностью 1 кВт при скорости движения лазерного луча 400–1100 мм/мин. В результате лазерного легирования B+Si микротвердость увеличилась до 9,3 – 14,2 ГПа, а после легирования SiC микротвердость увеличилась до 7,9 – 12,8 ГПа. Микротвердость поверхностного слоя в обоих случаях линейно коррелирует (коэффициент корреляции составляет 0,93 для SiC и 0,84 для B+Si) со скоростью обработки. Лазерная закалка позволила уменьшить скорость изнашивания приблизительно в 2 раза (до 0,15 мм³/км), а лазерное легирование уменьшает скорость изнашивания приблизительно в 10-15 раз (до 0,014-0,024 мм³/км). Работа выполнена при поддержке БРФФИ, договор T19M-105.

Ключевые слова: лазерное легирование, лазерная закалка, карбид кремния, микроструктура, микротвердость, износ.

Введение. Серые чугуны нашли широкое применение в машиностроении для изготовления корпусных деталей. Выбор марки чугуна зависит от типа детали, ее функционального назначения, а также характера и типа износа испытываемых сопрягаемыми поверхностями деталей. В ряде случаев из-за тяжелых локальных нагрузок и значительного износа (абразивный, адгезионный, усталостный и др.) возникает необходимость в поверхностном упрочнении проблемных зон. С позиции экономичности, эффективности и качества в настоящее время наиболее предпочтительным является использование высококонцентрированных источников нагрева – например, источников лазерного излучения [1-2].

Лазерные технологии поверхностного упрочнения материалов находят все большее и разнообразное применение [2-4]. Лазерная закалка применяется для упрочнения деталей из серого чугуна [5], которая позволяет увеличить микротвердость поверхности чугунных деталей. Для придания поверхности чугунных деталей дополнительных свойств применяется лазерное легирование. В данной работе рассмотрены особенности лазерного легирования серого чугуна СЧ20 силицидами - SiC и B+Si.

Методика проведения исследований.

Шликерная обмазка наносилась на подготовленную дробеструйной обработкой поверхность образцов из чугуна СЧ20 прямоугольной формы сечением 60x20x7 мм. Обмазка состояла из модифицирующей добавки SiC (первый вариант) и B+Si (второй вариант) с небольшим количеством связующего (2%-ный раствор клея «AGO» в ацетоне). Процесс оплавления осуществляли непрерывным лазером Комета-2 мощностью N = 1 кВт при диаметре пятна лазерного луча $d=1,0 \cdot 10^{-3}$ м.

Микротвердость измерялась микротвердомером ПМТ-3 при нагрузке 100 г и времени экспозиции 10 с. Микроструктура зон лазерного термоупрочнения анализировалась оптической микроскопией с помощью микроскопа MICRO-200 при увеличении от 100 до 1000 раз. Для выявления микроструктуры использовали 4 %-й водный раствор азотной кислоты.

Исходная структура необработанного образца из чугуна СЧ20 имеет феррито-перлитную структуру, форма графита – пластинчатая, расположение графита – розеточное (рис. 1).