

следований [3, 4, 5], при контактном взаимодействии ферростержней (размольно-перемешивающих органов аппарата), потенциальная энергия взаимодействия первого ферроэлемента с полем в рабочем объеме совпадает с потенциальной энергией взаимодействия с полем второго ферроэлемента. Эта энергия (при точности

исчисления до  $\frac{1}{c_{1,2}^2}$ ) может быть вычислена по формуле

$$W_k = W_{k1} = W_{k2} \approx -\frac{\chi\pi}{c_{1,2}^2} (5x \cos 2\alpha_{1,2} - 4).$$

При включении приводного электродвигателя [6, 7] возникает момент сил

$$M_k = \frac{\partial W_k}{\partial \alpha_{1,2}} = \frac{5\pi x^2}{c_{1,2}^2} \sin 2\alpha_{1,2}.$$

Анализ уравнения позволяет выявить условия разрушения «структурных групп» из ферроцилиндров с образованием «слоя скольжения». При значениях угла  $\alpha_{1,2}$  от 0 до  $\frac{\pi}{2}$  возникает момент, который стремится повернуть ферроцилиндры так, чтобы линия, соединяющая центры их сечений, расположилась параллельно силовым линиям невозмущенного поля в рабочем объеме ЭММА. Сила, действующая на первый ферроэлемент, вычисляется по формуле

$$F = \frac{\partial W_k}{\partial c_{1,2}} \approx \frac{\chi\pi}{c_{1,2}^3} (5x \cos 2\alpha_{1,2} - 4).$$

Эта сила приложена к центру сечения и направлена вдоль линии, соединяющей эти центры. Когда прямая, соединяющая центры сечений размольно-перемешивающих ферроцилиндров, перпендикулярна силовым линиям невозмущенного поля (т.е. при  $\alpha_{1,2} = 0$ ), формула имеет вид

$$F = \frac{\chi\pi}{c_{1,2}^3} (5x - 4).$$

Таким образом, при достаточно большой магнитной проницаемости ферроцилиндров ( $\mu \gg 1$ ) сила  $F > 0$ . В этом случае ферроцилиндры отталкиваются. При  $\alpha_{1,2} = \frac{\pi}{2}$  имеем

$$F = -\frac{\chi\pi}{c_{1,2}^3} (5x + 4).$$

В этом случае сила взаимодействия  $F$  отрицательна, т.е. ферроцилиндры притягиваются друг к другу. Доказано, что в основании структурных групп действует сила притяжения ферроэлементов к стенке. Эту силу можно определить из выражения

$$F = -\frac{8\chi\pi}{c^3} (5x + 4)$$

здесь  $c$  – расстояние от центра сечения ферроцилиндра до стенки ЭММА.

Доказанная возможность создания в рабочих объемах ЭММА заданных силовых условий [8–10], позволяет спроектировать аппараты, обеспечивающие высокую степень селективности измельчения перерабатываемых материалов [8, 9].

#### Список литературы

1. Беззубцева М.М., Волков В.С., Обухов К.Н., Котов А.В. Энергетическая теория способа формирования диспергирующих нагрузок в электромагнитных механоактиваторах // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 12–6. – С. 1157–1161.
2. Беззубцева М.М. Анализ классификации мельниц по способу формирования диспергирующего усилия // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2016. – № 12–2. – С. 185–189.
3. Беззубцева М.М., Волков В.С., Зубков В.В. Исследование аппаратов с магнитоожигенным слоем // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 6–2. – С. 258–262.
4. Беззубцева М.М., Волков В.С., Обухов К.Н., Котов А.В. Определение сил и моментов, действующих на систему ферромагнитных размольных элементов цилиндрической формы в магнитоожигенном слое рабочего объема электромагнитных механоактиваторов // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 11–3. – С. 504–508.
5. Беззубцева М.М., Ружьев В.А., Волков В.С. Теоретические исследования деформированного магнитного поля в рабочем объеме электромагнитных механоактиваторов с магнитоожигенным слоем размольных элементов цилиндрической формы // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 6–4. – С. 689–693.
6. Беззубцева М.М. Энергокинетические закономерности электромагнитной механоактивации (монография) // *Международный журнал экспериментального образования*. – 2016. – № 11–2. – С. 242–243.
7. Беззубцева М.М. Условия энергоэффективности работы электромагнитных механоактиваторов // *Международный журнал экспериментального образования*. – 2016. – № 9–1. – С. 84–85.
8. Беззубцева М.М. К вопросу проектирования типовых рядов электромагнитных механоактиваторов цилиндрического исполнения (обзорная информация) // *Научное обозрение. Технические науки*. – 2016. – № 6. – С. 15–21.
9. Беззубцева М.М. Научное обоснование внедрения импортзамещающего способа электромагнитной механоактивации в аппаратно-технологические системы шоколадного производства // *Международный журнал экспериментального образования*. – 2016. – № 5–3. – С. 351–352.

#### ОБРАБОТКА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПУЛЬСИРУЮЩИМ ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ

<sup>1,2</sup>Иванов Д.А.

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, Санкт-Петербург, e-mail: tm\_06@mail.ru;

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург

Сплавы на основе титана, благодаря высокой удельной прочности, жаропрочности и коррозионной стойкости представляют собой важнейший конструкционный материал. Так, в области авиационного титана все больше вытесняет алюминий и сталь, в том числе для крепежа. Изделия из титановых сплавов зачастую в процессе эксплуатации подвергаются ударным нагрузкам и возможность повышения устойчивости к подобным нагрузкам является актуальной задачей.

Образцы из стандартно обработанного титанового сплава ВТ14 испытывались на динамический изгиб после газоимпульсной обработки [1–8]

при частоте колебаний параметров потока 900 Гц и импульсном воздушном давлении 130 дБ и без таковой. Исследования показали, что 15 мин обработки недостаточно для существенного повышения ударной вязкости, по всей видимости из-за устойчивости сплава к ползучести. В результате газоимпульсной обработки продолжительностью 20 мин ударная вязкость КСУ составила 0,6 МДж/м<sup>2</sup>, против 0,51 МДж/м<sup>2</sup> у необработанных, что на 17,7% больше.

На поверхности изделий из титановых сплавов часто возникают опасные растягивающие напряжения. Было проведено исследование влияния газоимпульсной обработки без осуществления предварительного нагрева на остаточные напряжения в тонкостенных трубных изделиях из титановых сплавов, не подвергаемых упрочняющей термической обработке. Остаточные напряжения исследовались с помощью трубы из титанового сплава VT5, обладающей наружным диаметром 26 мм при толщине стенки 0,5 мм. Исследования проводились на установке, представляющей собой газоструйный генератор типа свистка Гавро с цилиндрическим осесимметричным резонатором. Воздействие пульсирующего газового потока, имеющего скорость 26 м/с, частоту 2100 Гц и звуковое давление 140 дБ осуществлялось в течение 10 минут. На поверхности трубы до обработки пульсирующим газовым потоком присутствовали растягивающие тангенциальные остаточные напряжения величиной 76 МПа, а после десятиминутного обдува без нагрева напряжения на поверхности стали сжимающими, при этом их величина составила 38 МПа. Следует отметить, что устранение растягивающих напряжений на поверхности столь тонкостенного изделия другими методами, например, поверхностной пластической деформацией, затруднены из-за возможного искажения его формы.

#### Список литературы

1. Воробьева Г.А., Иванов Д.А., Сизов А.М. Упрочнение легированных сталей термоимпульсной обработкой // *Технология металлов*. – 1998. – № 2. – С. 6–8.
2. Иванов Д.А. Влияние дозвукового пульсирующего водовоздушного потока на напряженное состояние сталей при термообработке // *Технико-технологические проблемы сервиса*. – 2007. – № 1. – С. 97–100.
3. Иванов Д.А. Закалка сталей, алюминиевых и титановых сплавов в пульсирующем дозвуковом водовоздушном потоке // *Технико-технологические проблемы сервиса*. – 2008. – № 2. – С. 57–61.
4. Иванов Д.А., Засухин О.Н. Обработка пульсирующим газовым потоком высокопрочных и пружинных сталей // *Двигателестроение*. – 2014. – № 3. – С. 34–36.
5. Иванов Д.А., Засухин О.Н. Сочетание закалки сталей с обработкой пульсирующими газовыми потоками // *Двигателестроение*. – 2015. – № 4. – С. 34–36.
6. Иванов Д.А., Засухин О.Н. Использование пульсирующего дозвукового газового потока для повышения эксплуатационных свойств металлических изделий // *Технология металлов*. – 2015. – № 1. – С. 34–38.
7. Иванов Д.А., Засухин О.Н. Повышение коррозионной стойкости конструкционных сталей газоимпульсной обработкой // *Технология металлов*. – 2015. – № 10. – С. 27–31.

8. Иванов Д.А., Засухин О.Н. Обработка инструментальных сталей пульсирующими газовыми потоками // *Технология металлов*. – 2016. – № 9. – С. 39–43.

#### СПОСОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Капошко Д.А.

*Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства, Санкт-Петербург, e-mail: sergej1964@yandex.ru*

В современном сельскохозяйственном производстве актуальными является проблема энергоэффективности и тесно с ней связанная проблема экологичности [1]. Для решения этих проблем необходима оптимизация проведения энерготехнологических процессов (ЭТП) с минимальным негативным воздействием на окружающую среду и внедрение конкретных энергосберегающих мероприятий (ЭСМ) [2].

Предложен способ, техническим результатом которого является обеспечение энергосбережения на основе оптимизации энергосберегающих мероприятий по всем этапам ЭТП. Способ заключается в следующем. Разбивают весь ЭТП на этапы его проведения; устанавливают измерители энергии и измеряют или вычисляют энергию на каждом этапе; определяют энергоемкость этапов в исходном варианте проведения ЭТП; намечают энергосберегающие мероприятия, в качестве которых могут выступать регулирование параметров, изменение режимов, замена элементов, прочие технические, технологические, производственные, организационные меры, направленные на повышение эффективности данного этапа ЭТП; определяют энергоемкости этапов при внедрении намеченных ЭСМ; вычисляют коэффициенты эффективности  $j$ -го варианта ЭСМ для  $i$ -го элемента ЭТП как отношение энергоемкостей каждого этапа до и после внедрения ЭСМ. ЭТП проводят применением таких ЭСМ на каждом этапе, что бы его общий коэффициент эффективности, равный произведению вычисленных коэффициентов эффективности принимал максимальное значение [3]. Применение данного способа позволяет наметить стратегию энергосбережения на предприятии и оптимизировать совокупность применения энергосберегающих мероприятий [4].

#### Список литературы

1. Ракутько С.А. Энергосбережение как важнейшая компонента инновационной агроэкономики // В сб.: *Проблемы и перспективы развития агропромышленного рынка*. – Саратов, 2008. – С. 130–134.
2. Ракутько С.А. Прикладная теория энергосбережения в энерготехнологических процессах АПК // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2009. – № 12. – С. 133–137.
3. Карпов В.Н., Ракутько С.А. Способ энергосбережения в энерготехнологических процессах. Патент на изобретение RU № 2357342. – 21.04.2008.
4. Ракутько С.А. Оптимизация электротехнологических процессов оптического облучения в АПК // В сб.: *Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники*. – Саранск, 2008. – С. 129–132.