

### Список цитируемых источников

1. Сотник, Л. Л. Анализ результатов исследований зависимости производительности от основных факторов вибровалкового измельчителя / Л. Л. Сотник // Вестн. БарГУ. Сер. «Техн. науки». — 2018. — Вып. 6. — С. 81—86.
2. Гончаревич, И. Ф. Вибротехника в горном производстве / И. Ф. Гончаревич. — М. : Недра, 1992. — 319 с.
3. Богданов, В. С. Процессы в производстве строительных материалов / В. С. Богданов, А. С. Ильин, И. А. Семикопенко. — Белгород : Велелита, 2007. — 512 с.
4. Wustner, H. Energy – saving with the roller press comminution process / H. Wustner // World Cement. — 1986. — № 3. — P. 94—96.
5. Wustner, H. Fragmentation sous pression. Nouvelles voies pour economizer lenergie dans be broyage du clinker a cement et du laitier / H. Wustner // Ciments, betons, plâtres, chaux. — 1986. — № 762. — P. 279—281.
6. Малеев, А. И. Измельчающие валки высокого давления / А. И. Малеев, С. Кёрш, Д. Макстон // Гор. пром-сть. — 2005. — № 5. — С. 42—45.
7. Мельница POLYCOM фирмы KRUPPolysiusAG — революция в области дробильного оборудования // Гор. пром-сть. — 1996. — № 4. — С. 20.
8. Андреев, С. Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / С. Е. Андреев, В. А. Петров, В. В. Зверович. — М. : Недра, 1980. — 415 с.
9. Белый, И. К. Исследование характера интенсивности износа формующих элементов валкового пресса / И. К. Белый, П. М. Шиллов, С. С. Грузглина // Обогащение полезных ископаемых. — 1972. — Вып. 11. — С. 16—19.
10. Романович, А. А. Энергосберегающие агрегаты для измельчения материалов цементного производства с анизотропной текстурой : дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.13 / А. А. Романович. — Белгород, 2014. — 398 л.
11. Сотник, Л. Л. К вопросу анализа производительности вибровалкового измельчителя / Л. Л. Сотник, Л. А. Сиваченко // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов : межвуз. сб. ст. — Белгород, 2018. — Вып. XVII. — С. 162—167.
12. Поникаров, И. И. Расчет машин и аппаратов химических производств и нефтепереработки (примеры и задачи) : учеб. пособие / И. И. Поникаров, С. И. Поникаров, С. В. Рачковский. — М. : Альфа-М, 2008. — 720 с.
13. Вибровалковый измельчитель-активатор : пат. РФ № 186478 : В02С 4/32 / В. С. Севостьянов, Л. А. Сиваченко, М. В. Севостьянов, Т. Л. Сиваченко, Л. Л. Сотник, П. Ю. Горягин. — № 2018130277 ; заявл.: 20.08.2018 ; дата публ.: 22.01.2019.
14. Романович, А. А. Расчет углов деформации пресс-валкового измельчителя / А. А. Романович, Г. И. Чемеричко, В. В. Тарасов // Сооружения, конструкции, технологии и строительные материалы XXI века : II Междунар. конф. — школа — семинар молодых ученых, аспирантов и докторантов. — Белгород, 1999. — Ч. 3. — С. 90—94.

УДК 621.9

В. К. Шелег<sup>1</sup>, А. Н. Жигалов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МЕТОДА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ЗВУКОВОГО УПРОЧНЕНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА

**Введение.** Для повышения стойкости металлорежущего твердосплавного инструмента, работающего в условиях прерывистого резания, создан метод аэродинамического звукового упрочнения (далее — АДУ), позволяющий обеспечивать повышение стойкости до 3,8 раза [1—3].

**Основная часть.** Разработка типовой технологии упрочнения твердосплавного инструмента методом АДУ сопряжена с высокой культурой производства. На всех технологических переходах должны строго соблюдаться последовательность выполнения действий и применяемые режимы. Построение технологий для упрочнения изделий методом АДУ основано на теоретических принципах, изложенных в таблице 1 и работе [3].

Т а б л и ц а 1 — Этапы реализации метода АДУ

| Этап | Содержание этапа  | Проявление этапа   | Математическое описание этапа   |
|------|---|--|---|
| 1    | Анализ структуры, фазового состояния, вида, сложности, параметров кристаллической решетки элементов | Определение максимальных частот $\omega_{\max}$ и амплитуд $A_{\omega_{\max}}$ собственных колебаний атомов, при которых они смещаются | $\omega_{\max} = \frac{2,53 \cdot 10^{-9}}{a\sqrt{m}};$ $A_{\omega_{\max}} = 4,97 \cdot 10^{-13} \sqrt{\frac{a}{\sqrt{m}}}$ |
| 2    | Определение максимальной энергии колебаний атомов   | Энергия достаточная для смещения атомов  | $E_{\text{свmax}} = \frac{m\omega_{\max}^2 A_{\omega_{\max}}^2}{2}$   |

Окончание таблицы 1

| Этап | Содержание этапа  | Проявление этапа   | Математическое описание этапа   |
|------|---|--|---|
| 3    | Определение энергии от внешнего нагрева изделия от $T_{\text{доп}} = (0,1 \dots 0,3)T_{\text{пл}}(T_{\text{сп}})$ | Происходит увеличение частоты свободных колебаний атомов $\omega_{\text{св}}$  | $E_T = 24,94338m(T_{\text{доп}} + 273,15)$  |
| 4    | Определение энергии внешнего воздействия  | Энергии $E_{\text{эв}}$ достаточно для воздействия на упрочняемое тело   | $E_{\text{вн}} = 0,75R^{-1}\omega_{\text{рез}}^2(2,72^{\frac{(\ln A_{\text{рез}} L_K + \delta L_K)}{L}})^2 +$<br>$+ 49,89(T_{\text{доп}} + 273,15) - \frac{1,585 \cdot 10^{-42}}{am\sqrt{m}}$ |
| 5    | Создание управляемого звукового резонансного устройства   | Установление параметров: $P_{\text{в}}$ — давление воздуха в сети; $\omega_1, \omega_2$ — частоты колебаний стенок резонатора; $\delta$ — коэффициент затухания; $Q\zeta$ — добротность резонатора | $P_{\text{в}} = (1,5 \dots 2,0)$ бара;<br>$\omega_1 = \omega_2$ ;<br>$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_1^2 - 2\delta^2}$ ;<br>$Q > 6 \cdot 10^{+10}$  |
| 6    | Размещение упрочняемого изделия в устройстве для АДУ  | Коэффициент затухания $\delta$ (где $A_0, A_L$ — амплитуды звукового давления; $k_{\delta} = 1/L$ — коэффициент расположения изделия в камере; $L$ — расстояние изделия от стенки камеры)          | $\delta = k_{\delta} \ln\left(\frac{A_0}{A_L}\right)$   |
| 7    | Установление времени внешнего воздействия   | Время работы устройства для АДУ  | $\tau_{\text{вн}} = (1,5 \dots 4,0)$ мин  |
| 8    | Определение циклов упрочнения   | Обработка на одном или двух циклах упрочнения  | Количество циклов — 1—2   |
| 9    | Проведение старения   | Сохранение созданной структуры   | $T_{\text{ст}} = 150 \dots 170$ °C;<br>$\tau_{\text{ст}} = 1$ час   |

Перед началом упрочнения методом АДУ в обязательном порядке должно быть проанализировано упрочняемое изделие с точки зрения его физико-механических свойств (материал и его структурное состояние), геометрических параметров и состояния поставки, служебного назначения и условий его эксплуатации.

Применение метода АДУ целесообразно при установлении, что изделия будут воспринимать ударные нагрузки, а материал изделия будет работать в условиях ударно-абразивного изнашивания, когда процесс износа будет сопровождаться малоциклической усталостью микрообъемов материала, вызванной повторным приложением динамической нагрузки при упругом и упругопластическом контактах. Изделия, к которым может быть эффективно применен метод АДУ, могут работать не только при воздействии на них механических ударных нагрузок. В общем случае использование метода АДУ рекомендовано для упрочнения изделий, работающих в условиях, при которых происходит выкрашивание карбидов с армированных поверхностей, образование твердых частиц в результате охрупчивания и выкрашивания.

После установления возможности применения метода АДУ определяется количество режимов упрочнения в зависимости от структурного состояния изделия и количества различающихся между собой по параметрам кристаллической решетки элементов, входящих в упрочняемое изделие. В случае обработки двухкарбидных (и более) изделий или изделий, имеющих более двух составляющих элементов в своей структуре, отличающихся между собой атомными массами более чем в два раза, то назначаются два режима воздействия, в противном случае — один.

Далее производится размещение упрочняемых изделий на специальных подвесках с учетом их материала и габаритных размеров. Рекомендуется размещение изделий осуществлять от центра подвески на площади не более 30...50 % от площади продольного сечения подвески, причем равномерно от центра подвески, для мелких изделий плотность заполнения может достигать до 70 %.

Затем подвески устанавливаются в термическую печь для нагрева. Величина температуры предварительного нагрева упрочняемого изделия определяется по теоретическим зависимостям или укрупненно — 10...30 % от температуры спекания (плавления) упрочняемого изделия. Время нагрева изделия назначается в зависимости от его размеров и составляет не менее 1,6 мин на один миллиметр наибольшего размера упрочняемого изделия. Выдержку при устоявшейся температуре осуществляют в течение 30 мин.

Разогретые изделия перемещаются в рабочую камеру установки для АДУ. Регулирующая заслонка устанавливается на размер, соответствующий одному из режимов. В устройство для АДУ подается воздух с давлением подающего воздушного носителя, равным 2,0 бара. Время упрочнения на первом режиме назначается исходя из часового расхода для первого режима упрочнения в объеме 2,5...2,9 м<sup>3</sup> воздуха или 2...6 мин в зависимости от материала и размеров изделий.

При двукратном упрочнении регулируемую заслонку устанавливают на размер, соответствующий второму режиму. Давление в устройстве подающего воздушного носителя не меняют — оно равно 2,0 бара. Время упрочнения на втором режиме проводят при часовом расходе воздуха в объеме 4,5...5,0 м<sup>3</sup> или 3...9 мин в зависимости от материала и размеров изделий.

После осуществления необходимого количества циклов упрочнения производится сначала первый цикл старения, для чего упрочненные изделия помещают в термическую печь, температуру которой доводят до температуры 150...170 °С, и выдерживают при такой температуре в течение одного часа с последующим охлаждением на воздухе до полного остывания, а затем производится аналогично второй цикл старения.

Организация на предприятиях специализированных производств для упрочнения твердосплавного инструмента методом АДУ должна быть выполнена с соблюдением санитарных норм, правил и гигиенических нормативов. Применение работниками, обслуживающими установки типа АДУ, индивидуальных средств защиты слуха является обязательным. При создании производств с использованием упрочнения методом АДУ применяются специальные мероприятия по защите от шума рабочих мест.

**Заключение.** Метод АДУ апробирован и внедрен в производственных условиях ряда машиностроительных предприятий Республики Беларусь (ОАО «Могилевский лифтостроительный завод», ОАО «Могилевский завод «Строммашина»», ЗАО «Промлизинг», ОАО «Могилевский завод «Электродвигатель»», ОАО «СтанкоГомель», ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит») и Российской Федерации (ЗАО «НИР» (Рыбинск), ОАО «Победит» (Владикавказ)) и др. Результаты показали, что упрочненный методом АДУ разнообразный по назначению инструмент, такой как пластины твердосплавные разных сплавов, ножи твердосплавные (для фрез торцовых), резцы прорезные напайные из сплава ВК8, фрезы твердосплавные для Т-образных пазов сплава Т15К6, пуансоны из стали У8, фрезы концевые твердосплавные, но работающий при ударных нагрузках, обеспечивает повышение стойкости в 1,2—3,8 раза по сравнению с неупрочненным инструментом.

#### Список цитируемых источников

1. Способ аэродинамического упрочнения изделий : пат. ВУ 21049 / А. Н. Жигалов, Г. Ф. Шатуров, В. М. Головков ; дата публ.: 30.06.2017.
2. Шелег, В. К. Инновации при создании метода аэродинамического звукового упрочнения твердосплавного инструмента / В. К. Шелег, А. Н. Жигалов // Новые технологии и материалы, автоматизация производства : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Брест, 27—28 мая 2019 г. — Брест : Изд-во БрГТУ, 2019. — С. 51—54.
3. Жигалов, А. Н. Теоретические основы аэродинамического звукового упрочнения твердосплавного инструмента для процессов прерывистого резания : монография / А. Н. Жигалов, В. К. Шелег. — Могилев : МГУП, 2019. — 213 с.