

## ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ПОРОШКА ПРИ ОБРАБОТКЕ ЕГО ИМПУЛЬСАМИ СЛАБОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ

*О.И. Дацко, В.С. Абрамов, П.О. Вишневецкий\*, И.О. Дацко\*\*, А.Я. Чепелянский\**

*Донецкий физико-технический институт им. А.А.Галкина НАН Украины,  
г. Донецк, 83114, ул. Р.Люксембург, 72; тел. (062)311-68-05; E-mail: dmitrenko\_v@ukr.net;  
\*ООО Научно-внедренческое предприятие МАК, г. Донецк, 83086, ул. Заречная, 2г;  
\*\*Киевская медицинская академия последипломного образования НАН Украины,  
г. Киев, 04050, ул. Пимоненка, 10а, Украина*

Использован метод задемпфированного порошком прямого крутильного низкочастотного маятника для выявления относительной величины и поведения уровня декремента затухающих колебаний (ДЗК) или демпфирующих свойств порошка до, во время и после воздействия на него импульсов слабого магнитного поля (ИСМП). Выявлено влияние параметров и условий воздействия ИСМП на характер кинетик уровня ДЗК.

### ВВЕДЕНИЕ

В работах [1, 2] проводились исследования по выявлению факта и характера влияния ИСМП на демпфирующие свойства порошка по поведению уровня ДЗК низкочастотного прямого крутильного маятника, нижний конец которого задемпфирован исследуемым порошком, на который осуществлялось воздействие ИСМП. Было показано, что при включении и выключении ИСМП, воздействующих на порошок, уровень его ДЗК изменяется резко, практически мгновенно, а затем с течением времени происходят медленные, долговременные изменения, кинетика которых обнаруживает различный характер в зависимости от амплитуды магнитного поля отдельного импульса из цуга ИСМП.

Наблюдаемый уровень ДЗК объяснялся движением дислокаций, взаимодействующих со стопорами в поверхностных слоях соприкасающихся соседних частиц порошка или внешним трением частиц порошка при его деформации. Причиной мгновенных и долговременных изменений уровня ДЗК в результате воздействия на порошок ИСМП может быть смена характера взаимодействия дислокаций со стопорами. Эта причина обуславливает вначале мгновенные изменения свойств примесно-дефектных комплексов (ПДК) типа дислокация-стопоры, содержащих парамагнитные центры, которые происходят под влиянием ИСМП, а затем, как следствие, имеют место долговременные изменения структуры ПДК, которые возникают под влиянием существующих в материале внутренних напряжений [3-6].

Нам не известны другие примеры мгновенных и долговременных изменений уровня низкочастотного ДЗК в порошке в результате воздействия на него ИСМП при изменении величины параметров отдельного импульса и цуга импульсов. Такая информация представляет интерес как для выявления закономерностей и физической природы эффекта, так и для выявления оптимальных условий магнитной обработки материала для целенаправленного изменения его свойств. Настоящая работа посвящена выявлению характера поведения мгновенных и дол-

говременных изменений уровня ДЗК или уровня демпфирующих свойств порошка в зависимости от величины параметров воздействующих на него ИСМП.

### 1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

Исследования проводились на смеси порошков, имеющей следующий состав: кварцевый песок (79,4%), кремний (17%), алюминий (3%),  $Fe_2O_3$  (0,6%). Размер порошинок не превышал 0,5 мм. Перед получением смеси исходный кремний дробился, далее ее компоненты подвергались перемешиванию в смесителе. Смесь используется при восстановлении огнеупорной кладки коксовых батарей методом керамической наплавки. Выявление характера влияния воздействия ИСМП на свойства смеси представляет интерес как с научной, так и с практической точек зрения.

Режимы обработки порций – образцов порошка ИСМП выбирались путем изменения величины параметров ИСМП: частоты следования отдельных импульсов в цуге импульсов ( $f$ , Гц), длительности воздействия или длительности цуга импульсов ( $t_c$ , мин), крутизны фронта отдельного импульса ( $t_f$ , мкс), амплитуды магнитного поля импульса ( $H$ ,  $10^5$  А/м). Использовалось 19 различных режимов обработки порошка ИСМП, осуществляемых на серийной установке ОИМП-101. Они объединяли 5 групп ( $B_1 \dots B_5$ ), в каждой из которых изменялся один из параметров. Режимы имели следующие величины параметров:  $B( f ; t_c ; t_f ; H )$ :  $B_1(0.5; 2; t_f ; 2.7)$ , где  $t_f = 51; 77; 108; 162$  мкс;  $B_2(0.5; 2; 162; H)$ , где  $H \cdot 10^{-5} = 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 2.7; 3.3$  А/м;  $B_3(0.5; t_c ; 162; 2.7)$ , где  $t_c = 0; 1; 2; 4; 6; 8$  мин;  $B_4( f ; 2; 51; 2.7)$ , где  $f = 0.5; 1; 5; 10$  Гц;  $B_5(0.5; t_c ; 77; 2.7)$ , где  $t_c = 2; 4; 6$  мин. Влияние каждого режима ИСМП изучалось на новой порции – образце порошка объемом 50 мм<sup>3</sup>.

Методика определения уровня ДЗК в порошке после воздействия на него ИСМП описана в [2]. При проведении исследований обращалось внимание на следующие состояния порошка, характеризующие соответствующими уровнями ДЗК: исходное, до воздействия ИСМП -  $Q_0^{-1}$ ; практически мгновенно возникающее сразу после начала воздействия ИСМП или во время воздействия  $Q_1^{-1}$  и величину его изменения  $\Delta Q_1^{-1} = Q_1^{-1} - Q_0^{-1}$ ; практически мгновенно возникающее сразу после прекращения воздействия ИСМП -  $Q_2^{-1}$ ; долговременное медленное изменение после воздействия ИСМП с течением времени  $t$  в интервале 2...180 мин (кинетика) -  $Q^{-1}$ ; конечное значение через 180 мин -  $Q_3^{-1}$  и величину его изменения  $\Delta Q_2^{-1} = Q_3^{-1} - Q_2^{-1}$ .

Величина уровня ДЗК подсчитывалась по числу свободно затухающих колебаний маятника, задемпфированного порошковой смесью, при уменьшении амплитуды относительной деформации оси маятника (стальной стержень) от  $2,4 \cdot 10^{-4}$  до  $1,4 \cdot 10^{-4}$ . Погрешность измерений ДЗК не превышала 3 %.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований (рис. 1, 2) показали, что режимы воздействия ИСМП оказывают различное влияние на поведение уровня ДЗК. При включении воздействия ИСМП уровень ДЗК практически мгновенно увеличивается ( $\Delta Q_1^{-1}$  имеет положительный знак). Кинетика долговременных изменений уровня ДЗК обнаруживает различные характеры: уменьшение уровня, которое наблюдается в большинстве случаев (см. рис. 1, кривая 1); практическое сохранение (кривая 2); увеличение (кривая 3). На фоне общего долговременного изменения уровня ДЗК наблюдаются локальные особенности типа максимума, минимума, ступеньки, перегибы (см. рис. 1). Анализ указанных локальных особенностей и характера изменений кинетики  $Q^{-1}(t)$  удобно характеризовать изменениями уровня ДЗК -  $\Delta Q_2^{-1}$ . Наиболее часто при долговременных изменениях уровень ДЗК уменьшается ( $\Delta Q_2^{-1}$  имеет отрицательный знак). Изменения  $\Delta Q_1^{-1}$  и  $\Delta Q_2^{-1}$  по величине составляют у  $\Delta Q_1^{-1}$  от 4 до 32%, а у  $\Delta Q_2^{-1}$  от 1 до 63%.

Влияние величины параметров ИСМП на уровень ДЗК выглядит следующим образом. Увеличение крутизны фронта отдельного импульса ( $t_f$ ) в режиме  $B_1$  (см. рис. 2,а) обуславливает вначале незначительные изменения  $\Delta Q_1^{-1}$  и  $\Delta Q_2^{-1}$ , носящие немонотонный, противоположный характер. Затем, когда  $t_f = 162$  мкс,  $\Delta Q_2^{-1}$  изменяет знак (стано-

вится положительным) и достигает сравнительно высокого значения.

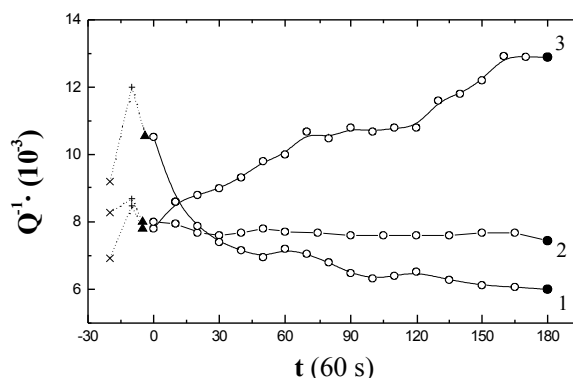


Рис. 1. Поведение уровня ДЗК в порциях - образцах порошка до (x), во время (+), сразу (▲), с течением времени (◊) и через 180 мин (●) после воздействия ИСМП различными режимами (B), имеющими следующие величины параметров ( $f$ , Гц;  $t_f$ , мкс;  $t_c$ , мин;  $H$ ,  $10^5$  А/м):  $B_3 - 0.5; 4; 162; 2.7$  (кривая 1);  $B_2 - 0.5; 2; 162; 1.5$  (кривая 2);  $B_2$  (и  $B_3$ ) -  $0.5; 2; 162; 2.7$  (кривая 3)

Увеличение амплитуды магнитного поля ( $H$ ) в режиме  $B_2$  (см. рис. 2,б) вначале слабо влияет на поведение  $\Delta Q_1^{-1}$  и  $\Delta Q_2^{-1}$ . Затем при  $H > 2,1 \cdot 10^5$  А/м  $\Delta Q_1^{-1}$  начинает расти и достигает сравнительно высокого значения, а  $\Delta Q_2^{-1}$  изменяется немонотонно, дважды изменяет знак и при  $H = 2,7 \cdot 10^5$  А/м достигает максимума. При этом амплитудам воздействия  $H = 1,5 \cdot 10^5$  А/м и  $H = 2,7 \cdot 10^5$  А/м соответствуют кинетики поведения уровня ДЗК -  $Q^{-1}(t)$ , имеющие существенно различный характер. У первой уровень ДЗК с ростом времени  $t$  сравнительно слабо уменьшается, у второй - сравнительно сильно увеличивается (см. рис. 1, кривые 2 и 3).

Увеличение частоты следования импульсов ( $f$ ) в режиме  $B_4$  (см. рис. 2,в) сопровождается сравнительно слабыми изменениями  $\Delta Q_1^{-1}$  и  $\Delta Q_2^{-1}$ , которые в случае  $\Delta Q_1^{-1}$  имеют немонотонный характер.

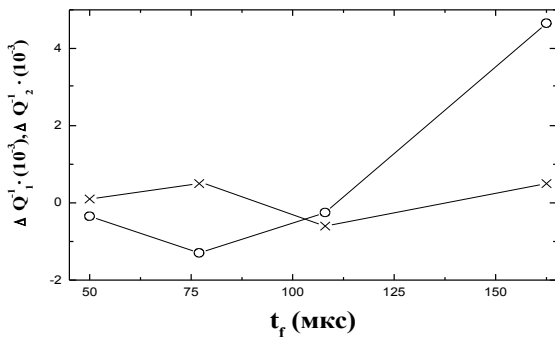
Увеличение длительности воздействия импульсов ( $t_c$ ) в режиме  $B_3$  (см. рис. 2,г) приводит к изменениям  $\Delta Q_1^{-1}$  и  $\Delta Q_2^{-1}$ , носящим немонотонный, противоположный характер при  $t_c = 2; 4; 6$  мин.  $\Delta Q_2^{-1}$  трижды изменяет знак и достигает сравнительно высоких и низких значений, проходя через максимум (дважды) и минимум. Этим длительностям воздействия  $t_c$  соответствуют кинетики поведения уровня ДЗК, имеющие различные, противопо-

ложные друг другу характеры: при  $t_c = 2$  и 6 мин уровень ДЗК с увеличением времени  $t$  сравнительно сильно увеличивается, а при  $t = 4$  мин – сравнительно сильно уменьшается (см. рис. 1, кривые 1 и 3). Наблюдаемые кинетики соответственно свидетельствуют о том, что в материале после воздействия ИСМП наблюдаются различные долговременные процессы. В первом случае это процесс типа релаксации, во втором – типа перераспределения энергии поля внутренних напряжений между объемом (матрицей материала) и ПДК (как результат накачки энергии в структуру ПДК и наоборот).

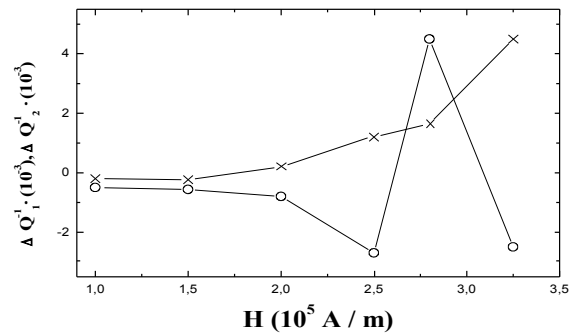
Если изменения длительности воздействия

$t_c = 2; 4; 6$  мин осуществлять в режиме  $B_5$ , отличающемся от режима  $B_3$  только одним параметром – крутизной фронта отдельного импульса  $t_f$  (77 мкс вместо 162 мкс), то при этом зависимость  $\Delta Q_1^{-1}$  и  $\Delta Q_2^{-1}$  от  $t_c$  практически исчезает (см. рис. 2,г, черные точки).

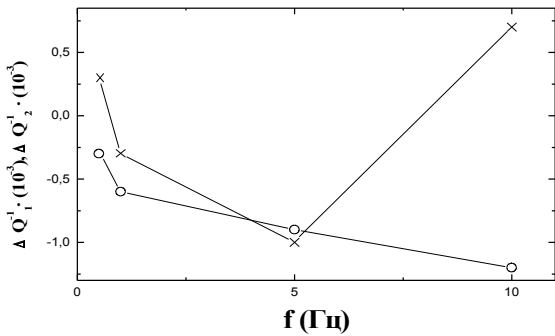
При воздействии одним ИСМП в режиме  $B_3$ , т.е. практически при  $t_c \cong 0$  мин, уровень ДЗК с течением времени  $t_c$  фактически не изменяется  $\Delta Q_2^{-1} \cong 0$  (см. рис. 2,г).



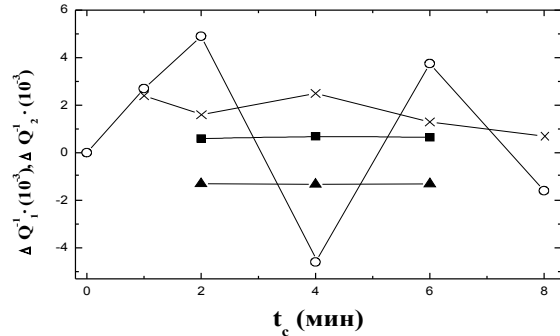
а



б



в



г

Рис. 2. Поведение мгновенного  $\Delta Q_1^{-1}$  (x,  $\blacktriangle$ ) и долговременного  $\Delta Q_2^{-1}$  (o,  $\blacksquare$ ) изменений уровня ДЗК в порциях - образцах порошка в зависимости от параметров ИСМП:  $t_f$  - крутизна фронта отдельного импульса в режиме  $B_1$  (а);  $H$  - амплитуда магнитного поля в режиме  $B_2$  (б);  $f$  - частота следования отдельных импульсов в режиме  $B_4$  (в);  $t_c$  - длительность воздействия в режиме  $B_3$  и  $B_5$  (темные точки) (г)

Таким образом, при воздействии 19 различных режимов ИСМП (включающих 5 групп) на порции - образцы порошка только 3 режима оказались оптимальными ( $B^*$ ,  $B^{**}$ ,  $B^{***}$ ) в отношении поведения долговременных изменений уровня ДЗК, характеризующихся либо максимальным увеличением или уменьшением кинетики  $Q^{-1}(t)$ , либо наличием максимума или минимума на зависимости  $\Delta Q_2^{-1}$  от величины параметра. Эти режимы имеют следующие величины параметров импульса:  $B_{2,3}^* = 0.5; 2; 162; 2.7$ ;  $B_3^{**} = 0.5; 4; 162; 2.7$ ;  $B_3^{***} = 0.5; 6; 162; 2.7$ .

Первый оптимальный режим ( $B_{2,3}^*$ ) приводит к

максимальному увеличению уровня ДЗК (см. рис. 1, кривая 3 и рис. 2,б,г). Этот режим имеет место при увеличении  $H$  в режиме  $B_2$  (когда  $H = 2,7 \cdot 10^5$  А/м) и при увеличении  $t_c$  в режиме  $B_3$  (когда  $t_c = 2$  мин). Второй оптимальный режим  $B_3^{**}$  приводит к максимальному уменьшению уровня ДЗК (см. рис. 1, кривая 1 и рис. 2,г). Этот режим наблюдается при увеличении  $t_c$  в режиме  $B_3$  (когда  $t_c = 4$  мин). Третий оптимальный режим ( $B_3^{***}$ ), как и первый, приводит к максимальному увеличению уровня ДЗК (см. рис. 2,г). Этот режим наблюдается при увеличении  $t_c$  в режиме  $B_3$  (когда  $t_c = 6$  мин)

Анализ полученных результатов позволяет счи-

тать, что наибольшее влияние на мгновенные и долговременные изменения уровня ДЗК в порошке оказывают длительность ( $t_c$ ) и амплитуда ( $H$ ) воздействия ИСМП. При этом наблюдаемые оптимальные режимы воздействия ИСМП имеют место только при определенных наборах значений всех (четырех) параметров ИСМП. Изменение величины одного из этих параметров приводит к исчезновению оптимального режима (см. рис 2,г, темные точки). Наряду с этим имеет место положение, когда параметр, при котором наблюдается оптимальный режим, может иметь не одно, а несколько значений. В наблюдаемых оптимальных режимах это длительность воздействия  $t_c = (2+2n)$ , где  $n = 0; 1; 2; 3$ . При этих значениях параметра  $t_c$  уровень ДЗК ( $\Delta Q_2^{-1}$ ) изменяется, обнаруживая максимальные увеличения и уменьшения, изменение знака и колебательный затухающий характер. Как видно, такое поведение наблюдается при увеличении длительности воздействия ИСМП ( $t_c$ ) в одном режиме В<sub>3</sub> с полупериодом равным 2 мин (см. рис. 2,г). Т.е. может наблюдаться один режим, в котором один параметр, изменяясь определенным образом, будет обуславливать появление ряда оптимальных режимов воздействия ИСМП на свойства материала.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что мгновенные и долговременные изменения уровня ДЗК или уровня демпфирующих свойств относительно исходного уровня в исследуемых порциях - образцах порошка в зависимости от величины параметров воздействующих на них ИСМП могут либо отсутствовать, либо уменьшаться или увеличиваться, обнаруживая, противоположный друг другу характер изменения. Наибольшее влияние оказывают длительность и амплитуда воздействия ИСМП. Из 19 используемых режимов воздействия ИСМП на порошок только 3 оказались оптимальными в отношении максимальных изменений долговременного поведения уровня ДЗК.

Принципиальным результатом работы является вывод о том, что могут быть реализованы такие условия воздействия ИСМП на порошок, когда становится возможным выявление нескольких взаимо-

связанных оптимальных режимов. Эти режимы наблюдаются при определенном характере увеличения длительности воздействия ИСМП, когда  $t_c = (2+2n)$ , где  $n = 0; 1; 2; 3$  в режиме В<sub>3</sub> (0.5;  $t_c$ ; 162; 2.7), обуславливая колебательный затухающий характер максимальных изменений уровня и кинетики ДЗК с полупериодом, равным 2 мин. Такое поведение уровня ДЗК наиболее вероятно связано с изменением характера колебательного затухающего процесса перераспределения энергии поля внутренних напряжений между ПДК и матрицей материала после воздействий на материал ИСМП.

### ЛИТЕРАТУРА

1. О.И. Дацко, В.С. Абрамов, И.О. Дацко, А.Н. Манкевич, А.Я. Чепелянский. Внутреннее трение или вязкость сыпучего тела после воздействия импульсов слабого магнитного поля // *Сборник материалов VI Международной конференции «Действие электромагнитных полей на пластичность и прочность материалов»*, Воронеж, Россия, 21-23 апреля 2005, с. 49-51.
2. О.И. Дацко, В.С. Абрамов, И.О. Дацко, А.Н. Манкевич, А.Я. Чепелянский. Влияние импульсов микродеформации и слабого магнитного поля на демпфирующие свойства порошка // *Вопросы материаловедения*. 2006, в. 38, №2, с. 98-102.
3. С.Н. Постников, В.П. Сидоров, А.Б. Иляхинский. Перестройка дефектных комплексов в кристаллических твердых телах под действием магнитных полей допороговых энергий // *Прикладные проблемы прочности и пластичности, статика и динамика деформируемых систем*. Горький: Горьковский университет, 1980, с. 138-143.
4. О.И. Дацко, В.И. Алексеенко. Внутреннее трение в магнитообработанном материале // *ФТТ*. 1997, в. 39, № 7, с. 1234-1236.
5. Ю.И. Головин, Р.Б. Моргунов. Магнитопластические эффекты в кристаллах // *Известия РАН. Серия «Физическая»*. 1997, в.61, с.850-859.
6. В.И. Альшиц, Е.В. Даринская, М.В. Колдаева, Е.А. Петрасик. Магнитопластический эффект в немагнитных кристаллах: основные свойства и физические механизмы // *Кристаллография*. 2003, в. 48, № 5, с. 826-854.

## ОСОБЛИВОСТІ ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕМПФІРУЮЧОГО ПОРОШКУ ПРИ ОБРОБЦІ ЙОГО ІМПУЛЬСАМИ СЛАБКОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ В РІЗНИХ РЕЖИМАХ

*О.І. Дацко, В.С. Абрамов, П.О. Вишневецький, І.О. Дацко, А.Я. Чепелянський*

Використано метод задемпфированного порошком прямого крутильного низькочастотного маятника для виявлення відносної величини і поводження рівня декремента загасаючих коливань (ДЗК) або властивостей демпфіруючого порошку до, під час і після впливу на нього імпульсів слабого магнітного поля (ИСМП). Виявлено вплив параметрів і умов впливу ИСМП на характер кінетик рівня ДЗК.

## PECULIARITIES OF CHANGES IN DAMPING PROPERTIES OF POWDER TREATED BY PULSES OF LOW MAGNETIC FIELD IN VARIOUS REGIMES

*O.I. Datsko, V.S. Abramov, P.O. Vishnevetsky, I.O. Datsko, A.Ya. Chepelyansky*

Method of the low-frequency torsion pendulum damped with powder have been used to determine relative value and behavior of the level of damped oscillations decrement (DOD) or of damping properties of the powder before, during and after the influence with low magnetic field pulses (LMFP). The influence of parameters and conditions of LMFP effect on character of DOD level kinetic has been revealed.