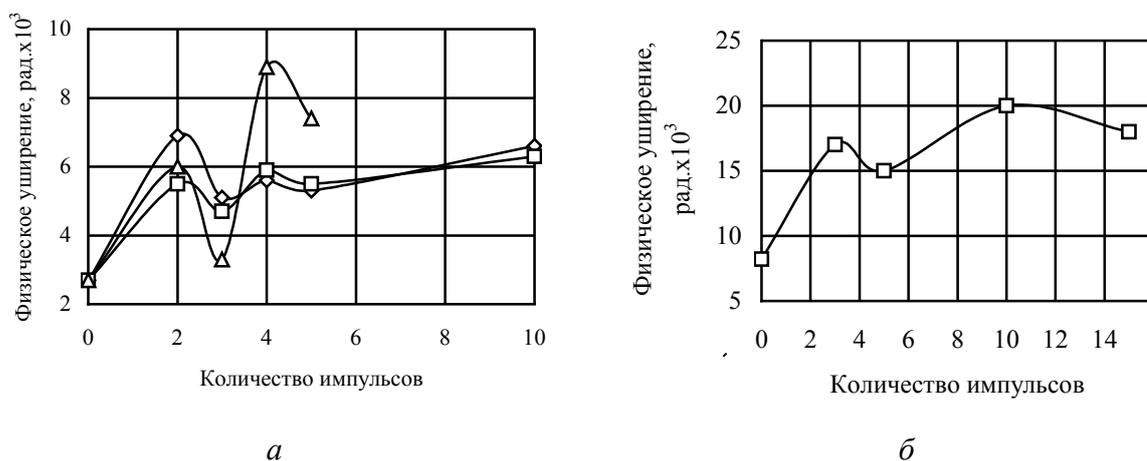


# О РОЛИ НАПРЯЖЕНИЙ 3-ГО РОДА В ИЗМЕНЕНИИ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ

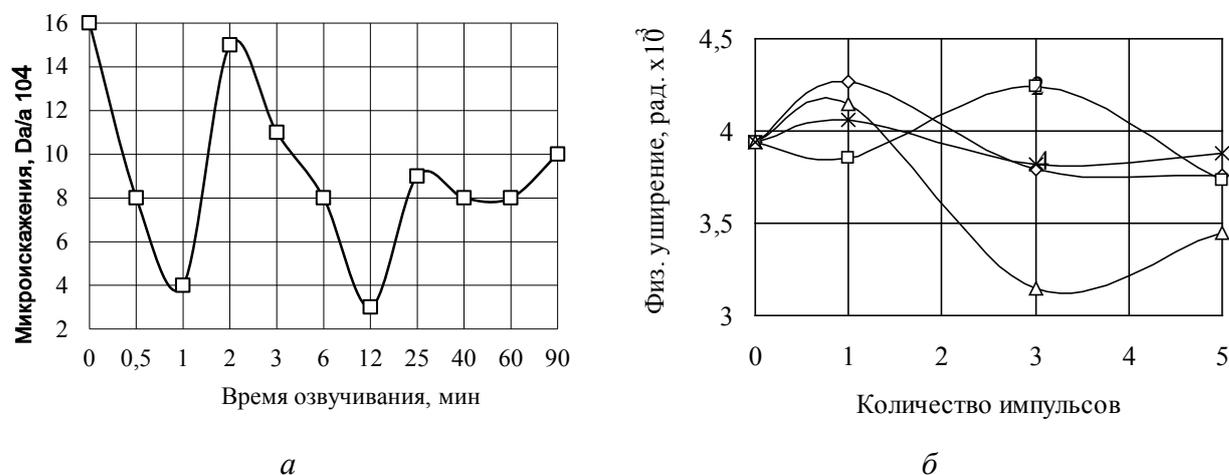
Анисович А.Г.

Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь,  
[anna-anisovich@yandex.ru](mailto:anna-anisovich@yandex.ru)

При воздействии на металлы и сплавы импульсных полей формируется специфическая высокоразориентированная фрагментированная структура [1], которая может быть классифицирована как микрозерна. При ее формировании в металлической системе запасается энергия, которая может существовать посредством дефектов кристаллического строения и регистрироваться экспериментально как энергия искажений кристаллической решетки, т.е. напряжений 2-го рода. Их энергия в единице объема твердого тела прямо пропорциональна физическому уширению интерференционной линии рентгенограммы. Сущность изменения структуры при импульсных воздействиях связана с периодическим процессом формирования и разрушения фрагментов [1], и отражается на кривых изменения физического уширения интерференционных линий рентгенограммы. Периодичность наблюдается для импульсных воздействий различного типа - термических, ультразвуковых, лазерных (рис.1,2,а).



**Рис.1.** Изменение физического уширения интерференционной линии (420) сплавов Al-3,8%Cu (а) и Д16 (б) после закалки и термоциклирования в интервале температур старения



**Рис. 2.** Влияние времени озвучивания на изменение микроискажений ( $\Delta a/a 10^4$ ) в меди (а) и изменение физического уширения интерференционной линии (311) бронзы БрБ2 при воздействии магнитного поля по различным режимам (б)

Наиболее интенсивные изменения напряжений второго рода происходят при термоциклировании с использованием печного, лазерного и электроконтактного нагревов. Показано, что формированию фрагментов отвечает максимальный уровень микронапряжений. Поскольку граница зерна (фрагмента) может быть представлена как локальное скопление дислокаций высокой плотности, то максимальный уровень микронапряжений соответствует максимальной плотности дислокаций при формировании фрагментированной структуры. Физическое уширение можно считать пропорциональным плотности дислокаций, упорядоченных определенным образом

Изменение физического уширения за счет формирования фрагментов максимально для ультразвукового и теплового воздействия. Периодичность изменения физического уширения наблюдаются для обработки в магнитном поле и при воздействии холодной плазмы воздуха (рис.2б; 3а) [2,3]. Однако интервал изменения физического уширения при этих видах воздействия намного меньше (табл.1). В частности, изменение полуширины  $B_0$  интерференционной линии меди в зависимости от длительности обработки холодной плазмой воздуха составляет  $\approx 0.0007$  рад. Наблюдаемую трансформацию микроструктуры при воздействии магнитных полей и холодной плазмы нельзя связать с изменением уровня напряжений 2-го рода. Изменения величины зерна при данных видах обработки значительны или достаточно заметны (табл.1).

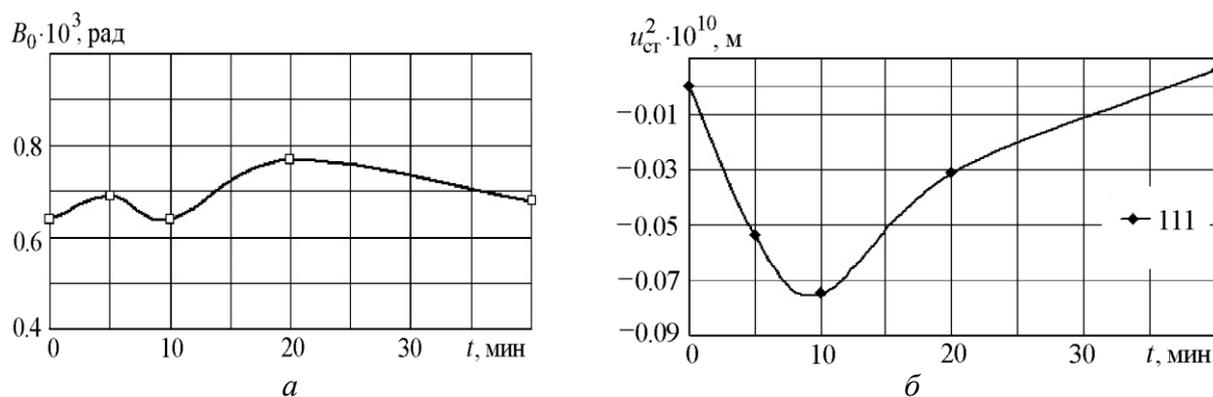
Таблица 1. Изменение физического уширения и размера зерна при различных видах воздействия

№ п/п	Вид воздействия	Интервал изменения уширения, рад.	Изменение среднего размера зерна, $d_{исх.}/d_{обраб}$
1	Ультразвук	$(7-14) 10^{-3}$	1,5–2
2	Термоциклирование	$(3-10) 10^{-3}$	3–5
3	Магнитное поле	$(0,9-1,1) 10^{-3}$	3–4
4	Холодная плазма	$(1,4-1,7) 10^{-3}$	1,5–2

Таблица 2. Изменение интенсивности линий феррита серого чугуна после воздействия магнитного поля

hkl	Интенсивность, %		
	Исходный	После МИО	Табличная
110	100	100	100
200	5,8	12,0	19
211	15,1	22,0	30
220	2,5	5,0	9
310	4,8	6,7	12

Одним из эффектов воздействия магнитных полей и холодной плазмы является изменение интенсивности линий рентгенограммы. В частности, для феррита чугуна (табл.2), после обработки в магнитном поле соотношение интенсивностей интерференционных линий приближается к табличным значениям. Эффект изменения соотношения интенсивностей интерференционных линий при воздействии плазмы и магнитного поля наблюдали в [3,4] на хrome и меди. Эффект следует отнести за счет проявления напряжений 3-го рода. Изменение напряжений 3-го рода в меди под воздействием плазмы воздуха показано на рис.3, б. Искажения кристаллической решетки металла, обусловленные напряжениями 3-го рода, диагностируются по ослаблению интенсивности интерференционных линий высших порядков или усилению диффузного фона рентгенограммы.



**Рис. 3.** Изменение физического уширения интерференционной линии (а) меди и статических смещений атомов из положения равновесия (б) в меди при обработке холодной плазмой воздуха [3].

Моделирование процесса релаксации трехмерной решетки металла после воздействия плазмы аргона [5] показало, что атомы стабилизируются в новых пространственных позициях относительно первоначального положения равновесия в узлах кристаллической решетки, что может быть классифицировано как проявление напряжений 3-го рода.

При воздействии плазмы или магнитного поля (без нагрева) может иметь место недислокационный характер преобразования структуры.

#### Список литературы

1. Анисович А.Г. Закономерности процессов структурообразования и термодинамический аспект организации структуры металлов при нестационарных энергетических воздействиях. Дисс. д.ф.-м.н., Минск 2005.
2. Здор Г.Н., Анисович А.Г. и др. Трансформация структуры и свойств бериллиевой бронзы под воздействием высокочастотного магнитного поля. Металлы (Известия РАН), 2003, 4, с.100-105.
3. Ажаронок В. В., Анисович А. Г. и др. Трансформация структуры меди под воздействием неравновесной низкотемпературной плазмы воздуха. Инженерно-физический журнал, 2013, 86(4), с 731-738.
4. Анисович А. Г., Ажаронок В. В. и др. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на свойства хромовых покрытий. Электронная обработка материалов, 2013, 49(2), с. 13-17.
5. Терешко И. В., Ходырев В. И., Липский Э. А. и др. Эффект дальнего действия в материалах при низкоэнергетическом ионном облучении. Вестн. Нижегородского ун-та им. Н. И. Лобачевского. Сер. Физика твердого тела. 1998, 2, с. 131–139.