



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-4-107-114>  
УДК 533.9:669.3

Поступила 18.07.2019  
Received 18.07.2019

## ИЗМЕНЕНИЕ ОРИЕНТИРОВОК ТЕКСТУРЫ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО НИКЕЛЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМОЙ ВОЗДУХА

*А. Г. АНИСОВИЧ, Т. П. УРБАН, Государственное научное учреждение «Физико-технический институт НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь, ул. Купревича, 10. E-mail: anna\_anisovich@yandex.ru*  
*И. И. ФИЛАТОВА, Государственное научное учреждение «Институт физики НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 68*  
*А. С. БУЙНИЦКАЯ, Государственное научное учреждение «Физико-технический институт НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь, ул. Купревича, 10*  
*С. В. ГОНЧАРИК, Государственное научное учреждение «Институт физики НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 68*

*Исследовано влияние холодной плазмы воздуха на изменение микроструктуры, напряженного состояния и текстуры катодного никеля марки Н-1. Методом прицельной металлографии установлено, что в результате воздействия микроструктура не изменяется. Показано снижение уровня микро- и макронапряжений. Методом обратных полюсных фигур установлено, что полюсная плотность ориентировок (111), (200) и (311) при воздействии плазмы снижается; наименее интенсивно изменяется ориентировка (311). Полюсная плотность ориентировки (220) увеличивается с 4,42 в исходном состоянии до 13,3 после обработки плазмой, что означает усиление текстуры электролитического осаждения. Обсуждаются причины наблюдаемых эффектов. Сделано предположение, что изменения, вносимые плазмой, происходят на масштабном уровне, намного меньшем, чем размер блоков когерентного рассеяния.*

**Ключевые слова.** *Высокочастотный емкостной разряд, неравновесная низкотемпературная плазма, микроструктура, текстура, электролитический никель.*

**Для цитирования.** *Анисович, А. Г. Изменение ориентировок текстуры электролитического никеля при обработке холодной плазмой воздуха / А. Г. Анисович, Т. П. Урбан, И. И. Филатова, А. С. Буйницкая, С. В. Гончарик // Литье и металлургия. 2019. № 4. С. 107–114. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-4-107-114>.*

## CHANGES IN THE TEXTURE ORIENTATION OF ELECTROLYTIC NICKEL TREATED BY COLD AIR PLASMA

*A. G. ANISOVICH, T. P. URBAN, State Scientific Institution “Physical and Technical Institute of NAS of Belarus”, Minsk, Belarus, 10, Kuprevicha str., E-mail: anna\_anisovich@yandex.ru*  
*I. I. FILATOVA, State Scientific Institution “Institute of Physics of NAS of Belarus”, Minsk, Belarus, 68, Nezavisimosti ave.*  
*A. S. BUYNITSKAJA, State Scientific Institution “Physical and Technical Institute of NAS of Belarus”, Minsk, 10, Kuprevicha str.*  
*S. V. GONCHARIK, State Scientific Institution “Institute of Physics of NAS of Belarus” Minsk, Belarus, 68, Nezavisimosti ave.*

*The effects of cold air plasma influence on the change in the microstructure, stress state and texture of the cathode nickel brand H-1 were studied. By the method of target metallography it has been established that the microstructure does not change under exposure to the cold air plasma. A decrease in the level of micro- and macrostress is shown. By the method of inverse pole figures it has been established that the pole density of the orientations (111), (200) and (311) decreases when exposed to plasma; orientation (311) changes the least intensively. The pole density of the orientation (220) increases from 4.42 in the initial state to 13.3 after plasma treatment, which means an increase in the electrolytic deposition texture. The causes of the observed effects are being discussed. It is assumed that the changes introduced by the plasma occur at a scale level that is much smaller than the size of the coherent scatter blocks.*

**Keywords.** *High-frequency capacity discharge, non-equilibrium low-temperature plasma, microstructure, texture, electrolytic nickel.*

**For citation.** *Anisovich A. G., Urban T. P., Filatova I. I., Buynitskaya A. S., Goncharik S. V. Change in the texture orientation of electrolytic nickel by cold air plasma. Foundry production and metallurgy, 2019, no. 4, pp. 107–114. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-4-107-114>.*

**Введение.** Воздействию холодной плазмы на металлы и сплавы, а также неметаллические материалы в настоящее время посвящается значительное количество исследований. В частности, рассматривается изменение свойств поверхностей материалов, подготовка поверхности для дальнейшей обработки. При контроле вариаций параметров плазменного воздействия изменяется реакция образцов состава Ni-P от полного гидрофобного к полному гидрофильному поведению, причем конкретное состояние поверхности полностью определяется параметрами воздействия [1]. В [2] также было показано, что поверхностная гидрофильность зеин-пленки значительно увеличивается после обработки холодной плазмой. Наблюдали также увеличение прочности и гибкости; метод модификации зеин-пленки может быть использован в упаковочной промышленности. Поверхностная обработка тонких пленок серебра холодной плазмой повышала шероховатость поверхности [3]. Рост шероховатости поверхности тонкой пленки Ag приводит к тому, что их поверхность является гидрофильной. Показано, что плазма аргона более эффективна, чем плазма гелия как по морфологии поверхности, так и по антибактериальным свойствам.

Использование плазмы барьерного разряда продемонстрировано в [4] для повышения адгезии меди на армированном бором эпоксидном полимере, причем установлено, что при воздействии плазмы возможно изменение фазового состава поверхности. Помимо изменения свойств поверхности, под воздействием холодной плазмы происходит существенное изменение механических свойств. Проанализирован вопрос нахождения оптимальных режимов упрочняющей обработки для повышения эксплуатационных характеристик инструментов из быстрорежущих сталей на основе способа их модифицирования потоком низкоэнергетической плазмы [5, 6]. Показано, что эффективность упрочняющей обработки рабочих поверхностей зависит от параметров процесса воздействия. Это связано с изменением характеристик поверхностного слоя упрочненных инструментов. Показана зависимость величины микротвердости при изменении режимов процесса упрочнения. Эти изменения происходят на большой глубине от поверхности облучения, значительно превышающей проецированные пробеги ионов в веществе. Показана возможность изменения твердости и износостойкости гальванических покрытий хрома [7], причем изменение механических характеристик может быть существенным. Изменение износостойкости можно связать в том числе с изменением морфологии поверхности [8]. С помощью комплекса экспериментальных методов изучены физико-механические свойства и структурные превращения в алюминий и его сплавах, обработанных низкоэнергетической плазмой тлеющего разряда [9]. После газоразрядной обработки алюминия и его сплавов с магнием низкоэнергетическими ионами не наблюдалось улучшение пластических свойств, обусловленное повышением однородности пластической деформации. Установлено, что при последующем тепловом воздействии протекают два конкурирующих процесса: распад метастабильного твердого раствора и эволюция газовой пористости.

Исследования изменения структуры металлов и сплавов под воздействием холодной плазмы воздуха немногочисленны. Причиной тому являются проблемы в интерпретации получаемых результатов; микроструктурные эффекты воздействия незначительны или находятся на грани чувствительности метода. Есть основание полагать, что в основе изменения свойств при обработке плазмой лежат изменения на уровне кристаллической решетки материала [10].

Возможность применения холодной плазмы для существенного изменения свойств материалов получила подтверждение патентами, в частности, в Республике Беларусь [11–13].

Эффектом, надежно фиксируемым при рентгеноструктурном анализе металлов и сплавов, обработанных холодной плазмой, является значительное изменение интенсивности интерференционных линий. Так, в частности, наблюдали изменение соотношения интенсивностей интерференционных линий фазы CuZn двухфазной латуни [14] и меди [15] под воздействием плазмы ВЧЕР. Изменение интенсивности линий на рентгенограммах при классических способах обработки связывают, в первую очередь, с трансформацией текстуры.

В данной работе исследовано влияние холодной плазмы воздуха на изменение ориентировок текстуры катодного никеля марки Н-1.

**Материалы и методики эксперимента.** Рентгеноструктурные исследования проведены в излучении  $Cu_{K\alpha}$  на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3, оснащенный аппаратно-программным комплексом для управления дифрактометром и обработки результатов измерений.

Изменение ориентировок текстуры исследовали методом обратных полюсных фигур. Они описывают распределение нормалей к кристаллографическим плоскостям кристаллитов исследуемого образца относительно его определенной внешней оси. Это стандартная гномостереографическая проекция заданной внешней оси кристаллитов, на которой нормалям кристаллографических плоскостей придается

полюсная плотность, показывающая во сколько раз данная ориентировка оси чаще встречается в текстурированном образце, чем в бестекстурном. Для анализа использована методика, описанная в [16]. Расчет полюсной плотности производили по методу Морриса:

$$P_{hkl} = \frac{I_{hkl}/I'_{hkl}}{\sum_{\Delta} A_{hkl} (I_{hkl}/I'_{hkl})}, \quad (1)$$

где  $I_{hkl}$  и  $I'_{hkl}$  – интенсивности интерференционных линий текстурированного образца и эталона соответственно;  $A_{hkl}$  – фракция кристаллитов в бестекстурном образце, рассеивающая рентгеновские лучи от плоскости  $(hkl)$ . Условно  $A_{hkl}$  определяется долей площади поверхности стереографического треугольника  $\Delta$  вокруг нормали  $(hkl)$ , ограниченной большими кругами, делящими угловые дистанции между соседними нормалью пополам. Условие нормировки:

$$\sum_{\Delta} A_{hkl} = 1. \quad (2)$$

При расчете использовали величины  $A_{hkl}$ , приведенные в [17] для кубической гранцентрированной кристаллической решетки.

Оценку микронапряжений и размера блоков когерентного рассеяния производили по общепринятым методикам, описанным в [18].

Исследование микроструктуры осуществляли на металлографическом комплексе на базе оптического микроскопа Микро-200 при увеличениях от 100 до 2000. Травление производили реактивом состава: 50%  $\text{HNO}_3$  + 50%  $\text{HF}$ . В исследовании использовали метод прицельной металлографии, суть которого состоит в фотографировании одного и того же участка структуры до и после обработки.

Обработка образцов никеля низкотемпературной неравновесной плазмой низкого давления ( $P \sim 1$  Торр), возбуждаемой в атмосфере воздуха высокочастотного емкостного разряда (ВЧЕР), проведена на экспериментальном стенде на основе генератора высокочастотного ( $f = 5,28$  МГц) тока (рис. 1). Стенд оснащен комплексом измерительной аппаратуры, обеспечивающей контроль режимов обработки.

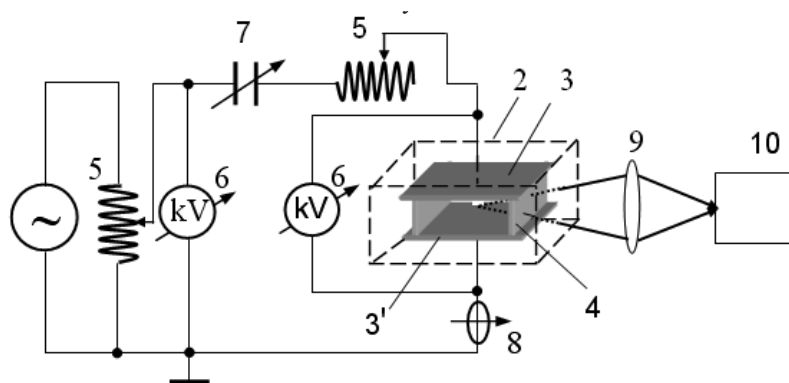


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда: 1 – высокочастотный генератор; 2 – разрядная камера (РК); 3 и 3' – высоковольтный и заземленный электроды РК; 4 – кварцевое окно РК; 5 – индукционная катушка; 6 – киловольтметр; 7 – конденсатор; 8 – пояс Роговского; 9 – объектив; 10 – спектрометр

Образцы располагали в разрядной камере (РК) на охлаждаемом проточной водой заземленном электроде 3'. Расстояние между электродами составляет  $L = 20$  мм. Удельный энерговыход в разряд составлял величину порядка  $1 \text{ Вт/см}^3$ , время воздействия на образцы задавалось равным  $t = 5$  и  $10$  мин.

Спектроэнергетические характеристики плазмы контролировали с помощью спектрометра  $SL100/10$ , оснащенного регистрирующей излучение плазмы двумерной ПЗС-матрицей размером  $256 \times 256$  пикселей. В диапазоне длин волн  $\Delta\lambda = 200\text{--}1000$  нм эмиссионные спектры возбуждаемой плазмы представлены молекулярными полосами второй (2+) и первой (1+) положительной систем азота, а также первой отрицательной (1-) системы молекулярного иона азота  $\text{N}_2^+$ . Анализ пространственных распределений интенсивностей  $I(0 < l < L)$  свечения плазмы показал, что возбуждаемый разряд неоднороден вдоль межэлектродного промежутка  $L$  и имеет присущие для  $\alpha$ -формы высокочастотного разряда приэлектродные зоны нескомпенсированного пространственного заряда. Вид распределений  $I(0 < l < L)$  носит экстремальный характер с одним максимумом в центральной зоне межэлектродного промежутка.

Газокинетическую температуру плазмы  $T_g$ , определяющую тепловые потоки на помещаемый в разряд обрабатываемый образец, и эффективность его бомбардировки заряженными частицами контролировали с использованием метода эмиссионной спектроскопии. Значения  $T_g$  определяли по распределению интенсивности излучения  $I(\lambda)$  в спектрах неразрешенных по вращательной структуре электронно-колебательных полосах  $2+$  системы  $N_2$ . Значение температуры  $T_g$  в пределах погрешности ее измерений практически не изменялось вдоль межэлектродного промежутка и составляло  $\approx 300$  К. Таким образом, можно считать, что располагавшиеся на нижнем электроде образцы дополнительному термическому нагреву в плазме не подвергали.

**Результаты и их обсуждение.** Микроструктура никеля в процессе обработки плазмой в течение 10 мин не изменяется (рис. 2). При этом после плазменного воздействия наблюдается существенное изменение вида рентгенограммы (рис. 3). При визуальном сравнении видно перераспределение интенсивности линий; при этом существенно увеличивается интенсивность линии (220).

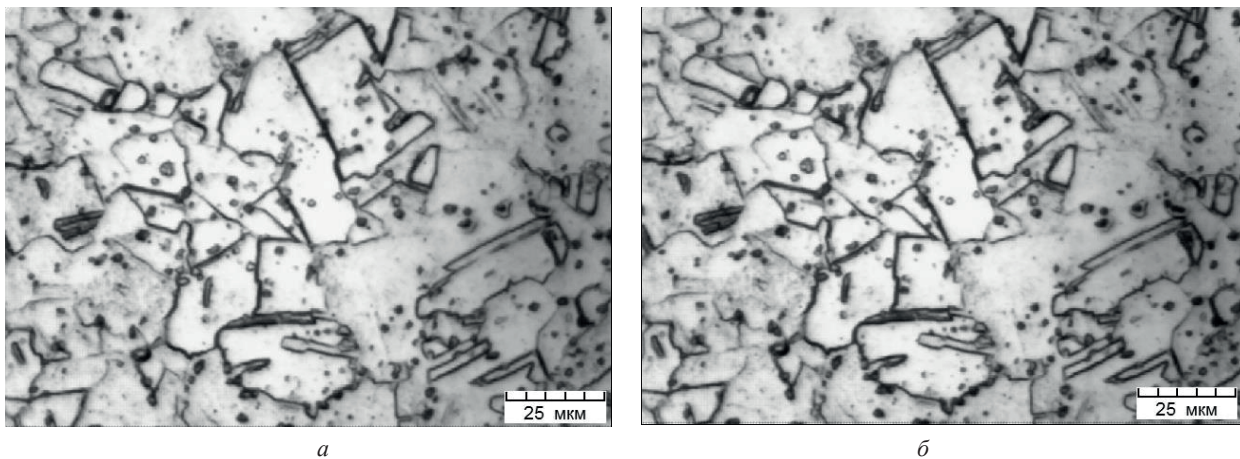


Рис. 2. Структура образца в исходном состоянии (а) и после обработки плазмой 10 мин (б); прицельная металлография

Были определены полюсные плотности ориентировок  $\langle 111 \rangle$ ,  $\langle 200 \rangle$ ,  $\langle 220 \rangle$  и  $\langle 311 \rangle$ . Результаты расчета по формуле (1) приведены в табл. 1. Полюсная плотность ориентировок  $\langle 111 \rangle$ ,  $\langle 200 \rangle$  и  $\langle 311 \rangle$  несколько снижается, наименее интенсивно для ориентировки  $\langle 311 \rangle$ . Наиболее сильны изменения ориентировки  $\langle 220 \rangle$ , полюсная плотность которой увеличивается с 4,42 в исходном состоянии до 13,2–13,3 после обработки холодной плазмой.

Для независимых текстур никеля наиболее часто упоминаются ориентировки  $\langle 100 \rangle$ ,  $\langle 110 \rangle$ ,  $\langle 110 \rangle + \langle 100 \rangle$ . В зависимости от плотности тока при электролитическом осаждении в никелевых осадках образуется текстура  $\langle 100 \rangle$  или  $\langle 110 \rangle$ . В соответствии с [19] для никеля одной из основных ориентировок текстуры электролитического осаждения является  $\langle 110 \rangle$ . Эта ориентировка характерна как для никелевых электролитически осажженных подложек, так и для осадка на приспособленной подложке. Для неприспособленной подложки основной ориентировкой является  $\langle 100 \rangle$ .

Исходя из традиционных представлений, повышение интенсивности ориентировки  $\langle 220 \rangle$  означает усиление текстуры электролитического осаждения.

В числе факторов, ответственных за изменение интенсивности интерференционных линий, помимо текстуры, можно назвать изменение размера блоков когерентного рассеяния, образование дефектов упаковки и изменение уровня микронапряжений. В отсутствие дефектов упаковки для ГЦК-решетки выполняется соотношение [18]:

$$\frac{\sin \theta_{(200)}}{\sin \theta_{(111)}} = \frac{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}_{(200)}}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}_{(111)}} = 1,155. \quad (3)$$

В табл. 2 представлены углы дифракции и результаты расчета по формуле (3) для рассматриваемых линий. Для образцов, обработанных плазмой, соотношение синусов не изменяется, что говорит о том, что под воздействием холодной плазмы дефекты упаковки не образуются.

Изменение полуширины интерференционных линий (111) и (311) представлено на рис. 4. Изменение полуширины линии (111) незначительно, величина блоков когерентного рассеяния не претерпевает

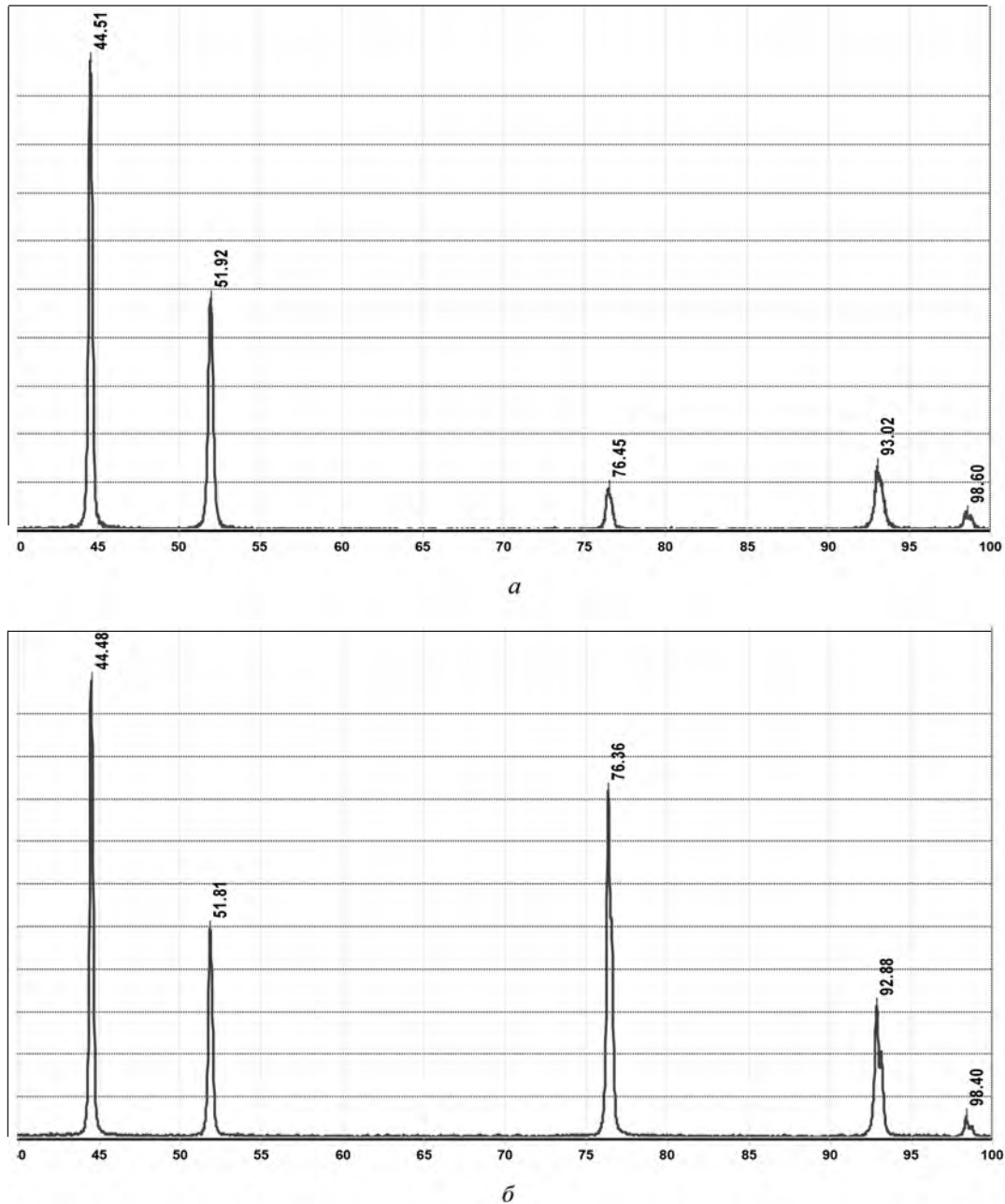


Рис. 3. Рентгенограммы никеля в исходном состоянии (а) и после воздействия плазмы (б) в течение 10 мин.

Таблица 1. Изменение полюсной плотности ориентировок гальванического никеля при обработке холодной плазмой

Ориентировка $hkl$	Время обработки плазмой, мин		
	0	5	10
$\langle 111 \rangle$	7,3	3,5	3,08
$\langle 200 \rangle$	6,82	2,23	2,28
$\langle 220 \rangle$	4,42	13,33	13,23
$\langle 311 \rangle$	8,35	6,19	6,24

существенных изменений (табл. 2) и поэтому не вносит вклад в изменение интенсивности линий (полуширина линии  $\langle 111 \rangle$  эталона составляет  $3,41 \cdot 10^{-3}$  рад).

Полуширина линии  $\langle 311 \rangle$  снижается в процессе воздействия, но данное изменение незначительно. Полуширина линии  $\langle 311 \rangle$  эталона составляет  $5,68 \cdot 10^{-3}$  рад, поэтому провести расчет физического уширения линии не представляется возможным. При этом можно считать, что изменение уровня дезориентированных микронапряжений в процессе воздействия холодной плазмы незначительно. Усиление

Таблица 2. Углы дифракции, оценка вероятности дефектов упаковки и размер блоков когерентного рассеяния в никеле после обработки плазмой

hkl	Угол дифракции, 2θ		
	исходный	обработка плазмой 5 мин	обработка плазмой 10 мин
111	44,5	44,5	44,5
200	51,9	51,8	51,8
220	76,4	76,4	76,4
311	93,0	92,9	92,9
$\sin \theta_{(200)}/\sin \theta_{(111)}$	1,16	1,15	1,15
Размер блоков когерентного рассеяния, $\text{см} \times 10^{-5}$	8,65	9,84	9,27



Рис. 4. Изменение полуширины линий (311) (1) и (111) (2) электролитического никеля после воздействия плазмы

текстуры электролитического осаждения, таким образом, не может быть связано с процессами упрочнения или разупрочнения за счет изменения дислокационной структуры.

Согласно динамической теории рассеяния рентгеновских лучей, интегральная интенсивность интерференционных максимумов рентгенограммы от крупных кристаллов ослабляется из-за эффекта экстинкции. По мере уменьшения размера блоков мозаики эффект экстинкции ослабляется и для кристаллов с блоками размером меньше 0,2–0,3 мкм, которые принято называть идеально мозаичными, полностью снимается [18]. В рассматриваемом случае блоки когерентного рассеяния превышают эту величину, однако их размер не изменяется существенно в процессе воздействия. И для эталона, и для исследуемых образцов отношение интенсивностей линий (222) и (111) составляет 3–5%.

Эта разбежка составляет не более ошибки измерения при определении интенсивности, следовательно, вторичная экстинкция не вносит вклад в изменение интенсивности линий. Отношение расчетных интенсивностей данных линий составляет 4%.

Явление сохранения или усиления ориентировок текстуры деформации может наблюдаться на начальных стадиях отдыха деформированных металлов. Но изменение полюсной плотности ориентировок при этом не столь велико, как в рассматриваемом случае. Кроме того, при плазменной обработке в нашем случае отсутствовал нагрев, способный вызвать структурные изменения.

При таком уровне изменения ориентировок текстуры следовало бы ожидать существенного изменения микроструктуры. Тем не менее, данные микроструктурного анализа говорят об обратном. Отсутствие микроструктурных изменений отмечалось в [3, 14]. Следует сделать предположение, что изменения, вносимые плазмой, концентрируются на масштабном уровне, намного меньшем, чем размер блоков когерентного рассеяния.

### Выводы

1. Воздействие низкотемпературной неравновесной воздушной плазмы на электролитический никель не приводит к изменению микроструктуры материала.
2. Наблюдается существенное перераспределение интенсивности линий рентгенограммы.
3. Наиболее сильно изменяется ориентировка (220), полюсная плотность которой увеличивается с 4,42 в исходном состоянии до 13,2–13,3 после обработки холодной плазмой.
4. Изменение полуширины линий незначительно, величина блоков когерентного рассеяния также не претерпевает существенных изменений.
5. Наблюдаемые изменения, вносимые плазмой, не связаны с изменением текстуры, а могут быть отнесены за счет изменения уровня напряжений 3-го рода (статических смещений атомов из положения равновесия).

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственной программы научных исследований на 2016–2020 годы «Конвергенция-2020», подпрограмма «Микромир, плазма и Вселенная (задание 2.4.02).

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Vivet L., Joudrier A.-L., Bouttemy M., Vigneron J.** and oth. Wettability and XPS-analyses of nickel–phosphorus surfaces after plasma treatment: an efficient approach for surface qualification in mechatronic processes // *Applied Surface Science*. 2013. № 274. P. 71–78.
2. **Shuang Dong, Peng Guo, Yue Chen, Gui-yun Chen** and oth. Surface modification via atmospheric cold plasma (ACP): Improved functional properties and characterization of zein film // *Industrial Crops and Products*. 2018. Vol. 115. P. 124–133.
3. **Zendehnam Arman, Ghasemi Javad, Zendehnam Akbar.** Employing cold atmospheric plasma (Ar, He) on Ag thin film and their influences on surface morphology and anti-bacterial activity of silver films for water treatment // *International Nano Letters*. 2018. № 8. P. 157–164.
4. **Przyaszyni V., Stupavská M., Ráhe J., Kleber C.** and oth. A comparison of chemical and atmospheric plasma assisted copper plating on carbon fiber reinforced epoxy polymer surfaces // *Surface & Coatings Technology*, 2014, no.258, pp.1082–1089.
5. **Tereshko I. V., Abidzina V. V., Elkin I. E.** The formation of nanoclusters in metals by the low-energy ion irradiation // *Surface and Coatings Technology*, 2007. Vol. 201. P. 8552–8556.
6. **Tereshko I. V., Abidzina V. V., Elkin I. E., Tereshko A. M.** Nanostructural evolution of steel and titanium alloys exposed to glow discharge // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 2007. Vol. 261. P. 678–681.
7. **Anisovich A. G., Azharonok V. V., Gologan V. F., Bobanova Zh. I.** and oth. The Effect of Low Temperature Nonequilibrium Air Plasma on the Structure and Properties of Copper and Chromium Electrodeposited Coatings // *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and technology*, 2016, № 2. P. 42–49.
8. **Anisovich A. G., Azharonok V. V., Gologan V. F., Tereshko I. V.** Surface transformation of electrodeposited coatings under exposure to cold plasma and magnetic field // *Abstracts of 7<sup>th</sup> International Conference on “Materials science and Condensed Matter Physics”*. Chisinau, 2014, 281 p.
9. **Барвинок В. А., Рясный А. В.** Влияние низкоэнергетической плазменной обработки на физико-механические свойства и структуру алюминия и его сплавов // *Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. физ.-мат. науки*. 2009. № 2. Т. 19, С. 193–199.
10. **Anisovich A. G., Azharonok V. V., Filatova I. I.** Lattice strain as a factor of structure formation // *Abstracts of 8th International Conference on “Materials science and Condensed Matter Physics”*. Chisinau, 2016. 327 p.
11. **Логвин В. А., Жолобов А. А., Логвина Е. В.** Режущая часть инструмента: Пат. 7492. Респ. Беларусь, 2011.
12. **Логвин В. А., Логвина Е. В.** Способ обработки изделия в вакууме: Пат. 16595. Респ. Беларусь, 2012.
13. **Логвин В. А., Логвина Е. В.** Способ поверхностной обработки изделия в вакууме и устройство для его осуществления: Пат. 16343. Респ. Беларусь, 2012.
14. **Анисович А. Г., Ажаронок В. В., Басалай А. В., Гончарик С. В.** и др. Структурные изменения в медных сплавах под воздействием холодной плазмы воздуха // *Physics and diagnostics of laboratory and astrophysical plasmas. The XI Belarusian-Serbian symposium Minsk*, 2016, pp.34–37.
15. **Ажаронок В. В., Анисович А. Г., Басалай А. В., Гончарик С. В.** и др. Трансформация структуры меди под воздействием неравновесной низкотемпературной плазмы воздуха // *Инженерно-физический журнал*. 2013. № 4. С. 731–738.
16. **Гогишвили О. Ш., Кононов Г. Г., Лавриненко И. П., Ладькин С. П.** К методике построения обратных полюсных фигур // *Заводская лаборатория*. 1981. № 7. С. 32–34.
17. **Лайнер Д. И., Радишевский А. И., Комарова И. А.** Способ построения нормированных обратных полюсных фигур // *Кристаллография*. 1974. Т. 19. № 5. С. 942–945.
18. **Горелик С. С., Расторгуев Л. Н., Скаков Ю. А.** Рентгенографический и электронно-оптический анализ. 2-е изд. М.: Металлургия, 1970. 366 с.
19. **Вассерман Г., Гревен И.** Текстуры металлических материалов. М.: Металлургия, 1969. 655 с.

## REFERENCES

1. **Vivet L., Joudrier A.-L., Bouttemy M., Vigneron J.**, and oth. Wettability and XPS-analyses of nickel–phosphorus surfaces after plasma treatment: an efficient approach for surface qualification in mechatronic processes. *Applied Surface Science*. 2013, no. 274, pp.71–78.
2. **Shuang Dong, Peng Guo, Yue Chen, Gui-yun Chen**, and oth. Surface modification via atmospheric cold plasma (ACP): Improved functional properties and characterization of zein film. *Industrial Crops and Products*, 2018, V. 115, pp. 124-133.
3. **Zendehnam Arman, Ghasemi Javad, Zendehnam Akbar.** Employing cold atmospheric plasma (Ar, He) on Ag thin film and their influences on surface morphology and anti-bacterial activity of silver films for water treatment. *International Nano Letters*, 2018, no.8, pp.157–164.
4. **Przyaszyni V., Stupavská M., Ráhe J., Kleber C.**, and oth. A comparison of chemical and atmospheric plasma assisted copper plating on carbon fiber reinforced epoxy polymer surfaces. - *Surface & Coatings Technology*. 2014, no.258, pp.1082–1089.
5. **Tereshko I.V., Abidzina V.V., Elkin I.E.** The formation of nanoclusters in metals by the low-energy ion irradiation - *Surface and Coatings Technology*, 2007, vol. 201, pp. 8552–8556.
6. **Tereshko I. V., Abidzina V. V., Elkin I. E., Tereshko A. M.** Nanostructural evolution of steel and titanium alloys exposed to glow discharge – *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 2007, vol. 261, pp. 678–681.
7. **Anisovich A. G., Azharonok V. V., Gologan V. F., Bobanova Zh. I.** and oth. The Effect of Low Temperature Nonequilibrium Air Plasma on the Structure and Properties of Copper and Chromium Electrodeposited Coatings. - *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and technology*, 2016, no.2, pp.42-49.
8. **Anisovich A. G., Azharonok V. V., Gologan V. F., Tereshko I. V.** Surface transformation of electrodeposited coatings under exposure to cold plasma and magnetic field. *Abstracts of 7th International Conference on “Materials science and Condensed Matter Physics”*, Chisinau, 2014, 281 p.

9. **Barvinok V. A., Rjasnyj A. V.** Vlijanie nizkojenergeticheskoj plazmennoj obrabotki na fiziko-mehaničeskie svojstva i strukturu aljuminija i ego splavov [The effect of low-energy plasma processing on the physico-mechanical properties and structure of aluminum and its alloys]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta = Bulletin of Samara State Technical University*, 2009, no.2. Vol. 19, pp. 193–199.
10. **Anisovich A. G., Azharonok V. V., Filatova I. I.** Lattice strain as a factor of structure formation. Abstracts of 8th International Conference on “Materials science and Condensed Matter Physics”, Chisinau, 2016. p. 327.
11. **Logvin V. A., Zholobov A. A., Logvina E. V.** Rezhushhaja chast’ instrumenta [Tool cutting]. Patent RB, , no. 7492, 2011.
12. **Logvin V. A., Logvina E. V.** Sposob obrabotki izdelija v vakuume [The method of processing the product in vacuum]. Patent RB, no. 16595, 2012.
13. **Logvin V. A., Logvina E. V.** Sposob poverhnostnoj obrabotki izdelija v vakuume i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija [The method of surface treatment of the product in vacuum and a device for its implementation]. Patent RB, no. 16343, 2012.
14. **Anisovich A. G., Azharonok V. V., Basalaj A. V., Goncharik S. V.** Strukturnye izmenenija v mednyh splavah pod vozdejstviem holodnoj plazmy vozduha [Structural changes in copper alloys under the influence of cold air plasma]. «Physics and diagnostics of laboratory and astrophysical plasmas». The XI Belarusian-Serbian symposium Minsk, 2016, pp. 34–37.
15. **Azharonok V. V., Anisovich A. G., Basalaj A. V., Goncharik S. V.** Transformacija struktury medi pod vozdejstviem neravno-vesnoj nizkotemperaturnoj plazmy vozduha [Transformation of the copper structure under the influence of a nonequilibrium low-temperature air plasma]. *Inženerno-fizičeskij zhurnal = Engineering Physics Journal*, 2013, no. 4, pp. 731–738.
16. **Gogishvili O. Sh., Kononov G. G., Lavrinenko I. P., Ladykin S. P.** K metodike postroenija obratnyh poljusnyh figure [To the technique of constructing inverse pole figures]. *Zavodskaja laboratorija = Factory laboratory*, 1981, no.7, pp. 32–34.
17. **Lajner D. I., Radishevskij A. I., Komarova I. A.** Sposob postroenija normirovannyh obratnyh poljusnyh figure [A method of constructing normalized inverse pole figures]. *Kristallografija = Crystallography*, 1974, Vol. 19, no.5, pp. 942–945.
18. **Gorelik S. S., Rastorguev L. N., Skakov Ju. A.** *Rentgenografičeskij i jelektronnooptičeskij analiz* [Radiographic and electron-optical analysis]. Moscow, Metallurgija Publ., 1970, 366 p.
19. **Vasserman G., Greven I.** *Tekstury metallicheskih materialov* [Textures of metal materials]. Moscow, Metallurgija Publ., 1969, 655 p.