

## СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ПРИ МОДИФИКАЦИИ ЕЕ ПОВЕРХНОСТИ ИМПУЛЬСНОЙ ПЛАЗМОЙ

Б.М. Ибраев, А.М. Жукешов, А.Т. Габдуллина

КазНУ имени аль-Фараби, НИИЭТФ, г. Алматы

Методами электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа была исследована микроструктура поверхности низкоуглеродистой стали после воздействия импульсных плазменных потоков.

В настоящей работе представлены результаты исследований импульсного плазменного воздействия на поверхность конструкционных материалов, в частности, структурных изменений. Данные получены при обработке низкоуглеродистой стали на коаксиальном плазменном ускорителе КПУ-30 в режиме сплошного наполнения воздухом рабочей камеры ускорителя. Обработка в данном режиме характеризуется однородностью распределения энергии плазменного потока по поверхности образца-мишени. Особенности работы ускорителя в этом режиме описаны в работах [1, 2]. Эксперименты проводили при вариации основных параметров импульсного воздействия: плотности энергии плазменного потока  $Q$ , остаточного давления воздуха в камере  $P$  и количества импульсов воздействия  $n$ . Следует отметить, что в данном режиме плотность энергии  $Q$ , налетающего на мишень плазменного сгустка зависит от давления следующим образом, представленным на рисунке 1.

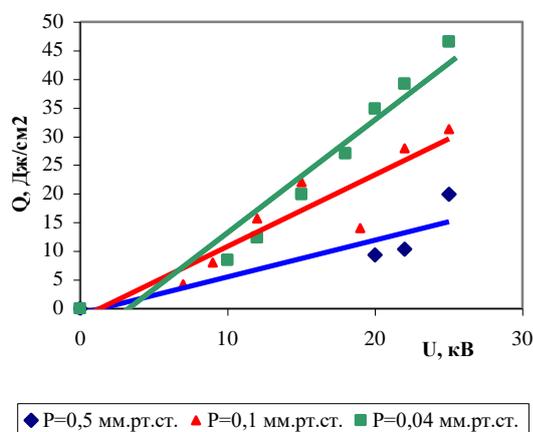


Рис.1 – Изменение  $Q$  при различных значениях остаточного давления воздуха в камере ускорителя КПУ-30

В работе сделан сравнительный анализ экспериментальных данных обработки исследуемого материала в энергетическом диапазоне  $Q=5-50$  Дж/см<sup>2</sup> при давлениях  $P=0,5$ ;  $0,1$  и  $0,04$  мм.рт.ст. одним и несколькими импульсами. Для анализа структуры поверхности стальных образцов после воздействия импульсных плазменных потоков (ИПП) были применены широко известные методы: растровой электронной микроскопии (РЭМ) и рентгеноструктурного анализа. Кроме того, для выявления микроструктуры обработанные образцы были подвержены электролитическому и химическому травлению.

Из результатов рентгеноструктурного анализа на дифрактометре D8 ADVANCE фирмы BRUKER с использованием медного излучения с монохроматором на дифрагированном пучке следует, что в образцах низкоуглеродистой стали после обработки при давлении  $P=0,04$  мм.рт.ст. в модифицированном слое формируется двухфазный раствор, состоящий из твердого раствора  $\alpha$ -Fe (основной фазы исходного состояния) и  $\gamma$ -Fe. Появление  $\gamma$ -Fe говорит о нагреве поверхности стали до температур, при которых возможен частичный переход  $\alpha$ -железа (феррита) в аустенитную фазу ( $\gamma$ -Fe). При этом обнаружена активизация процесса аустенизации с увеличением  $Q$  и  $n$  (рисунки 2,3).

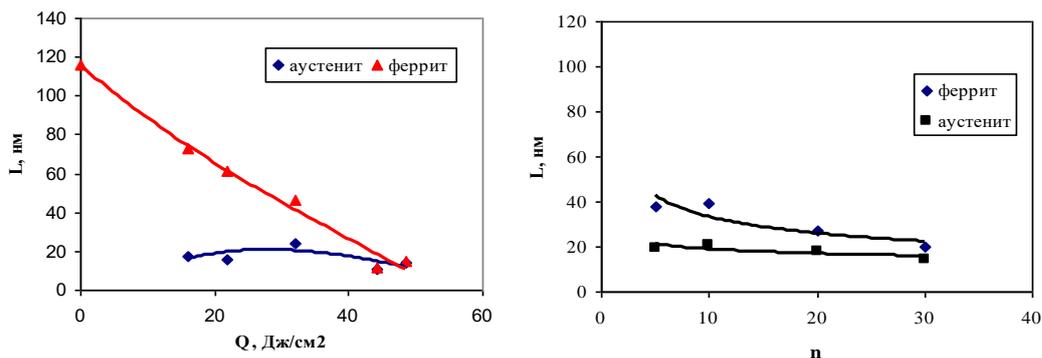


Рис. 2 - Изменение размеров кристаллитов феррита и аустенита в образцах углеродистой стали при импульсной плазменной обработке

Полученные результаты хорошо согласуются с данными, полученными на РЭМ. Изменение размера зерна четко прослеживается на фотографиях микроструктуры поверхности после травления на зерно (рисунки 3-4) и может быть обусловлено растворением крупных зерен и увеличением дисперсности структуры с ростом  $Q$  (рисунок 3). Размельчение зерна связано с поверхностным упрочнением сталей [3].

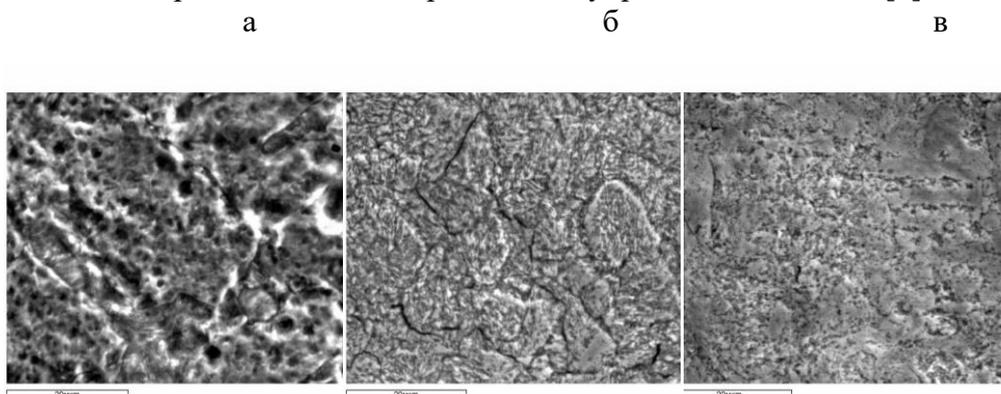
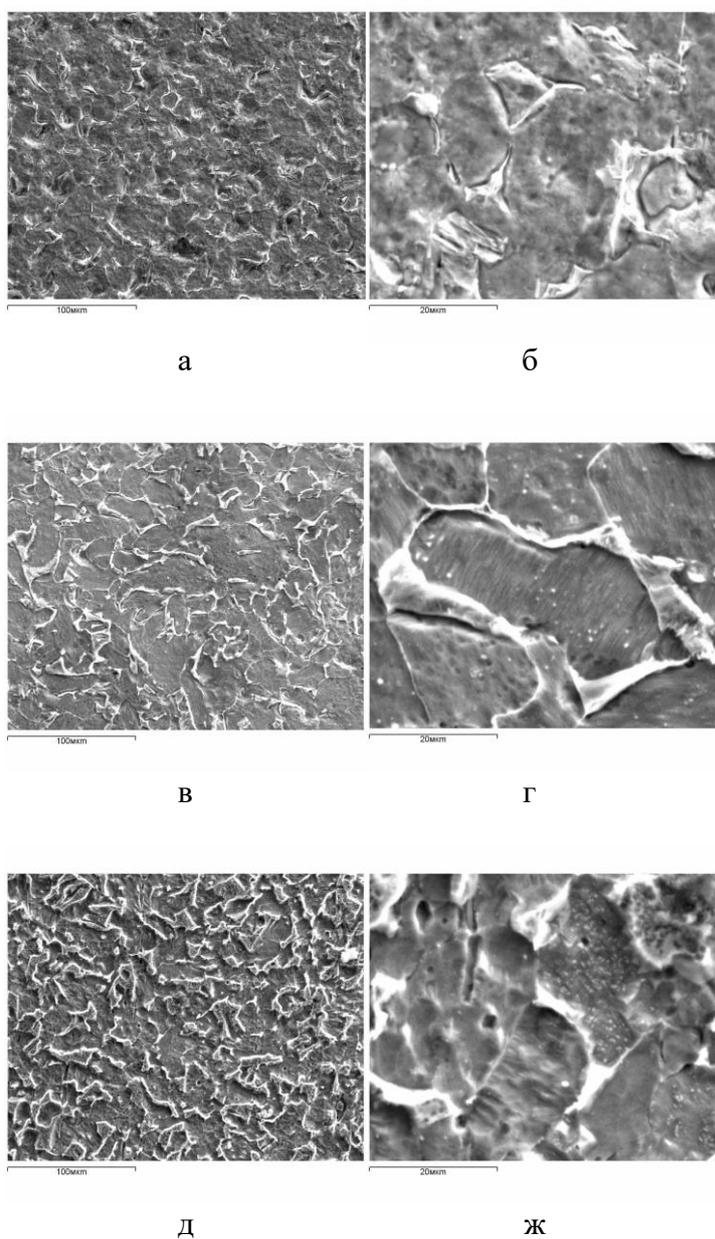


Рис. 3 – Структура поверхности стальных образцов №3 ( $Q=16$  Дж/см<sup>2</sup>), 4 ( $Q=21,8$  Дж/см<sup>2</sup>), 5 ( $Q=32$  Дж/см<sup>2</sup>) после обработки плазмой воздуха при  $P=0,04$  мм.рт.ст.,  $n=1$  (увеличение 2000 раз)



а, в, д – структура поверхности при увеличении в 400 раз,  
б, г, ж – увеличение в 2000 раз

Рис. 4 – Формирование двухфазного раствора при плазменной обработке ( $P=0,5$  мм.рт.ст.,  $n=1$ , образцы №1 ( $Q=5$  Дж/см<sup>2</sup>), 2 ( $Q=7,5$  Дж/см<sup>2</sup>), 4 ( $Q=14$  Дж/см<sup>2</sup>) соответственно)

Стадии формирования двухфазного раствора отчетливо видны на рисунке 4. Как видно из рисунка, двухфазный раствор образуется в виде выделений по границам зерен уже при небольших  $Q$  (образец №1) и с увеличением плотности энергии плазменного потока проходит ряд последовательных стадий (образцы №2, 4). Активизация процесса аустенизации достигает максимальных размеров при многократном воздействии плазмы в заданном режиме (рисунок 5).

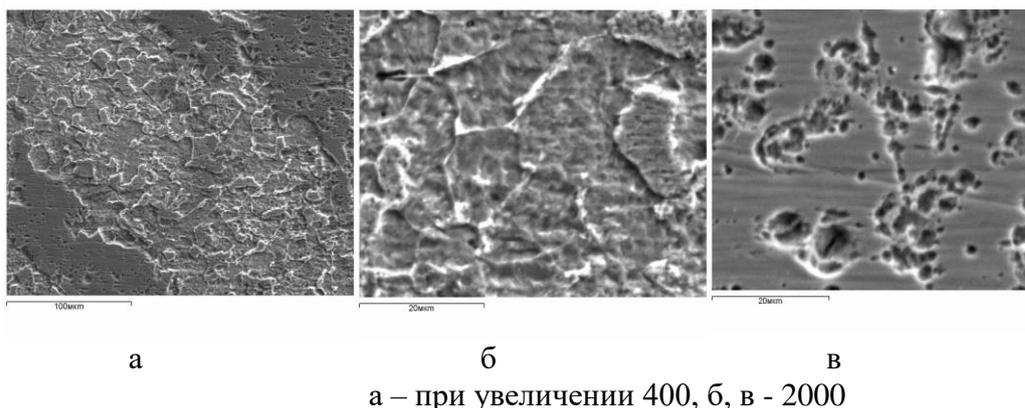


Рис. 5 – Микроструктура низкоуглеродистой стали после многократного воздействия плазмы

Аустенизации способствует высокоскоростной нагрев поверхности материала, который имеет место при электронной обработке. В результате большое количество карбидов исходного материала растворяется и трансформируется в аустенит с высоким содержанием углерода [4]. Данные стехиометрического состава исследуемой стали на рентгеноспектральном микроанализаторе JSXE-733 хорошо согласуются с полученными результатами (таблица).

Таблица – Изменения в элементном составе низкоуглеродистой стали после воздействия плазмы воздуха

№ образца	C, %	Al, %	Si, %	Ti, %	Ca, %	Cr, %	Mn, %	Fe, %	Cu, %	Ni, %	O, %
исходный	0,2	-	0,42	-	-	0,13	0,37	98,51	0,34	0,22	-
4 (n=1, 0,5 мм.рт.ст.)	0,2	0,09	0,27	-	0,10	-	0,12	72,31	0,17	-	26,9
9 (n=1, 0,04 мм.рт.ст.)	0,22	-	0,41	-	-	0,14	0,48	98,49	0,47	-	-
1 (P=0,1 мм.рт.ст., n=5)	5,99	-	0,36	-	-	0,16	0,48	92,38	0,63	-	-
2 (P=0,1 мм.рт.ст., n=10)	6,4	0,42	0,27	0,1	-	0,14	0,54	91,3	0,72	-	-
4 (P=0,1 мм.рт.ст., n=30)	7,89	-	0,3	0,18	-	0,16	0,38	88,74	2,13	0,21	-

Результаты рентгеноспектрального анализа показывают, что многократная обработка импульсами плазмы приводит к трансформации низкоуглеродистой стали ( $\leq 0,25$  % C) в высокоуглеродистую аустенитную ( $> 0,6$  % C) при пятикратном воздействии (таблица). Высокое содержание углерода в железе обеспечивает протекание эвтектического превращения, при котором может быть достигнута высокая степень диспергирования структуры стали. Кроме того, при многократной плазменной обработке обнаружено формирование мартенситной фазы (5-10 импульсов) в небольшом количестве, что также характерно и для процесса аустенизации поверхности материала в результате электронно-лучевого воздействия, когда аустенизированные слои трансформируются в мартенсит за счет

диффузии тепла внутрь матрицы материала. Формирование мартенсита возможно при очень высоких скоростях охлаждения, даже если стали имеют очень низкую способность к закалке [5]. В этом случае аустенит располагается, как правило, по границам реек мартенсита [3]. При этом упрочняемая микроструктура получается мельче, чем при обычной термической обработке, в результате твердость и, как следствие, износостойкость возрастают. Увеличение количества импульсов сопровождается дальнейшим уменьшением процентного содержания железа и соответственно увеличением углерода, что может быть обусловлено фазовыми преобразованиями, формированием аустенитно-мартенситной структуры за счет насыщения углеродом металлической матрицы. Такие фазовые превращения должны сопровождаться упрочнением поверхностного слоя [6].

### **Литература**

1. Ibraev V.M.// Peculiarities of the generation of a plasmoid in a pulsed coaxial accelerator. Journal of Engineering Thermophysics. -V.12. -No.2.-P.183-190
2. Жукешов А.М. Особенности формирования плазменного потока в импульсном ускорителе //Вестник КазГУ. Серия физическая. – 2003.- №3(14).- С.102-105
3. Федорова О.В., Николаенко В.В., Ляшенко В.Н., Васильев В.И. Повышение работоспособности режущего инструмента из быстрорежущей стали Р6М5 методом обработки ВТИП//Тезисы докладов 4-ой Всесоюзной конференции «Взаимодействие излучения, плазменных и электронных потоков с веществом. –Фрунзе. – 1990. – С.152-153.
4. R.G.Song, K. Zhang, G.N.Chen Electron beam surface treatment. Part I: surface hardening of AISI D3 tool steel.//Vacuum. Surface engineering, surface instrumentation and vacuum technology. -69. -2003. -P.513-516
5. Taugir A., Zaigham H., Hashmi F.H., Khan A.Q. //J. Mater. Sci. -1997. -32. -P.465
6. Лященко В.Н., Николаенко В.В., Федорова О.В. (МАТИ им.К.Э.Циолковского (Москва), ФИАЭ им.И.В.Курчатова (Троицк)) Упрочнение отверстий в чугунном поршне методом обработки ВТИП //Тезисы докладов 4-ой Всесоюзной конференции «Взаимодействие излучения, плазменных и электронных потоков с веществом. –Фрунзе. – 1990. – С.140-141

## **ИМПУЛЬСТІК ПЛАЗМАНЫҢ БЕТІНІҢ ТҮРЛЕНУІНДЕГІ БОЛАТТЫҢ ТӨМЕНГІ КӨМІРТЕКТІ ЕРЕКШЕЛІГІНІҢ ҚҰРЫЛЫМЫ**

**Б.М. Ыбраев, Ә.М. Жүкешов, А.Т. Ғабдуллина**

Электронды микроскопия және рентген құрылымдық талдау әдісі негізінде импульсті плазмалық ағын әсерінен кейінгі төменгі көміртекті болат бетінің микро құрылымы зерттелді.

## **STRUCTURAL PECULIARITIES OF LOWCARBONIZED STEEL AT MODIFICATION ITS SURFACE BY PULSED PLASMA**

**B.M. Ibraev, A.M. Zhukeshov, A.T. Gabdullina**

By electronic microscopy and X-ray analyse methods the surface microstructure of lowcarbonized steel after influence of pulse plasma flows was investigated.