

УДК 532.783

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОЩНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Н.В. Камышанченко^{1}, В.А. Беленко¹⁾, И.М. Неклюдов²⁾, В.Б. Юферов²⁾*

¹⁾Белгородский государственный университет

²⁾Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния импульсного облучения электронными пучками на свойства металлических материалов. Установлено, что импульсное электронное воздействие и приводит к повышению микротвёрдости поверхностных слоев сталей X18H10T и Ст. 3, кремнистого железа и меди М1 и изменению механических свойств меди.

В связи с расширением использования атомной энергии, радиоактивных препаратов в различных отраслях промышленности, науки, активным изучением космического пространства, а также созданием материалов с использованием новых технологий, где широко применяются различного рода и мощности радиоактивного воздействия, изучению сущности протекающих при этом физических процессов уделяется серьезное внимание. Известно, что в условиях облучения протекают активные процессы в структуре исследуемых или эксплуатируемых материалах. Важное значение при этом имеют вновь образованные дефекты, перемещения и превращения под влиянием облучения их в новые объединения и пространственные расположения.

Если для объяснения ускорения некоторых превращений под влиянием облучения во многих случаях достаточно привлечения представлений о радиационно-стимулированной диффузии, то во многих случаях требуется проведение экспериментальных работ. Полученные ответы на поставленные и смежные с ними вопросы могут служить действенным основанием для возможных разработок технологических методик.

В настоящее время актуальным направлением развития методов модификации поверхности является обработка с использованием высокоэнергетических электронных пучков. Несмотря на своеобразие радиационного воздействия, процессы, возникающие в приповерхностном слое в различных металлических материалах, обладают рядом общих закономерностей, которые могут быть использованы для объяснения явлений, происходящих в результате воздействия другого рода заряженных частиц.

В зависимости от параметров электронного облучения в обрабатываемом материале могут протекать процессы отжига, закалки из твердого и жидкого состояния, перемешивания в жидкой фазе компонентов, не образующих сплавов в равновесных условиях, образования метастабильных соединений и стеклообразных сплавов [1,2].

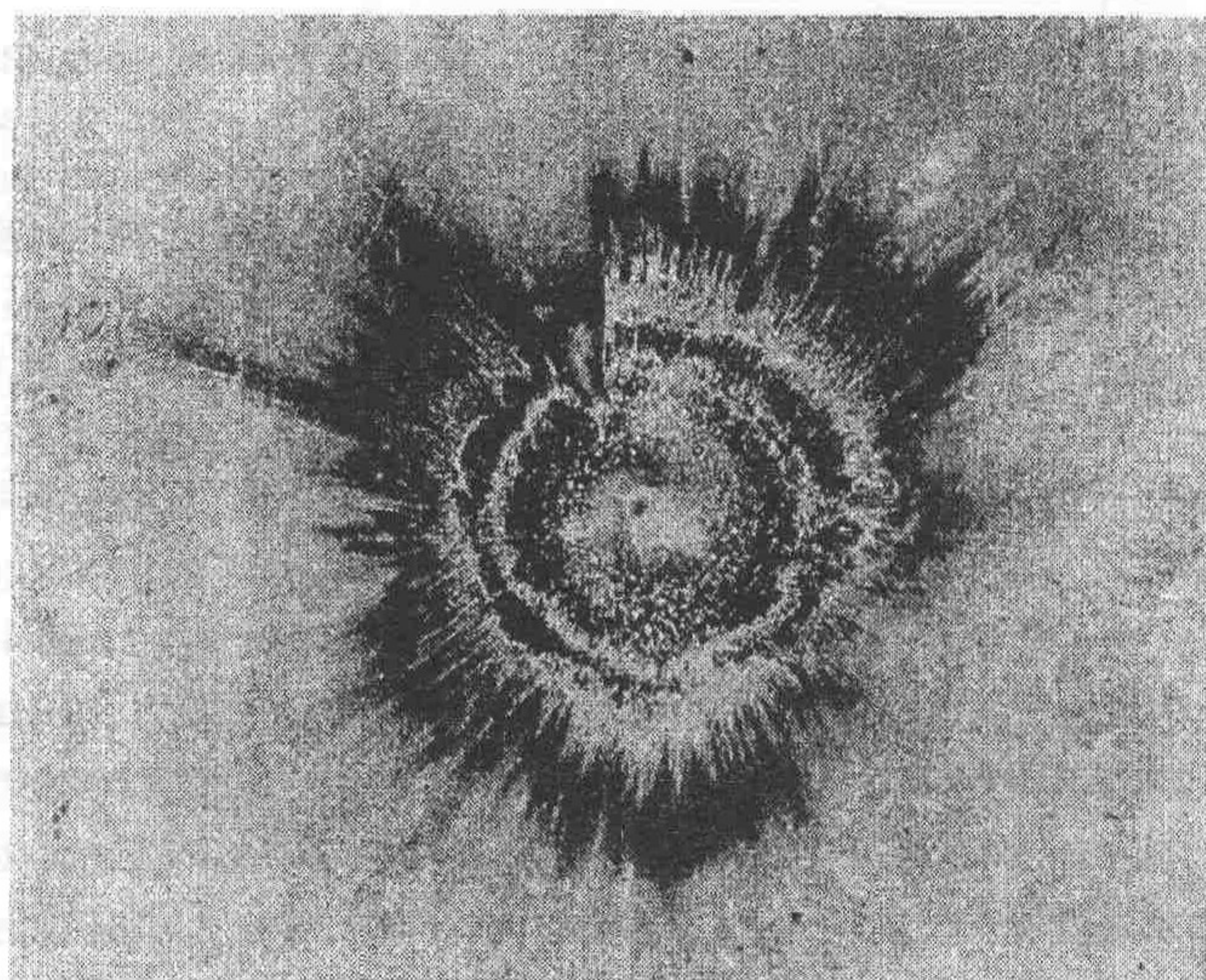
В этой работе представлены результаты исследований свойств материалов, обработанных высокоэнергетическими импульсными электронными потоками. Облучение производили с использованием комплекса импульсных электронных ускорителей ННЦ ХФТИ [3,4].

* E-mail: kamysh@bsu.edu.ru

Для изменения структуры поверхностей используются пучки электронов с энергиями от десятков до нескольких сотен кэВ, с глубиной модифицированного слоя от 5 до 500 мкм и энерговыделениями на уровне 5...50 Дж/см². При этом скорость нагрева для микросекундных пучков может достигать 10⁶...10⁸ К/с, скорость охлаждения – величин 10⁸ К/с [5].

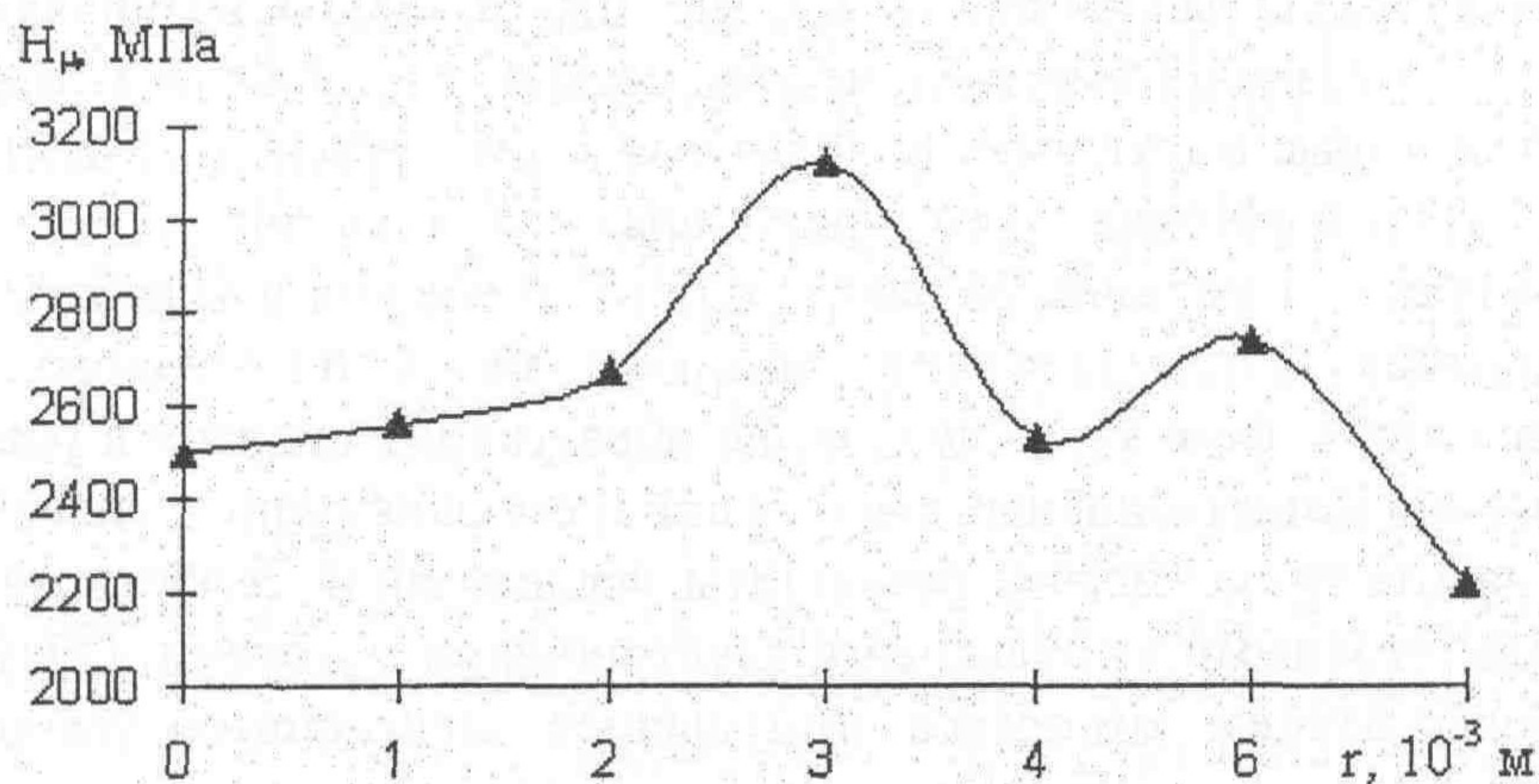
После облучения пучком электронов энергией 300 кэВ и плотностью мощности до 10¹³ Вт/м² образцов стали X18H10T микротвердость в эпицентре облучения составляла 2400 МПа, а в периферийной – 2100 МПа, что примерно соответствует значению микротвердости стали в исходном состоянии.

Под воздействием облучения электронами энергией 300 кэВ и плотностью мощности в центре пучка до 5·10¹⁵ Вт/м² и 10¹³ Вт/м² на периферии, в области воздействия наблюдаются концентрические зоны, отличающиеся цветом и структурой [6] (рис. 1).



Р и с . 1 . Вид поверхности стали X18H10T в зоне воздействия пучка электронов с энергией 300кэВ и плотностью мощности до 5·10¹⁵ Вт/м² (×4)

Микротвердость облученной области поверхности в разных зонах различна. В эпицентре облучения микротвердость составляет ~ 2500 МПа. В радиальном направлении от центра области воздействия пучка электронов микротвердость вначале повышается (до 3100 МПа), а затем снижается до исходного значения (~2100 МПа). При этом отмечается осциллирующий характер зависимости микротвердости в радиальном направлении (рис.2).

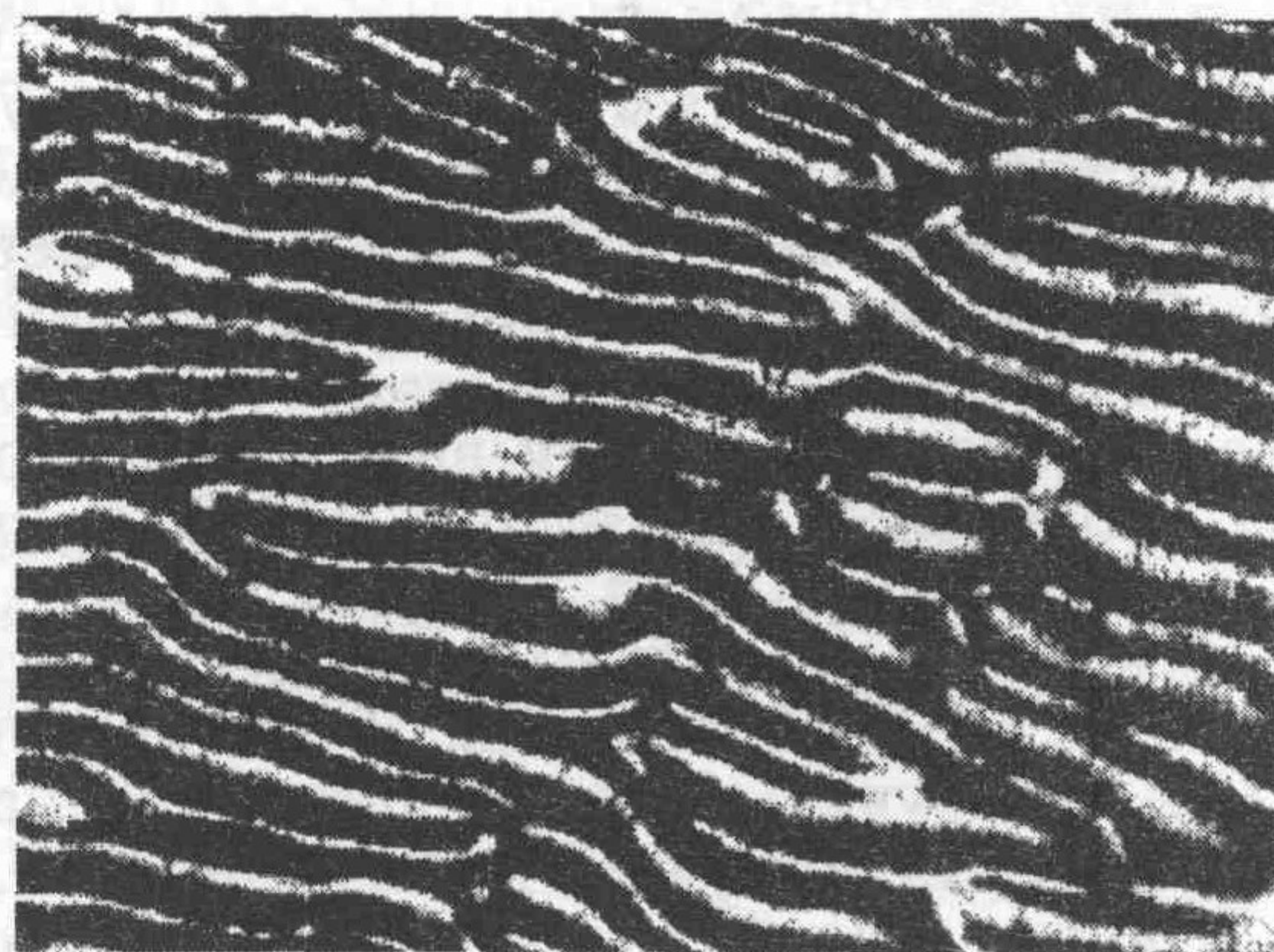


Р и с . 2 . Распределение микротвердости стали X18H10T по поверхности зоны воздействия пучка электронов с энергией 300 кВ и удельной мощности 10¹³..5·10¹⁵ Вт/м². (Начало координат в эпицентре облучения)

Такое распределение микротвердости по поверхности зоны воздействия связано с неравномерностью тепловой мощности в пятне нагрева. В центре зоны воздействия плотность мощности облучения максимальна и составляет $\sim 5 \cdot 10^{15}$ Вт/м² и уменьшается в направлении к периферии до 10^{13} Вт/м². Таким образом, получается, что с увеличением мощности потока энергии микротвердость сначала увеличивается, а затем несколько уменьшается.

Авторами работ [1,8,9] было также показано, что при воздействии мощных импульсных пучков электронов на материалы возрастание плотности энергии облучения приводит к увеличению значения микротвердости материала до определенного предела. Дальнейшее же увеличение мощности воздействия вызывает уменьшение микротвердости.

Это подтверждают и дополнительные исследования, проведенные нами на образцах стали типа Х16Н15М3Б. Образцы были облучены в более жестком режиме, что привело к глубокому проплавлению поверхностных слоев материала. В результате протекания гидродинамических процессов поверхность стала волнистой с поперечными размерами волн (характеризующими глубину оплавления [7]) порядка 10 мкм (рис. 3) и с длиной гребней в несколько сотен микрометров. Такая обработка привела к снижению значения микротвердости поверхности по сравнению с исходным уровнем примерно на 20%.



Р и с . 3 . Структура поверхности нержавеющей стали после импульсного воздействия электронов ($\times 100$)

В табл. 1 приведены результаты измерения микротвердости поверхности других материалов в исходном состоянии и после воздействия потоков электронов с энергией ~ 300 кэВ и удельной мощностью облучения в центре пучка до $5 \cdot 10^{15}$ Вт/м².

Таблица 1

Микротвердость образцов до и после облучения

Материал	H _ц , Мпа	
	Эпицентр	Исходная зона
Ст. 3	2850	1490
Кремнистое железо	2400	1950
Медь М1	760	540

Наряду с исследованиями микротвердости сталей, кремнистого железа и меди, были проведены механические испытания исходных и облученных образцов меди М1. Образцы меди М1 были подвержены импульсному воздействию пучков ускоренных электронов с энергией электронов до 300 кэВ и плотностью мощности $\sim 10^{15}$ Вт/м² при длительности импульса $1,5 \cdot 10^{-6}$ с. Число импульсов изменялось от 1 до 20 на каждую сторону образца. Результаты механических испытаний представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения механических характеристик исходных и облученных образцов меди М1.

Режим облучения	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_s , МПа	δ , %
Без облучения	61	167	49
1 импульс с каждой стороны	55	182	63
10 импульсов с каждой стороны	88	179	47
20 импульсов с каждой стороны	94	179	45

Приведенные в табл. 2 данные показывают, что воздействие большим числом импульсов (10...20) способствует увеличению предела текучести меди (до 50%), предела прочности (до 7%) при незначительном снижении пластичности (в среднем на 6%). Воздействие на поверхность образца меди одного импульса вызывает незначительное снижение предела текучести (до 10%) и увеличение относительного удлинения меди (до 29%).

Таким образом, представленные результаты говорят о существенном влиянии пучков ускоренных электронов на микротвердость поверхности сталей, кремнистого железа, меди и прочностные характеристики меди. Причем эффект влияния зависит от параметров пучка и количества импульсов облучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изменение дефектной структуры и физико-механических свойств α -Fe, облученного сильноточным электронным пучком / А.Д. Погребняк, Р. Ошнер, А. Зекка и др. // Физика и химия обработки материалов. 1996. № 1. С. 29-37.
2. Ягодкин, Ю.Д. Перспективы применения потоков заряженных частиц в инженерии поверхности / Ю.Д. Ягодкин, К.М. Пастухов, С.А. Мубояджан, Д.В. Исмаилов // Металловедение и термическая обработка металлов. 1999. № 7. С. 36-41.
3. Юферов, В.Б. Малогабаритный сверхмощный импульсный электронный усилитель с СВЧ-генератором для облучения - ДИН-2К / В.Б. Юферов, О.С. Друй, В.Г. Артюх, В.Ф. Малец // ВАНТ. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. 1998. Вып. 1(67), 2(68). С. 173-177.
4. Юферов, В.Б. Некоторые применения высоковольтной мощной импульсной техники / В.Б. Юферов, Л.Г. Сороковой, Е.И. и др. // ВАНТ. Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники. ХФТИ, Харьков, 1999. Вып. 2(10). С. 173-177.
5. Неклюдов, И.М. Изменение структуры и твердости материалов под действием импульсных пучков электронов / И.М. Неклюдов, В.Б. Юферов, Н.В. Камышанченко, В.А. Беленко и др. // Тр. XIV Междунар. конф. по физике радиационных явлений и радиационному материаловедению (Алушта, 2000). Харьков, 2000. С. 61-63.
6. Неклюдов, И.М. Влияние воздействия мощных импульсных пучков электронов на структуру и твердость поверхности стали X18Ni10Ti / И.М. Неклюдов, В.Б. Юферов, Н.В. Камышанченко, В.А. Беленко и др. // Научные ведомости БГУ. 2000. № 10(1). С. 45-49.
7. Бондаренко, Г.Г. О поведении алюминиевых материалов, облученных мощными импульсными потоками водородной плазмы / Г.Г. Бондаренко, Я.Я. Удрис, Н.В. Чихарев, В.А. Якушин // Радиационная физика твердого тела. Материалы VII Междунар. совещ. (Севастополь, 1997). М., 1997. С. 138-139.
8. Механизм упрочнения сталей при циклическом воздействии низкоэнергетичным сильноточным электронным пучком / В.И. Итин, И.С. Кашинская, С.В. Лыков и др. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. Вып. 5. С. 89-93.
9. Влияние воздействия электронного сильноточного электронного пучка на прочностные свойства и структуру твердого сплава на основе карбидов вольфрама и титана / Ю.Ф. Иванов, В.П. Ротштейн, П.В. Орлов и др. // Физика и химия обработки материалов. 1999. № 5. С. 26-31.

THE STUDY OF THE INFLUENCE PULSED FLOW ELECTRON ON MECHANICAL PROPERTIES MATERIAL

N.V. Kamyshantchenko¹⁾, V.A. Belenko¹⁾, I.M. Neklyudov²⁾, V.B. Yuferov²⁾

¹⁾Belgorod State University

²⁾National Science Center Kharkov Institute of Physics & Technology

The results of the experimental studies of the influence of the pulsed electronic irradiation on properties metallic material were presented. It is installed that pulsed influence electronic bunch brings about increasing microhardness surface layers of steels Cr18Ni10Ti and St. 3, siliceous ferric and copper M1 and change the mechanical properties copper.