

В связи с изложенным, равномерность распада твердых растворов приводит к созданию в матрице относительно правильного чередования частиц карбидов и интерметаллидов, то есть к образованию как бы микрорешетки из этих вторичных фаз. При таком распаде твердый раствор в процессе температурно-временных циклов под нагрузкой все время остается относительно изотропным и обеспечивает возможность равномерности протекания деформации. Одновременно с этим относительное обеднение твердого раствора легирующими элементами в составе выделяющихся фаз (разупрочнение его) облегчает функцию границ зерен, так как дает возможность течения внутри них [16].

Равномерность распределения первичных фаз и высокая однородность и плотность зарождения вторичных карбидных, интерметаллидных и других фаз – необходимые условия ослабления повреждаемости конструкционных материалов.

Библиографический список

1. Паршин А.М. Структура, прочность и радиационная повреждаемость коррозионностойких сталей и сплавов. – Челябинск: Металлургия, 1988. – 656 с.
2. Parshin A. M. Structure, Strenght and Radiation Damage of Corrosion- Resistant Steels and Alloys. American Nuclear Society. La Grande Park. Illinois USA, 1996. 361 p.
3. Радиационная повреждаемость и свойства сплавов / А. М. Паршин, А. Н. Тихонов, Г. Г. Бондаренко, Н. Б. Кириллов / Под ред. А. М. Паршина и А. Н. Тихонова. – СПб. Политехника, 1995. – 302 с.
4. Хрестоматия и специальные вопросы металлургии / А. М. Паршин, А. Н. Тихонов, Г. Г. Бондаренко, Н. В. Камышанченко, Н. Б. Кириллов, И. Е. Колосов, М. И. Криворук, Г. Н. Теплухин, Ю. В. Шленов / Под ред. А. М. Паршина. А. Н. Тихонова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. – 306 с.
5. Паршин А. М. Структура, прочность и пластичность нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов. применяемых в судостроении. – Л.: Судостроение, 1972. – 228 с.
6. Келли А., Никлсон Р. Дисперсионное твердение / Пер. с англ. под ред. Л. К. Гордиенко и Е. Н. Власовой. – М.: Металлургия, 1966. – 300 с.
7. Паршин А. М., Тихонов А. Н. Коррозия металлов в ядерном энергомашиностроении. – СПб.: Политехника, 1994. – 94 с.
8. Бабаков А. А., Приданцев М. В. Коррозионностойкие стали и сплавы. – М.: Металлургия, 1971. – 320 с.
9. Богоявленский В. Л. Коррозия сталей на АЭС с водным тепло-носителем. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 168 с.
10. Герасимов В. В. Коррозия реакторных материалов. – М.: Атомиздат, 1980. – 254 с.
11. Химушин Ф. Ф. Нержавеющие стали. Изд. 2-е. – М.: Металлургия, 1967. – 798 с.
12. Гуляев А. П. Металловедение. Изд. 6-е. – М.: Металлургия, 1986. – 542 с.
13. Гуляев А. П., Токарева Т. Б. Влияние углерода и никеля на межкристаллитную коррозию аустенитных хромоникелевых нержавеющей сталей // МиТОМ, 1971. № 2. – С. 22–25.
14. Паршин А. М., Васильков Н. Е. Структура, прочность и коррозионная стойкость хромоникелевых мартенситно-старееющих сталей и рациональные области их применения. ЛДНТП. – Л., 1982. – 24 с.
15. Влияние структуры Cr–Mn–N сталей различных композиций на стойкость к общей и локальной коррозии / А. М. Паршин, В. Г. Белецкий, Р. П. Крылова, И. В. Семакин // Защита от коррозии и экология. – Л.: Изд-во ЛКИ, 1988. – С. 74–79.
16. Паршин А. М., Кириллов Н. Б. Повышение работоспособности инструментальных сталей для штампов холодного деформирования. ЛДНТП. – Л., 1990. – 22 с.

УДК 539.211

ВЛИЯНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЩНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПУЧКОВ ЭЛЕКТРОНОВ НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ X18H10T

И. М. Неклюдов, В. Б. Юферов, Н. Д. Рыбальченко, Л. Г. Сороковой, В. Г. Артюх,
О. С. Друй, Е. И. Скибенко, Ю. В. Холод, В. Ф. Малец
ИНЦ Харьковский физико-технический институт
Н. В. Камышанченко, В. А. Беленко
Белгородский государственный университет

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния мощных импульсных электронных пучков на структуру поверхности и твердость нержавеющей стали X18H10T.

Установлено, существенное влияние плотности мощности излучения на структуру стали. Импульсное воздействие мощными пучками электронов приводит к оплавлению поверхности, повышению твердости приповерхностных слоев.

Наряду с традиционными способами повышения прочностных и коррозионных свойств сталей и сплавов путем добавок специальных легирующих элементов при термической и механико-термической обработках в последнее время интенсивно изучаются возможности использования для этих целей воздействия различных ионизирующих излучений. При облучении поверхности твердых тел мощными потоками электронов, ионов, гамма-квантов в них одновременно протекает целый комплекс процессов: высокоскоростной нагрев, оплавление и испарение, выброс плазмы и нейтральных паров с поверхности, генерация динамических напряжений в твердом теле и многое другое. Модификация поверхностно-объемной структуры, состава и соответственно свойств материалов под действием различных видов облучения, таких как лазерное, высокочастотное, электронное, ионное плазменное, интенсивно исследуется [1].

Особый интерес представляют изучение этих процессов и установление возможностей направленной модификации поверхности конструкционных материалов с помощью импульсного воздействия мощных потоков излучений. Применение импульсных высокоплотных потоков частиц и энергии на уровне мощностей 10^5 – 10^{12} Вт/см² и потоков энергии 1...100 Дж/см² и выше позволяет проводить направленное изменение свойств материалов за время в несколько десятков наносекунд, сотен микросекунд или единиц миллисекунд. Огромные скорости нагрева и охлаждения поверхности в случае импульсного облучения может влиять на структуру и свойства поверхностных слоев материала. Например, при лазерном воздействии возможен сверхбыстрый нагрев (до 10^{12} К/с) с последующим быстрым (до 10^{11} К/с) охлаждением [2]. Ионное и плазменное облучения, помимо этого термического эффекта, могут еще и изменять состав материалов за счет ионной имплантации. Импульс-

ное облучение поверхности образцов стали, меди высокоплотными плазменными пучками приводит к существенному изменению структурно-фазового состояния в приповерхностных слоях, к аморфизации, в первую очередь, по границам зерен материала, что способствует заметному повышению предела текучести и снижению относительного удлинения [3,4].

При облучении поверхности твердых тел световыми и электронными компонентами вводимая энергия поглощается вначале электронным газом, за время около 10^{-13} – 10^{-14} с, который так же быстро и выравнивает свою температуру. Электрон-фононное взаимодействие, выравнивающее температуру электронного газа и решетки, происходит за время около 10^{-11} с и меньше. При попадании на поверхность часть энергии и частиц отражается, а остальная поглощается в довольно тонком слое, порядка 10^{-4} см, за исключением электронов и ВЧ-излучения, для которых глубина проникновения зависит от энергии, плотности вещества, частоты и удельного электросопротивления [5]. Для релятивистских электронов глубина пробега может достигать нескольких десятых долей миллиметра и более. Энергия, поглощенная в тонком слое материала, может приводить к его нагреву, плавлению и испарению, в зависимости от условий облучения.

Для модификации 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 наносекундных пучков может достигать 10^9 град/с, а для микросекундных пучков 10^6 – 10^8 град/с и меньше. Скорости охлаждения могут также достигать величин 10^8 град/с. Подтверждением этому служат приведенные в работе [2] расчетные кривые изменения температуры на поверхности образца (рис.1) в процессе действия импульса (а) и после его отключения (б).

Скорость и максимальная температура нагрева определяется подводимой мощностью, длительностью импульса, теплоемкостью материала, а скорость охлаждения образцов – их теплофизическими характеристиками и условиями охлаждения.

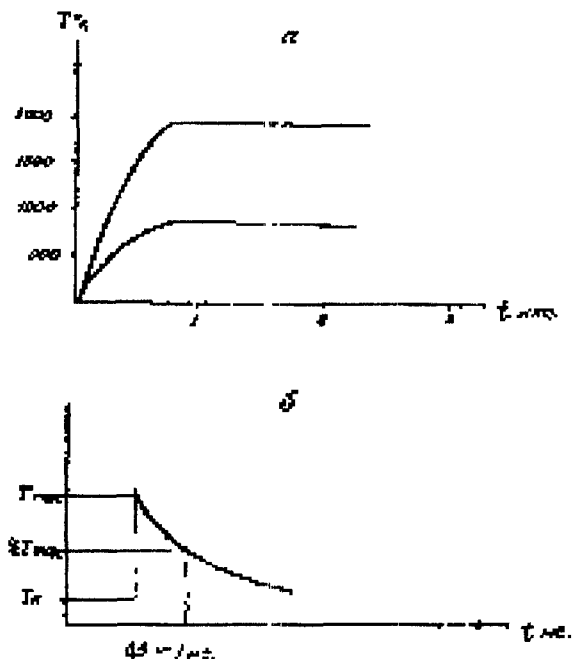


Рис 1 Расчетные зависимости изменения температуры в процессе импульсного воздействия пучка электронов (а) и после его отключения (б).

В настоящем сообщении приводятся результаты исследований влияния импульсных мощных пучков электронов на структуру и микротвердость образцов аустенитной нержавеющей стали X18H10T с использованием комплекса импульсных электронных

ускорителей ННЦ ХФТИ [2,5], позволяющих работать с параметрами электронных пучков, указанных в таблице:

режим работы	ускоряющее напряжение, кВ	ток пучка, кА	длительность импульса, мкс	сечение пучка см ²
I	150 300	10 100	до 1,5	10 100
II	10 40	0,1	100	100

В наших экспериментах облучению в режиме I, указанном в таблице, подвергались пластины аустенитной нержавеющей стали X18H10T в состоянии промышленной поставки, толщиной 0,3 мм. Число импульсов облучения изменялось от 1 до 30. Давление в вакуумной камере в I режиме работы ускорителя составляло $1 \cdot 10^{-5}$ Торр, остаточный газ в основном, до 90%, состоял из водорода.

После воздействия пучка электронов с энергией до 300 КэВ и плотностью мощности до 10 Вт/см на ускорителе ВГИК [5] на поверхности облученной пластины можно выделить две зоны - центральную и периферийную (рис. 2 а). В центральной зоне виден рельеф, напоминающий зеренную структуру с четким выявлением границ (рис.2 б). Внутри зерен имеются кратеры, по-видимому, соответствующие местам локального плавления и испарения металла. В периферийной зоне наблюдаются полосы окисления поверхности металла. Микротвердость в центральной зоне составляет $H_u \approx 240$ кг/мм², в периферийной – $H_u \approx 210$ кг/мм², что примерно соответствует значению микротвердости стали в исходном состоянии.

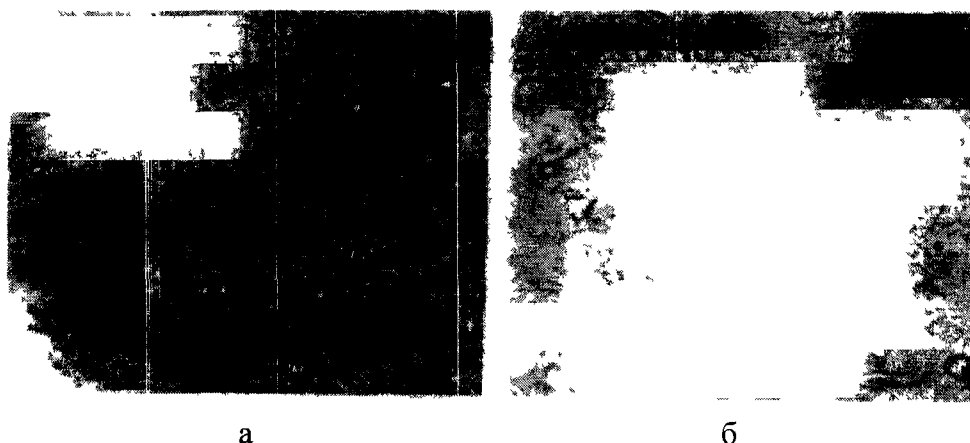


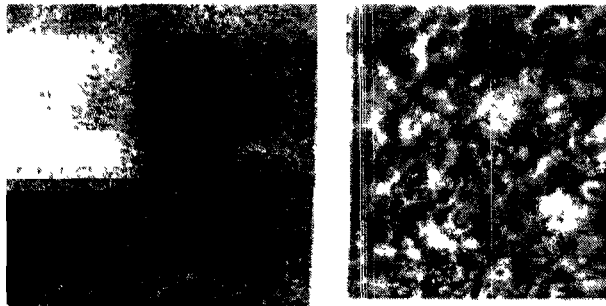
Рис 2 Структура поверхности стали после импульсного воздействия пучка электронов с энергией до 30 КэВ. Увеличение $\times 4$ (а) и $\times 100$ (б).



Р и с . 3 Вид поверхности в зоне воздействия пучка электронов с энергией 300 КэВ и плотностью мощности $5 \cdot 10^{11}$ Вт/см².

На рис. 3 представлены типичные микроструктуры облученных областей поверхности стали пучками электронов с энергией до 300 КэВ и плотностями мощности в центре пучка до $5 \cdot 10^{11}$ Вт/см² и на периферии – до 10^9 Вт/см², полученные на ускорителе ДИН – 2К [6]. Облученная область пластины подвержена сильной пластической деформации. Эпицентр облученной поверхности пластины выгибается на 2-3 мм от исходного положения.

туре концентрических зон, количество которых зависит от параметров воздействующего на поверхность пучка. В центре наблюдается структура, типичная для литого металла с сильной неоднородностью по химическому составу (рис.4 а). Прилежащей к ней зоне характерна структура со значительной степенью испарения с поверхности металла и большой плотностью кратеров (рис.4 б).



Р и с . 4. Микроструктура поверхности, облученной пучками электронов с энергией 300 КэВ.

а - центральная зона;
б - прилежащая к центральной зоне;
в - периферийная зона (x 200).

Подобная структура с кратерами наблюдалась в центральной зоне оплавления при лазерном воздействии на поверхность циркония [6]. В следующих зонах наблюдается высокая плотность кратеров с литой столбчато-дендритной структурой радиальной направленности (рис. 4 в). Далее следует исходная структура деформированной и отожженной нержавеющей стали.

Микротвердость облученной области поверхности в различных зонах различна. Так для области взаимодействия, изображенной на рис. 3 а, микротвердость в центральной зоне составляет ≈ 250 кг/мм², в следующих двух зонах с мелкозернистой структурой и высокой плотностью кратеров H_c возрастает до 312 кг/мм², после чего с удалением от центра снижается до исходного значения. Таким образом в радиальном направлении от центра области взаимодействия пучка электронов с поверхностью микротвёрдость вначале повышается, а затем снижается до исходного значения. При этом отмечается осциллирующий характер

Области воздействия состоят из нескольких отличающихся по цвету и струк-

зависимости микротвердости в радиальном направлении.

На образце с областью взаимодействия, изображенной на рис. 3 б, исследовалась структура и распределение микротвердости по глубине (толщине) облученной пластины. Для этой цели образец был разрезан на электроискровом станке по центру на две половины, из которых изготовлены поперечные шлифы по толщине пластины. Исследовалась микроструктура и производились замеры микротвердости по толщине пластины в центре действующего пучка и по толщине, соответствующей удаленным от центральной зонам. На рис. 5 представлена микроструктура поперечного разреза центральной зоны.

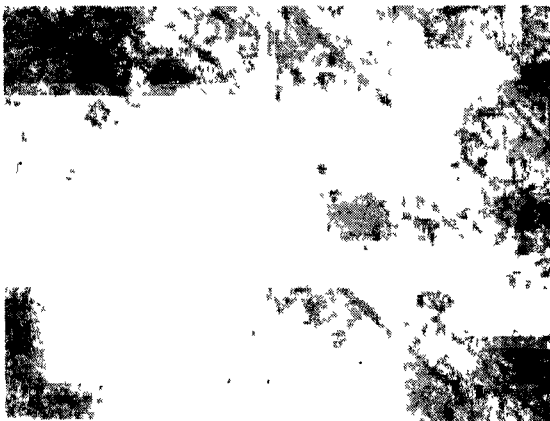


Рис. 5. Структура поперечного разреза образца в центральной зоне пучка (x400).

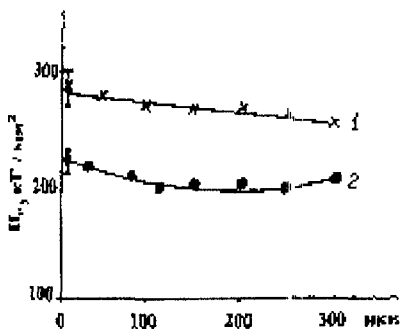


Рис. 6. Изменение микротвердости по толщине образца в центре пучка (1) и в периферийной зоне (2).

Размер зерен в середине пластины примерно вдвое больше, чем размер зерен в приповерхностных слоях. Это указывает на различие температуры по толщине пластины при облучении и разные скорости охлаждения поверхности и объема образца после воздействия пучка электронов. После травления шлифа внутри зерен видны линии скольжения.

Результаты измерений микротвердости по толщине облученной пластины свидетельствуют, что уровень микротвердости по всей толщине образца (~300 мкм) в эпицентре воздействия пучка примерно на 30% выше по сравнению со средним значением микротвердости в периферийной зоне.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о существенном влиянии на структуру поверхности исследуемой стали импульсного воздействия мощных пучков электронов. Эффект влияния определяется величинами плотности мощности, энергии пучка и временем воздействия. Создание устройств с регулируемыми параметрами воздействия позволит направленно изменять поверхностно-объемные свойства материалов и изделий из них.

Библиографический список

1. Месяц Г. А., Проскуровский Д. И., Ротштейн В. П., Лебедева Н. И. Низкоэнергетический импульсный электронный пучок большой плотности для поверхностного нагрева // ДАН СССР, 1983. – Т. 253. – №6. – С. 1383-1386.
2. Юферов В. Б., Скибенко Е. И., Сороковой Л. Г. и др. О возможности использования комплекса импульсного электронного ускорителя для модификации поверхностно-объемных свойств различных материалов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение, 1997 – Вып. 1(66), 2(66) – С. 197-198.
3. Зеленский В. Ф., Неклюдов И. М., Рыбалко В. Ф., Шевченко С. В. и др. Влияние облучения импульсными потоками плазмы на механические свойства аустенитных нержавеющей сталей X16N15M3B и X18N10T. – Харьков: Препринт ХФТИ 89-64, 1989. – 12с.
4. Неклюдов И. М., Камышанченко Н. В., Шевченко С. В., Рыбалко В. Ф. и др. Исследование воздействия ступков водородной плазмы на механические характеристики высокопроводной меди // Научные ведомости БГУ. – Белгород, 1998. № 1(6). – С. 54-67.
5. Юферов В. Б., Сороковой Л. Г., Скибенко Е. И., Холод Ю. В., Муфель Е. В. Некоторые применения высоковольтной мощной импульсной техники. // ВАНТ.с. Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники – ННЦ Харьков, ХФТИ, 1999. – Вып. 2(10). – С. 21-25.
6. Трегубов И. А., Евсеева Л. Н., Масленников С. Б. и др. Влияние лазерного воздействия на структурное состояние и коррозионную стойкость циркониевых сплавов // ФиХОМ, 1986. № 2 С.30-33