

Структура и работоспособность РИ из быстрорежущих сталей после действия ионизирующего излучения

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»*

Приведены результаты экспериментального исследования размера зерна на РИ из быстрорежущих сталей. Показано, что при плотности теплового потока 10^{11} Вт/м², и времени его действия от 10^{-8} до 10^{-6} с и при диаметре луча порядка 10^{-4} м есть возможность получения наноструктур. Эффективность режущего инструмента с наноструктурами повышается до 2,7 раза.

Ключевые слова: размер зерна, быстрорежущие стали, ионизирующее излучение.

Введение

В настоящее время быстрорежущие стали (БС) довольно редко используют в качестве РИ, что связано с относительно невысокой их стойкостью и соответственно незначительным снимаемым объёмом материала за период стойкости. Поэтому применение быстрорежущих сталей существенно сдерживается, но, как показали наши исследования, обобщённые в монографиях [1–3], использование покрытий с наноструктурами на быстрорежущих сталях может существенно повысить их стойкость до твёрдых сплавов и даже выше [5–7].

Работа выполнена в рамках программы Министерства образования и науки Украины «Новые и ресурсосберегающие технологии в энергетике, промышленности и агропромышленном комплексе» (подсекция 13 «Аэрокосмическая техника и транспорт») и по темам: «Создание физико-технических основ повышения качества материалов аэрокосмических конструкций» и «Разработка технологических основ интегрированных технологий плазменно-ионной обработки деталей аэрокосмической техники» (подсекция 6 «Физико-технические проблемы материаловедения»), «Концепция создания наноструктур, нано- и традиционных покрытий с учетом влияния адгезии на эффективность и работоспособность деталей АТ, АД и РИ», «Экспериментально-теоретическое исследование получения наноструктур при действии ионных и светолучевых потоков на конструкционные материалы и РИ», хозяйственных работ и договоров о сотрудничестве.

Состояние вопроса

Исследование эффективности РИ показало, что применение наноструктурных покрытий и слоёв позволит сократить потребность в РИ в 3–5 раз, а значит, не будет необходимо значительное количество легирующих элементов для получения твёрдых сплавов. Всё это создаёт условия для широкого внедрения покрытий и наноструктурных слоёв на РИ из экономных твёрдых сплавов и быстрорежущих сталей [1–7]. Следовательно, проводимые исследования актуальны и своевременны.

Постановка задачи

Задачей исследования было определение размера зерна в модифицированном слое лазерным излучением, а эффективность обработки оценивалась по

возрастанию снимаемого объема материала за период стойкости РИ при получистовом точении специального чугуна.

Результаты экспериментов и расчётов

Проводили экспериментальные исследования действия ионизирующего излучения на быстрорежущие стали. Причём, измеряли размер зерна с помощью растрового электронного микроскопа РЭМ106. Кроме того, проводили расчёты размера зерна по методике [1] с учётом энергии, затрачиваемой на кристаллизацию. Так, на фотографиях (рис.1) показаны исследуемые РИ из быстрорежущих сталей Р6М5 (1), из Р12Ф5М (2) и Р18 (3).

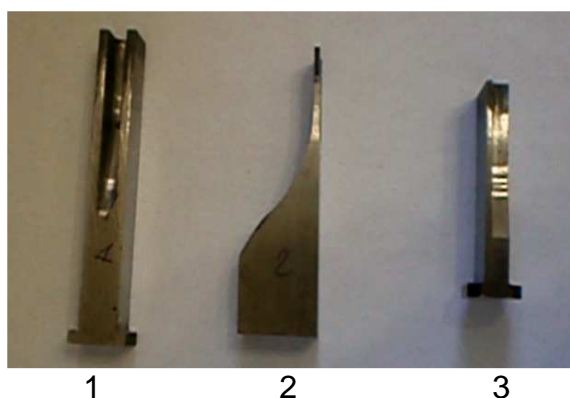


Рис.1. Фотографии режущих инструментов из быстрорежущих сталей:
1 – фасонный резец из Р6М5;
2 – отрезной резец из Р12Ф5М;
3 – фасонный резец из Р18

Для этих же режущих инструментов изображены микрофотографии с размером зерна: рис. 2 – Р6М5, рис. 3 – Р12Ф5М, рис. 4 – Р18. Видно, что для Р6М5 наблюдается максимальный размер зерна (рис. 2), для образца из быстрорежущей стали Р12Ф5М размер зерна значительно меньше, а для Р18 наблюдается минимальный размер зерна, который приближается к наноструктурам.

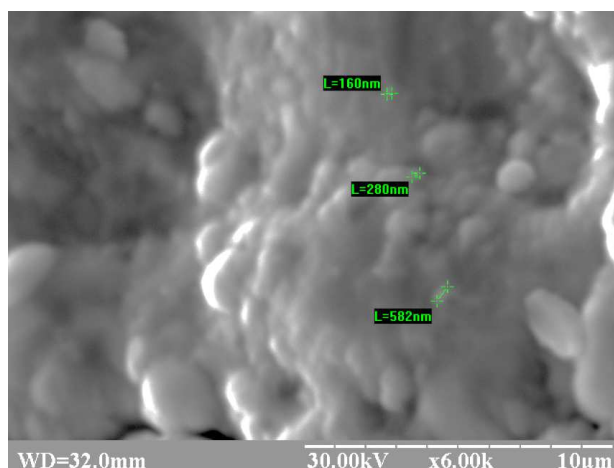


Рис. 2. Микрофотография поверхности РИ из БС Р6М5 после действия ионизирующего излучения с плотностью теплового потока $q = 10^{11}$ Вт/м² и временем действия 10^{-6} с

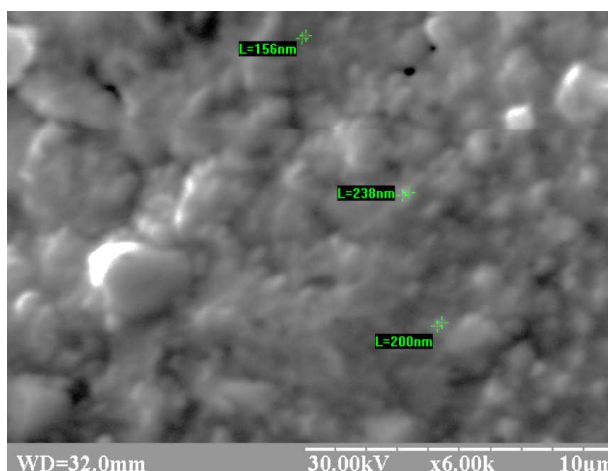


Рис. 3. Микрофотография поверхности РИ из БС Р12Ф5М после действия ионизирующего излучения с плотностью теплового потока $q = 10^{11}$ Вт/м² и временем действия 10^{-7} с

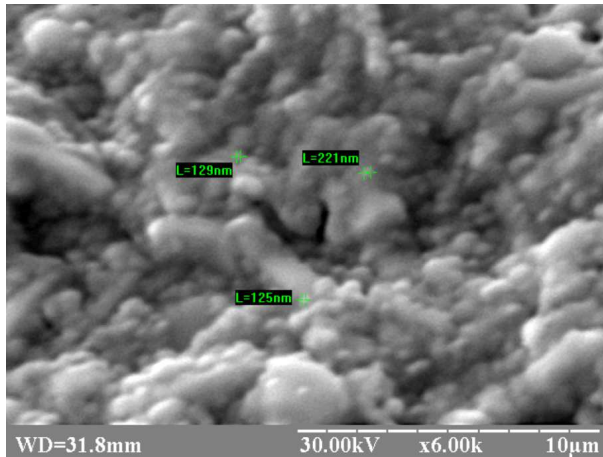


Рис. 4. Микрофотография поверхности РИ из БС Р18 после действия ионизирующего излучения с плотностью теплового потока $q = 10^{11}$ Вт/м² и временем действия 10^{-7} с

Обработка фотографий, показанных на рис. 2–4, позволила построить экспериментальные зависимости размера зерна и объёма зерна от времени действия импульса, время варьировалось от 10^{-7} до 10^{-5} с. Плотность теплового потока составляла 10^{11} Вт/м². Видно, что с ростом времени действия теплового потока увеличивается размер зерна, хотя при малых временах порядка 10^{-7} с размер зерна близок к наноструктурному.

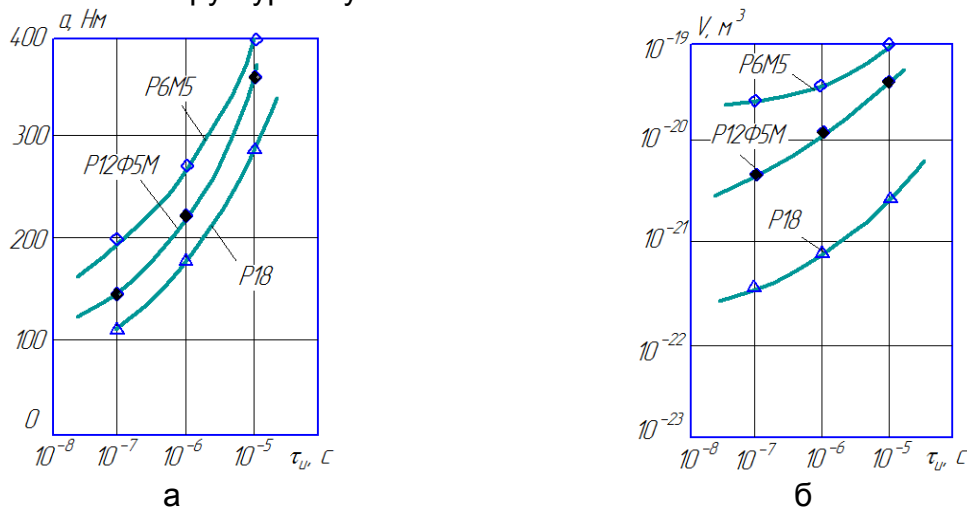


Рис. 5. Экспериментальные зависимости размера зерна (а) и объёма нанокластера (б) от времени действия ионизирующего излучения

Для того, чтобы сопоставить результаты экспериментального и теоретического исследований, были проведены расчёты размера зерна и объёма нанозерна при тех же условиях ($\tau = 10^{-7} \dots 10^{-9}$ с, а $q = 10^{11}$ Вт/м²). Объём зерна растёт гораздо быстрее, чем размер зерна, и изменяется на порядки. Сравнение эксперимента и теории (рис. 6 – пунктирные кривые) показывает, что для случая действия ионизирующего излучения на БС Р6М5 результаты отличаются на 15...20 %, для случая действия ионизирующего излучения на Р12Ф5М отличие теории эксперимента снижается до 7...15%, а для случая действия ИО на Р18 отличие не превышает 5 %.

Проведенные исследования показывают, что теоретическое исследование даёт результаты, близкие к экспериментальным. Это подтверждает адекватность теоретической модели физическим процессам, которые происходят при действии ионизирующего излучения на быстрорежущие стали.

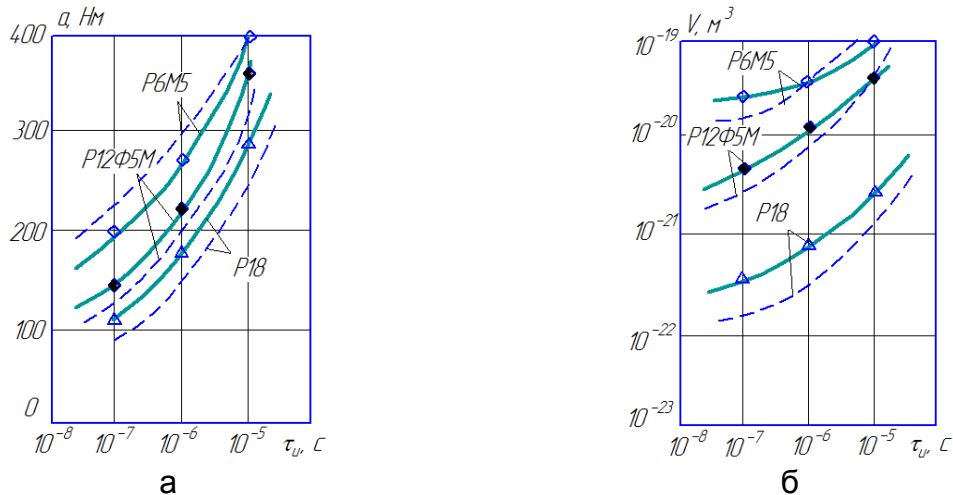


Рис. 6. Сопоставление экспериментальных (сплошные кривые) и теоретических (пунктирные кривые) зависимостей размера зерна (а) и объёма кластера (б) от времени действия ионизирующего излучения для быстрорежущих сталей – P6M5, P12Ф5М и P18

Экспериментальные значения снимаемого объёма материала за период стойкости РИ для малых размеров зерна повышаются в 2,7 раза, а для больших размеров составляет 2 и 1,8 раза.

Выводы

1. Показано, что с ростом времени действия ионизирующего излучения $10^{-7} \dots 10^{-5}$ с размер зерна возрастает, что свидетельствует о необходимости существенного снижения времени действия ионизирующего излучения для получения наноструктурных или субмикроструктурных слоев близких к наноструктурным.
2. Объём нанокластера, полученного в зависимости от времени действия ионизирующего излучения, позволяет определить число частиц в нанокластере и с учётом образованной структуры найти энергию, затрачиваемую на кристаллизацию.
3. Проведенные исследования показывают, что теоретическая модель с учётом энергии, затрачиваемой на кристаллизацию, дает возможность получить теоретические результаты, близкие к экспериментальным, что подтверждает адекватность теоретической модели физическим процессам, которые происходят в зоне действия ионизирующего излучения, и возможность прогнозирования размера и объёма зерна.
4. Показана возможность повышения эффективности обработки снимаемого объёма материала за период стойкости РИ от 1,8 до 2,7 раза (точение специального чугуна), большее увеличение соответствует меньшим размерам зерна.

Список литературы

1. Костюк, Г. И. Нанотехнологии: выбор технологических параметров и установок, производительность обработки, физико-механические характеристики наноструктур [Текст]: моногр. / Г. И. Костюк. – К.: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2014. – 472 с.
2. Костюк, Г. И. Нанотехнологии: теория, эксперимент, техника, перспективы [Текст]: моногр. / Г. И. Костюк. – К.: Изд. центр Междунар. академии наук и ин-

новац. технологій, 2012. – 648 с.

3. Костюк, Г. И. Наноструктуры и нанопокрyтия: перспективы и реальность [Текст]: учеб. пособие / Г. И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2009. – 406 с.

4. Костюк, Г. И. Научные основы создания современных технологий [Текст]: учеб. пособие / Г. И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2008. – 552 с.

5. Костюк, Г. И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий [Текст] / Г. И. Костюк. – К.: Изд-во АИНУ, 2002.– Кн.1: Физические процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий. – 596 с.

6. Костюк, Г. И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий [Текст] / Г. И. Костюк. – К.: Изд-во АИНУ, 2002. – Кн. 2: Справочник для расчета основных физических и технологических параметров, оценки возможностей, выбора типа технологий и оборудования. – 482 с.

7. Костюк, Г. И. Физико-технические основы роботизированного производства [Текст]: учеб. пособие / Г. И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. – 614 с.

8. Костюк, Г. И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем [Текст]: моногр.-справ. / Г. И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. – 633 с.

9. Костюк, Г. И. Эффективность покрытия и модифицированные упрочненные слои на режущих инструментах [Текст] / Г. И. Костюк. – К.: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2012. – 728 с.

Поступила в редакцию 04.09.2015

Структура і працездатність РІ з швидкорізальних сталей після дії іонізуючого випромінювання

Наведено результати експериментального дослідження розміру зерна на РІ з швидкорізальних сталей. Показано, що при щільності теплового потоку 10^{11} Вт/м², часу його дії від 10^{-8} до 10^{-6} с і при діаметрі променя порядку 10^{-4} м є можливість створення наноструктур. Ефективність різального інструменту з наноструктурами підвищується до 2,7 раза.

Ключові слова: розмір зерна, швидкорізальні сталі, іонізуюче випромінювання.

The structure and operation of high-speed steels CN after exposure to ionizing radiation

The results of an experimental study of grain size on the CT of high-speed steels. It is shown that the heat flux density 10^{11} W/m² and time his actions from 10^{-8} to 10^{-6} s and a beam diameter of the order of 10^{-4} m there is a possibility of radiation-nanostructures. The efficiency of the cutting tool, raising the nanostructures is up to 2.7 times.

Keywords: grain size, high-speed steels, ionizing radiation.