УДК 538.911

ДИНАМИКА ДИСЛОКАЦИЙ ПРИ УДАРНО-ВОЛНОВОМ УПРОЧНЕНИИ МАТЕРИАЛОВ: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

А. В. МАРКИДОНОВ
Кузбасский гуманитарно-педагогический институт
Кемеровского государственного университета
Новокузнецк, Россия

Плазменное воздействие на поверхность металлов и сплавов – эффективный метод модификации их физико-механических свойств. В частности, совместно с коллегами из Белорусско-Российского университета исследован процесс упрочнения сталей и сплавов при обработке плазмой тлеющего разряда [1, 2].

При воздействии плазмы на кристалл возможно образование ударных волн. Более того, этот процесс является одним из ключевых механизмов в ряде передовых технологий поверхностного изменения прочности металлов и сплавов [3]. Роль ударных волн в упрочнении связана с комплексом физических явлений, происходящих в материале при экстремально высоких скоростях деформации. В частности, в методе плазменной импульсной обработки поверхность покрывается сублимирующимся материалом, который затем испаряется под действием мощного плазменного потока, что приводит к генерации ударной волны [4].

Упрочняющий эффект является результатом нескольких процессов, инициируемых прохождением ударной волны. Так, ударная волна создает в материале значительные напряжения и скорости деформации (более 10^6 $с^{-1}$), что приводит к массовому зарождению, размножению и интенсивному движению дислокаций. Именно повышение плотности дислокаций и образование сложных дислокационных структур лежит в основе упрочнения. Поэтому понимание физических механизмов упрочнения требует детального исследования поведения дислокаций.

Для изучения этих быстропротекающих процессов, происходящих на атомарном уровне, активно используется метод молекулярной динамики. Поскольку ударная волна проходит через кристалл за пикосекунды и наносекунды, экспериментально отследить поведение отдельных атомов крайне сложно.

В настоящем исследовании выполнен анализ расчётной ячейки, имитирующей ГЦК-кристалл и содержащей краевую дислокацию [5]. Проведенное моделирование показало, что при инициировании ударных волн в расчётной ячейке наблюдается смещение расщеплённой дислокации в направлении источника волнового воздействия. Установлено, что кинетика дислокации определяется девиаторной компонентой тензора напряжений. Результаты компьютерного моделирования свидетельствуют о том, что максимальное нормальное

напряжение фиксируется в момент прохождения фронта ударной волны через расчётную область, тогда как максимум касательного напряжения наблюдается при распространении волны разгрузки. Релаксация касательных напряжений обусловлена миграцией дислокации.

Анализ механизмов пластической деформации и процессов самоорганизации дефектных структур на уровне единичных дефектов не позволяет составить исчерпывающую картину явлений, поэтому необходим переход к более сложным структурным образованиям. Проведённые исследования подтвердили, что ударные волны способны инициировать перемещение не только изолированных краевых дислокаций, но и простейших дислокационных ансамблей [6]. Процесс скольжения при этом характеризуется значительной сложностью и многофакторностью, обусловленными совокупным действием ряда силовых факторов. В ходе скольжения зафиксировано уменьшение ширины расщепленных дислокаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние плазменной обработки на структуру и свойства твердого сплава ВК10 / О. В. Обидина, В. М. Шеменков, Ф. М. Трухачев, А. В. Маркидонов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2015. – № 4 (12). – С. 482–487.

2. Влияние плазменной обработки на структуру и свойства быстрорежущих сталей Р6М5 и S390 / О. В. Обидина, В. М. Шеменков, А. Э. Липский [и др.] // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2016. – № 4 (13). – С. 522–529.

3. Изменения механических свойств и текстуры поверхности сплавов на основе меди под действием импульсных радиационно-термических и ударно-волновых нагрузок, создаваемых в установке плазменный фокус / И. В. Боровицкая, В. Н. Пименов, С. А. Масляев [и др.] // Взаимодействие излучений с твердым телом : материалы 14 Междунар. конф., посвящ. 100-летию Бел. гос. ун-та. – Мн., 2021. – С. 141–145.

4. Теплофизические особенности процесса импульсной плазменной обработки сталей / И. Х. Исрафилов, А. Т. Галиакбаров, А. Т. Габдрахманов, А. Д. Самигуллин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – № 6-1. – С. 253–260.

5. Высокоскоростной массоперенос в двухмерном кристалле никеля при наличии дислокационных петель различной локальной плотности / М. Д. Старостенков, А. В. Маркидонов, Т. А. Тихонова, Н. Н. Медведев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2009. – № 6. – С. 57–60.

6. Перемещение дислокационных ансамблей в ГЦК кристалле при высокоэнергетическом внешнем воздействии / А. В. Маркидонов, М. Д. Старостенков, П. В. Захаров, О. В. Обидина // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2015. – № 3 (12). – С. 373–381.