

ДИНАМИКА МЕТАЛЛОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ИНТЕНСИВНЫХ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ¹

Н.Б. Волков^{1,2}, Е.А. Жукова¹, Н.Д. Кундикова^{1,2}, А.Я. Лейви¹, А.Е. Майер²,
В.С. Седой³, К.А. Талала², Е.Л. Фенько¹, Н.А. Яворовский⁴, А.П. Яловец^{1,2}

¹*Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург*

²*Южно-Уральский государственный университет, Челябинск*

³*Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск*

⁴*Томский политехнический университет, Томск*

Взаимодействие интенсивных потоков электромагнитной энергии с металлом нелинейно и зависит от его микроструктуры и длительности воздействия τ_b . При $\tau_b \leq \tau_e \sim 10^{-12}$ с, где τ_e - время установления равновесия между электронной и ионной компонентами, в металле возбуждается неравновесное состояние, представляющее собой при $\tau_e \gg \tau_b \gg \tau_p \sim 10^{-14}$ с (τ_p - время установления равновесия в каждой из компонент) неизотермическую плазму твердотельной плотности с температурой электронов $T_e \gg T_i$ (T_i - температура решетки (ионов)).

Для изучения динамики металла при $\tau_b \gg \tau_p$ предлагаются одно- и двухтемпературные модели, включающие в себя термодинамические функции и транспортные коэффициенты, справедливые как в области конденсированного состояния, так и в области идеальной плазмы. Выражения для транспортных коэффициентов учитывают также рассеяние электронов на дефектах и границах зерен. Для исследования динамики металла, облучаемого интенсивными электронными пучками субнано- и пикосекундной длительности, а также – субпико- и фемтосекундным лазерным излучением, предлагаются модели, согласно которым медленные возмущения рассматриваются в гидродинамическом, а быстрые (коллективные) возмущения - в кинетическом приближении с учетом трансляционных и клиновых дислокаций (клиновые дислокации всегда присутствуют в области тройных стыков границ зерен размером $d \leq 100$ нм).

Проанализированы условия нагрева металлического проводника электрическим током в зависимости от его длительности. Показано, что даже в идеализированном случае бесструктурного проводника его нагрев импульсным электрическим током неоднороден. Установлено также, что в случае однородного по сечению и длине жидкометаллического проводника с током, развивающаяся в нем конвективная магнитогидродинамическая неустойчивость приводит к образованию гидродинамических и токовых вихревых структур, которые ответственны, по крайней мере, за диспергирование проводника на частицы размером порядка диаметра, и локализацию электромагнитной энергии.

Формирование наночастиц при электрическом взрыве поликристаллического металлического проводника с размером зерна $d \leq 100$ нм рассматривается в рамках механики сплошных сред с микроструктурой. Получены условия разрушения проводника в результате локализации электромагнитной энергии в области межзеренных границ. Разлет продуктов взрыва (капель и пара) в буферный газ рассматривается в рамках гидродинамики гетерогенных сред (ГГС) с учетом коагуляции растущих частиц при столкновениях в зоне интенсивного перемешивания продуктов взрыва с газом. Учтены также процессы зарождения капель из пара, испарения и конденсации, силы трения дисперсионной и дисперсной фаз, работа этих сил, а также теплообмен между фазами.

В рамках предложенных моделей проведено компьютерное моделирование динамики облучаемых пучками заряженных частиц металлических мишеней и их границ в зависимости от длительности облучения, а также проведено сравнение с экспериментом. Проведено также численное моделирование динамики продуктов электрического взрыва медной проволоочки с размером кристаллитов $d \sim 68$ нм в предположении, что разрушение проводника произошло в результате локализации электромагнитной энергии в области межзеренных границ. Полученные в результате компьютерного эксперимента распределения частиц по размерам качественно и количественно согласуются с экспериментом.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (госконтракт №02.513.11.3127), ИНТАС (проект №06-1000013-8949), РФФИ (проект №06-08-00355), РФФИ-Урал (проект №07-08-96032) и Президиума УрО РАН в рамках целевой программы поддержки междисциплинарных исследований, выполняемых совместно учеными УрО, СО и ДВО РАН.