

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ, ИНДУЦИРУЕМЫЕ ВЫСОКИМ КОНТАКТНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАНОИНДЕНТИРОВАНИИ

Головин Ю. И., Коренков В. В.

Тамбовский государственный университет, г. Тамбов, Россия

golovin@tsu.tmb.ru

Во многих реальных наноконтактных процессах, таких как сухое трение, абразивный износ, тонкая механическая обработка (полировка, шлифовка и т. д.) высокие давления в элементарном пятне контакта способны инициировать фазовые превращения, влияние которых на механические свойства материалов в субмикрообъемах может оказаться весьма существенным. Так как свойства материала в микрообъемах во многом отличаются от получаемых в макроиспытаниях, то наноиндентирование является практически эксклюзивным способом моделирования таких процессов и количественной оценки механических свойств в микро- и нанообъемах.

В работе представлены результаты исследования структурных фазовых превращений под индентором в материалах с различной исходной структурой: ковалентных кристаллах (Si), трансформационно упрочняемых керамиках (ZrO_2+MgO и $ZrO_2+Y_2O_3$) и интерметаллидах (TiNi). Показано, что дилатометрический эффект при фазовых переходах в сильно локализованной области вблизи кончика индентора во всех материалах проявляется в образовании ступеньки на кривой нагружения («pop-in») или резком изменении наклона кривой разгрузки отпечатка («elbow»). Определены критерии, позволяющие надежно отделить скачки, определяемые фазовыми превращениями под индентором, от скачков, вызываемых другими видами неустойчивой деформации при индентировании – началом пластического течения материала, деформационным старением, генерацией локализованных полос сдвига, образованием и ростом микротрещин. Разработана методика многоциклового нагружения отпечатка с возрастающей от цикла к циклу предельной нагрузкой на индентор, позволяющая получать дополнительную информацию о параметрах фазового превращения из анализа линейных размеров, формы и площади петель гистерезиса, образующихся между кривыми повторного нагружения и разгрузки.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что параметры фазовых переходов в условиях сильной локализации деформации в микрообъемах существенно отличаются от получаемых при макроскопических испытаниях. Так, время полного выхода мартенситной фазы в отпечатке, размер которого меньше зерна исходной структуры циркониевой керамики $ZrO_2+Y_2O_3$, на три порядка величины меньше, чем в макроскопических образцах той же структуры. В сплаве TiNi при высоких скоростях нагружения давление, при котором происходит прямой мартенситный переход, в три раза выше чем при гидростатическом сжатии, но по мере приближения условий нагружения к квазистационарным, эта разница уменьшается до 25 – 30%.

В целом, полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения наноиндентирования для исследования фазовых превращений в пятнах контакта реальных трибологических и других наноконтактных процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант № 04-02-17198) и Министерства Образования РФ (грант в области естественных наук № Е02-3.4-263).