

## НЕЛИНЕЙНО-КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗМЕНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ (ЭФФЕКТ РЕБИНДЕРА) ПРИ КОНТАКТЕ С ЖИДКОЙ СРЕДОЙ

Корниенко Н. Е.

*Киевский национальный университет им. Т.Шевченко, Киев, Украина*  
[nikkom@univ.kiev.ua](mailto:nikkom@univ.kiev.ua)

Давно известны явления облегчения пластического деформирования, возникновения хрупкости металлов и мезо- и нанодиспергирования материала под действием металлических расплавов, например, превращения монокристаллов цинка и олова в поликристаллы под действием жидкого галлия. Этот круг явлений и процессов известен под названием эффекта Ребиндера (диплом на открытие № 28). Были попытки обосновать эти явления термодинамически, в том числе, на основе явления адсорбции и внедрения жидкой фазы по границам зерен поликристаллов, понижения поверхностной энергии, в том числе, с учетом запасенной упругой энергии, связанной с усилением дислокационной структуры вещества при механической обработке. Неадекватность такого подхода связана с неучетом современных представлений о квантовых свойствах твердых тел и развитой нами современной теории процессов плавления и растворения, использованием поверхностного натяжения  $\sigma$  для нанообъектов. Противоречивость подхода выражается в поиске какого-либо специфического механизма превращения упругой энергии дислокационной сетки в поверхностную энергию, рассмотрением роста  $\sigma$  для наносистем, а также тем, что дислокационная сетка скорее упрочняет, а не ослабляет материал.

Одним из механизмов диспергирования рассматривалось растворение и объединение растворенных атомов и молекул в дисперсных частицах. Роль жидкости при этом связывалась с ростом в ней скорости диффузии на много порядков по сравнению с твердым телом. Для слонстых тел, например, бентонитовых глин, диспергирование связывалось с тепловым возбуждением акустических волн и превышением в области изгиба предела прочности материала. Хотя, в целом, правильно указывалось, что отщепление коллоидных частиц от поверхности материала осуществляется под действием тепловых колебаний, более правильно говорить о колебательно индуцированном, а не самопроизвольном диспергировании. Несмотря на множество работ в этом направлении, до настоящего времени не указаны фундаментальные причины изменения прочности и пластичности твердых тел при контакте с жидкими средами, что широко используется в технологических процессах. В целом, классический термодинамический подход с использованием феноменологических величин является ограниченным и временным.

На основе обобщения огромного экспериментального материала и, в первую очередь, наиболее однозначно интерпретируемых спектроскопических данных, нами развивается существенно новый подход в физике структурообразования в конденсированном состоянии вещества. Фактически речь идет о создании нелинейно-квантовой макрофизики (НКМ), которая является дальнейшим развитием и обобщением квантовой механики, физики нелинейных волновых явлений и твердого тела, термодинамики и может быть основой современного материаловедения. В настоящем докладе рассматриваются примененные НКМ к проблеме изменения механических свойств и диспергирования твердых материалов при контакте с жидкой средой. Используемый подход основывается на рассмотрении новых сложных квантовых закономерностей в многочастичных системах и эффектов сильного фонон-электронного взаимодействия и установ-

лении коллективно-квантового характера наблюдаемых макроскопических величин и важной роли нелинейных резонансных взаимодействий колебательных мод твердых тел. Нелинейно-квантовый характер анализируемых процессов доказывается установлением единства процессов плавления и растворения, связанных с возбуждением высших колебательных состояний и их взаимодействием с электронными состояниями и перестройкой последних, что связано с изменением структуры веществ и их механических свойств (пластичности и хрупкости).

Возбуждение обертонов и суммарных тонов колебательных мод происходит в результате нелинейного резонансного взаимодействия акустических и оптических фононов, что прямо доказано спектроскопически и корреляцией теплот фазовых переходов 1-го рода с энергиями оптических фононов. Колебательно индуцированное изменение квантовых электронных свойств веществ доказывается сильным изменением интенсивностей полос высших колебательных мод и наблюдением новых электронных полос в ряде диэлектриков и жидких сред. Важность нелинейных волновых взаимодействий связана с повышенной нелинейностью жидкостей и смесей веществ (особенно вблизи эвтектических концентраций), а также дисперсных сред в результате неоднородности их структуры и значительной части поверхностных атомов с повышенной агармоничностью связей. В результате высокой нелинейности и перестройки квантовых электронных состояний, что аналогично процессам плавления, пластическая деформация возможна при небольших сдвиговых деформациях, а разрушение твердого тела – при напряжениях меньших предела пластичности и прочности в сотни раз.

С использованием методов спектроскопии изображений в ближней ИК области (0,8–1,7 мкм) доказана пространственная неоднородность воды и некоторых водных растворов электролитов. Это позволило рассмотреть общую проблему неоднородного пространственного упорядочения и одновременного существования нескольких квантовых состояний веществ, которые ранее предполагались однородными. Эффективные нелинейные взаимодействия термически возбужденных колебательных мод и индуцированные изменения электронных состояний приводят к колебательной неустойчивости однородного пространственного состояния вещества. Это позволяет понять превращение моно- и поликристаллических твердых тел без внешних механических напряжений в дисперсные системы, в которых зерна твердой фазы разделены тонкими жидкими прослойками. Диспергирование вещества является, по сути, колебательно индуцированным электронным переходом для системы твердое тело–жидкость. Наглядно диспергирование веществ можно объяснить энергетически более выгодным упорядочением вещества при отсутствии далекого порядка. В пользу нелинейного механизма свидетельствует повышение скорости структурных превращений при усилении деформации структуры и ростом температуры. Деформация структуры приводит к росту эффективной нелинейности среды, а повышение температуры вызывает рост интенсивности взаимодействующих колебательных мод.

Важность рассматриваемой проблематики связана с использованием изменения прочности и пластичности материалов в различных технологических процессах. Можно надеяться, что раскрытие фундаментальных механизмов таких изменений позволит более полно использовать их на практике. В фундаментальном плане к проблеме изменения прочности и диспергирования твердых тел близки проблемы расслоения растворов жидкостей, неоднородного распределения вещества в критической области и использования критических химических технологий.