

## ПАМЯТИ УЧЕНОГО

### ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ НАЙДИЧ



Наука Украины понесла тяжелую утрату: 11 марта 2019 года перестало биться сердце выдающегося ученого — Юрия Владимировича Найдича.

Юрий Владимирович Найдич, академик, профессор, доктор технических наук Национальной Академии наук Украины, широко известный мировой научной общественности как материаловед, специалист в области физической химии межфазных адгезионных процессов в металлических расплавах.

Ю. В. Найдич родился 6 августа 1929 в городе Харькове. В 1953 году окончил Киевский политехнический институт, получил специальность инженера-металлофизика. С 1964 г. руководил созданным в Институте проблем материаловедения НАН Украины отделом контактных явлений и пайки неметаллических материалов. С 1988 г. — академик НАН Украины. Автор более 800 научных статей, патентов и 12 монографий. Результаты его исследований широко используются и цитируются в научной периодике. Найдич Ю. В. был награжден орденом Трудового Красного Знамени (1986), князя Ярослава Мудрого V ст. (2003).

Много сил и времени Ю. В. Найдич уделял научно-организационной деятельности: в течение многих лет он был заместителем академика-секретаря Отделения физико-технических проблем материаловедения НАН Украины, главой Научного координационного совета по проблеме “Поверхностные явления в расплавах и контактирующих с ними твердых фазах”, а также главным редактором периодического сборника “Адгезия расплавов и пайка материалов”, который издается с 1976 года.

Среди его учеников и воспитанников 40 докторов и кандидатов наук. Активная педагогическая деятельность Ю. В. Найдича включала чтение лекционных курсов на физическом факультете Киевского Национального университета имени Тараса Шевченко.

Он был организатором и председателем более 10 Всесоюзных научных конференций, школ молодых ученых и семинаров (в Советском Союзе и в Украине), а также серии международных конференций “Высокотемпературная капиллярность — НТС (High Temperature Capillarity)”, посвященных проблемам смачивания и взаимодействия неметаллических материалов с металлическими расплавами. НТС периодически проводит свою работу начиная с 1994 года.

Многие исследователи, так или иначе, изучали поверхностные процессы в жидкостях. Решающий шаг был сделан Т. Юнгом, который в 1804 году сформулировал положение о постоянстве краевого угла смачивания для данной комбинации твердого тела, жидкости и газовой фазы и привел уравнение, связывающее угол смачивания с энергией межфазных поверхностей на границах раздела твердое тело—газ, твердое тело—жидкость и жидкость—газ.

Изучение поверхностных, капиллярных и адгезионных свойств при высоких температурах с участием расплавов металлов и для систем, где протекают межфазные химические реакции, представляет более сложную задачу и является самостоятельной специальной научной дисциплиной, часто называемой *высокотемпературной капиллярностью*. Именно этой областью исследований занимался профессор Найдич Ю. В. Высокотемпературная капиллярность является важной в процессах формирования новых материалов — спекании, пропитке, пайке разнородных материалов, получении микро- и макрокомпозитов, нанесении адгезионных покрытий. Результаты таких исследований важны в традиционных материаловедческих направлениях: металлургии, кристаллизации слитков и очистке стали *от неметаллических включений, выращивании монокристаллов*. Вместе с тем результаты таких исследований являются по существу основой в новом материаловедческом направлении — нанотехнологии и получении наноматериалов, поскольку физическая причина специфических свойств нанообъектов та же, что и для поверхностных явлений вообще — избыточная энергия поверхностных атомов, обусловленная отсутствием части соседей на поверхности по сравнению с атомами в объеме фазы.

Большое внимание Ю. В. Найдич уделял, прежде всего, методическим вопросам. Существенно усовершенствованы и созданы новые методики измерения контактного угла смачивания и поверхностного натяжения металлических расплавов. Разработан метод “большой капли”, позволяющий довести точность измерения поверхностного натяжения до

значений ошибки ~0,3—0,5%. Была создана автоматизированная телеизмерительная компьютеризованная система для определения капиллярных характеристик расплавов. Разработана методика измерения контактного угла смачивания методом лежащей капли с применением капиллярной очистки расплава капли в процессе эксперимента. Создана аппаратура кинематографии для измерения кинетики растекания расплава по твердым поверхностям со скоростью 5000 кадров/с.

Найдичем Ю. В. вместе с сотрудниками впервые измерено поверхностное натяжение многих тугоплавких металлов, двойных и тройных сплавов.

Большое внимание Найдич Ю. В. уделял изучению смачивания металлическими расплавами различных типов твердых тел (ионных, ковалентных, металлических). Всего было исследовано более полутора тысяч контактных систем. В частности, изучено смачивание алмазов (впервые), оксидов, фторидов (впервые), карбидов, боридов, нитридов, перовскитных материалов (титанат бария и др.). Это, прежде всего, легирование инертных металлов жидкой фазы адгезионно-активными добавками. Были предложены и исследованы два типа добавок.

Первый тип — традиционные, обладающие высоким химическим сродством к одному или нескольким компонентам химического соединения (твердой фазы). Это "универсальные добавки". В качестве адгезионно-активных добавок используются, например, титан, ниобий для смачивания тугоплавких оксидов, нитридов, карбидов. Смачивание улучшается с ростом концентрации активной добавки и температуры.

При исследовании смачивания металлическими расплавами фторидов щелочно-земельных металлов установлено, что даже при больших концентрациях добавок (до 50—80% (мас.) Ti, Zr, Hf, Nb) расплав металла не смачивает твердое вещество при температурах выше 1000 °С. Кроме того, наблюдается резко выраженное явление десмачивания. Несмачивание фторидов титансодержащими расплавами обусловлено образованием летучих продуктов взаимодействия титана и фтора (TiF<sub>3</sub>), которые создают газовую прослойку между твердым телом и жидкостью. Таким образом, найден уникальный огнеупор для плавки, гомогенизации, отливки сплавов, содержащих высокоагрессивные металлы, такие как Ti, Zr, Hf, Nb и др.

Второй тип адгезионно-активных добавок — элементы, имеющие высокое сродство к электрону — кислород, сера, хлор, сложные анионы и др. Эти добавки увеличивают смачиваемость металлическими расплавами ионных соединений. Результаты по смачиванию медьсодержащими расплавами, например, тугоплавких оксидов на воздухе и в среде кислорода показали, что смачивание улучшается с увеличением парциального давления кислорода. Это объясняется растворением кислорода в меди и образованием на контактной границе оксид—расплав переходного слоя из оксидов меди. Результаты по смачиванию позволили разработать металлокислородную технологию пайки оксидной керамики.

Проведенное обобщение и анализ полученных результатов позволили Найдичу Ю. В. создать теоретические основы процессов смачивания и адгезии.

Контактные системы подразделяются на термодинамически неравновесные (реакционные), где химические потенциалы компонентов не равны:  $\mu_{\text{тв}}^i \neq \mu_{\text{ж}}^i$ , и равновесные, где химические потенциалы одинаковые (предполагается также равенство температур и давлений в каждой фазе).

Общая работа адгезии складывается из двух термов:

$$W_A = W_{A \text{ неравн}} + W_{A \text{ равн}},$$

где  $W_{A \text{ неравн}} = f(\mu_{\text{тв}}^i \neq \mu_{\text{ж}}^i)$ ;  $W_{A \text{ равн}} = \Psi(p_1 - p_2)$ ;  $p_1 - p_2$  — различие физико-химических свойств контактирующих фаз.

Высокая степень смачиваемости твердых тел жидкими металлами реализуется в неравновесных контактных системах, то есть в системах, где протекает достаточно интенсивное химическое взаимодействие, межфазная реакция. Изменение свободной энергии системы при такой реакции  $\Delta G$  дает непосредственно вклад в работу адгезии. Это трактовка явлений смачивания и адгезии на основе термодинамического подхода.

В последнее время Ю. В. Найдичем было развито представление о смачиваемости и контактном взаимодействии на атомно-электронном уровне, учитывающее электронное строение атомов и особенности строения  $d$ -электронных орбиталей. Это позволяет понять механизм межфазного взаимодействия, что особенно интересно при контакте веществ с существенно различным типом межатомных связей (металл-ионное соединение).

В перспективе Ю. В. Найдич планировал продолжить развитие теории адгезионного взаимодействия неметаллических неорганических материалов с металлами на атомно-электронном уровне. Расчеты энергии адгезионно-химических связей металл—неметалл проводятся несколькими научными школами (группа V. Finis'a в Великобритании — Кембридж наиболее успешно занимается этими вычислениями), но они получают значения адгезии, все-таки далекие от экспериментальных данных (хотя в пределах согласования по порядку величин). К настоящему времени, к сожалению, практически нет связи “вычислителей” и “экспериментаторов” и работы ведутся параллельно, почти не пересекаясь. Найдич Ю. В. считал возможным создание *мезотеории* адгезионной связи (“ab initio calculations) с термодинамическим подходом к трактовке межфазного взаимодействия с привлечением данных об электронном строении металлов и, например, ионных соединений. Некоторые шаги в этом направлении им уже были сделаны. Он считал, что в настоящее время является важной углубленная трактовка строения самой поверхности твердых фаз (граница раздела твердое тело—газ) с учетом релаксации поверхностных атомов и поверхностной кристаллической структуры и симметрии на поверхности.

Найдич Ю. В. провел критический анализ выполненных весьма немногочисленных работ по экспериментальным методам определения поверхностной энергии твердого тела (жесткое, недеформируемое твердое тело) на границе с газом и жидкостями. Ранние работы школы W. D. Kingery, W. D. Kaplan и самые последние исследования израильских ученых в этом направлении страдают существенным недостатком — нет

уверенности в установлении термодинамического равновесия контактной системы. Он считал, что определение поверхностной энергии твердых тел является сегодня камнем преткновения в науке о поверхности.

Найдич Ю. В. много времени посвящал практическому использованию полученных результатов. Для соединения керамики с металлом методом адгезионно-активной пайки сплавы должны содержать активные адгезионные элементы — Ti, Zr, Nb и другие. Эти металлы характеризуются высоким химическим сродством к кислороду, азоту, сере и другим неметаллическим атомам. Поэтому технологический процесс должен выполняться в высоком вакууме ( $10^{-3}$ — $10^{-4}$  Па) или в газовой среде (гелий, аргон высокой чистоты).

Многие разработки доведены до промышленного использования: паяные соединения кварцевого стекла для СВЧ-техники, оптики, космической техники. Керамико-металлические паяные соединения разных конструкций с повышенной температурой эксплуатации (до 1000—1600 °С) используются в электронике, в ускорителях электронов и протонов, в ядерных реакторах, космической технике. Разработаны технологии пайки сегнетоэлектрических материалов (титанат бария и др.), технология и получение паяных окон, оптически и инфракрасно-прозрачных для специальных криогенных и газоразрядных приборов.

Ю. В. Найдич особое внимание уделял изучению смачивания сверхтвердых материалов (алмаза и кубического нитрида бора) металлическими расплавами и получению специального инструмента: алмазно-металлических композитов, металлизированных алмазных порошков и алмазных инструментов для обработки твердых материалов. Производство металлизированных алмазных порошков, выпускаемых Полтавским и Ереванским заводами, составляло десятки миллионов карат в год. Комплекс работ был выполнен и продолжается в направлении получения из сверхтвердых материалов конструкционных изделий различного назначения.