

КОРОТКИЙ НАРИС ПРО ВИНИКНЕННЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ЛАБОРАТОРІЇ РЕЛАКСАЦІЙНИХ ЯВИЩ

Проаналізовані результати найважливіших досліджень, виконаних автором в лабораторії релаксаційних явищ кафедри фізики твердого тіла ЧДУ, які сприяли її становленню.

Results of the most important researches, which was cared out by author in relaxation phenomenon laboratory of the solid state physics department and assisted him in formation this laboratory, was analyzed in this paper.

Виникнення лабораторії релаксаційних явищ тісно пов'язане з пошуком автора свого наукового напрямку роботи після закінчення університету в 1956 р. Уже в 1957 році вийшла друком моя перша наукова праця, що була підсумком дипломної роботи: "Про субмікроскопічну структуру металів та сплавів, що кристалізуються в умовах вібрації"[1]. Робота мала прикладний характер, а в теоретичному плані була складною задачею, що особливо чітко проявилось при її доповіді в інституті Кристалографії АН СРСР після виступів В.Л.Інденбома, О.А.Чернова. Тому наступні роки були присвячені подальшому пошуку наукового напрямку. Робилися спроби знайти себе в дослідженнях термоелектричних властивостей, але більш цікаві результати були отримані при дослідженні фазових перетворень у сплавах Al-Zn та інших сплавах на основі алюмінію [2,3]. Для цього довелося розробляти нові установки для ДТА, а також удосконалювати більшість методичних підходів [4].

На початку 60-х років завдяки науковому інтересу до наших починань Б.М. Фінкельштейна (видатний металофізик-теоретик, що працював в Інституті сталі ім. Й.В.Сталіна, м. Москва). За його допомогою покладено початок методу внутрішнього тертя (ВТ) на кафедрі рентгенометалофізики Чернівецького державного університету, яка була прабатьківщиною кафедри ФТТ. Для цього створили нові установки (релаксатори), освоїли основи методу ВТ і, як необхідність, розпочали роботи по вивченню теорії

дислокацій, оскільки саме ці дефекти відіграють вирішальну роль у проявах ВТ.

Результатом дослідження фазових перетворень і ВТ в сплавах Al-Zn стала дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук у 1967 році. Науковими керівниками роботи були Б.М. Фінкельштейн та Г.П. Кушта. Крім матеріалів з ВТ да диференційно-термічного аналізу сплавів Al-Zn, у роботі наведені результати рентгеноструктурного аналізу, на основі яких була виявлена нестабільна проміжна фаза, визначені температурні інтервали її існування [5]. Дещо пізніше я отримав листа, в якому повідомлялось, що завдяки моїм дослідженням ця проміжна фаза виділена і вивчена рентгеноструктурним методом групою дослідників з державного університету НьюЙорка, США [6]. Необхідно зазначити, що сплави Al-Zn з присадками інших металів (Cu, Mg і ін.) широко використовуються в авіаційній промисловості, тому результати цих досліджень мали неабиякий практичний інтерес. Окрім зазначеного, в дисертації побудована уточнена діаграма стану сплавів системи Al-Zn з урахуванням наявності проміжної фази та зон Гінье-Престона. Вперше отримані релаксаційні ефекти, зумовлені фазовими перетвореннями в сплавах Al-Zn. Отримані результати неодноразово доповідались та обговорювались на наукових Всесоюзних конференціях та нарадах (м. Тула, Москва, Харків, Воронеж, Тбілісі, Каунас, Рига та ін.).

Отже, після захисту дисертаційної роботи Стронгіним Б.Г. у лабораторії поряд з методами

диференційно-термічного аналізу рентгеноструктурного аналізу та мікротвердості ствердився ще один – метод внутрішнього тертя, який завдяки високій чутливості до навіть незначних змін у структурі досліджуваних зразків, з часом став основним методом досліджень. У лабораторії (тепер уже релаксаційних явищ) були побудовані сучасні релаксометри-напівавтомати з більшою точністю та надійністю. Завдяки цьому вдалось виявити невідомі раніше ефекти поглинання пружної енергії, наприклад, осциляції внутрішнього тертя на його часових залежностях на герцевих частотах (ці дослідження проводились разом з аспірантом Яковишиним П.А.[7]) та ін.

Якщо у сукупності методів на той час лабораторія вже визначилась, то відносно об'єктів дослідження – вони були найрізноманітніші, що значною мірою диктувалось необхідністю виконання госпдоговірних робіт (оскільки необхідно було купувати прилади та обладнання). Великий об'єм досліджень був проведений на селені. Робота мала в основному прикладний характер і проводилась сумісно з Інститутом електронографії (м. Вільнюс). Найбільш активну участь у цих дослідженнях брав співробітник кафедри Парасинчук М.С. За його допомогою побудована спеціальна установка для термічної обробки селену при високих температурах (~1100°С), а також розроблена спеціальна методика отримання зразків для вимірювання низькочастотного внутрішнього тертя на релаксометрах типу зворотний крутильний маятник [8-11].

Далі виконувався цілий цикл робіт по дослідженню субструктурного стану полігонізованого алюмінію (аспірант Зузяк П.М.) [12-16]. Виявили нові непружні ефекти в полігонізованих кристалах алюмінію: максимуми А, В, С, та запропоновані механізми, згідно з якими поглинання пружної енергії при 220°С зумовлене взаємодією дислокацій у полігональних стінках з точковими дефектами (пік А); при 265°С - неконсервативним рухом дислокацій у стінках (пік В); при 290°С – взаємодією індивідуальних дислокацій та їх скупчень всередині полігонів з дислокаціями, що утворюють малокутові границі. Зузяку П.М. вдалось отримати оригінальні результати, завдяки яким він захистив кандидатську дисертацію.

Подальші дослідження субструктурних пере-

творень в алюмінії та його сплавах проведені разом з аспірантами Солоненко В.І., Сумським В.І., Яковишиним П.А. Так, аспірантом Сумським В.І. вперше отримані нові ефекти поглинання пружної енергії, що зумовлюють виникнення трьох максимумів А₁, А₂ та А₃ на кривих амплітудних залежностей ВТ. Ефект А₁, що спостерігався до другої критичної деформації (до початку мікропластичного зсуву), контролюється наявністю в матеріалі вакансій та вакансійних комплексів, що роблять ґратку нестабільною. Пік А₂, що знаходився в області мікропластичного зсуву, викликаний процесом перетину та часткового закріплення дислокацій внаслідок поперечного ковзання. Максимум А₃ пов'язаний з наявністю субграниць та зумовлений гальмуванням вільних від домішок одиничних дислокацій, що знаходяться всередині зерна, при підході до субграниць. Аспірантом Яковишином П.А. досліджений температурний гістерезис внутрішнього тертя в АІ і показано, що він носить зворотний характер і зумовлений перерозподілом домішок як уздовж, так і перпендикулярно дислокаціям. Була показана також можливість “накачки” та фіксації подальшого спаду внутрішнього тертя в герцевому діапазоні частот, що і дозволило виявити новий ефект у поглинанні пружної енергії - осциляції на часових залежностях ВТ. Аспіранти Варвус І.А., Атаманюк В.І. в цей час досліджували поверхневозміцнені залізо й сталі, а також сталі перлітного класу відповідно. Були досліджені особливості та виявлені нові ефекти поглинання пружної енергії в залізі з покриттями Мо, Nb, В, W, Be, Sn, Bi, що наносились різними способами, обґрунтована причина появи складних низькотемпературних β-релаксаційних максимумів у залізі з покриттями та запропонований механізм їх виникнення, в основі якого знаходяться уявлення про процес вивільнення гвинтових компонент приповерхневих дислокацій від домішкових атмосфер. На базі проведених досліджень була запропонована методика оцінки захисної здатності покриттів від водню, що базувалась на вимірюванні висоти та ступеня релаксації воднево-деформаційного ефекту (пік при 120 К) та β-релаксації (220 К) в системах залізо-покриття-водень. Показано також, що основною причиною, що веде до знеміцнення складнолегованих сталей перлітного класу, є метастабільність їх карбідної фази: при температурах старіння в них відбува-

ється перетворення по типу $Me_3C \rightarrow Me_7C_3 \rightarrow Me_{23}C_6$, що супроводжується звільненням дислокацій від блокуючих часток. Усі вони успішно захистили кандидатські дисертації [17-37].

Варто відзначити внесок Сумського В.І та Яковишина П.А. в модернізацію існуючих релаксаторів, що значно підвищило рівень наукових досліджень (скажу тільки, що релаксатори такого рівня точності були на той час єдиними в СРСР).

Хочеться відзначити також аспірантську роботу Олійнич А.В. Їй вдалось вперше виділити нову високотемпературну γ -модифікацію в олові й показати складний ступінчастий характер $\beta \rightarrow \gamma$ перетворення [36-38].

Подальші дослідження Олійнич А.В. проводила (після успішного захисту дисертації) на берилії. Їй вдалося вперше отримати новий структурний стан цього металу, який назвали "інверсним" через характерні дзеркальні, по відношенню до звичайно спостережуваних, температурні залежності ефективного модуля зсуву [39-46]. В цьому стані при відносно низьких температурах спостерігається значне розм'якшення модуля зсуву (до 20 %), що може мати пряме практичне застосування, оскільки проблема крихкості берилію ще не роз'язана. Нам вдалося також пояснити аномальний характер амплітудних залежностей поглинання пружної енергії при різних температурах у берилії різного ступеня чистоти. На основі запропонованої моделі, що базується на уявленнях про зміну типу розчину атомів вуглецю в берилії з розчину заміщення на розчин втілення, були проведені розрахунки $\gamma_{кр.1}$, які добре узгоджуються з експериментом. Роботи на цьому об'єкті продовжуються.

Відзначимо, що всі названі аспіранти та співробітники лабораторії внесли свій посильний внесок у становлення та функціонування лабораторії. В даний час у лабораторії можна успішно розв'язувати найрізноманітніші складні задачі матеріалознавчого характеру.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кушта Г.П., Стронгін Б.Г. О субмикроскопической структуре металлов и сплавов, кристаллизовавшихся в условиях вибрации // Физика металлов и металловедение. - 1957. - **5**, вып.1. - С.187-188.
2. Кушта Г.П., Стронгін Б.Г. К вопросу о механизме кристаллизации металлов в условиях вибрации // Научный ежегодник ЧГУ за 1958 год. Отд.вып. Физ-мат. факультет. - Черновцы. - 1960. - С.529-531.
3. Стронгін Б.Г., Кушта Г.П. Внутреннее трение в термически обработанных Al-Zn сплавах // Физика металлов и металловедение. - 1964. - **17**, вып.2. - С.256-262.
4. Стронгін Б.Г. Об одном методе применения дифференциально-термического анализа // ЖФХ. - 1966. - **40**, №10. - С.2629-2631.
5. Стронгін Б.Г. Исследование фазовых превращений в сплавах алюминия с цинком // ФММ. - 1967. - **23**, №2. - С.248-256.
6. Agarwal S.C., Herman H. Phase decomposition in aluminum alloys quenched from the liquid state / Proceeding of Conf. on Phase Trans, University Park, May 23-25, 1973. - Pennsylvania, USA, 1973.
7. Стронгін Б.Г., Яковишин П.А. Новый эффект временной зависимости внутреннего трения // Физика и химия обработки материалов. - 1982. - №4. - С.123-124.
8. Гальвидис Н.М., Стронгін Б.Г., Парасинчук Н.С. Термографическое исследование селена // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. - 1973. - **9**, №2. - С.176-178.
9. Стронгін Б.Г., Парасинчук Н.С. Исследование температурной зависимости внутреннего трения и микротвердости стекловидного селена // ФТТ. - Киев-Донецк. - 1979. - вып.9. - С.53-57.
10. Гальвидис Н.М., Стронгін Б.Г., Парасинчук Н.С. Термографические исследования фазовых превращений в селене // Физические основы электрографии. - Вильнюс, 1969. - С.130-132.
11. Гальвидис Н.М., Стронгін Б.Г., Парасинчук Н.С. Универсальная установка для дифференциально-термического анализа // Журнал физической химии. - 1970. - **44**, №1. - С.280-283.
12. Гордиенко Л.К., Зузяк П.М., Стронгін Б.Г. Внутреннее трение алюминия, подвергнутого механико-термической обработке с деформацией при 150, 250, 630°C // Физика и химия обработки материалов. - 1972. - №6. - С.1279.
13. Гордиенко Л.К., Зузяк П.М., Стронгін Б.Г. Внутреннее трение полигонизированного алюминия // Физика и химия обработки материалов. - 1972. - №3. - С.56-64.
14. Гордиенко Л.К., Зузяк П.М., Стронгін Б.Г.

- Внутреннее трение полигонизированного алюминия, подвергнутого высокотемпературной механикотермической обработке // Взаимодействие между дислокациями и атомами примесей и свойства металлов. – Тула: Из. ТПИ - 1974. - С.166-171.
15. Гордиенко Л.К., Зузяк П.М., Стронгин Б.Г. Температурно-временная зависимость внутреннего трения полигонизированного деформированного алюминия // Взаимодействие между дислокациями и атомами примесей и свойства металлов. – Тула: Из. ТПИ. -1976. - С.160-170.
 16. Гордиенко Л.К., Зузяк П.М., Стронгин Б.Г. Исследование зависимости внутреннего трения полигонизированного алюминия от режимов МТО / Механизмы релаксационных явлений в твердых телах. - Труды VI Всесоюзной научной конф. 20-23 июня 1973. – Каунас, 1973. - С.98-104.
 17. Гордиенко Л.К., Стронгин Б.Г., Зузяк П.М., Сумский В.И., Солоненко В.И. Амплитудная зависимость внутреннего трения субструктурно-упрочненного алюминия // Тез. док. 8-й Всесоюзной конференции по физике прочности и пластичности металлов. - Куйбышев, 1976. - С.234.
 18. Стронгин Б.Г., Зузяк П.М., Сумский В.И., Солоненко В.И. Субструктурное упорядочение и эволюция параметров дислокационной структуры // ФТТ. - Киев-Донецк. - 1977. - вып.7. - С.81-84.
 19. Стронгин Б.Г., Гордиенко Л.К., Зузяк П.М., Сумский В.И., Солоненко В.И. О влиянии временного фактора на механизм проявления амплитудной зависимости внутреннего трения субструктурно-упрочненного алюминия // Взаимодействие дефектов кристаллической решетки и свойства металлов.-Тула: Из. ТПИ. - 1978. - С.65-69.
 20. Гордиенко Л.К., Стронгин Б.Г., Зузяк П.М. Влияние примеси на амплитудную зависимость внутреннего трения (АЗВТ) субструктурно-упрочненного алюминия // Внутреннее трение в металлах и неорганических материалах.- М. -1982. - С.43-45.
 21. Стронгин Б.Г., Зузяк П.М., Атаманюк В.В., Слипченко Т.В., Третьяк И.Ю. Температурный спектр хромомолибденованадиевой стали // Взаимодействие дефектов кристаллической решетки и свойства металлов. Тула: Из. ТПИ. - 1980. - С.113-118.
 22. Шатинский В.Ф., Копылов В.И., Стронгин Б.Г., Варвус И.А., Федоров В.В. Влияние покрытий и их дислокационной структуры на механические свойства и внутреннее трение твердых тел // Свойства конструкционных материалов при воздействии рабочих сред. - Киев, 1980. - С.267-276.
 23. Копылов В.И., Шатинский В.Ф., Стронгин Б.Г., Варвус И.А. Жаропрочность и релаксационные свойства твердых тел с плазменными покрытиями // Высокотемпературная защита материалов. - Ленинград, 1981. - С.155-159.
 24. Гордиенко Л.К., Стронгин Б.Г., Сумский В.И. Релаксационное эхо при измерении амплитудной зависимости внутреннего трения субструктурно-упрочненного алюминия и его сплавов с медью // ФХММ. - 1982. - №1. - С.130-132.
 25. Стронгин Б.Г., Яковичин П.А. Влияние примесей на проявление аномальной амплитудной зависимости внутреннего трения в алюминии // ФТТ. - 1982. - №12. - С.64-67.
 26. Копылов В.И., Стронгин Б.Г., Варвус И.А., Олейнич А.В. Влияние твердых и жидких металлических покрытий на микропроцессы в поверхностных слоях твердых тел // ФХММ. - 1983. - №6. - С.7-11.
 27. Стронгин Б.Г., Варвус И.А., Копылов В.И., Шатинский В.Ф. Особенности затухания упругой энергии в системе железо-плазменное покрытие молибдена // ФТТ. - Киев-Донецк, 1983. - вып.13. - С.48-52
 28. Стронгин Б.Г., Варвус И.А., Яковичин П.А. Модернизированная установка для измерений характеристик затухания упругой энергии / Черновцы, 1983. - Деп. в УкрНИИНТИ 08.07.83, №708Ук-Д83.
 29. Стронгин Б.Г., Яковичин П.А. Гистерезис дислокационного внутреннего трения в алюминии // Физика и химия обработки материалов. - 1983. - №3. - С.100-105.
 30. Атаманюк В.В., Зузяк П.М., Стронгин Б.Г., Недыбалюк А.Ф. Изучение отпуска низколегированной стали / Редкол. журн. “ФХММ”. - Львов, 1984. - Деп. в ВИНТИ 21.02.84, №6631-84.
 31. Копылов В.И., Стронгин Б.Г., Варвус И.А. Внутреннее трение наводороженного железа с плазменными покрытиями молибденом // ФХММ. - 1985. - №1. - С.31-33.
 32. Стронгин Б.Г., Варвус И.А., Михальченко В.П. Высокотемпературный спектр внутреннего трения аустенитной стали X18H22B2T2 и механизм его проявления / Редкол. журн. “Изв.вузов МВ и ССО СССР. - сер. ”Физика”. - Томск, 1984. - Деп. в ВИНТИ 18.05.84, №3236-84деп.
 33. Стронгин Б.Г., Зузяк П.М., Атаманюк В.В. Изучение отпускной хрупкости некоторых сталей перлитного класса методом внутреннего трения // ФХММ. - 1984. - №3. - С.118-120.
 34. Копылов В.И., Стронгин Б.Г., Варвус И.А. Релаксационные явления в системе железо-покрытие-водород / Водород в металлах. -Тез.докл. IV Всесоюзного семинара. ч.1. - М., 1984. - С.101.
 35. Варвус И.А., Стронгин Б.Г., Михальченко В.П. Низкотемпературный спектр внутреннего трения железа и некоторых аустенитных сталей с

- покрытиями / Редкол. журн. "Изв.вузов МВ и ССО СССР. - сер. "Физика". - Томск, 1985. - Деп. в ВИНТИ 22.04.85, №2666-86деп.
36. Стронгин Б.Г., Олейнич А.В., Варвус И.А. Особенности высокотемпературного спектра внутреннего трения в олове // Изв. вузов. Физика. - 1987. - №3. - С.81-86.
37. Олейнич А.В., Стронгин Б.Г. Высокотемпературный полиморфизм олова // Изв. вузов. Физика. - 1989. - №3. - С.10-15.
38. Олейнич А.В., Стронгин Б.Г. О корреляции структурных состояний жидкого и твердого олова // Расплавы. - 1989. - №3. - С.15-21.
39. Стронгин Б.Г., Олейнич А.В., Сахненко А.В. Эффекты поглощения упругой энергии в сендасте // ФММ. - 1993. - 76, №4. - С.114-117.
40. Стронгин Б.Г., Олейнич А.В. К вопросу о деформообразовании в материалах под воздействием агрессивных сред // ФХММ. - 1994. - №1. - С.132-134.
41. Олейнич А.В., Стронгин Б.Г., Раранский Н.Д., Лисюк В.В., Маслюк В.Т. Эффективный модуль сдвига и внутреннее трение в Ве, облученном электронами высоких энергий // Металлофизика и новейшие технологии. - 1997. - 19, №1. - С.62-66.
42. Стронгин Б.Г., Ткаченко В.Г., Олейнич А.В., Лащук Н.К. Температурный гистерезис эффективного модуля сдвига и внутреннего трения в бериллии // ФММ. - 1990. - №11. - С.187-192.
43. Олейнич А.В., Стронгин Б.Г., Ткаченко В.Г. Особенности спектра поглощения упругой энергии в бериллии // Изв. Российской АН. Сер. Физическая. - 1993. - 57, №11. - С.74-78.
44. Стронгин Б.Г., Олейнич А.В., Ткаченко В.Г., Лащук Н.К. К вопросу о применении уравнений Авраами-Коттрелла-Билби и Харпера для интерпретации физической природы неравновесных процессов // Дефекты кристаллической решетки и свойства металлов и сплавов. - Тула: Из. ТПИ, 1992. - С.33-36.
45. Олейнич А.В., Раранский Н.Д., Стронгин Б.Г. Исследование аномалий дислокационно-примесного взаимодействия в Ве // Металлофизика и новейшие технологии. - 1994. - 16, №4. - С.47-51.
46. Олейнич А.В., Раранский Н.Д., Стронгин Б.Г. Поведение эффективного модуля сдвига и внутреннего трения при образовании инверсного состояния в бериллии // Металлофизика и новейшие технологии. - 1996. - 18, №4. - С.58-62.