

Пінчук О. П. Розвиток предметної компетенції учнів шляхом осучаснення змісту фізичної освіти / О. П. Пінчук // Фізика та астрономія в школі. – 2009. – №3 (72). – С.13–20.

РОЗВИТОК ПРЕДМЕТНОЇ КОМПЕТЕНЦІЇ УЧНІВ ШЛЯХОМ ОСУЧАСНЕННЯ ЗМІСТУ ФІЗИЧНОЇ ОСВІТИ

*Пінчук О.П., учитель фізики
Київського Ліцею бізнесу*

Минулого року українські школярі вперше стали учасниками міжнародного дослідження якості природничо-математичної освіти (TIMSS). Аналіз виконання завдань із природничих дисциплін показав, що учні 8-х класів успішно впоралися із завданнями на відтворення знань. Найскладнішими для восьмикласників виявилися завдання, які потребували застосування теоретичних знань у практичній діяльності, порівняння та класифікації об'єктів, завдання на розуміння природи як цілісної системи.

Питання грамотності, освіченості та компетентності, їх взаємозв'язок та співвідносність активно досліджуються науково-педагогічною спільнотою. Порівнюючи різні погляди, що висвітлюються в наукових педагогічних джерелах, можна зробити висновок, що під *грамотністю* частіше розуміють здатність використовувати основні способи пізнавальної діяльності, якими є читання, письмо і рахунок. Відповідно *функціональна грамотність* – це здатність розв'язувати елементарні життєві завдання в різних сферах на основі прикладних знань. Використання поняття *інформованість* пов'язують із рівнем, що характеризується засвоєнням певного обсягу знань і здатністю репродукувати їх. *Компетентність* в цьому ланцюгу це – рівень освіченості, який характеризується здатністю розв'язувати завдання в різних сферах життєдіяльності на базі теоретичних знань.

Ми погоджуємося з думкою про те, що компетентність людини побудована на поєднанні взаємовідповідних пізнавальних ставлень і практичних навичок, цінностей, емоцій, поведінкових компонентів, знань і вмінь – всього того, що можна мобілізувати для активної дії [1].

Порівнюючи підходи учених-педагогів до визначення складових компетентностей, можна відмітити багато спільних рис, зокрема, виділення мотиваційно-ціннісної компоненти (ціннісно-орієнтаційного шару). Значимість мотиваційної компоненти особливо підкреслюється в багатьох дослідженнях (Джон Равен, Л.І.Зайцева, О.В.Овчарук, А.А.Пінський, О.Г.Смолянінова, Н.Г.Ходирєва, Т.В. Шамардіна, Е.Г. Юматова та інші). Приміром, Дж. Равен бачить природу компетентності як таку, що може проявлятися тільки в органічній єдності з цінностями людини. «Жодна людина не буде діяти саме так, якщо вона глибоко та особисто в цьому не зацікавлена. Отже цінності опиняються у главі кута» [3].

Мотиваційна складова предметної компетентності виявляє ставлення вихованців до навчальної діяльності, зацікавленість нею, розуміння значення науки в житті людей, а отже впливає на якість засвоєння фізичних знань та формування умінь учнів.

Особливістю фізики як шкільного навчального предмета була і залишається спрямованість її на застосування знань, умінь та навичок у сучасному житті. В умовах перебудови фізичної освіти в загальноосвітній школі великого значення набуває не лише її практична спрямованість, а й світоглядний потенціал, її органічне поєднання з національною історією і традиціями, вплив на інтелектуальний, духовний і політехнічний розвиток учня.

Серед заходів щодо оновлення змісту фізико-математичної освіти, які заплановані МНОУ на 2009-2012 роки [2], хочемо виділити наступне: для підвищення якості фізико-

математичної освіти необхідно «привести зміст шкільної фізико-математичної освіти у відповідність до сучасного розвитку науки та соціальних потреб суспільства».

На наш погляд, це є свідченням визнання національною освітянською спільнотою актуальності розвитку світоглядної компоненти і формування предметної компетентності в цілому.

У нашій статті ми хочемо поділитися цікавим матеріалом, який допоможе вчителю вдосконалювати інформаційне середовище навчання фізики, а саме:

- ✓ популяризувати фізико-математичні науки, висвітлювати їх соціальну, науково-фундаментальну та науково-прикладну роль;
- ✓ використовувати у навчальному процесі сучасні досягнення та відкриття українських науковців;
- ✓ поглиблювати предметні знання та збагачувати досвід їх використання для пояснення явищ та процесів навколишнього світу;
- ✓ формувати відчуття корисності фізичних знань та умінь для особистого життя.

Наш матеріал, вважаємо, буде корисним у справі розроблення навчальної літератури з природничих дисциплін на основі компетентісного підходу до їх вивчення у старшій профільній школі. Окремі елементи можуть бути використані при навчанні фізики в основній школі.

Відповідно до програми «Фізика. Астрономія, 7–12 кл.» будова речовини, агрегатні стани речовини та їх зміна, властивості твердих тіл і матеріалів предметно вивчаються у 7, 8 та 10 класах. Виділимо, серед іншого, деякі державні вимоги до рівня загальноосвітньої підготовки учнів на цих рівнях навчання фізики.

Клас	Розділ програми	Державні вимоги до рівня загальноосвітньої підготовки учнів
7	Будова речовини	Учень: називає агрегатні стани речовини, одиниці маси тіла, густини речовини; наводить приклади кристалічних і аморфних тіл, прояву дифузії в газах і рідинах; розрізняє кристалічні й аморфні тіла, атом і молекулу; формулює основні положення атомно-молекулярного вчення про будову речовини, може описати особливості руху атомів і молекул речовини в різних агрегатних станах, обґрунтувати залежність швидкості руху атомів і молекул від температури; пояснити атомно-молекулярну будову речовини в різних агрегатних станах, дослідні факти, що підтверджують рух і взаємодію мікрочастинок речовини.
8	Кількість теплоти. Теплові машини	Учень може: характеризувати напрям плину теплових процесів у природному середовищі, умови переходу речовини з одного агрегатного стану в інший; аналізувати графіки теплових процесів; пояснити перебіг теплових процесів під час теплообміну, тепловий баланс як наслідок закону збереження енергії в теплових процесах; обґрунтувати зміни агрегатного стану речовини на основі атомно-молекулярного вчення про будову речовини.
10	Властивості	Учень:

	газів, рідин, твердих тіл	називає творців молекулярно-кінетичного учення про будову речовини, а також учених, які зробили вагомий внесок у створення теорії рідин, твердих тіл і матеріалів; наводить приклади рідких кристалів, аморфних і кристалічних тіл та полімерів; розрізняє кристалічні й полікристалічні тіла; може описати кристалічну будову тіл та їх загальні механічні властивості.
--	---------------------------	---

Оволодіння учнями програмним матеріалом виявляється достатньою умовою для можливості розглядати у навчальному процесі особливу властивість деяких матеріалів зберігати пам'ять форми. Розгляд цієї теми на уроці, факультативному занятті або під час роботи у шкільному відділенні Малої академії наук не тільки поглиблює знання з фізики, а ще і демонструє різні сфери застосування фізичного знання та підкреслює вагоме значення фізики в житті людини. Учень має можливість виявити вільне володіння обов'язковим навчальним матеріалом, використовуючи наукову термінологію, вміння опрацьовувати наукову інформацію, тобто все те, що відповідає високому рівню його навчальних досягнень. Окрім цього, формуються уміння знаходити потрібну інформацію (знаходити нові факти, явища, ідеї тощо), аналізувати її, пов'язувати з уже відомою та застосовувати у нестандартних ситуаціях. Отже, йдучи від суті наукового факту через сучасні приклади його практичного застосування у житті людини до значення у розвитку фізичної теорії зокрема, можемо результативно формувати достатній рівень компетентності наших учнів.

ПАМ'ЯТЬ ФОРМИ У СПЛАВАХ

Перетворення фаз

Загальновідомі три стани (фази) кожної речовини: твердий, рідкий і газоподібний, а також процеси переходу між ними – фазові перетворення. Фазові перетворення між твердим та рідким: плавлення – кристалізація, між рідким та газоподібним: пароутворення – конденсація, обов'язково супроводжуються великими переміщеннями структурних одиниць речовини (атомів, іонів, молекул). Відбувається дифузія цих структурних одиниць. Тому не можна чекати, що при зворотних перетвореннях атоми будуть проходити ті ж самі положення, що і при прямих. А також, що вони займуть ті ж самі положення, які вони займали у початковому стані і, тим самим, збережуть форму і розміри тіла.

Рушійною силою фазового перетворення речовини завжди є зміна внутрішньої енергії тіла. Таким чином, згідно першого закону термодинаміки спонукальним мотивом перетворення фаз є теплопередача і здійснення роботи механічною напругою. У результаті тіло приймає стан з найменшою внутрішньою енергією – енергетично вигідний стан.

Фазові перетворення у твердому стані. Мартенсит

У твердому стані атоми займають певні положення – вузли, які утворюють кристалічні просторові ґратки. Треба зауважити, що не існує «металевих кристалічних ґраток». Речовини метали відрізняються від речовин неметалів не ґратками, а електронною будовою.

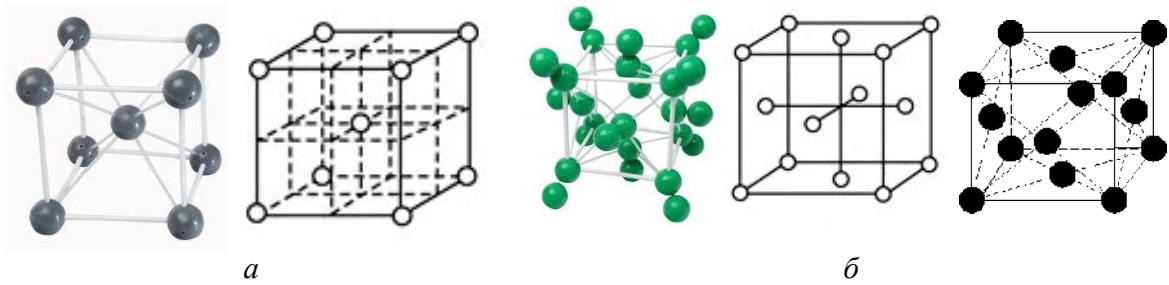


Рис. 1. Кристалічні ґратки:
a – залізо;
б – мідь.

У металах і сплавах, саме про них буде йти мова, вузли кристалічної ґратки зайняті іонами одного металу (чистий метал, наприклад, залізо Fe або титан Ti) або іонами різних металів (наприклад, мідь Cu і алюміній Al, говорять: «сплав Cu–Al»). Кристалічну ґратку позитивних іонів металу, що взаємно відштовхуються, «скріплює» в одне ціле хмара вільних негативних електронів, що знаходяться між вузлами. Якщо в металах і сплавах є неметалічні елементи (наприклад, вуглець C, азот N, кисень O), то вони займають місця між вузлами і при цьому тіснять іони «господарів», спотворюючи (деформуючи) кристалічну ґратку.

Як реагує кристалічна ґратка на тепловий (температура T) і механічний (напруга σ) вплив? Розглянемо ситуацію, коли дифузія загальмована (або, для спрощення, відсутня) – це реалізується при температурах, які значно нижче температури плавлення.

Для прикладу розглянемо залізо Fe, яке є основним елементом складу сталей. Його температура плавлення – 1536°C , при температурах нижче 1401°C , залізо має рівноважну (енергетично вигідну) структуру з гранецентрованою кубічною кристалічною ґраткою (ГЦК). При температурі 906°C енергетично вигіднішими стають об'ємноцентровані кубічні ґратки (ОЦК). Залізо повинно мати ОЦК ґратку, але воно вже має ґратку ГЦК, а дифузії, необхідної для перебудови з ГЦК в ОЦК, немає. Природа розпорядилася, як завжди, «найекономнішим» чином. У обох ґратках (вихідна – ГЦК і нова – ОЦК) є площини з близьким взаємним розташуванням атомів, тоді достатньо скоординовано (впорядковано, одночасно) атоми такої площини в початковій фазі переміщуються на відстані, що не перевищують міжатомні. Таким чином одержують площину нової фази. Те саме відбувається з сусідніми площинами. Утворюється область нової фази. Напрямок утворення нової фази (орієнтація кристалу нової фази) є випадковим.

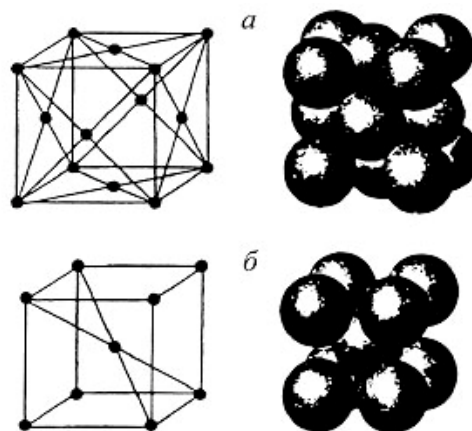


Рис. 2. Типи елементарних комірок кристалічних ґраток металів і схеми упаковки в них атомів:

- a* – гранецентрована кубічна ґратка (ГЦК);
- b* – об'ємно-центрована кубічна ґратка (ОЦК).

Таким чином, зрушення «перескоком» цілих площин старих ґраток у вузли площин нових ґраток відбувається синхронно. Нові ґратки по площинах межі розділу мають близьке взаємне розташування вузлів. Термін «близьке» означає, що атоми залишаються сусідами в кристалічній ґратці. Проте, відмінність у взаємних розташуваннях приводить до появи пружних деформацій і напруги на межі розділу фаз. Зберігається так звана *структурна когерентність* обох кристалічних ґраток.

Отримана нова фаза по відношенню до початкової називається *мартенситом* (на честь А. Мартенса – німецького металознавця), а описане фазове перетворення називається мартенситним. Його характерними рисами є:

- бездифузний, зсувний характер перетворення (тобто рівність складу початкової і кінцевої фаз);
- кооперативний механізм перетворення (строго впорядковане переміщення атомів у процесі перетворення при збереженні зв'язку між ними);
- зміна форми об'єму, в якому відбулося мартенситне перетворення.

Температура початку мартенситного перетворення при безперервному охолодженні («мартенситна точка») залежить від хімічного складу кристала.

Кристали нової фази (мартенситу) виникають також під впливом механічної напруги при будь-якому виді деформації (розтягування, стиснення, згин). При цьому варіанти орієнтувань кристалів мартенситу виникають переважно в тих напрямках, де робота зовнішньої напруги максимальна.

Кристали мартенситу мають форму пластин, лінз і голок. Їх утворення і розповсюдження по кристалу відбувається швидко (порядок швидкості звуку), зупиняючись на межі зерна *полікристала* або на зовнішній поверхні *монокристала*. Оскільки з мартенситом пов'язана зміна форми області, картина мартенситного перетворення у вигляді виступів і западин виявляється на поверхні тіла, якщо її заздалегідь відшліфувати.

Таким чином, мартенситне перетворення є одним з основних видів фазових перетворень у твердому стані, коли перебудова ґраток вимушена відбуватися у відсутності дифузії. Найбільш важливе практичне значення мартенситне перетворення має при поясненні процесу загартування сталей, основною метою якого є отримання високоміцної мартенситної структури.

У більшості випадків процес мартенситного перетворення відбувається занадто швидко («вибухово»). Області мартенситної фази швидко досягають своїх кінцевих розмірів. Напруги на межі розділу фаз перевищують межу пружності, що приводить до пластичної зсувної деформації або навіть до утворення мікротріщин. При цьому, з підвищенням температури зворотна зсувна перебудова стає неможливою. Виникає проблема керованості таких перетворень. Для того, щоб вирішити цю проблему, необхідно мартенситні перетворення уповільнити.

Термопружний мартенсит

В інтересах подальшого викладу матеріалу зафіксуємо важливу деталь: кооперативність і впорядкованість переміщення атомів при мартенситному перетворенні

¹ когерентність – слово лат. походження, *cohaerens*, що означає зв'язок, зчеплення, зкорельованість, «щось, що знаходиться у зв'язку» – здатність до інтерференції

дозволяє очікувати можливе повернення атомних шарів мартенситу у початковий стан у зворотному порядку. Для цього дослідникам необхідно було встановити, чи існують кристали з високими пружними властивостями, у яких на межі розділу фаз (вихідною і мартенситу) зберігається структурний зв'язок їх кристалічних ґраток при високій внутрішній напрузі. Тоді вигідне зменшення хімічної енергії мартенситної фази стримується збільшенням енергії пружної напруги і поверхневої енергії. При їх рівності нова фаза (мартенсит) знаходиться у рівновазі з початковою фазою. У цьому полягає ідея і зміст явища термопружної рівноваги фаз. Маємо можливість управляти перетворенням:

- охолоджуючи (пряме мартенситне перетворення) – нарощувати по межах розділу фаз шари мартенситної фази та його кількість (рис. 3);
- нагріваючи кристал (зворотне мартенситне перетворення) – зменшувати мартенситні області до повного їх зникнення (рис. 4).

У таких випадках мартенситне перетворення стає оборотним. Зразок матеріалу повністю відновлює свій структурний стан (зокрема, форму).

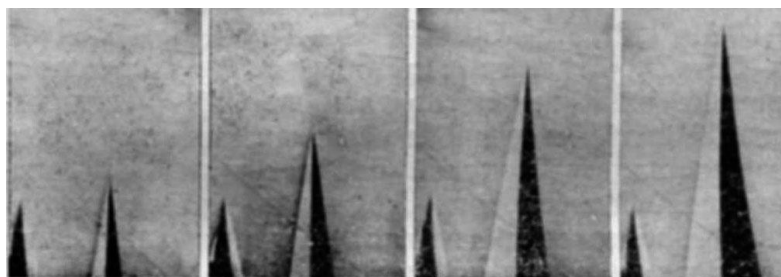


Рис. 3. Нарощування мартенситу при охолодженні

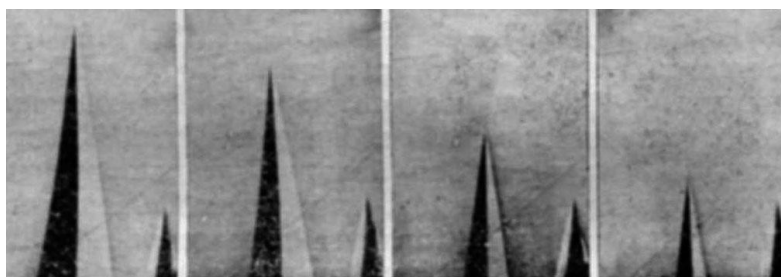


Рис. 4. Зменшення мартенситу при нагріванні

На експериментальній мікрофотографії² (рис. 3, 4) із збільшенням в 70 разів демонструється переміщення міжфазних меж при охолодженні і нагріванні сплаву Cu – Al – Ni.

Оборотне мартенситне перетворення має важливі властивості, які наочно представлено на графіку на рис. 5.

² Мікрофотографія передрукована з [4, С.111]. Іншу мікрофотографію появи, зростання та зникнення кристалів мартенситу при охолодженні та нагріванні (сплав Cu—Al—Mn) можна знайти за адресою http://www.naukaspb.ru/spravochniki/Demo%20Metall/4_25.htm

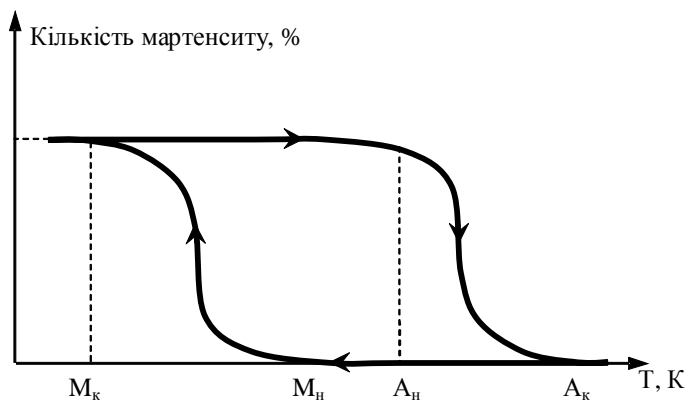


Рис. 5. Оборотно мартенситне перетворення

На рисунку напрям процесу відмічений стрілками. Під час охолодження при температурі M_H (мартенситна точка) починається процес утворення мартенситної фази, а закінчується при нижчій температурі M_K . Тобто, перетворення протікає в широкому інтервалі температур, $M_H - M_K$. Нагрівання мартенситної фази приводить до зменшення її кількості тільки починаючи з температури A_H , а закінчується повним зникненням мартенситу при температурі A_K . Зворотне перетворення теж протікає в діапазоні температур $A_H - A_K$.

Таким чином, мартенситні перетворення

- а) протікають в інтервалі температур;
- б) пряме і зворотне перетворення відбуваються у різних температурних інтервалах (так званий температурний *гістерезис*³).

Кількість мартенситу під час процесу визначається температурою. Величини M_H , M_K , A_H , A_K є важливими характеристиками сплаву з термопружним мартенситом. Вони визначаються основним складом сплаву, а також залежать від типу *легуючих*⁴ хімічних елементів і їх концентрації.

Окрім теплової дії (пониження температури нижче за мартенситну точку M_H), термопружний мартенсит може утворюватися прикладанням напруги (деформацією) за тими самими механізмами перебудови кристалічної ґратки або під впливом температури і напруги одночасно.

Зовнішня напруга впливає як на утворення мартенситу, так і на орієнтацію мартенситних областей. Ростуть мартенситні кристали переважно однієї орієнтації. Це винятково важливо для полікристалічних матеріалів. Хаотична орієнтація окремих зерен полікристала приводить до хаотичного розподілу орієнтації мартенситних фаз. Тому не дивлячись на значну деформацію окремих зерен (кристалів) полікристал у цілому не зазнає помітної зміни форми. Зовнішня напруга вибудовує кристали мартенситу так, як магнітне поле орієнтує залізні ошурки. Тоді зміна форми зразка виявляється у всьому об'ємі.

³ Гістерезис – слово грецького походження, означає спізнювання, відставання – неоднозначна залежність змін фізичних характеристик тіла від зміни дії зовнішніх сил на тіло

⁴ Легування (нім., сплавляти, від лат., зв'язую, з'єдную) - введення у метали або їхні сплави інших хімічних елементів, щоб одержувати сплави певного хімічного складу з потрібними властивостями.

Ці міркування застосовні і до монокристалів високої симетрії, де різноманіття орієнтацій мартенситу обумовлене великою кількістю площин, по яких мартенсит може з'єднуватися з початковою фазою.

Дія напруги приводить до утворення мартенситу вище за температуру A_k , коли мартенсит термічного походження не може існувати у рівновазі і зникає після зняття напруги. При дії напруги в області оборотного мартенситного перетворення, коли вже є мартенситні області термічного походження, додаткова деформаційна дія приводить до зростання мартенситних областей сприятливих до напруги, що діє.

Саме у такій комбінації теплової дії і зовнішнього навантаження найбільш виявляється термопружна рівновага фаз. Дія навантаження є керуючою.

У сплавах з термопружним мартенситом можна спостерігати і використовувати незвичайні явища: «надпружність» і ефект «пам'яті форми».

Надпружність (Псевдопружна деформація)

Як відомо з діаграми розтягу⁵, пружна деформація – це така деформація, яка зникає з припиненням дії напруги. Для звичайних металів пружна деформація, яка відповідає межі пружності, складає десяти долі відсотка.

Якщо деформувати матеріал за температури вище інтервалу мартенситного перетворення A_k , то загальна деформація є сумою двох складових: пружної (за Гуком) деформації та іншої деформації, яка обумовлена фазовим перетворенням. Її називають *псевдопружною* у зв'язку з оборотністю фазового перетворення і зовнішнім проявом сприйняття як пружної. Псевдопружна деформація може досягати декількох відсотків, що значно перевищує пружну деформацію у звичайних сплавах.

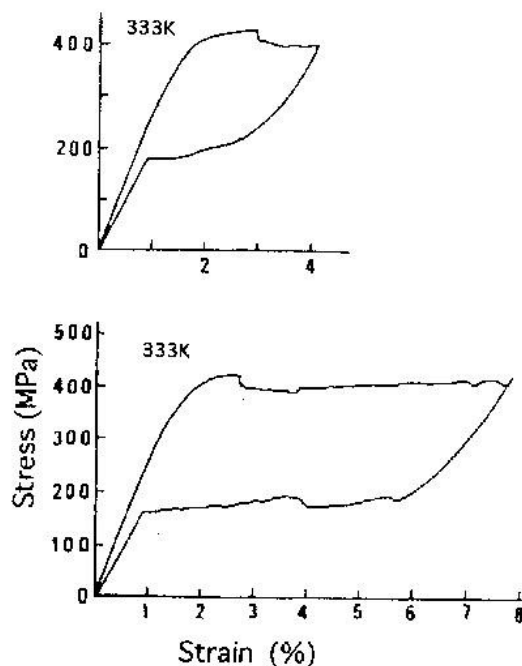


Рис. 6 Діаграми розтягу сплаву Ti – 50,2% Ni:
stress (MPa) – напруга (МПа);
strain (%) – відносна деформація (%)⁶.

⁵ діаграма розтягу – графічне зображення залежності відносного видовження зразка від прикладеної до нього напруги.

⁶ Діаграми (рис.6 і рис.7) приведені у доповіді A.D.Rollett, 2002

Коли напруга зникає, деформація дорівнює нулю, матеріал повністю відновлює свою форму. Тут спостерігається механічний гістерезис, що відрізняє дану діаграму від діаграми розтягу за Гуком. Макроскопічно процес сприймається як пружна деформація, яка відновлюється після зняття напруги, хоча мікроскопічно механізм деформації інший. Так проявляється псевдопружність, яку часто називають «надпружністю».

Ця властивість приводить до, так званої, циклічної міцності – здатності матеріалів витримувати знакозмінні навантаження без руйнування. Особливо ефективним виявляється використання таких матеріалів при значних деформаціях. Тривалість їх роботи значно довша, ніж виробів із традиційних матеріалів. Причина та ж сама: «сусідство» атомів не порушується, дефекти не накопичуються, а отже тріщини не з'являються або не ростуть.

Ефект відновлення форми (ефект «пам'яті форми»)

Відновлення мікроструктури і форми мікрообластей при оборотному мартенситному перетворенні відбувається під комбінованою дією зміни температури і деформації. Рис.7 ілюструє вище згадані процеси.

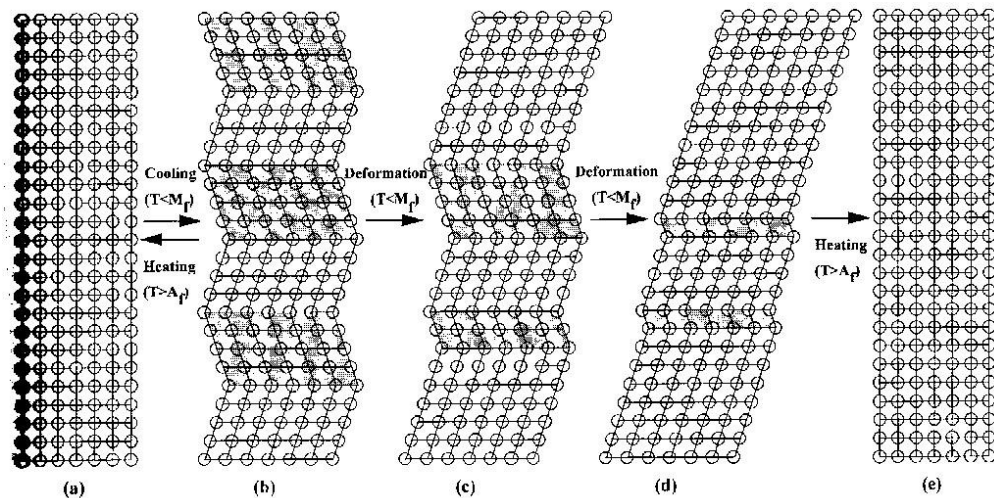


Рис. 7. Схема комбінованої дії температури і деформації на сплав з термопружним мартенситом:

- cooling – охолодження;
- deformation – деформація;
- heating – нагрівання;
- M_f , A_f – відповідає M_k , A_k .

Початковий монокристал (а) охолодженням нижче температури M_k набуває мартенситної структури (b). Нагріванням вище температури A_k структура може повністю відновитися. Деформація в мартенситі при температурі нижче M_k відбувається за рахунок зростання одного варіанту орієнтації мартенситної області за рахунок інших (с, d). При нагріванні до температури вище A_k будь-який з варіантів мартенситу (b, c, d) повертається у початковий стан з первинною орієнтацією (e) кристалічної ґратки.

Ця схема (рис. 7) демонструє основні етапи технології підготовки і обробки виробів із сплавів з термопружним мартенситом. Сплав повинен, звичайно, задовольняти вимогам до

механічних, електричних, корозійних і інших властивостей виробу. Робоча температура повинна бути більше A_k .

Матеріалу в кристалічному стані при робочій температурі надають кінцеву форму виробу. Потім охолоджують виріб нижче за температуру M_k . Матеріал фрагментується термопружним мартенситом. Подальша стадія обробки при температурі нижче M_k – це деформація виробу (розтягування, стиснення, зсув, вигин, кручення) для отримання зручної форми для подальших з ним операцій (матеріал перефрагментується термопружним мартенситом). Завершується процес розміщення деформованого таким способом виробу в робоче положення, де воно набуває робочої температури і відновлює («згадує») свою початкову структуру і форму.

Так стисло викладене явище термопружної рівноваги фаз при оборотному мартенситному перетворенні є результатом послідовних багаторічних досліджень особливостей механізмів мартенситних перетворень. Кристали термопружного мартенситу вперше були виявлені у сплавах Cu – Al – Ni, а потім у Cu – Zn, In – Tl, Au – Cd, Cu – Sn. Коло сплавів з термопружним мартенситом став більш широким.

Чудовою випадковістю стало виявлення ефекту відновлення форми у сплавах нікелю (Ni - 50%) і титана (Ti - 50%), нікелід титана або нітинол. Тоді вперше виникла назва «ефект пам'яті» форми (ЕПФ), але пояснення йому на мові термопружного мартенситу було дано пізніше через декілька років.

Застосування ефекту пам'яті форми

Дослідження природи властивостей сплавів з термопружним мартенситом продовжується. Розробляються нові сплави. Разом з цим все більше конструкторів з різних областей науки і техніки займаються завданнями їх практичного використання.

Оскільки до сплавів з ЕПФ ставляться жорсткі вимоги, а саме:

- до фізико-механічних і хімічних властивостей (точний склад, структура, міцність);
- до теплових властивостей (точні температурні інтервали);
- до контактів з біологічними матеріалами тощо,

то одержання таких матеріалів та виробів з їх використанням є областю високих технологій. Однак, обсяг виробництва сплавів з ЕПФ на багато порядків менше обсягу виробництва інших сплавів, тому що вони, як правило, використовуються тільки у керуючих частинах пристроїв. Наведемо кілька прикладів застосування сплавів з ЕПФ.

Робочі елементи термочутливих пристроїв. Регулятори температури

У якості регуляторів температури часто використовуються біметалічні пластинки, закріплені з однієї сторони. Вони виготовляються зі стрічок двох металів. Температурні коефіцієнти розширення цих металів сильно відрізняються один від одного. Стрічки щільно скріплюються у біметалічну пластинку. При нагріванні пластинка вигинається так, що опуклу сторону дуги утворює метал з більшим температурним коефіцієнтом розширення. Вигнутий кінець пластинки замикає або розмикає контактний пристрій виконавчого механізму.

За цими процесами можна спостерігати підчас інтерактивних демонстрацій за допомогою мультимедійного обладнання. Наприклад, можна обрати анімації «Біметалічна пластинка» та «Індикатор нагрівання» ППЗ «Бібліотека електронних наочностей Фізика 7-9» та «Фізика 8» параграф 2.3. Вплив температури на лінійні розміри тіл⁷.

⁷ C:\Program Files\kvazar-micro\physics8\res\2\Video_02_02_10

C:\Program Files\kvazar-micro\physics8\res\2\Video_02_03_05

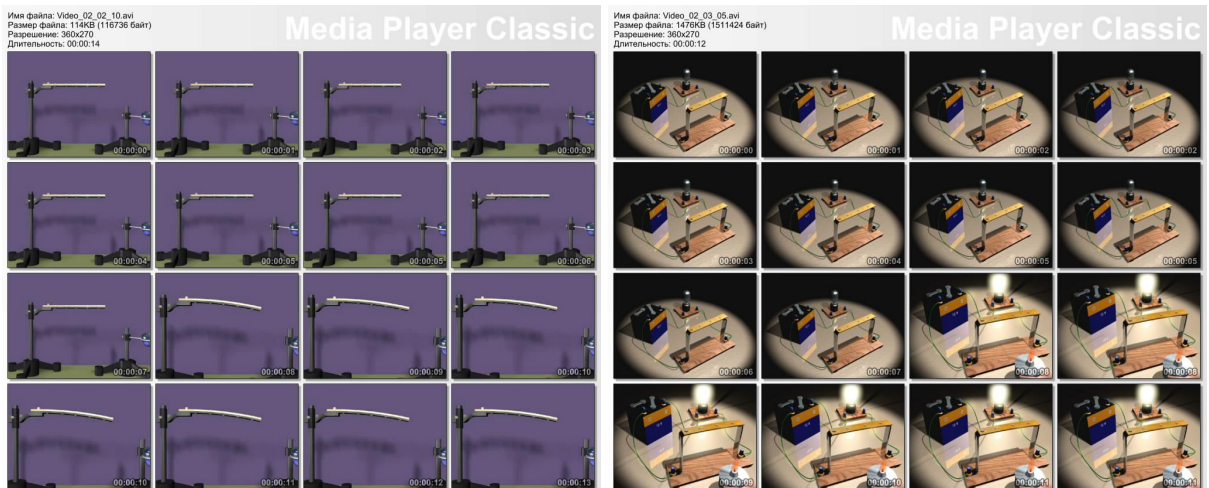


Рис 8. Серія мініатюр з інтерактивних анімацій

Таку ж функцію може виконати пластинка однорідного сплаву з ЕПФ. Після досягнення робочої температури A_k пластинка приймає задану форму і включає виконавчий механізм. При охолодженні нижче M_k регулятор відключає механізм. При роботі біметалічної пластини межа між металами перебуває під періодичним навантаженням. Це приводить до виходу її з ладу. Регулятор зі сплаву з ЕПФ при роботі «живе своїм природним життям» і тому є більш довговічним (циклічна міцність).

Втулки для з'єднання трубопроводів. Зі сплаву з ЕПФ (при робочій температурі T більше ніж A_k) виготовляють втулку, внутрішній діаметр якої трохи менше зовнішнього діаметра трубопроводу. Втулку охолоджують нижче температури M_k і розширюють по діаметру так, щоб вільно одягти на кінці трубопроводів. Після нагрівання до робочої температури втулка відновлює свій розмір і щільно обжимає трубопровід. Конструктивно можна збільшити надійність з'єднання, якщо виготовити втулку із внутрішніми кільцевими виступами-ребрами, як зображено на рисунку 9.

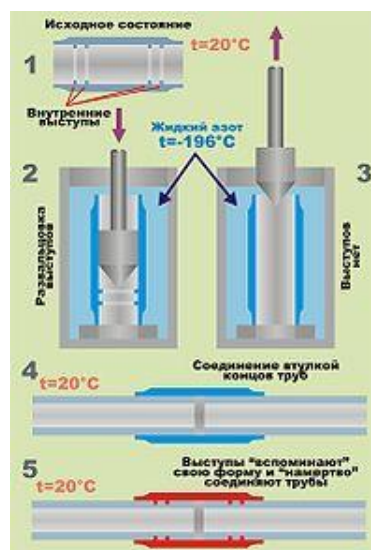


Рис. 9. З'єднувальні втулки з нікеліда титану⁸

Відомо, що на винищувачі F-14 встановлено близько 100 тисяч з'єднань з нікеліда титану і жодне з них не вийшло з ладу під час експлуатації.

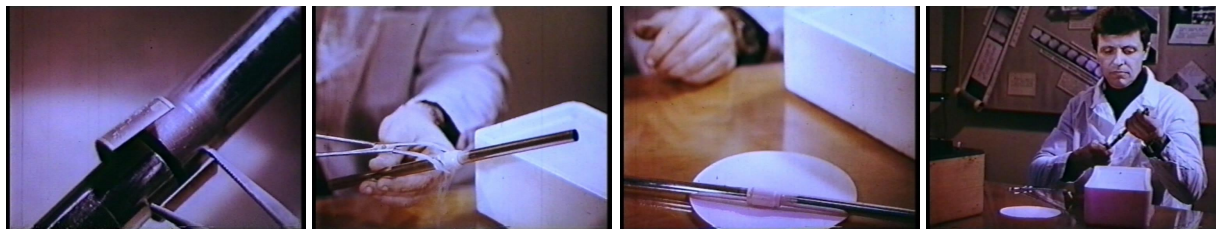


Рис. 10. Кадри з науково-популярного фільму «Термопружний мартенсит» Київської кіностудії науково-популярних фільмів (1981 р.)

Заклепки. Заклепку потрібної форми для важкодоступного місця розташування виготовляють при робочій температурі. Потім охолоджують і деформують до форми, що є зручною для доставки і розміщення в робочому положенні. При нагріванні заклепка «пригадує» свою форму і міцно з'єднує деталі.

Ефектним є використання сплавів з ЕПФ як **систем саморозгортання**, наприклад, антен різної форми. Вироби великих габаритів деформують (згортають) і в компактному вигляді транспортують до місця призначення, де вони відновлюють робочу форму.

Галуззю ефективного використання сплавів з ЕПФ є медицина. Нагадаємо, що імплантати в організмі людини повинні бути

- 1) інертними при контакті з живими тканинами,
- 2) міцними,
- 3) працювати у вузькому температурному інтервалі в околі температури тіла (37°C), щоб виключити термічне ураження тканин.

Жорстким медичним вимогам у цей час задовольняє тільки нікелід титану.

Імплантат між хребцями. На рисунку 11 зображено стрижень-імплантат 1 з фіксуючими виступами на торцевих поверхнях 2 і 3. Один з виступів виготовлений у вигляді штифта, який заглиблюється у отвір торця стрижня 4. Між дном отвору й штифтом розміщена пружина 5 із дроту нікеліда титану (має пам'ять форми). Первинна внутрішня стабілізація здійснюється за рахунок великої сили тертя між пористою поверхнею імплантату і губчатими вертикальними шарами тіл хребців. Пружина при нагріванні до температури тіла відновлює форму і виштовхує штифт до половини його довжини. Таким чином, імплантат-протез надійно заклинюється без ознак зсуву, що підтверджується засобами рентгену.

⁸ Малюнок з сайту «Вікіпедія — свободная энциклопедия», стаття «Эффект памяти формы». – Електронний ресурс: http://ru.wikipedia.org/wiki/Эффект_памяти_формы

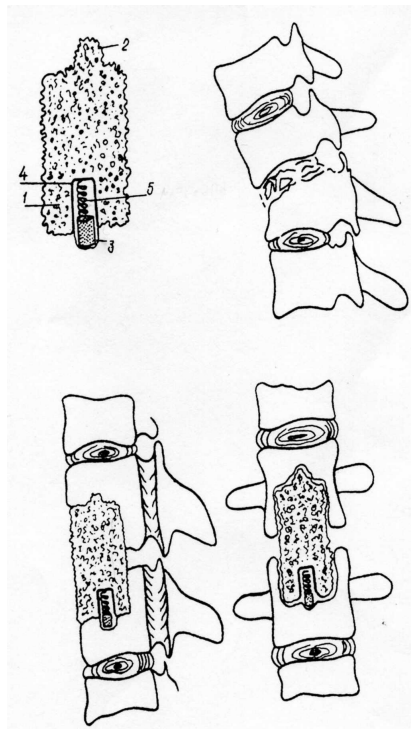


Рис. 11. Імплантація з'єднання хребців

Інструменти для урології та хірургії. Створено набір інструментів для витягування каменів із сечоводів і жовчних шляхів, а також сторонніх предметів з інших внутрішніх органів. Пристрій уводиться через канал. Камінь надійно захоплюється так званим екстрактором, виготовленим зі сплаву з ЕПФ. Витягування тіл через той же канал відбувається так, щоб виключити їх контакт з поверхнею каналу. Це виключає травми і необхідність наступних операцій.

Цікавими є спроби створити **тепловий двигун** на основі сплаву з ЕПФ. При нагріванні у деформованому сплаві розвиваються напруги для зворотної деформації, які можуть здійснити механічну роботу. Так вигнутий донизу стрижень випрямлюючись може підняти вантаж. Тепло перетворюється у роботу. Є підстави для циклічності процесу й температурний гістерезис. Такий тепловий двигун має ряд особливих переваг:

- робоче тіло (сплав) використовується, але не витрачається,
- джерела тепла низькотемпературні, можна використовувати теплові відходи підприємств.

Нажаль, технічних рішень ще не запропоновано. Існує лише невеликий перелік цікавих моделей.

Дослідження явища термопружної рівноваги фаз в Україні

Усі досягнення в дослідженні термопружної рівноваги фаз пов'язані з ім'ям однієї людини – Георгія В'ячеславовича Курдюмова (1902 – 1996 рр). Після закінчення Петроградського політехнічного інституту у 1926 р. він розпочав дослідження змін атомно-кристалічної структури сталі, що відбуваються у результаті її термічної обробки. Їм виконані основоположні роботи з вивчення мартенситних перетворень, які мають фундаментальне значення для теорії фазових перетворень і термічної обробки сталей і сплавів. З 1932 р. Курдюмов Г.В. працював в Україні, де був одним з організаторів Дніпропетровського фізико-

технічного інституту. У 1939 р. він був обраний академіком АН УРСР, а у 1953 р. – академіком АН СРСР.



Рис. 12. Курдюмов Г.В.

Під час Великої Вітчизняної війни він керував у Магнітогорську створенням нових сплавів для танкової броні. У 1944 - 1978 роках Курдюмов Г.В. – директор Центрального НДІ чорної металургії у Москві. Одночасно, у 1945 р. він організував у Києві Лабораторію (у наш час – інститут) металофізики АН УРСР і до 1952 р. був її директором.

На явище оборотності мартенситного перетворення звернули увагу ще у 1936 - 1937 роках (роботи Курдюмова Г.В. і Гриднева В.Н. у Дніпропетровському фізико-технічному інституті). Досліджувалися мартенситні перетворення в мідно-алюмінієвих сплавах. Була показана можливість зворотних мартенситних перетворень. Однак, більш ґрунтовні висновки можна було зробити тільки після цілеспрямованих досліджень оборотності мартенситних перетворень в інших системах сплавів і відокремлення цього явища від інших конкуруючих процесів у сплавах.

До 1949 року в результаті досліджень, насамперед в Інституті металофізики АН УРСР, була сформована концепція явища оборотності й опублікована у журналі «Доклади Академії наук СРСР» у статті Курдюмова Г.В. і Хандроса Л.Г. «Про термодружну рівновагу фаз при мартенситних перетвореннях». Ця дата стала пріоритетною при реєстрації явища термодружної рівноваги фаз як відкриття СРСР № 239 («ефект Курдюмова») у 1980 р.

Відділ фазових перетворень, який був створений Курдюмовим Г.В. у Лабораторії металофізики (сьогодні – Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України), продовжує дослідження мартенситних перетворень у сплавах. У цій області фізики твердого тіла, де поведінка матеріалів визначається будовою кристалічної ґратки. Є перспективи створення сплавів, властивості яких можна змінювати залежно від дії різних чинників.

Література

1. Овчарук О.В. Розвиток компетентнісного підходу: стратегічні орієнтири міжнародної спільноти // Компетентнісний підхід у сучасній освіті: світовий досвід та українські перспективи. – К. : К.І.С., 2004. – С.6–15.
2. План дій щодо поліпшення якості фізико-математичної освіти на 2009-2012 роки // Інформаційний збірник МОНУ. – 2009. – №1-2-3. – С.8-15. – (Додаток до наказу МОНУ від 30.12.2008, № 1226)
3. Равен Д. Педагогическое тестирование: проблемы, заблуждения, перспективы /Равен Д.-2-е, испр. изд. – М.: Когито-Центр, 2001. – 141с.
4. Хандрос Л.Г., Арбузова И.А. Мартенситное превращение, эффект памяти и сверхупругость // Металлы, электроны, решетка. – Киев : «Наукова думка», 1975. – С.109-143.
5. Хачин В.Н. Память формы. – М.: Знание, 1984. – 64 с.
6. Сайт «Википедия – свободная энциклопедия», стаття «Эффект памяти формы». – Електронний ресурс: http://ru.wikipedia.org/wiki/Эффект_памяти_формы
7. Шипша В.Г. Металлы с памятью формы. – Електронний ресурс: http://www.naukaspb.ru/spravochniki/Demo%20Metall/4_25.htm