

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА
ім. І.М.ФРАНЦЕВИЧА

на правах рукопису

Лигвицька Ірина Петрівна

ТЕРМОІНДУКОВАНІ ФІЗИКО-ХІМІЧНІ
ПРОЦЕСИ В ПОВЕРХНЕВИХ ШЛАХ
СПЛАВІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ

спеціальність 01.04.07 - фізика твердого тіла

Автореферат
дисертації на здобуття ученого ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Київ 1996



00740444 (N)

ДВ 34.394

Роботу виконано в Інституті проблем матеріалознавства ім.І.М.Францевича НАН України

Науковий керівник: Кандидат технічних наук
О.В.Паустовський

Офіційні опоненти: Доктор фізико-математичних наук,
професор М.Д.Смолін

Доктор фізико-математичних наук
М.М.Ніщенко

Протидна організація: Національний університет
ім. Тараса Шевченка

Захист дисертації відбудеться "10" квітня 1996 р о "14" год на засіданні спеціалізованої ради Д 01.88.03 в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України (Київ, вул.Кржижанівського, 3).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту проблем матеріалознавства ім.І.М.Францевича НАН України.

Автореферат розіслано "6" березня 1996р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради

Ю.Б.Палерно

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Формування вільної поверхні твердих тіл приводить до порушення періодичності внутрикристалічного потенціалу, що в свою чергу є причиною різниці між силами міжатомної взаємодії на поверхні та в об'ємі. Все це приводить до формування поверхневої структури, відмінної від об'ємної, змінюваного складу, а також кінетики фазових перетворень для різних по глибині атомних шарів. Звіряюшо, що ці властивості поверхні твердого тіла будуть змінюватися по-іншому, ніж в об'ємі.

До найбільш поширених дій, якими піддаються реальні матеріали, слід віднести термічне відпалення та опромінення поверхні потоками енергетичних часток. Саме вони є причиною змінювання складу структури, а також фізичних, хімічних та механічних властивостей поверхні. Через це проведенні модельних досліджень впливу даних дій на властивості поверхні можуть лягти в основу різноманітних теорій, які дозволяють проводити цілеспрямовану зміну властивостей матеріалів. До найбільш перспективних методів модифікації властивостей поверхні славів слід віднести лазерне опромінення. Особливістю цієї дії є те, що швидкість руху фронту затвердіння досягає великих значень, що близько до швидкості дифузії атомів у розплаві. Все це приводить до посилення кінетичних ефектів, які впливають на властивості та стан поверхні та які приводять до підвищення меж значень фізичних величин матеріалу.

Термічне відпалення в умовах надвисокого вакууму стимулює протікання фазових переходів та також є основною руйнівою силою поверхневої сегрегації.

Особливий інтерес у цей теперешній час набуває дослідження властивостей поверхні на основі нікелю. З одного

боку ці матеріали широко застосовуються як каталізатором, перспективний середовище для запису інформації, як жаростійкий, жаростійкі та корозійостійкі сплави, перспективні електрикоізольовані матеріали то - цю.

Мета дослідження. Головною метою роботи є вивчення впливу термічного надвисоковакуумного гідравлічного та лазерного опромінювання на склад, структуру, довільні характеристики та кінетику фазових переходів, які протікають у самих зовнішніх атомних шарах сплавів на основі нікелю, застосовуючи для цього методи неруйнівного поширеного аналізу.

Основні вихідні положення, що вносяться на захист.

1. Температурні коливання поверхневих атомів величезно помітну анізотропію, яка заповнюється у шпирітих трьохчотирьох шарах. Значне збільшення амплітуди цих коливань спостерігається вже при температурах $T_{ам} = 5/2 \theta^{2/3}$.

2. Опроміненні поверхні сплавів на основі нікелю мілісекундними лазерними імпульсами з енергією до 0.4 Дж призводять до оборотних процесів - генерації коливальних і, як наслідок - до радіційно-стимульованої сегрегації та зміни фазових фонових мод.

3. Люміне та зміни при вищезгаданому впливі на поверхні сплавів призводять до значного змінити силосекс констант та протікання по іншому ряду фазових перетворень при температурах, які значно відносяться від об'єктів.

Дякуючість отриманих результатів забезпечується програмними експериментів на атомно-числених правах моніторингу та в умовах надвисокого вакууму з використанням методик, які виключають можливість пошкодження у вакуумі.

Наукова новизна дисертаційної роботи. Найбільше значення мають методи, які дозволяють вивчати амплітудні та анізотропію температурних коливань поверхневих атомів, а також визначати точні значення критичних температур, використовувати для цього надвисокий вакуум та дозволяють

лазера. Це дозволило встановити, що теплові коливання поверхневих атомів мають помітну анізотропію, яка охоплює перші два атомні шари для металів та чотири-п'ять - для сплавів. Систематичне дослідження ангармонічних ефектів у спектрі коливань атомів у поверхневій ґратки дозволило встановити однозначний зв'язок між температурою, при якій починаються ангармонічні ефекти $T_{анг}$, та ефективною температурою Дебая $T_{анг} = 5/2 \theta$. Дослідження кінетики фазових перетворень, які відбуваються у поверхневих шарах, дозволило виявити її різницю від об'ємної. Так, процеси атомного впорядкування у першому шарі сплаву FeNi (100) починаються на 68 К раніше, ніж у об'ємі, а магнітного - на 180 К пізніше. Вперше було виявлено ефект поверхневого плавлення для Fe (100), який відбувається при температурі на 200 К вище, ніж у об'ємі. Встановлено вплив цих фазових перетворень на склад, форму концентраційного профілю та динамічні характеристики сплавів.

Дослідження впливу лазерного опромінювання на властивості поверхні сплавів дозволило вкотре визначити значення критичної енергії лазерного опромінювання, яка приводить до порушень дальнього порядку кристалеві ґратки, що у свою чергу дозволило одержати нові відомості про структуру, склад та динамічні характеристики сплавів, які підлягали лазерному опромінюванню. Було встановлено, що при енергій опромінювання до 0,4 Дж в поверхневому шарі формуються краткові дефекти (пакасії), склад яких змінюється завдяки радіоційно-стимульованій сегрегації, а температура Дебая знижується в 1,2-1,4 рази. Підвищення енергії лазерного опромінювання понад 5 Дж стимулює розвиток на поверхні мережі одно- та двомірних дефектів, а також приводить до ефектів лазерного легування, що у свою чергу збільшує міцність поверхні.

Наукова та практична цінність роботи. Розроблені оригінальні методи, які дозволяють визначити критичні

температури, які характеризують основні процеси, які протікають у поверхневих шарах. Це дозволило отримати унікальні відомості про процеси плавлення, атомного та магнітного впорядкування поверхневих шарів, провести модельні дослідження особливостей теплових коливань поверхневих атомів, а також впливу лазерного опромінювання на стан найповерхневих атомних шарів. Результати цих досліджень можуть бути застосовані для пояснення цілого ряду ефектів, які спостерігаються при вирішенні як чисто практичних проблем, так і фундаментальних задач. Серія експериментів по опромінюванню поверхні різними способами лазерними імпульсами дозволила вивести ефект підвищення міцності, що має велику практичну цінність.

Апробація результатів роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на Всесоюзних та міжнародних конференціях /10-12/, а також на наукових семінарах ІІМ НАН України.

Публікації. Зміст дисертаційної роботи опубліковано у вигляді 8 статей у провідних вітчизняних та закордонних журналах /1-8/, а також у 4-рьох книгах тезисах доповідей /9-12/.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти глав та основних висновків по результатах роботи. Роботу викладено на 135 сторінках. Вона має 67 малюнків та 259 найменувань цитованої літератури.

Особистий внесок автора. У дисертаційній роботі узагальнені результати досліджень, які виконані безпосередньо автором або групою співробітників з його безпосередньою участю. В останньому разі автор формулював цілі, задачі та проводив ставлення експерименту, аналізував та узагальнював одержанні результати. Матеріал дисертаційної роботи не містить ідей або розробок, що належать співавторам, з якими були надруковані научні статті.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовані її мета, основні положення, які представлені до захисту, наукова і практична значимість отриманих результатів, з яких виділені найбільш значимі, а також показан особистий внесок автора в результати.

Глава 1. Змінення фізико-хімічного стану поверхневих шарів у сплавах при нагріванні (огляд літератури).

У параграфі 1.1 розглядаються фізико-хімічні процеси в поверхневих шарах при лазерному впливі. Показано, що лазерне опромінення приводить до цілого ряду ефектів, які залежать від режиму цього впливу, що змінюють властивості та характеристики поверхневого шару. При цьому механізм дії можна розділити на два етапи. До першого відноситься проникнення лазерного випромінювання на глибину до кількох десятків нанометрів для металів та модифікація цього шару завдяки цій дії. До другого етапу можна віднести формування та розповсюдження напружених хвиль, які можуть модифікувати шар товщиною вже у десятки, а іноді і в сотні мікрон. На основі цього робиться висновок про те, що вивчення впливу лазерного випромінювання на фізико-хімічний склад поверхні необхідно також проводити на двох рівнях, досліджуючи як саме верхні шари так і модифіковану лазерним випромінюванням поверхневу область.

В параграфі 1.2 розглянуті механізми поверхневої сегрегації, а також результати її експериментального дослідження. Показано, що для отримання достовірних результатів по дослідженню процесів поверхневої сегрегації, необхідно вивчити атомно-чисті поверхні монокристалічних об'єктів та використовувати методи неруйнованого пошарового аналізу (НПА).

В параграфі 1.3 розглядаються особливості протікання поверхневих фазових переходів, які стимульовані нагрівом сплавів. На основі матеріалу, який був проаналізований у цьому параграфі, був зроблен висновок, що кінетика протікання цих переходів на поверхні та у об'ємі сплавів значно відрізняється. Відміна в значеннях критичних температур, в характері (роді) фазових перетворень, які протікають в найверхніших та в більш глибоких атомних шарах, дозволяє припустити, що не останню роль у цьому грає змінення силових констант при переході від поверхні до об'єму, а також ефекти поверхневої сегрегації. Наявність таких явищ, як релаксація та реконструкція також говорить на користь цього припущення.

Огляду робіт, які визначаються особливості розподілу силових констант в приповерхневій області металів і сплавів, присвячені параграф 1.4. В цьому параграфі показано, що сили межатоминої взаємодії в поверхневих шарах та в об'ємі металів та сплавів значно відрізняються. Різниця цих констант і приводить до неоднакових значень динамічних характеристик, таких як ефективна температура Дебая $\Theta^{эф}$, середньквдратови зміщення атомів $\langle u^2 \rangle^{1/2}$ коефіцієнта теплового розширення α , на поверхні та в об'ємі. Найбільш підходячим методом для дослідження цих характеристик є дифракція повільних електронів (ДПЕ), але при її застосуванні обов'язково необхідно проводити процедуру відновлення пошарової інформації з експериментальних результатів шляхом її математичної обробки.

Глава II. Експериментальна апаратура та методи дослідження.

В параграфі 2.1 надається огляд методів НПА, які використовуються при проведенні досліджень у поданій роботі. Ці методи засновані на зондуванні досліджуваної поверхні

повільними електронами і дозволяють варіювати їх довжину вільного пробігу шляхом змінення енергії. До цих методів відносяться ДПЕ, спектроскопія плазмового піку (СПП) та іонізаційна спектроскопія (ІС). Наводиться опис математичних методів відновлення пошарової інформації для цих методів.

Ці методи НПА реалізовані у надвисоковакуумній двокамерній установці, яка описана у параграфі 2.2. Вона складається з електроннографа повільних електронів та електронного спектрометра. Застосування оригінальних методик, таких як фотометризування рефлексів ДПЕ, модуляційної та компенсації фонового нахилу дозволило значно розширити можливості традиційних методів аналізу поверхні, а також збільшити точність та чутливість вимірювань. Вакуумна система установки та геометрія її робочої камери дозволила досліджувати вплив термічного нагрівання на різноманітні властивості поверхневих шарів металів та сплавів. В роботі використовувались лазерні системи "Квант-15" та "Квант-16".

Зразки дослідження, а також їх підготовка до експерименту описані в параграфі 2.3. Наведено описання об'ємних властивостей сплавів Fe-Ni і Co-Ni на основі аналізу їх фазових діаграм, а також викладення методики очищення їх поверхні від забруднення, контролю їх чистоти, а також критерії придатності досліджуваної поверхні до проведення вимірів.

Глава III Пошаровий розподіл та анізотропія силових констант у поверхневій області сплавів.

Глава присвячена вивченню особливостей теплових коливань атомів в поверхневих шарах металів, а також ефектів, зв'язаних з цими особливостями.

У параграфі 3.1 досліджувалися пошаровий розподіл динамічних характеристик сплавів Fe-Ni та Co-Ni. Вивчалась їх поперечна складова. Цей матеріал, а також дослідження

нездовжньої складової, виконані завдяки запропонованій автором дисертації оригінальній методиці, дозволили провести систематичне дослідження анізотропії теплових коливань поверхневих атомів (параграф 3.2). Було показано, що анізотропія теплових коливань сконцентрована у перших двох атомних шарах для чистих металів та чотирьох-п'яти - для сплавів. Цю різницю в глибокій ефекту, який зазастерегається, можна пояснити процесами поверхневої сегрегції.

Вивчення ефекту ангармонізму теплових коливань поверхневих атомів присвячено параграф 3.3. Запропоновано нову методику, яка дозволяє визначати значення температури, при якій починають проявлятися ангармонічні ефекти ($T_{ан2}$). Суть її полягає в аналізі форми прямих Дебая-Валлера. Завдяки цьому було одержано співвідношення, яке пов'язує ефективну температуру Дебая Θ та цю температуру: $T_{ан2} = 5/2 \Theta^{эф}$. Все це дає можливість зробити висновок про те, що проведення температурних досліджень динамічних характеристик у діапазоні $\Theta^{эф} < T < 2 \Theta^{эф}$ дозволяє використовувати теорію твердого тіла Дебая для інтерпретації одержаних результатів. Важливим висновком, який був зроблений в цьому параграфі є те, що ефекти анізотропії найбільш виражені у напрямку перпендикулярному до поверхні та сконцентровані в перших трьох-чотирьох атомних шарах. Ангармонізм теплових коливань поверхневих атомів також є анізотропним ефектом.

Крім цього, ангармонізм теплових коливань приводить до поверхневого плавлення. Дослідженню цього ефекту для Fe (100) присвячується параграф 3.4. Встановлено, що збільшення ангармонізму теплових коливань зв'язано з наявністю декількох фазових переходів у цьому металі вище $T = 1043$ К. Це приводить до того, що поверхня починає плавитись на приблизно 200 К раніше, ніж об'єм.

Глава ІУ. Модифікація поверхні сплавів під дією лазерного випромінювання.

Ця глава присвячується вивченню дії лазерного випромінювання на склад, структуру та динамічні характеристики металів та сплавів. Розгляд цих задач проводиться на двох рівнях - макроскопічному та мікроскопічному.

Опис структурних перетворень, які виникають під дією лазерного випромінювання, наводиться у параграфі 4.1. При низьких значеннях енергії лазерного імпульсу $E_{ім} < 0,1 < E_{ім} < 0,4$ Дж порушення кристалового порядку у ґратці не спостерігались. У цьому випадку у поверхневих шарах генеруються лише нульмірні дефекти (в основному вакансії). Відналення цих дефектів, яке відбувається по першому порядку реакції, повністю відновлює структурну досконалість поверхні. Збільшення енергії лазерного імпульсу до $E_{ім} > 5$ Дж приводить до підвищення твердості та міцності обробленого матеріалу. Для сплавів ВК збільшення щільності енергії з 2,5 до 5,5 Дж/мм² приводить до збільшення твердості з початкових 18.00 ГПа до 22.00 ГПа.

Процеси лазерного легування поверхні, а також радіаційно-стимульованої сегрегації описуються в параграфі 4.2. Показано, що лазерне легування приводить до змінення складу та просторового розподілу компонентів і, як наслідок цього - до підвищення міцнісних характеристик. Так, випромінювання лазерного імпульсу $E_{ім} > 10$ Дж високохромистої сталі, покритої порошком нікелю, приводить до сегрегації атомів хрому, які мають дуже високу швидкість дифузії. Фазовий склад легуваного порошком карбиду вольфраму сталі Ст.3 являє собою аустенітно-феритну суміш з вмістом карбідів вольфраму та заліза, а також напівкарбідів вольфраму. У випадку швидкокрижучих сталей Р6М5К5 та Р6М5, покритих карбідом вольфраму, спостерігається збагачення поверхні

також з особливостями теплових коливань атомів в приповерхній області. Завдяки застосуванню іонізаційної спектроскопії, доповненної методом відновлення пошарової інформації, в роботі були досліджені температурні залежності пошарового розподілу компонентів сплавів у десяти перших поверхневих шарах в діапазоні температур $300 < T < 1200$ К. Встановлено, що у сплавах $Co_{50}Ni_{50}$ та $Co_{35}Ni_{65}$ перший поверхневий шар повністю збагачується кобальтом при $T > 700$ К.

У параграфі 5.2 проведено систематичне дослідження процесів атомного впорядкування та його впливу на властивості поверхні сплаву $FeNi_3$ (100). Завдяки запропонованій у попередньому параграфі методи температурного диференціювання, вдалося визначити значення температури упорядкування першого та другого шарів. Встановлено, що цей процес відбувається при температурах на 68 К та 24 К нижче, ніж у об'ємі, відповідно для першого та другого шарів. Встановлено також, що атомне впорядкування протікає по другому роду фазових перетворень та викликає формування осцільюючого профілю концентрації. В цьому жє сплайі вивалено ефект стрибкоподібного змінення роботи виходу з зоні температури впорядкування. Форма цієї кривої однакова з температурною залежністю поверхневої сегрегації, що дає право зв'язати ці два ефекти. У цьому параграфі визначено внесок атомного впорядкування у величину гармонічної компоненти сил міжатомної взаємодії. Вона дорівнювала 0,28; 0,34 та 0,18 відповідно для граней (100), (110) та (111). Завдяки цьому матеріалу вперше була запропонована феноменологічна модель атомного впорядкування сплавів $FeNi_3$. В рамках цієї моделі ще до початку відпалення утворюються домени з мінімальними розмірами 10-15 А, які мають форму куба, зі структурою ГЦК(2x1). Ці домени мають п'ять стінок, які огороджують його від неупорядкованої частини кристалу. Відпалення при

температурі $T_{\text{сн}} = 772 \pm 2$ К приводить до руху цих стінок вздовж взаємоперпендикулярних напрямів, що приводить до утворення упорядкованих островків. Швидкість росту доменів в напрямку паралельному поверхні значно швидше, ніж у глибину сплаву. Це перш за все приводить до утворення впорядкованої поверхні (товщиною в 1-2 атомні шари) на неупорядкованому об'ємі. Так, у сплаві FeNi_3 (100) перпендикулярні доменні стінки повністю зникають у першому шарі при $T_{\text{сн}}^{\text{I}} = 708$ К, а у другому при $T_{\text{сн}}^{\text{II}} = 752$ К, залишається лише одна стінка паралельна поверхні, яка продовжує рухатися углиб сплаву, підвищуючи товщину впорядкованої області. Зіставлення величини енергії взаємодії атомів Fe та Ni показує, що збагачення поверхні атомами Fe повинно приводити до зниження значення її температури впорядкування, що повністю збігається з експериментальними результатами даної роботи.

Вивчення ферромагнітних аномалій в сплавах Fe-Ni та Co-Ni присвячено параграф 5.3. Перш за все, завдяки методиці температурного диференціювання, а також вивченням особливостей на кривих температурних залежностей інтенсивності рефлексів, були визначені значення температур Кюрі для сплавів FeNi_3 та Co-Ni. Для FeNi_3 значення цієї температури на 180 К перевищувало об'ємне та встановлювало 1050 К. Що ж стосується CoNi_3 , то його температури Кюрі для поверхні та об'єму збіглися. Цей ефект зв'язується з сегрегацією заліза на поверхні сплаву FeNi_3 . В роботі було визначено магнітний внесок в гармонічну та ангармонічну компоненти сил міжатомної взаємодії. В залежності від орієнтації конкретного зразка величина вкладу в ефективну температуру Дебая для FeNi_3 дорівнювала 20-30 К, Fe_3Ni - 30-50 К, чистого заліза - 60 К. Для сплавів Co-Ni ця величина збільшувалася з 15 К для CoNi_3 до 45 К у випадку сплаву $\text{Co}_{50}\text{Ni}_{50}$. Для обох систем залежність цього вкладу від концентрації нікелю була

прямолінійною. Цей ефект пов'язано з підвищенням величини енергії парної взаємодії при переході від чистого нікелю до чистого заліза (система Fe-Ni), або кобальту (система Co-Ni). Значення константи ангармонічної компоненти стрібноподібно зменшується поблизу температури Кюрі. Так, значення коефіцієнту термічного розширення в цій області змінюється у 10-20 разів, що зв'язано з магнітнострикційними силами.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Для одержання відомостей про анізотропію поверхневих коливань запропоновано метод пошарового аналізу розподілу поздовжніх коливань поверхневих атомів. Це дозволило встановити, що анізотропія теплових коливань поверхневих атомів сконцентрована у внутрішніх двох атомних шарах чистих металів та чотирьох-п'яти - у сплавах. Ці відмінності зв'язані з процесами сегрегації.

2. Розробка оригінальної методики дозволила встановити, що ангармонізм теплових коливань поверхневих атомів має значну анізотропію та починає з'являтися у кожному атомному шарі при температурі $T_{ан2} = 5/2 \Theta^{ср}$.

3. Визначено ефект поверхневого плавлення у Fe (100), причому, його температура на 200 К вища, ніж у об'ємі. Природа явища, яке спостерігається, зв'язане з наявністю кількох фазових перетворень у Fe вище 1043 К, які значно збільшують ангармонізм теплових коливань.

4. Опромінювання металів та сплавів мілісекундними лазерними імпульсами з енергією $0,1 < E_{ім} < 0,4$ Дж не викликає порушень дальнього структурного порядку їх кристалеві ґратки, а викликає лише генералізацію вакансій. Це стимулює процеси сегрегації та приводить до пом'якшення фононних мод, що у свою чергу приводить до зниження

температури Дебая поверхні у 1,2-1,4 рази та підвищення коефіцієнту термічного розширення у 1,5-2 рази.

5. Збільшення енергії лазерного імпульсу до $E_M \geq 5$ Дж приводить до підвищення міцності та твердості матеріалу, як завдяки генерації структурних дефектів так і лазерного лутування.

6. Ефекти поверхневої сегрегації в сплавах Fe-Ni та Co-Ni пов'язані з термостимульованими змінами ентропії та ентальпії даних систем. У сплавах Fe-Ni₃ ці процеси йдуть вбік збагачення поверхні атомами заліза, а у сплавах Co-Ni - атомами кобальту, причому у сплавах Co₅₀Ni₅₀ та Co₆₅Ni₃₅ перший атомний шар складається з чистого Co.

7. Атомне впорядкування поверхневих шарів сплаву FeNi₁₀₀ протікає по II-му роду фазових перетворень та приводить до формування осцилюючого концентраційного профілю, немонотонної температурної залежності сегрегації та стрибкоподібного змінення роботи виходу. Температура розупорядкування першого шару на 68 К, а другого на 24 К вище, ніж у об'ємі.

8. Запропоновано метод температурного диференціювання корисного сигналу, який базується на модуляції температури поверхні досліджуваного зразка лазерним опромінюванням. Завдяки йому були висячені точні значення температур фазових перетворень, які протікають у поверхневих шарах сплавів.

9. Магнітне впорядкування поверхневих шарів сплавів Fe-Ni, Co-Ni та їх компонентів приводить до стрибкоподібного змінення розсіювання електронів, коефіцієнту термічного розширення, міжплощинної відстані та складу навколо T_c . Значення T_c для сплаву FeNi₃ майже на 180 К вище об'ємного значення. Для решти зразків значення T_c для об'єму та поверхні збігаються.

Основні положення дисертації опубліковано у роботах:

1. Паустовский А.В., Горбунова И.П., Мельникова В.А., Борисейко Г.И. Влияние импульсного лазерного излучения на структуру твердых сплавов типа ВК, ТК и ТТК // Порошковая металлургия. -1992. - N 1. -С. 37-41.

2. Паустовский А.В., Горбунова И.П. О влиянии импульсного лазерного излучения на структуру твердых сплавов типа ВК, ТК, ТТК. // В сб. "Порошковые тугоплавкие материалы и покрытия на их основе", ИПМ АН УССР, - Киев. - 1990. - С.98-103.

3. Горбунова И.П., Кондауров Л.А. Структурные изменения в поверхностных слоях стали 9Х18 при действии лазерного импульсного излучения // В сб. "Актуальные вопросы материаловедения", ИПМ АН УССР, - Киев. - 1990. - С. 52-58.

4. Vasiliev M.A., Gorodetsky S.D., Litvitskaya I.P. The change at the work function during the order-disorder transition at a FeNi₂ (111) surface // Металлофизика и новейшие технологии. -1994. - т.16. -№ 3. - С. 89-91.

5. Васильев М.А., Литвицкая И.П. Динамические характеристики поверхности монокристаллических сплавов Fe-Ni, Co-Ni // Металлофизика и новейшие технологии. -1994. - т.16. -№ 5. - С. 63-69.

6. Васильев М.А., Литвицкая И.П., Мищук О.А. Анисотропия тепловых колебаний в поверхностных слоях монокристаллических сплавов на основе никеля // Металлофизика и новейшие технологии. -1994. - т.16. - № 5. - С. 70-80.

7. Васильев М.А., Волошко С.М., Литвицкая И.П. Анизотропия тепловых колебаний в поверхностных слоях монокристаллов Fe, Ni и сплавов Fe-Ni и Co-Ni // Металлофизика и новейшие технологии. - 1994. - т.16. -№ 8. - С. 1-12.

8. Васильев М.А., Гончаренко А.Б., Литвицкая И.П. Компенсация фонового наклона в электронной спектроскопии // Приборы и техника эксперимента. - 1995. - № 1. - С. 177-180.

9. Паустовский А.В., Горбунова И.П. Действие импульсного лазерного излучения на твердые сплавы и твердосплавные покрытия // Применение лазеров в народном хозяйстве: Тез. докл. Ш Всесоюзной конференции. - г.Шатура, Московской обл.: НИЦТЛАН, 4-8 декабря 1989. - С. 141-142.

10. Паустовский А.В., Горбунова И.П. Структурные изменения, протекающие в инструментальных сталях с предварительно напрессованным порошковым слоем при действии лазерного импульсного излучения // В кн.: Тезисы докладов IV Всесоюзного совещания по электрической обработке материалов. - ИПФ АН МССР, - г.Кишинев. - 1990. - С.74.

11. Vasiliev M.A., Gorodetsky S.D. and Litvitskaya I.P. Ferromagnetic anomalies in the surface of single crystal of the Fe-Ni and Co-Ni systems // at the book of abstracts 14th European Conference on Surface Science University of Leipzig, Germany 19th - 23rd September 1994.

12. Vasiliev M.A., Gorodetsky S.D., Litvitskaya I.P. The surface structure and composition of the single crystal ordering alloy FeNi₃ // at the book of abstracts of 126. WE - Heraeus-Seminar "Physics and Chemistry of Alloy Surfaces" 17-21 April 1994 in Kurort Rathen (Germany).

Litvitskaya I.P. Thermoinduced processes in surface layers on Ni base alloys.

The thesis as manuscript for competition on a candidate degree (Ph.D.) on physics and mathematics with speciality in solid state physics - 01.04.07, Institute for Problems of Materials Science NAS of the Ukraine, Kiev, 1996.

The influence of laser irradiation and vacuum annealing on the composition, structure and dynamical characteristics of the single crystals surfaces of Fe-Ni and Co-Ni alloys with orientations (100), (110) and (111) have studied. It is established that in these systems the thermal vibration anisotropy of concentrates in the first-two surface atomic layers in pure metals and in the four or five surface layers in alloys. The laser irradiation causes the surface composition change, lowering of the surface Debye temperature by 1.2-1.4 times and alteration of the surface thermal expansion factor by 1.2-2 times.

Литвишук І.П. Термодифузійні фізико-хімічні процеси в поверхневих шарах сплавів на основі нікеля.

Дисертація в формі рукопису на соискание ученої ступені кандидата фізико-математичних наук по спеціальності 01.04.07 - фізика твердого тіла. Ін-т пробл. матеріалознав. НАН України, Київ, 1995. Захищаються результати теоретичних і експериментальних досліджень по вивченню впливу лазерного облучення і отжига в умовах сверхвисокого вакуума на склад, структуру, динамічні характеристики поверхневих шарів монокристалічних систем сплавів Fe-Ni, Co-Ni. Установлено, що анізотропія теплових коливань поверхневих шарів сконцентрована в перших двох шарах для чистих металів і в чотирьох-п'яти - в сплавах. Лазерне облучення викликає зміну складу поверхності, знижуючи температуру Дебая поверхності в 1.2-1.4 рази і збільшуючи коефіцієнт термічного розширення в 1.2-2 рази.

Ключові слова: сегрегація, теплові коливання, анізотропія, ангармонізм, атомне впорядкування, пошировий аналіз, кінетика.

Підп. до друку 28.12.95. Формат 60x84/16. Папір офс.
 друк. офс. Умов. друк. л. 1,25. Умов. фарб.-відб. 1,3
 Обл.-вид. л. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. 951.

Інститут проблем матеріалознавства
 ім. І.М.Францевича АН України
 252680 Київ 680, дСП, вул.Кржижанівського,3.

Дільниця Оперативної поліграфії
 Інституту проблем матеріалознавства
 ім. І.М.Францевича АН України
 252680 Київ 680, дСП, вул.Кржижанівського,3.