**Сміян Олег Дмитрович. Перерозподіл домішкових та легувальних елементів під час термічного, деформаційного оброблення та його вплив на зародження й розвиток тріщин в металах: дис... д-ра техн. наук: 05.16.01 / НАН України ; Інститут металофізики ім. Г.В.Курдюмова. - К., 2004**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | **Сміян О.Д**. *Перерозподіл домішкових та легувальних елементів під час термічного, дефор-маційного оброблення та його вплив на зародження й розвиток тріщин в металах*. Рукопис. Дисертація на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук. Спеціальність 05.16.01. Інститут металофізики ім.Г.В. Курдюмова НАН України, Київ, 2004.  Виявлено: *а)* існування аномальних твердих розчинів клатратного типу двох різновидів: *б)* нові механізми транспорту хімічних елементів в твердому тілі; *в)* перерозподіл елементів в металі між зерном та його межами, яке починається одразу після прикладання статичного навантаження вже за Т=300 К.*г)* 3 нових фізичних явища та низку ефектів; На атомному рівні розроблено механізм та вивчено перебіг початкових стадій формування: *а)* зародків рівноважних зерен під час рекристалізації; *б)* зародків кристалів в надрах аморфної речовини (до зникнення галло); *в)* плівок-конденсатів бінарних сплавів в умовах невагомості. Запропоновано концептуальну гіпотезу моделі поверхні тафеноменологичнутеоріювиявленого явища поатомного розщеплення металом молек-ул середовища, в якому він деформується. Виявлено існування специфічних утворень з квазійонів нематричних елементів. Це рухомі утворення, які можуть фіксуватись на дефектах та міжфазних поверхнях, формуючи стаціонарні передвиділення, кластери,а згодом й зародки нової фази. Вста-новлено, що водень в металі може існувати у вигляді квазійонів Н- та Н+, які мають різну природу, різні властивості та різну поведінку в металі. Запропоновано 3 додаткових параметри до критеріїв достатності зародження та росту тріщин, механізм процесу руйнування металів за різних темпе-ратур та швидкостей деформування. На базі виявлених явищ розроблено нові технології: твердо-фазного рафінування, нанесення покриттів тощо. | |
| |  | | --- | | 1.Проведено теоретичне та експериментальне дослідження впливу термічної та деформацій-ної обробки на перерозподіл домішкових та легувальних елементів і початкової стадії формування хімічної неоднорідності в металевих матеріалах. Останнє веде до зміни локального хімічного скла-ду сплавів, їх локальних механічних властивостей, сприяє зародженню тріщин, впливає на служ-бові характеристики матеріалів, готових виробів та конструкцій.  2. Вперше в матеріалознавстві запропоновано та реалізовано моделювання фізичних процесів на атомному рівні з використанням маркерних нерадіоактивних елементів-домішок газів в тому числі й інертних, для вивчення процесів кристалізації в рідкий та твердій фазах; атомних процесів рекристалізації; перебудови та утворення кристалічних гратниць; процесів масообміну між середо-вищем та стінками порожнини тріщин; локального розподілу полей напружень тощо. Завдяки цьо-му вперше в прямому експерименті виявлено атомний механізм початкового процесу зародкоутво-рення нового зерна під час рекристалізації сталі.  3. Виявлено існування специфічних твердих розчинів домішок в металах –аномальних роз-чинів клатратного типу (**АРК**), який відрізняється від твердих розчинів проникненння та заміщен-ня стеричними параметрами, способом утворення, характером міжатомних сил зв’язку, набутими механічними властивостями, впливом на структурний та фазовий склад металу. Виявлено два різ-новиди **АРК**- з металами (І) та з газами (ІІ), та обов’язкові умови їх утворення.  4. Виявлено існування специфічних новоутворень домішкових та легувальних елементів, які виступають як дво- та тримірні солітони, мають квантові властивості, їх рух в об’ємі описується періодичними закономірностями. Ці утворення формуються в окіллі меж зерен, фаз, поверхонь площинних та об’ємних дефектів,що ускладнює вільне переміщення дислокацій під час дефор-мації. Поява спреціфічних утвореньпередує формуванню скупчень домішкових та легувальних елементів та кластерів, які є стаціонарними утвореннями.  5. В прямому експерименті показано, що перерозподіл хімічних елементів в зерні, на його межі і в прилеглому металі відбувається не тільки в результаті термічної обробки, але й вже через кілька хвилин після накладання статичного або динамічного навантаження. В результаті на межі утворюється прошарок металу з іншим хімічним складом та іншими механічними властивостями, ніж у матричного металу.  6. Експериментально встановлено і доведено факт одночасного існування в металах квазійо-нів водню Н+ та Н-. Показано, що в металі Н- то є дифузійно-рухливий водень, а Н+ - залишковий. Характерною ознакою квазійону Н- є його *надвисока рухливість в металі* (на 3-5 порядків вища за Н+). Встановлено, що у квазійонів Н- та Н+ докорінно відрізняються: швидкість та механізм масо-перенесення в тому ж металі; чутливість до дії зовнішніх чинників (тиск, склад середовища, тем-пература); місце розташування в кристалічній гратниці; характер розподілу в твердому тілі побли-зу площинних та об’ємних дефектів (в тому числі й тріщин), меж зерен, фаз та поверхонь. Експе-риментально визначено температуру фазового переходу Н-Н+ – 603±2 К (328оС). Н- стабільно існує за Т<603 К і лише в межах твердого тіла. Висловлено припущення про квантовий характер негативних квазійонів водню,які мають властивості бозонів, але тільки в межах твердого тіла; ква-зійони Н+ має властивості ферміону. Це пояснює наведені вище відмінності згаданих квазійонів.  7. Виявлено та вперше описано фізичні явища:  \*“аномальна зустрічно-зворотня міграція хімічних елементів під час термоциклу (**АЗМ**);  \*поатомне розщеплення речовини середовища дислокаціями, які утворюються під час деформації металу (**ПРСД**)  \*різке (на порядки) зростання швидкості електрохімічних процесів та корозійного руйнування металу під час контакту його поверхні зі складноструктурованою рідиною (**КОС**)  Дано теоретичне обгрунтування виявлених явищ та отримане експериментальне їх підтверд-ження. На підставі явища **АЗМ**розроблено принципово нову технологію твердофазного рафіну-вання, яка дозволила майже на порядок підвищити пластичність готових напівфабрикатів з туго-плавких металів (**W,Mo**).  8.Виявлено та описано нові ефекти:  \* впливу гравітації на механізм, характер, швидкість термічного випаровування бінарних сплавів;  \* отримання термічного конденсату, адекватного за хімічним складом бінарному сплаву, який ви-паровувався в космосі;  \* десорбції водню і перерозподіл домішкових та легувальних елементів в зоні релаксації напру-жень при розкритті деформаційних тріщин  9.Виявлено та описано нові механізми :  \* окрихчення після гартування феритних, перлітних сталей та мартенсито-бейнітних сталей;  \* транспортування хімічних елементів під час термічного та деформаційного оброблення:  під час циклічних процесів  поодиноких солітонів водню під час імпульсного оброблення металів  \* поатомного переходу хімічних елементів з молекул середовища в тверде тіло, яке деформується;  \* формування на атомному рівні зародків нових зерен під час рекристалізації;  \* окрихчення металу труб пароводяного тракту ТЕС за Т<530К та за 600<850K;  \* сорбції та масоперенесення домішкових та легувальних елементів під час зварювання вибухом  \* зносу та руйнування сопел плазмових пальників та камер згоряння реактивних двигунів;  \* руйнування окремих зварних вузлів літаків з високоміцної сталі (корпус двигуна, бензобак, шасі тощо) під час експлоатації та збереження винищувачів в сховищах;  **\***пористості, яка виникає в металі під час зварювання броньового захисту окремих вузлів літака з холоднокатаної корозійно- та теплостійкої сталі;  \* узагальнений – руйнування металів та сплавів за різних температур при циклічних, періодичних та звичайних навантаженнях та руйнуванні;  10.Запропоновано та реалізовано нові методи:  \* визначення локальних коефіцієнтів дифузії газів в металах:  за швидкістю переміщення межі підвищеної концентрації домішки, яка переходить в метал під час термічного розчинення неметалевого вкраплення;  за просторовим перміщенням за відомий відрізок часу хвильового концентраційного піку- солітону – домішки в металі  **\***ранньої діагностики початку процесу кристалізації аморфної речовини – за зростанням йонних піків окремих компонентів данної речовини під час її нагрівання;  \* твердофазного рафінування тугоплавких металів – на підставі явища **АЗМ**;  \* запобігання виникненню та швидкої зупинки тріщини, яка росте з катастрофічною швидкістю;  11.В прямому експерименті вперше проведено вимірювання:  \* локальної концентрації водню та кисню в зоні передруйнування, в окіллі вістря та берегами тріщин різного походження, на підставі чого вперше побудовано дво- та тримірні мапи розподілу водню в окіллі деформаційних та деформаційно-корозійних тріщин;  \* коефіцієнтів дифузії водню в зоні передруйнування, в стінки тріщини по всій її довжині та через оксидний шар різної товщини;  \* коефіцієнтів дифузії кисню та енергії активації цього процесу в інтервалі температур 293-1823 К; виявлено 7 характерних температурних зон, з переходом через які він змінюється стрибками і які співпадають з температурами фазових, структурних, магнітних перетворень, потрійною точкою, температурою переходу від об’ємної до реактивної дифузії та від атомарної до об’ємної тощо;  \* дольової частки сорбції водню металом на окремих стадіях його деформування (пружна, плас-тична деформація, плинність).  12.Вперше встановлено, що під час окислення багатокомпонентного сплаву максимального значення ступінь окислення компонентів сплаву досягає не на поверхні (як очікувалось), а на дея-кій відстані від неї, яка збільшується при підвищенні температури, досягає максимуму за Т=823 К, але зменшується зі зростанням тривалості витримки за Т=const. Встановлено, що за Т 823К в цих сталях оксиди титану та марганцю взаємно виштовхують один одного з поверхні розділу фаз і лише в присутності SiO2 між ними можливий перебіг обмінних реакцій.  13. Запропоновано новий тип діаграм - діаграми масоперенесення,- які дозволяють визнача-ти зміну концентрації окремих хімічних елементів на міжзеренних та міжфазних поверхнях конкретних металевих сплавів під час їх нагрівання  14. Вперше встановлено, що рівень вмісту окремих хімічних елементів в металі зони, прилег-лої до поверхні руйнування, змінюється і стабілізується на відстані, зворотно пропорційній роз-мірам атомів компонентів сплаву. В лопатці турбіни зі сталі 08Х13 після руйнування в результаті експлуатації парового котла закритичного тиску ТЕС ці відстані складають відповідно для **Н** –3500мкм, для **О** – 400...1000 мкм, для **С** – 100 мкм, для **S** – 70 мкм, для **Cr** – 20 мкм.  15.Отримано нові експериментальні підтвердження існування хвильового масоперенесення, виявленого раніше. Встановлено, що амплітуда та період дифузійних (концентраційних) хвиль від контактної поверхні в глибину металу при насичені останнього домішками з газової, рідинно-ме-талевої, рідинношлакової фаз та з плазми різного складу залежить від потужності джерела дифузії, співвідношення стеричних параметрів дифузантів та матричного металу, температури процесу, наявності та характеру напружень в напрямку масоперенесення, постійності величини перетину зразка металу в цьому ж напрямку тощо.  16. Запропоновано враховувати додаткові параметри для оцінки здатності матеріалу до трі-щиностійкості при використанні силового, деформаційного та енергетичного критеріїв руйнуван-ня, а саме– *хімічний*(*сегрегаційний), динамічний, електронний*. Для оцінки схильності матеріалу до крихкого руйнування без проведення механічних випробовувань пропонується використову-вати *кут крихкості* на графіку залежності C=(L): чим гостріше цей кут, тим більш в’язким є руйнування твердого тіла; за крихкого руйнуванні 90о. | |