ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 16, № 3 (2015) С. 586-592

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 16, № 3 (2015) P. 586-592

DOI: 10.15330/pcss.16.3.586-592

УДК 669.3:539:537.322.11:536.424.1

ISSN 1729-4428

Л.Ю. Козак, О.Л. Козак

Вплив високого гідростатичного тиску на пластичність твердих тіл

Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська 15, м. Івано-Франківськ, 76000, E-mail:lub53l@ukr.net

На двовимірній дискретній моделі твердого тіла показано, що під впливом високого гідростатичного тиску зменшується міжатомна відстань, внаслідок чого кристалічна гратка переходить зі стану стійкої рівноваги у стан нестійкої рівноваги. В результаті такого перетворення інтенсифікуються процеси пластичної деформації.

Наслідком дії високого гідростатичного тиску є зближення атомів у твердих тілах, які набувають властивостей пластичності і електропровідності. На основі цих фактів, зроблено висновок, що природні властивості металів, пластичність і електропровідність, також обумовлені додатковим зближенням їх атомів. Додаткове зближення атомів у металах викликано тим, що потенціали їх міжатомної взаємодії є сферично-симетричними або близькими до таких.

Ключові слова: кристалічна гратка, гідростатичний тиск, атоми, двійникування, нестійкість, пластична деформація.

Стаття поступила до редакції 03.04.2015; прийнята до друку 15.06.2015.

Вступ

Добре відомо, що під впливом високого гідростатичного тиску, як і у випадку дії температури, тверді тіла кардинально міняють свої властивості [1-4]. З'ясувалося, що не тільки механічні, але і електричні і магнітні властивості сталей і інших матеріалів істотно поліпшуються, якщо піддати їх витримці під тиском в 25 000 ат (2500 МПа) і більше. Сталь під таким тиском стає значно міцнішою. Крихкий сірий чавун, фосфориста бронза, берилій і навіть мармур стають пластичними і поводяться як глина [3]. Так, наприклад, [4] с.26: «При стисках 15000-25000 дан/мм^2 (близько 1500-2500 МПа, авт. пр.) сталь стає настільки пластичною, що її відносне звуження досягає близько 99%, відносне звуження броньованої сталі дорівнює 58%, сірого чавуну – близько 30%, кам'яної солі – 20%, мармур дає пластичне видовження близько 25%».

Під час розтягу з одночасною дією гідростатичного тиску значно збільшується пластична деформація, хоча напруження руйнування зростає не набагато. При цьому метали, що крихко руйнуються, у випадку дії гідростатичного тиску руйнуються в'язко зі значною пластичною деформацією. Накладення гідростатичного тиску іноді приводить до повного звуження шийки і ця величина деформації значно вища, ніж випробування на розтяг у звичайних умовах.

Загалом вплив високого гідростатичного тиску (ВГТ) на механічні властивості металів пояснюють тим, що всестороннє стискання подавляє розтягуючі компоненти напружень і перешкоджає тим самим утворенню розривів, збільшує можливість пластичної деформації [1-4]. Підвищення пластичності крихких металів під тиском відбувається внаслідок усунення дефектності.

Під час деформації промислових металів і сплавів ВГТ ускладнює міжкристалічну деформацію, яка сприяє крихкості. Відбувається додаткове ущільнення металу за рахунок «заліковування» мікро- і макродефектів та макропор, що виникають в процесі пластичної деформації. ВГТ, зменшуючи розтягуючі напруження в тілі під час пластичної деформації, пригнічує процес зародження тріщин і гальмує їх поширення. [4]. Ці висновки підтверджують металографічні, електронно-мікроскопічні дослідження і рентгеноструктурний аналіз, які показали, що ВГТ покращує властивості матеріалів [1,2].

Ряд дослідників [5,6] вважає, що ВГТ впливає на поведінку дислокацій під час пластичної деформації. Підвищення пластичності пов'язано з їх посиленим розмноженням та процесами переповзання і анігіляції. ВГТ, збільшуючи взаємодію між дислокаціями, має істотний вплив на динаміку

дислокацій. В результаті можливе парадоксальне для звичайних умов явище - одночасне зростання пластичності і міцності матеріалу.

Разом з тим вплив гідростатичного тиску не обмежується тільки структурними змінами в твердих тілах. Під дією тиску у більшості твердих тіл змінюються фазові діаграми і відбуваються поліморфні перетворення а також зміна типу хімічного зв'язку [7]. Наприклад, класичні напівпровідники германій і кремній, під тиском 900 МПа та 1200 МПа відповідно за кімнатної температури перетворюються у метал, у результаті чого підвищується їх пластичність і електропровідність. У твердих тілах з низькою пластичністю та електропровідністю дія високого гідростатичного тиску обумовлює виникнення високої електропровідності та пластичності. А це означає, що в цих тілах виникає металічний тип хімічного зв'язку.

Слід зауважити, що дія високого гідростатичного

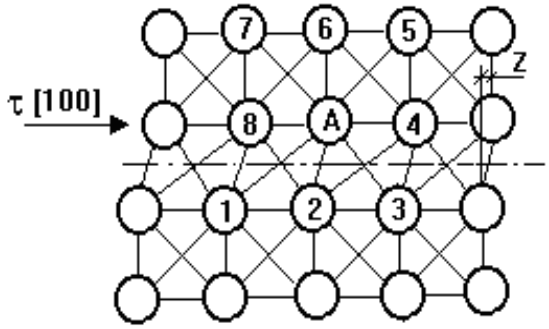

Рис. 1. Зсув атомної площини у двовимірній моделі кристала.

тиску аналогічна дії температури. Зі зміною цих параметрів спостерігаються кількісні і якісні зміни пластичності твердих тіл. Кількісні зміни мають місце в деякому діапазоні зміни температури чи тиску. Якісні зміни відбуваються стрибкоподібно і пов'язані з поліморфними перетвореннями. Тому, як у першому так і в другому випадку слід розрізняти вплив тиску і температури - по-перше на структурні зміни, що обумовлюють механічні властивості, такі як пластичність і міцність; по-друге – на формування у твердих тілах тої чи іншої кристалічної гратки і типу хімічного зв'язку, що знову ж має вплив на їх пластичність і міцність.

Загалом, незважаючи на велику кількість експериментальних даних, на теперішній час відсутні чіткі і однозначні пояснення впливу ВГТ на механічні властивості твердих тіл.

Раніше нами на дискретній домірній моделі кристалічної гратки було показано, що зміна пластичності зі зміною температури відбувається через втрату стійкості кристалічної гратки і обумовлена відхиленням атомів з положення з мінімальною потенціальною енергією [8,9]. Подібний вплив має дія високого гідростатичного тиску. Тому мета цієї статті показати, що підвищення пластичності твердих тіл під дією ВГТ також обумовлено дестабілізацією кристалічної гратки внаслідок зміщення атомів.

.

I. Методика

Використовували дискретну модель твердого тіла. Розглядали двовимірну кристалічну гратку з квадратною коміркою (рис.1) як і в роботі [8], але з тією відмінністю, що сили міжатомної взаємодії описували асиметричним потенціалом (рис.2). Рівноважну відстань в напрямі найближчому до перших сусідів атома приймали r_{01}, а в напрямі до других сусідів – $r_{02} = r_{01}\sqrt{2}$ (рис.2б). Така конфігурація на відміну від сферично-симетричного

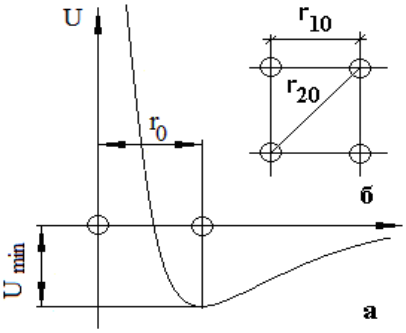

Рис. 2. Залежність енергії взаємодії U між атомами від відстані r (а) та рівноважна відстань до перших та других сусідів атома (б).

потенціалу забезпечує високу стійкість кристалічної гратки.

Приймали, що потенціали міжатомної взаємодії поширюються на перших та других сусідів атома і обмежуються відстанню $r = 2r_{10}$.

Енергію зв'язку між двома атомами визначали з рівняння [10]

$$U = \frac{A}{r^m} + \frac{B}{r^n}, \qquad (1)$$

де A, B – константи; r – відстань між атомами; m і n – показники степені для енергії сил притягання і сил відштовхування відповідно.

Оскільки розрахунки проводились для встановлення якісних характеристик моделі, то дані у

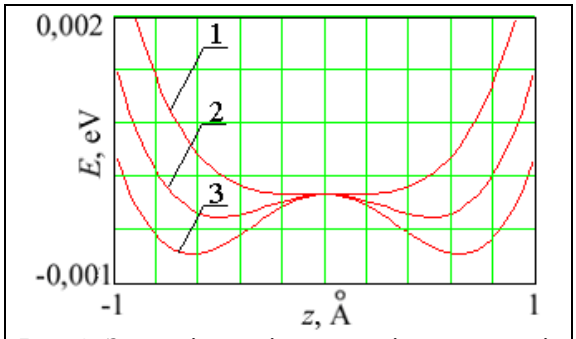

Рис. 3. Залежність зміни потенціальної енергії атома A від зсуву z атомних площин у напрямі [100] за нормальних умов – крива *1*, та під дією гідростатичного тиску – крива 2 і 3.

рівнянні (1) вибрані довільно, але є близькими за величинами, що характерні для реальних кристалів. Для нашого випадку вважатимемо константу A і показник степені m рівними одиниці, а показник степені n = 8. Рівноважна відстань між атомом і його першими сусідами r_{10}=2.5 Å і r_{20}= 3.54 Å – між атомом і його другими сусідами.

Потенціальну енергію кристала одержали шляхом сумування енергій N атомів, з яких складається кристал:

$$E_k = (1/2)\sum_{i,j=1}^{N} U(\bar{r}_i - \bar{r}_j), \qquad (2)$$

де $U(\bar{r}_i - \bar{r}_j)$ – енергія взаємодії пари атомів з координатами r_i і r_j.

Міжатомну відстань визначали з умови мінімальної потенціальної енергії кристала. Ця відстань дорівнює $r_0 = r_{10} = 2.5\ A^o$, тобто є такою ж як рівноважна відстань для парної взаємодії атомів в напрямку найближчих сусідів атома - $r_o = 2{,}5\ A^o$.

Вплив високого гідростатичного тиску на двовимірній моделі кристала імітували шляхом зменшення міжатомної відстані до $r = 2{,}45\ A^o$ та $r = 2{,}42\ A^o$.

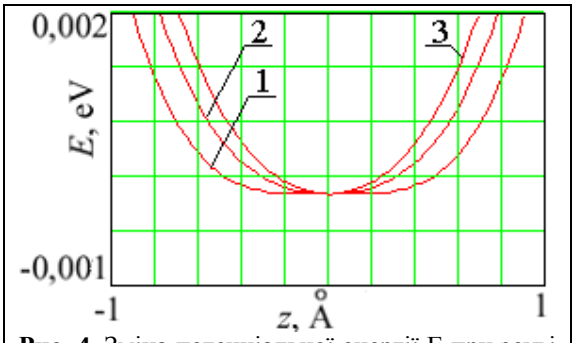

Рис. 4. Зміна потенціальної енергії E при зсуві z атома 1 у напрямі [100] за різних температур:1 – T_1;2 – T_2;3 – T_3 . $T_3 > T_2 > T_1$.

II. Результати розрахунків

На моделі двовимірного кристала (рис. 1) досліджували зсув атомних площин. При цьому розраховували зміну потенціальної енергії атома A. Вважали, що атом A рухається в напрямі [100] одночасно з його сусідами *4,5, 6, 7, 8*. Будемо вважати, що під час зміщення атома A відстань його змінюється тільки відносно атомів 1,2,3 тому зміна потенціальної енергії атома A також обумовлюється взаємодією тільки з цими трьома атомами. Розрахунок зміни енергії зсуву атома A за малих деформацій проводили (рис.3) для трьох випадків: у відсутність гідростатичного тиску - крива 1; під дією гідростатичного тиску, що викликає стискання кристалічної гратки зі зменшенням відстані між атомами $r = 2{,}45\ A^o$ – крива 2 та $r = 2{,}42\ A^o$ – крива 3.

Відповідно до отриманих графіків енергія необхідна для зміщення атома A разом з атомами площини у кристалографічному напрямі [100] (рис. 3, крива *1*) підвищується за відсутності гідростатичного тиску. У випадку дії високого гідростатичного тиску затрати енергії зменшуються (рис. 3, крива 2 і 3), що означає втрату стійкості відносно зсувних деформацій. Зростання гідростатичного тиску призводить до посилення дестабілізації кристалічної гратки, що проявляється в у збільшенні "горба" на дні кривої 3 (рис. 3).

Додатково досліджували вплив температури на стійкість кристалічної гратки з асиметричним потенціалом міжатомної взаємодії. Для цього визначали форму рельєфу потенціальної енергії атома у випадку зсуву атомної площини у напрямі [100] за трьох різних температур (рис. 4). Зміну температури моделювали як зміну міжатомної відстані у кристалічній гратці. Відомо, що збільшення кінетичної енергії атомів створює внутрішній тиск, що обумовлює теплове розширення твердих тіл за рахунок збільшення міжатомної відстані.

Графік *1* (рис.4) зміни потенціальної енергії

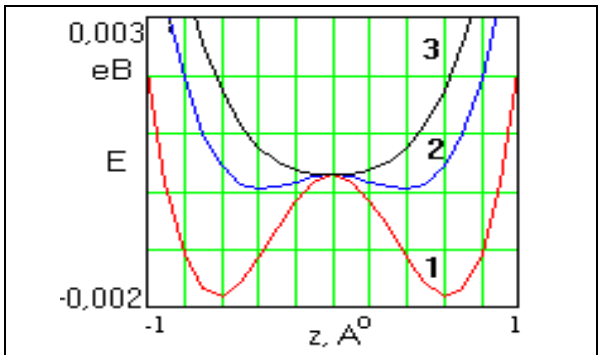

Рис. 5. Зміна потенціальної енергії E при зсуві z атома 1 у напрямі [100] за різних температур: 1 – T_1; 2 – T_2; 3 - T_3 , $T_3 > T_2 > T_1$ [8].

атома у випадку зсуву атомної площини відповідає мінімальній температурі (0 К). Графіки *2* і *3* одержані для випадку, коли через підвищення температури міжатомна відстань збільшилась з r_{01}= 2,5 A^o за температури T_1, до - r_{01} = 2,55 A^o за - T_2 і до r_{01} = 2,6 A^o за температури T_3. В результаті моделювання було встановлено, що збільшення мінімальної відстані між атомами з ростом температури, сприяє стабілізації кристалічної гратки. Це спостерігається у зростанні енергії необхідної для зсуву атома (рис.4, криві 2 і 3).

Отримані результати свідчать, що з підвищенням температури стійкість кристалічної гратки зростає як у випадку асиметричного потенціалу міжатомної взаємодії (рис.4), так і у випадку сферично-симетричного потенціалу (рис.5) [8].

Зниження температури має подібний вплив на стійкість кристалічної гратки з сферично-симетричним потенціалом міжатомної взаємодії як і дія ВГД. Зростання гідростатичного тиску та падіння температури зменшують міжатомну відстань (крива 2,1 рис.5), що сприяє дестабілізації такої гратки. На

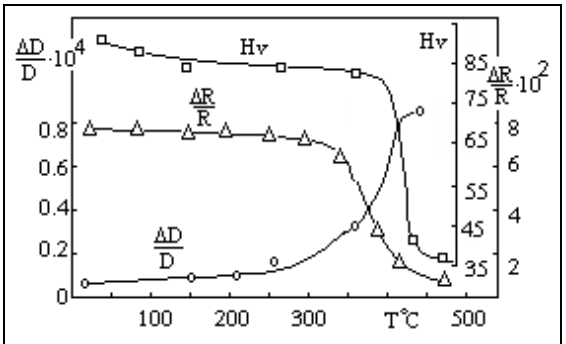

Рис. 6. Криві зміни відносного електроопору ΔR/R, відносної густини ΔD/D, твердості Hv при відпалюванні металів [21].

Рис. 7. Криві розтягу свинцю при 4.2 К: 1 – нормальний стан; 2 – надпровідність[25].

двовимірній моделі кристалічної гратки це проявляється у збільшенні "горба" на дні потенціальної ями як від підвищення гідростатичного тиску, так і зі зниженням температури (рис. 5).

III. Обговорення

Отримані результати свідчать про залежність стійкості двомірної гратки з квадратною коміркою від величини гідростатичного тиску. Для нашої моделі підвищення гідростатичного тиску є дестабілізуючим фактором, у результаті дії якого стійка відносно малих зсувних деформацій кристалічна гратка (рис. 3, крива1) перетворюється у нестійку (рис.3 криві 2 і 3). Раніше [8,9] нами було показано, що пластична деформація за низьких температур, є наслідком втрати стійкості двовимірної кристалічної ґратки зі сферично-симетричним потенціалом міжатомної взаємодії. Цей висновок стосувався лише тих ґраток, що мають сферично-симетричний або близький до нього потенціал міжатомної взаємодії. У випадку стійкої кристалічної гратки з асиметричним потенціалом, гідростатичний тиск має подібний вплив на стійкість кристалічної гратки, як і зміна температури для нестійкої кристалічної гратки (рис. 5). Обидва ці чинники викликають зміни в положенні атомів кристалічної гратки. В результаті зміщення атомів з положення з мінімальною потенціальною енергією кристалічна гратка переходить в стан нестійкої рівноваги. Незначні зовнішні зусилля викликають зсуви атомних площин (атоми переміщаються в положення з мінімальною енергією), в результаті чого відбувається процес пластичної деформації. Крім того, як і у випадку зміни температури, пластичність під дією гідростатичного тиску може змінюватись як еволюційно, так і стрибкоподібно. Кардинальні зміни відбуваються у випадку поліморфних перетворень. Прикладом є перетворення білого високопластичного олова у сіре крихке олово при зниженні температури за атмосферного тиску та перетворення низькопластичного германію і кремнію за тиску 900 МПа та 1200 МПа у високопластичний за кімнатної температури, про що вже згадувалось вище.

Слід зауважити, що аналогічність впливу температури і тиску на пластичні властивості твердих тіл обумовлена їх однаковим впливом на зміщення атомів в кристалічній гратці. В обох випадках зменшення відстані між атомами сприяє підвищенню пластичності. Це є важливий висновок, оскільки за його допомогою можна пояснити зв'язок, що існує між високими пластичністю і електропровідністю у металах. Про існування такого зв'язку, свого часу, ще висловився Френкель: [11], с.339 "Метали, в особливості монокристалічні, до їх механічної обробки (тобто наклепу) є найбільш пластичними поміж всіма тілами; якщо з електричної точки зору вони відрізняються від діелектриків своєю електропровідністю (при низьких температурах), то з точки зору своїх механічних властивостей вони настільки ж сильно відрізняються від діелектриків (які стають особливо крихкими за низьких температур) саме своєю пластичністю. Ці обставини безсумнівно вказують на те, що висока пластичність металів пов'язана з наявністю у них колективізованих електронів. Однак природа і походження цієї кореляції залишається незрозумілими. "

Існування зв'язку між зовсім різними явищами - пластичністю і електропровідністю обумовлено додатковим зближенням атомів кристалічної гратки внаслідок дії гідростатичного тиску. При цьому атоми речовини зближаються і потенціальні бар'єри між ними зменшуються, в результаті електрони легко можуть пересуватись від атома до атома. Наслідком делокалізації електронів є електропровідність. Теоретично делокалізацію електронів можливо викликати у будь-якій речовині за достатнього зближення атомів під дією ВГТ. Також внаслідок зближення атомів кристалічна гратка втрачає стійкість. Тому під дією ВГТ всі тверді тіла перетворюються у пластичні і електропровідні.

Не дивлячись на те, що причиною зв'язку пластичності і електропровідності є додаткове зближення атомів кристалічної гратки, природа цих явищ різна. Електропровідність є наслідком перекриття зони валентних електронів із зоною провідності, а пластичність - наслідком перетворення стійкої гратки у нестійку.

Метали відносяться до пластичних речовин, у яких валентні електрони делокалізовані. Тобто, для

металів є характерними всі ті властивості, що мають неметалічні тверді тіла під дією ВГТ. Це дає підстави припустити, що в металах найближчі атоми додатково зближенні, подібно до атомів твердих тіл за високого гідростатичного тиску. А це означає, що кристалічна гратка металів є нестійкою. Про додаткове зближення атомів в металах на відстань менше рівноважної згадується в роботах [12-14].

Раніше в роботі [15,16] була запропонована модель, відповідно до якої відстань між атомами у металах є вкороченою в наслідок сферичної симетрії потенціалу міжатомної взаємодії і його дальнодії. Такий тип потенціалу обумовлює виникнення сил притягання між атомами і їх дальніми сусідами, які врівноважуються силами відштовхування між атомами і їх першими сусідами при їх зближенні. Тобто метали внаслідок специфіки міжатомної взаємодії стискаються за рахунок внутрішніх сил, подібно як діелектрики внаслідок дії гідростатичного тиску. При цьому як перші так і другі стають електропровідними і пластичними.

Слід відмітити, що у випадку крихких матеріалів ефект тиску виступає феноменологічно більш чітко, так як ці матеріали одержують нову якість - пластичність, тоді як у матеріалів, які є пластичними у звичайних умовах, спостерігаються лишень більш або менш суттєві кількісні зміни. Це пов'язано з тим, що у крихких матеріалів кристалічна гратка у відсутність ВГТ є стійкою, а в металах – є нестійкою. На двовимірній кристалічній гратці стійка і нестійка гратка моделюється за рахунок різних потенціалів міжатомної взаємодії – сферично-симетричного, що властивий для металів, і асиметричного - властивого для крихких матеріалів (рис.5 і рис.3 відповідно, лінія 1). Під дією ВГТ двовимірна гратка, що моделює крихкі тіла, перетворюється зі стійкої в нестійку (рис.3, лінія 2 і 3) в той час як нестійка гратка, що моделює метал (рис. 5), змінює тільки ступінь нестійкості (рис.5, лінія 1 і 2).

Кількісні зміни пластичності у металах під дією ВГТ пов'язано не тільки ступенем дестабілізації кристалічної гратки, але й зі структурними змінами в їх будові та наявністю дефектів. Оскільки дефекти будови по різному змінюють відстані між атомами кристалічної гратки, то їх вплив на пластичність слід розглядати в двох аспектах. Такі дефекти як міжвузлові атоми чи екстраплощини дислокацій викликають зменшення міжатомної відстані у кристалі, тому вплив цих дефектів на локальну область матеріалу у місці їх розміщення аналогічний впливу гідростатичного тиску. Такі дефекти підвищують пластичність матеріалу в локальних областях. Що стосується дефектів, які сприяють зростанню параметра гратки – вакансії, «розріджена» область матеріалу біля ядра дислокації, мікропори і т.д., то вони переважно знижають пластичність. Кількість останніх значно більша, в результаті чого в процесі пластичної деформації відбувається «розрихлення» матеріалу (збільшення відстані між атомами гратки). Експериментальні дані свідчать, що у металах після пластичної деформації зменшується густина внаслідок збільшення відстані між атомами в локальних областях матеріалу [17-21]. При цьому електропровідність падає у декілька разів [22-24]. «Встановлено, що об'ємне пластичне «розрихлення» як при циклічному так і при статичному деформуванні збільшується у випадку збільшення пластичної деформації» с.41 [20]. Отже у металах пластична деформація приводить до локального збільшення параметра кристалічної гратки, внаслідок чого знижається електропровідність і пластичність. "У результаті холодної деформації переважно збільшується міцність, межа течіння, твердість матеріалів і зменшується пластичність, електропровідність і густина " с.317, [22].

Якщо ж піддати метал відпалу, то в наслідок зменшення кількості дефектів, пластичність, густина та електропровідність металів відновлюється (рис.6)[22].

Наведені вище експериментальні дані свідчать про вплив дефектності будови на пластичність і електропровідність металів і визначають їх залежними від міжатомної відстані.

Яскравим прикладом зв'язку електропровідності з пластичністю у металах є експериментальні дані [25], що засвідчують зниження межі текучості монокристалів свинцю при переході їх у надпровідний стан (рис.7).

Таким чином зв'язок пластичності і електропровідності обумовлений зміною параметра гратки і свідчить про їх залежність у першу чергу від електронної структури матеріалу. Незалежно чи це тверді тіла під дією ВГД, чи метали, додаткове зближення атомів викликає делокалізацію електронного газу і впливає на стійкість кристалічної гратки. Внаслідок цього вони стають електропровідними і пластичними. У відсутність ВГД неметалічні матеріали втрачають ці властивості. Що стосується металів, то у них втрата цих властивостей відбувається частково в місцях дефектної будови або під час процесу пластичної деформації за рахунок генерації різного роду дефектів.

Загалом пластичність твердих тіл залежить не тільки від структури твердих тіл, але і від їх електронної структури, тобто від типу хімічного зв'язку. Пластичність найбільш характерна для речовин з металевим типом зв'язку, у той час як речовини з іншими типами зв'язку мало пластичні і крихкі. При цьому потрібно зазначити, що тип зв'язку є основним чинником, що визначає пластичність твердих тіл, у той час як структурний чинник є другорядним. Так, дислокації присутні в іонних, ковалентних і металевих кристалах, однак тільки для металів характерна висока пластичність.

Зв'язок електронної структури твердих тіл з їх механічними властивостями – міцністю і пластичністю розглянуто у конфігураційній моделі речовин, яка створена академіком Самсоновим зі співробітниками [26]. Відповідно цієї моделі вважається, що у конденсованому стані речовин можливо співіснування двох підсистем валентних електронів – частково локалізованих і

колективізованих, що визначає міцність і пластичність речовин. Академік Архаров з співробітниками [27] на основі цієї моделі прийшли до висновку, що у металах можливе співіснування областей з високим степенем делокалізації валентних електронів (області правильної будови кристалічної гратки), для яких характерним є металічний зв'язок, і областей, де валентні електрони більш локалізовані (дефектні області матеріалу), для яких характерний ковалентний зв'язок. Відповідно у металах є області більш пластичні і менш пластичні.

Саме додаткове зближення атомів сприяє делокалізації електронів та дестабілізації кристалічної гратки незалежно чи це відбувається під впливом ВГД у діелектриках і напівпровідниках, чи за рахунок специфічної міжатомної взаємодії в металах.

Висновки

1. Результати досліджень двовимірної кристалічної гратки є свідченням того, що підвищення пластичності в умовах високого гідростатичного тиску є наслідком втрати її стійкості, що пов'язано зі зменшенням міжатомної відстані.
2. Під дією високого гідростатичного тиску всі тверді тіла стають пластичними і електропровідними. Пластичність виникає внаслідок зміни стійкості кристалічної гратки, а електропровідність виникає внаслідок перекриття зони валентних електронів з зоною провідності.
3. Існуючий зв'язок між зовсім різними явищами – пластичністю і електропровідністю обумовлено тим, що ці явища виникають внаслідок однієї і тієї ж причини – додаткового зближення атомів.
4. Наявність властивостей пластичності та електропровідності в металах за нормальних умов пов'язано з додатковим зближенням атомів кристалічної гратки і обумовлено специфікою міжатомної взаємодії.
5. Тип хімічного зв'язку є основним чинником, який визначає пластичність і міцність твердих тіл, тоді як структура їх будови – другорядним.

[1] Mehanicheskie svojstva materialov pod vysokim davleniem. -Pod redakciej H.P'ju. M.:Mir,1973.-295 c.
[2] Beresnev B.I. Plastichnost' i prochnost' tverdyh tel pri vysokih davlenijah.- M.: Nauka.- 1970. - 274 c.
[3] Bridzhmen P. V. Fizika visokogo tisku. M.-L.: ONTI, 1935.- 402 s.
[4] Karpenko G.V. Pro fiziko-himichnu mehaniku metaliv. - Kiïv: Naukova dumka, 1973.-175s.
[5] G.A. Malygin. Vlijanie gidrostaticheskogo davlenija na annigiljaciju vintovyh dislokacij poperechnym skol'zheniem v shhelochno-galloidnyh kristallah// Fizika tverdogo tela, -1992. - №10 – 34. – S.3200-3010.
[6] Malashenko V.V., Peretolchina G.B., Ulickaja N.Ju. Dinamika dislokacij v gidrostaticheski szhatyh kristallah, soderzhashhih dislokacionnye dipoli // XX Peterburgskie chtenija po problemam prochnosti. 10-12 aprelja, 2012, Sankt-Peterburg. Sbornik materialov, chast' 2. S. 223-225.
[7] http://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/20753
[8] Tonkov E.Ju.Fazovye diagrammy jelementov pri vysokom davlenii. - -M.:Nauka, 1979.-192 s.
[9] Kozak L.Ju. Diskretni modeli martensitnogo peretvorennja ta dvijnikuvannja v metalah// Fiz.-him. mehanika materialiv. - 2012. - №5. - S.83-87
[10] Kozak L.Ju. Plastichnost' i neustojchivost' kristallicheskoj reshetki//Metallofizika i novejshie tehnologii. - 2012. - T.34, - №5. - S.1529-1545
[11] P.I.Poluhin, S.S.Gorelik, V.K. Voroncov Fizicheskie osnovy plasticheskoj deformacii/ – M.- Metallurgija: 1982. - 584 s.
[12] Ja.I. Frenkel'. Vvedenie v teoriju metalov. Nauka, Leningrad. - 1972, 423s.
[13] Dutchak Ja.J. ta in.Fizika metaliv.Kiïv.: NMK VO, 1993.-162s.
[14] Pirson U. Kristalohimija i fizika metalov i splavov.- M.: Mir,1977.- 419s.
[15] Kan R. Fizicheskoe metalovedenie, ch.II.-M.: Mir, 1970.-583s.
[16] Kozak L. Komp'juterne modeljuvannja zsuvu atomnoï ploshhini u dvovimirnij krictalichnij gratci// Fiziko-himichna mehanika materialiv. №1, s.114-115, (1999)
[17] L.Ju. Kozak «Plastichnist' metaliv i nestijkist' kristalichnoï gratki» Ivano-Frankivs'k.: Fakel. 146 s. (2004)
[18] Kittel'Ch. Vvedenie v fiziku tverdogo tela. - M.: Nauka, 1978, 791s.
[19] Pavlov V.A. Fizicheskie osnovy plasticheskoj deformacii metallov. - M.: Metalurgija,
[20] Smirnov S. V., Bogatov A.A., Kolmogorov V.A. Issledovanie plasticheskogo razryhlenija
[21] metalla i zalechivanie deformacmonnyh defektov pri otzhige, 1980.-№2.- tom49.-s.389-393.
[22] Rybakina O.G., Sidorin Ja.S. Jeksperimental'noe issledovanie zakonomernostej plasticheskogo razryhlenija metallov//Mehanika tverdogo tela.Izv.ANSSSR:1966,№1,s120-124
[23] Kolmogorov V.A., Bogatov A.A., Migachev B.A., i dr. Plastichnost' i razrushenie.-M.: Metallurgija, 1977.- 335 s.
[24] Mirkin L.I. Fizicheskie osnovy prochnosti i plastichnosti.-M.: MGU.-1968.-537s
[25] Honikomb R. Plasticheskaja deformacija metallov.-M: Mir, 1972.-407s.

[26] Rizhikov V.G., Troickij O.A. i dr. Jelektroplasticheskoe volochenie provoloki iz nerzhavejushhej stali. //Tezisy dokladov 7 vsesojuznogo simpoziuma po mehanojemissii i mehanohimii tverdyh tel. Tashkent 1979, s.156

[27] Pustovalov V.V., Starcev V.I., Fonenkov V.S. O vlijanii sverhprovodjashhego perehoda v monokristallah svinca na kriticheskoe naprjazhenie sdviga// Har'kov:. FTT, 1969, t.II, s.1382-1384.

[28] Samsonov G.V., Prjadko I.F., Prjadko L.F. Konfiguracionnaja model' veshhestva.- Kiev: Naukova dumka, 1975.- 316 s.

[29] Arharov B.I., Skripka Ju.G., Marhasin E.S. O znachenii mehanizma formirovanija mezhatomnyh svjazej v splavah dlja ih prochnosnyh i plasticheskih svojstv//FHMM,1978,№2,s.47-50.

L. Kozak, O. Kozak

Influence of a Hydrostatical High-Pressure on Plasticity of Solids

Ivano-Frankovsk State University of the Oil and Gas, Karpatska Str., 15, 76000, Ukraine

On the two-dimensional model of the crystal it was shown that the crystal lattice transform from stable to unstable under the influence of hydrostatical high pressure. As a result of such transformation is intensity the processes of plastic deformation.

It is known that all of solid bodies become plasticity and electric conductivity under the influence of a hydrostatical high-pressure. The reason of it is additional displacement of atoms of a crystal lattice. A high plasticity and electric conductivity of metals occurs due to additional displacement of atoms also. This displacement takes a place due to the specific of the interatomic interaction.

Keywords: high-pressure, crystal lattice, unstable, transformation, conductivity, hydrostatical, plastic deformation.