**Звіт про науково-дослідну роботу: „“Температурна та структурна чутливість механічних властивостей та службових характеристик інтерметалідних та евтектичних сплавів на основі титану та заліза, схильних до перетворень під дією деформації”**

**Мета роботи** - дослідити вплив температури на механізми зміцнення з урахуванням структурних та фазових перебудов, що відбуваються при деформації інтерметалідних та евтектичних сплавів на основі титану та заліза.

Терміни виконання наукової роботи: початок І кв. 2020р.

 закінчення IV кв. 2022 р.

**Керівник роботи**: Подрезов Юрій Миколайович, д. ф.-м.н., (Email:podrezov@ipms.kiev.ua )

**Скорочений зміст висновків рецензентів.**

Створення конструкційних матеріалів нового покоління потребує удосконалення структурно та температурно-чутливих моделей зміцнення. Це і є актуальною проблемою сучасного матеріалознавства. Запропонована робота розвиває уявлення про вплив структури та температури на фазові перетворення під дією деформації на механізми зміцнення матеріалів. Робота виконана на високому науковому і технічному рівні та заслуговує на позитивну оцінку. Отримані результати мають важливі наукове та практичне значення в галузі створення нових високоміцних матеріалів.

 **Пропозиції про подальше використання результатів роботи.**

 Напрямок роботи є перспективним, а отримані роботі результати можуть бути використані в медичній, машинобудівній та сільськогосподарській галузях.

 Дані про реєстрацію роботи: № 0120U100217

**РЕФЕРАТ**

**Об’єкти дослідження** – шляхи управління фазовим та структурним станом сплавів на основі титану та заліза, що виробляються та працюють в екстремальних температурно-швидкісних режимах.

**Мета роботи** - дослідити вплив температури на механізми зміцнення з урахуванням структурних та фазових перебудов, що відбуваються при деформації інтерметалідних та евтектичних сплавів на основі титану та заліза.

**Методи досліджень** – випробування на розтяг, стиск та згин, вимірювання твердості, ударної в’язкості та втомних характеристик, рентгеноструктурний аналіз, оптична та електронна мікроскопія.

Досліджено малолегований сплав Ті92.5Nb5Мо2,5 медичного призначення. Встановлено, що сплав поєднує високу міцність та пластичність з унікальними надпружними властивостями. Модуль пружності в загартованому стані Е = 51 ГПа, після пластичної деформації на 2 % знижується до 44 ГПа. Показано, що знак та напрямок прикладання навантаження, температура випробування слабо впливають на параметри надпружності. Вплив пластичної деформації на надпружну поведінку на початковій ділянці кривої зміцнення пояснюється внеском незворотного двійникування в структуроутворення.

Проаналізовано вплив легування марганцем та температури випробувань на утворення мартенситної фази під час триботехнічних випробувань. Показано, що марганець посилює дію TRIP-ефекту але погіршує опір руйнуванню. Через це чавун з підвищеним вмістом Mn доцільно використовувати у виробах, що піддаються зношуванню без екстремальних навантажень. Трибологічні та дюрометричні дослідження показали, що зі збільшенням робочої температури опір зношуванню зменшується через зниження схильності до мартенситного перетворення.

Розроблений та опрацьований експрес-метод тестування початкових ділянок повзучості. Вивчено вплив хімічного складу та структури евтектичних та інтерметалідних сплавів заліза та титану на механізми високотемпературного зміцнення та визначенні температурні та швидкісні параметри повзучості. Створена комп’ютерна програма, яка дозволяє прогнозувати структурну, температурну та швидкісну чутливості граничних механічних характеристик в області температур крихко-пластичного переходу. Показано, що аномальної чутливості в’язко крихкого переходу до швидкості деформації пов’язана з прискорення руху дислокацій.

**Ключові слова**: структура, МІЦНІСТЬ, ПЛАСТИЧНІСТЬ, ПОВЗУЧІСТЬ, РУЙНУВАННЯ, ІНТЕРМЕТАЛІДИ, МАРТЕНСИТНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ.

 **Публікації**

1. Remez M., Podrezov Y., Bondar A., Witusiewicz V., Hecht U., Tsyganenko N.I., Bilous O.O., Petyukh V.M.  Structure and Properties of TiAl-Based Alloys Doped with 2 at.% Mo // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2020.– Vol. 59 – P. 454466.
2. Minitsky A.V., Loboda P.I. Yevych Y.I., Zakiev I.M. Hot Free Forging of Iron-Based Powder Pellets // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2020.– Vol. 59 – P. 290-295.
3. Tolochyn O., Tolochyna O., Bagliuk H.  Yevych Ya.I.,  Podrezov Yu.M.  Mamonova A.A Influence of Sintering Temperature on the Structure and Properties of Powder Iron Aluminide Fe3Al// Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2020.– Vol. 59 – P. 150-159.
4. Gorban V.F., Krapivka M.O., Firstov S.O., Verbylo D.G.  Kurylenko D.V. Strength and Plasticity of Cast Solid-Soluble High-Entropy Alloys // [Strength of Materials](https://link.springer.com/journal/11223). – 2020.– Vol. 52 – P. 700-706.
5. Tolochyn O., Bagliuk H., Tolochyna O.,  Yevych Ya. I.,  Podrezov Yu. M.,  Okun I. Yu. Effect of Processing Parameters on the Structure and Properties of Powder Fe–Al Intermetallic Compounds Obtained by Sintering and Impulse Hot Pressing // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2020.– Vol. 59 – P. 375-385.
6. Sych O.Eu., Iatsenko A.P., Tomila T.V., Bykov O.I., Chodara A., Mukhovskyi R., Mizeracki J., Gierlotka S., Lojkowski W., Yevych Y.I. / Effect of Chitosan Coating on the Structure and Properties of Highly-Porous Bioceramic Scaffolds for Bone Tissue Engineering // Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii. – 2020. – Vol.18, Iss. 2. – С. 437-447.
7. Ремез М.В., Подрезов Ю.М., Даниленко В.І., Даниленко М.І., Фірстов С.О./ Крихкопластичний перехід в алюмінідах титану, легованих β-стабілізаторами // Успіхи матеріалознавства. – 2020. – № 1. – С. 86-97.
8. Борисовська К.М., Подрезов Ю.М., Фірстов С.О. / Вплив розміру зерна в полікристалічних матеріалах на механізми пластичної деформації та границю плинності // Успіхи матеріалознавства. – 2020. – № 1. – С. 26-32.
9. Гогаєв К.О., Подрезов Ю.Н., Волощенко С.М., Аксеров М.Г. , Мінаков М.В., Шуригін Б.В. / Вплив температури ізотермічного гартування на зміцнення високоміцних чавунів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2020. – № 4 – С. 113-119.
10. Гогаев К.А., Подрезов Ю.Н., Волощенко С.М., Аксеров М.Г. , Минаков Н.В., Луговской Ю.Ф. (від. 59) / Анализ деформационного упрочнения ADI при температурах изотермической закалки // Вісник НТУ «ХПІ».Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2020. – № 1(3). – С. 3-8.
11. Горбань В.Ф., Крапивка Н. А., Фірстов С.О., Вербило Д.Г., Куриленко Д.В. / Міцність і пластичність литих твердорозчиних високоентропійних сплавів // Проблеми міцності. – 2020. – T. 52, № 5. – С. 86-97.
12. Myslyvchenko O.M., Podrezov Y.M., Bondar A.A., Romanko P.M., Marchenko N.M., and Poliakov I.A. / Phase Transformations in the Ti92.5Nb5Mo2.5 Alloy under Tensile Strain // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques.– 2021 – Vol. 15, No.6 – pp.1357-1360.
13. Abolikhina О.V., Znova V.А. Semenets О. І., Podrezov Yu.M., Influence of the Microstructure of Alloys of the Al–Zn–Mg–Cu System on the Mechanism of Fracture of Aircraft Structures // Materials Science.– 2021 – Vol. 57, Iss.1 – 17-26.
14. Тоlochyn О.І., Baglyuk G.А., Tolochyna O.V., Evych Ya.І., Podrezov Yu.M., Molchanovska H.M. / Structure and Physicomechanical Properties of the Fe3Al Intermetallic Compound Obtained by Impact Hot Compaction // Materials Science.– 2021 – Vol. 56, Iss.4 – 499-508.
15. Ivanova I.I., Podrezov Yu.M., Klymenko V.M., Krylova N.A., Karpets M.V., Marchenko N.M. The Formation and Elastic Behavior of TiNi Intermetallic Sintered From a TiH2–Ni Powder Mixture // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2021 – Vol. 59. – 621-630.
16. Gogaev K.O.,  Voropaev V.S.,  Podrezov Yu. M.,  Yevych Ya. I., P.V. Mazur / The Effect of Rolling Conditions on the Properties of Aluminum Powder Composites Reinforced by Sic, Tic, and AIB12 Nanoparticles. // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2021 – Vol. 60. – P. 35-43.
17. [Beloshenko](https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/3dp.2021.0031) Victor, [Beygelzimer](https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/3dp.2021.0031) Yan, [Chishko](https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/3dp.2021.0031) Vyacheslav, [Savchenko](https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/3dp.2021.0031) Bogdan, [Sova](https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/3dp.2021.0031) Nadiya, Dmytro Verbylo, and [i Vozniak](https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/3dp.2021.0031) Iuri / Mechanical Properties of Flexible TPU-Based 3D Printed Lattice Structures: Role of Lattice Cut Direction and Architecture // Polymers –2021. –Vol. 13(17). – P. 2986.
18. [Beloshenko](https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/3dp.2021.0031) Victor, [Beygelzimer](https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/3dp.2021.0031) Yan, [Chishko](https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/3dp.2021.0031) Vyacheslav, [Savchenko](https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/3dp.2021.0031) Bogdan, [Sova](https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/3dp.2021.0031) Nadiya, Dmytro Verbylo, and [i Vozniak](https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/3dp.2021.0031) Iuri / Mechanical Properties of Thermoplastic Polyurethane-Based Three-Dimensional-Printed Lattice Structures: Role of Build Orientation, Loading Direction, and Filler // 3D Printing and additive manufacturing. – 2021– Vol.8 – Published Online:14 May 2021.
19. Zgalat-Lozynskyy O.,  Kud I.,  Ieremenko L.,  Zyatkevych D.,  Krushynska L.,  Lytvyn R.,  Myslyvchenko O.,  Tolochyn O.,  Verbylo D. / Preparation of TiB2-20 Wt Pct MoSi2 Composite Material by Mechanochemical Synthesis and Spark Plasma Sintering. // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2021– Vol.52, Iss.6 – P. 2451-2462.
20. Вербило Д.Г., Кузьменко М.М., Даниленко В.І., Подрезов Ю.М., Кулак Л.Д., Фірстов С.О. / Опір повзучості титанового сплаву системи Ti–Al–Si–Х за короткотривалих випробувань згином // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2021. – Том 57, № 5. – С. 108-111.
21. Аболіхіна О.В., Знова В.А., Семенець О.І., Подрезов Ю.М. Вплив мікроструктури сплавів системи Al–Zn–Mg–Cu на механізм руйнування авіаконструкцій // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2021. – Том 57, № 1. – С. 20-27.
22. Борисоська К.М., Пордрезов Ю.М. Фірстов С.О. / Моделювання взаємодії дислокацій пластичної зони з границею зерна в області температур в’язко-крихкого переходу в молібдені. // Успіхи матеріалознавства. – 2021. – № 3. – С. 66-76.
23. Гогаев К.О., Подрезов Ю.М., Волощенко С.М., Аскеров М.Г., Мінаков М.В. / Вплив вмісту Mn на фазовий склад та механічні властивості бейнітного чавуну(ADI) // Металознавство та обробка металів.– 2021 – Vol. 27, №.4 – С. 3-15.
24. Луговський Ю.Ф., Назаренко В.А., Зорін В.О., Євич Я.І., Коваль О.Ю., Спірідонов С.А., Боровик В.Г. / Структурна та механічні властивості мікрошаруватих матеріалів Ti/TiAl3 отриманих прокаткою при різних температурах // Порошкова металургія. – 2022. – № 3/4. – С. 146-154.
25. Воропаєв В.С., Демидик О.М., Федоран Ю.О., Биков О.І., Барабаш В.А., Д.Г. Вербило / Вплив деформації обробки на структуру та властивості порошкових матеріалів мідь-залізо // Порошкова металургія. – 2022. – № 3/4. – С. 38-46.
26. Гогаєв К.О., Подрезов Ю.М., Волошенко С.М., Аскеров М.Г., Мінаков М.В., Шуригін Б.В. Підвищення ефективності опору зношуапнню при легуванн марганцем ADI // Вісник національного технічного університету ХПІ. – 2022. – №2(12).– С. 10-16.
27. Борисоська К.М., Пордрезов Ю.М., Марченоко Н.М. Фірстов С.О. / Моделювання явища крихко-пластичного переходу методом дислокаційної динамики // Успіхи матеріалознавства. – 2022. – № 4/5. – С. 25-35.
28. Луговий М.І, Вербило Д.Г., Бродніковський М.П. / Дві компоненти поля зсувних напружень в площині ковзання в багатокомпонентних сплавах // Успіхи матеріалознавства. – 2022. – № 4/5. – С. 12-24.
29. Луговий М.І, Вербило Д.Г., Бродніковський М.П. / Еволюція форми лінії дислокації в багатокомпонентному сплаві під навантаженням // Успіхи матеріалознавства. – 2022. – № 4/5. – С. 36-50.
30. [Kaverynskyi V.V.](https://stumejournals.com/journals/author/kaverynskyi-v-v), [Bagliuk G.A.](https://stumejournals.com/journals/author/bagliuk-g-a), [Verbylo D.G.](https://stumejournals.com/journals/author/verbylo-d-g) / Effect of work hardening and recrystallization annealing on structure and properties of low-carbon steel wire // Machines. Technologies. Materials. – 2022. – Vol. 16, Iss. 2. – С. 74-81.