**Звіт про науково-дослідну роботу: ”Розвиток  різнорівневих  концепцій  поведінки  мікронеоднорідних  матеріалів,  отриманих переробкою дисперсних систем для вдосконалення легких міцних елементів конструкцій, захисту елементів  техніки  від дії  динамічного навантаження та  створення матеріалів для біомедичного призначення”**

**Мета роботи -** вдосконалення наукових уявлень про зв’язок макроскопічних фізико – механічних властивостей легких та міцних пористих матеріалів на основі металів, а також біосумісної кераміки з їх мезоструктурними особливостями та розробка теоретичних засад нових технологій їх отримання, націлених на створення елементів конструкцій захисту від дії динамічного навантаження та виробів біомедичного призначення.

**Терміни виконання наукової роботи**: початок І кв. 2017р.

 закінчення IV кв. 2019 р.

 **Керівник роботи**: Штерн Михайло Борисович, д.т.н., член - кор. НАНУ, (Email:stern@materials.kiev.ua)

**Скорочений зміст висновків рецензентів.**

 Робота присвячена дослідженню поведінки різних типів матеріалів за умов їх використання в якості захисних елементів конструкцій, що перебувають під дією динамічних навантажень, а також інших екстремальних умов їх експлуатації. Було поглиблено розвинуту авторами раніше концепцію виникнення та розповсюдження ударних хвиль у високопористих середовищах. Встановлено умови виникнення даного типу хвиль, пов’язані із кінематичними обмеженнями та початковою пористістю захисної конструкції. Авторами проекту сформульовано концепцію пластичності високопористих матеріалів, де поряд із пористістю фігурує ще один параметр стану, що у випадку матеріалів із шарнірно-стрижневим каркасом пов’язаний із стійкістю деформування стрижневих елементів. Саме від цього параметру залежить перехід високопористого матеріалу до класу ауксетиків (матеріалів із від’ємним коефіцієнтом Пуассона). Крім того, авторами сформульовано критерій  зонального уособлення під час спікання конденсаторів, що містять пластини титанату барія та нікелю. Серед інших здобутків авторів -  результати комп’ютерного моделювання динамічної реакції композитів, що містять вкраплення різної форми. Визначено оптимальний вміст вкраплень, їх форма та орієнтація відносно ймовірного напряму удару, що забезпечує надійний захист конструкції. Основні результати досліджень опубліковано в провідних вітчизняних та закордонних виданнях.

Представлена науково-дослідна робота актуальна і виконана на високому теоретичному і експериментальному рівні та з застосуванням передових методів дослідження.

**Пропозиції про подальше використання результатів роботи**.

Рекомендувати впровадження результатів роботи, як у споріднених за тематикою інститутах НАН України, так і на підприємствах металургійно – машинобудівного комплексу, на підприємствах оборонної галузі, а також використання їх,  як матеріалів для лекцій у закладах вищої освіти зі спеціальностей матеріалознавство, динаміка і міцність машин та механіка твердого деформівного тіла.

 Дані про реєстрацію роботи: № 0117U000253

 **РЕФЕРАТ**

**Об’єкт дослідження** – пористі матеріали, матеріали порошкового походження. пошкоджені матеріали, технології спікання та пресування.

**Мета роботи** – вдосконалення наукових уявлень про зв’язок макроскопічних фізико – механічних властивостей легких та міцних пористих матеріалів на основі металів, а також біосумісної кераміки з їх мезоструктурними особливостями та розробка теоретичних засад нових технологій їх отримання, націлених на створення елементів конструкцій захисту від дії динамічного навантаження та виробів біомедичного призначення.

**Методи дослідження** – континуальні теорії пресування та спікання,

дослідження проекту присвячені формулюванню різнорівневих підходів моделювання деформаційної поведінки високопористих матеріалів порошкового походження та аналізу їх поведінки в різноманітних застосуваннях. Перший розділ звіту присвячено розробці динамічних та квазістатичних моделей високопористих матеріалів з врахуванням внеску недосконалих контактів між частинками та мезоскопічних тріщин в матеріалі. Доведено, що особливості динамічної поведінки таких матеріалів в широкому діапазоні навантажень від балістичного удару до ультразвукових вібрацій можуть бути пояснені на основі уявлень про несиметричну відносно стиску-розтягу незворотню поведінку пористих матеріалів. Мікромеханічним моделюванням побудовано поверхні пластичності та сформульовано критерії зародження ударних хвиль, проаналізовано вплив локалізації деформації на ефективні властивості пористих матеріалів.  Другий розділ присвячено дослідженню стійкості спікання матеріалів із значною пористістю. Запропонована модель процесу та сформульовано критерії «зонального уособлення» спікання на прикладі спікання багатошарових композитів. В третьому розділі досліджено вплив ударного навантаження на легкі захисні конструкції, що містять пористі елементи. Проаналізовано вплив структури та складових багатошарових пористих захисних конструкцій на їх реакцію під час балістичного удару. Звіт містить Додаток, де викладені результати теоретичного дослідження ауксетиків. Дослідження базується на  узагальненому  виразі коефіцієнту Пуасона високопористого тіла, каркас якого має  шарнірно–стрижневу структуру. Разом із пористістю запропонована модель містить новий матеріальний параметр. Він пов‘язаний із міцністю каркасу і свідчить про додаткову локалізацію дисипації енергії, що збільшує здатність опору динамічним навантаженням.

**Ключові слова**: ВИСОКОПОРИСТІ МАТЕРІАЛИ, СТРУКТУРА, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, БІОКЕРАМІКА, СПІКАННЯ, УДАРОСТІЙКІ КОМПОЗИТИ.

 **Публікації**

Вдовиченко О.В. Оцінка впливу дефектів на ефективні характеристики пружності порошкових матеріалів на основі моделі кусково-лінійної пружної поведінки / О.В. Вдовиченко, А.В. Кузьмов, О.Г. Кіркова, М.Б. Штерн // Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении − Киев: ИПМ им. И.Н.Францевича НАН Украины. − 2017. – Вып. № 19. − С. 3-9.

Вдовиченко О.В. Моделювання пружної поведінки пористих порошкових матеріалів за різних схем деформування / О.В. Вдовиченко, А.В. Кузьмов, О.Г. Кіркова, М.Б. Штерн // Современные проблемы физического материало-ведения − Киев: ИПМ им. И.Н.Францевича НАН Украины. − 2017. – Вып. № 25. – С. 85-90.

Михайлов А.О. (НУХТ)  Применение компьютерного моделирования при разработке технологических процессов получения деталей машин и аппаратов пищевой промышленности / А.О. Михайлов (НУХТ), Е.В. Штефан (НУХТ), О.В. Михайлов // Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении. – серия "Моделирование в материаловедении".– Киев: ИПМ им. И.Н. Францевича НАН Украины.– 2017. –  Вып. 19. –  C.105-110.

Максименко А.Л. Консолідація металоматричних композитів в умовах селективного лазерного плавлення / А.Л. Максименко, О.П. Майданюк // Математические модели и вычислительний эксперимент в материаловедении − Киев: ИПМ им. И.Н.Францевича НАН Украины. − 2017. – Вып. № 19. − С. 30-35.

Скороход В.В. Влияние ограничений на эволюцию содержания малых и больших пор с учетом переноса вакансий при спекании бипористых материалов / В.В. Скороход, М.Б. Штерн, А.В. Кузьмов // Порошковая металлургия. – 2017. – № 7–8. С. 21–28.

Штерн М.Б. Микромеханические основы нелинейно–вязкого течения пористых и поврежденных материалов / М.Б. Штерн, А.В. Титов (НТУУ «КПІ») // В сб. Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении − Киев: ИПМ им.И.Н.Францевича НАН Украины. − 2017. – Вып. № 19. − С. 120-125. - (1.0)

Boltachev G.Sh. Compaction and flow rule of oxide nanopowders / G.Sh. Boltachev, K.E. Lukyashin, A.L. Maximenko, R.N. Maksimov, V.A. Shitov, M.B. Shtern // Optical Materials 71 (2017), P. 145-150.

Wei X. Effects of loading modes on densification efficiency of spark plasma sintering: sample study of zirconium carbide consolidation/ X. Wei, A.L. Maximenko, C. Back, O. Izhvanov, E.A. Olevsky  // Philosophical Magazine Letters, 2017, P. 265-272.

Skorokhod V. Mechanics of sintering of bi-porous bodies with partial constrain / V. Skorokhod, M. Shtern, A. Kuzmov, E. Olevsky // Наука про матеріали: досягнення та перспективи. − Том 1.– Київ: Академперіодика.− 2018.− С. 639 – 649.

Михайлов О.В. Моделирование штамповки пористых заготовок для получения поковок с внутренней конусообразной поверхностью / О.В. Михайлов, А.О. Михайлов, Г.А. Баглюк, Е.В. Штефан // Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении. − Киев: ИПМ им.И.Н.Францевича НАН Украины. – 2018. − Вып. 20.− С. 104 - 109.

Кузьмов А.В. Анализ влияния вращения пресс-инструмента на уменьшение рабочего давления при холодном прессовании порошков металлов / А.В. Кузьмов, М.Б. Штерн // Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении − Киев: ИПМ им. И.Н.Францевича НАН Украины. − 2018. – Вып. № 20.− С. 98 - 103.

Maximenko A.L. Pore filling during selective laser melting - assisted additive manufacturing of composites  / A.L. Maximenko, E.A. Olevsky // Scripta Materialia,  149,  (2018),  P. 75-78.

Lee G. Effect of electric current on densification behavior of conductive ceramic powders consolidated by spark plasma sintering / G. Lee, E.A. Olevsky, C. Maniere, A. Maximenko, O. Izhvanov, C. Back, J. McKittrick  // Acta Materialia, 144, (2018), P. 524-533.

Kulagin Roman Modeling strain and density distributions during high-pressure torsion of pre-compacted powdermaterials / Roman Kulagin, Yajun Zhao, Yan Beygelzimer, Laszlo S. Toth, Michail Shtern // Materials Research Letters, VOL. 5, NO. 3, 2018, P. 179-186.

Михайлов О.В. Исследование  уплотнения и формоизменения пористых заготовок при получении изделий с внутренней конусообразной поверхностью / О.В. Михайлов, А.О. Михайлов, Г.А. Баглюк, Е.В. Штефан // Обработка материалов давлением: сб. науч. трудов. – Краматорск:  ДГМА, 2019. – № 1 (48). – С. 146 – 152.

 Повстяной О.Ю. Моделювання Михайлов А.О. Моделювання процесу отримання втулок з внутрішнім фланцем методом радіального видавлювання ущільнення порошкового фільтруючого елемента складної форми при радіально-ізостатичному пресуванні / О.Ю. Повстяной, А.О. Михайлов, В.Д. Рудь, О.В. Михайлов // Комп’ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – Луцьк, 2019. - Вип. 36. – С. 58 – 62.

Повстяной О.Ю. Моделювання ущільнення порошкових фільтруючих елементів під час радіально-ізостатичного пресування / О.Ю. Повстяной, А.О. Михайлов, В.Д. Рудь, О.В. Михайлов // Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении.− Киев: ИПМ им. И.Н.Францевича НАН Украины. – 2019. − Вып. 21.− С. ХХ.

A.Maximenko, O.Izhvanov, E.Olevsky,  Modeling of fuel-cladding stresses in porous UC/SiC fuel pins,Nuclear Engineering and Design, v.359, 2019, 110455.