

ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ

ТОМ 51, № 4, 2015

липень – серпень

ЗМІСТ

| | |
|--|-----|
| <i>Вербовицький Ю. В., Завалій І. Ю.</i> Нові металогідридні електродні матеріали на основі сплавів $R_{1-x}Mg_xNi_{3-4}$ для хімічних джерел струму..... | 7 |
| <i>Добровольський В. Д., Єршова О. Г., Солонін Ю. М.</i> Термічна тривкість та кінетика десорбції водню з гідридів механічного сплаву Mg–Al–Ni–Ti | 19 |
| <i>Івасишин О. М., Саввакін Д. Г.</i> Синтез сплавів на основі цирконію і титану з використанням їх гідридів | 27 |
| <i>Скальський В. Р., Рудацький Д. В., Клим Б. П., Почапський С. П., Ярема Р. Я., Бас В. Р.</i> Оцінювання залишкової довговічності наводненої труби за параметрами акустичних сигналів | 36 |
| <i>Булик І. І., Борух І. В., Тростяничин А. М.</i> Вплив умов помелу у водні на фазовий склад та анізотропію сплаву $SmCo_{4.8}Zr_{0.2}$ | 41 |
| <i>Білий О. Л.</i> Оцінювання довговічності трубопроводу з внутрішнім дефектом за транспортування воденьмісного середовища | 46 |
| <i>Іванченко В. Г., Дехтяренко В. А., Прядко Т. В., Саввакін Д. Г., Євлаш І. К.</i> Вплив термічної обробки на водневосорбційні властивості легованого ванадієм евтектичного сплаву $Ti_{0.475}Zr_{0.3}Mn_{0.225}$ | 51 |
| <i>Андрейків О. Є., Долінська І. Я., Кухар В. З., Штойко І. П.</i> Вплив водню на залишковий ресурс труби газопроводу за маневрового режиму експлуатації..... | 59 |
| <i>Кречковська Г. В.</i> Фрактографічні ознаки механізмів транспортування водню в конструкційних сталях | 67 |
| <i>Греділь М. І., Торібіо Дж., Никифорчин Г. М.</i> Аналіз зміни характеристик пластичності прутків зі сталі внаслідок холодного волочіння | 71 |
| <i>Стащук М. Г., Дорош М. І.</i> Оцінювання напружень, обумовлених концентрацією водню у металі | 76 |
| <i>Харченко Л. Є., Кунта О. Є., Звірко О. І., Савула Р. С., Дурягіна З. А.</i> Діагностика водневого макророзшарування в стінці гину труби системи магістральних газопроводів | 84 |
| <i>Балицький О. І., Мочульський В. М., Іваськевич Л. М.</i> Оцінювання впливу водню на механічні характеристики складно легованого нікелевого сплаву | 91 |
| <i>Бойчишин Л. М., Герцик О. М., Ковбуз М. О., Котур Б. Я., Носенко В. К.</i> Електроди на основі аморфних металевих алюмінієвих сплавів у реакціях виділення водню | 100 |
| <i>Ушкалов Л. М., Бродніковський Є. М., Лисуненко Н. О., Бричевський М. М., Василів Б. Д., Васильєв О. Д.</i> Дифузійні процеси між бар'єрним катодним | |

| | |
|---|-----|
| шаром і електролітом твердооксидної паливної комірки | 107 |
| <i>Гайворонський О. А., Позняков В. Д., Маркашова Л. І., Остап О. П., Кулик В. В., Алексеєнко Т. О., Шишкевич О. С.</i> Структура та механічні властивості зони термічного впливу відновлених залізничних коліс | 114 |
| <i>Силованюк В. П., Юхим Р. Я., Івантишин Н. А., Лісничук А. Є.</i> Прогнозування тріщиностійкості цементного каменю та фібробетону | 120 |
| <i>Одінцов В. В., Корінь О. В.</i> Вплив кристалічної структури на механічні властивості додекаборидів рідкісноземельних металів та цирконію | 125 |
| <i>Мудрий С. І., Штаблавий І. І., Кулик Ю. О., Талако Т. Л., Лецько А. І.</i> Вплив нікелю на структуру рідкої евтектики $Al_{0,878}Si_{0,122}$ | 131 |
| <i>Равічандран М., Відхя В. С., Анандакрішнанан В.</i> Дослідження характеристик композитних порошків на основі $Al + 5 \text{ wt.} \% TiO_2 + 6 \text{ wt.} \% Gr$, отриманих шляхом помелу | 136 |

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

ТОМ 51, № 4, 2015

июль – август

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| <i>Вербовицкий Ю. В., Завалий И. Ю.</i> Новые металлгидридные электродные материалы на основе сплавов $R_{1-x}Mg_xNi_{3-4}$ для химических источников тока | 7 |
| <i>Добровольский В. Д., Ершова О. Г., Солонин Ю. М.</i> Термическая стойкость и кинетика десорбции водорода из гидридов механического сплава $Mg-Al-Ni-Ti$ | 19 |
| <i>Ивасишин О. М., Саввакин Д. Г.</i> Синтез сплавов на основе циркония и титана с использованием их гидридов | 27 |
| <i>Скальский В. Р., Рудаковский Д. В., Клым Б. П., Почапский Е. П., Ярема Р. Я., Бас В. Р.</i> Оценивание остаточной долговечности наводороженной трубы по параметрам акустических сигналов | 36 |
| <i>Булык И. И., Борух И. В., Тростяничин А. М.</i> Влияние условий помола в водороде на фазовый состав и анизотропию сплава $SmCo_{4,8}Zr_{0,2}$ | 41 |
| <i>Билый О. Л.</i> Оценивание долговечности трубопровода с внутренним дефектом при транспортировке водородо-держающей среды | 46 |
| <i>Иванченко В. Г., Дехтяренко В. А., Прядко Т. В., Саввакин Д. Г., Евлаш И. К.</i> Влияние термической обработки на водородосорбционные свойства легированного ванадием эвтектического сплава $Ti_{0,475}Zr_{0,3}Mn_{0,225}$ | 51 |
| <i>Андрейкив А. Е., Долинская И. Я., Кухар В. З., Штойко И. П.</i> Влияние водорода на остаточный ресурс трубы газопровода при маневренном режиме эксплуатации | 59 |
| <i>Кречковская Г. В.</i> Фрактографические признаки механизмов транспортирования водорода в конструкционных сталях | 67 |
| <i>Гредиль М. И., Торибио Дж., Никифорчин Г. Н.</i> Анализ изменения характеристик пластичности прутков из стали вследствие холодного волочения | 71 |
| <i>Стащук Н. Г., Дорош М. И.</i> Оценивание напряжений, обусловленных концентрацией водорода в металле | 76 |
| <i>Харченко Л. Е., Кунта О. Е., Звирко О. И., Савула Р. С., Дурягина З. А.</i> Диагностика водородного макрорасслоения в стенкегиба трубы системы магистральных газопроводов | 84 |
| <i>Балицкий А. И., Мочульский В. М., Иваськевич Л. М.</i> Оценивание влияния водорода на механические характеристики сложнолегированного никелевого сплава | 91 |
| <i>Бойчишин Л. М., Герцик О. М., Ковбуз М. А., Котур Б. Я., Носенко В. К.</i> Электроды на основе аморфных металлических алюминиевых сплавов в реакциях выделения водорода | 100 |

| | |
|---|-----|
| <i>Ушкалов Л. Н., Бродниковский Е. Н., Лысуненко Н. А., Бричевский Н. Н., Васylieв Б. Д., Васильев А. Д.</i> Диффузионные процессы между барьерным катодным слоем и электролитом твердооксидной топливной ячейки | 107 |
| <i>Гайворонский А. А., Позняков В. Д., Маркашова Л. И., Остап О. П., Кулык В. В., Алексеенко Т. А., Шишкевич А. С.</i> Структура и механические свойства зоны термического влияния восстановленных железно дорожных колес | 114 |
| <i>Сылованюк В. П., Юхым Р. Я., Ивантышин Н. А., Лисничук А. Е.</i> Прогнозирование трещиностойкости цементного камня и фибробетона | 120 |
| <i>Одинцов В. В., Корень Е. В.</i> Влияние кристаллической структуры на механические свойства додекаборидов редкоземельных металлов и циркония | 125 |
| <i>Мудрый С. И., Штаблавый И. И., Кулык Ю. О., Талако Т. Л., Лецко А. И.</i> Влияние никеля на структуру жидкой эвтектики $Al_{0,878}Si_{0,122}$ | 131 |
| <i>Равичандрян М., Видхя В. С., Анандакришнанан В.</i> Исследование характеристик композитных порошков на основе $Al + 5 \text{ wt.} \% TiO_2 + 6 \text{ wt.} \% Gr$, полученных путем помола | 136 |

PHYSICOCHEMICAL MECHANICS OF MATERIALS

VOLUME 51, № 4, 2015

July – August

CONTENTS

Verbovtskyi Yu. V. and Zavalii I. Yu. New metal hydride electrode materials based on $R_{1-x}Mg_xNi_{3-4}$ alloys for chemical sources of current7

РЕЗЮМЕ. Подано короткий огляд праць зі структури та воденьсорбційних властивостей вибраних сплавів систем R–Mg–Ni. Проаналізовані переваги їх як електродних матеріалів для хімічних джерел струму. Зосереджено увагу на властивостях сплавів складу $R_{1-x}Mg_xNi_{3-4}$. Оцінено взаємозв'язок між їх складом, характером ізотерм та електрохімічними характеристиками.

РЕЗЮМЕ. Представлен краткий обзор структуры и водородсорбционных свойств выбранных сплавов типа R–Mg–Ni. Проанализированы преимущества их использования как электродных материалов для химических источников тока. Сконцентрировано внимание на свойствах сплавов $R_{1-x}Mg_xNi_{3-4}$. Оценена взаимосвязь между составом таких сплавов, характером их изотерм и электрохимическими характеристиками.

SUMMARY. A brief review on the structure and hydrogen sorption properties of the selected R–Mg–Ni alloys is given. It is suggested that the R–Mg–Ni alloys are good candidates as an electrode materials for Ni/MH rechargeable batteries. In this work the main attention is focused on the properties of the $R_{1-x}Mg_xNi_{3-4}$ alloys. The relationship between the composition of these alloys, the character of PCT isotherms and electrochemical characteristics is discussed.

Dobrovolskyi V. D., Yershova O. G., and Solonin Yu. M. Thermal stability and kinetics of hydrogen desorption from mechanical Mg–Al–Ni–Ti alloy19

РЕЗЮМЕ. З метою зниження температури, поліпшення кінетики розкладу стехіометричного гідриду MgH_2 досліджено можливості його комплексного легування 3 at.% Al + 3 at.% Ni + 7 at.% Ti зі застосуванням механохімічного синтезу. Встановлено, що після додавання до магнію Al, Ni, Ti погіршується термічна тривкість отриманої реактивним механічним сплавленням гідридної фази MgH_2 механічного сплаву, а отже, температура початку десорбції водню падає з 320°C (для нелегованої фази MgH_2) до 280°C. Не зафіксовано зниження рівноважної температури початку десорбції водню за його постійного тиску в реакторі 1 bar, яке свідчило б про зменшення термодинамічної стабільності MgH_2 внаслідок механічного легування. Виявлено, що кінетику десорбції водню з гідридної фази MgH_2 механічного сплаву поліпшують здебільш легувальні елементи Ni і Ti; роль Al тут незначна.

РЕЗЮМЕ. С целью снижения температуры, улучшения кинетики разложения стехиометрического гидрида MgH_2 исследованы возможности его комплексного легирования 3 at.% Al + 3 at.% Ni + 7 at.% Ti с применением механохимического синтеза. Установлено, что после добавления к магнию Al, Ni, Ti ухудшается термическая

прочность полученной реактивным механическим сплавлением гидридной фазы MgH_2 механического сплава, а следовательно, снижается температура начала десорбции водорода с $320^\circ C$ (для нелегированной фазы MgH_2) до $280^\circ C$. Не зафиксировано падение равновесной температуры начала десорбции водорода при постоянном давлении в реакторе 1 bar, которое свидетельствовало бы о снижении термодинамической стабильности MgH_2 вследствие механического легирования. Обнаружено, что кинетику десорбции водорода из гидридной фазы MgH_2 механического сплава улучшают в основном легирующие элементы Ni и Ti; вклад Al здесь незначителен.

SUMMARY. With the aim of decreasing the temperature, improving the kinetics of decomposition of stoichiometric MgH_2 hydride the possibility of comprehensive alloying of 3 at.% Al + 3 at.% Ni + 7 at.% Ti using mechanochemistry synthesis was investigated. It was established that adding Al, Ni, Ti to magnesium led to the lower thermal resistance of the hydride phase of MgH_2 mechanical alloy obtained by RMA and, consequently, to lower temperature of the beginning of hydrogen desorption from $320^\circ C$ (for MgH_2 without Al, Ni, Ti) to $280^\circ C$. The decrease of equilibrium hydrogen desorption temperature during its early pressure in a reactor of 1bar, which would testify to the reduction of the thermodynamic stability of MgH_2 by mechanical alloying, was not noticed. It was established that the improved hydrogen desorption kinetics of MgH_2 phase of mechanical alloy occurred mainly due to alloying elements Ni and Ti; the contribution of Al in the improvement of kinetics in that case was negligible.

Ivashin O. M. and Savvakin D. G. Synthesis of zirconium and titanium-base alloys using hydrides of corresponding metals27

РЕЗЮМЕ. Досліджено синтез сплавів на основі цирконію та системи Zr–Ti з використанням порошкових гідридів цирконію і титану. Тут водень відіграє роль тимчасової легувальної домішки до цих металів, видаляючись з них за нагріву у вакуумі і спричиняючи при цьому низку фазових перетворень, що активує процеси спікання і хімічної гомогенізації порошкових систем. Далі його концентрація у синтезованих так сплавах знижується до безпечних рівнів. Розроблено режими, що забезпечують отримання за вказаним підходом мікроструктурно однорідних сплавів з невеликою кількістю залишкових пор, механічні властивості яких відповідають створеним за традиційними технологіями.

РЕЗЮМЕ. Исследованы синтез сплавов на основе циркония и системы Zr–Ti с использованием порошковых гидридов циркония и титана. Здесь водород является временной легирующей добавкой к этим металлам, удаляясь из них при вакуумном нагреве и вызывая при этом ряд фазовых превращений, что активировывает процессы спекания и химической гомогенизации порошковых систем. Далее его концентрация в синтезированных таким образом сплавах снижается до безопасного уровня. Разработаны режимы получения микроструктурно однородных сплавов с небольшим количеством остаточных пор. Механические свойства созданных сплавов соответствуют полученным по традиционным технологиям.

SUMMARY. The processes of synthesis of zirconium- and Zr–Ti-based alloys using zirconium hydride and titanium hydride powders were studied. In the present approach, hydrogen is a temporary alloying addition to those metals. Hydrogen is evacuated from materials under vacuum heating causing certain phase transformations and activation of sintering and chemical homogenization of powder systems. After positive influence on the material, hydrogen concentration in synthesized alloys decreases to the safe levels. The processing regimes are developed that provide the formation of uniform nearly dense alloys which mechanical properties correspond to those produced by the conventional approaches.

Skalskyi V. R., Rudavskyy D. V., Klym B. P., Pochapskyi Ye. P., Yarema R. Ya., and Bas V. R. Evaluation of residual life time of hydrogenated pipe by the acoustic signal parameters36

РЕЗЮМЕ. Запропоновано методику оцінювання залишкової довговічності наводненого елемента труби із тріщиноподібним дефектом на його внутрішній поверхні. Досліджено кінетику поширення тріщини із врахуванням впливу концентрації водню в стінці трубопроводу. Локацію тріщиноподібного дефекту у стінці труби та його початкові розміри встановлювали методом акустичної емісії. Для визначення концентрації водню у металі трубопроводу запропоновано застосовувати метод магнето-акустичної емісії. Показано, що коливання внутрішнього тиску в нафто- чи газопроводі та наводнювання його стінок залежно від початкових розмірів тріщиноподібного дефекту можуть спровокувати його втомне поширення.

РЕЗЮМЕ. Предложена методика оценки остаточной долговечности наводороженного элемента трубы с трещиноподобным дефектом на его внутренней поверхности. Исследована кинетика распространения трещины с учетом влияния концентрации водорода в стенке трубопровода. Локацию трещиноподобного дефекта в стенке трубы и его начальные размеры определяли методом акустической эмиссии. Для определения концентрации водорода в металле трубопровода предложено использовать метод магнито-акустической эмиссии. Показано, что колебания внутреннего давления в нефте- или газопроводе, а также наводороживание его стенок в зависимости от начальных размеров дефекта могут спровоцировать его усталостный рост.

SUMMARY. The method of residual lifetime estimation of hydrogenated element of the pipeline with an internal surface crack was proposed. Crack growth kinetics in hydrogenated pipeline wall was investigated. Defect location and its initial sizes were determined with a help of acoustic emission method. To determine hydrogen concentration level in the pipeline wall it was proposed to use the method of magneto-acoustic emission. It was shown that pipeline internal pressure fluctuations in oil and gas pipeline and also its walls hydrogenation, depending on the initial defect size, could cause its fatigue growth.

Bulyk I. I., Borukh I. V., and Trostianchyn A. M. The influence of milling conditions in hydrogen on phase composition and anisotropy of $\text{SmCo}_{4.8}\text{Zr}_{0.2}$ alloy41

РЕЗЮМЕ. Методом рентгенівського аналізу досліджено вплив параметрів помелу сплаву $\text{SmCo}_{4.8}\text{Zr}_{0.2}$ в планетарному млині у водні на його фазовий склад та анізотропію. Встановлено, що внаслідок помелу з частотами 300 г/м тривалістю 72; 24 і 12 h та 200 г/м тривалістю 24 h фаза зі структурою типу CaCu_5 частково розпадається або переходить в аморфний стан. Показано, що після помелу з частотами 300 г/м тривалістю 6 h; 200 г/м тривалістю 12 і 6 h та 100 г/м тривалістю 24 h частинки порошоків анізотропні.

РЕЗЮМЕ. Методом рентгеновского анализа исследовано влияние параметров помола сплава $\text{SmCo}_{4.8}\text{Zr}_{0.2}$ в планетарной мельнице в водороде на его фазовый состав и анизотропию. Установлено, что в результате помола с частотами 300 г/м длительностью 72; 24 и 12 h и 200 г/м длительностью 24 h фаза со структурой типа CaCu_5 частично распадается или переходит в аморфное состояние. Показано, что после помола с частотами 300 г/м продолжительностью 6 h; 200 г/м длительностью 12 и 6 h и 100 г/м длительностью 24 h частицы порошков анизотропные.

SUMMARY. The influence of milling conditions in hydrogen on phase content and anisotropy of $\text{SmCo}_{4.8}\text{Zr}_{0.2}$ alloy was investigated by means of X-ray analysis. The alloy was milled with mill chamber rotation frequencies 300, 200 and 100 rpm for 72; 24, 12 and 6 h. It was found that the phase with CaCu_5 -type structure partially disproportionates or transformed into amorphous state after milling with frequency 300 rpm for 72, 24 and 12 h as well as at 200 rpm for 24 h. The powder particles are anisotropic due to milling at 300 rpm for 6 h, 200 rpm for 12 and 6 h, 100 rpm for 24 h.

Bilyi O. L. Assessing life time of a pipeline with an internal defect during transportation of hydrogen-containing environment.....46

РЕЗЮМЕ. Запропоновано метод оцінювання довговічності трубопровідних систем з еліптичним внутрішнім дефектом за транспортування воденьвмісного середовища. Використано критерії механіки руйнування для аналізу дефектів, що базуються на визначенні безпечної та недопустимої глибин тріщиноподібного дефекту, а також на основі показника опірності елемента конструкції росту тріщини, який характеризується швидкістю зміни коефіцієнта інтенсивності напружень біля вершини тріщини під час її росту в конструктивному елементі. Наведено приклади оцінювання довговічності живильних трубопровідних систем за внутрішнього тріщиноподібного дефекту.

РЕЗЮМЕ. Предложен метод оценки долговечности трубопроводных систем с эллиптическим внутренним дефектом при транспортировке водородоудержающей среды. Используются критерии механики разрушения для анализа существующих дефектов, которые базируются на определении безопасной и недопустимой глубин трещиноподобного дефекта, а также на основе показателя сопротивления элемента конструкции росту трещины, который характеризуется скоростью изменения коэффициента интенсивности напряжений у вершины трещины при ее росте в конструктивном элементе. Приведены примеры оценивания долговечности питательных трубопроводных систем при наличии внутреннего трещиноподобного дефекта.

SUMMARY. The method of the assessment of the durability of pipeline systems with an elliptical internal defect for transportation of hydrogen environment is proposed. The fracture mechanics criteria are used for analyzing existing defects, based on determination of the safe and inadmissible crack-like depths, and also on the index of structural element resistance to crack growth that is characterized by the rate variation of the stress intensity factor at the crack tip during its growth in a structural element. Examples of life time assessment of supplying pipeline systems in the presence of internal crack defect are presented.

Ivanchenko V. G., Dekhtyarenko V. A., Pryadko T. V., Savvakina D. G., and Yevlash I. K. The effect of heat treatment on the hydrogenation property of vanadium doped eutectic alloy $Ti_{0.475}Zr_{0.3}Mn_{0.225}$ 51

РЕЗЮМЕ. Методом Сивертса досліджено сорбційні властивості і кінетичні параметри процесів гідрування і дегідрування відпалених евтектичних сплавів системи $Ti-Zr-Mn-V$. Встановлено, що незалежно від структури та хімічного складу вихідних литих сплавів термічна обробка призводить до коагуляції структурних складових евтектики і утворення великих фазових агрегатів. Виявлено, що зі збільшенням реакційної поверхні для дисоціації молекул водню можна підвищити сорбційну ємність як кожної з фаз, так і сплавів загалом за кімнатної температури та невисокого тиску (0,6 МПа). При цьому твердий розчин на основі титану абсорбує водень з кінетикою, яка подібна до кінетики сорбції водню інтерметалідом, і при кімнатній температурі досягає високої водневої ємності.

РЕЗЮМЕ. Методом Сивертса исследованы сорбционные свойства и кинетические параметры процессов гидрирования и дегидрирования отожженных эвтектических сплавов системы $Ti-Zr-Mn-V$. Установлено, что независимо от структуры и химического состава исходных литых сплавов термическая обработка приводит к коагуляции структурных составляющих эвтектики и образованию крупных фазовых агрегатов. Выведено, что, увеличивая реакционную поверхность для диссоциации молекул водорода, можно повысить сорбционную емкость как каждой из фаз, так и сплавов в целом при комнатной температуре и невысоком давлении (0,6 МПа). При этом твердый раствор на основе титана абсорбирует водород с такой же кинетикой, как и сорбирует водород интерметаллид, и при комнатной температуре достигает высокой водородной емкости.

SUMMARY. Sorption properties and kinetic parameters of the processes of hydrogenizing and dehydrogenization of annealed Ti–Zr–Mn–V eutectic alloys are investigated by the Sieverts method. It is established that irrespective of the structure and chemical composition of the initial cast alloys, heat treatment leads to coagulation of the structural components of the eutectic and the formation of large aggregates. It is shown that an increase in the reaction surface for the dissociation of hydrogen molecules makes it possible to increase the sorption capacity both of each of the phases and alloys in general at room temperature and low pressure (0.6 MPa). The titanium-based solid solution absorbs hydrogen with kinetics similar to hydrogen sorption kinetics of intermetallic and at ambient temperature reaches a high level of hydrogen capacity.

Andreikiv O. Ye., Dolinska I. Ya., Kukhar V. Z., and Shtoiko I. P. The influence of hydrogen on residual life of a gas pipeline pipe under manoeuvring operation mode59

РЕЗЮМЕ. Сформульована розрахункова модель для визначення довговічності труби газопроводу з поверхневою корозійною тріщиною за довготривалого розривного в часі тиску (маневровий режим експлуатації) і наводнювання її стінки. В основі моделі – розроблений раніше енергетичний підхід. Запропоновано механізм посилення корозійних процесів дифузійно рухливим воднем. Кількісно оцінено вплив наводнювання на залишковий ресурс труби газопроводу за маневрового режиму експлуатації.

РЕЗЮМЕ. Сформулирована расчетная модель для определения долговечности трубы газопровода с поверхностной коррозионной трещиной при длительном разрывном во времени давлении (маневренный режим эксплуатации) и наводороживания ее стенки. В основе модели – разработанный ранее энергетический подход. Предложен механизм усиления коррозионных процессов диффузионно подвижным водородом. Количественно оценено влияние наводороживания на остаточный ресурс трубы газопровода при маневренном режиме эксплуатации.

SUMMARY. The computational model to determine the life time of the gas pipeline pipe with a surface corrosion crack under long-term discontinuous in time pressure (maneuvering operation mode) and hydrogenation of its walls is formulated. The energy approach developed earlier by the authors and the proposed mechanism of corrosion processes strengthen by the diffusion mobility of hydrogen is put into the basis of this model. The impact of hydrogenation on the residual life of the gas pipeline pipe under maneuvering operation mode is assessed quantitatively.

Krechkovska H. V. Fractographic features of hydrogen transport mechanisms in structural steels67

РЕЗЮМЕ. Виявлено різні мікрофрактографічні ознаки поширення тріщин у сталях за впливу наводнювальних середовищ, пов'язані з транспортуванням водню в зону передруйнування у вершині тріщини за дифузійним чи дислокаційним механізмами. Міжзеренний характер руйнування за циклічного навантаження вказує на домінування дифузії водню вздовж меж зерен, тоді як кризьзеренний – спричинений сумісним впливом дислокаційного механізму, який забезпечує інтенсивне наводнювання металу вздовж смуг ковзання, та дифузійного, який сприяє перерозподілу водню міжфазними межами всередині зерен.

РЕЗЮМЕ. Выявлены различные микрофрактографические признаки распространения трещин в сталях при воздействии наводороживающих сред, связанные с транспортировкой водорода в зону предразрушения в вершине трещины за диффузионным или дислокационным механизмами. Межзеренный характер разрушения при циклической нагрузке указывает на доминирование диффузионной транспортировки водорода вдоль границ зерен, тогда как трансзеренный вызванный совместным влиянием дислокационного механизма, который обеспечивает интенсивное наводорожи-

вание металла вдоль полос скольжения, и диффузионного, который способствует перераспределению водорода по межфазных границах внутри зерен.

SUMMARY. Different microfractographic features of crack propagation in steel under the influence of hydrogenating environments, related to the transportation of hydrogen in the prefracture zone at the crack tip by diffusion or dislocation mechanisms were revealed. The intergranular fracture under cyclic loading indicates the domination of the hydrogen transportation by diffusion along grain boundaries. The transgranular fracture is caused by the combined effect of dislocation mechanism providing an intensive hydrogenation of metal along slip bands, and diffusion mechanism, which promotes hydrogen redistribution along the interphase boundaries within the grains.

Hredil M. I., Toribio J., and Nykyforchyn H. M. Analysis of the plasticity characteristics of progressively drawn steel wires71

РЕЗЮМЕ. За результатами механічних випроб на повільний розтяг гладких зразків досліджено зміну характеристик пластичності у повітрі та наводнювальному середовищі прутків з перлітної сталі внаслідок холодного волочіння. Сталь високо-чутлива до водневого окрихчення на усіх етапах обробки. Виявлено невідповідність між змінами відносних звуження та рівномірного видовження. Отримані результати проаналізовано з виокремленням вкладу опору зародженню і поширенню тріщини. Внаслідок холодного волочіння підвищується чутливість до тріщиноутворення, при цьому опір поширенню тріщини дещо зростає.

РЕЗЮМЕ. На основании результатов механических испытаний на медленное растяжение гладких образцов исследовано изменение характеристик пластичности на воздухе и в наводороживающей среде прутков из перлитной стали после холодного волочения. Сталь высокочувствительна к водородному охрупчиванию на всех этапах обработки. Обнаружено несоответствие между относительным сужением и равномерным удлинением. Полученные результаты проанализировали, выделяя отдельно сопротивление зарождению и распространению трещины. Вследствие холодного волочения повышается чувствительность к трещинообразованию, при этом сопротивление распространению трещины повышается.

SUMMARY. Changes in the plasticity characteristics in air and in a hydrogenating environment of prestressing steel wires due to cold drawing process are investigated on the basis of slow strain rate tests on smooth specimens. The tested pearlitic steel is highly susceptible to hydrogen embrittlement at all stages of cold drawing. The inconsistency is revealed between the changes of two plasticity characteristics: reduction in area and uniform elongation. The obtained results are analysed distinguishing the contribution of resistance to crack initiation and crack propagation. Susceptibility to crack initiation increases as a result of cold drawing with simultaneous improvement of the crack propagation resistance.

Stashchuk M. H. and Dorosh M. I. Evaluation of stresses caused by the concentration of hydrogen in metals76

РЕЗЮМЕ. З позицій теорії пружності сформульовано систему основних ключових рівнянь для визначення компонент напружень у металі, спричинених воднем. Основні рівняння записані для порожнистого циліндричного тіла та одержано відповідні розрахункові співвідношення. Обчислено компоненти тензора напружень, індукованих воднем у такому циліндрі.

РЕЗЮМЕ. С позиций теории упругости сформулирована система основных ключевых уравнений для определения компонент напряжений в металле, обусловленных водородом. Основные уравнения записаны для полого цилиндрического тела, а также получены соответствующие расчетные соотношения. Рассчитаны компоненты тензора напряжений, индуцированные водородом в полом цилиндре.

SUMMARY. From the point of view of the elasticity theory a system of basic equations for determination of the key components of the hydrogen-induced stresses in the metal is formulated. Basic equations are written for a hollow cylindrical body. The appropriate calculation relations are also obtained. Numerical tensor components of hydrogen-induced stresses in a hollow cylinder are calculated.

Kharchenko L. Ye., Kunta O. Ye., Zvirko O. I., Savula R. S., and Duryahina Z. A.

Diagnostics of hydrogen macrolamination in the wall of pipe elbow of a natural gas transmission pipeline84

РЕЗЮМЕ. Досліджено обширне воднем ініційоване розшарування у стінці гину тривало експлуатованої відвідної від газокompресорної станції труби системи магістральних газопроводів. Проаналізовано чинники, що відіграли вирішальну роль у його утворенні. Встановлено, що його діагностичними ознаками є аномальні покази товщиноміра, різке зниження твердості та пластичності сталі. Виявлено вищий ступінь деградації сталі гину труби порівняно з її прямою ділянкою, причому незалежно від того, чи ділянка розтягнута, чи стиснута. Встановлені обмеження у використанні і відносного видовження, і відносного звуження для характеристики пластичності металу стінки труби з обширним розшаруванням.

РЕЗЮМЕ. Исследовано обширное водородом инициированное расслоение в стенке колена длительно эксплуатируемой отводящей от газокompресорной станции трубы системы магистральных газопроводов. Проанализированы факторы, которые сыграли решающую роль в его образовании. Установлено, что его диагностическими признаками являются аномальные показания толщиномера, резкое снижение твердости и пластичности стали. Вывявлено, что степень деградации стали колена трубы выше, нежели прямого участка, при этом независимо от того, растянут или сжат участок колена. Установлены ограничения в использовании относительных удлинения и сужения для характеристики пластичности металла стенки трубы с обширным расслоением.

SUMMARY. Intensive hydrogen-induced delamination in the wall of the elbow of long-term exploited lateral pipe of a gas transmission pipeline system was investigated. The factors playing a key role in its formation were analyzed. It was established that its diagnostic features are abnormal thickness meter readings, a strong decrease in steel hardness and plasticity. It was detected that the degradation degree of the pipe elbow steel was higher than for a straight pipe one regardless of the tensioned or compressed section. The limitations in the use of elongation and reduction of area for characterisation of metal plasticity of pipe wall with vast delamination were established.

Balytskii O. I., Mochulskii V. M., and Ivaskevych L. M. Evaluation of hydrogen

effect on mechanical characteristics of complex-alloyed nickel alloy91

РЕЗЮМЕ. Досліджено вплив водню за тиску до 30 МПа та вмісту до 20 wppm на міцність, пластичність, малоциклову довговічність, короткочасну та довготривалу статичну тріщиностійкість п'яти модифікацій сплаву Ni56Cr17Mo6Nb4 (ХН56МБЮД) (ЕК-62), які відрізняються способами металургійного переплаву, хімічним складом та режимами термічної обробки. Встановлено, що в'язкість руйнування у повітрі та водні знижується зі зменшенням зерна і зростанням границі текучості та твердості НРС, що дає можливість прогнозувати зміни тріщиностійкості за вимірюваннями твердості поверхні деталей під час експлуатації у водні. Оптимальне поєднання високої міцності, пластичності, короткочасної та довготривалої статичної тріщиностійкості у повітрі та водні досягнуто у легуваної бором (0,005 mass.%) та цирконієм (0,044 mass.%) модифікації. За випробувань на довготривалу статичну тріщиностійкість на базі 100 h встановлено інваріантні характеристики тріщиностійкості – порогові значення K_{IHS} рівні 15...35 МПа·м^{1/2} для різних модифікацій сплаву.

РЕЗЮМЕ. Исследовано влияние водорода при давлении до 30 МПа и содержания до 20 wppm на прочность, пластичность, малоцикловую долговечность, кратковременную и длительную статическую трещиностойкость пяти модификаций сплава ЭК-62 (ХН56МБЮД), которые отличаются способами металлургического переплава, химическим составом и режимами термической обработки. Вязкость разрушения в воздухе и водороде снижается с уменьшением зерна и ростом предела текучести и твердости HRC, что позволяет прогнозировать изменения трещиностойкости по измерениям твердости поверхности деталей в процессе эксплуатации в водороде. Оптимальное сочетание высокой прочности, пластичности, кратковременной и длительной статической трещиностойкости в воздухе и водороде достигнуто в легированной бором (0,005 mass.%) и цирконием (0,044 mass.%) модификации. При испытаниях на длительную статическую трещиностойкость на базе 100 h установлено инвариантные характеристики трещиностойкости – пороговые значения K_{HST} , равные 15...35 МПа·м^{1/2} для различных модификаций сплава.

SUMMARY. The influence of hydrogen under pressure up to 30 MPa and content up to 20 wppm on strength, plasticity, low-cycle fatigue, short-term and long-term crack growth resistance of five modification of Ni56Mo6Nb4 (ХН56МБЮД) (EK-62) nickel alloy, prepared by different metallurgical technologies and with different chemical composition and heat treatment regimes was investigated. The fracture toughness in air and in gaseous hydrogen decreased with decrease of the grain sizes and increase of the yield strength, HRC hardness, allowing prediction of the change of the fracture toughness in operation in hydrogen by surface hardness change of the parts in service in hydrogen. Optimal correlation of high strength, plasticity, short-and long-term fracture toughness in air and in gaseous hydrogen was obtained in the modification alloyed with B (0.005 mass.%) and Zr (0.044 mass.%). During long-term crack growth resistance testing on the base of 100 h the invariant characteristics of static crack growth resistance – K_{HST} , which was equal to 15...35 МПа·м^{1/2} was established for various alloy modifications.

Boichyshyn L. M., Hertsyk O. M., Kovbuz M. O., Kotur B. Ya., and Nosenko V. K.

Electrodes based on amorphous metallic aluminum alloys in hydrogen emission reactions..... 100

РЕЗЮМЕ. Оцінено електрохімічну активність зразків аморфних металевих сплавів (АМС): Al₈₇Ni₈Y₅, Al₈₇Ni₈Y₄Gd₁, Al₈₇Ni₈Dy₁Y₄ в лужних розчинах калій гідроксиду різної концентрації та вплив часткового заміщення Y на 1 at.% Gd або Dy. Показано, що всі досліджені зразки під час циклічної поляризації в інтервалі потенціалів –1,2 до +1,0 V у водних розчинах КОН різних концентрацій (0,5...5,0) М є корозійно-стійкими. Показано, що АМС-електроди, леговані 1 at.% Dy, проявляють найвищу каталітичну активність у 4 М розчині КОН.

РЕЗЮМЕ. Оценено электрохимическую активность образцов аморфных металлических сплавов (АМС) Al₈₇Ni₈Y₅, Al₈₇Ni₈Y₄Gd₁, Al₈₇Ni₈Dy₁Y₄ в растворах калий гидроксида различной концентрации и влияние частичного замещения Y на 1 at.% Gd или Dy. Показано, что все исследованные образцы во время циклической поляризации в интервале потенциалов –1,2 до +1,0 V в водных растворах КОН различных концентраций (0,5...5,0) М являются коррозионно устойчивыми. Показано, что АМС-электроды легированные 1 at.% Dy проявляют наивысшую каталитическую активность в 4 М растворе КОН.

SUMMARY. The electrochemical activity of the samples of Al₈₇Ni₈Y₅, Al₈₇Ni₈Y₄Gd₁, and Al₈₇Ni₈Dy₁Y₄ amorphous metallic alloys in the solution of potassium hydroxide of different concentrations and the effect of partial substitution of Y on the 1 at.% of the Gd or Dy were estimated. It is shown that all studied samples are corrosion-resistant during cyclic polarization in the –1.2 to +1.0 V potential interval in the aqueous KOH solutions of

different (0.5...5.0) M concentrations. It is determined that doped by 1 at.% of Dy AMA-electrodes show the highest catalytic activity in the 4 M KOH solution.

Ushkalov L. M., Brodnikovskiy Ye. M., Lysunenko N. O., Brychevskiy M. M., Vasylyv B. D., and Vasylyev O. D. Diffusion processes between the barrier cathode layer and electrolyte of a solid oxide fuel cell 107

РЕЗЮМЕ. Досліджено вплив відновного і окисного середовищ на взаємну дифузю хімічних елементів між бар'єрним (захисним) катодним шаром $(\text{Ce, Gd})\text{O}_{2-\delta}$ і електролітом YSZ твердооксидної паливної комірки під час відпалу при 1400°C . За результатами аналізу розподілу хімічних елементів у відпалених зразках встановлено, що Ce та Gd під час відпалу у відновному середовищі інтенсивніше дифундують в електроліт, ніж Zr з електроліту до захисного шару. Порівняно з окисним середовищем (повітрям), у відновному (воденьвмісному) взаємна дифузія елементів Ce, Gd та Zr значно інтенсивніша, а глибина їх проникнення більша у 1,5–3 рази.

РЕЗЮМЕ. Исследовано влияние восстановительной и окислительной сред на взаимную диффузию химических элементов между барьерным (защитным) катодным слоем $(\text{Ce, Gd})\text{O}_{2-\delta}$ и электролитом YSZ твердооксидной топливной ячейки во время отжига при 1400°C . На основании анализа распределения химических элементов в отожженных образцах установлено, что Ce и Gd при отжиге в восстановительной среде более интенсивно диффундируют в электролит, чем Zr из электролита в защитный слой. По сравнению с окислительной средой (воздухом), в восстановительной (водородсодержащей) взаимная диффузия элементов Ce, Gd и Zr более интенсивная, а глубина их проникновения больше в 1,5–3 раза.

SUMMARY. The influence of reducing and oxidizing media on mutual diffusion of chemical elements between $(\text{Ce, Gd})\text{O}_{2-\delta}$ barrier (protective) cathode layer and YSZ electrolyte of a solid oxide fuel cell during annealing at a temperature of 1400°C was investigated. Using the energy dispersive X-ray spectroscopy of the annealed specimens it was established that during annealing in reducing medium, Ce and Gd were diffusing into the electrolyte more intensively than Zr from the electrolyte into the protective layer. Mutual diffusion of Ce, Gd, and Zr was more intensive in reducing (hydrogenous) medium and their penetration depth was 1.5–3 times higher as compared with the oxidizing one (air).

Haivoronskyi O. A., Pozniakov V. D., Markashova L. I., Ostash O. P., Kulyk V. V., Aleksieyenko T. O., and Shyshkevych O. S. Structure and mechanical properties of heat-affected zone of restored railway wheels 114

РЕЗЮМЕ. За результатами дослідження впливу термічної обробки сталі 65Г, яка моделює термодформаційний цикл відновлювального наплавлення залізничних коліс, встановлено, що підвищити опірність крихкому руйнуванню металу колеса в зоні термічного впливу до рівня основного металу можна формуванням у ній бейнітно-мартенситної структури і витримкою 2...3 h при 100°C під час його охолодження після наплавлення. Така витримка сприяє зростанню пластичності металу в 1,8 рази, ударної в'язкості – в 2–3 рази, порога втоми зразка з тріщиною – в 1,6 рази, циклічної в'язкості руйнування – в 1,8 рази за практично незмінної міцності. Це спричинено падінням в $\sim 1,5$ рази напружень II роду і локальних деформацій в об'ємі рейок бейніту та мартенситу.

РЕЗЮМЕ. На основании результатов исследования влияния термической обработки стали 65Г, которая моделирует термодформационный цикл восстановительной наплавки железнодорожных колес, выявлено, что повысит сопротивляемость хрупкому разрушению металла колеса в зоне термического влияния до уровня основного металла возможно формированием в этой зоне бейнитно-мартенситной структуры и выдержкой в процессе его охлаждения после наплавки 2...3 h при 100°C .

Это способствует росту пластичности металла в 1,8 раза, ударной вязкости – в 2–3 раза, порога усталости образца с трещиной – в 1,6 раза, циклической вязкости разрушения – в 1,8 раза при практически неизменной прочности. Это обусловлено снижением в ~1,5 раза напряжений II рода и локальных деформаций в объеме реек бейнита и мартенсита.

SUMMARY. Based on study of the effect of 65Г steel heat treatment, which simulates thermodeformation cycle under reconstruction welding of railway wheels, it is shown that increase of the resistance to brittle fracture of metal in the wheel heat-affected zone to the level of base metal may be caused by the formation in this zone of the bainite-martensite structure and exposure 2...3 h at 100°C during welded wheel cooling. Such exposure improves metal plasticity in 1.8 times, impact toughness – in 2...3 times, fatigue threshold of cracked specimen in – 1.6 times, cyclic fracture toughness – in 1.8 times at almost constant strength. This is due to the ~1.5 fold reduction of the second kind stresses and local strain in the volume of bainite and martensite rails.

Sylovaniuk V. P., Yukhym R. Ya., Ivantyshyn N. A., and Lisnichuk A. Ye.

Prediction of crack growth resistance of cement stone and fibre 120

РЕЗЮМЕ. Запропонована розрахункова модель для прогнозування тріщиностійкості волокнистих композитів, створених на основі цементної матриці. Встановлено основні чинники, що формують опір композитного матеріалу поширенню у ньому тріщини. Отримано просту інженерну залежність для розрахунку характеристики тріщиностійкості K_{IC} , яка дає можливість цілеспрямовано формувати оптимальний склад композита.

РЕЗЮМЕ. Предложена расчетная модель для прогнозирования трещиностойкости волокнистых композитов, созданных на основе цементной матрицы. Установлены основные факторы, формирующие сопротивление композитного материала распространению в нем трещины. Получена простая инженерная зависимость для расчета характеристики трещиностойкости K_{IC} , которая дает возможность целенаправленно формировать оптимальный состав композита.

SUMMARY. The calculation model for predicting fracture of fibrous composites produced from the cement matrix is proposed. The main factors that form the resistance of composite material to crack propagation in it is established. The obtained simple engineering dependence for calculation of the crack growth resistance characteristics enables the purposeful creation of the optimum composition of the composite.

Odintsov V. V. and Korin O. V. The influence of crystal structure on mechanical

properties of rare earth metals and zirconium dodecaborydes 125

РЕЗЮМЕ. Вперше визначено модулі нормальної пружності (модуль Юнга) та зсуву, коефіцієнт поперечної деформації (коефіцієнт Пуассона) гарячопресованих додекаборидів з використанням основних теплових характеристик додекаборидів рідкісноземельних металів і цирконію YB_{12} , TbB_{12} , DyB_{12} , HoB_{12} , ErB_{12} , TmB_{12} , YbB_{12} , LuB_{12} , ZrB_{12} та експериментальних методів статичних і динамічних досліджень. Числові розрахункові і експериментальні значення механічних параметрів збіглися. Модуль пружності додекаборидів у ≈ 2 рази менший, ніж у чистого бору і не зростає, як теоретично передбачено у ряду $MeB_4 \rightarrow MeB_6 \rightarrow MeB_{12}$. Це можна пояснити особливостями будови кристалічної решітки додекаборидних фаз, довжинами зв'язків B–B, Me–B, Me–Me, силами взаємодії між атомами в цих фазах.

РЕЗЮМЕ. Впервые определены модули нормальной упругости (модуль Юнга) и сдвига, коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона) горячепресованных додекаборидов с использованием основных тепловых характеристик додекаборидов редкоземельных металлов и циркония YB_{12} , TbB_{12} , DyB_{12} , HoB_{12} , ErB_{12} , TmB_{12} , YbB_{12} , LuB_{12} , ZrB_{12} и экспериментальных методов статических и динамичес-

ких досліджень. Численні розрахунки та експериментальні значення механічних параметрів співпали. Модуль пружності додекаборидів в ≈ 2 рази менше, ніж у чистого бора і не росте, як теоретично передбачено в ряду $\text{MeB}_4 \rightarrow \text{MeB}_6 \rightarrow \text{MeB}_{12}$. Це можна пояснити особливостями будови кристалічної решітки додекаборидних фаз, довжинами зв'язей B–B, Me–B, Me–Me, силами взаємодії між атомами в цих фазах.

SUMMARY. Modules of elasticity (Young's module) and shear module, coefficient of transverse deformation (Poisson's ratio) of hot-pressed dodecaborides were calculated for the first time using the basic thermal characteristics of rare-earth metals and zirconium dodecaborides YB_{12} , TbB_{12} , DyB_{12} , HoB_{12} , ErB_{12} , TmB_{12} , YbB_{12} , LuB_{12} , ZrB_{12} and also experimental methods of static and dynamic researches. The numerical values of the calculated and experimental values of the mechanical parameters coincide. Modulus of dodecaborides elasticity is ≈ 2 times smaller than that of a pure boron and is not growing as expected theoretically in a row $\text{MeB}_4 \rightarrow \text{MeB}_6 \rightarrow \text{MeB}_{12}$. This fact can be explained by structural features of the crystal lattice of the dodecaborides phases, bond length of B–B, Me–B, Me–Me the interaction forces between the atoms in these phases.

Mudryi S. I., Shtablavyi I. I., Kulyk Yu. O., Talako T. L., and Lietsko A. I.

The effect of nickel on the structure of $\text{Al}_{0.878}\text{Si}_{0.122}$ eutectic melt 131

РЕЗЮМЕ. Досліджено атомну структуру сплавів на основі алюмінію методами рентгенівської дифракції і оберненого Монте-Карло. Розраховано повні та парціальні структурні фактори, парні кореляційні функції та парціальні координаційні числа. Показано, що евтектика $\text{Al}_{0.88}\text{Si}_{0.12}$ складається з мікрообластей на основі алюмінію та розчину Al–Si. За умови додавання нікелю до евтектики формуються хімічно впорядковані області, в яких нікель оточений в основному атомами алюмінію.

РЕЗЮМЕ. Исследована атомная структура сплавов на основе алюминия методами рентгеновской дифракции и обратного Монте-Карло. Рассчитано полные и парциальные структурные факторы, парные корреляционные функции и парциальные координационные числа. Показано что эвтектика $\text{Al}_{0.88}\text{Si}_{0.12}$ состоит из микрообластей на основе алюминия и раствора Al–Si. При добавление никеля к эвтектике формируются химически упорядоченные области, в которых никель окружен в основном атомами алюминия.

SUMMARY. The atomic structure of Al-based alloys are investigated both by means of X-ray diffraction method and by the reverse Monte-Carlo technique. Total and partial structural factors as well as pair correlation function and partial coordination numbers are calculated. It is shown that $\text{Al}_{0.88}\text{Si}_{0.12}$ eutectic melt consists of the Al-based micro-regions and Al–Si solution. Adding Ni to the eutectic leads to the formation of Al–Ni chemically ordered structural regions in which Ni is surrounded mainly by Al atoms.

Ravichandran M., Vidhya VS., and Anandakrishanan V. Study of characteristics

of Al + 5 wt.% TiO_2 + 6 wt.% Gr hybrid p/m composite powders prepared by ball milling process 136

РЕЗЮМЕ. Вивчали характеристики композитних порошків Al + TiO_2 + Gr. Композити складу Al + 0% TiO_2 , Al + 5% TiO_2 , Al + 5% TiO_2 + 2% Gr, Al + 5% TiO_2 + 4% Gr та Al + 5% TiO_2 + 6% Gr отримували шляхом кульового помелу відповідних компонентів. Для визначення розмірів зерен, параметрів кристалічної решітки, напруження, деформації, густини дислокацій та об'єму елементарної комірки використовували рентгенівський дифракційний аналіз. Здатність до компактування Al з сумішшю порошків 5 wt.% TiO_2 та 2 і 4 wt.% Gr визначали в гартованих сталевих прес-формах за тиску 100... 500 МПа. Для розуміння особливостей компактування гібридних композитів на основі Al, зміцнених частинками TiO_2 та Gr за різних тисків, виконували експериментальні дослідження з використанням декількох підходів. Наведено мікρο-структурний аналіз композита Al + 5% TiO_2 + 6% Gr.

РЕЗЮМЕ. Изучали характеристики композитных порошков Al + TiO₂ + Gr. Композиты состава Al + 0% TiO₂, Al + 5% TiO₂, Al + 5% TiO₂ + 2% Gr, Al + 5% TiO₂ + 4% Gr и Al + 5% TiO₂ + 6% Gr получали путем шарового помола соответствующих компонентов. Для определения размеров зерен, параметров кристаллической решетки, напряжения, деформации, плотности дислокаций и объема элементарной ячейки использовали рентгеновский дифракционный анализ. Способность к компактированию Al со смесью порошков 5 wt.% TiO₂ и 2...4 wt.% Gr определяли в закаливаемых стальных пресс-формах при давлении 100...500 МПа. Для понимания особенностей компактирования гибридных композитов на основе Al, упрочненных частицами TiO₂ та Gr при различных давлениях, проводили экспериментальные исследования с использованием нескольких подходов. Представлен микроструктурный анализ композита Al + 5% TiO₂ + 6% Gr.

SUMMARY. This paper is an attempt to understand the characteristics of Al + TiO₂ + Gr hybrid ball milled composite powders, which is anticipated to have large application in the near future. Aluminium with titanium dioxide (TiO₂) and graphite (Gr) powders was ball milled in order to yield the composition like: Al + 0% TiO₂, Al + 5% TiO₂, Al + 5% TiO₂ + 2% Gr, Al + 5% TiO₂ + 4% Gr and Al + 5% TiO₂ + 6% Gr. From the X-Ray diffraction analysis of the milled powders, the grain size, lattice space, lattice constant, stress, strain, dislocation density and unit cell volume were calculated. Compressibility was performed in a hardened steel die at pressures between 100 to 500 MPa to determine Al with 5 wt.% TiO₂ and 2 & 4 wt.% of Gr powder mixtures. For understanding of compaction behavior of aluminum based hybrid composites reinforced with TiO₂ and Gr particles under various applied pressure conditions, experimental research has been made using several powder compaction equations. Microstructure analysis for Al + 5% TiO₂ + 6% Gr composite has been reported.