

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

СМІРНОВА ЯНА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 669.018.9[043.3]

ДИСЕРТАЦІЯ

СТВОРЕННЯ ОСНОВ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ШАРУВАТИХ
МЕТАЛО-КЕРАМІЧНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ З
ПІДВИЩЕНИМИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

13 – Механічна інженерія

136 – Металургія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Я. О. Смірнова

Науковий керівник: Гурія Ірина Миранівна, к. т. н., доц.

Київ – 2022

ABSTRACT

Smirnova Y. O. Creation of foundations of manufacturing technologies of layered metal-ceramic composite materials with increased physical and mechanical characteristics. – Qualifying scientific work. As a manuscript.

Thesis for the Doctor of Philosophy Degree in specialty 136 Metallurgy. – National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, 2022.

The dissertation work is devoted to the solution of an actual problem, namely the development and research of technological parameters for the manufacturing of layered Ti(Ti-TiB)/Al composite materials with increased physical and mechanical characteristics by the liquid-phase method.

An analytical review of scientific sources on the subject of the dissertation research is presented in the work. Common solid-phase and existing liquid-phase methods of layered Ti/Al composite materials manufacturing are considered. The influence of manufacturing technologies on the microstructure of the interaction zone, phase composition and mechanical properties of the obtained composites is shown. It was established that liquid-phase methods of layered Ti/Al composites manufacturing, which have a number of advantages compared to solid-phase ones, require technological development and are uncommon in industry. In addition, the Ti-TiB/Al system, which is promising due to the increased specific strength and improved physical properties, hasn't been sufficiently investigated today.

Chapter two of the dissertation described the starting materials, the method of liquid-phase manufacturing of layered Ti/Al composites, methods of researching their microstructure, chemical and phase composition, physical and mechanical properties.

The technological bases of layered Ti/Al composite materials liquid-phase manufacturing are presented. Using the KF-AlF₃ eutectic alloy flux ensures uniform impregnation of the aluminum melt between the titanium based plates. It was established that transition layer at the interface between solid titanium grade VT1-0

and liquid aluminum is formed. Thickness of transition layer remains stable at melt temperatures from 700 to 800 °C, the width of the gap between the titanium plates from 0,5 to 1,5 mm, and holding time 900 s. The phase composition of the transition layer corresponds to solid solutions of titanium in aluminum and aluminum in titanium. It was determined that the minimum holding time is sufficient for the interaction of titanium and aluminum. 300 seconds holding in the melt after infiltration ensures formation of a uniform transition layer. An increase of the width of the gap between the titanium plates from 0,5 to 1,5 mm leads to rising of melt lifting speed between them from $1,6\pm 0,12$ to $2,9\pm 0,20$ mm/s.

The thickness of the formed transition layer remains stable for all investigated values of the width of the gap between the titanium-based plates in VT1-0/Al, VT6/Al, and Ti-TiB/Al systems, and on average, is 2,8, 3,8-4,2 and 6,3-6,5 μm , respectively. The layer thickening as a result of changing the original plates is due to their chemical composition and structure. Mechanisms of interphase interaction between solid titanium or its alloy and liquid aluminum are presented for the studied systems. According to the presented in the dissertation technological parameters, not only three-layer but also five- and seven-layer materials of the VT1-0/Al and VT6/Al systems were manufactured. An increasing in the number of layers in the material does not lead to a change in the microstructure of the interaction zone.

As a result of the three-point bending test, it was found that the three-layer composite materials of the VT1-0/Al system don't destroy. When the bending angle of the samples in the range of 130-120 ° is reached, cracks with a maximum size of up to 20 μm are formed at the interface. It doesn't lead to delamination and separation of the titanium plates from the aluminum layer.

During tensile tests, the three- and five-layer materials of the VT1-0/Al system demonstrate plastic behavior. Maximum strength values were achieved with a minimum width of the gap of 0,5 mm and reached 305 ± 16 MPa at a total strain of $32,1\pm 3,0$ %. Three-layer composites of the VT6/Al system demonstrate similar behavior during tests. The maximum tensile strength is 602 ± 15 MPa with a total strain of $15,3\pm 2,4$ %. Unlike the previous ones, materials of the Ti-TiB/Al system

demonstrate brittle behavior during destruction. The tensile strength of the three-layer material with the width of the gap between plates of 1,5 mm, is 479 ± 18 MPa on average, and the deformation is $14,96\pm 1,7$ %.

It was experimentally established that the value of the tensile strength of layered composite materials satisfactorily agrees with the values calculated by the rule of mixtures, taking into account the volume fraction, number, physical and mechanical properties of titanium and aluminum layers. It makes it possible to predict the mechanical properties of layered Ti/Al composites.

As a result of rolling in an air atmosphere without preheating, the liquid-phase formed three-layer materials of the VT1-0/Al system retain the integrity of the interface. Materials with a reduction ratio of 0,27-0,45 were obtained by plastic deformation. The transition layer, formed as a result of the interaction of the original metals, fragments and passes into the aluminum layer. The strength of the rolled composites increases to 401-491 MPa compared to the original ones. Anisotropy of tensile strength in the studied materials is practically not occur and doesn't depend on the direction of tension of the studied samples relative to the direction of rolling.

As a result of three-layer composite materials of the Ti-TiB/Al system vacuum rolling with preheating, a maximum reduction ratio of 0.36 was achieved. Increasing of the composite rolling temperature leads to a thickening of the transition layer, which formed at the interface. The strength of the material with a reduction ratio of 0,2 is on average 725 ± 20 MPa, and the plastic deformation is $0,98\pm 0,12$ %. It indicates an increase in strength and a decrease in plasticity compared to the original material.

Ashby graphs showed that in terms of specific mechanical characteristics, the layered Ti/Al composites manufactured by liquid-phase method exceed the known titanium and aluminum alloys.

Key words: composite material, layered composite, titanium, titanium alloy, aluminium, titanium boride, infiltration, liquid-phase formation, microstructure, phase composition, mechanical characteristics.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. **Smirnova Y.**, Huriia I., Loboda P. Liquid phase fabrication technology of layered Ti/Al composite. *U.P.B. Scientific bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science*. 2021. Vol. 83, Iss. 4. P. 273–282. (*Особистий внесок*: виготовила дослідні зразки, брала участь у обробленні й обговоренні результатів, підготувала статтю до друку)
2. **Смірнова Я. О.**, Гурія І. М. Мікроструктура та механічні властивості шаруватого литого композиту ВТ-6/Al. *Метал і лиття України*. 2022. Том 30, №1. С. 84–90. <https://doi.org/10.15407/steelcast2022.01.084> (*Особистий внесок*: виготовила дослідні зразки, брала участь у обробленні й обговоренні результатів, підготувала статтю до друку)
3. **Смірнова Я. О.**, Солодкий Є. В., Гурія І. М., Лобода П. І. Кінетика формування перехідного шару при взаємодії Ti-TiВ з рідким алюмінієм. *Наукові вісті КІП*. 2019. №2. С. 71–77. <https://doi.org/10.20535/kpi-sn.2019.2.167784> (*Особистий внесок*: брала участь у обробленні й обговоренні результатів, підготувала статтю до друку)
4. Гурія І. М., **Смірнова Я. О.**, Лобода П. І., Солодкий Є. В. Виготовлення шаруватого метал-інтерметалідного армованого композиційного матеріалу. *Металознавство та обробка металів*. 2019. Том 25, №4(92). С. 47–52. <https://doi.org/10.15407/mom2019.04.047> (*Особистий внесок*: брала участь у виготовленні дослідних зразків, обробленні й обговоренні результатів, підготувала статтю до друку)
5. Спосіб виготовлення шаруватого композиційного матеріалу із титану, армованого боридом титану і алюмінію: пат. 144841 Україна, № u202003457; заявл. 09.06.2020; опубл. 26.10.2020, Бюл. № 20. Гурія І. М., **Смірнова Я. О.**, Лобода П. І., Солодкий Є. В. (*Особистий внесок*: брала участь у патентному пошуку, проведені експериментальних досліджень та оформленні патенту)

6. **Смірнова Я. О.**, Гурія І. М., Солодкий Є. В., Лобода П. І. Отримання шаруватого металевого композиційного матеріалу з інтерметалідними прошарками. *Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 8* : зб. тез доп. міжнар. наук. конф., м. Київ, 6-7 грудня 2018 р. Київ, 2018. С. 104–105. (*Особистий внесок*: брала участь у обробленні й обговоренні результатів, підготувала тези до друку)

7. **Смірнова Я. О.**, Гурія І. М. Перспективи виготовлення шаруватих метал-інтерметалічних композиційних матеріалів рідкофазними методами. *Нові матеріали і технології в машинобудуванні* : зб. тез доп. XI міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 30-31 травня 2019 р. Київ, 2019. С. 171–173. (*Особистий внесок*: брала участь у обробленні й обговоренні результатів, підготувала тези до друку)

8. Гурія І. М., **Смірнова Я. О.**, Лобода П. І., Солодкий Є. В. Технологія виготовлення шаруватого титан-алюмінієвого композиційного матеріалу. *Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 9* : зб. тез доп. міжнар. наук. конф., м. Київ, 18-19 грудня 2019 р. Київ, 2019. С. 36–37. (*Особистий внесок*: брала участь у обробленні й обговоренні результатів, підготувала тези до друку)