

- by N.N. Potapov. – M.: Mashinostroenie, 1989. – 544 p. (Rus.)
4. Electroslag tape surfacing with special fluxes of the atomic-power and petrochemical equipment components / Ye.G. Starchenko, V.Yu. Mastenko, Yu.S. Volobuyev, V.D. Khodakov // Svarochnoe Proizvodstvo. – 2011. – № 10. – P. 22-27. (Rus.)
 5. The effect of the bypass current through molted slag on the submerged-arc surfacing process using strip electrode / L.K. Leshchinskiy, P.F. Lavrik, V.V. Tarasov, V.A. Beskhlebny // Svarochnoe proizvodstvo. – 1970. – № 6. – P. 7-9. (Rus.)
 6. Beskhlebny V.A. The investigation of the alloying of the deposited metal in submerged-arc surfacing using ceramic flux : Avtoreferat Diss. – Kiev, 1970. – 24 p. (Rus.)
 7. Beskhlebny V.A. Ceramic fluxes ZhSN for wear-resistant building-up / V.A. Beskhlebny, L.K. Leshchinskiy // Svarochnoe proizvodstvo. – 1973. – № 2. – P. 25-27. (Rus.)
 8. The influence of the hard spinel formation in the molted slag of agglomerated flux of the $MgO - Al_2O_3 - SiO_2 - CaF_2$ – system on the slag viscosity / I.A. Goncharov [et al.] // Paton Welding Journal. – 2012. – № 12. – P. 21-28. (Rus.)
 9. X-ray diffraction and SEM/EDX studies on technological evolution of the oxide-fluoride ceramic flux for submerged arc surfacing / V.E. Sokolsky [et al.] // Journal of Mining and Metallurgy. Sect. B-Metall. 48 (1) B (2012). – P. 101-113.
 10. A.c. 407696 USSR, Int. Cl. B 23 K 35/36. Agglomerated flux / L.K. Leshchinskiy, K.V. Bagryanskiy, P.F. Lavrik, V.A. Beskhlebny [et al.]. – № 1778793/25-27; stated 29.04.72; publ. 10.12.73, Byul. № 47. (Rus.)
 11. Pat. 61711 Ukraine, Int. Cl. B 23 K 35/362. Agglomerated flux for surfacing / V.S. Boyko, K.K. Stepnov, E.M. Shebanits, V.M. Matvienko [et al.]. – № 2003042833; stated 01.04.03; publ. 17.11.03, Byul. № 11. (Ukr.)
 12. The physical, chemical and technical properties of the molted fluxes of the $CaF_2 - SiO_2 - Al_2O_3 - MgO$ – system / A.M. Slivinskiy, V.N. Kopersak, A.M. Solokha, K.A. Yushchenko // Paton Welding Journal. – 1981. – № 7. – P. 31-35. (Rus.)
 13. Leshchinskiy L.K. Selection of the composition of agglomerated flux for surfacing with strip electrodes / L.K. Leshchinskiy, V.N. Matviyenko, K.K. Stepnov // Bulletin of Pryazovskyi State Technical University: collection of scientific works. – Mariupol: PSTU, 2012. – V. 24. – P. 211-217. (Rus.)

Рецензент: В.И. Щегина
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 04.06.2014

УДК 621.791.927

© Матвиенко В.Н.*

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИЙ НАПЛАВКОЙ СОСТАВНЫМ ЛЕНТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

Показано, что за счёт рассредоточения тепловложения по пятну нагрева при наплавке ленточным электродом под флюсом удаётся регулировать долю участия основного металла в наплавленном. Для процесса наплавки ленточным электродом, протекающего в перемежающемся (смешанном) режиме, характерна закономерность – уменьшение доли участия основного металла в наплавленном при увеличении тепловой мощности источника (величины тока).

Ключевые слова: широкослойная наплавка, флюс, ленточный электрод, составной ленточный электрод, глубина проплавления, слоистые композиции, доля участия основного металла.

* д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, matviyenko@mail.ru

Матвієнко В.М. Особливості отримання шаруватих композицій наплавленням складеним стрічковим електродом. Показано, що за рахунок розосередження тепловкладення по плямі нагріву при наплавленні стрічковим електродом під флюсом вдається понизити долю участі основного металу в наплавленому. Для процесу наплавлення стрічковим електродом, що протікає в змішаному режимі, встановлена закономірність – зменшення долі участі основного металу в наплавленому при збільшенні теплової потужності джерела (величини струму).

Ключові слова: широкошарове наплавлення, флюс, стрічковий електрод, складений стрічковий електрод, глибина проплавлення, шаруваті композиції, доля участі основного металу.

V.M. Matvienko. Peculiarities of layered compositions by submerged arc surfacing with a composite strip electrode. The results of the investigation show that during the process of submerged arc surfacing with a composite strip electrode the value of bypass current is high. This process can lower the level of base metal heat input. It is shown that using a composite strip electrode, as well as a singular electrode, an increase of total current decreases the dilution ratio of base metal in the deposited metal.

Keywords: submerged arc surfacing, flux, strip electrode, composite strip electrode, depth of fusion, multilayer compositions, dilution ratio.

Постановка проблеми. Решение задачи нанесения слоистых композиций на крупные стальные изделия, наряду с другими факторами, во многом зависит от ранее установленных и исследуемых особенностей процесса широкослойной наплавки под флюсом и разработки способа наплавки составным ленточным электродом.

Анализ последних исследований и публикаций. Применение слоистых композиций в изделиях различного назначения обусловлено рядом экономических и технических преимуществ. Важнейшее из них – сочетание специфических свойств каждого слоя (износостойкость, коррозионная стойкость, теплостойкость, прочность, пластичность) с намного более высокой, чем отдельных слоёв, энергоёмкостью разрушения композиции в целом [1, 2].

Получение на поверхности изделия слоистой композиции с необходимым комплексом свойств зависит от состава, степени неоднородности и количества слоёв, градиента свойств на их границах. При разработке технологии наплавки таких композиций следует исходить из требований к поверхностному слою изделия, прогноза получаемой структуры и свойств, вероятности появления дефектов. При этом эффективность разработанной технологии оценивается степенью соответствия характеристик изделия с наплавленным композитным слоем реальным условиям эксплуатации.

Совершенствование процесса широкослойной наплавки ленточным электродом вызвано необходимостью расширить его технологические возможности, не снижая при этом производительности и качества наплавленного металла [3]. Среди способов наплавки ленточными электродами важнейшую роль играет процесс наплавки под флюсом, применяемый для нанесения износостойких и коррозионностойких слоёв. По способности управления в процессе наплавки под флюсом тепломассопереносом и эффективностью проплавления, влияющими на долю участия основного металла в наплавленном, а также на свойства наплавленного слоя, способ наплавки составным ленточным электродом [4, 5] располагает значительными преимуществами в сравнении со способом наплавки профилированным ленточным электродом, а также двумя параллельными лентами.

Цель статьи – изучение влияния геометрии ленточного электрода на долю участия основного металла в наплавленном при широкослойной наплавке под флюсом.

Изложение основного материала. Для получения композиций из слоёв заданных размеров при минимальном взаимном проникновении, но надёжном сплавлении, применяются способы наплавки ленточными электродами под флюсом. Оптимальные параметры выбранного варианта технологии наплавки изделия должны обеспечить требуемую геометрию, состав, структуру и свойства каждого слоя. Обоснованность выбора материалов для слоистых наплавленных композиций и применяемой технологии, предусматривающей нанесение слоёв наплавкой одинарным и составным ленточным электродом, должна подтверждаться количественными

характеристиками сопротивляемости разрушению слоистых композиций, а также результатами эксплуатации изделий, восстановленных с их использованием [6].

Создание слоистых композиций наплавкой материалами с необходимым соотношением физико-механических свойств позволяет не только компенсировать снижение долговечности активного рабочего слоя из-за дефектов литой структуры наплавленного металла, но и обеспечить существенное повышение работоспособности изделия. Многослойное рабочее покрытие с изменяющимися по сечению свойствами позволяет повысить работоспособность наплавленного изделия за счёт релаксации напряжений, возникающих от динамической или термической нагрузок, что способствует повышению стойкости против распространения трещин. Получение наплавленных слоёв из материалов с отличающимися свойствами позволяет обеспечить торможение трещины при статическом, термоусталостном и ударном нагружении. Эффективным путём повышения трещиностойкости слоистых композиций является увеличение числа границ раздела слоёв. Это может быть реализовано наплавкой материалами с более высокой вязкостью разрушения, чем у основного металла, а также созданием на пути движения трещины пластичных зон – локализаторов, способных тормозить трещину. Однако стремление получить в наплавленном слое комплекс требуемых служебных характеристик неизбежно вступает в противоречие с возможностями технологии обеспечить необходимую контрастность свойств. В то же время, получение в наплавленном покрытии прочной и упругой матрицы, в которой расположены вязкие, пластичные прослойки, позволяет создавать барьеры на пути движения трещины [7, 8]. При этом, композиционная структура наплавленного металла с прочной матрицей и вязкими прослойками может быть получена лишь в определенных условиях, когда изменение тепловой и гидродинамической обстановки препятствует интенсивному перемешиванию металла ванны и установлению однородного состава.

При получении наплавкой слоистых композиций необходимо обеспечить не только заданный уровень, но и достаточно высокую точность легирования каждого слоя, влияющих на контрастность структуры и свойств. Процесс легирования наплавленного металла оценивается возможностью получения требуемого состава и эффективностью использования при этом легирующих компонентов наплавочных материалов. Возможность достижения требуемой концентрации легирующих элементов при многослойной наплавке определяется приведенной исходной концентрацией элементов в применяемых наплавочных материалах, степенью их усвоения наплавленным металлом (коэффициентом перехода), а также относительным содержанием основного металла γ^n в n -ом наплавленном слое. Здесь γ – доля участия основного металла в первом слое, n – число наплавленных слоёв. Снижение расхода легирующих элементов, а также затрат на наплавку, зависит от возможности уменьшить γ , а следовательно, минимальное число наплавленных слоёв, исключаяющее присутствие основного металла.

Согласно зависимости, предложенной А.А. Ерохиным [9]:

$$C_n = C_{н.м.} - C_{н.м.} \cdot \gamma^n,$$

где C_n – концентрация элемента в n -ом слое, масс. %;

$C_{н.м.}$ – концентрация элемента в наплавленном слое, не содержащем примесей основного металла, масс. %.

Распредоточив тепловложение по пятну нагрева, а также управляя массопереносом с торца электрода и в сварочной ванне, при наплавке ленточным электродом под флюсом удаётся снизить долю участия γ основного металла в наплавленном. При одинаковых значениях погонной энергии и равной площади сечения электродов, переход от режима, близкого к дуговому (наплавка электродной проволокой), к перемежающемуся (наплавка ленточным электродом) позволяет не только более эффективно использовать выделяющуюся в реакционной зоне теплоту для повышения производительности процесса, но и уменьшить число наплавляемых слоёв для достижения требуемого состава (рис. 1).

Однако созданию слоистых композиций, наплавленных ленточным электродом, препятствует низкая технологическая стабильность процесса, из-за трудности обеспечения строго ограниченного, но равномерного по ширине надёжного проплавления, без несплавлений, а также локальных углублений [7, 8].

Основные особенности способа наплавки ленточным электродом определяются влиянием

геометрии электрода на формирование наплавленного слоя, на условия существования дугового разряда на торце ленты, плавления электродного и основного металла под воздействием дуги, шунтируемой расплавленным шлаком. От геометрии электрода зависит не только массовая скорость наплавки G_H и доля участия γ , но также контрастность изменений состава, структуры и свойств на границе слоёв. Поэтому значительный интерес представляет возможность достичь более высоких значений G_H и меньших γ за счёт применения составного ленточного электрода [5].

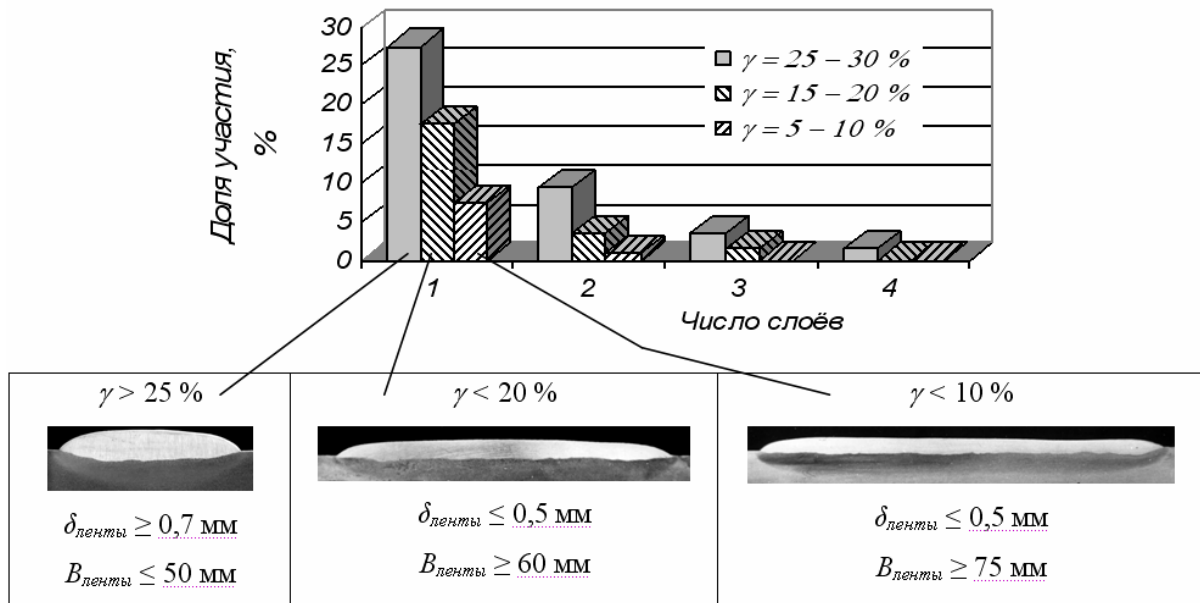


Рис. 1 – Доля участия γ основного металла при многослойной наплавке ленточным электродом

Для наплавленных изделий экономия энергетических и сырьевых ресурсов зависит от возможности снижения массы наплавленного металла, сохраняя необходимую работоспособность изделия. Если его долговечность зависит от трещиностойкости наплавленного металла, уменьшение его толщины при наплавке ленточным электродом возможно за счёт получения многослойных композиций с резко выраженной слоистостью, обеспечивающей высокую контрастность состава и свойств на границах. Благодаря этому происходит торможение усталостных (термоусталостных) трещин на границах слоёв.

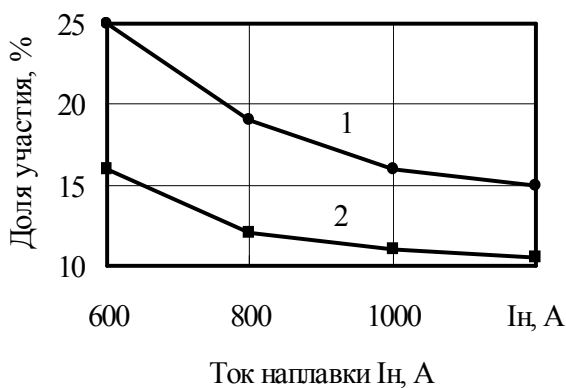


Рис. 2 – Влияние геометрии ленточного электрода и силы сварочного тока (I_n) на долю участия (γ) основного металла в наплавленном: 1 – наплавка плоским ленточным электродом сечением $60 \times 0,5$ мм; 2 – наплавка составным ленточным электродом сечением: основная лента $50 \times 0,5$ мм и боковые $25 \times 0,7$ мм

Установленная ранее для процесса наплавки ленточным электродом, протекающего в перемежающемся (смешанном) режиме, закономерность уменьшения доли участия основного металла в наплавленном при увеличении тепловой мощности источника (величины тока) характерна также при наплавке составным ленточным электродом (рис. 2).

Представленные на рис. 2 результаты получены при наплавке под флюсом АН-348А составным ленточным электродом марки Св-08кп (средняя лента –

50×0,5 мм, боковые ленты – 25×0,7 мм). Параметры режима: ток постоянный обратной полярности изменяли в пределах $I_H = 600 \dots 1200$ А, $U_d = 30 \dots 32$ В, $v_H = 14$ м/ч, вылет ленточных электродов 40 мм [5]. С увеличением сварочного тока от 600 А до 1200 А доля участия основного металла в наплавленном снижается на от 15...17 до 11...12 % при качестве формирования наплавленного слоя значительно более высоком, чем при наплавке одинарным ленточным электродом.

Использование составного ленточного электрода позволяет управлять тепломассопереносом по ширине сварочной ванны, характером процесса наплавки (соотношением дугового и шлакового процессов), условиями и производительностью плавления электродного и основного металлов, воздействовать на долю участия основного металла (предыдущего слоя), что обеспечивает широкие возможности создания слоистых композиций. В случае разных составов основной и боковых лент, формируется слой с разнородной макроструктурой, с чередованием участков высокой пластичности и высокой прочности в пределах одного слоя [10]. Торможение трещин в таком квазикомпозите происходит по механизму образования микрорасслоений. Благодаря этому удаётся повысить трещиностойкость композиции при сохранении высокой прочности и пластичности.

Выводы

1. Для процесса наплавки под флюсом ленточным электродом, протекающем в перемежающемся (смешанном) режиме, подтверждена закономерность, характерная также для наплавки составным ленточным электродом – уменьшение доли участия основного металла в наплавленном при увеличении тепловой мощности источника (величины тока).
2. При наплавке составным ленточным электродом (средняя лента – 50×0,5 мм, боковые ленты – 25×0,7 мм) с увеличением сварочного тока от 600 А до 1200 А доля участия основного металла в наплавленном снижается от 15...17 до 11...12 %.
3. За счёт такого снижения степени разбавления наплавленного металла основным металлом минимальное число наплавленных слоёв, обеспечивающих отсутствие примесей основного металла, не превышает двух – трёх.

Список использованных источников:

1. Лещинский Л.К. Слоистые наплавленные и упрочнённые композиции / Л.К. Лещинский, С.С. Самотугин. – Мариуполь: Новый мир, 2005. – 392 с.
2. Слоистые металлические композиции / И.Н. Потапов [и др.] – М.: Металлургия, 1986. – 216 с.
3. Peters G. Elektroschlacke – Bandplattierung mit korrosionsbeständigen Werkstoffen / G. Peters, P. Paschold // DVS – Berichte, DVS – Verlag. Düsseldorf. – 2000. – Bd. 209. – P. 274-279.
4. А.с. 1561348 СССР, МКИ В 23 К 9/04. Способ наплавки расщеплённым ленточным электродом / В.Н. Матвиенко, Л.К. Лещинский, В.А. Егоров [и др.]. – № 4488183/25-27; заявл. 28.09.88; опубл. 03.01.90, Бюл. № 16.
5. Матвиенко В.Н. Формообразование сварочной ванны при широкослойной наплавке под флюсом составным ленточным электродом / В.Н. Матвиенко, Л.К. Лещинский, В.А. Мазур // Вісник Приазов. держ. техн. у-ту. Серія: технічні науки: Зб. наук. праць. – Мариуполь: ДВНЗ «Приаз. держ. техн. ун-т», 2013. – Вип. 26. – С. 144-151.
6. Improving the fracture toughness and wear resistance of hard-faced hot-rolling-mill rolls / E.N. Shebanits, N.I. Omelyanenko, Y.N. Kurakin, V.N. Matvienko [at al.] // Metallurgist. – Vol. 56. – Issue 7 (2012). – P. 613-617.
7. Гулаков С.В. Наплавка рабочего слоя с регламентированным распределением свойств / С.В. Гулаков, Б.И. Носовский. – Мариуполь: ПГТУ, 2005. – 170 с.
8. Боровик Л.И. Технология подготовки и эксплуатации валков тонколистовых станов / Л.И. Боровик, А.И. Добронравов. – М.: Металлургия, 1984. – 104 с.
9. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности / А.А. Ерохин – М: Машиностроение, 1973. – 448 с.
10. Матвиенко В.Н. Получение многослойного композиционного покрытия наплавкой ленточными электродами / В.Н. Матвиенко, В.П. Иванов, К.К. Степнов // Вестник Приазов. гос. техн. ун-та: Сб. научн. тр. – Мариуполь: ПГТУ, 1998. – Вип. 6. – С. 201-204.

Bibliography:

1. Leshchinskiy L.K. Multilayer compositions: surfacing and hardening / L.K. Leshchinskiy, S.S. Samotugin. – Mariupol: Noviy mir, 2005. – 392 p. (Rus.).
2. Multilayer metallic compositions / I.N. Potapov [at al.]. – M.: Metallurgy, 1986. – 216 p. (Rus.).
3. Peters G. Elektroschlacke – Bandplattierung mit korrosionsbeständigen Werkstoffen / G. Peters, P. Paschold // DVS – Berichte, DVS – Verlag, Düsseldorf. – 2000. – Bd. 209. – P. 274-279.
4. A.c. 1561348 USSR, Int. Cl. B 23 K 9/04. Method of surfacing / V.N. Matvienko, L.K. Leshchinskiy, V.A. Egorov [et al.]. – № 4488183/25-27; stated 28.09.88; publ. 03.01.90, Byul. № 16. (Rus.).
5. Matvienko V.N. The formation of the weld pool in the process of submerged arc surfacing using composite strip electrode / V.N. Matvienko, L.K. Leshchinskiy, V.A. Mazur // Bulletin of Pryazovskyi State Technical University: collection of scientific works. – Mariupol: PSTU, 2013. – V. 26. – P. 144-151. (Rus.).
6. Improving the fracture toughness and wear resistance of hard-faced hot-rolling-mill rolls / E.N. Shebanits, N.I. Omelyanenko, Y.N. Kurakin, V.N. Matvienko [at al.] // Metallurgist. – Vol. 56. – Issue 7 (2012). – P. 613-617.
7. Gylakov S.V. Surfacing of working layer with the regulated distribution of properties / S.V. Gylakov, B.I. Nosovskiy. – Mariupol: PSTU, 2005. – 170 p. (Rus.).
8. Borovik L.I. Technology of preparation and exploitation of rolls of thin-sheet rolling mill / L.I. Borovik, A.I. Dobronravov. – M.: Metallurgy, 1984. – 104 p. (Rus.).
9. Erochin A.A. Bases of fusion welding. Physical and chemical conformities / A.A. Erochin. – M.: Mashinostroenie, 1973. – 448 p. (Rus.).
10. Matvienko V.N. Effect of multilayer composition in the process of surfacing using strip electrode / V.N. Matvienko, V.P. Ivanov, K.K. Stepnov // Bulletin of Pryazovskyi State Technical University: collection of scientific works. – Mariupol: PSTU, 1998. – V. 6. – P. 201-204 (Rus.).

Рецензент: В.И. Щетинина
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 17.03.2014

УДК 621.791.927.5

© Размышляев А.Д.¹, Агеева М.В.², Ярмонов С.В.³, Выдмыш П.А.⁴

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИНДУКЦИИ ПОПЕРЕЧНОГО МАГНИТНОГО
ПОЛЯ, ГЕНЕРИРУЕМОГО УСТРОЙСТВАМИ ВВОДА
ДЛЯ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ**

Показано, что для оптимизации конструкций устройств ввода (УВ) поперечного магнитного поля (ПОМП) для процессов дуговой сварки и наплавки необходима методика расчета индукции магнитного поля. На основе аналогии между строением магнитного поля и электростатическим полем разработана расчетная методика, обеспечивающая хорошую сходимость данных расчета с экспериментальными данными для магнитного поля, генерируемого УВ ПОМП.

Ключевые слова: дуговая сварка, индукция поперечного магнитного поля, моделирование магнитных полей, электростатика.

Размышляев О.Д., Агеева М.В., Ярмонов С.В., Выдмыш П.О. Методика расчета индукции поперечного магнитного поля, генерируемого устройством ввода для

¹ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь
razmyshljaev@rambler.ru

² канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Донбасская государственная машиностроительная академия», г. Краматорск

³ аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

⁴ аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь