

Міністерство освіти і науки України

Державний вищий навчальний заклад
«Приазовський державний технічний університет»
(ДВНЗ «ПДТУ»)

НАУКА ТА ВИРОБНИЦТВО

Міжвузівський тематичний збірник наукових праць

Маріуполь – Краматорськ – Харків – Запоріжжя –
Київ – Дніпро

Випуск 26

Дніпро

2023

Наука та виробництво: міжвуз. темат. зб. наук. пр. Вип. 26 / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, ПДТУ, 2023. – 100 с.

Редакційна колегія

Angeliki G. Lekatou: Dr., PhD (Chemical Metallurgy), Professor, Director of the Applied Metallurgy Laboratory, University of Ioannina (UOI), Greece, h-індекс: 20

Hossam Ahmed Mohamed Halfa: Dr., PhD (Metallurgy), Associate professor, Central Metallurgical Research & Development Institute, Cairo, Egypt, h-індекс: 4

Sergey Edward Lyshevski: Dr., PhD (Electrical Engineering), Professor of electrical engineering department of electrical and microelectronic engineering, Rochester Institute of Technology, New York, USA, h-індекс: 18

Блокоць К. В.: кандидат технічних наук (21.06.01 – Екологічна безпека; 183 Технології захисту навколишнього середовища), доцент, доцент кафедри прикладної екології та охорони праці, Запорізька державна інженерна академія, Україна, h-індекс: 3

Білоусов Є. В.: кандидат технічних наук (05.08.05 – Суднові енергетичні установки; 142 Енергетичне машинобудування), доцент, декан факультету суднової енергетики, Херсонська державна морська академія, Україна, h-індекс: 1

Щетиніна В. І.: доктор технічних наук (05.03.06 – Зварювання та споріднені процеси і технології; 132 Матеріалознавство), професор кафедри зварювання та споріднені технології, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 1

Бялобржеський О. В.: кандидат технічних наук (05.09.01 - Електричні машини й апарати; 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка), В. О. завідуючого кафедрою систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Україна, h-індекс: 2

Володарець М. В.: кандидат технічних наук (05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів; 273 Залізничний транспорт), старший викладач кафедри теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту, Український державний університет залізничного транспорту, Україна, h-індекс: 2

Гричук І. В.: доктор технічних наук (05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту; 271 Річковий та морський транспорт, 272 Авіаційний транспорт, 275 Транспортні технології (за видами), професор, Херсонська державна морська академія, професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Україна, h-індекс: 5

Губинський М. В.: доктор технічних наук (05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика; 144 Теплоенергетика), професор, Національна металургійна академія України, професор кафедри промислової теплоенергетики, Україна, h-індекс: 1

Ковалевська О. С.: кандидат технічних наук (05.02.08 - Технологія машинобудування; 131 Прикладна механіка), доцент, доцент кафедри технології машинобудування, Донбаська державна машинобудівна академія, Україна, h-індекс: 1

Грибов Е. П.: доктор технічних наук (05.03.05 – Процеси та машини обробки тиском; 132 Матеріалознавство), професор, професор кафедри комп'ютерних та інформаційних технологій, ДДМА, Україна, h-індекс: 7

Лук'яненко А. О.: кандидат технічних наук (05.26.01 – Охорона праці; 263 Цивільна безпека), доцент, завідувач відділу проблем охорони праці і екології в зварювальному виробництві, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України, Україна, h-індекс: 1

Мазур В. О.: кандидат технічних наук (05.03.07 – Процеси фізико-технічної обробки; 132 Матеріалознавство), доцент, доцент кафедри нанотехнологій в галузевому машинобудуванні, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 2

Парфененко Ю. В.: кандидат технічних наук (05.13.06 – Інформаційні технології; 122 Комп'ютерні науки та інформаційні технології), доцент, старший викладач кафедри комп'ютерних наук, Сумський державний університет, Україна, h-індекс: 3

Петренко Т. Г.: кандидат технічних наук (05.13.03 – Системи та процеси керування; 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології), доцент, доцент кафедри інформаційних технологій, Український державний університет залізничного транспорту, Україна, h-індекс: 2

Плахтій О. А.: кандидат технічних наук (05.09.12 – Напівпровідникові перетворювачі електроенергії; 171 Електроніка), доцент, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Український державний університет залізничного транспорту, Україна, h-індекс: 2

Лаврік В. П.: кандидат технічних наук (05.05.05 – Підйомно-транспортні машини; 133 Галузеве машинобудування), доцент, кафедри підйомно-транспортних машин і деталей машин, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 1

Саснко Ю. Л.: доктор технічних наук (05.09.05 – Теоретична електротехніка; 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка), професор, декан енергетичного факультету, професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 2

Азархов О. Ю.: доктор медичних наук (05.11.17 – Біологічні та медичні прилади і системи; 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка, 163 Біомедична інженерія), професор, завідувач кафедри біомедичної інженерії, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 3

Ткачов В. В.: доктор технічних наук (05.13.07 – Автоматизація процесів керування; 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології), професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна, h-індекс: 2

Єфременко В. Г.: доктор технічних наук (05.16.01 – Металознавство та термічна обробка металів; 132 Матеріалознавство, 136 Металургія), професор, завідувач кафедри фізики, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 21

Чабак Ю. Г.: кандидат технічних наук (05.16.01 – Металознавство та термічна обробка металів; 132 Матеріалознавство, 136 Металургія), доцент кафедри фізики, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 15

Ачкасова С. А.: кандидат економічних наук (08.00.08 – Гроші, фінанси і кредит; 051 Економіка, 072 Фінанси, банківська справа та страхування, 073 Менеджмент) доцент, доцент кафедри банківської справи і фінансових послуг, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Україна, h-індекс: 2

Мягких І. М.: доктор економічних наук (08.00.04 – Економіка та управління підприємствами; 051 Економіка, 073 Менеджмент, 075 Маркетинг, 076 Підприємництво, торгівля та біржова діяльність) професор, завідувач кафедри підприємництва та бізнесу, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, h-індекс: 7

Симонов С. І.: кандидат технічних наук (05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди), доцент, завідувача кафедри архітектурного проектування та інженерної графіки, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 1

**Галузь науки,
код (шифр) спеціальності або галузь знань, що відповідає категорії «Б» Переліку
наукових фахових видань України**

Спеціальності:

- 131 - Прикладна механіка (02.07.2020)
- 132 - Матеріалознавство (02.07.2020)
- 133 - Галузеве машинобудування (02.07.2020)
- 136 - Металургія (02.07.2020)
- 271 - Річковий та морський транспорт (02.07.2020)
- 272 - Авіаційний транспорт (02.07.2020)
- 273 - Залізничний транспорт (02.07.2020)
- 274 - Автомобільний транспорт (02.07.2020)
- 275 - Транспортні технології (за видами) (02.07.2020)
- 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (24.09.2020)
- 142 - Енергетичне машинобудування (24.09.2020)
- 144 - Теплоенергетика (24.09.2020)
- 163 - Біомедична інженерія (24.09.2020)
- 171 - Електроніка (24.09.2020)
- 183 - Технології захисту навколишнього середовища (24.09.2020)
- 263 - Цивільна безпека (24.09.2020)

Головний редактор: **Щетинін С. В.** Відповідальний секретар редакції: **Зусін А. М.**
Адреса редакції збірника: 87500, Україна, м. Маріуполь, вул. Університетська, 7, ДВНЗ «ПДТУ», каф. «Будівництва, технічної експлуатації і реконструкції». Тел. (0629) 44-66-23, 44-66-73. Перереєстрований Державною реєстраційною службою України 26.12.2016. Свідоцтво про державну реєстрацію – серія КВ № 22493-12393ПР. Збірник входить до Переліку наукових фахових видань України та включений до категорії «Б», в якому можуть публікуватися основні результати дисертаційних робіт (Наказ 24.09.2020 № 1188). Друкується згідно рішення Ученої Ради ДВНЗ «ПДТУ» (протокол № 5 від 28.12.2023 р.). Видається 2 рази на рік.

© Приазовський державний технічний університет (ПДТУ), 2023

ЗМІСТ

Воленко І.В. Процес зміцнення опорних валків методом наплавлення.....	6
Захарова І.В. Аналіз складу порошкових дротів задля отримання підвищених зносостійких властивостей металізаційного покриття з використанням пульсуючого розпилувального потоку повітря.....	11
Щетинін С.В. Підвищення тріщиностійкості при високошвидкісному наплавленні на низькій енергії.	17
Щетиніна В.І. Енерго- і матеріалозберігаючий процес одностороннього високошвидкісного зварювання.....	23
Зусін А.М. Вплив складу порошкового дроту на структуру та властивості наплавленого метастабільного металу легованого азотом.....	29
Щетинін С.В., Щетиніна В.І., Воленко І.В., Десятський С.П. Одностороннє високошвидкісне зварювання складовим електродом.....	35
Манойлов О.В., Кудінова К.М. Сучасні концепції підвищення стійкості інструменту під час розробки.....	41
Суглобов В.В., Крупко В.Г., Крупко І.В. Обґрунтування конструкцій приводів з хвильовими ланцюговими передачами.....	49
Сергієнко Ю. В., Годун Т.М., Мазур В.О., Акімова В.А. Точність позиціонування робочого елемента 3D-принтера.....	56
Субочев О.І., Фалендиш А.П., Січко О.Є., Помазков М.В. Обґрунтування спеціалізації і розташування підприємств технічного сервісу.....	62
Каращук В.О., Помазков М.В., Клецька О.В., Джус О.В., Катунів І.В. Стан та перспективи підвищення екологічності та енергоефективності транспорту.....	70
Сілі І. І., Азархов О. Ю., Єфременко Б. В. Аналіз сучасних мікроконтролерів для вирішення біоінженерних задач та використанням інтернету речей.....	79
Волошин В. С., Данилова Т. Г. Термінологізація сучасного багатовидного явища «ризик».....	88
Новини України та світу.....	96
Вимоги до публікацій.....	98

CONTENTS

Volenko I.V.	
The process of strengthening support rolls by the fusion method	6
Zaharova I.V.	
Analysis of the composition of cored wires for obtaining increased wear-resistant properties of metallization coating using a pulsating spray air flow	11
Shchetinin S.V.	
Increase crack resistance at the high speed surfacing on low energy	17
Shchetynina V.I.	
The energy- and material-saving one-sided high-speed welding process	23
Zusin A.M.	
The influence of the composition of the powder wire on the structure and properties of the metastable metal with nitrogen	29
Shchetynin S.V., Shchetynina V.I., Volenko I.V. , Desyatskyi S.P.	
The one-sided high-speed composite electrode welding	35
Manoilov O.V., Kudinova K.V.	
Modern concepts of improving the tool resistance of the tool during development	41
Suglov V.V., Krupko V.G., Krupko I.V.	
Justification of designs of drives with wave chain gears	49
Sergienko Y., Godun T., Mazur V., Akimova V.	
Accuracy of positioning of the working element of a 3D-printer	56
Subochev A.I., Falendysh A.P., Sichko A.E., Pomazkov M.V.	
Justification of specialization and location of technical service enterprises	62
Karaschuk V.O., Pomazkov M.V., Kletska O.V., Dzhus O.V., Katunov I.V.	
State and prospects for increasing environmental friendliness and energy efficiency of transport	70
Sili I. I., Azarkhov O. Yu., Efremneko B. V.	
Analysis of modern microcontrollers for solving bioengineering tasks and utilizing the internet of things	79
Voloshyn V. S., Danilova T. G.	
Terminology of the modern multidimensional phenomenon of «risk»	88
News of Ukraine and the world	96
Requirements for publications	98

ПРОЦЕС ЗМІЦНЕННЯ ОПОРНИХ ВАЛКІВ МЕТОДОМ НАПЛАВЛЕННЯ

У природі всі процеси мимоволі протікають у бік мінімуму енергії – струм тече від більшого потенціалу до меншого, газ рухається від більшого тиску до меншого, тепло поширюється від більшої температури до меншої, елементи дифундують від більшої концентрації до меншої, дуга відхиляється у бік меншого магнітного поля.

Згідно з принципом мінімуму Штеєнбека, дуга прагне горіти при мінімальній напрузі. Згідно з квантовою теорією магнітного поля, будь-яка система, за допомогою випромінювання або будь-якого іншого способу, завжди приходить у стан з низьким рівнем енергії або основний стан, з власним значенням енергії, що дорівнює E_0 . [10], що підтверджує закон мінімуму енергії.

Ключові слова: високошвидкісне наплавлення на низькій погонній енергії, енергозберігаючий процес, зварювальні напруги, мікроструктура, тріщиностійкість, опорний валок.

Постановка проблеми. Опорні валки, які запобігають прогину та поломці робочих валків, працюють в умовах високих питомих тисків, тому наплавлення опорних валків не проводиться, особливо бандажованих опорних валків, які виготовляються шляхом нагрівання бандажа та надягання на вісь з натягом. В результаті, в бандажі виникають власні напруження, які, підсумовуючи зварювальні, призводять до різкого зростання напруг і поломок бандажу. Тому розробка способу наплавлення бандажованих опорних валків та енергозбереження є важливою науково-технічною проблемою.

Ефективним способом підвищення тріщиностійкості та зносостійкості є енергозберігаючий процес високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії, вплив якого на властивості наплавленого металу досліджено недостатньо [1–8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальновідомо, що при зменшенні погонної енергії внаслідок збільшення швидкості охолодження підвищується ймовірність утворення холодних тріщин.

Проте, М.М. Прохоров [1] зазначає, що значне зниження погонної енергії зварювання та відповідне збільшення швидкості охолодження можуть призвести до зниження ймовірності утворення холодних тріщин.

В результаті тепловкладання в процесі наплавлення метал піддається впливу термодформаційного циклу, який визначає мікроспотворення кристалічних ґрат, мікронапруги, щільність дислокацій, зварювальні напруги та тріщиностійкість. Мікронапруги призводять до інтенсивного утворення та зростання тріщин [1,2], механізм зародження яких пов'язують із дислокаціями [9].

Мета досліджень. Вивчення механізму підвищення тріщиностійкості наплавленого металу та розробка енергозберігаючого процесу високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії опорних валків.

Основний матеріал дослідження. Внаслідок високих питомих тисків зміцнення та відновлення опорних валків не виробляється, так як при наплавленні на високій погонній енергії в зоні термічного впливу утворюються холодні тріщини, що призводить до відшаровування наплавленого металу. Це встановлено при наплавленні опорних валків стрічковим електродом, коли дуга рухається торцем електрода в поперечному напрямку, зменшується тепловложення в бічні кромки ванни, що призводить до утворення підрізів, які є

Машинобудування і зварювальне виробництво

концентраторами напруг, і обмежують швидкість наплавлення. Наплавлення проводиться з низькою швидкістю 15 м/год на високій погонній енергії.

В результаті підвищуються мікроспотворення кристалічних ґрат, мікронапруги, щільність дислокацій, зварювальні напруги, утворюється крупнозерниста мікроструктура та тріщини.

Як встановлено, при наплавленні бандажованих опорних валків на високій погонній енергії, внаслідок збільшення тепловкладення та зварювальних напруг бандаж зламався, частина бандажу вилетіла з високою швидкістю, як при вибуху.

На підставі експериментальних даних електродугового наплавлення бандажованих опорних валків встановлена нова закономірність - зі зменшенням погонної енергії тріщиностійкість наплавленого металу підвищується.

При цьому, найбільш ефективно зменшувати погонну енергію за рахунок збільшення швидкості наплавлення, так як при підвищенні швидкості зварювання зростає швидкість нагріву та охолодження, внаслідок чого зростає дисперсність мікроструктури, тріщиностійкість наплавленого металу та навколошовної зони, що є наслідком збільшення кількості центрів кристалізації, які, розташовуючись перед фронтом зростаючих стовпчастих кристалітів, пригнічують їхнє подальше зростання. В результаті збільшення швидкості нагріву, зерна аустеніту не встигають вирости та стійкість аустеніту знижується.

При охолодженні розпад нестійкого дрібнозернистого аустеніту відбувається у верхньому субкритичному інтервалі температур, з утворенням сорбіту та перліту, що запобігає утворенню тріщин. В результаті мінімальних мікроспотворень кристалічних ґрат, мікронапруг, щільності дислокацій, зварювальних напруг і дрібнодисперсної, однорідної структури підвищується тріщиностійкість.

Пінч-ефект забезпечує концентрацію дуги та тепловкладення, здійснення процесу електродугового зварювання та енергозбереження. Для дослідження пінч-ефекту розроблено методику дослідження впливу діаметра дуги на магнітне поле зварювального струму, яка полягає в наступному: по прутку, діаметр якого змінюється по довжині), пропускається струм величиною 2100 А і вимірюються індукції магнітного поля тесламетром ЕМ 4305 ,при діаметрах (4, 8, 12, 16)·10⁻³ м, характерних для зварювальної дуги; як датчик тесламетра використовується ЕРС Холла, похибка вимірювання ± 2,5 %; як джерело живлення використовується випрямляч ВМГ 5000.

В результаті встановлено, що із зменшенням діаметра дуги індукція магнітного поля зростає, відповідно до закону Біо-Савара, згідно з яким індукція прямо пропорційна величині струму I і обернено пропорційна відстані від струму r , $B = \mu_0 I / 2\pi r$, Т. На осі дуги індукція дорівнює нулю, при наближенні до поверхні зростає і досягає максимального значення на поверхні дуги. При зменшенні діаметра, з 0,016 м до 0,004 м, максимальне значення індукції магнітного поля дуги збільшилося з 0,06 до 0,2 Т, внаслідок сталості магнітного потоку $\Phi = BS$, Вб.

При віддаленні поверхні дуги індукція магнітного поля зменшується. При переході від однієї до іншої поверхні дуги, індукція змінює напрямок на протилежний. Експериментальні дані добре узгоджуються з розрахунковими, що підтверджує можливість використання розрахункових значень визначення індукції магнітного поля дуги.

Пропорційно індукції, зі зменшенням діаметра електричної зварювальної дуги зростає електромагнітна сила $F_{EM} = IBL_d$, з 0,25 Н до 0,84 Н та в квадратичній залежності $P_{EM} = B^2 / 2\mu$ [11] підвищився магнітний тиск, з 1,4 кПа до 15,9 кПа, яке спрямоване до осі, визначає пінч-ефект та діаметр дуги.

З встановлених закономірностей доведено електромагнітна природа скорочення діаметра дуги. Високошвидкісне наплавлення на низькій погонній енергії, за рахунок

Машинобудування і зварювальне виробництво

охолодження дуги, призводить до зменшення діаметра дуги. Незначне скорочення діаметра дуги, внаслідок охолодження та зменшення електропровідності зовнішніх шарів, призводить до збільшення індукції. У квадратичній залежності підвищується магнітний тиск і пінч-ефект, що призводить до подальшого скорочення діаметра дуги, зростання індукції, магнітного тиску та пінч-ефекту. Процес повторюється, пінч ефект діє як ланцюгова реакція, до повного обриву дуги.

Мінімум енергії в нанопроцесах є результатом концентрації енергії на площі діаметром 10^{-9} м, що дозволяє здійснювати процеси з мінімумом енергії та забезпечувати максимум якості. Тому високошвидкісне наплавлення – нанопроцес, який забезпечує максимум якості.

Зварювальний струм протікає феромагнітним дротом, який посилює магнітне поле, що підтверджено під час проведення експериментів, згідно з розробленою методикою. Для вимірювання індукції на поверхні феромагнітного прутка розроблена модель з профрезерованою канавкою, яка дозволяє наблизити щуп тесламетра до поверхні прутка.

Як встановлено (рис.1), під дією феромагнітної маси індукція магнітного поля збільшилася в 3 рази та зростає: для діаметрів 0,016 м – з 0,06 Т до 0,2 Т; 0,012 м - з 0,08 Т до 0,24 Т; 0,008 м – з 0,1 Т до 0,3 Т, внаслідок суперпозиції магнітних полів струму та мікрострумів феромагнетика та концентрації силових ліній у феромагнетичі. Закономірність для феромагнетика залишається такою ж. Зі зменшенням діаметра феромагнетика індукція магнітного поля зростає.

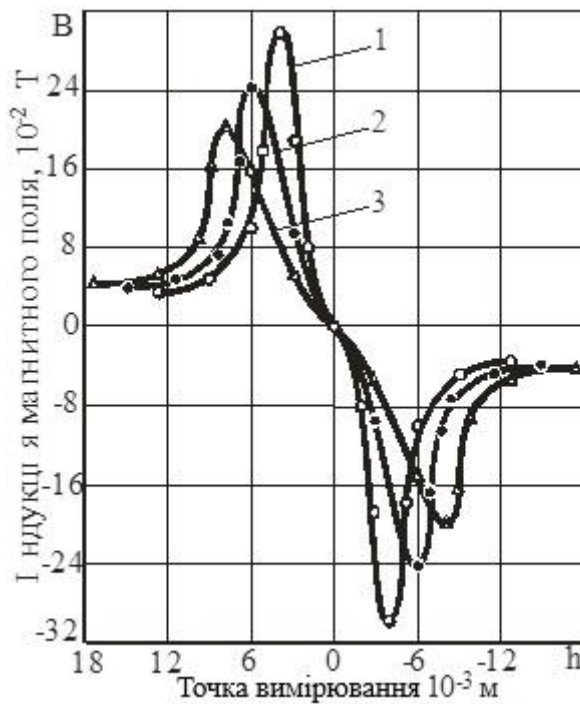


Рисунок 1 – Закономірність впливу діаметру феромагнітного прутка на індукцію магнітного поля

де, 1– діаметр 8×10^{-3} м: 2 – діаметр 12×10^{-3} м: діаметр 16×10^{-3} м

Пропорційно індукції збільшилася електромагнітна сила, для діаметрів: 0,016 м - з 0,25 Н до 0,84 Н; 0,012 м - з 0,34 Н до 1Н; 0,008 м - з 0,42 Н до 1,26 Н. У квадратичній залежності зріс магнітний тиск, для діаметрів: 0,016 м – з 1,4 кПа до 15 кПа; 0,012 м - з 2,55 кПа до 22,9 кПа; 0,008 м - з 4 кПа до 35,8 кПа.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Під дією магнітного поля зварювального струму дуга рухається торцем електрода, що встановлено при швидкісній кінозйомці збудження дуги на стрічковому електроді. Кінограма процесу підтверджує концентрацію дуги під дією пінч-ефекту.

Зі збільшенням швидкості зварювання та зменшенням погонної енергії q_{II}/V , внаслідок підвищення швидкості нагрівання та охолодження зростає швидкість кристалізації $V_{KP} = \text{Cosa}V_{зв}$, зерна не встигають вирости, подрібнюється мікроструктура та підвищується тріщиностійкість наплавленого металу.

Одночасно, з подрібненням мікроструктури при високошвидкісному наплавленні на низькій погонній енергії, внаслідок зменшення тепловкладання, знижуються зварювальні напруги.

Високошвидкісне наплавлення на низькій погонній енергії значно впливає на рух дуги, термічні цикли та швидкість кристалізації, яка з підвищенням швидкості зварювання зростає.

З експериментальних даних встановлено, що зниження енергії забезпечує підвищення якості. Зі зменшенням меж коливань параметрів режиму стабільність процесу якості наплавленого металу підвищуються (рис.2).

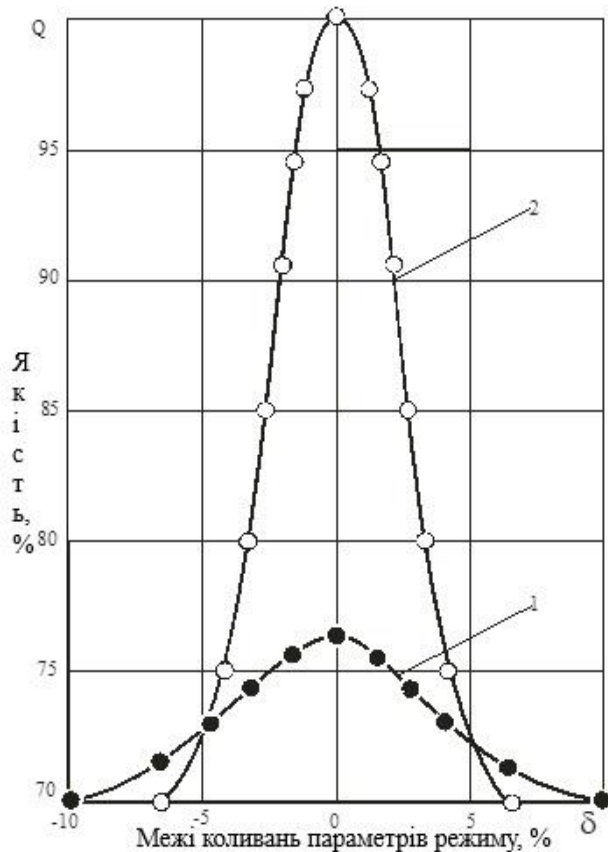


Рисунок 2 – Вплив меж коливань параметрів режиму на якість

Зі збільшенням вмісту вуглецю мінімальна погонна енергія, що забезпечує підвищення тріщиностійкості, знижується, енергозбереження підвищується.

Встановлені закономірності підтвержені при високошвидкісному наплавленні опорних валків на низькій погонній енергії, коли внаслідок зниження тепловкладання, зварювальних напруг та подрібнення мікроструктури бандаж не зламався.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Додатковим підтвердженням є те, що при наплавленні робочих валків стану 1700, з товщиною наплавленого шару 0,04 м на бік, наплавлений метал відшарувався по лінії сплавлення з основним металом, внаслідок підсумовування та збільшення зварювальних напруг, згідно з принципом суперпозиції. На підставі експериментальних даних електродугового наплавлення робочих валків станів гарячої прокатки товщина наплавленого шару на радіус не повинна перевищувати 0,025 м. При цьому, товщина одного наплавленого шару не повинна перевищувати 0,005 м на радіус.

На підставі встановлених закономірностей розроблено енергозберігаючий процес високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії бандажованих опорних валків, який забезпечує зниження зварювальних напруг, подрібнення мікроструктури, підвищення тріщиностійкості, зносостійкості та відсутність поломок бандажів.

ВИСНОВКИ

1. Експериментальним шляхом встановлено нову закономірність – зі зменшенням погонної енергії тріщиностійкість наплавленого металу підвищується. Для підвищення тріщиностійкості зі збільшенням вмісту вуглецю необхідно знижувати погонну енергію

3. Розрахунково-експериментальним шляхом встановлено, що пінч-ефект діє як ланцюгова реакція, при якій, внаслідок стиснення під дією власного магнітного поля, зменшується діаметр дуги, що призводить до збільшення індукції, у квадратичній залежності магнітного тиску та подальшого скорочення довжини дуги. Процес повторюється до обриву дуги. Концентрація дуги під дією пінч-ефекту, підвищує ефективність тепловкладання, що забезпечує процес зварювання та енергозбереження.

4. Розроблено енергозберігаючий процес високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії опорних валків, який забезпечує зниження зварювальних напруг, подрібнення мікроструктури, підвищення тріщиностійкості та відсутність поломок бандажів.

Список використаних джерел:

1. *Прохоров Н.М.* Фізичні процеси у металі при зварюванні. - М.: Металургія, 1976. - 600 с.
2. *Шоршоров М.Х., Белов В.В.* Фазові перетворення та зміни властивостей сталі при зварюванні. - М.: Наука, 1982. - 228 с.
3. *Рябцев І.А.* Наплавлення деталей машин та механізмів. - Київ: Екотехнологія, 2004. - 160 с.
4. *Тилкін М.А.* Підвищення довговічності деталей металургійного устаткування. - М.: Металургія, 1985. - 347 с.
5. *Савицький А.М., Савицький М.М.* Вплив швидкості зварювання і тривалості періодичного охолодження на формування структури зварних з'єднань сталей, що гартуються при дуговому зварюванні з термоциклірованием / *А.М.Савицький, М.М. Савицький, Д.П.Новікова* // Автоматична зварювання. - 2004. - №8. - С.41 -45.
6. *Шинко І.М., Школяренко Г.Д.* Наплавлення деталей електродними стрічками у чорній металургії / *І.М. Шинко, Г.Д. Школяренко, Г.А. Позднєєв* // Чорна металургія.-1988, 18, (1070). - С.8-22
7. *Мусіяченко В.Ф. Міходуй Л.І., Поздняков В.Д.* Опірність утворенню холодних тріщин таврових сполук високоміцної сталі при однопрохідному зварюванні в захисному газі / *В.Ф. Мусіяченко, Л.І. Міходуй, В.Д. Поздняков* // Зварювальне виробництво. - 1990. - №2. - С.13 - 15.

Машинобудування і зварювальне виробництво

8. Мялін М.І., Сагалевич В.М. Вплив термодформаційного циклу на технологічну міцність при наплавленні бронзи на сірий чавун/ М.І. Мялін, В.М. Сагалевич, В.Н.Туригін та ін. // Зварювальне виробництво. - 1988. - №3. - С.10 - 11.
9. Фінкель В.М. Фізика руйнування. - М.: Металургія, 1980. - 376 с.
10. Уайт Р.М. Квантова теорія магнетизму. - М.: Світ, 1980. - 306с.
11. Абрамович Г.П. Прикладна газова динаміка - М.: Наука, 1979. - 824с.

Volenko I.V.

THE PROCESS OF STRENGTHENING SUPPORT ROLLS BY THE FUSION METHOD

In nature, all processes involuntarily flow towards the energy minimum – current flows from higher to lower potential, gas moves from higher to lower pressure, heat spreads from higher to lower temperature, elements diffuse from higher to lower concentration, the arc deviates towards lower magnetic field.

According to the Steinbeck minimum principle, the arc tends to burn at minimum voltage. According to the quantum theory of the magnetic field, any system, with the help of radiation or any other method, always enters a state with a low energy level or the ground state, with its own energy value equal to E_0 . [10], which confirms the law minimum energy

Keywords: *high speed surfacing with low heat input, energy-saving process, welding stresses, microstructure reduction, cracking resistance, supporting roll.*

Стаття надійшла 18.11.2023 р.

УДК 621.179.92

doi.org/10.31498/2522-9990262023294100

Захарова І.В.

АНАЛІЗ СКЛАДУ ПОРОШКОВИХ ДРОТІВ ЗАДЛЯ ОТРИМАННЯ ПІДВИЩЕНИХ ЗНОСОСТІЙКИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛІЗАЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПУЛЬСУЮЧОГО РОЗПИЛЮВАЛЬНОГО ПОТОКУ ПОВІТРЯ

Основним напрямом при розробці складів шихти порошкових дротів в даний час є застосування порошків карбідів, нітридів, а також порошків, що використовуються для газополум'яного, плазмового та детонаційного наплення. Очікуваний ефект тут завжди досягається через активне окислення і розпад деяких компонентів шихти. При цьому залишається доволі висока вартість матеріалу та відносно низька міцність зчеплення покриття з основою. В представленій роботі розглянуто рішення задачі ресурсозбереження за рахунок створених порошкових дротів, що складаються з маловуглецевої оболонки і наповнювача з недефіцитних, широко поширених порошків металів і феросплавів та пульсуючої подачі розпилювального потоку повітря, що забезпечують отримання високозносостійких покриттів з підвищеною міцністю зчеплення, а також твердих, міцних оксидів в нанесеному покритті.

Дана робота представляє дослідження складів порошкових дротів, проведено аналіз отриманих покриттів і рекомендовано складу порошків які дозволять отримати високу якість нанесеного покриття з застосуванням пульсуючого потоку повітря.

Ключові слова: порошковий дріт, дугове напилення, зносостійкість, нанесення покриттів, мікротвердість.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Численні деталі машин, елементів техніки та споруд відновлюють методами газотермічного нанесення покриттів [1]. З поміж цих методів електродугове напилення покриттів із використанням спеціальних порошкових дротів технологічно найпростіше і не потребує дороговартісного обладнання. В останні роки в Україні представлені результати з розроблення електродугових покриттів із використанням порошкових дротів у сталевій оболонці для відновлення та зміцнення різноманітних деталей і конструкцій. Ряд розробок мають ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України (м. Львів) та Інститут електрозварювання ім. О.Є. Патона НАН України. Спеціальні порошкові дроти, дозволяють розширити область застосування електродугової металізації [3]. Використання для електродугового напилення електродних матеріалів у вигляді спеціальних порошкових дротів уможливило розширення сфери застосування методу та одержання відновних і захисних покриттів різного функціонального призначення з високими експлуатаційними характеристиками. Проте електродуговим покриттям характерна висока поруватість, високий рівень залишкових напружень розтягу, низька когезія та адгезія (порівняно з іншими газотермічними покриттями) [1] – [8]. На відміну від дротів суцільного перерізу покриття з порошкових дротів мають високу мікрогетерогенність за хімічними елементами, яка суттєво впливає на зносостійкість покриттів.

Мета дослідження. Метою роботи є аналіз декількох варіантів порошкових дротів з різним хімічним складом запропонованих для електродугового напилення з застосуванням пульсуючого потоком повітря задля отримання підвищених показників зносостійкості.

Основний матеріал дослідження. В процесах відновлення деталей точного обладнання в Україні та ряді європейських країн для отримання зносостійких покриттів на поверхні зносу деталі широко використовують дроти та порошки з вуглецевих легованих сталей, сплавів на основі нікелю та кобальту та тверді сплави.

Широке застосування отримали самофлюсні сплави *Ni-Cr-Si-Bi Co-Cr-B*, таблиця 1 і 2 [9]. Особливо високу зносостійкість мають композиційні покриття *WC – Co*, в яких вміст *Co* становить 8...20 %, *WC – Ni(Ni ≈ 8%)Cr₂O₃–Ni–Cr (15%Ni–Cr)*.

Таблиця 1 – Зносостійкі сплави вітчизняного виробництва, які самофлюсуються

Сплав	Хімічний склад, %					
	C	Si	Fe	Ni	Cr	B
ПГ-ХН8ОСР	1,21	2,64	2,27	решта	14,96	0,97
ПГ-ХН8ОСР2	1,03	2,32	2,59	-//-	16,61	2,23
ПГ-ХН8ОСР3	0,97	2,76	5,42	-//-	16,39	2,51
ПГ-ХН8ОСР4	1,07	2,89	5,46	-//-	18,92	2,93
СНГН-1	0,44	4,49	1,71	-//-	16,38	3,78
СК-1	0,33	4,68	0,2	-//-	19,68	5,02
Сормайт сколковий	3,5	0,48273	решта	3,38	30,02	-
Сормайт гранульований	2,97	0,43298	-//-	5,28	28,2	-
ББХ-6-2	4,2	0,942	-//-	-	39,6	1,43
Суміші						
ПС-1	50			ПГ-ХН8ОСР2		
	+50			Сормайт гранульований		
ПС-2	50			СНГН-1		
	+50			Сормайт сколковий		
ПС-3	50			ПГ-ХН8ОСР2		
	+50			ББХ-6-2		

Машинобудування і зварювальне виробництво

Однак для отримання цих покриттів застосовується лише плазмовий та детонаційний методи [10]. Високу зносостійкість мають плазмові покриття 80% WC– 20 % Mo, які мають HV 1700-1800 та міцність зчеплення зі сталлю 30 МПа. В якості третьових ущільнюючих покриттів прийнято застосовувати композиції Ni – 15-20 % графіту, а для отримання покриттів з низьким коефіцієнтом тертя в основному пропонується використовувати Ni–CaF₂, NiO–CaF₂ таблиця 3.

Високу зносостійкість, щільність і міцність зчеплення з підкладкою мають покриття на основі інтерметалідів композицій Ni-Al і Ni-Ti.

Запропоновано такі сплави, %:

1. Ni - 80-98, Al - 2-20.
2. Ni - 90-95, Al - 4-6.
3. Ni - 40-70, Ti - 60-30.
4. Ni - 54-56, Ti - 44-46.

З цих сплавів отримують дріт для дугової та плазмової металізації [9]

Таблиця 2 – Механічні властивості твердих сплавів на основі кобальту

№ сплаву	Твердість		σ _B кгс/мм ²	σ ₀₂ , кгс/мм ²	δ, %	E, кгс/мм ²	Д(стиск), кгс/мм ²
	HRC	HV ₂₀					
8	10-35	300-350	72,6	46,3	8	3,0106	24,9
9	48-55(H)	-	-	-	-	-	-
10	54(II)	-	-	-	-	-	-
11	43-46(II)	425-460	63,3	37,1	-	3,5106	174,5
12	62-75(II)	-	-	-	-	-	-

Таблиця 3 – Властивості плазмових композиційних покриттів за даними роботи [10]

Склад порошку, %	Мікротвердість	Коефіцієнт тертя
15Ni-80NiC2	950	0,58
25NiCr-75Cr3C2	600-2200	0,60
20Co-80WC	-	0,58
78NiO-22CaF2	-	0,67
75Ni-25CaF2	-	0,33
44Ni-51VoS2	-	0,12

Високу зносостійкість має покриття на основі Ni-Cr-Fe-B-S з додаванням частинок WC розміром 0,1-10 мкм (10-20%) і нікелю. Як найбільш економічний порошок для плазмової металізації пропонується використовувати шихту з частинок чавуну розміром до 15 мкм, покритих зв'язкою з частинками молібдену і бору розміром до 0,1 мкм. Зміст Mo в шихті 20%, В₂%. Замість чистих порошоків молібдену та бору оптимальним є застосовування порошоків феросплавів FeMo с 55-75 % Mo и FeB с 10-30 % B.

В якості зносостійких покриттів також ефективно використовуються оксиди і суміші тугоплавких карбідів (W-Ti-C, Ta-Ne-C) та W-Ti-Ta-Nb-C що наведено в таблиці 4 [9].

Таблиця 4 – Теплофізичні характеристики порошкових матеріалів (оксидів) для плазмового напилення

Матеріал	B_i			
	Ar	N_2	H_2	F_o
Al_2O_3	0,043	0,139	1,20	0,98
BeO	0,016	0,053	0,459	1,72
Cr_2O_3	0,087	0,200	2,520	0,61
HfO 0,129	0,428	3,710	0,59	-
MgO 0,045	0,150	1,30	0,93	-
NiO 0,060	0,200	1,730	0,89	-
SiO_2 0,039	0,129	1,114	1,42	-
TiO_2 0,63	0,082	0,273	2,36	-
Y_2O_3	0,180	0,600	5,20	0,42
ZrO_2	0,54	0,112	0,315	3,25
MgO Al_2O_3	0,052	0,173	1,50	0,79
$Zn_2 SiO_2$	0,087	0,290	2,52	0,74

Теплофізичні критерії B_i та Фур'є (F_o) наведені для $dr = 60$ мкм, при $T = 0,5$ Тпл, $N_2 = 9$ кВтм²град⁻¹; $H_2 = 9$ кВтм²град⁻¹.

Окисли алюмінію, магнію, заліза та ін. металів широко використовують як тепло - і жаростійких покриттів, багато з яких знаходять застосування і як зносостійкі покриття.

Проведений аналіз показує, що для отримання високозносостійких покриттів застосовують порошки металів алюмінію, титану, хрому і молібдену. Нікелеві та молібденові порошки використовуються для нанесення підшару, що забезпечує підвищену міцність зчеплення покриття з основою [11].

Також застосовуються комбіновані порошки, що складаються з карбідів металів, оксидів та чистих металів. Нанесення таких покриттів визначається переважно методом плазмового, газо полум'яного та детонаційного напилення [12]. Діапазон зносостійких покриттів, одержуваних методом електродугової металізації, обмежений можливістю виробництва легованих дротів малого діаметра (2-3 мм).

В даний час, наприклад, у Японії, при дугової металізації з використанням двох електродів з різномірних металів отримують покриття у вигляді псевдосплаву, що складається із суміші двох матеріалів. Характер зносостійкості різних металізаційних покриттів наведено на рисунку 1. Значення зносу отримані при стиранні зразка наждачним папером протягом 1 хв. при швидкості ковзання 8 м/с та тиску 1,66 МПа. Покриття з низьковуглецевої та корозійностійкої сталі типу 18-8 з молібденом мають досить низьку зносостійкість [9-12]. Найбільш високо зносостійким є сплав колмоною № 6 (містить: 73,75% Ni; 13,50% Cr; 3,0% B; 4,25Si; 4,75Fe; 0,75C).

Проведений аналіз дозволив встановити, що для отримання зносостійких покриттів газотермічним напиленням в даний час широко використовуються порошки з легованих сталей і сплавів на основі нікелю, кобальту, молібдену та ін. Для отримання зносостійких покриттів застосовують карбіди кремнію, титану та вольфраму. Додатково знижує окиснюваність рідкого розплавленого металу при металізації використання пульсуючого розпилювального потоку повітря для нанесення покриття [11].

Машинобудування і зварювальне виробництво

Також особливу увагу заслуговує застосування порошку карбиду вольфраму в складі наповнювача дротів для металізації. Частки вольфраму мають дуже високу твердість і тугоплавкість і тому практично не окислюються і переходять до складу покриття, однак він має порівняно велику вартість. Матеріали, що забезпечують низький коефіцієнт тертя металевих пар-композиції це нікель-графіт та керамічні матеріали також мають заслуговано поширене використання, але ж дивлячись на високу температуру їх правлення, як правило, застосовують для їх нанесення плазмове або детонаційне напилення.

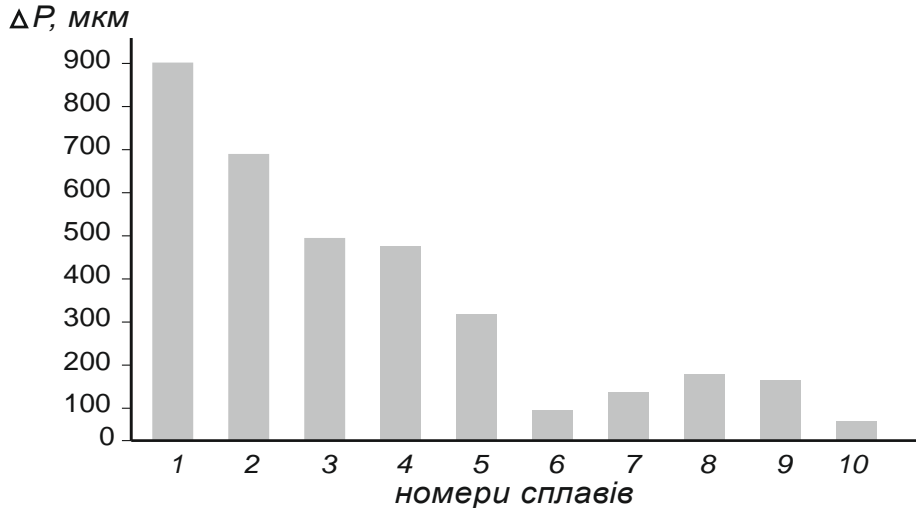


Рисунок 1 – Зношування металізаційних покриттів за даними

- 1- низьковуглецева сталь; 2 - корозинностійка сталь типу 18-8 із вмістом молібдену;
 3 - хромомолібденова сталь; 4 стелліт № 66; 5 - стелліт №33; 6 - стелліт №11; 7 - сплав на хромонікелевій основі; 8 - колмоною № 4; 9 - колмоною № 5; 10 - колмоною № 6

Однак, необхідно також враховувати економічні міркування (дефіцитність, важке виробництво, скорочення запасів деяких матеріалів та їхнє здороження). Дроти малого діаметру, виготовлені з високолегованих сталей, і покриття з них значно дешеві, але ж поступаються технологічними характеристиками, та особливо зносостійкістю. І тому на ряди виробничих ділянок набули поширення псевдосплави при електродуговому напиленні дротом різного складу [12].

У практиці електродугового напилення сучасних зносостійких покриттів останнім часом, все більш знаходять широке застосування порошкові дроти, до складу сердечника яких вводять порошки та матеріали, призначені для плазмового та детонаційного напилення [11], або як легуючі використовують порошки високо вартісних металів. Це призводить до підвищення загальної вартості порошкових дротів при порівняно низькій ефективності використовуваних матеріалів за рахунок окислення повітряним струменем і як слід малого коефіцієнту переходу елементів в покриття.

З метою зниження зазначених недоліків, здійснюється отримання зносостійких покриттів за рахунок легування розплавленої оболонки з низьковуглецевої сталі 08КП недефіцитними феросплавами, які вводяться до матриці дроту частинами карбиду металів і твердими оксидами задля отримання в оксидній фазі покриття комплексів оксидів (шпинелів) з підвищеною хімічною активністю та твердістю. При цьому з огляду на сучасні тенденції отримання зносостійких покриттів пропонується оптимізувати використання вартісних порошків металів або феросплавів, що містять молібден, вольфрам, нікель, ванадій, ніобій та ін.

ВИСНОВКИ

1. При дуговій металізації на оптимальних стабільних параметрах хром, який входить до складу дроту, практично не окислюється, ступінь окислення хрому не перевищує 0,5%.

2. У дротах з високовуглецевих (до 1% С) сталях, хром (до 4%) сприяє значному підвищенню твердості при загартуванні (в результаті утворення високодисперсних спеціальних карбідів), після якого покриття набувають високої зносостійкості та ріжучих властивостей.

3. При легуванні дротів з низьковуглецевих (0,10-0,15% С) сталей хромом (5-10%), підвищуються міцнісні властивості та корозійна стійкість покриттів у деяких хімічних активних середовищах.

Таким чином, використання хромистих сталей для виготовлення дротів для електродугової металізації вирішують завдання, поставленим у цій роботі - забезпечення отримання більш високозносостійкого напиленого шару. Рекомендовано до використання склад порошкових дротів, які забезпечують отримання в покритті 1-2% С, 4-10% Cr.

Список використаних джерел

1. Сухенко Ю.Г., Литвиненко О. А., Сухенко В. Ю. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв: підручник. – Київ: НУХТ, 2010. – 430 с.

2. Коробов Ю. С., Луканин В. Л., Прядко А. С. Преимущество активированной дуговой металлизации. Сварщик. 2002. № 2. С. 16 – 17.

3. Електродугові відновні та захисні покриття: монографія / В. І. Похмурський, М. М. Студент, В. М. Довгуник та ін. – Львів : Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В. Карпенка НАН України. – 2005. – 190 с.

4. Вплив Карбону в порошкових дротах системи Fe-Cr-C-Al на відносну зносостійкість покриттів за умов граничного мащення / М. Студент, О. Калахан, Т. Ступницький, В. Гвоздецький, О. Шабатура, В. Кульматичський // Вісник ЛНАУ : агроінж. дослідження. Львів : Львів. нац. агроуніверситет, 2013. № 17. С. 261 – 268.

5. Вплив діаметра порошкового дроту на мікрогетерогенність покриття / М. М. Студент, О. С. Калахан, М. Я. Головчук, Х. Р. Задорожна, Б. В. Занько // Вісник ЛНАУ : агроінж. дослідження. Львів: Львів. нац. агроуніверситет, 2017. № 21. С. 61 – 68.

6. Абразивна зносостійкість плазмоелектролітних шарів на основі корунду синтезованих на алюмінієвих сплавах та електродугових покриттях / М. Студент, О. Калахан, В. Посувайло, В. Гвоздецький, Я. Сірак, Б. Гнатів // Вісник ЛНАУ : агроінж. дослідження. Львів: Львів. нац. агроуніверситет, 2017. № 21. С. 69 – 74.

7. Калахан О.С., Левонюк В.Р., Занько Б.В., Гнатів Б.Б. Відновлення деталей машин енергетичного призначення електродуговою металізацією порошковими дротами. Актуальні питання енергоефективності гірничометалургійного виробництва: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. студ. та молодих вчених. Зб. наук. праць. Кривий Ріг: 2018. С. 162.

8. Гнатів Б. Б. Вплив діаметра порошкового дроту та мікрогетерогенності покриття та його абразивну стійкість. Перші наукові кроки 2018: матеріали 32 XII Всеукр. наук.-практ. конф. студ. та молодих наук. Зб. наук. праць. – Кам'янець – Подільський : 2018. С. 120.

9. Борисов Ю. С. Плазменные порошковые покрытия /Ю. С. Борисов, А. Л. Борисова. Киев :Техніка, 1986. 222

10. Борисов Ю. С. Газотермические покрытия из порошковых материалов / Ю. С. Борисов, М.А. Харламов, Е.И. Ардатовская //Справочник. Киев. Накова думка1987. 543с.

11.Роянов В. А. Энерго и ресурсосбережение при электродуговом напылении покрытий: монография/ В. А.Роянов, И.В. Захарова // Мариуполь: ПГТУ, 2018. – 143 с.

12. Пахмурский В.Н. Основы формирования защитных и восстановительных покрытий электродуговым напылением порошковыми проволоками / В.Н.Пахмурский, М.М.Студент, В.С.Пук // Физико-химическая механика материалов. 1986. №6. С.11-16

Zaharova I.V.

ANALYSIS OF THE COMPOSITION OF CORED WIRES FOR OBTAINING INCREASED WEAR-RESISTANT PROPERTIES OF METALLIZATION COATING USING A PULSATING SPRAY AIR FLOW

Currently, the main direction in the development of powder wire charge compositions is the use of powders of carbides, nitrides, as well as powders used for gas flame, plasma and detonation sputtering. The expected effect here is always achieved due to active oxidation and decay of some components of the charge. At the same time, the cost of the material remains quite high and the adhesion strength of the coating to the base is relatively low.

In the presented work, the solution to the problem of resource conservation due to the created powdered wires, consisting of a low-carbon sheath and a filler of non-scarce, widespread powders of metals and ferroalloys and a pulsating supply of atomized air flow, which ensure the production of highly wear-resistant coatings with increased adhesion strength, as well as hard, strong oxides in the applied coating.

This work presents a study of the compositions of powder-coated wires, an analysis of the obtained coatings was carried out, and the composition of powders was recommended, which will allow obtaining a high-quality applied coating with the use of a pulsating air flow.

Keywords: flux-cored wire, arc spraying, wear resistance, coating, microhardness.

Стаття надійшла 16.11.2023 р.

УДК 621.791.753.042

doi.org/10.31498/2522-9990262023294131

Щетинін С.В.

ПІДВИЩЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ НАПЛАВЛЕННІ НА НИЗЬКІЙ ЕНЕРГІЇ

Природа зварювання та наплавлення електромагнітна, так як природа міжатомних зв'язків електромагнітна. Міжатомні зв'язки обумовлені пінч-ефектом мікрострумів, обертаючихся навколо ядра електронів, діють на міжелектронному рівні, що дорівнює діаметру електронів 10^{-19} м і значно підвищує міжатомні зв'язки. Згідно закону збереження енергії, при електродуговому напавленні дуга передає основному металу теплову та кінетичну енергію плазмових потоків, під дією яких і термодформаційного циклу виникають мікроспостворення кристалічної решітки, міронапруги, щільність дислокацій та зварювальні напруги.

При зростанні швидкості наплавлення збільшується швидкість кристалізації, здрібнюється мікроструктура, зменшується енергія, тепловкладення, що забезпечує зменшення мікроспостворень кристалічної решітки, міронапруг, зварювальних напруг, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків, тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості. Розрахунково-експериментальним способом встановлено, що, згідно закону збереження енергії та принципу суперпозиції, з підвищенням

Машинобудування і зварювальне виробництво

товщини наплавленого металу зварювальні напруги сумуються, що призводить до збільшення зварювальних напруг і, коли зварювальні напруги стають більше міжатомних зв'язків, утворенню тріщин. Тому, для підвищення тріщиностійкості необхідно зменшувати товщину наплавленого металу. Закономірність впливу товщини наплавленого металу на деформації, зварювальні напруги та тріщиностійкість підтверджена практично в виробничих умовах. Як встановлено, оптимальна товщина наплавленого металу для робочих та опорних валків зі сталі 90ХФ, схильної до утворення тріщин, 0,025 м на радіус.

При наплавленні робочих валків стану 1700 і збільшенні товщини до 0,04 м, в результаті підвищення зварювальних напруг, наплавлений метал відшарувався по лінії сплавлення з основним металом. Зі збільшенням вмісту вуглецю в наплавленому металі до 5,3%, при наплавленні конусів засипних апаратів, допустима товщина обмежена 0,012 – 0,017 м, що контролюється шляхом проточування канавки перед наплавленням. Зі зниженням енергії, при високошвидкісному зварюванні, ширина валиків, тепловкладення, зварювальні напруги зменшуються, мікроструктура здрібнюється, міжатомна відстань скорочується, міжатомні зв'язки зростають, що забезпечує підвищення ударної в'язкості, тріщиностійкості та зносостійкості наплавленого металу,

Розроблено енергозберігаючий процес високошвидкісного наплавлення на низькій енергії за рахунок зменшення товщини наплавленого металу, при якому знижується енергія, тепловкладення, що забезпечує зменшення мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг, щільності дислокацій, зварювальних напруг, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків, тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості.

Ключові слова: високошвидкісне наплавлення на низькій енергії, товщина наплавленого металу, принцип суперпозиції, мікроспотворення кристалічної решітки, мікронапруги, зварювальні напруги міжатомна відстань, міжатомні зв'язки, тріщиностійкість.

Постановка проблеми. Валки прокатних станів експлуатуються при високих тисках і температурах, агресивних середовищах і виготовляються з високовуглецевої сталі 90ХФ, схильної до утворення гарячих і холодних тріщин. Тому підвищення тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості при електродуговому наплавленні високовуглецевих сталей є важливою науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що при збільшенні швидкості зварювання та зниженні погонної енергії схильність до утворення тріщин зростає. На природу утворення тріщин немає однієї точки зору і всі вони суперечливі. Для підвищення тріщиностійкості рекомендують проводити наплавлення на високій погонній енергії. Однак, М.М. Прохоров [1] відмічає, що при значному зменшенні погонної енергії тріщиностійкість зростає. Вплив товщини наплавленого металу на зварювальні напруги, тріщиностійкість, зносостійкість та корозійну стійкість досліджено недостатньо [1–9].

Мета досліджень. Встановити механізм регулювання енергії, зварювальних напруг і розробка процесу високошвидкісного наплавлення на низькій енергії, що забезпечує підвищення тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості високовуглецевих сталей.

Основний матеріал дослідження. В основі утворення тріщин лежать закони природи – закон збереження енергії та принцип суперпозиції. Згідно закону збереження енергії – енергія не зникає і не з'являється, вона тільки переходить з одного виду до іншого, в кількості еквівалентній першій. При цьому енергія зберігається. Згідно принципу суперпозиції, енергія сумується. При електродуговому наплавленні енергія дуги передається основному металу та електроду.

Машинобудування і зварювальне виробництво

При електродуговому наплавленні тріщиностійкість високовуглецевих сталей визначається вмістом вуглецю та енергією. Для підвищення тріщиностійкості, зі зростанням вмісту вуглецю, погонну енергію необхідно зменшувати.

Тріщини утворюються, коли зварювальні напруги стають більше міжатомних зв'язків, тому, для підвищення тріщиностійкості, необхідно забезпечити мінімальні зварювальні напруги, які визначаються енергією, тепловкладенням і деформаціями.

Для дослідження впливу енергії та товщини наплавленого металу на деформацію виконували зварювання пластин $(8 \times 120 \times 900) \cdot 10^{-3}$ м і наплавлення на пластини $(30 \times 120 \times 900) \cdot 10^{-3}$ м, з різною швидкістю, погонною енергією та товщиною наплавленого металу.

Електродугове наплавлення валків проводиться за 5 – 6 проходів, тому досліджено вплив товщини наплавленого металу на деформації та зварювальні напруги, які визначали розрахунково-експериментальним способом.

Залежність зварювальних напруг від погонної енергії [9]:

$$\sigma \geq \mu E \frac{q_{II}}{VF}, \text{ Па} \quad (1)$$

де, μ – коефіцієнт Пуассона, для вуглецевої сталі $\mu = 0,335$ а/сγ;

E – модуль пружності, $19,68 \cdot 10^4$ МПа,

$\frac{q_{II}}$

V – погонна енергия, МДж/м;

F – поперечний переріз пластини, м².

Деформація пластин залежить від зварювальних напруг:

$$f = 0,613l \sqrt{\frac{\sigma - \sigma_{кр}}{E}}, \text{ м} \quad (2)$$

де, l – довжина пластини, м;

$\sigma_{кр}$ – критичне значення зварювальної напруги, Па.

Критичне значення зварювальних напруг:

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 E}{12} \left(\frac{\delta}{l} \right)^2, \text{ Па} \quad (3)$$

При напруги більше критичного значення здійснюється деформація пластини.

З наведених виразів випливає, що зварювальні напруги прямо пропорційні деформації пластини:

$$\sigma = \frac{f^2 E}{0,613^2 l^2} + \frac{\pi^2 E}{12} \left(\frac{\delta}{l} \right)^2, \text{ Па} \quad (4)$$

Машинобудування і зварювальне виробництво

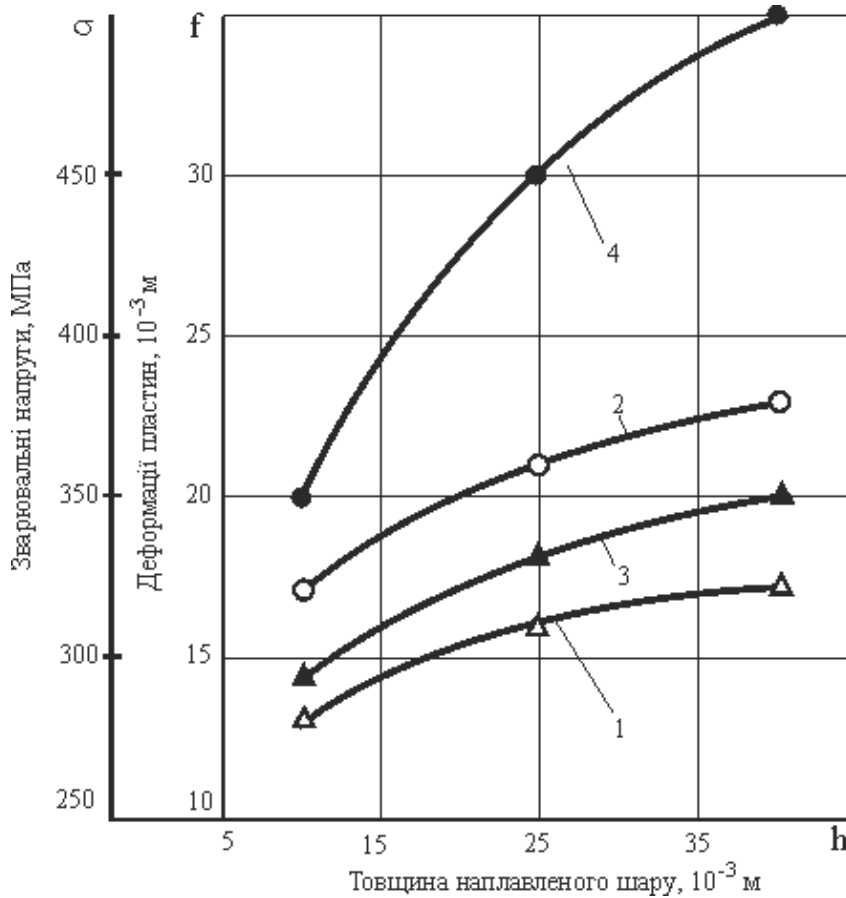


Рисунок – Закономірність впливу товщини наплавленого металу на деформацію (1,2) і зварювальні напруги (3,4) в пластинах 30x120x900) 10^{-3} м (1,3); (8x120x900) 10^{-3} м (2,4)

Зі зменшенням погонної енергії, при зростанні швидкості зварювання зварювальні напруги знижуються (рис.1), що значно підвищує тріщиностійкість та ударну в'язкість зварних з'єднань, яка кількісно характеризує тріщиностійкість і залежить від мікроструктури.

Тріщиностійкість наплавленого металу, в значній мірі, визначається зварювальними напругами, які при наплавленні, згідно принципу суперпозиції сумуються, що призводить зі зростанням товщини наплавленого металу до підвищення деформацій, зварювальних напруг (рис.1) і утворенню тріщин.

Встановлена закономірність впливу товщини наплавленого металу на деформацію та зварювальні напруги підтверджують закон мінімуму енергії, згідно якому, мінімум енергії максимум якості, тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості.

Закономірність впливу товщини наплавленого металу на деформації, зварювальні напруги та тріщиностійкість підтверджена практично в виробничих умовах. Як встановлено, оптимальна товщина наплавленого металу для робочих та опорних валків, виготовлених із сталі 90ХФ, схильної до утворення тріщин, 0,025 м на радіус. При наплавленні робочих валків стану 1700 і збільшення товщини до 0,04 м, в результаті підвищення зварювальних напруг, наплавлений метал відшарувався по лінії сплавлення з основним металом. Зі збільшенням вмісту вуглецю в наплавленому металі до 5,3%, при наплавленні конусів засипних апаратів, допустима товщина обмежена 0,012 – 0,017м, що контролюється шляхом проточування канавки перед наплавленням.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Розроблено енергозберігаючий процес високошвидкісного наплавлення на низькій енергії, який за рахунок зростання швидкості наплавлення, зниження товщини наплавленого металу забезпечує зменшення енергії, тепловкладення, мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг, щільності дислокацій, зварювальних напруг, здрібнення мікроструктури, зменшення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків і тріщиностійкості.

Встановленні закономірності і розроблений спосіб високошвидкісного наплавлення на низькій енергії, за рахунок зниження товщини наплавленого металу, можуть бути використані при високошвидкісному наплавленні засипних апаратів.

Подальші дослідження в даному напрямку є перспективними, так як дозволять розробити нові процеси високошвидкісного наплавлення на низькій енергії, які забезпечують підвищення тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості.

ВИСНОВКИ

Природа зварювання та наплавлення електромагнітна, так як природа міжатомних зв'язків електромагнітна. Міжатомні зв'язки обумовлені пінч-ефектом мікрострумів обертаючихся навколо ядра електронів, діють на міжелектронному рівні, що дорівнює діаметру електронів 10^{-19} м і значно підвищує міжатомні зв'язки.

Згідно закону збереження енергії, при електродуговому наплавленні дуга передає основному металу теплову та кінетичну енергію плазмових потоків, під дією яких і термодеформаційного циклу виникають мікроспотворення кристалічної решітки, міронапруги, щільність дислокацій та зварювальні напруги.

При зростанні швидкості наплавлення збільшується швидкість кристалізації, здрібнюється мікроструктура, зменшується енергія, тепловкладення, що забезпечує зменшення мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг, зварювальних напруг,

скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків, тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості.

Розрахунково-експериментальним способом встановлено, що згідно закону збереження енергії та принципу суперпозиції, з підвищенням товщини наплавленого металу зварювальні напруги сумуються, що призводить до збільшення зварювальних напруг і, коли зварювальні напруги стають більше міжатомних зв'язків, утворенню тріщин. Тому, для підвищення тріщиностійкості необхідно зменшувати товщину наплавленого металу.

Закономірність впливу товщини наплавленого металу на деформації, зварювальні напруги та тріщиностійкість підтверджена практично в виробничих умовах. Як встановлено, оптимальна товщина наплавленого металу для робочих та опорних валків зі сталі 90ХФ, схильної до утворення тріщин, 0,025 м на радіус. При наплавленні робочих валків стану 1700 і збільшенні товщини до 0,04 м в результаті підвищення зварювальних напруг наплавлений метал відшарувався по лінії сплавлення з основним металом. Зі збільшенням вмісту вуглецю в наплавленому металі до 5,3%, при наплавленні конусів засипних апаратів допустима товщина обмежена 0,012 – 0,017 м, що контролюється шляхом проточування канавки перед наплавленням.

Зі зниженням енергії при високошвидкісному зварюванні ширина валиків, тепловкладення, зварювальні напруги зменшуються, мікроструктура здрібнюється, міжатомна відстань скорочується, міжатомні зв'язки зростають, що забезпечує підвищення ударної в'язкості, тріщиностійкості та зносостійкості наплавленого металу,

Розроблено енергозберігаючий процес високошвидкісного наплавлення на низькій енергії, за рахунок зменшення товщини наплавленого металу, при якому знижується енергія, тепловкладення, що забезпечує зменшення мікроспотворень кристалічної решітки,

Машинобудування і зварювальне виробництво

мікронапруг, щільності дислокацій, зварювальних напруг, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків, тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості.

Список використаних джерел

1. Прохоров Н.М. Фізичні процеси у металі при зварюванні / Н.М.Прохоров. – Т.П. – М.: Металургія, 1976. – 600 з
2. Шоршоров М.Х. Фазові перетворення та зміни властивостей сталі при зварюванні / М.Х. Шоршоров, В.В. Белов. - М.: Наука, 1972. - 228 с.
3. Рябцев І.А. Наплавлення деталей машин та механізмів. - Київ: Екотехнологія, 2004. - 160 с.
4. Фінкель В.М. Фізика руйнування / В.М. Фінкель. - М.: Металургія, 1970. - 376с.
5. Уайт Р.М. Квантова теорія магнетизму. - М.: Світ, 1972. - 306с.
6. Каленський В.К. Вплив погонної енергії на утворення відколів при наплавленні високовуглецевої сталі аустенітними дротиками / В.К. Каленський, Я.П. Черняк, В.Г. Васильєв, Т.Г. Соломійчук // Автоматичне зварювання. - 2001. - №11. – С. 11–14.
7. Рябцев І.А. Технологія, матеріали, обладнання / І.А. Рябцев, І.А. Кондратьєв, Є.Ф.Переплетчиков, Ю.М. Кусков. – Київ, ІЕЗ ім. О.О. Патона НАНУ, 2015. – 402 с.
8. Миколаїв Г.А. Міцність зварних з'єднань та деформації конструкцій / Г.А. Миколаєв, С.А. Куркін, В.А. Винокур. - М.: Вища школа, 1982. - 272 с.
9. Винокуров В.А. Теорія зварювальних деформацій та напруг / В.А.Винокуров, А.Г. Григор'яни. - М.: Машинобудування, 1984. -280 с.

Shchetinin S.V.

INCREASED CRACK RESISTANCE AT THE HIGH SPEED SURFACING ON LOW ENERGY

The welding and surfacing nature is electromagnetic, since the interatomic bonds nature is electromagnetic. Interatomic bonds are caused by the pinch-effect of electrons rotating around the nucleus microcurrents, act on the interelectronic level equal to the electron diameter 10-19 m and significantly increase interatomic bonds According to the energy conservation law during electric arc surfacing, the arc transfers to the base metal the thermal and kinetic plasma flows energy, under the influence of which and the thermaldeformation cycle the crystal lattice microdistortions, microstresses, dislocation density and welding stresses arise.

As the surfacing speed increases, the crystallization speed increases, the microstructure becomes refined, energy and heat input decrease, which ensures the crystal lattice microdistortions, microstresses, welding stresses a decrease, the interatomic distance a reduction, interatomic bonds, crack resistance, wear resistance and corrosion resistance an increase. By calculation and experiment it has been established that, according to the conservation energy law and the superposition principle, with increasing the deposited metal thickness welding stresses are summed up, which leads to welding stresses an increase and when welding stresses become greater than interatomic bonds, the cracks formation. Therefore, to increase crack resistance, it is necessary to reduce the deposited metal thickness The regularity of the deposited metal thickness the influence on deformations, welding stresses and crack resistance has been confirmed practically under production conditions. It has been established that the optimal of deposited metal thickness for work and back-up rolls 90HF steel made, which is prone to cracking, is 0.025 m on radius. When surfacing the 1700 mill work rolls and increasing the thickness to 0.04 m, as a result of welding stresses

increasing, the deposited metal peeled off along the line of fusion with the base metal. With an increase in the carbon content in the deposited metal to 5.3% when surfacing the charging apparatus cones, the permissible thickness is limited to 0.012 – 0.017 m, which is controlled by turning the groove before surfacing.

The regularity of increasing welding stresses and decreasing crack resistance with increasing of the deposited metal thickness confirms the minimum energy law, according to which minimum energy – maximum quality. With a decrease in energy during high-speed welding, the beads width, heat input, and welding stresses are reduced, the microstructure is refined, the interatomic distance is reduced, interatomic bonds increase, which ensures the impact toughness, the deposited metal crack resistance and wear resistance increase. The high-speed surfacing on low energy energy-saving process by reducing the deposited metal thickness, which reduces energy and heat input, reduces the crystal lattice microdistortions, microstresses, dislocation density, welding stresses, reduces interatomic distances, increases interatomic bonds, crack resistance strength, wear resistance and corrosion resistance has been developed. Minimum energy – maximum crack resistance, wear resistance and corrosion resistance.

Keywords: high speed surfacing on low energy, deposited metal thickness, superposition principle, crystal lattice microdistortions, microstresses, dislocation density, welding stresses, interatomic distance, interatomic bonds, crack resistance, wear resistance, corrosion resistance.

Стаття надійшла 09.10.2023 р.

УДК 621.791.753.042

doi.org/10.31498/2522-9990262023294132

Щетиніна В.І.

ЕНЕРГО-І МАТЕРІАЛОЗБЕРІГАЮЧИЙ ПРОЦЕС ОДНОСТОРОННЬОГО ВИСОКОШВИДКІСНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Енерго- і матеріалозберігаючий процес одностороннього високошвидкісного зварювання обмежено витіканням рідкого металу з ванни та утворенням підрізів, що призводить до зниження ударної в'язкості зварних з'єднань. Тому, розробка одностороннього високошвидкісного зварювання, що забезпечує підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань, є важливою науково-технічною проблемою. Ефективним способом підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань є зростання швидкості зварювання та кристалізації, що обмежено утворенням підрізів, природа яких повністю не встановлена.

На основі дослідження магнітного поля зварювального струму при односторонньому зварюванні встановлено, що з підвищенням швидкості зварювання індукція попереду дуги не задежить від швидкості, позаду дуги зменшується, а в зоні сплавлення, де утворюються підрізи, збільшується. Встановлено, що індукція магнітного поля в зоні сплавлення, при зварюванні зростає, внаслідок зменшення кількості теплоти в бокових кромках, зниження електричного опору і збільшення струму, що тече кромками ванни. Індукція визначає магнітний тиск на метал в зоні сплавлення. При збільшенні швидкості зварювання, зростає спрямований вниз магнітний тиск, під дією якого рідкий метал стікає з кромки ванни, що призводить до утворення підрізів.

Розроблена електромагнітна теорія утворення підрізів, згідно якої при підвищенні швидкості зварювання посилюється охолодження активних плям, концентрується дуга і зменшується тепловкладення в бокові кромки ванни, електричний опір яких знижується. В результаті зростає величина струму, що тече боковими кромками ванни, індукція магнітного поля і в квадратичній залежності магнітний тиск, під дією якого рідкий метал

Машинобудування і зварювальне виробництво

стікає з кромки ванни, що призводить до утворення підрізів. Електромагнітна теорія утворення підрізів підтверджується тим, що при зварюванні тонкого металу підрізи не утворюються, при збільшенні товщини зварювального металу схильність до утворення підрізів зростає, що є результатом зростання феромагнітної маси, індукції магнітного поля зварювального струму і магнітного тиску, максимальне значення якого розташовується на поверхні, де утворюються підрізи.

Розроблено енерго- і матеріалозберігаючий процес одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом, що складається з дроту і U-подібної стрічки, прямолінійні ділянки якої розташовуються попереду дроту, по напрямку зварювання. Дуга, що горить на прямолінійних ділянках стрічки, збільшує тепловкладення в бокові кромки ванни. В результаті, електричний опір зростає, зменшується струм, що тече боковими кромками, і спрямований вниз магнітний тиск, що запобігає утворенню підрізів та забезпечує підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань в 2–2,5 рази.

Ключові слова: одностороннє високошвидкісне зварювання, підрізи, електромагнітна теорія утворення підрізів, магнітне поле зварювального струму, магнітна індукція, магнітний тиск, зона сплавлення, складовий електрод, ударна в'язкість зварних з'єднань.

Постановка проблеми. Одностороннє високошвидкісне зварювання, яке є енерго- і матеріалозберігаючим процесом, обмежено утворенням підрізів, що призводить до зниження ударної в'язкості зварних з'єднань. Тому, розробка одностороннього високошвидкісного зварювання, що забезпечує підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань, є важливою науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підрізи обмежують підвищення швидкості зварювання і досліджені в достатній мірі [1–9]. Природа утворення підрізів фундаментально вивчена Б.С. Патонем, В.К. Лебедевим, І.В. Пентеговим і С.Л. Мандельбергом. Одні вважають, що підрізи утворюються внаслідок збільшення поверхневого натягу, інші внаслідок відхилення дуги назад, треті, в результаті підвищення тиску дуги. Однак, природа утворення підрізів при високошвидкісному зварюванні повністю не встановлена [1–9].

Мета досліджень. Встановлення природи утворення підрізів і розробка енерго- і матеріалозберігаючого процесу одностороннього високошвидкісного зварювання, що забезпечує підвищення якості формування швів і ударної в'язкості зварних з'єднань..

Основний матеріал дослідження. Струм в зварювальній ванні від активної плями розтікається рідким металом. Рідкий метал зварювальної ванни, з температурою 1700–18000° С вище точки Кюрі, немагнітний. Магнітне поле зварювального струму діє на рідкий метал ванни як на провідник зі струмом, що визначає рух металу, магнітогідродинамічні явища в ванні, формування швів і критичну швидкість зварювання. В області бокових кромки ванни на зварювальний струм і рідкий метал діє магнітне поле дуги. Під дією магнітного поля дуги, на рідкий метал ванни в області бокових кромки діє спрямований вниз магнітний тиск.

Для визначення природи утворення підрізів проводили дослідження впливу швидкості зварювання на магнітне поле зварювального струму попереду дуги, позаду дуги та в зоні сплавлення, де утворюються підрізи..

Вимірювання проводили при односторонньому зварюванні вимірювачем магнітної індукції EM4305, в якому використовується ефект Холла. Щуп, для вимірювання індукції магнітного поля, встановлювали в жорстко закріпленій на зварювальній голівці кварцевий ізолятор, в формі пробірки, який, внаслідок низької теплопровідності кварцу, забезпечує незначний нагрів зонда і максимально можливе наближення датчика Холла до дуги і рідкого металу ванни. При наближенні до дуги і основного металу, на відстань менш 0,016 м, кварцевий ізолятор і зонд розплавлялися.

Машинобудування і зварювальне виробництво

На основі проведених досліджень магнітного поля зварювального струму при односторонньому зварюванні встановлено, що з підвищенням швидкості зварювання індукція та магнітний тиск попереду дуги B_A , P_A не залежить від швидкості, позаду дуги B_B , P_B зменшується, а в зоні сплавлення B_C , P_C збільшується (рис.1). Індукція магнітного поля в зоні сплавлення B_C , при підвищенні швидкості зварювання зростає, внаслідок зменшення кількості теплоти в бокових кромках, зниження електричного опору і збільшення струму, що тече кромками ванни. Індукція визначає магнітний тиск $P = \frac{B^2}{2\mu}$ на метал в зоні сплавлення.

При збільшенні швидкості зварювання, зростає спрямований вниз магнітний тиск P_C , під дією якого рідкий метал стікає з кромки ванни, що призводить до утворення підрізів.

Встановлена закономірність впливу швидкості зварювання на магнітне поле зварювального струму та на ударну в'язкість зварних з'єднань.

На основі отриманих даних о впливі швидкості зварювання на магнітне поле зварювального струму, розроблено електромагнітну теорію утворення підрізів.

Згідно електромагнітної теорії утворення підрізів, при підвищенні швидкості зварювання посилюється охолодження активних плям, концентрується дуга і зменшується тепловкладення в бокові кромки ванни, електричний опір яких знижується. В результаті зростає величина струму, що тече боковими кромками ванни, індукція магнітного поля і магнітний тиск, під дією якого рідкий метал стікає з кромки ванни, що призводить до утворення підрізів.

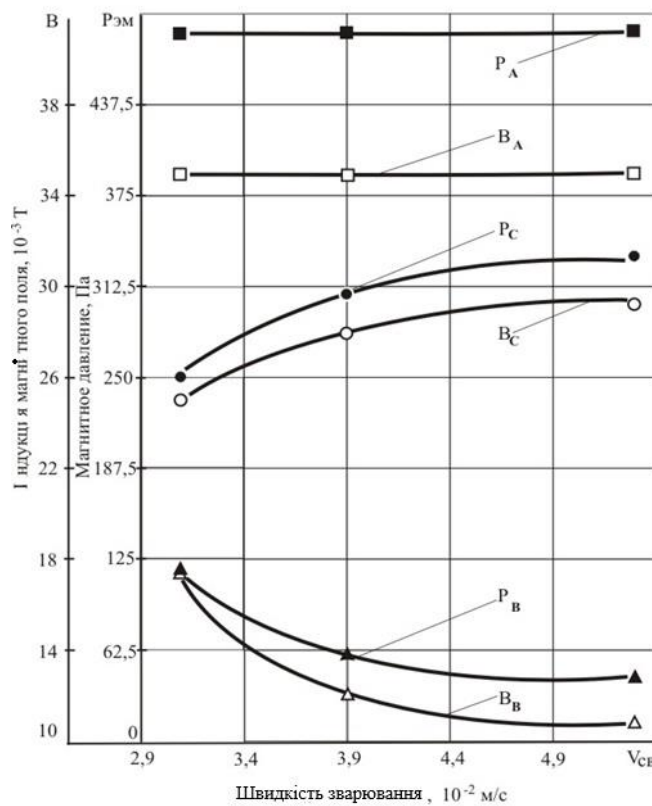


Рисунок 1 – Залежність індукції магнітного поля B і магнітного тиску P на рідкий метал ванни від швидкості зварювання на струмопідвід: струм 2700 – 2800 А, напруга 28- 30 В; попереду дуги B_A , P_A , позаду дуги B_B , P_B , в зоні сплавлення B_C , P_C

Машинобудування і зварювальне виробництво

Електромагнітна теорія утворення підрізів підтверджується тим, що при зварюванні тонкого металу підрізи не утворюються, при збільшенні товщини зварювального металу схильність до утворення підрізів зростає, що є результатом збільшення феромагнітної маси, індукції магнітного поля зварювального струму і магнітного тиску, максимальне значення якого розташовується на поверхні, де утворюються підрізи

На підставі електромагнітної теорії утворення підрізів, розроблений процес одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом, що складається з дроту і U-подібної стрічки, прямолінійні ділянки якої розташовуються попереду дроту, по напрямку зварювання. Дуга, що горить на прямолінійних ділянках стрічки, збільшує тепловкладення в бокові кромки ванни. В результаті, електричний опір зростає, зменшується струм, що тече боковими кромками і спрямований вниз магнітний тиск, що запобігає утворенню підрізів.

При односторонньому високошвидкісному зварюванні складовим електродом внаслідок обертання дуги торцем U-подібної стрічки збільшується площа, знижується тиск дуги, що забезпечує якісне формування зворотного валика на флюсовій подушці незалежно від зазору.

При високошвидкісному зварюванні внаслідок охолодження зменшується діаметр і збільшується швидкість обертання дуги та кристалізації, посилюється пінч-ефект, здрібнюється мікроструктура, скорочується міжатомна відстань, підвищуються міжатомні зв'язки та ударна в'язкість зварних з'єднань.

Розроблено енерго- і матеріалозберігаючий процес одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом, що складається з дроту і U-подібної стрічки, прямолінійні ділянки якої розташовуються попереду дроту, по напрямку зварювання. Дуга, що горить на прямолінійних ділянках стрічки, збільшує тепловкладення в бокові кромки ванни. В результаті, електричний опір зростає, зменшується струм, що тече боковими кромками і спрямований вниз магнітний тиск, який запобігає утворенню підрізів та підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань в 2–2,5 рази.

Встановлені закономірності і розроблений спосіб одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом можуть бути використані при односторонньому високошвидкісному зварюванні труб для газо- і нафтопровідних магістралей.

Подальші дослідження в даному напрямку є перспективними, так як дозволять розробити нові процеси одностороннього високошвидкісного зварювання, які забезпечують підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань.

ВИСНОВКИ

Енерго- і матеріалозберігаючий процес одностороннього високошвидкісного зварювання обмежено витіканням рідкого металу з ванни та утворенням підрізів, що приводить до зниження ударної в'язкості зварних з'єднань. Тому розробка одностороннього високошвидкісного зварювання, що забезпечує підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань, є важливою науково-технічною проблемою. Ефективним способом підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань є зростання швидкості зварювання та кристалізації, що обмежено утворенням підрізів, природа яких повністю не встановлена.

На основі дослідження магнітного поля зварювального струму при односторонньому зварюванні встановлено, що з підвищенням швидкості зварювання індукція попереду дуги не задежить від швидкості, позаду дуги зменшується, а в зоні сплавлення, де утворюються підрізи, збільшується. Встановлено, що індукція магнітного поля в зоні сплавлення, при підвищенні швидкості зварювання зростає внаслідок зменшення кількості теплоти в бічних кромках, зниження електричного опору і збільшення струму через бічні кромки ванни.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Індукція визначає магнітний тиск на метал в зоні сплавлення. При збільшенні швидкості зварювання, зростає спрямований вниз магнітний тиск, під дією якого рідкий метал стікає з кромки ванни, що призводить до утворення підрізів.

Розроблена електромагнітна теорія утворення підрізів, згідно якої при підвищенні швидкості зварювання посилюється охолодження активних плям, концентрується дуга і зменшується тепловкладення в бічні кромки ванни, електричний опір яких знижується. В результаті зростає величина струму бічні кромки ванни, індукція магнітного поля і в квадратичній залежності магнітний тиск, під дією якого рідкий метал стікає з кромки ванни, що приводить до утворення підрізів.

Електромагнітна теорія утворення підрізів підтверджується тим, що при зварюванні тонкого металу підрізи не утворюються, при збільшенні товщини зварювального металу схильність до утворення підрізів зростає, що є результатом збільшення феромагнітної маси, індукції магнітного поля зварювального струму і магнітного тиску, максимальне значення якого розташовується на поверхні, де утворюються підрізи

Розроблено енерго- і матеріалозберігаючий процес одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом, що складається з дроту і U-подібної стрічки, прямолінійні ділянки якої розташовуються попереду дроту, по напрямку зварювання. Дуга, що горить на прямолінійних ділянках стрічки, збільшує тепловкладення в бічні кромки ванни. В результаті, електричний опір зростає, зменшується струм через бічні кромки, та спрямований вниз магнітний тиск, що запобігає утворенню підрізів і забезпечує підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань в 2–2,5 рази.

Список використаних джерел

1. Фуджіта Ю. Технологія зварювання в сучасній промисловості Японії / Ю. Фуджіта, Ю. Наканісі, Н. Юріока // Автоматичне зварювання. - 2008. - С.48 - 54.
2. Бернадський В.М. Японія визначає пріоритети у зварюванні на ХХІ століття / В.М. Бернадський // Автоматичне зварювання. - 2002. - №3. - С.46.
3. Рябцев І.О. Наплавлення деталей машин и механізмів. – Київ: Екотехнологія, 2004. – 160 с.
4. Фінкель В.М. Фізика руйнування / В.М. Фінкель. - М.: Металургія, 1980. - 376с.
5. Уайт Р.М. Квантова теорія магнетизму. - М.: Світ, 1982. - 306с.
6. Грановський В.Л. Електричний струм у газі. Встановлений струм / В. Л. Грановський. - М.: Наука, 1971. - 543с.
7. Фінкельбург В. Електричні дуги та термічна плазма / В. Фінкельбург, Г. Меккер - М.: Вид-во іностр. літ. 1961. - 369 с.
8. Ніколаєв Г.А. Міцність зварних з'єднань та деформації конструкцій / Г.А. Миколаїв, С.А. Куркін, В.А. Винокур. - М.: Вища школа, 1982. - 272 с.
9. Винокуров В.А. Теорія зварювальних деформацій та напруг / В.А.Винокуров, А.Г. Григор'янц. - М.: Машинобудування, 1984. -280 с.

THE ENERGY- AND MATERIAL-SAVING ONE-SIDED HIGH-SPEED WELDING PROCESS

The energy- and material-saving one-sided welding process is limited by the liquid metal leakage from the pool and the undercuts formation, which leads to the welded joints impact strength a decrease. Therefore, the one-sided high-speed welding development, which ensures the welded joints impact toughness increase, is the important scientific and technical problem. The effective way to increase the welded joints impact toughness is to increase the welding and crystallization speed, which is limited by the undercuts formation, the nature of which has not been fully established.

Based on the welding current magnetic field during one-sided welding, a study it was established that with increasing welding speed, the induction in the arc front does not depend on the welding speed, the arc behind it decreases, and in the fusion zone, where undercuts are formed, it increases. It has been established that the magnetic field induction in the fusion zone during welding speed, increasing due to the heat amount in the side edges a decrease, electrical resistance a decrease and the current flowing through the pool edges an increase. Induction determines the magnetic pressure on the metal in the fusion zone. As the welding speed increases, the downward magnetic pressure increases, under the influence of which liquid metal flows from the pool edges, which leads to the undercuts formation.

The undercut formation electromagnetic theory has been developed, according to which, with increasing welding speed, the active spots cooling increases, the arc is concentrated and the heat input into the pool side edges, the electrical resistance of which decreases, is reduced. As a result, the current, flowing through the pool side edges the magnitude, increases, the magnetic field induction and, in a quadratic dependence, the magnetic pressure, under the influence of which the liquid metal flows from the pool edges increases, which leads to the undercuts formation.

The undercuts formation electromagnetic theory is confirmed by the fact that when welding thin metal, undercuts do not form; with the metal being welded thickness increasing, the tendency to form undercuts increases, which is the ferromagnetic mass an increase the result, the welding current magnetic field induction and magnetic pressure, the maximum value of which is located on the surface, where the undercuts are formed.

The energy- and material-saving one-sided high-speed welding with a composite electrode, consisting of a wire and a U-shaped tape, the straight sections of which are located in the welding direction wire front, the process has been developed. arc burning in the tape straight sections increases heat input into the pool side edges. As a result, the electrical resistance increases, the current flowing through the side edges and the downward magnetic pressure decreases, which prevents the undercuts formation and ensures the welded joints impact toughness increase by 2 – 2.5 times.

Keywords: *one-sided high-speed welding, undercuts, electromagnetic theory of formation of undercuts, magnetic field of welding current, magnetic induction, magnetic pressure, fusion zone, component electrode, impact toughness of welded joints.*

Стаття надійшла 15.10.2023 р.

ВПЛИВ СКЛАДУ ПОРОШКОВОГО ДРОТУ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАСТАБІЛЬНОГО МЕТАЛУ ЛЕГВОАНОГО АЗОТОМ

Підвищення міцності металу та поліпшення його якості – одна з основних проблем при ремонті та зміцненні деталей машин та конструкцій, оскільки рішення її дозволить не тільки підвищити надійність та довговічність, а й значно знизити витрату металу.

З багатьох способів підвищення міцності конструкційних сталей важлива роль належить легуванню. Зміцнення може бути обумовлено багатьма чинниками, зокрема і створенням у структурі дисперсних карбідних і нітридних фаз. У зв'язку з цим у останні роки проводять дослідження щодо зміцнення конструкційних сталей за рахунок виділення нітридів легуючих елементів у дисперсному вигляді.

Сучасні вимоги до якості виробів і конструкцій, що відновлюються, зумовили тенденцію номенклатури наплавочних матеріалів у бік зростання частки легування в загальному обсязі виробництва. В останні роки значно зріс інтерес до наплавних матеріалів з підвищеним вмістом азоту, особливо корозійностійким.

Однією з основних переваг цих наплавних матеріалів, порівняно з традиційними, є їх висока міцність. У той же час, оскільки азот має сильну здатність стабілізувати аустеніт, легування азотом дозволяє зменшити в нержавіючих сталях вміст аустенітоутворювальних елементів, таких як нікель і марганець у півтора - два рази, або взагалі виключити ці елементи зі складу. Додавання азоту до складу наплавних матеріалів дозволяє вирішувати не тільки питання підвищення їх міцності та економії легуючих елементів, а й вирішувати екологічні проблеми. Наприклад, при повній (або частковій) відмові від легування сталей марганцем та заміні його азотом з'являється можливість уникнути шкоди екосистемі та здоров'ю людей, пов'язаних з викидами в атмосферу токсичних оксидів марганцю при наплавленні. Крім того, азот, що входить до складу повітря, є дешевим, і процес його отримання з атмосфери не вимагає руйнування поверхні та надр землі, немінучих при видобутку руд.

Ключові слова: порошковий дріт, аустеніт, азот, зносостійкість, легування, дугове наплавлення, карбіди, нітриди.

Постановка проблеми. Для розробки нового складу наплавного матеріалу з метою отримання в наплавленому металі метастабільного зносостійкого покриття було визначено основні цілі: формування метастабільного аустеніту наплавленому металі; зниження витрат на легуючі елементи насамперед нікелю; регулювання властивостей наплавленого металу під час деформаційного мартенситного перетворення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Отримати необхідні технологічні характеристики та високі показники зносостійкості можна при вмісті вуглецю в межах від 0,1 до 0,7%, що підтверджується в проведених раніше роботах [1]. У свою чергу, легуванням наплавленого металу хромом, марганцем і кремнієм можна ефективно впливати на формування наплавленого металу, регулювати фазовий склад, співвідношення обсягів мартенситу і метастабільного аустеніту. Хром зміцнює аустеніт та мартенсит за рахунок утворення карбідів, а також надає високу корозійну стійкість наплавленому металу [2]. Марганець є аустенізатором, збільшення кількості дозволяє знизити витрати на нікель.

Добавки титану та ванадію забезпечують додаткове зміцнення та подрібнення структури наплавленого металу, це обумовлено утворенням дисперсних важкорозчинних карбідів та нітридів, що призводить до підвищення зносостійкості.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Введення алюмінію в невеликих кількостях призводить до підвищення зносостійкості та підвищення в'язкості наплавленого металу за рахунок утворення в ньому нітридів.

З метою додаткового зміцнення наплавленого металу за рахунок утворення в ньому карбонітридів і нітридів [3,4] необхідно вводити в невеликих кількостях азот, який також стабілізує вплив на аустеніт. Враховуючи перераховані вище фактори, що стосуються азоту, його вміст у наплавленому металі не повинен перевищувати 0,15%.

Мета дослідження. Метою роботи є розробка наплавлювального матеріалу, у вигляді порошкового дроту та флюсу, що забезпечує в наплавленому металі метастабільний аустеніт, легований азотом.

Основний матеріал дослідження. Виходячи з необхідних нам властивостей наплавленого металу, було підібрано інгредієнти та розраховано їх зміст за методикою, зазначеною у роботі Думова С.І. [5] для розробки порошкового наплавного дроту. Як наповнювач порошкового дроту використовувалися ферохром азотований, феромарганець, нікель, феротитан, ферованадій, феросиліцій. Для рафінування наплавленого металу використовувався алюмінієвий порошок. Діаметр оболонки дроту становив 4 мм, виконаний з низьковуглецевої сталі 08КП. На основі наведеного аналізу та необхідних властивостей наплавленого металу були запропоновані порошкові дроти наступних марок ПП-Нп-10X19H4Г10, ПП-Нп-10X19H3Г10АТ остання з різним вмістом азоту. В якості еталона для порівняння використовувався порошковий дріт ПП-Нп-Х20Н10Г6, даний дріт широко використовується в промисловості для відновлення та зміцнення деталей, що працюють в умовах абразивного та ударно-абразивного зношування. Зазначені дроти дозволяють здійснювати електродугову наплавку Fe-Cr-Mn-Ni-N металу аустенітного, мартенситно-аустенітного та аустенітно-мартенситного класів, з регульованим фазовим складом, а також можливістю отримання деформаційного метастабільного стану за рахунок регулювання хімічного складу наплавки. Склад наплавленого металу експериментальними дроти відповідає маркам наплавленого металу та його хімічному складу, наведеному в табл. 1. Азот введений до складу шихти порошкового дроту у вигляді азотованого феромарганцю.

Таблиця 1 – Результати хімічного аналізу наплавленого Fe-Cr-Mn-Ni-N металу

Зразки наплавленого металу	Вміст елементів, %								
	C	Cr	Si	Mn	Ni	Ti	Al	V	N
X20H10Г6	0,05	19,49	0,75	5,79	8,55	0,04	0,15	0,02	-
10X19H4Г10	0,11	18,29	0,74	9,70	3,81	0,04	0,17	0,02	-
10X19H3Г10АТ	0,11	18,91	0,74	10,06	3,09	0,04	0,17	0,02	0,075
10X19H3Г10АТ	0,11	18,95	0,75	9,87	3,11	0,04	0,19	0,02	0,15

Наплавлення розвиненими порошковими дротами не викликає труднощів, забезпечує хороше формування і сплавлення шарів, не виявляються дефекти металу шва (пори, тріщини). Висота наплавленого металу становила: один шар 5... 7 мм, два шари по 10... 13 мм, три шари по 14... 16 мм.

Макроструктура металу шва в три шари показує чітке положення шарів металу шва, які відрізняються ступенем протравлюваності, що пояснюється різним хімічним складом шарів внаслідок їх змішування з основним металом, а також між собою у верхніх шарах зварного шва. Макроструктура наплавленого металу випробуваними порошковими дротами має більш світлий колір з дрібнозернистою структурою в перших шарах і в зоні термічного впливу, що можна пояснити процесами, пов'язаними з рекристалізацією металу при нагріванні за рахунок тепла, що виділяється при напавленні наступних шарів металу (рис. 1).

Машинобудування і зварювальне виробництво

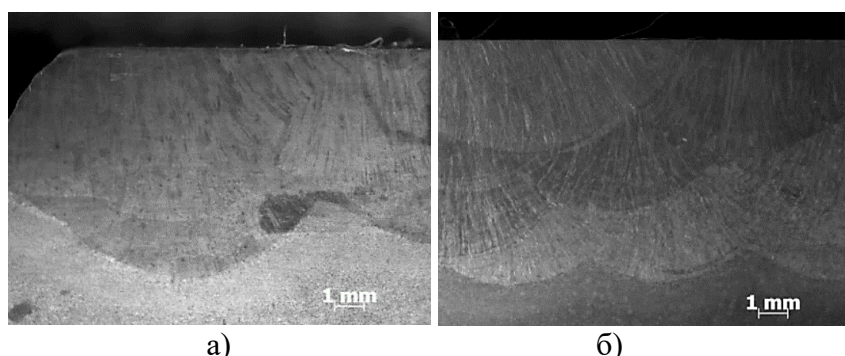


Рисунок 1 – Макроструктура наплавленого Fe-Cr-Mn-Ni металу (x8): а) X20Ni10Cr6; б) 10X19Ni3Cr10AT

Макроструктура наступних шарів має стовпчасту дендритну структуру. Дендрити невеликі, витягнуті в бік, протилежний тепловіддачі. Результати макроаналізу не виявили дефектів металу шва, сплавлення роликів між собою добре, дефектів в зоні сплавлення з основним металом немає.

Мікроструктура багатшарового металу шва без термічної обробки - аустеніт з дисперсними карбідами, це пов'язано з високим вмістом хрому і марганцю, розташованих всередині зерен, які мають витягнуту форму, що говорить про спрямоване відведення тепла в процесі кристалізації. У середині деяких зерен видно лінії ковзання, що є наслідком деформації при виникненні внутрішніх напружень. Мартенсит має рейкову конструкцію партії, що обумовлено низьким вмістом вуглецю в металі зварного шва. У середній частині наплавлений метал має аустенітно-мартенситну структуру, що обумовлено меншим вмістом вищезгаданих речовин. Ближче до зони плавлення спостерігається переважно мартенситна структура, причина цього - ще менший вміст легуючих речовин за рахунок більшого змішування з основним металом, на якому проводилося наплавлення (09Г2С). Основний метал має феритно-перлітну структуру. У наплавленому металі відсутні мікротріщини. Плавлення з основним металом добре, дефектів не виявлено (рис 1, рис 2).

Розподіл твердості по глибині поперечних ділянок в металі шва порошковим дротом ПП-Нп-Х20Ni10Cr6 підтверджує розглянутий раніше характер зміни фазового складу і мікроструктури. Верхній шар наплавленого металу має низьку твердість 21 HRC, що відповідає аустенітній структурі. Зі збільшенням глибини наплавлення твердість зростає до 24 HRC в середніх шарах наплавленого металу, які мають мартенситно-аустенітну структуру. У першому шарі твердість зростає до 30 HRC, що відповідає мартенситно-аустенітній структурі. Зона плавлення характеризується низькою твердістю 15 HRC, що відповідає феритно-перлітній структурі.

Метал, наплавлений порошковим дротом ПП-Нп-10X19Ni3Cr10AT (0,15% Н), має більш високу твердість на відміну від металу, отриманого шляхом наплавлення порошковим дротом ПП-Нп-Х20Ni10Cr6, це обумовлено більш високим вмістом карбонітридів.

Верхній шар - 24 HRC, середній шар - 28 HRC, перший шар - 34 HRC. Зона злиття - 14 HRC. Таким чином, за допомогою параметрів наплавлення можна регулювати хімічний склад наплавленого металу, структуру, ступінь метастабільності, це дозволяє регулювати експлуатаційні характеристики одержуваного шару.

При наплавленні порошковими електродами ПП-Нп-10X19Ni3Cr10 і ПП-Нп-10X19Ni3Cr10AT (0,075% Н) характер зміни мікроструктури аналогічний зварюванню металу порошковим дротом ПП-Нп-10X19Ni3Cr10AT (0,15% Н).

Машинобудування і зварювальне виробництво

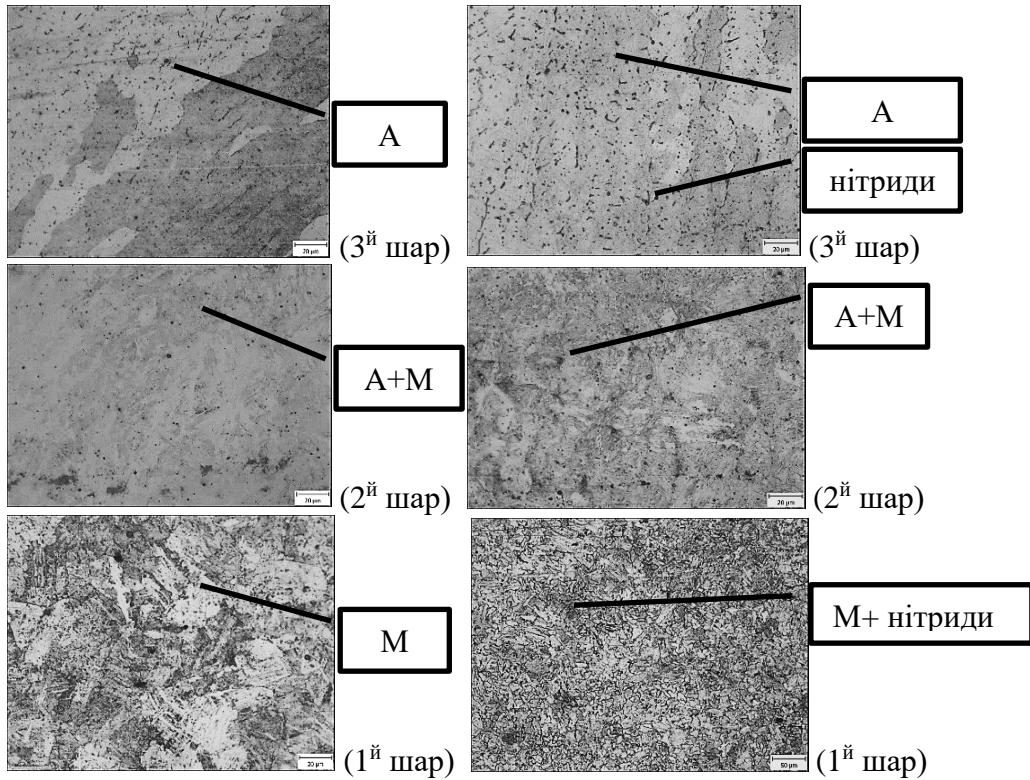


Рисунок 2 – Мікроструктура металу в наплавленому стані (панорамна зйомка), наплавлення ПП-Нп-Х20Н10Г6 (ліворуч), ПП-Нп-10Х19Н3Г10АТ (праворуч), х500

Розроблені порошкові дроти, а також порошкові дроти порошкові ПП-Нп-Х20Н10Г6 піддавалися випробуванню на холодну пластичну деформацію в поверхневому шарі з метою визначення здатності металу шва до зміцнення (рис 3).



Рисунок 3 – Результати зміни твердості наплавлення випробуваними порошковими дротами до та після ХПД

Машинобудування і зварювальне виробництво

Отримані результати випробувань на холодну пластичну деформацію підтверджують здатність випробуваних наплавочних матеріалів до ефекту деформаційного мартенситного перетворення. Добре видно, що розроблений порошковий дріт ПП-Нп-10X19НЗГ10АТ з вмістом азоту 0,15% має високі показники зміцнення в процесі навантаження, це пов'язано з утворенням в металі шва поверхневого шару карбонітридів хрому, титану, алюмінію і ванадію, а також метастабільного аустеніту, який в процесі навантаження піддається деформаційному мартенситному перетворенню.

З метою визначення зносостійкості наплавленого металу були проведені випробування на абразивне (ϵ_a), ударно-абразивне (ϵ_{y-a}) і сухе тертя (ϵ). Результати комплексних випробувань зварного металу без термічної обробки на зносостійкість наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Зносостійкість і твердість металу шва без термічної обробки

Марка НМ	HRC	A,%	ϵ	$\Delta M, \%$	ϵ_a	$\Delta M_a, \%$	ϵ_{y-a}	$\Delta M_{y-a}, \%$
X20H10Г6(Еталон)	23	100	1	0	1	4	1	7
10X19H4Г10	24	100	1,2	9	1,32	13	1,46	17
10X19HЗГ10АТ(N0,075%)	27	100	1,4	12	1,62	17	1,76	21
10X19HЗГ10АТ(N0,15%)	29	100	1,6	14	1,71	19	1,93	24

Таким чином, розглянуті марки зварних металів показали різну зносостійкість, в залежності від кількості, що утворюється при навантаженнях в поверхневому шарі карбонітридів. Зносостійкість самого наплавленого металу залежить від хімічного складу, отриманого в результаті зміцнення легуючими елементами. Додаткове додавання азоту в метал шва до 0,15% і зниження вмісту нікелю до 3% дозволяє підвищити зносостійкість металу шва і контролювати експлуатаційні властивості. Низький вміст нікелю виправдано з метою запобігання утворенню фериту за рахунок високого вмісту Cr.

Головною особливістю розроблюваного матеріалу є самозміцнення поверхневого шару наплавленого металу за рахунок енергії руйнування, більша частина якої витрачається на деформаційне мартенситне перетворення, тим самим менша її частина залишається на руйнування поверхні.

ВИСНОВКИ

В роботі вирішено науково-технічне завдання по розробці наплавлювальних матеріалів на основі зниження вмісту гостродефіцитних легуючих елементів, за рахунок розробки порошкового дроту. З використанням методів математичного моделювання, на підставі літературних даних, побудована експериментально-статистична модель повною мірою, яка описує очікуємі показники твердості і зносостійкості наплавленого металу порошковими дротами, що відповідають високими експлуатаційними показниками, та дозволяє прогнозувати характеристики наплавленого металу після відпуску при температурі 650°C. Визначено оптимальний склад розробленого порошкового дроту ПП-Нп-10X19НЗГ10АТ замість порошкового дроту ПП-Нп-X20H10Г6, що дозволяє знизити вміст нікелю в наплавленому металі з 10% до 3% збільшивши вміст марганцю до 10% і азоту до 0,15% і підвищити ступінь зміцнювання і зносостійкості при сухому терті ковзанні в 1,6 рази, абразивному зносі в 1,71 рази та ударно-абразивному зносі в 1,93 рази.

Список використаних джерел

1. Чигарев В.В. Повышение износостойкости хромомарганцевого наплавленного металла / В.В. Чигарев, А.М. Зусин, В.Л. Малинов // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. Серія: Обробка матеріалів у машинобудуванні. Миколаїв: НУК, 2014. №4. с.70-73.
2. Чигарев В.В. Влияние содержания углерода на износостойкость и свойства наплавленного металла, содержащего метастабильный аустенит / В.В. Чигарев, В.Л. Малинов, А.М. Зусин // Сварочное производство: научно-технический и производственный журнал. – М.: Изд. центр. «Технология машиностроения», 2015. – №8. – С.31-34.
3. Малинов Л.С. Разработка и исследование новой порошковой ленты для наплавки колес мостовых кранов / Л.С. Малинов // Сварочное производство, 1995. №10, с. 22-25.
4. Литвиненко В.Б. Исследование влияния азота и нитридообразующих элементов на структуру и износостойкость наплавленного металла / В.Б. Литвиненко // 8-я Российская конф. молод. научн. сотр. и аспиранта. «Физико-химия и технология неорг. материалов», Москва, 1518 ноября 2011. М., 2011. с. 599-600.
5. Петров Г.Л. Сварочные материалы / Г.Л. Петров // Л.: Машиностроение, 1972. 280 с.

Zusin A.M.

THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF THE POWDER WIRE ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE METASTABLE METAL WITH NITROGEN

Increasing the strength of metal and improving its quality is one of the main problems in the repair and strengthening of parts of machines and structures, since its solution will not only increase reliability and durability, but also significantly reduce metal consumption.

Among the many ways to increase the strength of structural steels, alloying plays an important role. Strengthening can be caused by many factors, in particular, the creation of dispersed carbide and nitride phases in the structure. In this regard, in recent years, research has been conducted on the strengthening of structural steels due to the release of nitrides of alloying elements in dispersed form.

Modern requirements for the quality of products and structures, which are being restored, determined the tendency of the nomenclature of surfacing materials towards an increase in the share of alloying in the total volume of production. In recent years, interest in floating materials with increased nitrogen content, especially corrosion-resistant ones, has grown significantly.

One of the main advantages of these floating materials, compared to traditional ones, is their high strength. At the same time, since nitrogen has a strong ability to stabilize austenite, nitrogen alloying allows to reduce the content of austenite-forming elements such as nickel and manganese in stainless steels by one and a half to two times, or to exclude these elements from the composition altogether. Adding nitrogen to the composition of floating materials allows solving not only the issue of increasing their strength and saving alloying elements, but also solving environmental problems. For example, with a complete (or partial) rejection of alloying steels with manganese and replacing it with nitrogen, there is an opportunity to avoid damage to the ecosystem and human health associated with emissions of toxic manganese oxides into the atmosphere during surfacing. In addition, the nitrogen contained in the air is cheap, and the process of obtaining it from the atmosphere does not require the destruction of the surface and subsoil of the earth, which is inevitable in the extraction of ores.

Keywords: powder wire, austenite, nitrogen, wear resistance, alloying, arc welding, carbides, nitrides.

Стаття надійшла 15.09.2023 р.

Щетинін С.В., Щетиніна В.І., Воленко І.В., Десятський С.П.

ОДНОСТОРОННЄ ВИСОКОШВИДКІСНЕ ЗВАРЮВАННЯ СКЛАДОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ

При односторонньому зварюванні на флюсовій подушці на рідкий метал зварювальної ванни діють спрямовані вниз тиск дуги P_D , тиск електродного металу P_E , магнітний тиск P_{EM} , гідродинамічний тиск рідкого металу P_G , тиск флюсу P_F і спрямовані вгору тиск поверхневого натягу $P_{ПН}$ та тиск флюсової подушки $P_{ФП}$. Якісне формування зворотного валика при односторонньому зварюванні на флюсовій подушці забезпечується при рівновазі тисків, діючих на рідкий метал ванни. Рівновага в зварювальній ванні та формування швів при односторонньому зварюванні в значній мірі визначаються тиском дуги, яка передає металу теплову та кінетичну енергію, під дією якої метал розплавляється і витікає з зварювальної ванни, виникають мікроспотворення кристалічної решітки, мікронапруги, щільність дислокацій, мікроструктура стає крупнозернистою та знижується ударна в'язкість зварних з'єднань. Тиск зварювальної дуги прямо пропорційний квадрату струму та обернено пропорційний площі, по якій переміщується активна пляма.

Для зниження тиску дуги та підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом, який складається з дроту та U-подібної стрічки. Дуга переміщується торцем електрода в поздовжньому та поперечному напрямках, площа, по якій переміщується дуга, зростає, тиск дуги зменшується в 4 рази. При наплавленні перпендикулярною стрічкою дуга переміщується перпендикулярно зварювальної ванни. Швидкість зварювання 15 м/г і кристалізації рідкого металу зварювальної ванни мінімальна, 0,004 м/с, енергія, розмір зерна, міжатомна відстань зростають, зменшуються міжатомні зв'язки та ударна в'язкість зварних з'єднань.

При зварюванні дротом дуга концентрується на торці електрода, ефективність процесу, швидкість зварювання підвищується до 40 м/г і кристалізації рідкого металу ванни до 0,011 м/с, енергія зменшується, що приводить до зростання ударної в'язкості зварних з'єднань. Найбільш ефективно зростає ударна в'язкість зварних з'єднань при односторонньому високошвидкісному зварюванні складовим електродом, з швидкістю зварювання 75 м/г, швидкість кристалізації рідкого металу ванни зростає до 0,021 м/с, енергія зменшується, здрібнюється мікроструктура, скорочується міжатомна відстань і підвищуються міжатомні зв'язки. Зі зростанням швидкості зварювання і кристалізації рідкого металу зварювальної ванни зростає якість формування зворотного шва на флюсовій подушці, здрібнюється мікроструктура, скорочується міжатомна відстань, підвищуються міжатомні зв'язки та ударна в'язкість зварних з'єднань.

Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом на флюсовій подушці, що забезпечує зниження тиску зварювальної дуги, якісне формування швів, незалежно від зазору, зростання швидкості зварювання та кристалізації, здрібнення мікроструктури, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків і ударної в'язкості зварних з'єднань в 2 – 2,5 рази.

Ключові слова: одностороннє високошвидкісне зварювання складовим електродом, енергія, рівновага тисків, тиск дуги, швидкість зварювання та кристалізації рідкого металу ванни, здрібнення мікроструктури, ударна в'язкість зварних з'єднань.

Постановка проблеми. Одностороннє високошвидкісне зварювання, обмежено витіканням рідкого металу зварювальної ванни та порушенням формування швів, що

Машинобудування і зварювальне виробництво

призводить до зниження ударної в'язкості зварних з'єднань. Тому, розробка одностороннього високошвидкісного зварювання, що забезпечує підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань, є важливою науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільше розповсюдження одностороннє зварювання має в Японії при зварюванні корпусів судов. Застосування одностороннього зварювання обмежене порушенням формування зворотного валика [1,2] в результаті пропалів та витікання рідкого металу зі зварювальної ванни. В даний час якісне формування зварних швів при односторонньому зварюванні забезпечується за рахунок утримання рідкого металу зварювальної ванни спеціальними підкладками, флюсами, мідними та мідно-флюсовими подушками, поперечним магнітним полем.

Більш ефективно поліпшення формування швів при односторонньому зварюванні за рахунок зниження тиску дуги і спрямованого вниз магнітного тиску, під дією яких рідкий метал витікає з ванни. Даних щодо регулювання формування швів при односторонньому зварюванні за рахунок форми електроду та тиску дуги недостатньо [1–9].

Мета досліджень. Встановлення тисків, що діють на метал зварювальної ванни, рівноваги та розробка одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом, що забезпечує підвищення якості формування швів і ударної в'язкості зварних з'єднань.

Основний матеріал дослідження. При електродуговому зварюванні електрична дуга передає основному металу та електроду теплову та кінетичну енергію, під дією яких електроди розплавляються і утворюється зварювальна ванна.

При односторонньому зварюванні на флюсовій подушці на рідкий метал зварювальної ванни діють спрямовані вниз тиск дуги P_D , тиск електродного металу P_E , магнітний тиск P_{EM} , гідродинамічний тиск рідкого металу P_G , тиск флюсу P_F і спрямовані вгору тиск поверхневого натягу $P_{ПН}$ та тиск флюсової подушки $P_{ФП}$.

Якісне формування зворотного валика при односторонньому зварюванні на флюсовій подушці забезпечується при рівновазі тисків, діючих на рідкий метал зварювальної ванни:

$$P_D + P_E + P_{EM} + P_G + P_F = P_{ПН} + P_{ФП}, \quad (1)$$

Представлена модель процесу одностороннього високошвидкісного зварювання отримана на основі експериментальних даних оплавлення складового електрода при зварюванні труб для газо– і нафтопровідних магістралей.

Рівновага в зварювальній ванні та формування швів при односторонньому зварюванні в значній мірі визначаються тиском дуги, яка передає металу теплову та кінетичну енергію, під дією якої метал розплавляється і витікає з зварювальної ванни, виникають мікростворення кристалічної решітки, мікронапруги, щільність дислокацій, мікроструктура стає крупнозернистою та знижується ударна в'язкість зварних з'єднань.

При односторонньому зварюванні дуга повністю занурюється в ванну і основний метал, розплавлення якого забезпечується за рахунок обертання дуги торцем електрода і передній частині кратера зварювальної ванни, під дією магнітного поля зварювального струму.

Тиск зварювальної дуги прямо пропорційний квадрату струму та обернено пропорційний площі, по якій переміщується активна пляма:

$$P_{\max} = 10^{-7} \frac{I^2}{\pi R_A^2}, \text{ Па} \quad (2)$$

де,

I – зварювальний струм, А;

πR_A^2 – площа, якою переміщується активна пляма дуги, м².

Машинобудування і зварювальне виробництво

Зі зростанням площі, якою обертається активна пляма, тиск зварювальної дуги зменшується.

Для зниження тиску дуги та підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом, який складається з дроту та U-подібної стрічки. Дуга переміщується торцем електрода в поздовжньому та перпендикулярному напрямках, площа, якою переміщується дуга, зростає, тиск дуги зменшується в 4 рази.

Як встановлено, з підвищенням швидкості зварювання пропорційно зростає швидкість кристалізації рідкого металу ванни та зони термічного впливу (рис.1), зерна не встигають вирости та мікроструктура здрібнюється $V_K = V_{CB} \cos \alpha$.

Швидкість кристалізації рідкого металу зварювальної ванни визначали при наплавленні на пластини, розміром $(30 \times 300 \times 400) \cdot 10^{-3}$ м стрічкою, розміром $(0,5 \times 45) \cdot 10^{-3}$ м, розташованої в поздовжньому та перпендикулярному напрямках, дротом діаметром $4 \cdot 10^{-3}$ м і складовим електродом. Наплавлення проводили під керамічним флюсом на режимах: дротяним електродом – при струмі $I = 650 - 750$ А, напрузі на дузі $U = 31 - 33$ В і швидкості наплавлення $V_H = (0,56, 0,83 \text{ і } 1,1) \cdot 10^{-2}$ м/с, поздовжньою та перпендикулярною стрічками – $I = 450 - 550$ А, $U = 29 - 31$ В, $V_H = (0,33, 0,5 \text{ і } 0,67) \cdot 10^{-2}$ м/с, складовим електродом – $I = 1950 - 2050$ А, $U = 29 - 31$ В, $V_H = (1,4, 2,1, 2,8) \cdot 10^{-2}$ м/с. Погонна енергія для кожного способу наплавлення змінювалась в межах $q_H/V = 1,8; 2,7 \text{ і } 3,6$ МДж/м.

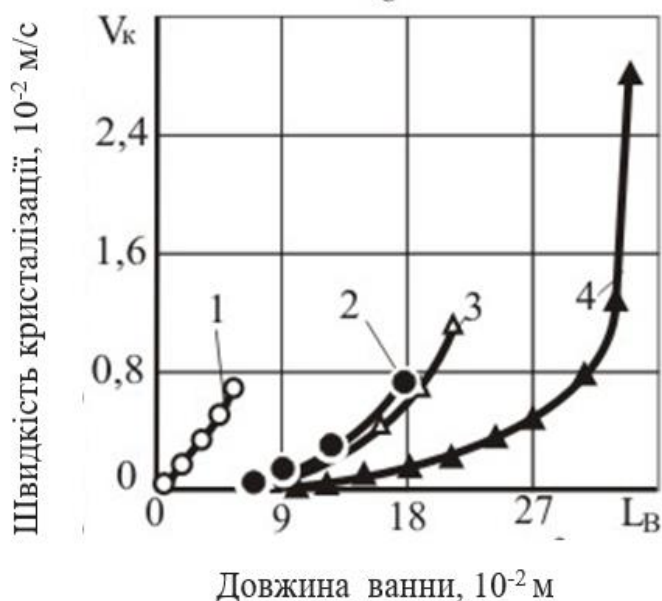


Рисунок 1 – Закономірність воєдї форми електрода на швидкість кристалізації рідкого металу зварювальної ванни де, 1 – перпендикулярна стрічка; 2 – поздовжня стрічка; 3 –дріт; 4 – складовий електрод

Форма електрода є головним параметром режиму зварювання. В залежності від форми електрода, дуга, під дією електромагнітного поля зварювального струму, згідно закону

Машинобудування і зварювальне виробництво

найменшого опору, обертається торцем електроду. Дуга прагне горіти при найменшій напрузі, тому обертається торцем електроду.

При наплавленні перпендикулярною стрічкою дуга переміщується перпендикулярно зварювальної ванни. Час горіння дуги у бокових кромках зменшується, що призводить до зниження тепловкладення та утворення підрізів, тому швидкість наплавлення перпендикулярною стрічкою обмежена, і наплавлення проводиться з швидкістю 15 м/г. Швидкість кристалізації рідкого металу зварювальної ванни при наплавленні перпендикулярною стрічкою мінімальна 0,004 м/с, так як зростає максимальна енергія, розмір зерна, міжатомна відстань і зменшуються міжатомні зв'язки.

Одночасно, зменшення швидкості наплавлення призводить до збільшення тепловкладення, мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг і зварювальних напруг. Зменшення міжатомних зв'язків і підвищення зварювальних напруг призводить до зменшення ударної в'язкості зварних з'єднань.

При зварюванні дротом дуга концентрується на торці електроду, ефективність процесу, швидкість зварювання підвищується до 40 м/г і кристалізації до 0,011 м/с, енергія зменшується, міжатомна відстань скорочується, межатомні зв'язки та ударна в'язкість зварних з'єднань зростають, що призводить до зростання ударної в'язкості зварних з'єднань.

Найбільш ефективно зростає ударна в'язкість зварних з'єднань при односторонньому високошвидкісному зварюванні складовим електродом, з швидкістю 75 м/г, пропорційно зростає до 0,021 м/с швидкість кристалізації рідкого металу зварювальної ванни, енергія зменшується, здрібнюється мікроструктура, скорочується міжатомна відстань і підвищуються міжатомні зв'язки.

Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом на флюсовій подушці, що забезпечує зниження тиску зварювальної дуги, якісне формування швів, незалежно від зазору, зростання швидкості зварювання та кристалізації, здрібнення мікроструктури, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків і ударної в'язкості зварних з'єднань в 2 – 2,5 рази.

При односторонньому високошвидкісному зварюванні складовим електродом, внаслідок обертання дуги торцем U-подібної стрічки, збільшується площа, знижується тиск дуги, що забезпечує якісне формування зворотнього валика на флюсовій подушці, незалежно від зазору.

Встановленні закономірності і розроблений спосіб одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом можуть бути використані при односторонньому високошвидкісному зварюванні труб для газо- і нафтопровідних магістралей.

Подальші дослідження в даному напрямку є перспективними, так як дозволять розробити нові процеси одностороннього високошвидкісного зварювання, які забезпечують підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань.

ВИСНОВКИ

При односторонньому зварюванні на флюсовій подушці на рідкий метал зварювальної ванни діють спрямовані вниз тиск дуги P_d , тиск електродного металу P_E , магнітний тиск P_{EM} , гідродинамічний тиск рідкого металу P_r , тиск флюсу P_f і спрямовані вгору тиск поверхневого натягу $P_{пн}$ та тиск флюсової подушки $P_{фп}$. Якісне формування зворотнього валика при односторонньому зварюванні на флюсовій подушці забезпечується при рівновазі тисків, діючих на рідкий метал ванни.

Рівновага в зварювальній ванні та формування швів при односторонньому зварюванні в значній мірі визначаються тиском дуги, яка передає металу теплову та кінетичну енергію, під дією якої метал розплавляється і витікає зі зварювальної ванни, виникають мікроспотворення

Машинобудування і зварювальне виробництво

кристалічної решітки, мікронапруги, щільність дислокацій, мікроструктура стає крупнозернистою та знижується ударна в'язкість зварних з'єднань.

Тиск зварювальної дуги прямо пропорційний квадрату струму та обернено пропорційний площі, якою переміщується активна пляма. Для зниження тиску дуги та підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом, який складається з дроту та U-подібної стрічки. Дуга переміщується торцем електрода в поздовжньому та перпендикулярному напрямках, площа, якою переміщується дуга, зростає, тиск дуги зменшується в 4 рази.

При наплавленні перпендикулярною стрічкою дуга переміщується перпендикулярно зварювальній ванні. Швидкість наплавлення 15 м/г і кристалізації рідкого металу зварювальної ванни мінімальна 0,004 м/с, енергія, розмір зерна, міжатомна відстань зростають, зменшуються міжатомні зв'язки та ударна в'язкість зварних з'єднань. При зварюванні дротом дуга концентрується на торці електрода, ефективність процесу, швидкість зварювання підвищується до 40 м/г і кристалізації до 0,011 м/с, енергія, міжатомна відстань зменшуються, міжатомні зв'язки та ударна в'язкість зварних з'єднань зростають.

Найбільш ефективно зростає ударна в'язкість зварних з'єднань при односторонньому високошвидкісному зварюванні складовим електродом, з швидкістю зварювання 75 м/г, швидкість кристалізації рідкого металу ванни зростає до 0,021 м/с, енергія зменшується, здрібнюється мікроструктура, скорочується міжатомна відстань і підвищуються міжатомні зв'язки.

Зі зростанням швидкості зварювання і кристалізації рідкого металу зварювальної ванни, енергія зменшується, зростає якість формування зворотного шва на флюсовій подушці, здрібнюється мікроструктура, скорочується міжатомна відстань, підвищуються міжатомні зв'язки та ударна в'язкість зварних з'єднань.

Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом на флюсовій подушці, що забезпечує зниження тиску зварювальної дуги, якісне формування швів, незалежно від зазору, зростання швидкості зварювання та кристалізації, здрібнення мікроструктури, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків і ударної в'язкості зварних з'єднань в 2 – 2,5 рази.

Список використаних джерел

1. Фуджита Ю. Технологія зварювання в сучасній промисловості Японії / Ю. Фуджита, Ю. Наканісі, Н. Юріока // Автоматичне зварювання. - 2008. - Листопад. - С.48 - 54.
2. Бернадський В.М. Японія визначає пріоритети у зварюванні на XXI століття / В.М. Бернадський // Автоматичне зварювання. - 2002. - №3. - С.46.
3. Веселков В.Д. Одностороннє зварювання стикових з'єднань сталевих корпусних конструкцій / В.Д.Веселков.-Л.: Суднобудування, 1984. - 198с.
4. Акулов А. І. Утримання рідкого металу зварювальної ванни поперечним магнітним полем/ А.І. Акулов, А.М. Рибачук // Зварювальне виробництво.-1972.- № 2. - С. 3 - 4.
5. Черниш В.П. Зварювання з електромагнітним перемішуванням/ В.П. Черниш, В.Д.Кузнєцов, А.Н.Брисман, Г.М.Шеленков.-К.: Техніка, 1983. - 127с.
6. Рижов Р.М. Магнітне керування якістю зварних з'єднань / Р.М. Рижов, В.Д. Ковалів. - К.: Екотехнологія, 2010. - 288 с.
7. Черниш В.П. Залежність параметрів керуючого магнітного впливу від енерговкладання встик при дуговому зварюванні / В.П. Черниш, Р.М. Рижов // Автоматичне зварювання. - 1998. - №5. - С.49 -51.

8 Рижов Р.Н Застосування шестиполусної електромагнітної системи для управління параметрами формування швів при зварюванні електродом, що не плавиться / Р.М. Рижов, В.Д. Кузнєцов, А.В. Малишев // Автоматичне зварювання. - 2004. - №2. - С.45 -49.

9. Грановський В.Л. Електричний струм у газі. Встановлений струм / В. Л. Грановський. - М.: Наука, 1971. - 543с.

Shchetynin S.V., Shchetynina V.I., Volenko I.V. , Desyatskyi S.P.

THE ONE-SIDED HIGH-SPEED COMPOSITE ELECTRODE WELDING

At the one-sided welding on a flux pad, on the weld pool liquid metal is subject to the downward arc pressure P_D , the electrode metal pressure P_E , the magnetic pressure P_{EM} , the liquid metal hydrodynamic pressure P_G , the flux pressure R_F and the upward surface tension pressure P_{ST} and the flux pressure R_{FP} .

High-quality a reverse bead formation during one-sided welding on a flux pad is ensured by equilibrium of pressures acting on the pool liquid metal.

Equilibrium in the weld pool and the beads formation during one-sided welding are largely determined by the arc pressure, which transfers thermal and kinetic energy to the metal, under the influence of which the metal melts and flows out of the weld pool, the crystal lattice microdistortions, microstresses, dislocation density occur, the microstructure becomes coarse-grained, and the welded joints toughness decreases.

The welding arc pressure is directly proportional to the current square and inversely proportional to the area over which the active spot moves. To reduce arc pressure and increase the welded joints toughness, a one-sided high-speed composite electrode welding process consisting of wire and U-shaped tape has been developed. The arc moves along the electrode end in the longitudinal and perpendicular directions, the area over which the arc moves increases, and the arc pressure decreases by 4 times.

At the perpendicular tape surfacing, arc moves perpendicular to the weld pool. The welding speed 15 m/h, weld pool liquid metal crystallization speed is minimal, 0,004 m/s, energy, grain size, interatomic distance an increases, interatomic bonds and welded joints toughness a decreases. At the wire welding, the arc is concentrated at the end electrode, the process efficiency, the welding speed 40 m/h and the pool liquid metal the crystallization increases to 0,011 m/s, energy, interatomic distance decreases, interatomic bonds and welded joints toughness increases.

The welded joints toughness most effectively increases during one-sided high-speed welding a composite electrode with a welding 75 m/h, the pool liquid metal crystallization speed to 0,021 m/s, energy decreases, the microstructure is refined, the interatomic distance is reduced and interatomic bonds are increased.

With increasing welding speed and the weld pool liquid metal crystallization energy decrease, the back beads formation on the flux pad quality improves, the microstructure is refined, the interatomic distance is reduced, interatomic bonds and welded joints toughness increase.

The one-sided high-speed composite electrode welding on a flux pad process, which ensures the welding arc pressure a decrease, high-quality beads gap regardless formation, the speed welding and crystallization an increase, the microstructure refinement, the interatomic distance a reduction, interatomic bonds and the welded joints toughness an increases by 2 – 2,5 times, has been developed.

Keywords: *one-sided high-speed composite electrode welding, energy, pressures equilibrium, arc pressure, welding speed and the weld pool liquid metal crystallization, microstructure refinement, welded joints toughness.*

Стаття надійшла 20.10.2023 р.

MODERN CONCEPTS OF IMPROVING THE TOOL RESISTANCE OF THE TOOL DURING DEVELOPMENT

It has been established that increasing the vibration resistance of cutting processing technological systems is one of the priority areas of intellectual activity in the field of technologies and technical methods of equipping the cutting processing process. It is noted that the level of intensity of self-oscillations of elastic technological systems significantly affects the stability of the tool, the productivity of processing and the quality of the processed surface of products (waviness, roughness, slander, residual stresses). For each technological process, there is a certain optimal level of oscillations, at which the maximum stability of the tool and the high quality of the machined surface are observed. Due to the control of the intensity of self-oscillations, it is possible to achieve a tenfold increase in the stability of the tool, a two- to fivefold increase in productivity and a significant improvement in the operational characteristics and quality of the machined surface. The impact of the design parameters of reamers with variable tooth inclination angles on vibration resistance, methods of improving the construction of reamers with the aim of increasing vibration resistance are analyzed. An improvement of the technological method of manufacturing reamers, which ensures a constant width of the rear surface along the cutting edge, is proposed. The principle of sequential execution of helical teeth with alternating their inclination in the proposed version, compared to their placement with an uneven angular step, provides significant advantages in reducing vibrations during processing, primarily due to the greater universality of distribution to different standard sizes of reamers and suitability for use in a wide range of modes. It was established that the maximum value of the difference in inclination of the teeth is limited by the convergence of two adjacent teeth at the end of the calibration part, depending on the length of the working part of the reamer, as well as the diameter, number and angle of inclination of the reamer teeth. A significant increase - by 1.5-2 times - was noted in the stability and reliability of sweeps with a variable inclination of the teeth.

Keywords: vibration, reamer, multi-bladed tool, cutting edge, oscillations, disturbance force tooth inclination, hole reaming.

Problem statement. Among the variety of ways to overcome vibrations when turning holes, the most attractive is the use of tools with reduced vibration activity. The rest of the currently existing methods, despite their originality and technical perfection of their implementation, in most cases have extremely limited versatility in application and require additional resources and time for technical preparation of production. Since most of the reamers used are tools for specialized purposes, the maximum adaptation of their design to specific application conditions justifies the feasibility of this particular method of solving the task of ensuring stable vibration-free operation — due to the concentration of the anti-vibration effect in the tool itself by an appropriate combination of its design and geometric parameters.

Analysis of recent research and publications. The presence of periodic oscillations that accompany the process of metal cutting in all types of processing and have a significant impact on this process has attracted the attention of researchers since the very beginning of the development of the science of metal cutting. Almost all machine vibration studies are based to one degree or another on the classical provisions of the theory of oscillations and stability of motion, elements of the theory of automatic regulation and materials of experimental research of machine tools. It should be noted that although until now there is no consensus on the issue of the occurrence and development of self-

oscillations during cutting, the majority of scientific schools and scientists tend to consider the causes of self-oscillations of the elements of the technological system to be caused by not one, but several physical phenomena that can act simultaneously or separately from these phenomena can dominate. It depends on the specific conditions and state of the elastic system of the machine tool - device - tool - part (SID), first of all, the stiffness and damping ability of the system elements, the strength and plasticity of the processed material, the type of processing, cutting modes, etc. [2]. The level of intensity of self-oscillations of elastic technological systems significantly affects the stability of the tool, processing productivity and the quality of the processed surface of products (waviness, roughness, slander, residual stresses). For each technological process, there is a certain optimal level of oscillations, at which the maximum stability of the tool and the high quality of the machined surface are observed. By controlling the level of self-oscillation intensity, it is possible to achieve a tenfold increase in tool stability, a two- to fivefold increase in productivity, and a significant improvement in operational characteristics and the quality of the machined surface [2].

Goal (task) research. Improvement of the technique of designing tools with alternating inclination of the teeth.

Main text. Overview of ways to prevent vibrations during turning machining

To increase the dynamic stability of machining operations, a large number of advanced tools, special devices and equipment have been developed and are currently under development and research. The use of such tools, devices and equipment with increased coefficients η_0 and C allows almost always to change the amplitude of oscillations in the desired direction and to bring it closer to the optimal value of A_{om} , i.e. successfully complete the process of controlling the intensity of self-oscillations and significantly increase productivity, stability of the tool and the quality of the processed surface of the products. Some examples of such tools, devices and equipment are described below.

Increasing the vibration resistance and productivity of metal-cutting tools can be achieved as a result of increasing their rigidity or, with even greater success, increasing their damping capacity.

The damping capacity of the tool can be increased by the so-called constructive damping, i.e. by increasing the resistance in the joints, in the places where the cutting plates are connected to the cutting block and the Block to the tool holder, as well as by active damping, i.e. by introducing special vibration dampening devices into the design of the tools .

The development of tools with active damping is also promising. Active damping is achieved through the use of disturbing devices with an additional energy source. The force of resistance (damping) is proportional to the speed of vibration, so it is advisable to apply an additional force proportional to the speed to the tool to increase the damping.

The intensity of self-oscillations of the technological system can be controlled by tools with adjustable stiffness.

Overview of reamer designs and prospects for improving their designs and use as part of technological systems to increase vibration resistance.

Purpose and types of sweeps . The reamer is designed for making precise holes. Depending on the technological requirements, with the help of reamers, holes can be obtained with an accuracy of 10 to 6 qualities for the roughness of the treated surface $Ra = (6.3-0.4)$. The reamer is used after preliminary processing of the holes with a countersink, boring cutter or drill, it can be used as a finishing or roughing tool. The correct operation of the reamer depends on the design and quality of its manufacture, operating conditions (cutting mode, cooling, size of allowance, quality of sharpening and sharpening of cutting edges).

Domestic manufacturers of cutting tools supply the market with reamers of the following types: cylindrical; conical (for instrumental , boiler (rivet) and other cones); stepped for processing holes of tolerance classes G6, H6, Js6, K6, G7, H7, Js7, K7, M7, N7, P7, E8, U8, F8, H8, D9, E9, F9, H9, H10, H11, as well as complete reamers No. 1...No. 6 for processing holes for proofing. The majority

of this assortment consists of reamers made of tool steels, which ensure the stability of the declared accuracy and quality indicators of the processed holes when they are processed with extremely low (6...8 m/min) cutting speeds. Such tools no longer correspond to the current state of metalworking technologies.

Leading foreign manufacturing companies, such as Sandvik Coromant, Kennametal, and Korean, Chinese and Israeli companies Korloy, ZCC, ISCAR, which are widely represented in Ukraine, have recently focused their efforts on the production and saturation of the market with reamers made of hard alloys. The use of reamers with a cutting part made of hard alloys, capable of processing at cutting speeds of more than 200 m/min, allows you to radically increase the productivity of reaming when implementing modern concepts of High Speed Cutting/Multi Task Cutting processing technology [3-8].

As an example, the characteristics of carbide reamers of the CoroReamer 435 series are given [3-8]. CoroReamer 435 is a series of universal high-performance reamers for processing a wide range of materials - steels, cast irons, non-ferrous metals. It provides tight hole tolerances and high surface quality due to the internal alignment of the MOR, the geometry of the cutting edge and the maximum uneven arrangement of the teeth. The maximally uneven arrangement of teeth implies a different angular pitch for all teeth without exception. With this step distribution, none of the teeth is located diametrically opposite the other, thanks to which the reamer forms holes with much smaller deviations from roundness than after processing with reamers of a cross-sectional design (Fig. 1).

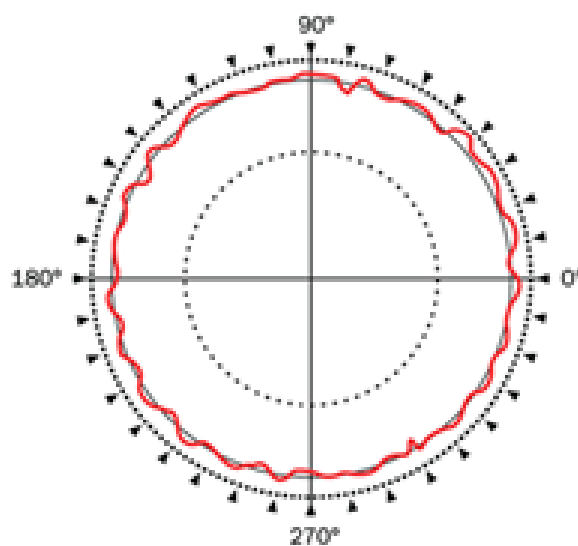


Fig. 1 – Circular pattern of a hole machined with CoroReamer™ 435 Sandvik Coromant reamer [3-8]

In addition to the specified effect, when using reamers with the most uneven angular arrangement of the teeth, a significant reduction in vibrations is observed when processing at high cutting speeds. A characteristic feature of the tools of this series is their adaptability to processing with an internal supply of MOR. The internal supply of MOR is carried out through nozzles (axial for reamers with straight chip grooves and lateral for reamers with helical chip grooves) ensures the supply of MOR exactly to the cutting zone, which contributes to increasing the stability of the tool and the efficiency of chip removal (Fig. 2).

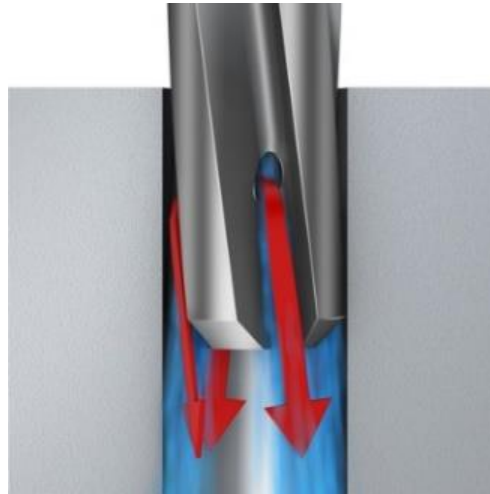


Fig. 2 – Hole machining with CoroReamer™ 435 Sandvik Coromant series reamers [3-8]

The above features make it attractive to use reamers of the considered design in various branches of mechanical engineering, such as general mechanical engineering, processing of molds and stamps, automotive, energy, aerospace industries, etc. [3-8].

Innovative developments of prefab constructions of reamers and modular instrument systems for reaming are gaining some popularity.

According to the design of the replaceable cutting part, assembled reamers are divided into reamers with replaceable heads and reamers with replaceable plates. For examples of similar designs in fig. 3 and 5 show, respectively, Kennametal's RMR™ Reamers, Kennametal's RHM E™ Interchangeable Reamer Modular Tooling System, and Korloy's IRT and IRB Series Prefabricated Adjustable Reamers with Mechanical Interchangeable Inserts.-



Fig. 3 – RHM E™ modular tooling system with interchangeable heads -for Kennametal turning

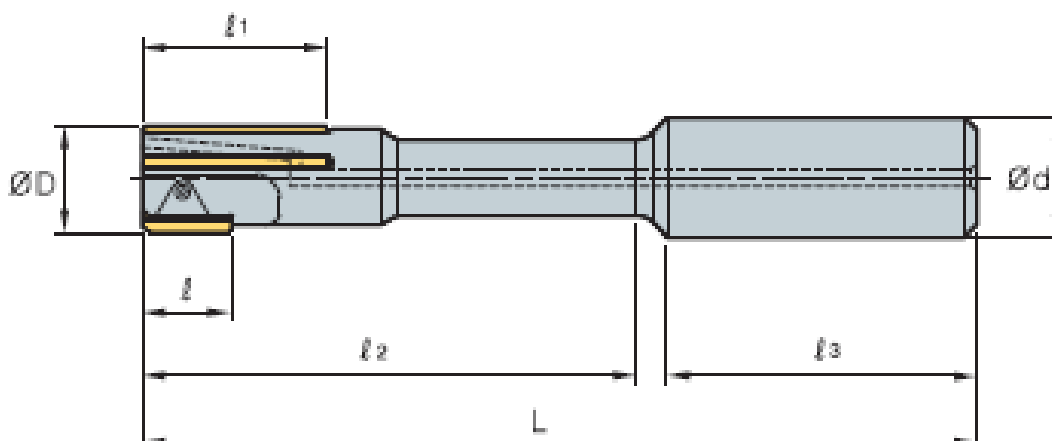


Fig. 4 – Assembled adjustable sweeper of the IRT and IRB series with mechanical attachment of replaceable plates of the company Korloy

Among the original design improvements of the working part of the reamers, it is worth mentioning the design of the so-called "pulling" reamer HBRE of the Korloy company. The main difference of this design is the large inclination of the helical teeth in the left direction — $\omega = 45^\circ$ — uncharacteristic of most scanners. According to the developer, this solution provides a significant increase in the accuracy and quality of processing of through holes with a diameter of 3 mm to 20 mm, favorable conditions for the removal of chips without the involvement of forced removal of its MOR, a more even distribution of the load on the cutting edges and an increase in the stability of the tool. The increased total length of the cutting edges in this case contributes to the improvement of dynamic characteristics and has a positive effect on the vibration resistance of the technological system.

Analysis of the influence of the design parameters of reamers with alternating inclination of helical teeth on vibration resistance and substantiation of the conceptual features of their structure

According to [1], a rational choice of cutting modes and, especially, cutting speed contributes to damping of oscillations during multi-blade processing; optimal sharpening of tool blades; arrangement of teeth, which achieves stability in the system; taking into account the directional characteristics of the oscillating properties of multi-blade tools.

One of the effective ways to reduce vibrations during reaming processing with constructive measures is the implementation of reamer teeth with their arrangement with an uneven angular step. However [1], the use of tools with an uneven tooth pitch is not universal and is largely determined by a combination of certain technological processing conditions and the state of the technological system. The ambiguity of the manifestation of the anti-vibration effect when reaming holes with reamers with different angular steps of the teeth arrangement is clearly manifested in the works of various authors, in which there is a certain discrepancy in the conclusions regarding the optimal values of the difference in the angular steps of the teeth. The use of additional damping elements to reduce vibration in the designs of an axial tool for processing holes is not always advisable primarily due to design limitations and, in addition, leads to its increase in price, a certain decrease in reliability, and an increase in the cost of time and resources for production preparation. Therefore, the improvement of sweeps in this direction can be expedient only under the conditions of sustainable production and under justified serial production.

Vibrations during multi-blade processing have their own specificity due to the fact that several blades are involved in cutting, so the dynamic system of the machine simultaneously receives a significant number of disturbing influences, different in magnitude and direction.

The back reaction of the elastic system is manifested on each individual blade in the form of

elastic movements and increases in cutting force. Stability in the system is achieved when the forces of disturbance and damping are equal, the magnitude of which largely depends on the design and current technical condition of the machine tool, the tool, the stiffness of their individual elements and connections, the speed of movement of the elements of the technological system, the degree of damping in them, as well as on the design parameters of the multi-blade tool: shape, size, number and mutual arrangement of teeth, geometric parameters of cutting blades, rigidity of the body of the tool and the frequency of its own oscillations.

To a large extent, dynamic processes in the technological system are influenced by variable technological factors — the mechanical properties of the surface layer of the processed workpiece and the uniformity of their distribution over the processed surface, the uniformity of the allowance to be cut, the actual dimensions of the tool used at the time of use, which in turn are caused by primary technological errors its manufacture, technological errors in the restoration of the tool and its current wear and tear. All of the above factors can be a source of fluctuations, while their ambiguity and randomness of occurrence affect the magnitude and direction of disturbing forces. Reduction of tool vibrations can in principle be achieved by controlling the cutting modes in the machining process when using machines with stepless adjustment with adaptive CNC systems. However, with regard to reaming, as with other types of hole processing with an axial multi-blade tool, this method has not become widespread today due to the complexity of technical implementation and limited application, primarily due to the fact that it allows you to control the magnitude and direction of the vector of disturbing forces.

The use of reamers with alternating inclination of helical teeth allows to increase the vibration resistance of the reaming process due to the large angle of inclination of the teeth ($\omega \approx 30^\circ$) and the difference in the angles of inclination of adjacent teeth. At the same time, the uniform arrangement of the teeth on the end of the reamer (section A—A in fig. 5) ensures the constancy of the section of the sheared layer, which eliminates one of the main causes of the disturbance force, and the large angle of inclination of the teeth increases the damping of the tool from the side of the calibration part (section C—C in fig. 5).

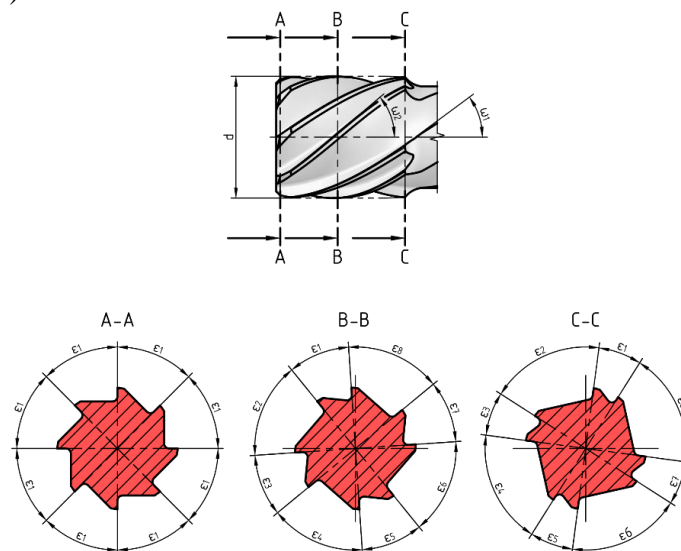


Fig. 5 – Reamers with different inclination of the teeth

The change in the value of the central angle as it moves away from the end of the reamer (sections B—B, C—C in Fig. 5) ensures the manifestation of the effect of the unevenness of the angular steps, which vary from 0° to $6-8^\circ$; which is explained by the provision of self-intersection of

waves that are formed by teeth with a constant angle of inclination of the teeth and the phase shift of these waves. At the same time, it is noted that the greater the angle of inclination of the sweep teeth, the smaller the difference in the inclination of adjacent teeth ensures vibration-free operation.

The cutting edges of the reamer blades of the considered design are symmetrical curves of different inclinations ($\omega = 40^\circ \pm 4^\circ \dots 6^\circ$), which provide favorable working conditions for the teeth when the reamer is withdrawn from the treated hole.

It was established that the maximum value of the difference in the inclination of the teeth $\Delta \omega_{max}$ is limited by the convergence of two adjacent teeth at the end of the calibration part depending on the length of the working part of the reamer l_p , as well as the diameter d , the number z and the angle of inclination ω of the reamer teeth.

The limitation of the angle of inclination difference $\Delta \omega$ to no more than 8° can be explained by ensuring the vibration-free operation of reamers at $\Delta \omega \leq 6^\circ$, as well as by reducing the penetration of MOR into the chip grooves when adjacent teeth converge with a large value of $\Delta \omega$ over 8° and the technological difficulties associated with chip groove machining between these teeth.

The principle of sequential execution of helical teeth with alternating their inclination in the proposed version, in comparison with their placement with an uneven angular step, provides significant advantages in terms of reducing vibrations during processing, primarily due to greater versatility in spreading to different standard sizes of reamers and in suitability for use in a wide range of cutting modes.

In this way, the design of the working part of the reamers according to the specified principle allows to significantly reduce the manifestation of the factor of secondary excitation of vibrations in the cutting process. This can be explained by the fact that when cutting with a multi-bladed tool with successive changes in the shape of the cutting edges, the marks on the cutting surfaces from the movements of successively located teeth do not coincide. The intersection of these traces eliminates slipping of the teeth and copying of the contact relief, which occurs when processing tools with different angular steps of the teeth. During reaming, the change in the width of the sheared layer and the length of contact with the machined surface of the calibration areas of the teeth affect the value of the slope difference $\Delta \omega$, namely: the increase in both of these values corresponds to the decrease in the difference in the slope of adjacent reamer teeth.

CONCLUSIONS

In the presented work, the solution to the problem of overcoming vibration during hole reaming was considered. Modern concepts of the development of metalworking technologies provide for an increase in the efficiency of the use of cutting tools primarily due to an increase in processing productivity with a significant increase in cutting modes. Under the conditions of growth of speed and power characteristics of cutting processing, the occurrence of vibrations very often turns out to be a restraining factor, which in production conditions forces to impose regime restrictions on processing processes and not to fully use the potential capabilities of the available tools and equipment. Therefore, increasing the vibration resistance of cutting processing technological systems is one of the priority directions of intellectual activity in the field of technologies and technical means of equipping cutting processing processes.

It is proposed to improve the methodology of designing tools with alternating inclination of the teeth, namely: the methodology of verifiable geometric calculations of such tools has been clarified and the technological method of their manufacture has been improved, which ensures a constant width along the cutting edge of the back surface of the reamer teeth of this design. A significant increase - up to 1.5-2 times - in the stability and reliability of sweeps with alternating inclination of the teeth was revealed.

List of sources used

1. А. С. 348309 СССР. МКИ E23F 21/16. Червячная фреза.
2. Жарков, И. Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И. Г. Жарков. - Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. — 184 с.: ил.
3. <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/pages/default.aspx?country=ru>
4. <https://www.kennametal.com/ru/ru/home.html>
5. <https://www.iscar.com.ua/Products.aspx/countryid/46/ProductId/67>
6. <http://www.korloy.com/ru/main/main.do>
7. https://www.walter-tools.com/ru-ru/tools/standard_products/holemaking/overview/reaming/Pages/default.aspx
8. <https://www.widia.com/ru/ru/products/holemaking/reaming-tools.html>
9. Кудинов, В. А. Динамика станков / В. А. Кудинов. – М. : Машиностроение, 1967. - 359 с. - Для инженерно-технических работников машиностроительных заводов и научно-исследовательских институтов.
10. Кудинов, В. А. Поузловой анализ динамических характеристик упругой системы станка / В. А. Кудинов, В. М. Чуприна // Станки и инструмент. - 1989.- № 11. - С. 8-11.
11. Крепак, А. С. Анализ результатов исследований при работе инструментами пониженной виброактивности / А. С. Крепак, С. А. Крепак // Университетская наука - 2007 : в 2 т. : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. (Мариуполь, 2007 г.) / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2007. – Т. 2. – С. 28-29.

Манойлов О.В., Кудинова К.М.

СУЧАСНІ КОНЦЕПЦІЇ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТУ ПІД ЧАС РОЗРОБКИ

Встановлено, що підвищення вібростійкості технологічних систем обробки різанням є одним із пріоритетних напрямів інтелектуальної діяльності в галузі технологій і технічних прийомів оснащення процесу обробки різанням. Відзначено, що рівень інтенсивності автоколивань пружних технологічних систем істотно впливає на стійкість інструменту, продуктивність обробки та якість обробленої поверхні виробів (хвилястість, шорсткість, наклепи, залишкові напруги). Для кожного технологічного процесу існує певний оптимальний рівень коливань, при якому спостерігається максимальна стабільність інструменту і висока якість обробленої поверхні. Завдяки регулюванню інтенсивності автоколивань вдається досягти десятикратного підвищення стійкості інструменту, 2-5-кратного підвищення продуктивності та значного поліпшення експлуатаційних характеристик і якості обробленої поверхні. Проаналізовано вплив конструктивних параметрів розгортки зі змінними кутами нахилу зуба на вібростійкість, методи вдосконалення конструкції розгортки з метою підвищення вібростійкості. Запропоновано удосконалення технологічного способу виготовлення розгортки, що забезпечує постійну ширину тильної поверхні по різучій кромці. Принцип послідовного виконання гвинтових зубів із змінним їх нахилом у запропонованому варіанті порівняно з розміщенням їх з нерівномірним кутовим кроком дає значні переваги у зниженні вібрацій під час обробки, насамперед за рахунок більшої універсальності розподілу на різні типорозміри розгортки. і придатність для використання в широкому діапазоні режимів. Встановлено, що максимальне значення різниці нахилу зубів обмежується зближенням двох сусідніх зубів у кінці калібрувальної частини в залежності від довжини робочої частини розгортки, а також діаметра, кількості і кута нахилу зубів розгортки.

Значне підвищення - в 1,5-2 рази - відзначено стійкості і надійності розгортки зі змінним нахилом зубів.

Ключові слова: вібрація, розгортка, багатолезовий інструмент, ріжуча кромка, коливання, сила збурення нахил зуба, розсвердлювання отвору.

Стаття надійшла 15.09.2023 р.

УДК 621.873.11

doi.org/10.31498/2522-9990262023294136

Суглобов В.В., Крупко В.Г., Крупко І.В.

ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ПРИВОДІВ З ХВИЛЬОВИМИ ЛАНЦЮГОВИМИ ПЕРЕДАЧАМИ

У роботі розглянуто застосування сучасних будівельних, дорожніх, підйомно - транспортних, землерийних і інших типів машин, які відносяться до технологічних, у відбудові зруйнованих війною інфраструктури, промислових, цивільних будівель, шляхів і інших об'єктів. Ефективна робота наведених машин в значній мірі залежить від конструкцій робочих органів їх виконавчих механізмів та одного із основних складових елементів технічних систем, а саме приводів та передатних механізмів. Передатні механізми забезпечують необхідний режим роботи, задані параметри і закони руху робочих органів, або інших кінцевих елементів машин. У роботі наведено приклади удосконалення конструкцій приводів на основі сучасних досліджень механічних передач, пошуку нових фізичних ефектів, що дозволяють підвищити ефективність застосування машин, зменшити енергетичні затрати на виконання технологічних операцій.

Запропоновано застосування приводів з нерівномірним «пульсуючим» рухом виконавчого органу, що забезпечує хвильова ланцюгова передача. Виконання провідного елемента ланцюгової передачі, що служить для підвісу та повороту барабана, у вигляді двох нерухомих зірок, забезпечених розміщенням між ними водилом з двома котками, забезпечує, автоматичний покрововий круговий рух барабана тільки за рахунок принципу дії механічної передачі «води́ло - нерухо́мі зі́рочки - бараба́н». Замість барабана може бути застосовано кінцевий ведений елемент (наприклад квіш, роторне колесо, стрічка конвеєра та інші робочі органи). Нерухомі зірочки гарантують зупинку багаторядного ланцюга, а отже, і механізму підйому вантажу в цілому, у момент зупинки електродвигуна, або при раптовому руйнуванні з'єднувальної муфти, що забезпечує безпеку роботи обладнання. При цьому, обертання водила з роликками з постійною кутовою швидкістю, забезпечує пульсуючу кутову швидкість обертання зірочки, а зміна кількості та геометричних параметрів складових елементів передачі дозволить досягти заданого закону руху кінцевих елементів виконавчих механізмів.

Ключові слова: хвильові ланцюгові передачі, пульсуючий рух виконавчого органу, конструкції приводів процесів, забезпечення заданих законів руху кінцевих елементів обладнання

Постановка проблеми. В сучасному господарському комплексі України значна увага буде приділятися технологічним процесам, пов'язаних з відбудовою зруйнованих війною інфраструктури, промислових, цивільних будівель, шляхів і інших об'єктів. Названі процеси потребують застосування сучасних будівельних, дорожніх, підйомно - транспортних, землерийних і інших типів машин, які можна віднести до технологічних [1]. Ефективна робота наведених машин в значній мірі залежить від конструкцій робочих органів їх виконавчих механізмів та одного із основних складових елементів технічних систем, а саме приводів та

Машинобудування і зварювальне виробництво

передатних механізмів. Передатні механізми забезпечують необхідний режим роботи, задані параметри і закони руху робочих органів, або інших ведених кінцевих елементів машин. Таким чином, удосконалення конструкцій приводів на основі сучасних досліджень механічних передач, пошук нових фізичних ефектів, що дозволять підвищити ефективність застосування машин, зменшити енергетичні затрати на виконання технологічних операцій являється досить актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розроблені рекомендації по застосуванню хвильових ланцюгових передач з метою зменшення енергоємності процесів руйнування ґрунтів у приводах землерийних машин [2,3,4]. Ефективність застосування таких передач полягає в забезпеченні пульсуючого (нерівномірного) руху робочих органів, що веде до зменшенню опору руйнування ґрунтів. Хвильові ланцюгові передачі доцільно застосовувати в приводах сучасних млинів для забезпечення процесів їх пуску [5] в механізмах – кантувачах, наприклад кувальних кранах [6] та ряду інших машин. Розроблено цілий ряд приводів виконавчих механізмів землерийних машин, а також проведені дослідження [3,4] показали, що для кожного конкретного механізму необхідно мати цілий ряд вхідних і вихідних параметрів механізмів (наприклад закон руху, швидкість час вистою веденої ланки та інші). Таким чином питання застосування хвильових ланцюгових передач потребує в кожному окремому випадку обґрунтування кінематичних схем і параметрів, що здатні забезпечити необхідний режим роботи виконавчих механізмів і машин в цілому.

Мета дослідження. Обґрунтування доцільності застосування передатних механізмів з хвильовими ланцюговими передачами та розробка методики визначення їх основних параметрів для приводів технологічних машин.

Для досягнення поставленої мети в роботі розглянуті: - особливості конструкцій хвильових ланцюгових передач їх основних елементів кінематичних параметрів та методика їх визначення; - обґрунтування конструкцій (кінематичних схем) приводів технологічних машин з передатними механізмами на основі хвильових ланцюгових передач.

Основний матеріал дослідження. В сучасних землерийних і підйомно-транспортних машинах вирішується різноманітні задачі по забезпеченню ефективної взаємодії робочих органів з зовнішнім середовищем. Прикладом застосування приводів з нерівномірним «пульсуючим» рухом виконавчого органу є одноківшові екскаватори, в яких необхідну закономірність руху забезпечує хвильова ланцюгова передача.

Принцип дії такої передачі полягає у пульсуючому русі веденої ланки, наприклад, зірочки 11, яка буде повертатися відносно т. О2 на кут, що відповідає переміщенню ланцюга котком (роликом) 9 на шлях, рівний кількості ланок, що вступають в контакт з цим роликом.

Схема такої передачі включає (рис. 1,2 а,б) конструкцію хвильового ланцюгового редуктора [7] змонтовану на рамі 9 (рис. 2б). Двовінцева зірочка виконана у вигляді двох окремих (по ширині ланцюга) зірок 5 і 6, зафіксованих від повороту болтами 7 з шайбами 8 в рамі 9. На одній осі із зірочками між ними розміщені фланці водила 10 і 11, встановлені на валу 12, що розміщується в корпусі на опорах 13 в підшипникових вузлах 14. Між фланцями 11 і 12 за допомогою болтів 20 встановлені робочі котки 15 і 16 на вісях 18 з підшипниками 19. Котки 15 і 16 встановлені з можливістю контакту із середнім ділянкою багаторядного втулочно-роликового ланцюга 3.

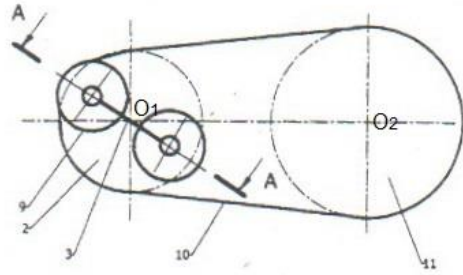


Рисунок 1 – Кінематична схема хвильового ланцюгового редуктора.

На робочій поверхні котків 15 і 16 виконані проточування 20 для центрування багаторядного ланцюга під час роботи приводу.

Виконання провідного елемента ланцюгової передачі, що служить для підвісу та повороту барабана, у вигляді двох нерухомих зірок, забезпечених розміщеним між ними водилом з двома котками, забезпечує, автоматичне покроковий круговий рух барабана тільки за рахунок принципу дії механічної передачі «води́ло - нерухо́мі зірочки - барабан», або замість барабана це може бути кінцевий ведений елемент (наприклад ківш, роторне колесо, стрічка конвеєра та інші робочі органи). Нерухомі зірочки 5 і 6 гарантують зупинку багаторядного ланцюга 3, а отже, і механізму підйому вантажу в цілому, у момент зупинки електродвигуна 2, або при раптовому руйнуванні з'єднувальної муфти 1, що забезпечує безпеку роботи обладнання [3].

Таким чином, обертання водила з роликками 9 з постійною кутовою швидкістю, забезпечує пульсуючу кутову швидкість обертання зірочки 11, а зміна кількості котків та геометричних параметрів складових елементів передачі дозволить досягти зданого закону руху кінцевих елементів виконавчих механізмів.

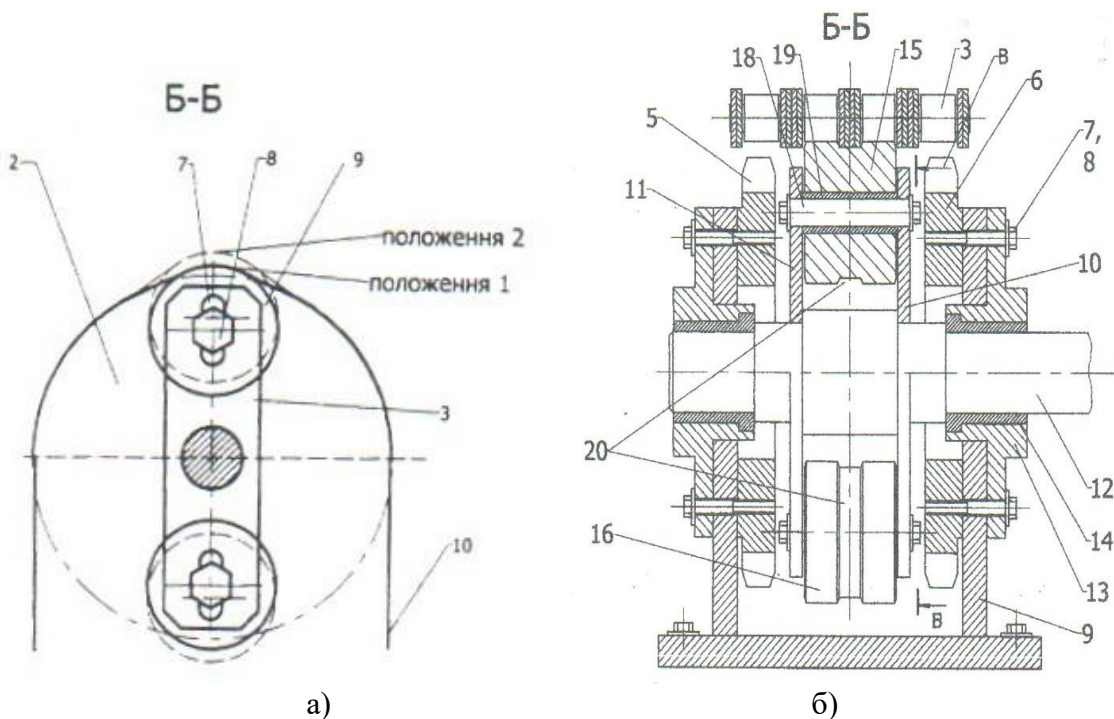


Рисунок 2 – Перетин хвильового редуктора : а) перетин по фланцю водила; б) поперечний перетин хвильового ланцюгового редуктора.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Геометрична схема та основні параметри провідного елемента ланцюгової хвильової передачі наведені на рис. 4, звідки видно, що центри котків з радіусом r розміщені на колі радіусом R . Нерухома зірочка ланцюгової передачі може виконуватися з різним числом зубів, радіус ділильного кола зірочки R_0 [1].

Фіктивний радіус котка r_ϕ з урахуванням товщини ланцюга, визначається зі співвідношення

$$r_\phi = r + 0,5h, \tag{1}$$

де h – ширина ланцюга.

Кут активної взаємодії котка з ланцюгом, в межах якого виконується поворот барабана на заданий кут φ_3 (рис. 4), визначиться за формулою:

$$\cos \alpha = \frac{R_0 - r_\phi}{R}. \tag{2}$$

Ланцюг та канатний барабан залишаються нерухомими під час часу, відповідному повороту водила на кут (рис. 4):

$$\gamma = \pi - 2\alpha. \tag{3}$$

Характерні положення центрів котків водила показані на рис. 4 (I, II, III, IV, V). Привід працює таким чином. Водило отримує безперервне обертання з постійною кутовою частотою ω від двигуна. Коток, торкнувшись ланцюга в точці a_0 (положення центру котка I, рис.4), починає відводити ланцюг вліво - вгору, що відповідає подовжньому переміщенню ланцюга «знизу-вгору» і повороту барабана. У положенні центру котка II процес переміщення ланцюга закінчується, що відповідає значенню кута $\varphi = 2\alpha$. У цьому положенні ланцюг охоплює коток і зірочку по периметру abc .

Переміщення ланцюга ΔS за кут повороту водила на 2α . визначається різницею периметрів:

$$\Delta S = abc - \overset{\cup}{ac}, \tag{4}$$

Ця різниця повинна бути обов'язково кратною кроку t_w , тобто:

$$\Delta S = \Delta z \cdot t_w, \tag{5}$$

де Δz – різниця довжин периметра abc та дуги $\overset{\cup}{ac}$.

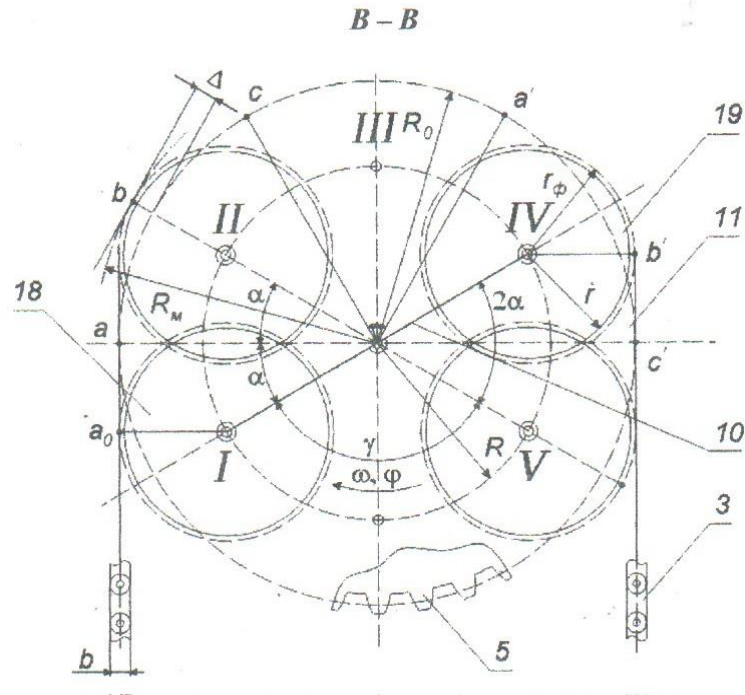


Рисунок 3 – Розрахункова схема хвильової ланцюгової передачі.

Описане вище переміщення ведучої гілки ланцюга забезпечується за рахунок того, що з боку веденої гілки ланцюга котком їй передається така ж ділянка ланцюга ΔS (рис.4), при цьому протилежно розташований каток переходить з положення IV в положення V. Канатний барабан при цьому повертається на кут:

$$\varphi_3 = \frac{\Delta S \cdot 360}{\pi D_3}, \quad (6)$$

де D_3 – діаметр початкового кола зірочки, встановлених на канатному барабані.

При подальшому обертанні водила (рис.4) на кут γ (перехід котка з положення II в положення IV через проміжне положення III) відбувається холоста перегонка гофра abc , а робочі гілки ланцюга не переміщуються (точки a та c – нерухомі). Барабан залишається нерухомим.

Число котків водила в наведеному випадку прийняте рівним двом, для забезпечення достатнього числа зубів зірочки, що знаходяться в зачепленні з ланцюгом [8], але по необхідності це число може змінюватись в межах від одного до п'яти.

Очевидно, що для нормальної роботи приводу необхідно, щоб в положенні котка з центром в точці II ланцюг був повністю виведений із зачеплення згідно співвідношенню:

$$R_n = R_0 + r + \Delta, \quad (7)$$

де Δ - гарантований проміжок між зубами зірочки і ланцюгом.

Середнє значення передатного числа хвильового ланцюгового приводу:

Машинобудування і зварювальне виробництво

$$i_{u.n} = \frac{\pi \cdot D_3}{k \cdot (t_u + \Delta z)}, \quad (8)$$

де k – кількість котків водила.

Таким чином дана методика дає можливість визначити основні геометричні та кінематичні параметри хвильової ланцюгової передачі на прикладі механізму підйому крану, основними з яких є: фіктивний радіус котка, кут повороту водила, переміщення ланцюга, кут оберту канатного барабана, середнє значення передатного відношення.

На робочій поверхні котків 15 і 16 виконані проточування 20 для центрування багаторядного ланцюга під час роботи приводу.

Виконання провідного елемента ланцюгової передачі, що служить для підвісу та повороту барабана, у вигляді двох нерухомих зірок, забезпечених розміщенням між ними водилом з двома котками, забезпечує, автоматичне покроковий круговий рух барабана тільки за рахунок принципу дії механічної передачі «води́ло - нерухо́мі зі́рочки - барабан», або замість барабана це може бути кінцевий ведений елемент (наприклад ківш, роторне колесо, стрічка конвеєра та інші робочі органи). Нерухо́мі зі́рочки 5 і 6 гарантують зупинку багаторядного ланцюга 3, а отже, і механізму підйому вантажу в цілому, у момент зупинки електродвигуна 2, або при раптового руйнуванні з'єднувальної муфти 1, що забезпечує безпеку роботи обладнання [3].

Таким чином, обертання водила з роликками 9 з постійною кутовою швидкістю, забезпечує пульсуючу кутову швидкість обертання зірочки 11, а зміна кількості котків та геометричних параметрів складових елементів передачі дозволить досягти зданого закону руху кінцевих елементів виконавчих механізмів.

ВИСНОВКИ

Обґрунтовано доцільність застосування передатних механізмів з хвильовими ланцюговими передачами та розроблено методику визначення їх основних параметрів для приводів технологічних машин. Розглянуті особливості конструкцій хвильових ланцюгових передач та їх основних елементів, кінематичних параметрів та методика їх визначення. Обґрунтовано конструкції (кінематичні схеми) приводів технологічних машин з передатними механізмами на основі хвильових ланцюгових передач.

Запропоновано застосування приводів з нерівномірним «пульсуючим» рухом виконавчого органу, що забезпечує хвильова ланцюгова передача. Виконання провідного елемента ланцюгової передачі, що служить для підвісу та повороту барабана, у вигляді двох нерухомих зірок, забезпечених розміщенням між ними водилом з двома котками, забезпечує, автоматичний покроковий круговий рух барабана тільки за рахунок принципу дії механічної передачі «води́ло - нерухо́мі зі́рочки - барабан». При цьому, обертання водила з роликками з постійною кутовою швидкістю, забезпечує пульсуючу кутову швидкість обертання зірочки, а зміна кількості роликків та геометричних параметрів складових елементів передачі дозволить досягти заданого закону руху кінцевих елементів виконавчих механізмів.

Список використаних джерел

1. Малащенко В.О., Янків В.В. Деталі машин. Проектування елементів механічних приводів: Навчальний посібник.-Львів: Новий світ-2000,2018.-264с.

Машинобудування і зварювальне виробництво

2. А.С. № 1234308. Степанов Е.А., Крупко В.Г., Бондаевский Г.И., Шнюков В.С. Привод для преобразования непрерывного вращательного движения пошаговое вращение. Бюл.изобрет №20, 1986.

3. Патент України на корисну модель № 68714 МПК Е 02F 16 G 13/00 від 16 08.2004р. Хвильовий ланцюговий редуктор. Дорохов М.Ю. Крупко В.Г.

4. Крупко В.Г. Хвильові ланцюгові передачі у приводах землерийних машин. / В.Г. Крупко, Н.О. Кучер // Вестник ХНАДУ: сб. научных трудов.. Вып.73.Харьков, 2016. С 184-189.

5. Крупко В.Г. Розробка привода сучасних підйомно-транспортних машин із хвильовим ланцюговим передаточним механізмом. / В.Г. Крупко, М.Ю. Дорохов // Підйомно-транспортна техніка. №2(10)-Дніпропетровськ.2004 -98 с.С41-45.

6. Патент України на корисну модель №67932 МПК Е 02 F 3/08 від 15.07.2004р. Натискний механізм екскаватора. Альошичев П.В., Дорохов М.Ю. Крупко В.Г.

7. Крупко В.Г. Оптимизация геометрических параметров волнового цепного привода. / В.Г. Крупко, М.Ю. Дорохов, В.А. Койнаш // Підйомно-транспортна техніка. №1(9)-Дніпропетровськ.2005 -102 с.С33-37.

Suglobov V.V., Krupko V.G., Krupko I.V.

JUSTIFICATION OF DESIGNS OF DRIVES WITH WAVE CHAIN GEARS

The work examines the use of modern construction, road, lifting and transport, earthmoving and other types of machines, which are technological, in the reconstruction of war-ravaged infrastructure, industrial, civil buildings, roads and other objects. The effective operation of the mentioned machines largely depends on constructions of working bodies, their executive mechanisms and one of the main components of technical systems, namely drives and transmission mechanisms. Transmission mechanisms provide the necessary mode of operation, set parameters and laws of movement of working bodies, or other final elements of machines. The work provides examples of the improvement of drive designs based on modern research on mechanical transmissions, the search for new physical effects that will allow to increase the efficiency of the use of machines, and reduce energy costs for technological operations.

It is proposed to use actuators with uneven "pulsating" movement of the executive body, which is provided by wave chain transmission. The execution of the leading element of the chain transmission, which serves to suspend and rotate the drum, in the form of two fixed stars, equipped with a carrier with two rollers placed between them, ensures automatic step-by-step circular movement of the drum only due to the principle of operation of the mechanical transmission "carrier - fixed stars - drum". Instead of a drum, a final driven element (for example, a bucket, a rotary wheel, a conveyor belt and other working bodies) can be used. Immovable sprockets guarantee the stop of the multi-row chain, and therefore the load lifting mechanism as a whole, at the moment of stopping the electric motor, or in case of sudden destruction of the connecting coupling, which ensures the safety of the equipment. At the same time, the rotation of the carrier with rollers at a constant angular speed provides a pulsating angular speed of rotation of the sprocket, and a change in the number and geometric parameters of the constituent elements of the transmission will allow to achieve a given law of movement of the final elements of the executive mechanisms.

Keywords: wave chain transmissions, pulsating movement of the executive body, constructions of process drives, ensuring the given laws of movement of the final elements of the equipment.

Стаття надійшла 01.12.2023 р.

ТОЧНІСТЬ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОЧОГО ЕЛЕМЕНТУ 3D-ПРИНТЕРА

В останні роки застосування 3D-принтерів у будівництві досягло значних обсягів. Світовий ринок цієї галузі. у 2022 році склав більше 350 млрд доларів США. Виробники Європи, Китаю та Північної Америки створюють різноманітні конструкції засобів для будівельного 3D-друку, які спроможні виробляти як об'єкти безпосередньо на будівельному майданчику, так і створювати окремі елементи будівлі в цеху для подальшого використання. На сам перед мова йде про виробу складної конструкції, отримання яких звичними методами занадто витратне.

Як і до будь якого процесу виготовлення нового виробу, до конструкцій, що друкуються цим методом є ряд вимог, однією з яких є точність отриманого об'єкту. Особливу увагу цьому доводиться приділяти при виготовленні деталей, що повинні сполучатися між собою.

В статі розглянуто питання пов'язані з забезпеченням розмірної точності 3D-друку в будівельній галузі. Проаналізовані чинники, що впливають на точність друку. Запропоновано засоби підвищення геометричної точності та оптимізації режимів друку.

Ключові слова: 3D-друк, принтер, робочий елемент, задаючий пристрій, точність, робочий елемент, швидкість.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Концепція 3D-друку не нова: вперше вона з'явилася у 80-х. Але лише за останні десятиліття цю технологію досить удосконалили, суттєво знизили вартість і вона стала справжнім мейнстримом. 3D-друк для будівництва застосовує як 3D-принтер, який має роботизовану "кран-руку", яка будує конструкції прямо на будівельному майданчику, так і створення певних елементів принтерами на заводі, які вже збираються в конструкцію на об'єкті.

У 3D-принтері для будівництва програми CAD або BIM повідомляють пристрій, що треба друкувати, і машина починає нашаровувати матеріал шарами, згідно з планом конструкції.

Точність позиціонування робочого елементу є одним з основних показників точності 3D-принтера. Точність позиціонування визначається необхідною точністю конструкції.

Нажаль на цей час не створено узагальнених методик оцінювання та керування точністю позиціонування робочого елементу 3D-принтерів. Виробники принтерів розглядають точність друку лише у вузькому сенсі отримання одиничного шару потрібної товщини [1, 2], забуваючи про загальну геометричну точність конструкції. Виробники програмного забезпечення акцентують увагу в першу чергу на зовнішньому вигляді об'єкту, що друкуються, переймаючись якістю поверхні, а не точністю [3, 4].

Необхідно відзначити роботу [5], в якій на дуже високому рівні вивчено проблеми розмірної точності 3D-друку, але на сам перед робота спрямована на моделювання точності при використанні в якості матеріалу для нанесення пластиків, тобто розглядаються процеси термічної усадки філаментів.

Мета дослідження. Встановити фактори, що впливають на розмірну точність при 3D-друку та визначити їх вагомість. Запропонувати методику розрахунку точності друку та технологічних параметрів цього процесу.

Основний матеріал дослідження. Позиціонування здійснюється приводом, який переміщає робочий орган (екструдер) з початкового положення в задане (запрограмоване) кінцеве. Під погрішністю позиціонування розуміють відхилення дійсного положення

робочого органу від запрограмованого при його багатократному позиціонуванні. Для визначення погрішності позиціонування проводять ряд експериментальних перевірок [6].

При відробітку команди пристрою керування мотор зупиняється, гальмується і робочий орган. Схема кінцевого етапу шляху підходу робочого органу до точки позиціонування показана на рис. 1.

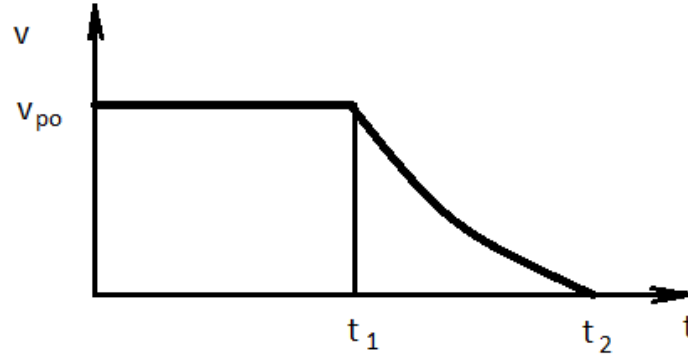


Рисунок 1 – Кінцевий етап підходу робочого органу до точки позиціонування

У момент часу t_1 обертання мотора припиняється, і робочий орган починає гальмуватися. У момент часу t_2 робочий орган зупиняється. У проміжок часу $t_2 - t_1$ здійснюється гальмування робочого органу.

Погрішність позиціонування може бути визначена як шлях робочого органу в проміжку часу $t_2 - t_1$

$$\Delta x = \Delta_{cy} + \Delta_T, \tag{1}$$

де Δx – погрішність позиціонування робочого органу;
 Δ_{cy} – погрішність спрацьовування системи управління мотором;
 Δ_T – погрішність, пов'язана з процесом гальмування.
 Ці погрішності можна визначити:

$$\Delta_{cy} = V_{po} \cdot \delta_\tau, \tag{2}$$

де δ_τ – помилка в часі спрацьовування системи управління;
 V_{po} – швидкість робочого органу.

Помилка Δ_T пов'язана з інерційністю системи приводу і може бути визначена по формулі:

$$\Delta_T = \frac{V_{po}^2 \cdot J}{2iM_T}, \tag{3}$$

де J – момент інерції частин, що переміщуються, приведений до замикаючої ланки кінематичного ланцюга;
 M_T – гальмівний момент;
 i – передавальне відношення кінематичного ланцюга.

Інформаційні технології

Зазвичай погрішність Δ_{cy} значно менше, ніж Δ_T . Тому можна прийняти $\Delta_{cy} = 0$ і не враховувати.

Тоді:

$$\Delta x = \frac{V_{po}^2}{2} \cdot \frac{J}{iM_T}; \quad (4)$$

Якщо прийняти, що погрішність позиціонування Δx не має бути більше розрахунковою a , т.б. $\Delta x \leq a$, то швидкість руху робочого органу, що допускається, при підході до точки позиціонування буде:

$$V_o = \sqrt{\frac{2i \cdot a \cdot M_T}{J}}; \quad (5)$$

Розрахункова погрішність позиціонування a приймається рівною 1/3 необхідної величини точності позиціонування.

Розрахунки по формулі (5) дозволяють визначити швидкість руху виконавчого органу 3D-принтера (екструдера), що забезпечує необхідну точність друку. Таким чином з'являється можливість оптимізувати режими його роботи, та керувати продуктивністю процесу створення потрібної будівельної конструкції.

Привід позиціонування є пружною системою, пружність ланок системи приводить до розузгодження між рухом задаючого пристрою (в будівних принтерах різного типу це може бути дельта системи, штанги, портали) і робочого органу за рахунок пружних деформацій.

Розглянемо простий випадок приводу лінійного переміщення робочого органу (рис. 2.)

Задаючий пристрій 1 рухається з постійною швидкістю, т.е. $V_{зп} = \text{const}$ і пов'язано з робочим органом постійною жорсткістю K . Робочий орган 2 масою m переміщається по тих, що направляють з швидкістю V_{po} . Робочий орган знаходиться під дією пружної сили приводу, сили інерції і сили тертя.

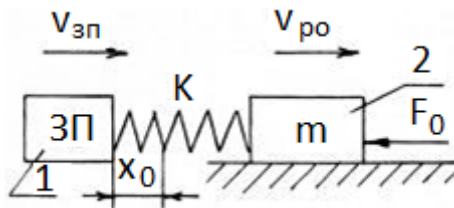


Рисунок 2 – Пружний привід лінійного переміщення робочого органу:

1 - задаючий пристрій; 2 - робочий орган

У початковому положенні робочий орган знаходиться у спокої. Рух робочого органу почнеться в мить, коли пружна сила приводу перевищить силу статичного тертя F_0 , т.е. $k \cdot x_0 \geq F_0$, де x_0 – шлях задаючого пристрою у момент початку руху робочого органу. Далі починається рух робочого органу з швидкістю $V_{po} = \dot{x}$. У початковий момент руху робочого органу відбувається перехід від тертя спокою до тертя руху. Коефіцієнт тертя руху менше коефіцієнта тертя спокою, це приводить до стрибкоподібної зміни сили тертя від F_0 к F . Оскільки $F_0 > F$ то стрибок сили тертя викликає прискорення робочого органу

$$F_0 - F = m\ddot{x}; \quad (6)$$

Інформаційні технології

або

$$\ddot{x} = \frac{F_0 - F}{m} \quad (7)$$

Можна визначити:

$$F_0 - F = \Delta F = f_0 \cdot N - f \cdot N = \Delta f N, \quad (8)$$

де N – нормальна сила на поверхні тертя;
 f_0 и f – коефіцієнти тертя спокою і руху.

Таким чином, початковий етап руху робочого органу має вигляд (рис. 3)

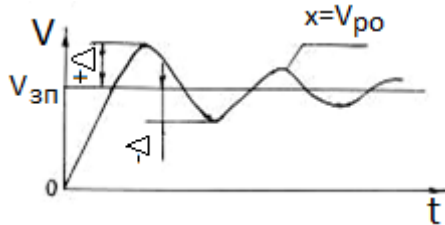


Рисунок 3 – Схема початкового етапу руху робочого органу

Величини $+\Delta V_{po}$ и $-\Delta V_{po}$ залежать від стрибка прискорення \ddot{x} , а він залежить від Δf . При зменшенні швидкості V_{zy} (підхід до точки позиціонування з швидкістю $V_{zy} \leq V_{\partial}$) може наступити момент, коли $V_{po} = 0$. В цьому випадку відбудеться зупинка робочого органу. Тертя руху перейде в тертя спокою. Робочий орган неминуче зупиниться на деякий час, тобто рух його відбуватиметься у вигляді стрибків, що чергуються, і зупинок (рис. 4)

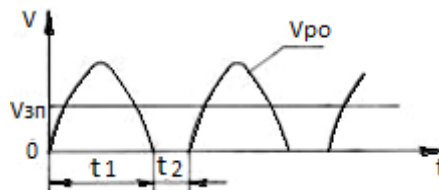


Рисунок 4 – Характер стрибкоподібного руху робочого органу
 τ_1 – тривалість стрибка, τ_2 – тривалість зупинки

Критична швидкість задаючого пристрою V_k , при якій починається стрибкоподібний рух робочого органу, визначається по формулі:

$$V_k \leq \frac{\Delta F}{\sqrt{\psi \cdot m \cdot k \cdot 10^3}} = \frac{\Delta f \cdot N}{\sqrt{\psi \cdot m \cdot k \cdot 10^3}} \text{ (м/с)}, \quad (9)$$

де Δf – різниця коефіцієнтів тертя спокою і руху;
 N – нормальна сила на поверхні ковзання, Н;
 ψ – відносне розсіяння енергії при коливаннях;

Інформаційні технології

m – маса робочого органу, кг;

k – приведена жорсткість приводу, Н/мм.

При стрибкоподібному режимі параметри руху робочого органу будуть:

Величина стрибка:

$$S = 2 \frac{\Delta F}{K} = 2 \frac{\Delta f \cdot N}{K} \text{ (мм)}, \quad (10)$$

Тривалість стрибка:

$$\tau_1 = \pi \sqrt{\frac{m}{K \cdot 10^3}} \text{ (с)}, \quad (11)$$

Тривалість зупинки

$$\tau_2 = \frac{2 \cdot \Delta F \cdot 60}{K \cdot V_{po}} = \frac{S \cdot 60}{V_{po}} \text{ (с)}, \quad (12)$$

де V_{po} – швидкість підходу робочого органу до точки позиціонування ($V_{po} \leq V_0$) мм/хв.

Максимальна погрішність позиціонування дорівнюватиме величині стрибка S , якщо почався стрибок,

$$\Delta_1 = S \text{ (мм)}, \quad (13)$$

а якщо почалася зупинка, то

$$\Delta_2 = \frac{f_0 \cdot N}{K} \text{ (мм)}, \quad (14)$$

де f_0 – коефіцієнт тертя спокою

ВИСНОВКИ

Як і до будь якого процесу виготовлення нового виробу, до конструкцій, що друкуються цим методом є ряд вимог, однією з яких є точність отриманого об'єкту. Особливу увагу цьому доводиться приділяти при виготовленні деталей, що повинні сполучатися між собою.

Основними чинникам, що впливають на точність друку є похибки позиціонування та пружність системи. Обидва вони пов'язані, на сам перед, зі швидкістю руху виконавчого органу принтера, масою рухомих частин та силами тертя, що виникають в конструкції.

Основні заходи для забезпечення необхідної точності позиціонування робочого елемента 3D-принтера:

–підвищення жорсткості приводу (збільшення діаметру валів, гвинтів, попередній натяг в приводі і ін.).

Інформаційні технології

– вирівнювання характеристик тертя спокою і руху, тобто зменшення Δf . Для цього використовуються наступні заходи:

- застосування спеціальних мастил антистрибків: спеціальні мастила дозволяють понизити f_0 , наближаючи його до f ;
- застосування спеціальних антифрикційних матеріалів;
- заміна тертя ковзання тертям кочення, що підвищує точність, але не усуває повністю стрибкоподібного руху.

Список використаних джерел

1. <https://www.3dprinter.ua/liknep-pro-tochnist-ta-yakist-suchasnogo-3d-druku-fdm-sla-3d-pryntery/>
2. <https://pro3d.com.ua/a382456-tochnist-printera-abo.html>
3. <https://3ddevice.com.ua/uk/blog/tekhnolohii-druku-3d-printeriv/>
4. <https://aero3d.ua/3d-druk/>
5. <https://orcid.org/0000-0002-9399-191X>
6. Канарчук В.Є. Надійність машин / Канарчук В.Є., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. // Підручник – К.: Либідь. 2003 – 424 с.

Sergienko Y., Godun T., Mazur V., Akimova V.

ACCURACY OF POSITIONING OF THE WORKING ELEMENT OF A 3D-PRINTER

Due to the continued stagnation of 3D printers, everyday life has significant obligations. Light market for this galusa. In 2022, the economy will have accumulated more than 350 billion US dollars. Virus makers in Europe, China and Northern America are creating various designs of tools for real-time 3D robots, which are useful for vibrating both objects directly on the real-time platform and creating edges The elements were in the workshop for further production. In front of the language, I'm talking about the creation of folding structures, which are much more expensive to remove using basic methods.

As before any process of preparing a new product, before the design, this method has a number of advantages, one of which is the accuracy of the extracted object. Particular respect must be paid to the preparation of parts that are at fault among themselves.

The article examines the nutrition associated with the guaranteed dimensional accuracy of a 3D hand in a living room. Officials have been analyzed to influence the accuracy of each other. Methods for increasing geometric accuracy and optimizing hand modes have been proposed.

Keywords: 3D machine, printer, working element, driving device, accuracy, working element, fluidity.

Стаття надійшла 21.11.2023 р.

ОБҐРУНТУВАННЯ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ І РОЗТАШУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ

Визначено оптимальний спосіб організації підприємств технічного сервісу різних за розміром, формою власності та умовами експлуатації, які використовують значну номенклатуру рухомого складу. Постійне зростання автомобільного парку, особливо завезеного з закордону вживаного автотранспорту в умовах воєнних дій, зумовлює збільшення виробничих потужностей, приводить до збільшення кількості підприємств технічного сервісу, які пропонують необхідні послуги та забезпечують високу якість їх виконання, відповідно до світових стандартів. Нові підприємства технічного сервісу автомобільного транспорту розвиваються за рахунок будівництва, оптимізації потужності, спеціалізації виробництва та концентрації в об'єктах промисловості, торгівлі в центральних і прилеглих до них районах міст.

Розроблено алгоритм вибору дислокації та спеціалізації підприємств технічного сервісу в конкурентному середовищі. Він дозволяє за методами послідовного наближення виявляти оптимальні спеціалізацію та розташування, створених підприємств технічного сервісу з урахуванням можливого характеру виробничих процесів і реального рівня конкуренції. Запропоновано структурну перебудову підприємств технічного сервісу, які на початку своєї діяльності не мали суворої спеціалізації і виконували роботи малого та середнього ремонту по всім вузлам і систем автомобілів. Розглянута динаміка структури сервісних підприємств міста Дніпро за роками роботи в довоєнний період. Отримані графічні залежності імовірності обслуговування від кількості постів та середньої довжини черги від коефіцієнта завантаження потужності сервісних підприємств автомобільного транспорту. Наведені графіки показали, що в умовах жорсткої конкуренції відчутна зміна середньої довжини черги автомобілів в залежності від коефіцієнта завантаження потужності та кількості місць в черзі.

Ключові слова: підприємства технічного сервісу, спеціалізація, розташування, алгоритм, структурна перебудова, конкурентне середовище

Постановка проблеми. Технічний сервіс - галузь, яка інтенсивно розвивається. Успіхи галузі обмежені, а недоліків на сьогодні забагато. Успіхи обумовлені зусиллями працюючих, а недоліки - об'єктивними чи суб'єктивними факторами. Ці фактори відображують - як в суспільстві в цілому, так і в техсервісі як складовій соціально-економічній системі суспільства - реальний стан та співвідношення кожного з факторів. В цілому складається ситуація, коли сукупність факторів та стан кожного з них скоріш є обмежуваними, а не таким, що сприяють розвитку техсервісу [1].

Особливістю функціонування підприємств технічного сервісу (ПТС) з технічного обслуговування і ремонту автомобілів (ТО і Р) на теперішній час в Україні є наявність підприємств різного розміру та форм власності, які використовують значну номенклатуру рухомого складу (РС). Важливим питанням за цих умов є визначення оптимального способу організації сервісного виробництва у залежності від кількості одиниць рухомого складу (РС) та умов експлуатації [2, 3].

Сформований на початку 90-х років стихійний ринок автомобільного транспорту з кожним роком стає все більш цивілізованим, встановилися постійні зв'язки між його

Транспортні технології

учасниками. У зв'язку із зростанням купівельної спроможності населення відзначається постійне збільшення попиту на нові та вживані автомобілі, що, в свою чергу, призводить до зростанню ринку послуг з обслуговування та ремонту автомобілів [4].

Близько 10% ПТС спеціалізуються на обслуговуванні автомобілів тільки іноземного виробництва, до них також відносяться офіційні дилери підприємств-виробника транспортного засобу [5].

Постійне зростання автомобільного парку зумовило збільшення виробничих потужностей, тобто привело до збільшення кількості підприємств техсервісу. Одночасно збільшуються вимоги клієнтів. Тобто клієнти підприємств техсервісу надають перевагу тим учасникам ринку, які пропонують необхідні послуги та забезпечують високу якість їх виконання, відповідно до світових стандартів [6, 7].

У зв'язку з цим спостерігаються нові тенденції в розміщенні ПТС в межах міст. Раніше ремонти вантажних автомобілів та муніципальних автобусів виконувались на власній виробничій базі а створені сервісні підприємства розташовувалися в досить малих господарствах з одним робочим постом [5].

В даний час розширюється будівництво, використовується концентрація і спеціалізація виробництв, концентруються об'єкти промисловості, торгівлі в центральних і прилеглих до них районах міст. Таке переміщення потенційної клієнтури спричинило за собою зміну дислокації нових підприємств технічного сервісу [8].

Таким чином, ПТС розосереджуються більш рівномірно за приміською територією, максимально наближаючись до дислокаціям, використовуючи спеціалізацію і кооперацію виробництва [1, 2, 8].

Аналіз останніх досліджень. В опублікованій літературі питання показників ефективності підприємств техсервісу слабо висвітлені з тієї причини, що вони не є актуальними за умов розвитку ПТС як бізнесу без будь-якого аналізу його впливу на ефективність економіки чи соціального стану суспільства. В достатній мірі розроблені та висвітлені в літературі лише питання оцінки ефективності діяльності ПТС. Багато робіт присвячено конкурентоздатності бізнесу, залученню клієнтів та оцінці рівня їх задоволеності, витратам на діяльність автосервісу та забезпечення його прибутковості. Що ж стосується оцінки автосервісу як соціально-економічної системи та забезпечення його ефективності з погляду якості життя людей, то цьому питанню не приділяється належної уваги [9, 10].

У результаті є звичайно значна незбалансованість між наявним парком транспортних засобів і потребою в його сервісному обслуговуванні за регіонами. Найбільша напруженість виникає в «молодих» українних районах міста, де існує значна потреба в наявності автомобільного транспорту, що зв'язує периферійні території із центром, а приріст потужностей техсервісного обслуговування традиційно відстає від цих потреб. У зв'язку із цим виникає завдання виявлення та подолання диспропорцій у розвитку міського транспортного господарства [2, 8].

Досліджуючи досвід становлення і розвитку виробничих структур автомобільного транспорту, які забезпечують відповідні види діяльності, можна дійти висновку, що поєднання останніх не є єдино прийнятним. Значна частка підприємств техсервісу вантажного автомобільного транспорту спеціалізується на одних видах діяльності, передаючи інші до виконання стороннім суб'єктам господарювання. Разом з тим, ряд організацій поєднують ці види діяльності в певних поєднаннях на умовах основних або допоміжних [11, 12].

Формулювання цілей статті. Визначити оптимальні величини рівня спеціалізації, потужності і розміщення підприємств технічного сервісу для ефективності їх функціонування. Отримати залежність рівня конкурентоздатності (ПТС) від дожини черги, очікуваних автомобілів;

Транспортні технології

Основна частина. Сукупність сервісних підприємств автосервісу представляє собою деяку кількість K . Якщо розрізняють всі види обслуговування за рівнем спеціалізації j , може бути отримано декілька підкорених підприємств, які є числами рівнів спеціалізації [13]. При цьому кожен:

$$A_j \in K \quad (1)$$

На практиці можливо, що окремі підприємства здійснюють роботу за двома і більш технологічними циклами. Тоді вони можуть належати одночасно двом і більше підмножинам однієї множини:

$$A_j \cap A_{j+1} = \{i / i \in A_j, i \in A_{j+1}\}, \quad (2)$$

Кількість конкурентних елементів підмножини A буде більше кількості підприємств A_j - підмножини, сумарне число елементів, що підлягають збільшенню:

$$K_i < K_{A_j}, \quad (3)$$

З цього слід, що при виборі виду послуг необхідно орієнтуватися на загальне число підприємств у мережах автосервісу, а також на кількість виробництв за j спеціалізацією.

При позначенні інтенсивностей потоків заявок правомірно мати на увазі кількість заявок на виконання робіт за j -тим циклом.

Мережа сервісних підприємств складається з K_j підприємств і V_j виробництв. В підмножини K_{A_j} виступає випадковий сумарний потік заявок з інтенсивністю A_j , від A_{SPj} потенційних джерел заявок, що налічує $A_{СПj}$ автомобілів. Кожний автомобіль з імовірністю P_{2j} має дві і більше несправності. Тому сумарний потік заявок в сети дорівнює:

$$\Lambda_C = \sum_{j=1}^{K_j} \Lambda_j = \sum_{j=1}^{K_j} \lambda_j (1 + P_{2j}) \cdot A_{СПj}, \quad (4)$$

де λ_j - інтенсивність потоку заявок від одного автомобіля по j -му виду робіт.

Стоїть завдання попереднього вибору і обґрунтування найбільш бажаних видів спеціалізації виробництв для виробничого підприємства без урахування статистичної інформації про нові заявки за вираженням (4).

Відомо також приблизний розподіл обсягів робіт з відомого стандарту, кожне з них позначимо через δ_{Hi} . Якщо прогнозуема частка в кожному з видів робіт буде менше нормативного значення δ_{Hi} ($\delta_{Pj} < \delta_{Hi}$), тоді вибір даної спеціалізації для нового $i+1$ підприємства доцільний. Якщо $\delta_{Pj} > \delta_{Hi}$, тоді сегмент даного виду впливу перенасичений і ефективність майбутнього виробництва сумнівна.

Використовуючи статистичні дані, можна вивести сумарну потужність гіпотетичного підприємства за виконанням усіх видів робіт за виразом:

$$N_C = \sum_{i=1}^{K_j} \sum_{j=1}^{K_j} \Phi_{ij} \cdot P_{ij} \cdot n_{ij} \cdot C_{смij}, \quad (5)$$

Потенційна можливість за виконанням даного виду робіт:

Транспортні технології

$$N_{C_j} = \sum_{i=1}^{K_{ij}} \Phi_{ij} \cdot P_{ij} \cdot n_{ij} \cdot C_{cm_{ij}}, \quad (6)$$

де K_{ij} - кількість СП, виконуючи j -й вид робіт;

Φ_{ij} - фонд робочого часу підприємства по i -му виду робіт, люд-год.

Доля потужностей гіпотетичного підприємства по кожному виду спеціалізованих робіт:

$$\delta_{H_j} = \frac{N_{C_j}}{N_C}, \quad (7)$$

Якщо порівняння значень δ_{H_i} і δ_{P_j} покаже перевагу до 2-3 видів робіт, доцільно дати остаточний прогноз для певної підмножини підприємств. Для цього необхідно у вираз (5) включити дані проектування $i + 1$ - підприємства і повторити обчислення за формулами (5 - 7), після чого, порівнюючи значення δ_{H_i} і δ_{P_j} , можна з певними похибками затверджувати вибір найбільш бажаних 2-3 видів спеціалізації для нового підприємства.

Незалежно від фактичного середнього рівня завантаження потужності підприємств мережі за всіма видами робіт, вирази (5 - 7) дають можливість сконцентрувати увагу на найбільш бажаних видах спеціалізованих виробництв.

Разом з тим середній рівень завантаження потужності СП мережі сервісних підприємств можна визначити виходячи з співвідношення:

$$\psi_{cp} = \frac{\Lambda_C \cdot t_{np}}{N_C}, \quad (8)$$

Середнє значення трудомісткості одного автомобіля-заїзду може бути визначено виходячи з трудомісткості робіт за j -м технологічним циклом з урахуванням ймовірності (частоти) P_j його появи:

$$t_{ПР} = \sum_{j=1}^{K_j} t_{ПР_j} \cdot P_j, \quad (9)$$

Викликає коливання середнього коефіцієнта завантаження за виразом (2.8), які не впливають на вибір виданих послуг за введеним вище виразом, так як до цих коливань коефіцієнтів завантаження схильні всі підприємства мережі одночасно.

При визначенні коефіцієнтів завантаження цих підприємств задається питання про виборі виду спеціалізації за наведеними в попередньому розділі виразами (4 - 9) шляхом введення відповідних коефіцієнтів завантаження.

Необхідно розрахувати коефіцієнт завантаження потужності ψ_{CP} майбутнього підприємства в даному мікрорайоні, для чого слід виявити кількість автомобіле-постів n_A і приблизну кількість постів майбутнього підприємства n_C :

$$\psi_P = \psi_{CP} \frac{n_A}{n_A + n_C}, \quad (10)$$

Чим більше постів n_A при сформованому значенні ψ_{CP} , тим менше зміна картини конкуренції в даному районі і навпаки [14].

Транспортні технології

Алгоритм вибору дислокації та спеціалізації підприємств техсервісу в конкурентному середовищі (Табл. 1) починає свою роботу (блок 1) з завдання початкових нульових значень змінному порядковому номеру підприємств. Наступний оператор (блок 3) задає координати сервісних підприємств за осями абсцис і ординат для квадратів (мікрорайонів) міста.

У блоці 4 виконується підсумовування і знаходження середнього значення коефіцієнтів завантаження потужності підприємств в даному квадраті.

Вибір поточної спеціалізації, додавання номера до наступної і перебирається весь перелік спеціалізацій сервісних підприємств виконується в блоці 5.

Завершення пошуку підприємств за всією сіткою міста виконується в блоці 6.

Блок 7 дає значення накопичувачів кількості постів і середньої трудомісткості одного обслуговування.

На підставі отриманих результатів розраховується середнє кількість обслуговуваних автомобілів на добу (блок 8).

Прогнозоване значення зазначеного числа автомобілів запам'ятовується у відповідному масиві (блок 9).

Після цього проводяться розрахунки техніко-економічних показників для трьох лідерів від кожної групи за всю мережу техсервісу міста (блок 10).

Розраховуються прогнозовані значення коефіцієнтів завантаження всіх підприємств мережі техсервісу (блок 11).

Визначаються техніко-економічні показники 6 підприємств-лідерів (блок 12).

Для остаточного прийняття рішення необхідно розглянути можливість будівництва одного з них з урахуванням обмежень за екологією (блок 13).

Таблиця 1 – Алгоритм вибору дислокації та спеціалізації підприємств техсервісу в конкурентному середовищі

1	Завдання початкових нульових значень змінному порядковому номеру сервісного підприємства
2	Завдання масиву коефіцієнтів завантаження і збільшення номеру спеціалізації підприємства
3	Визначення зовнішньої середи, кількості сервісних підприємств с однією спеціалізацією і відстані між підприємствам
4	Вибір поточної спеціалізації, додавання номеру до наступної і перебір всього переліку спеціалізацій
5	Перевірка вичерпування підприємств по осях абсцис та ординат, завершення пошуку за всією сіткою міста
6	Вибір номерів підприємства, сумування, визначення середнього значення коефіцієнта завантаження потужності підприємств в квадраті
7	Визначення прогнозованого завантаження потужності підприємства, кількості постів і середньої трудомісткості обслуговування
8	Визначення: 1 - кількості обслуговуваних автомобілів за добу; 2 - інтенсивності вхідного потоку; 3 - кількості автомобілів, що залишають чергу
9	Визначення прогнозованих значень завантажень потужності нового сервісного підприємства за всіма квадратами сітки району міста
10	Розрахунок техніко-економічних показників для трьох лідерів кожної групи за всю мережу техсервісу міста і ранжирування цими показниками
11	Визначення прогнозованих значень завантаження потужності всіх сервісних підприємств за всією мережею техсервісу міста
12	Розрахунок техніко-економічних показників для всіх лідерів за всією мережею техсервісу міста
13	Визначення можливості введення нового підприємства з урахуванням обмежень екології та наявності вільної земельної ділянки

Транспортні технології

Графіки зміни кількості і частки підприємств техсервісу того чи іншого профілю за 2016 - 2019 роки показують (рис. 1), що період з 2016 по 2017 рік характеризувався структурною перебудовою підприємств, які на початку своєї діяльності не мали суворої спеціалізації (а відповідно і кваліфікації) і виконували роботи малого та середнього ремонту по всім вузлам і систем автомобілів.

Після порівняння результатів розрахунків показників проектного ПТС за всіма трьома спеціалізаціями, робимо вибір найбільш оптимального варіанту (рис. 2).

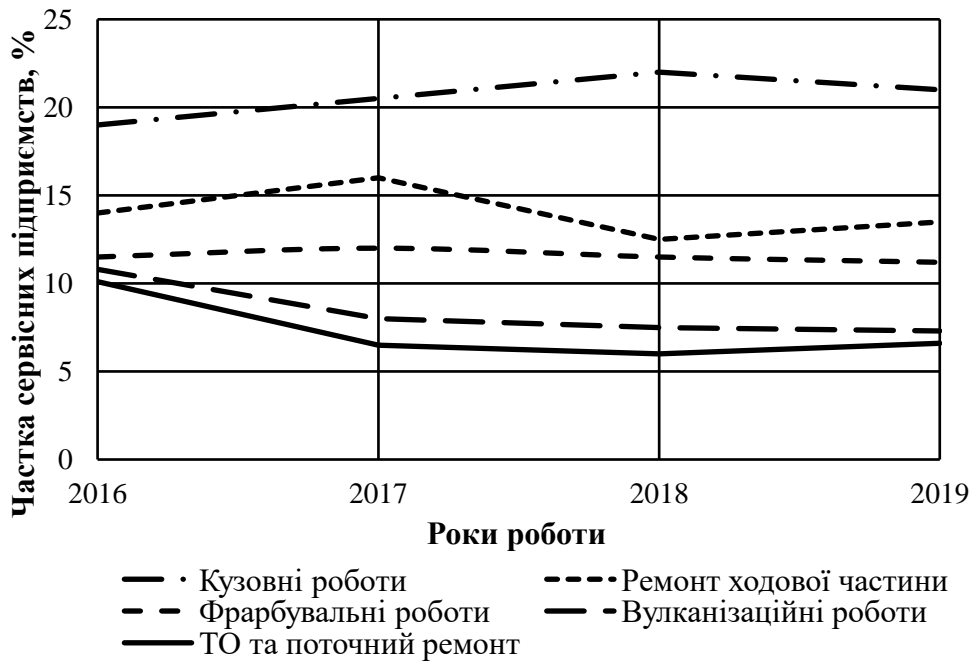


Рисунок 1 – Зміна структури сервісних підприємств в м. Дніпро за роками роботи

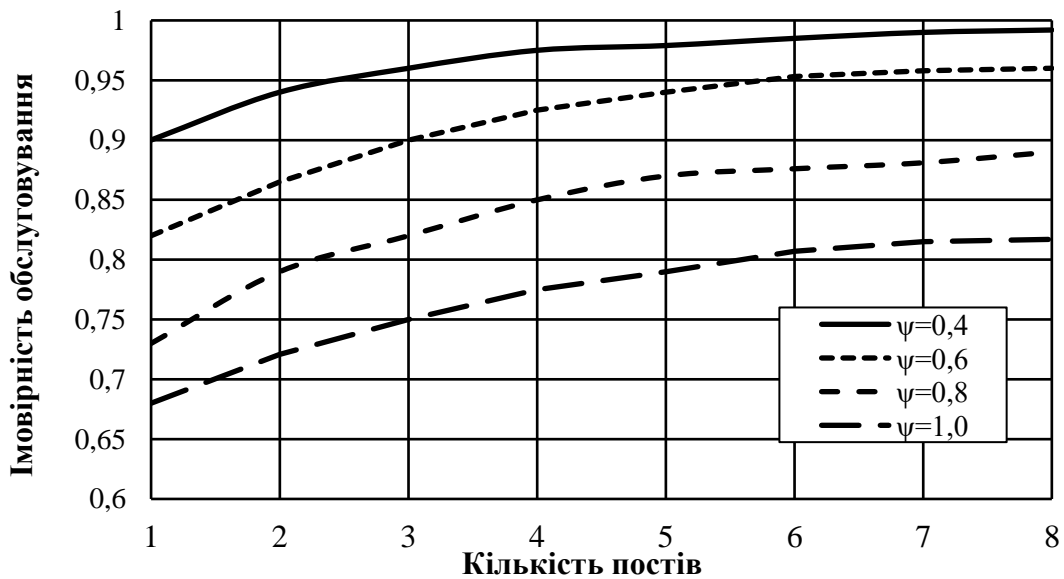


Рисунок 2 – Зміна імовірності обслуговування автомобілів в залежності від кількості постів n при різних коефіцієнтах завантаження СП відсутності взаємодопомоги між виконавцями

Транспортні технології

Розрахунки, проведені для різних значень параметрів максимальної черзі m , кількості постів n (рис. 3), показали, що в умовах жорсткої конкуренції відчутна зміна середньої довжини черги автомобілів в залежності від коефіцієнта завантаження потужності та кількості місць в черзі.

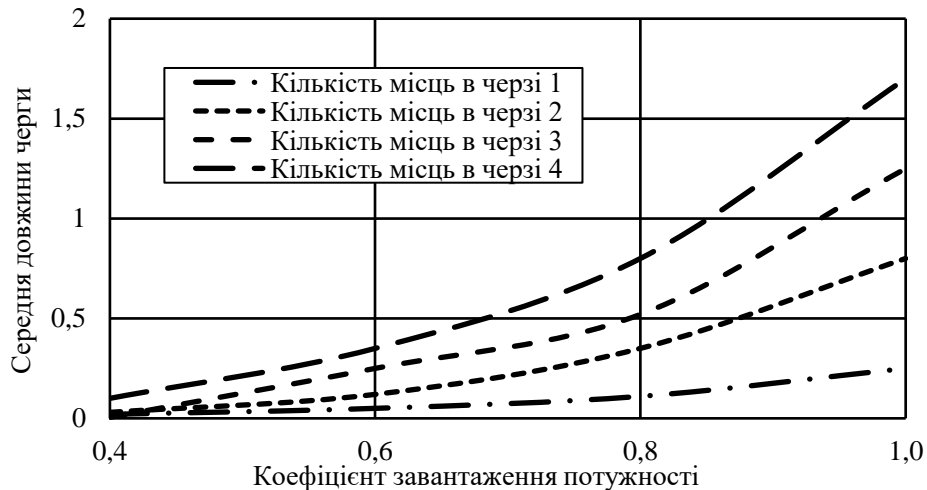


Рисунок 3 – Зміна середньої довжини черги автомобілів в залежності від коефіцієнта завантаження потужності та кількості місць в черзі

ВИСНОВКИ

Мережа підприємств техсервісу міст являє собою кілька десятків підмереж рівних кількості спеціалізацій за визначеним технологічним циклом. Розроблена методика експериментального встановлення показників потужності сукупності діючих ПТС за коефіцієнтом завантаження та середньої довжини автомобілів, що дозволяють охопити всю мережу техсервісу. Розроблений алгоритм дозволяє за методами послідовного наближення виявляти найбільш бажані види спеціалізації, розміри та оптимальні потужності створених підприємств мережі з урахуванням можливого характеру виробничих процесів і реального рівня конкуренції.

Список використаних джерел.

1. Марков О.Д. Фактори розвитку автосервісу / О.Д. Марков // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. - К. : НТУ, 2018. - Вип. 1 (40). – С. 203-214.
2. Андрусенко С.І. Організація технічної експлуатації автомобілів в Україні за сучасних умов. / С.І Андрусенко, О.С. Бугайчук // Вісник НТУ: Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – Вип. 1 (34). – К.: НТУ, 2016. – С. 12-20.
3. Subochev O., Sichko O., Volkov M. Increasing the level of providing service enterprises with spare parts and materials. *VIII international scientific congress, Agricultural Machinery*. 2020, Varna, Vol. 1/7, No 4. P. 26-30.
4. Subochev, Olexander; Sichko, Olexander; Pogorelov, Michael; Kovalenko, Igor; Havron, Nadiia Efficiency of managing the production capacity of service enterprises, taking into account customer motivation. *ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine: 238-250.*

Транспортні технології

5. Марков О.Д. Забезпечення контролю за технічним станом автомобілів: регламенти виробника, попит споживачів, пропозиція автосервісу / О.Д. Марков, В.В. Березняцький // Національний транспортний університет, Київ, 2018.

6. Березняцький В.В. Оптимізація часу простою автомобілів у ремонті і обслуговуванні за рахунок удосконалення оперативного планування виконання цих робіт. / В.В. Березняцький // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. - К.: НТУ, 2016. - Вип. 1 (34). – С. 56-59.

7. Тарандушка Л.А. Ранжування номенклатури послуг для автосервісних підприємств / Л.А. Тарандушка, В.В. Яновський // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки». – Київ :НТУ, 2018. - Вип. 3 (42), С. 146 – 153.

8. Лудченко О.А. Управління якістю технічного обслуговування автомобілів: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / О.А. Лудченко, Я.О. Лудченко, В.В. Чередник; за ред. О.А. Лудченка. - К. : Ун-т "Україна", 2012. - 327 с.

9. Марков О.Д. Обслуговування клієнтів автосервісу: навчальний посібник / О. Д. Марков, Н. В. Веретельникова. – К.: Видавництво Каравела, 2015. – 263 с.

10. Савін Ю.Х. Доцільність створення виробничих підрозділів з обслуговування та ремонту автомобілів / Ю.Х. Савін, М.В. Митко // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. - К.: НТУ, 2016. - Вип. 1 (34). С. 424-429.

11. Сахно В.П. Форми організації моніторингу технічного стану транспортних засобів / В.П. Сахно, Д.О. Свостін-Косяк // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2017. – Вип. 37, с. 373-380.

12. Андрусенко С.І. Моделювання бізнес-процесів підприємства автосервісу : монографія / С.І. Андрусенко, О. С. Бугайчук. – К. : Кафедра, 2014. – 328 с

13. Tsaur, W.-J., Huang, Y.-J. Constructing secure commercial vehicle operation systems based on XML and RFID techniques 2008 Proceedings of the 2008 International Conference on e-Learning, e-Business, Enterprise Information Systems, and e-Government, EEE 2008 pp. 393-399.

14. Ďurišová, M., Tokarčíková, E., Malichová, E., Potkanová, T. Benefits of business intelligence for enterprises in the road truck transport 2016 Transport Means - Proceedings of the International Conference 2016-October, pp. 477-480.

Subochev A.I., Falendysh A.P., Sichko A.E., Pomazkov M.V.

JUSTIFICATION OF SPECIALIZATION AND LOCATION OF TECHNICAL SERVICE ENTERPRISES

Objective and subjective factors that contribute to the development of modern technical service enterprises, which are intensively developing and are part of the socio-economic system of society, have been formed. The constant growth of the automobile fleet, especially used vehicles imported from abroad in the context of military operations, leads to an increase in production capacity, leads to an increase in the number of technical service enterprises that offer the necessary services and ensure high quality of their performance, in accordance with world standards. There is a steady increase in demand for new and used cars, which, in turn, leads to the growth and civilization of the market for car maintenance and repair services. The constant growth of the car fleet leads to an increase in production capacity, i.e. leads to an increase in the number of technical service enterprises that offer the necessary services and ensure the high quality of their performance, in accordance with international standards. New technical service enterprises are developing through

Транспортні технології

construction, capacity optimization, specialization of production and concentration in industrial facilities, trade in the central and adjacent areas of cities.

An algorithm has been developed that allows the methods of sequential approximation to identify the optimal specialization and location of the created technical service enterprises, taking into account the possible nature of production processes and the real level of competition. The structural reorganization of the enterprises of technical service which at the beginning of the activity did not have strict specialization and carried out works of small and average repair on all knots and systems of cars is offered. The dynamics of the structure of service enterprises in the city of Dnipro by years of operation in the pre-war period are considered. Graphic dependences of the probability of service on the number of posts and the average length of the queue on the factor of load capacity of road transport service enterprises were obtained. The presented graphs showed that in conditions of fierce competition, there is a noticeable change in the average length of the queue of cars, depending on the load capacity factor and the number of seats in the queue.

Keywords: *technical service enterprises, specialization, location, algorithm, structural adjustment, competitive environment.*

Стаття надійшла 19.11.2023 р.

УДК 656.078:620.98

doi.org/10.31498/2522-9990262023294298

Карашук В.О., Помазков М.В., Клецька О.В., Джус О.В., Катунів І.В.

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТУ

У роботі визначений стан та запропоновані перспективні заходи по підвищенню екологічності та енергоефективності транспорту. Виконаний аналіз досліджень і публікацій в питанні екологічності та енергоефективності автомобільного транспорту показав, що цьому питанню у світі приділяється велика увага. Визначені основні напрямки робіт: прогнозування споживання енергії та оцінка викидів забруднюючих речовин; моніторинг і контроль екологічних показників; розробка різних автоматичних систем контролю роботи автотранспорту; впровадження альтернативних палив та присадок до них. Але застосуванню відновлювальних джерел енергії для підвищення екологічної безпеки приділяється мало. Виконаний розподіл за видами енергоресурсів, що постачаються та споживаються всіма видами транспорту в довоєнний період. Визначені основні споживачі енергоресурсів та розрахований розподіл річного постачання та споживання для них. На основі енергетичного балансу визначені енергоресурси, які не використовуються для автомобільного транспорту. На основі діючих ліцензій виконаний розподіл господарської діяльності з перевезення пасажирів автомобільним транспортом.

Проаналізовано обсяги викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря від пересувних джерел за видами. Досліджено кількість та тип транспортних засобів, що беруть участь у перевезення пасажирів автомобільним транспортом. Визначені проблеми експлуатації транспортних засобів, що впливають на екологічність перевезень вантажів та пасажирів. Обґрунтовані основні підходи щодо застосування сонячної енергії для автомобільної транспортної галузі. За місцем застосування для транспортної інфраструктури пропонуються навіси з сонячними батареями для паркувальних місць. Для транспортних засобів пропонується використовувати сонячні фотоелементи для живлення допоміжних

Транспортні технології

ланцюгів та збільшення запасу ходу для електротранспорту. Для комбінованих систем пропонується розробляти комбіновані сонячні системи міського пасажирського транспорту.

Ключові слова: види транспорту, транспортні засоби, екологічність перевезень, енергоресурси, енергоефективність, сонячні системи.

Вступ. З метою створення ефективно працюючого транспортного комплексу України, відповідно до Транспортної стратегії України до 2030 року [1], однією з основних тенденцій розвитку є використання паливно-економічних та екологічних транспортних засобів, застосування альтернативних видів палива, “зелених” видів транспорту, пріоритетність потреб охорони навколишнього природного середовища та збереження цінних природоохоронних територій під час розвитку транспортної інфраструктури.

Постановка проблеми. Питання екологічності перевезень давно стало необхідністю для будь якого транспортного підприємства, що впливає на його конкурентоспроможність на ринку транспортних послуг. Все частіше замовники транспортних послуг обирають більш економічний та екологічний транспорт.

Аналіз досліджень і публікацій. Велика кількість робіт вітчизняних науковців присвячена проблемам підвищення екологічності та енергоефективності транспортних засобів. У роботі [2] визначені напрями управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами на основі прогнозування споживання енергії та викидів забруднюючих речовин парком дорожніх транспортних засобів. Авторами роботи [3] виконано аналіз особливостей моніторингу і контролю показників екологічної безпеки транспортних засобів і транспортних потоків в умовах інтелектуальних систем. У роботі [4] запропоноване комплексне вирішення питань створення та функціонування транспортного комплексу з урахуванням взаємодії у галузі транспортних та природоохоронних технологій. Наукові праці [5-6] присвячені питанням використання альтернативних палив для транспорту та зниження рівня токсичності відпрацьованих газів транспортних засобів.

Дослідження які виконані у наукових працях присвячені вирішенню проблем управління ефективністю використання енергії, дослідженню екологічної безпеки перевезень та транспортного комплексу але не розглядають питання застосування відновлювальних джерел енергії для транспортної галузі.

Мета дослідження. Метою цієї роботи є аналіз використання енергоресурсів за всіма видами транспорту та визначення основних перспектив підвищення його екологічності та енергоефективності за рахунок застосування відновлювальних джерел енергії.

Основний матеріал дослідження. З енергетичного балансу України [7] щорічно в середньому за рік всіма видами транспорту споживається 9164 тис. тонн енергоресурсів нафтового еквіваленту. Розподіл за видами енергоресурсів, що постачаються та споживаються всіма видами транспорту за період 2018-2020 р.р. наведено на рис. 1.

Транспортні технології

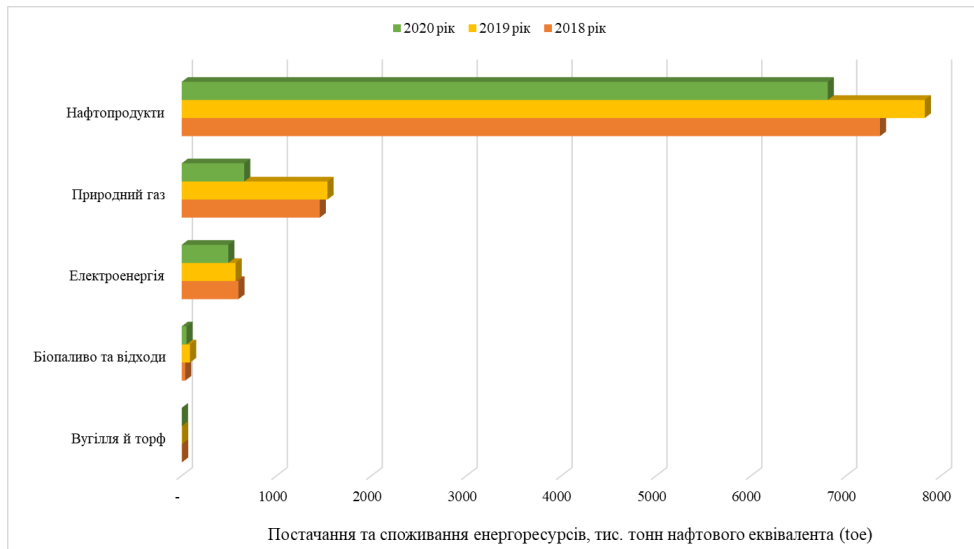


Рисунок 1 – Розподіл за видами енергоресурсів, що постачаються та споживаються всіма видами транспорту за період 2018-2020 р.р.

До основних видів енергоресурсів, що постачаються та споживаються транспортом є:

- нафтопродукти, споживання щорічно в середньому 7332 toe (tonne of oil equivalent), що складає 80% від усіх енергоресурсів, що споживаються транспортом;
- природний газ, споживання щорічно в середньому 1217 toe, що складає 13% від усіх енергоресурсів, що споживаються транспортом;
- електроенергія, споживання щорічно в середньому 552 toe, що складає 6% від усіх енергоресурсів, що споживаються транспортом;
- біопаливо та відходи, споживання щорічно в середньому 59 toe, що складає 1% від усіх енергоресурсів, що споживаються транспортом;
- вугілля й торф, споживання щорічно в середньому 4 toe, що складає менше 0,0005% від усіх енергоресурсів, що споживаються транспортом.

Розподіл річного постачання та споживання енергоресурсів, за видами транспорту в середньому за період 2018-2020 р.р. наведено на рис. 2.

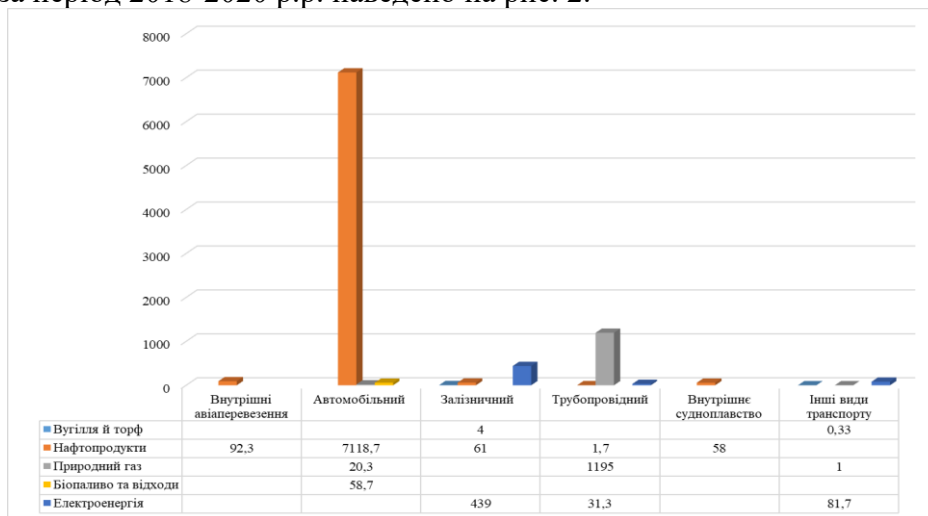


Рисунок 2 – Розподіл річного постачання та споживання енергоресурсів, за видами транспорту в середньому за період 2018-2020 р.р.

Транспортні технології

Основним споживачем енергоресурсів на транспорті є:

- нафтопродуктів є автомобільний транспорт – 7118,7 toe щорічно, що складає 97%;
- природного газу є трубопровідний транспорт – 1195 toe щорічно, що складає 98%;
- електроенергії є залізничний транспорт – 439 toe щорічно, що складає 79,5%;
- біопалива та відходів є автомобільний транспорт 58,7 toe щорічно, що складає 100%;
- вугілля та торфу є залізничний транспорт 4 toe щорічно, що складає майже 100%.

На основі даних енергетичного балансу [7] не використовуються для функціонування транспорту такі енергоресурси, як сира нафта, атомна енергія, гідроелектроенергія, вітрова та сонячна енергія, теплоенергія.

З проведеного аналізу зрозуміло, що великі обсяги споживання нафтопродуктів за всіма видами транспорту суттєво впливають на екологічну ситуацію в країні з викидами шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згоряння транспортних засобів.

В Україні в середньому щорічно (статистичні дані за період 6 років 2016-2021 р.р. [8] у атмосферне повітря від пересувних джерел викидається 1578194,32 т забруднюючих речовин. Серед яких:

- діоксид сірки - 18892,3 т (1,2%);
- оксид вуглецю - 1198796,68 т (76%);
- діоксид азоту - 170837,52 т (10,8%);
- оксид азоту - 820,02 т (0,1%);
- неметанові леткі органічні сполуки - 158550,98 т (10%);
- аміак - 7,16 т (0,001%);
- метан - 5073,54 т (0,3%);
- сажа –25216,32 т (1,6%).

При цьому кількість викидів забруднюючих речовин на одну особу щорічно складає 37,6 кг. Особливо велика концентрація шкідливих речовин спостерігається в атмосферному повітрі великих міст через скупчення автотранспортних засобів та часті затори. Основна доля викидів забруднюючих речовин у межах міста відноситься до викидів транспортних засобів автомобільного транспорту.

Так за даними Міністерства інфраструктури України [9] кількість діючих ліцензій за видами діяльності на право провадження господарської діяльності з перевезення пасажирів автомобільним транспортом та міжнародні перевезення пасажирів станом на 01.01.2020. наведені на рис.3.

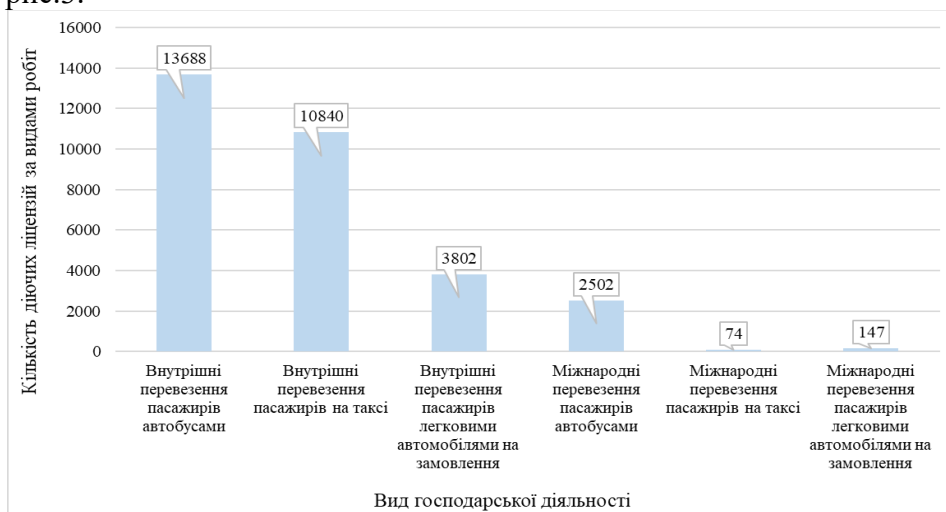


Рисунок 3 – Кількість діючих ліцензій за видами діяльності на право провадження господарської діяльності з перевезення пасажирів автомобільним транспортом

Транспортні технології

Найбільша кількість діючих ліцензій відносяться до внутрішніх перевезень пасажирів автобусами – 13688, внутрішніх перевезень пасажирів на таксі - 10840, та внутрішніх перевезень пасажирів легковими автомобілями на замовлення – 3802.

Кількість та тип транспортних засобів, які закріплені за ліцензіатами як засоби провадження господарської діяльності наведено на рис. 4.

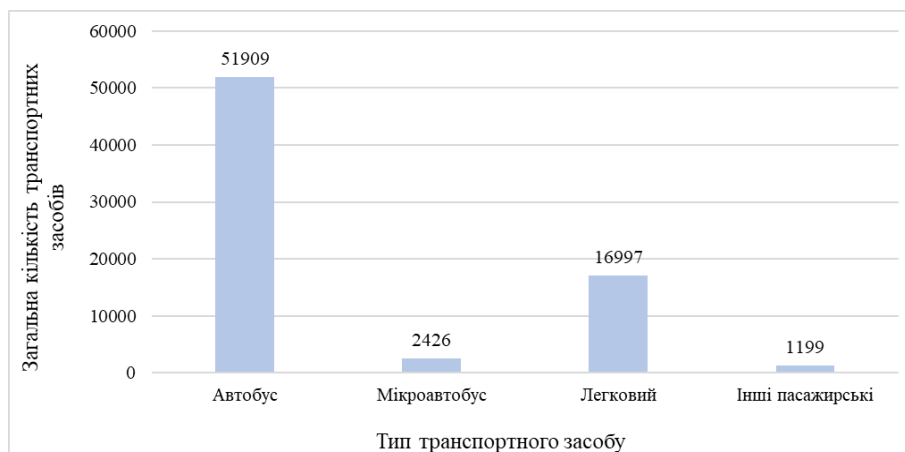


Рисунок 4 – Кількість та тип транспортних засобів, які закріплені за ліцензіатами як засоби провадження господарської діяльності з перевезення пасажирів автомобільним транспортом

Основним типом транспортних засобів, що закріплені за ліцензіатами є автобуси – 51909 од., легкові автомобілі – 16997 од., мікроавтобуси – 2426 од., та 1199 – інші пасажирські транспортні засоби.

Значна частина парку автомобільних транспортних засобів, що використовуються для перевезень пасажирів морально та технічно застаріла, що характеризується підвищеними енерговитратами та низької їх екологічності. Основними проблемами при експлуатації транспортних засобів є підвищена витрата палива, використання пального низької якості, незадовільний стан системи згоряння палива у двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), великий час роботи в режимах холостого ходу та на низьких навантаженнях. Всі ці фактори впливають на екологічність транспорту, тобто на обсяги викидів шкідливих речовин з вихлопними газами ДВЗ транспортних засобів.

Провідні компанії автомобілебудування давно прийняли курс на заміну дизельних та бензинових автомобільних двигунів на електричні, але це в першу чергу стосується індивідуального пасажирського транспорту (легкових автомобілів).

Як зазначено в [10] основними інструментами підвищення екологічної стійкості міст є підвищення екологічності транспортних засобів, а саме: надання пріоритету електричним видам транспорту, використання екологічно чистіших видів палива та введення незалежного контролю за технічним станом транспорту.

Заміна автобусних міських перевезень електричними видами транспорту зможе підвищити екологічність перевезень, але складна ситуація в країні з виробленням та споживанням електричної енергії в умовах військової агресії не дозволить збільшити витрати цього енергоресурсу. Так у період з 2018 по 2020 роки щорічні витрати (в середньому за період) електроенергії за видами економічної діяльності що припадають на функціонування транспорту, роботу складського господарства, здійснення поштової та кур'єрської діяльності складають 6217394 тис. кВт год, при загальному споживанні за всіма видами економічної діяльності 87834706 тис. кВт год тобто 7,1% від усіх витрат. З них на виробництво

Транспортні технології

продукції/виконання робіт транспорту, складського господарства та поштової, кур'єрської діяльності витрачається щорічно 4468571 тис. кВт год електричної енергії [11].

У цій складній енергетичній ситуації потрібні інші підходи щодо підвищення енергоефективності та екологічності видів транспорту. Одним з них є використання сонячної енергії для транспортних засобів. Наразі вченими та розробниками всього світу ведуться дослідження щодо широкого використання сонячної енергетики в транспортній галузі. Так для залізничного транспорту пропонується застосування сонячних панелей для живлення електричних ланцюгів систем кондиціонування та освітлення поїздів [12], живлення зарядних станцій для пасажирів [13], живлення акумуляторних батарей поїзда, що функціонує повністю від сонячної енергії [14]. Широкого впровадження набуло застосування фотоелектричних панелей для автомобільного транспорту. Розробники пропонують впровадження гібридних сонячних електростанцій на базі автомобільного навісу, що дозволить заряджати електромобілі під час блекаутів [15]. Автомобілевиробники почали впроваджувати сонячні елементи безпосередньо на транспортних засобах, так на електромобілі Lightyear One кришу і капот покриває 5 м² вбудованих сонячних елементів у захисне скло. Використання сонячних панелей в сонячну погоду дозволяє поповнити запас ходу на 12 км кожену годину, взимку до 10 км [16]. У автомобіля SolarWorld GT сонячна площа складає 3 м², та сонячна потужність 800 Вт [17]. Компанія Scania почала випробування автопоїзда на сонячних батареях. Тягач з підключаємою гібридною силовою установкою потужністю 540 к.с. працює в парі з 18-метровим напівприцепом, покритим гнучкими сонячними панелями загальною площею 100 м². Їхня максимальна ефективність (пікова потужність) становить 13,2 кВтгод. Електроенергія накопичується в акумуляторних батареях ємністю 300 кВтгод (100 кВт на тягачі та 200 кВт на причепі). За даними виробника, щорічна експлуатація автопоїзда в умовах клімату Швеції дозволить виробити близько 8000 кВт год енергії, що забезпечить додатковий запас ходу 5000 км [18].

З аналізу використання живлення транспортних засобів від сонячної енергії [19] можна виділити декілька основних підходів використання сонячної енергії рис.5.

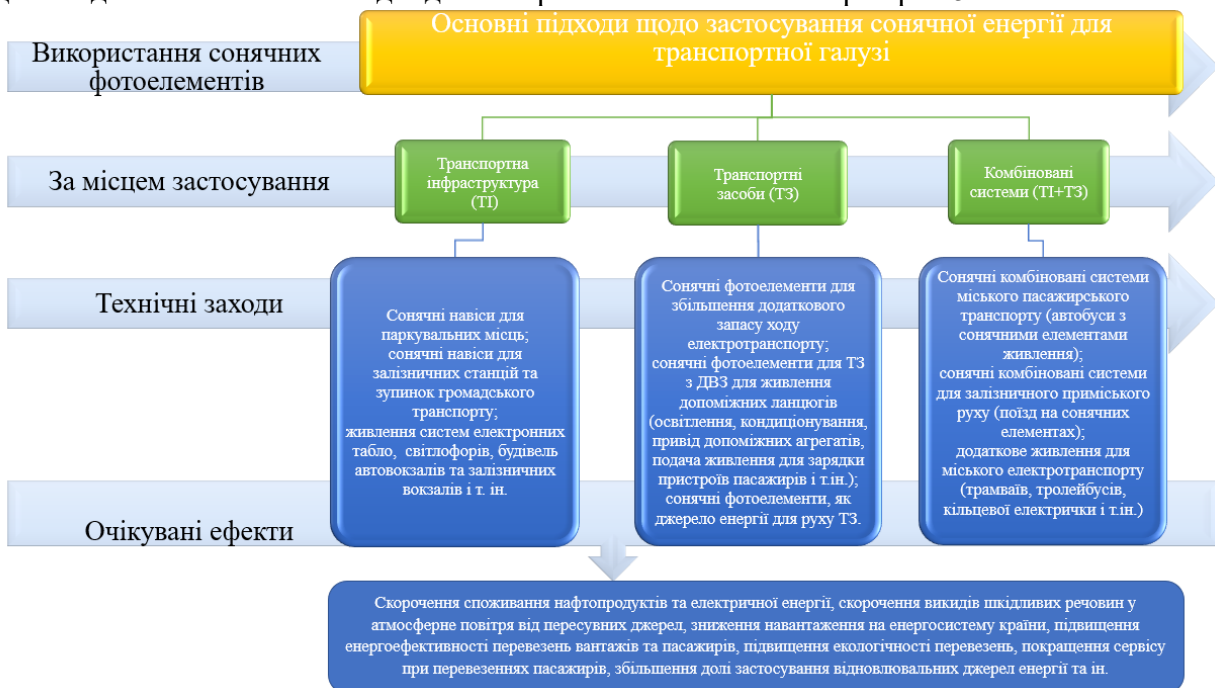


Рисунок 5 – Основні підходи щодо застосування сонячної енергії для транспортної галузі

Транспортні технології

При використанні сонячних елементів можливо декілька схем їх розміщення: на елементах транспортної інфраструктури (ТІ), безпосередньо на самих транспортних засобах (ТЗ) та комбіновані системи, що передбачають одночасне розташування фотоелементів, як на елементах інфраструктури так і на транспортних засобах. До основних технічних заходів переходу транспортної інфраструктури на сонячну енергію слід віднести такі: створення сонячних навісів для місць паркування автотранспорту, залізничних станцій та зупинок громадського транспорту; використання фотоелементів для живлення систем електронних табло, світлофорів, будівель автовокзалів та залізничних і т. ін.

Технічні заходи, що стосуються використання сонячної енергії на транспортних засобах автомобільного та залізничного транспорту передбачають встановлення фотоелементів на даху та стінках кузовів автомобілей, фургонів та вагонів поїздів та електрорухомого складу для збільшення додаткового запасу ходу електротранспорту, живлення допоміжних ланцюгів (освітлення, кондиціонування, привід допоміжних агрегатів, подача живлення для зарядки пристроїв пасажирів і т.ін.) та як автономне джерело енергії для руху ТЗ. Основним недоліком широкого застосування сонячних фотоелементів в якості автономного джерела енергії для рухомого складу є їх низька сонячна потужність та необхідна велика площа для розміщення панелей на кузові транспортного засобу, що іноді не можливо конструкційно. У цьому випадку доцільно використовувати комбіновану схему застосування сонячних елементів, тобто розміщення частини фотоелементів на великих площах транспортної інфраструктури з метою накопичення сонячної енергії та розміщення частини фотоелементів безпосередньо на кузові транспортного засобу (наприклад кузову автобусу, вагону поїзда, фургону автопоїзда) та подальшим живленням цих транспортних засобів на зупиночних пунктах. Також буде доцільним одночасне використання системи рекуперативного гальмування транспортних засобів. Проектами по цій схемі можуть бути сонячні комбіновані системи міського пасажирського транспорту (автобуси з сонячними елементами живлення); сонячні комбіновані системи для залізничного приміського руху (поїзд на сонячних елементах); додаткове живлення енергією для міського електротранспорту (трамваїв, тролейбусів, кільцевої електрички і т.ін.). Очікуваними ефектами від впровадження можуть бути: скорочення споживання нафтопродуктів та електричної енергії; скорочення викидів шкідливих речовин у атмосферне повітря від пересувних джерел; зниження навантаження на енергосистему країни; підвищення енергоефективності перевезень вантажів та пасажирів; підвищення екологічності перевезень; покращення сервісу при перевезеннях пасажирів; збільшення долі застосування відновлювальних джерел енергії та ін.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного аналізу зрозуміло, що для функціонування транспорту повинна бути збільшена доля альтернативних джерел енергії. Використання сонячної енергії стає дедалі більшим у різних галузях промисловості, удосконалення конструкцій сонячних елементів дозволить збільшити обсяги їх застосування у транспортному комплексі. Це дозволить в свою чергу підвищити енергоефективність та екологічність перевезень вантажів та пасажирів.

Список використаних джерел

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. Схвалена постановою КМУ Україн и від 30 травня 2018 р. № 430-р. Електронний ресурс: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>

2. *Клименко О.А.* Прогнози розвитку автомобільного транспорту, споживання різних видів енергії, викидів забруднювальних речовин і впливу на довкілля на період до 2050 року за різними сценаріями соціально-економічного розвитку та підходами до державного регулювання. Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури: збірка тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Київ: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2022. С. 42 - 47.
3. *Матейчик В.П.* Особливості моніторингу і контролю показників екологічної безпеки транспортних засобів і транспортних потоків в умовах інтелектуальних систем/ *В.П. Матейчик, М. Смешек, М.П. Цюман* // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2016. – № 34. -С. 255-266.
4. *Зеленько Ю. В.* Концепція екологізації мультимодальних перевезень/ *Ю. В. Зеленько, В. Е. Черкудінов, С. І. Левицька* // Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. Вип. 24, 2022 р. С.58-62. doi: 10.15802/tstt2022/272065
5. *Жук Г.В.* Альтернативні палива для транспорту: біогаз та зріджений метан/ *Г.В. Жук, С.П. Крушевнич, С.В. Костриця* та ін.// Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури: збірка тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Київ: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2022. С. 74-75.
6. *Авраменко А.М.* Поліпшення екологічних показників дизельних двигунів шляхом додавання мікрододатків водню до штатного палива / *А.М. Авраменко, А.М. Левтерев* // Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури: збірка тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Київ: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2022. С. 165-167.
7. Енергетичний баланс України за 2018-2020 р.р. Статистична звітність : веб-сайт URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 24.10.2023 р.). Назва з екрану.
8. Викиди забруднюючих речовин від пересувних джерел забруднення (2016-2021). Статистична звітність: веб-сайт URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 24.10.2023 р.). Назва з екрану.
9. Статистичні дані по галузі автомобільного транспорту: веб-сайт URL: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html> (дата звернення 24.10.2023 р.). Назва з екрану.
10. Вплив транспорту на екологію міста. Аналіз та стратегії для України: веб-сайт URL: https://ucn.org.ua/wp-content/uploads/2017/02/transport-ukr4_small.pdf (дата звернення 24.10.2023 р.). Назва з екрану.
11. Постачання та використання енергії. Використання електричної енергії за видами економічної діяльності. Статистична звітність: веб-сайт URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 24.10.2023 р.). Назва з екрану.
12. *Рейка Т.* Сонячна енергія – використовуємо для потреб залізничного транспорту: веб-сайт URL: <https://www.railway.supply/uk/sonyachna-energiya-vikoristovu%D1%94mo-dlya-potreb-zaliznichnogo-transportu/> (дата звернення 23.10.2023) Назва з екрану.
13. *Meinhold B.* Solar-Powered MagLev Concept Train is Sleek Alternative Transportation: веб-сайт URL: <https://inhabitat.com/solar-powered-maglev-concept-train-for-bombardier/> (дата звернення 23.10.2023) Назва з екрану.
14. *Byron Solar Train:* веб-сайт URL: <https://byronbaytrain.com.au/sustainability/> (дата звернення 23.10.2023) Назва з екрану.
15. Сонячна електростанція “Енергопорт-16”: веб-сайт URL: <https://avenston.com/products/energoport-16/> (дата звернення 23.10.2023) Назва з екрану.
16. *Lightyear One:* веб-сайт URL: <https://hevcars.com.ua/lightyear/one-solar-electric-car/> (дата звернення 25.10.2023) Назва з екрану.

17. SolarWorld GT: веб-сайт URL: <https://bosolar.de/solarworld-gt-en/> (дата звернення 25.10.2023) Назва з екрану.

18. Гоголев Ю., Автопоїзд Scania на сонячних батареях зможе проїхати 5000 км: веб-сайт URL: <https://www.autocentre.ua/ua/kommercheskie/novinka-kommercheskie/avtopoezd-scania-na-solnechnyh-batareyah-smozhet-proehat-5000-km-1460662.html> (дата звернення 30.10.2023 р.) Назва з екрану.

19. Каращук В.О., Використання сонячної енергії для транспортних засобів/ В.О. Каращук, В.О. Сосновцев, І.В. Катунів// The 10th International scientific and practical conference “European scientific congress” (October 29-31, 2023) Barca Academy Publishing, Madrid, Spain. 2023. P.187-193. <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2023/10/EUROPEAN-SCIENTIFIC-CONGRESS-29-31.10.23.pdf>.

Karaschuk V.O., Pomazkov M.V., Kletska O.V., Dzhus O.V., Katunov I.V.

STATE AND PROSPECTS FOR INCREASING ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS AND ENERGY EFFICIENCY OF TRANSPORT

The work defines the state and proposes prospective measures to increase environmental friendliness and energy efficiency of transport. The analysis of research and publications on the issue of environmental friendliness and energy efficiency of road transport showed that this issue is receiving a lot of attention in the world. The main areas of work have been determined: energy consumption forecasting and pollutant emissions assessment; monitoring and control of environmental indicators; development of various automatic systems for monitoring the operation of motor vehicles; introduction of alternative fuels and their additives. But the use of renewable energy sources to increase environmental safety is not given much attention. The division by types of energy resources supplied and consumed by all types of transport in the pre-war period has been carried out. The main consumers of energy resources are determined and the distribution of annual supply and consumption for them is calculated. On the basis of the energy balance, energy resources that are not used for road transport are determined. On the basis of valid licenses, the distribution of economic activity for the transportation of passengers by road transport has been carried out.

The volumes of emissions of harmful substances into atmospheric air from mobile sources by type were analyzed. The number and type of vehicles involved in the transportation of passengers by road were studied. The problems of the operation of vehicles that affect the environmental friendliness of the transportation of goods and passengers have been identified. The main approaches to the application of solar energy for the automobile transport industry are substantiated. Canopies with solar panels for parking spaces are offered depending on the place of application for the transport infrastructure. For vehicles, it is proposed to use solar photovoltaic cells to power auxiliary circuits and increase the range of electric vehicles. For combined systems, it is proposed to develop combined solar systems of urban passenger transport.

Keywords: types of transport, means of transport, ecological transport, energy resources, energy efficiency, solar systems.

Стаття надійшла 17.11.2023 р.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ БІОІНЖЕНЕРНИХ ЗАДАЧ ТА ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Інженерна спільнота зараз переживає період інноваційних та захоплюючих можливостей завдяки поєднанню біоінженерії та Інтернету речей (IoT). Цей симбіоз стає основою для розвитку нових технологій, що перетворюють спосіб, яким ми бачимо використання пристроїв в біологічних дослідженнях та медицині. Біоінженерні завдання охоплюють широкий спектр додатків, від медичних пристроїв до біотехнологічних рішень, що потребують різних характеристик мікроконтролерів. Вибір мікроконтролера у біоінженерії ускладнюється потребою високої точності, надійності та ефективності роботи в різних умовах. Різноманітність сенсорів, які використовуються у біоінженерних задачах, вимагає підтримки різних інтерфейсів та обробки даних мікроконтролером. В свою чергу Інтернет речей, революційне відкриття, яке постійно трансформується у нові типи апаратних засобів та програмного забезпечення, що робить його беззаперечно необхідним для будь-яких технологічних рішень, зокрема і у біоінженерії. Мікроконтролер або плата розробника для Інтернету речей - це прототипне рішення, яке включає в себе енергоефективні процесори, що підтримують різні середовища програмування, збирають дані з датчиків за допомогою вбудованого програмного забезпечення та передають їх на сервер або у хмару. Увійшовши в еру Інтернету речей, використання невеликих, дешевих та гнучких апаратних засобів, що дозволяють програмування кінцевим користувачам, стає актуальним. У цій статті ми надаємо огляд сучасного апаратного забезпечення та досліджуємо продуктивність різних мікроконтролерів, таких як Arduino Uno, ESP32, Raspberry Pi. Аналіз сучасних мікроконтролерів для вирішення біоінженерних завдань з використанням Інтернету речей є важливим напрямом наукових досліджень.

Ключові слова: інтернет речей (IoT), програмна плата, Ардуіно, ESP32, Raspberry Pi, компілятор, WiFi, біоінженерія, прототип, інтерфейс.

Постановка проблеми. Біоінженерні завдання охоплюють широкий спектр додатків, від медичних пристроїв до біотехнологічних рішень, що потребують різних характеристик мікроконтролерів. Вибір мікроконтролера у біоінженерії ускладнюється потребою високої точності, надійності та ефективності роботи в різних умовах [1]. Різноманітність сенсорів, які використовуються у біоінженерних задачах, вимагає підтримки різних інтерфейсів та обробки даних мікроконтролером. Від споживчих електронних пристроїв до медичних імплантатів, вимоги до мікроконтролерів у біоінженерії можуть суттєво відрізнятись [2]. Необхідність оптимізації споживаної енергії та довготривала автономність у використанні ускладнює вибір мікроконтролера для біоінженерних пристроїв [3]. Розширені можливості обробки даних та швидкість реакції важливі для точних медичних діагностичних пристроїв, що ускладнює вибір відповідного мікроконтролера. Велика кількість різних протоколів зв'язку та взаємодії між пристроями у біоінженерних системах потребує вивчення сумісності та можливостей мікроконтролера [4]. Наявність вбудованих блоків обробки сигналів, підтримки високошвидкісних інтерфейсів та алгоритмів шифрування може бути ключовою у виборі мікроконтролера. Потреба у відповідності до стандартів безпеки та медичних регулятивних вимог ускладнює вибір мікроконтролера для медичних пристроїв. Швидкий та неперервний розвиток біоінженерних технологій призводить до постійних змін в вимогах до мікроконтролерів, що робить вибір більш складним та динамічним процесом [4]. В цій статі

ми пропонуємо аналіз найпопулярніших мікроконтролерів, їх переваги та недоліки для вирішення біоінженерних задач.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ринок Інтернету речей (IoT) швидко розширюється за останні кілька років внаслідок зростаючого попиту на зв'язок та керування різними пристроями та гаджетами. Основною вимогою, яку застосовують до сучасних пристроїв IoT, є забезпечення ефективного зв'язку для надійної віддаленої комунікації та передачі даних у бездротовому середовищі. Ця концепція для пристроїв IoT в англійській літературі називається 6A (Anything, Anytime, Anyone, Anyplace, Any service, and Any network) [5].

Технологія IoT значно впливає на поведінку та спосіб життя людей як у робочих, так і в домашніх умовах. Розширені можливості зв'язку радикально перетворюють властивості та функціонування промислової автоматизації та виробництва, управління бізнесом і процесами, інтелектуальний транспорт і логістику, медицину та біоінженерію тощо. У сфері домашніх застосувань IoT покращує автоматизацію будинку та впроваджує нові технології на основі зв'язку, такі як домотика, підтримка життєдіяльності, електронне здоров'я та електронне навчання тощо.

Для подальшого розвитку IoT та розширення області його застосування потрібні потужні, недорогі та енергоефективні рішення для пристроїв IoT. Ще однією вимогою до пристрою IoT є його компактний форм-фактор: чим менший розмір і вага пристрою, тим ширший спектр його застосувань. Кожна одиниця на основі IoT складається з мікроконтролера та бездротового модуля комунікації (зазвичай WiFi), або комбінації обох функцій в одному пристрої. На ринку вже є великий вибір модулів, які широко використовуються для розробки пристроїв IoT, такі як Xbee, WhizFi, деякі плати Arduino тощо [3]. Однак більшість сьогоднішніх доступних пристроїв є досить дорогими або великими за розміром та вагою. Крім того, дуже небагато модулів є пристроями з відкритим вихідним кодом і не мають обмежень у цілях використання. Плата ESP32, випущена на ринок компанією Espressif Systems у вересні 2016 року, для заміни попереднього мікроконтролера ESP8266. Пристрій ESP32 - це потужний мікроконтролер з вбудованим Wi-Fi та Bluetooth®, призначений для використання у пристроях IoT.

З інноваціями у технології виготовлення напівпровідників виробники здатні інтегрувати пам'ять, вводи-вивідні інтерфейсні схеми, таймери, послідовні порти зв'язку та аналого-цифрові перетворювачі та інші периферійні пристрої у мікроконтролер. Таким чином, це, по суті, ціла мікросхема, виготовлена на одному чіпі. Одиначні мікроконтролери використовуються в товарах для споживачів, таких як пральні машини, копіювальні апарати, кондиціонери, принтери і т.д., високошвидкісна обробка даних, така як відеоконференції, реальний час стиснення та системи безпеки, обробка зображень і т.д., системи автомобілів, такі як електронні системи керування кермом, системи протиблокувального гальмування і т.д., різні промислові застосування, такі як приводи змінного та постійного струму, позиційне керування, керування рухом та інше. Через інтеграцію всіх блоків функцій на одному чіпі мікроконтролера, розміри плат управління та споживання енергії зменшуються; надійність системи збільшується, а також забезпечується гнучкість [3-4]. Інші переваги використання таких систем на основі мікроконтролерів - просте виправлення помилок та обслуговування. Всі вищезазначені області застосування залежать від кількох факторів вибору правильного мікроконтролера для конкретних застосувань. У цій роботі наводиться огляд критичних врахувань факторів, що відповідають специфікаціям системи за рахунок зменшення загальних витрат, до яких входять витрати на виробництво, гарантію, науково-дослідну роботу, післяпродажне обслуговування, обслуговування, заміну та інше.

У 1993 році створення EEPROM дозволило мікроконтролерам (починаючи з Microchip PIC16x840) виконувати швидке електричне стирання. Разом з цим з'явилась можливість

швидкого створення прототипів і швидкого програмування In-System-Programming (ISP). Того ж року був представлений перший мікроконтролер, який використовував флеш-пам'ять, розроблений компанією Atmel. Сьогодні на ринку доступні мікроконтролери від 4 до 32 біт [6]. Структуру сучасного мікроконтролера можна описати основними елементами, які наведені на рисунку 1.

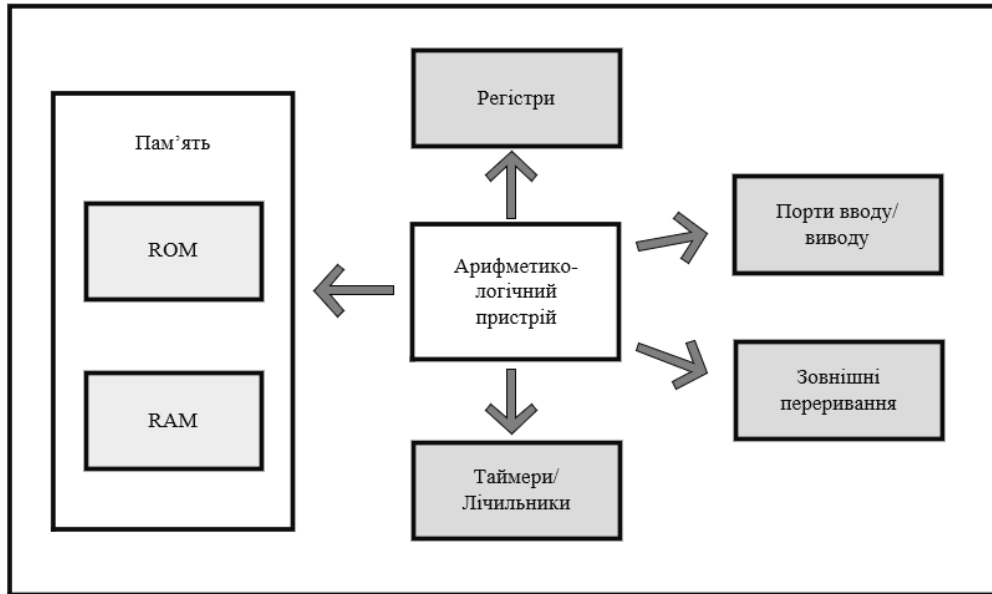


Рисунок 1 – Схематична блок-схема сучасного мікроконтролера

Залежно від кількості бітів вони класифікуються на чотири категорії: 4-бітові, 8-бітові, 16-бітові та 32-бітові мікроконтролери. 4-бітові мікроконтролери широко використовуються в електронних іграшках. 8-бітові мікроконтролери використовуються в різних системах керування, таких як керування положенням, керування швидкістю та будь-якою системою управління процесами. 16-бітові мікроконтролери розроблені для високошвидкісних застосувань, таких як системи керування сервоприводом, робототехніка тощо. Програмування таких мікроконтролерів може здійснюватися або мовою високого рівня (C++, Python), або мовою асемблера. Для дуже швидких операцій у робототехніці, обробці зображень, автомобільній техніці, системах інтелектуального керування та телекомунікаціях використовуються 32-бітові мікроконтролери. Типовими прикладами мікроконтролерів є сімейства Intel MCS48, 51 і 96, Motorola MC68HC11 і Zilog z8. Більшість з цих мікроконтролерів мають розмір однієї літери у 8 біт (за винятком MCS-96 з розміром літери у 16 біт), принаймні 64 байти ОЗУ і 1 КБ ПЗУ. Кількість ліній вводу/виводу варіюється від 16 до 40.

Мета дослідження. Мета статті полягає в проведенні аналізу сучасних мікроконтролерів, які використовуються для вирішення завдань у сфері біоінженерії з використанням Інтернету речей (IoT). Стаття спрямована на дослідження та визначення ключових параметрів, які впливають на вибір мікроконтролера для біоінженерних застосувань в умовах IoT.

Основний матеріал дослідження. Різні виробники виготовляють мікроконтролери з різними архітектурами. Intel 8051, Freescale 6811, PIC 16X від Microchip Technology, Zilog Z8 - це чотири основні 8-бітові мікроконтролери (рис.1.). Завдяки унікальному набору інструкцій та регістрів вони несумісні між собою. Програма, написана для одного з них, не запуститься на іншому мікроконтролері від іншого виробника [6].

Одна з основних цілей розроблюваного пристрою (з точки зору Інтернету речей) полягає в зборі даних. Тому наступним кроком слід задуматися про те, які саме дані ми збираємо та яке обладнання для цього потрібно. У еру Інтернету речей активно використовуються невеликі, дешеві та гнучкі обчислювальні пристрої, які дозволяють користувачам виконувати програмування на кінцевому етапі. Мікроконтролер спрямований на інтеграцію периферійних пристроїв, необхідних для швидкого управління вбудованою системою. Простими словами, мікроконтролер - це один інтегрований лічильник, який принаймні містить необхідні елементи повноцінної комп'ютерної системи. При розробці нових рішень для Інтернету речей, апаратні та програмні компоненти розробляються, створюються прототипи та удосконалюються за допомогою інтерактивного процесу зворотного зв'язку та оцінки. Існуючі апаратні платформи, такі як Arduino та Raspberry Pi, можуть допомогти прискорити цей процес швидкої розробки та удосконалення, оскільки вони легко доступні та вимагають менших інвестицій, ніж проектування та виготовлення спеціальних друкованих плат (ПЛІС) на кожній ітерації дизайну. Вибір плати для розробки IoT здійснюється на основі наступних факторів:

- Вартість;
- Специфікації: пам'ять, процесор, можливості введення-виведення тощо;
- Підтримка/опції програмування;
- Надійність постачальника;
- Сумісність з датчиками та приводами.

Таблиця 1 – Список виробників та їхніх продуктів

Виробник	Продукт
Atmel	AT89 series (Intel 8051 architecture) , AT90, ATtiny, ATmega, ATxmega series(AVR architecture), AT91SAM (ARM architecture), AVR32 (32-bit AVR architecture), MARC4
Dallas Semiconductor	8051 family, MAXQ RISC family, Secure Micros family
Freescale Semiconductor	68HC05, 68HC08, 68HC11 (8-bit), 68HC12, 68HC16 (16-bit), 683XX, MCF5xxx, M-core, MPC500, MPC860 (32-bit)
Intel	MCS-48, MCS-51, 8xC251 (8-bit), MCS-96, Intel MCS-296
Microchip Technology	PIC10, PIC12, PIC16 series, PIC18 series (8-bit), PIC24, dsPIC (16-bit), PIC32MX series
NXP Semiconductor	80C51 (8-bit), XA (16-bit), ARM7/LPC2000, ARM9/LPC3000, ARM Cortex-M0/LPC800,LPC1100, LPC1200, ARM Cortex-M3/LPC1300, LPC1700, LPC1800, ARM Cortex-M4/LPC4300
ST Microelectronics	ST6, ST7, STM8, uPSD (8-bit), ST10 (16-bit), ST20, ARM7/STR7, ARM9/STR9, ARM Cortex-M0/STM32 F0, ARM Cortex-M3/STM32 F1, F2, ARM Cortex-M4/STM32 F4
Texas Instruments	TMS370 (8-bit), MSP430 (16-bit), TMS 320, ARM Cortex-R4/TMS570 (32-bit)
Zilog	8051, ARM922T, MAXQ20, MAXQ30, MIPS4kSD
Maxim Integrated	8051, ARM922T, MAXQ20, MAXQ30, MIPS4kSD

Збір даних (Data acquisition DAQ) - це процес вимірювання умов реального світу та перетворення цих вимірювань на цифрові показники з фіксованими інтервалами часу (частота зрізу даних) [5]. Датчики - це компоненти введення, які вимірюють фізичні величини та перетворюють їх на електричні сигнали (зазвичай напругу). До вимірюваних сигналів відносяться температура, вологість, тиск, дим, газ, світло, звук, вібрація, потік повітря, потік води, швидкість, прискорення, близькість, позиція за GPS, висота чи сила, і список може

продовжуватися. Датчики контролюють внутрішній стан пристрою, а елементи, такі як кнопки, перемикачі чи сенсорний екран, можуть використовуватися для безпосередньої взаємодії з пристроєм, надаючи інтерфейс людина-машин. Вихідні пристрої є протилежними: вони перетворюють електричний сигнал на фізичний результат. До вихідних пристроїв відносяться світлодіоди, динаміки та екрани, а також приводи, такі як двигуни чи соленоїди, які переміщують або керують речами у фізичному світі. Проаналізуємо сучасні мікроконтролери, які представлені сьогодні на ринку з точки зору їх апаратних та програмних можливостей.

Arduino UNO - це відкрита прототипна платформа, яка добре підходить для початку роботи з електронікою та програмуванням (рис.2). UNO є найбільш використовуваною та задокументованою платою усієї сім'ї Arduino. Універсальна та проста у використанні апаратна частина та програмне забезпечення UNO, дають розробнику можливості швидко створювати прототипи та мати якісний апаратно-орієнтований підхід до розробки. Arduino чудово справляється з конфігурацією апаратури та передачею даних на зовнішній пристрій для їх відображення. Плату потрібно просто підключити до комп'ютера за допомогою USB-кабелю або до мережі за допомогою адаптера AC-DC або батареї, щоб почати роботу. Основні характеристики: базується на процесорі ATmega328P. Має 14 цифрових входів/виходів (з яких 6 можуть використовуватися як виходи ШІМ), 6 аналогових входів, 16-мегагерцовий кварцовий кристал, USB-підключення, роз'єм живлення, ICSP та кнопку скидання. "Uno" означає "один" на італійській мові і було обрано для позначення випуску Arduino Software (IDE) 1.0. Arduino Software (IDE) були основними версіями Arduino, які тепер розвиваються до нових релізів [7].

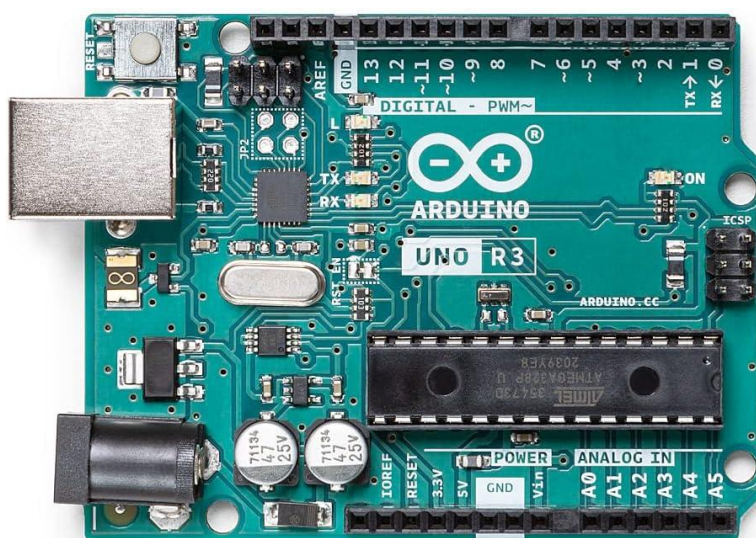


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд плати Arduino UNO

Мікроконтролер ATmega може виконувати до 16 мільйонів операцій за секунду. На перший погляд, 16 мільйонів операцій за секунду може здатися великою кількістю (і це так, в певному роді), але коли ми розглядаємо, скільки різних операцій потрібно виконати навіть для простих завдань на Arduino, то це насправді не так вже й багато. Для багатьох проектів тактові цикли діляться між такими операціями, як обчислення, комунікація по I2C, читання та запис в контакти та регістри, а також багатьма іншими операціями.

Плати до прототипування Raspberry Pi, є комп'ютерами компактного розміру, майже розміром з кредитну картку (рис.3). Їх легко можна підключити до монітора, комп'ютера або

телевізора, вони сумісні зі стандартною клавіатурою та мишею [8]. Навіть користувачі з обмеженим технічним досвідом використовують ці платформи для налаштування своїх цифрових медіа-систем та систем спостереження. Серед різних версій Raspberry Pi, Raspberry Pi 3 вирізняється як доступна та потужна обчислювальна платформа. Основні характеристики: Raspberry Pi 3 включає в себе процесор з такими характеристиками: 1,2 ГГц, 64-бітний чотирьохядерний процесор ARMv8, бездротова мережа 802.11n, Bluetooth 4.1, Bluetooth Low Energy (BLE), 1 ГБ оперативної пам'яті, 4 USB-порти, 40 GPIO-выводів, повноцінний HDMI-порт, комбінований аудіо-вихід на 3,5 мм та комбінований вихід для композитного відео, інтерфейс камери (CSI), інтерфейс дисплея (DSI), слот для Micro SD-карт, графічне ядро videoCore IV 3D.

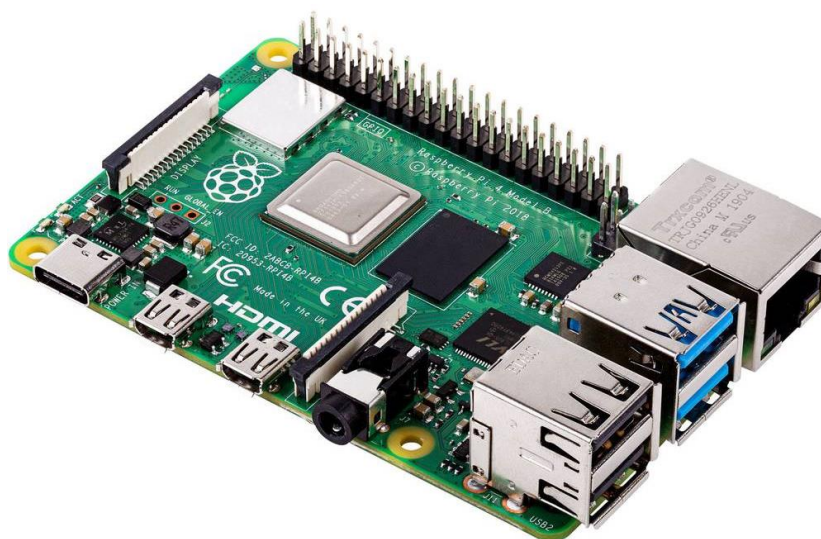


Рисунок 3 – Зовнішній вигляд плати Raspberry Pi 3

Raspberry Pi 3, з чотирьохядерним процесором ARM CortexA53, вважається у 10 разів потужніший за Raspberry Pi 1. Це, на думку дослідників, залежить від паралельності завдань та використання набору інструкцій. Вимірювання продемонстрували, що Raspberry Pi 3 при паралельних завданнях приблизно на 80% швидший за Raspberry Pi 2. У паралельних тестах Raspberry Pi 2 V1.1 може бути до 14 разів швидшим за Raspberry Pi 1 Model B+. Перше покоління Raspberry Pi працювало за замовчуванням на частоті 700 МГц та забезпечувало реальну продуктивність, що приблизно відповідала 0.041 GFLOPS. Графічні можливості Raspberry Pi приблизно відповідають продуктивності Xbox 2001 року. Результати однододових обчислень у бенчмарках LINPACK показують середню продуктивність однокоршівної точності 0.065 GFLOPS та подвійної точності 0.041 GFLOPS для однієї плати Raspberry Pi Model-B. Способи використання програмного забезпечення: Raspberry Pi працює на спеціально адаптованій версії операційної системи Debian Linux під назвою Raspbian, що дозволяє встановлювати різноманітні пакети, включаючи Node.js, Java, стек LAMP, Python та багато іншого.

Застосування:

- Можливість створення міні-комп'ютера;
- Дозволяє створювати легкий веб-сервер, оскільки підтримує всі мови програмування, такі як C++, Java;

–Може працювати з WordPress, тож ви можете керувати своїм власним блогом/веб-сайтом

Arduino та Raspberry Pi не мають вбудованої підтримки бездротових мереж. Розробники повинні додати модуль WiFi або мобільний модуль до плати та написати код для доступу до бездротового модуля. На ринку представлена відкрита плата для Інтернету речей під назвою ESP32 [7], яка дозволяє вам програмувати ваш пристрій за допомогою сценаріїв Lua (рис.4). Однією з його найунікальніших особливостей є вбудована підтримка WiFi-з'єднання. ESP32, розроблена і виготовлена компанією Espressif Systems, містить всі ключові елементи сучасного комп'ютера: процесор, оперативну пам'ять, мережеве з'єднання (WiFi), навіть сучасну операційну систему та набір розробника програмного забезпечення (SDK). Це робить ESP32 розумним вибором для взаємодії з Інтернетом речей [9].



Рисунок 4 – Зовнішній вигляд плати ESP32

Цей модуль надає простий засіб вимірювання продуктивності програми. Він приблизно кожні 50 мікросекунд відбирає лічильник програм та формує гістограму знайдених значень. Оскільки для зберігання гістограми доступна лише обмежена кількість пам'яті, користувач може вказати, яка область коду його цікавить. За замовчуванням обирається вся флеш-пам'ять, яка містить код. Після визначення "гарячих точок" можна повторити виконання з різними областями та різними роздільною здатністю, щоб отримати стільки інформації, скільки потрібно. Загальний опис характеристик плати: 64 кБ завантажувальної ROM, 32 кБ RAM для інструкцій, та 80 кБ оперативної пам'яті користувача (також, 32 кБ кеш-пам'яті для інструкцій та 16 кБ системної даних ETS). Зовнішня флеш-пам'ять доступна через SPI [10]. Сам чіп має розміри 5мм×5мм і розміщується в корпусі Quad Flat No-Leads з 33 з'єднувальними пластинами — по 8 пластин на кожній стороні та одну велику пластину у центрі [11]. USB-TTL включено, просте підключення та використання. 10 виводів GPIO від D0 до D10, можливість реалізації ШИМ-сигналу, комунікація по I2C та SPI, підтримка 1-Wire та АЦП A0 — усе це на одній платі з вбудованою PCB-антенною [11].

ВИСНОВКИ

Отже, проведений аналіз показує, що ці платформи сприяють розвитку Інтернету речей, використовуючи конкретні плати відповідно до призначеного застосування. Визначено, що різні платформи, такі як Raspberry Pi, Arduino та ESP32, мають свої унікальні переваги та

характеристики, які можна використовувати у біоінженерних дослідженнях та застосуваннях. Raspberry Pi-3 має високу продуктивність порівняно з платами, такими як Arduino та ESP32, у плані обсягу пам'яті та обчислювальної швидкості, але вищу ціну. ESP32, оснащений вбудованим WiFi та Bluetooth, служить як простий засіб підключення до Інтернету та передачі даних на хмарні сервери, якщо це необхідно для подальшої обробки. Однак з порівняння видно, що плати, такі як Arduino, оснащені вбудованим аналого-цифровим перетворенням, мають кращі можливості для сприймання аналогових даних, коли потрібно отримати неперервний сигнал від аналогових датчиків. Вибір конкретної платформи для біоінженерних завдань у сфері IoT залежить від конкретних потреб дослідження та вимог проекту, а також від важливості аспектів продуктивності, зв'язку та аналогового сприймання даних у конкретному застосуванні. Проведений аналіз допомагає зрозуміти переваги кожної з платформ та їх потенціал у біоінженерних проектах, сприяючи вибору оптимального рішення для конкретних завдань у цій сфері.

Список використаних джерел

1. Сілі І.І. Тензосенсорна рукавиця для людей з порушенням мовлення / Сілі І.І., Азархов О.Ю., Єфременко Б.В. // Наука та виробництво: міжвуз. темат. зб. наук. пр. Вип. 25 / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, ПДТУ, 2023. – 159 – 167 с. DOI: <https://doi.org/10.31498/2522-9990252023286737>.
2. Сілі І.І. Електронна система виміру деформацій пілону протезних систем / О. Ю. Азархов, І. І. Сілі, Б. В. Єфременко // Науковий вісник ТДАТУ. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. Вип. 13, том 2. URL: <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/435> DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-40.
3. Behura A. Application of the Internet of Things (IoT) in Biomedical Engineering: Present Scenario and Challenges / Behura A., Nandan Mohanty S. // Internet of Things and Its Applications. – 2022. – С. 151-169.
4. Pramesha Chandrasiri G. A. A comparative study in the application of IoT in health care: data security in telemedicine / Pramesha Chandrasiri G. A., Halgamuge M. N., Subhashi Jayasekara C. // Security, Privacy and Trust in the IoT Environment. – 2019. – С. 181-202.
5. Jain P. IoT-Based Solutions for Smart Healthcare // Emerging Technologies for Healthcare: Internet of Things and Deep Learning Models. – 2021. – С. 25-67.
6. George B. Advanced Interfacing Techniques for Sensors: Measurement Circuits and Systems for Intelligent Sensors. – Springer, 2017. – Т. 25.
7. Alves A. P. A Biosignal Acquisition System based on the Arduino // BIODEVICES. – 2013. – С. 261-264.
8. Joukhadar A. A portable Raspberry Pi-based system for diagnosis of heart valve diseases using automatic segmentation and artificial neural networks // Cogent Engineering. – 2020. – Т. 7. – №. 1. – С. 1856757.
9. Babiuch M. Using the ESP32 microcontroller for data processing / Babiuch M., Foltýnek P., Smutný P. // 2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC). – IEEE, 2019. – С. 1-6.
10. Сілі І.І. Фетальний пульсометр з мікропроцесорним управлінням. / Сілі І. І., Азархов О. Ю., Федюшко Ю. М., Головаха Р. В. - Наука та виробництво: міжвуз. темат. зб. наук. пр. Вип. 23 / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, ПДТУ, 2020. – 173 – 181 с. DOI: <https://doi.org/10.31498/2522-9990232020240827>.
11. Kurniawan A. Internet of Things Projects with ESP32: Build exciting and powerful IoT projects using the all-new Espressif ESP32. – Packt Publishing Ltd, 2019.

Sili I. I., Azarkhov O. Yu., Efremneko B. V.

ANALYSIS OF MODERN MICROCONTROLLERS FOR SOLVING BIOENGINEERING TASKS AND UTILIZING THE INTERNET OF THINGS

The engineering community is currently experiencing an era of innovation and exciting possibilities through the fusion of bioengineering and the Internet of Things (IoT). This synergy forms the basis for developing new technologies that transform the way we perceive and utilize devices in biological research and medicine. Bioengineering tasks encompass a wide spectrum of applications, from medical devices to biotechnological solutions, necessitating diverse characteristics in microcontrollers. Choosing the right microcontroller for bioengineering is complicated due to the need for high precision, reliability, and efficient performance under varying conditions. The diversity of sensors used in bioengineering tasks demands support for various interfaces and data processing by the microcontroller. Simultaneously, the Internet of Things, a revolutionary discovery, continually evolves into new hardware and software types, making it an undeniable necessity for any technological solution, including bioengineering. An IoT microcontroller or development board is a prototyping solution that features energy-efficient processors supporting various programming environments. They collect sensor data using embedded firmware and transfer it to a server or cloud. As we step into the era of IoT, the utilization of small, inexpensive, and adaptable hardware enabling end-user programming becomes pertinent. In this article, we provide an overview of contemporary hardware and explore the performance of various microcontrollers like the Arduino Uno, ESP32, and Raspberry Pi. Analyzing modern microcontrollers for addressing bioengineering challenges using IoT is a crucial research direction. The article investigates and compares the key features and functionality of popular microcontrollers within the context of their application in biomedical systems and biological research.

Keywords: *internet of Things (IoT), development board, Arduino, ESP32, Raspberry Pi, compiler, WiFi, bioengineering, prototype, interface.*

Стаття надійшла 14.10.2023 р.

ТЕРМІНОЛОГІЗАЦІЯ СУЧАСНОГО БАГАТОВИДНОГО ЯВИЩА «РИЗИК»

У роботі зроблена спроба змінити традиційний підхід до розуміння поняття «ризик» - від імовірнісних методів його оцінки до подійних, які вже давно завоювали для себе місце в науковому та прикладному середовищі за допомогою дослідження та застосування у різних галузях діяльності. За основу запропонованої методики прийнято подійний підхід, в якому основна роль відводиться послідовності подій у їх тимчасовій залежності, причинно-наслідкових зв'язків, що змінюються у часі від прогнозованого до реального, а також ентропійного підходу, що забезпечує смислове наповнення поняття «ризик» інформацією про достовірність та передбачуваність, серед прогнозованих подій у момент часу, нескінченно наближений до сьогоднішнього. Вивчено синонімічність терміну та його семантичний та функціональний смисли для різних систем та сфер застосування; виділено однозначні властивості основних синонімів і функцій, а також суб'єктно-об'єктна складова описів шуканого терміну, що найчастіше зустрічаються. Подано функціональну модель процесу ризикутворення в подієво-логічній системі координат: час, інформація, енергія. Наведено результати дослідження експертних оцінок різних інтерпретацій терміну «ризик» у порівнянні з їхньою пріоритетністю у споживача у зазначеній системі координат. Кінцевим результатом роботи є запропоноване поняття терміна «ризик», яке ґрунтується на таких властивостях як бінарність, очікуваність, дихотомічність, невизначеність та векторність у координатах «час-інформація-ентропія», які в сукупності становлять основу можливих ризиків у їх тимчасовій інтерпретації для конкретної системи.

Ключові слова: ризик, подія, невизначеність, час, ентропія, інформація, очікуваність ризику, синонімічність.

Постановка проблеми. Ризик як невід'ємна складова будь-якої людської діяльності підлягає системному дослідженню як з погляду методології, так і в прикладному сенсі. При цьому виникає суперечність між змістовним призначенням цього терміну, яке, як правило, орієнтоване на імовірнісний метод оцінки цього показника, та його практичним застосуванням, яке майже ніколи не орієнтується на імовірнісні характеристики та спрямоване на користь прикладних параметрів. Наприклад, економічні ризики орієнтовані такі параметри системи, як збитки, фінансові втрати, додаткові прибутки та ін. авторитет, інші гуманістичні показники. З огляду на те, що смислове наповнення терміну ризик останніми роками зміщується у бік прикладних показників, слід шукати нові форми визначення самого поняття «ризик», чому і присвячена дана робота.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Будь-який вид людської діяльності легко уявити у вигляді ланцюжка послідовних у часі подій, основу яких – прийняття рішення, що й призводить до конкретної події, зокрема, що з ризиком. При цьому невід'ємними складовими цієї діяльності, в обов'язковому порядку, є тимчасовий фактор, енергія, її якість та вид, а також інформація про систему [1, 2, 3]. Найчастіше визначення ризиків ґрунтується на ймовірнісних методах його оцінки, які, як правило, мають простфактумний характер [4]. Це обмежує можливості для оцінки реального ризику, прийняття відповідних та своєчасних рішень щодо його блокування, що є актуальним для багатьох прикладних областей, де потрібне прийняття відповідних практичних рішень.

Мета роботи: сформувати змістовий термін «ризик» на підставі сучасних методологічних принципів аналізу послідовності подій, що становлять основу ризикоутворення поза полем його ймовірнісних методів оцінки.

Основний зміст. Ризик є похідною від деякого різноманіття понять, що склалися історично та мали деяку змістовну ієрархію. Розглянемо послідовність наступних синонімічних та супутніх їм термінів (рис. 1): загроза (1), небезпека (2), ризик (3), невизначеність (4), випадковість (5), подія (6), ймовірність події (7), ухвалення рішення (8), певна даність (9).

Ця послідовність є дуже об'єктивною у семантичному сенсі, а й функціонально, коли кожне наступне поняття є похідним від попереднього. Наприклад, ризик стає не тільки синонімом слів «загроза» або «небезпека». Він доповнює ці попередні терміни новим змістом та більш розвиненим смисловим наповненням. Те саме відноситься до смислового ланцюжка: «невизначеність-випадковість-подія-певна даність», або ланцюжка «подія-ухвалення рішення-певна даність» і т.д. Ступінь реалізації події, її правильність і, зрештою, – правильність прийнятого рішення залежить від безлічі причинно-наслідкових зв'язків, зокрема, і стану зовнішнього середовища, і може або дати, або дати необхідний результат. Ця частина нашої термінологічної послідовності, власне, і відповідає за результат: якою буде подія, пов'язана з прогнозованим ризиком.

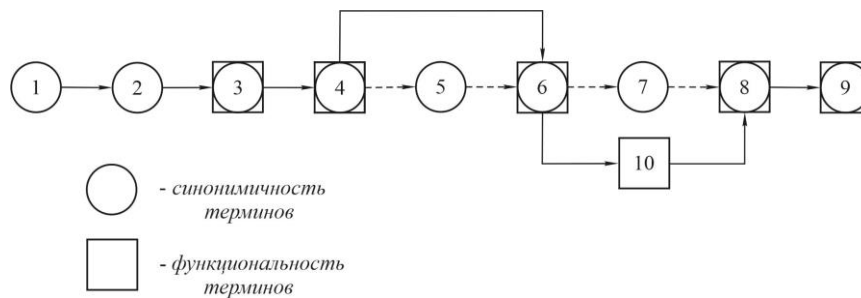


Рисунок 1 – Синонімічна та функціональна послідовність термінів, пов'язаних з поняттям «ризик» (позначення за текстом).

Таким чином, з'являється доповнений термінологічний ланцюжок однозначних функціональних термінів: ризик (3), невизначеність (4), подія (6), причинно-наслідкові відносини (10), ухвалення рішення (8), і, зрештою – реальна визначеність (9).

Об'єднання цих двох ланцюжків дають деяке уявлення про значущість кожного з термінів, що оперуються нами. Поняття загроза та небезпека, як терміни, що передують за своїм змістом терміну, ризик не викликають заперечень (рис. 1). Але, очевидно, що з перетині семантичної і функціональної ланцюжків з'являються окремі терміни, які, хіба що, випадають із цього логічного ланцюга.

Розглянемо такий термін як "невизначеність". Невизначеність у системі означає недостатність інформації, отже, високий рівень зміни ентропії самої системи. Визначеність характеризується наявністю достатньої інформації про систему або її зміни та, відповідно, зниженням зміни ентропії системи до нульової позначки. Те саме стосується і енергії системи. У загальному випадку, невизначеність та передбачуваність події дають значний розкид даних про можливі джерела та способи перетворення енергії для реалізації цієї події, а значить, зміна ентропії таких систем велика. І, навпаки, що більш конкретним є ризикова подія при наближенні до його реалізації, тим паче конкретними є джерела й способи перетворення енергії, чим забезпечується локалізація зміни ентропії. У основі таких відносин у разі лежить ставлення «невизначеність – цілком певне подія»

Головним генератором ризику майже завжди є людина, її цілеспрямовані дії. Іншим генератором ризику є зовнішнє довкілля, зокрема, природа. І те й інше джерела ризику є переважно спонтанними, носять характер випадковості і невизначеності. Подолання ризику представляється як одного із способів вирівнювання таких випадкових процесів з невизначеності у певний стан, як і людської діяльності, і у природному оточенні. Окремі з цих складових, а саме час, інформація та енергія (дві останні - у вигляді інтегрального показника зміни ентропії системи), а також причинні зв'язки в сукупності, є основою для прийняття рішення з певною часткою ризику (рис.2). Результатом такого рішення є подія, яка шляхом реалізації в даний час переходить зі стану невизначеного в стан події або визначеності, що відбулася. Таким чином, поняття «ризик» легко зводиться до його конкретного змістового змісту в залежності від предмета додатка і має кількісне значення у вигляді двійкового коду.

Головною відмітною ознакою у всіх опосередкованих випадках є те, що кількісною оцінкою ризику залишається бінарне відношення "1; 0", що означає наявність або відсутність ризику в системі. У подієвому ризику також є своя бінарність, як ще нереалізований, але реальний ризик «1» у певній віддаленій невизначеності, і реалізована нульова ризик-подія «0» у часі T_H .

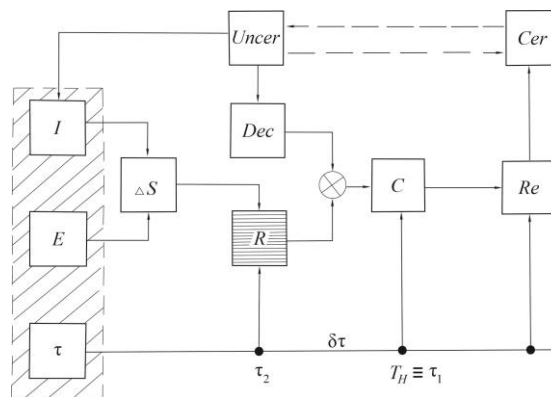


Рисунок 2 – Функціональна схема ризикутворення у логічній системі. I – інформація (information); E – енергія (energy); τ -час; ΔS -зміна ентропії; R – ризик; Dec – ухвалення рішення (decide); C – подія; Re - результат (result); Cer – визначеність (certainty); Uncer - невизначеність (uncertainty).

Підтверджуючи мимоволі перехідний «певно-невизначений» стан системи П. Бернстайн описував ризик як сигнал до оволодіння стратегією поведінки в умовах невизначеності незалежно від ступеня оволодіння майбутнім [5]. Значить ризик, у загальному розумінні, це позначення перехідного процесу.

Поняття ризику властивий дуалізм. Зокрема, у літературі наголошується на дихотомізмі самого терміну «ризик» [6]. Типові пари "удача-втрата", "виграш-програш", "небезпека-безпека" свідчать про те, що ми маємо справу саме з цією властивістю. Ризик часто визначають як ситуацію вибору.

Ми стверджуємо, що подієві властивості ризику такі, що власне подія, як попередник інформації про негатив чи позитив, відрізняється від семантичного стану поняття ризик. Ризиком, у даному випадку якраз є не сама подія, а її очікування. Причому очікування ризикової події має дихотомічний характер, тобто має дуальне наповнення.

Розібратися в об'єктивності та застосовності тих чи інших термінів «ризик» за літературними джерелами можна лише в сукупності з результатами прямих експертних висновків від імені тих, хто ними постійно користується у своїй роботі. Досвід таких фахівців, з одного боку, звичка роботи з усталеними поняттями, часта незадоволеність одержуваними

Екологічна безпека

стандартними результатами, що дають мало можливостей для аналітичного дослідження та практичних результатів, з іншого боку, роблять їхню думку цілком об'єктивною там, де стоїть питання про правила та термінології.

Нам вдалося зібрати думки 42 експертів у зазначених галузях, включаючи науковців та практикуючих фахівців у ризик-інжинірингу та консалтингу. Деякі оцінки експертів відбиралися з зручних літературних джерел і доповнювалися до наявних.

Експертна оцінка тих чи інших термінів для поняття «ризик», обсягом 60 балів, виставлялася за шкалою, порівнянної з вихідною шкалою частоти публікацій у доступній літературі (приблизно 0÷64 доступних публікацій). Це дозволяло порівнювати актуальність різних термінологічних варіантів, що застосовуються в літературі з їхньою суб'єктивною популярністю серед практичних фахівців та науковців у галузі ризикології.

Умовна різниця між величиною експертної оцінки та фактичним індексом згадки конкретного типу терміну «ризик» може розглядатися як деяка функція очікування ($\pm\Delta$). Якщо експертна оцінка терміну перевищує кількість публікацій на цю тему, це може бути для фахівців інформацією про актуальність та перспективи у таких формулюваннях. І навпаки, якщо експертна оцінка нижча за кількість зіставних і доступних смислових публікацій, це можна оцінювати як зниження актуальності таких інтерпретацій шуканого терміну.

Таблиця 1 – Об'єктність та належність поняття «ризик» у доступній науковій літературі та експертних оцінках

№ з/п	Об'єктна приналежність терміну «ризик»	Літературні посилання	Експертна оцінка (60 балів)	Показник очікування, Δ , (\pm)
1	Ризик як реалізація загрози	64	38	(-26)
2	Ризик як ймовірність зміни доходів, збитки	57	44	(-13)
3	Ризик як ймовірність події	44	53	(+9)
4	Ризик здійснення події, пов'язаної з порушенням функціонування системи	38	55	(+17)
5	Ризик як частотна характеристика події	29	28	(-1)
6	Ризик як кількість небажаних втрат залежно від обставин	25	29	(+4)
7	Ризик як невизначеність подій	16	36	(+20)
8	Ризик як ймовірність події за умови настання іншої події	11	14	(+3)
9	Ризик як похідна від вірогідності на суму наслідків	10	4	(-6)
10	Ризик, як відповідність між актуальним сьогоденням та невизначеним майбутнім	2	5	(+3)

Якщо згрупувати окремі ознаки ризиків, що найчастіше зустрічаються в літературних джерелах за ступенем їх спаду, та співвіднести їх з результатами експертних оцінок, які дають фахівці, пов'язані з ризик-інжинірингом та науковими дослідженнями в цій галузі (табл.1), можна зробити деякі висновки про переваги, що надаються тим чи іншим формулюванням поняття «ризик».

Відразу звернемо увагу на загальну тенденцію: що менше посилань у літературі, то загалом нижче і експертна оцінка для конкретного поняття ризику. Найчастішими у літературі є посилання ризик як реалізацію загрози (у виробничих системах) та її впливом геть

економічні показники системи (поз.1 і 2, табл.1). При цьому експертні оцінки цих двох формулювань далеко не найвищі, що вказує на незадоволеність думки експертів при їх застосуванні.

Звертає увагу висока оцінка експертів на терміни ризиків, пов'язані з порушенням роботи системи (поз.4 табл.1), як основи для аварій, несприятливих результатів роботи, людських жертв, економічних втрат тощо. І функція очікування цього терміну «ризик» досить високий ($\Delta=+17$).

І навпаки, ризики, пов'язані з подійністю, як їхньою основою, займають поки що невелику нішу в прикладній літературі, але при цьому їхня актуальність у експертів досить висока в порівнянні з іншими термінологіями (поз.3, табл.1).

Важливі для нас формулювання ризику, пов'язані з таким терміном, як невизначеність (поз.7, табл.1), також отримали свою оцінку в експертному середовищі, особливо за матеріалами деяких науково-практичних конференцій. Умовна різниця між експертною оцінкою та кількістю літературних посилань як показник очікування для сьомої позиції (невизначеність ризику) максимальна для цього аналізу і становить 20 пунктів. Для порівняння, таке формулювання терміну «ризик», як подієвий мікст (восьма позиція в табл. 1) має такий своєрідний індекс очікування лише у 3 пункти.

Не найвищі оцінки та частота згадок у літературі свідчать про можливий резерв цього напрямку у майбутніх дослідженнях. Ця робота в цьому плані виявиться дуже корисною для фахівців. Орієнтація на подійність, як суб'єктність поняття ризику може бути дуже корисною багатьом міжгалузевих і функціональних термінологій, які у літературних джерелах. Прикладом наочності є рис. 3.

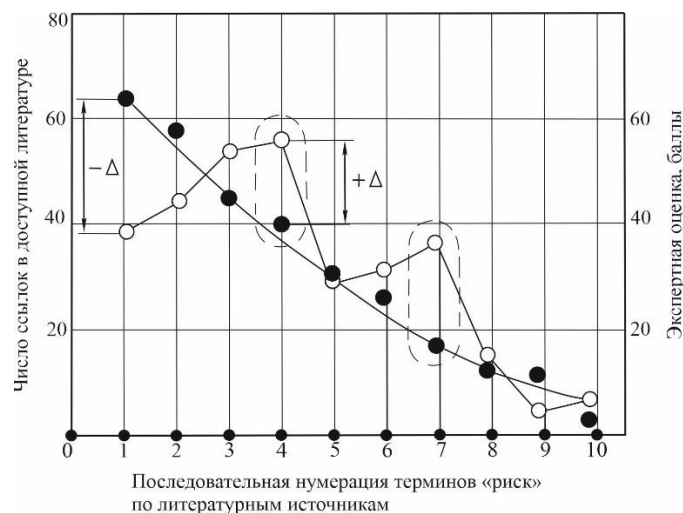


Рисунок 3 – Графічне відображення згадуваності у літературі окремих термінів «ризик», в порівнянні з експертними оцінками фахівців.

Досить високу експертну оцінку отримують формулювання терміну «ризик», які пов'язані з подієвими орієнтирами. При цьому далеко не лідируючі позиції, як у літературі, так і в експертних оцінках, займають ймовірнісні і частотні характеристики цього поняття, що найчастіше зустрічаються. Багаторазово експлуатовані в різних джерелах, ці поняття можливо вже не влаштовують дослідників не просто за кількісним змістом, а за фактичним смисловим наповненням результатів досліджень або інжинірингових експертиз. До цього нас підштовхує і приклад численних методів досліджень у ризик-інжинірингу стосовно економічних, фінансових, страхових компаній, які у своїй роботі вже давно відійшли від імовірнісно-

статистичних методів аналізу ризиків у напрямку якісного вивчення показників ризику. При цьому до кількісних параметрів, якими оцінюється ризик, все частіше відносять суто економічні показники – збитки, втрата, дохід, економічна ефективність та ін.

У цій роботі, а також у джерелі [7] розглянуто три такі позиції: події, час, ентропію системи, що виражається через зміни інформації та енергії.

Виходячи з матеріалів, опублікованих раніше, дамо поняття ризику в такий спосіб. Ризик розглядається як бінарне відображення суб'єктивної очікуваності події на межі невизначеності. Ризик, як подієва характеристика, є похідною від функції стріли часу та мінімізації зростання ентропії у напрямку його певного стану. Графічна інтерпретація цього терміна представлена на рис.4. Уточнене визначення терміна «ризик» може мати такі значення.

Ризик - це бінарне відображення суб'єктивної очікуваності події на межі невизначеності, в основі якої лежать тимчасові та ентропійні зміни у напрямку його певного стану. Визначення виходить дуже непростим, але максимально точним з позиції подійності ризику. Більш спрощене та зрозуміле визначення терміну «ризик» буде дано нижче.

Бінарність відображення в понятті «ризик», що відноситься до деякої події, як «невизначеність - певна подія» або «1;0», залежить від часових рамок цієї події та рівня її конкретизації, що визначається, як зміна ентропії системи за нескінченно малий часовий відрізок ($\delta\tau$) [7].

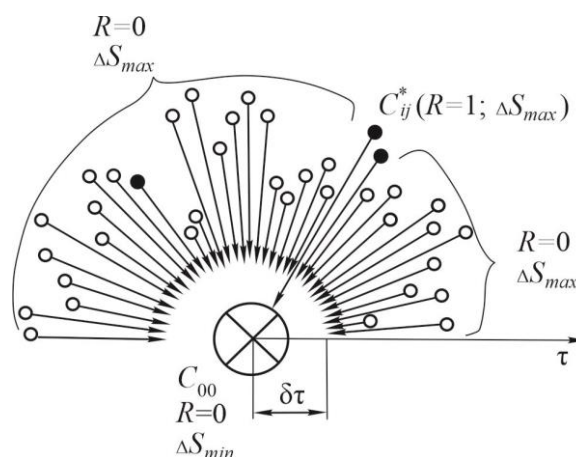


Рисунок 4 – Графічний зміст терміну «ризик» у координатах «подія-час-ентропія».

Тут: C_{ij} - поточний стан події у складі передбачуваних у майбутньому (i – порядок тимчасового інтервалу; j – ранг події); C_{00} – подія, що відбулася, у складі передбачуваних ризикових (C_{ij}^*); ΔS - зміна ентропії стану системи при переході від невизначеності до цілком певного стану; $\delta\tau \rightarrow 0$ - нескінченно малий інтервал часу, що відокремлює невизначеність від цілком певного стану системи.

Певний інтерес у понятті «ризик» представляє термін «суб'єктивне...». Він відбиває варіативність можливостей різних подій з рівнозначно гаданих, у тому числі лише одне може статися як ризикове у час T_n . Тимчасові та ентропійні зміни в системі свідчать про те, що поява ризикової події є процесом динамічним і залежить від зміни цих параметрів. Властивості динамічності системи відповідає і застосування терміну «очікуваність події» як один із реальних варіантів процесу переходу від невизначеності до певної події. Отже, запропонована інтерпретація терміну «ризик» відповідає тим властивостям цього поняття, які були розглянуті у цій роботі.

Екологічна безпека

Слід зазначити ще одну якість ризику подій у тимчасовій ієрархії. Ризик – поняття векторне, односпрямоване та збігається у напрямку з вектором подій. Цим повністю виправдовує злиття «ризик подієвий», векторно спрямований з передбачуваного майбутнього для такої події в даний час, що відбувається в момент часу T_n . На перший погляд, складність такого технічного визначення терміну «ризик» та його пояснення пов'язані з кількістю визначальних показників – час, подія, енергія, інформація, ентропія. Але кожне з них активно по відношенню до цього терміну і є його невід'ємною складовою. В даному випадку можна представити дуже спрощене позначення терміну "ризик" наступним чином:

Ризик – це альтернативне відображення суб'єктивної очікуваності події на межі невизначеності у напрямку його певного стану.

У такому визначенні залишається очевидною часова та векторна залежності, у спрощеній формі включені в термін та позначені словом «очікуваність». Формулювання містить поняття дуалізму та ентропії, пов'язаних словосполученням «альтернативне (бінарне) відображення». Зберігається поняття подійності терміну. Тобто і другий спрощений вид формулювання поняття «ризик» майже не відрізняється від раніше запропонованих. Але його зміст стає зрозумілим для гуманітарної спільноти.

Можливо, такі визначення мають право на подальший розвиток, але ми впевнені, що це правильний шлях у вирішенні дуже непрості проблеми – термінологізації сучасного різноманітного явища – «ризик».

ВИСНОВКИ

Таким чином, можна стверджувати, що позначене нами формулювання терміна «ризик» у параметрах: час, подія, ентропія, як парадигма відповідальності людини за процеси та результати своєї активної діяльності, відповідає запитам суспільства на певний рівень безпеки, і полягає одним з головних основ його свого існування як біологічного виду. Підсумком роботи є запропоноване поняття терміну «ризик», яке ґрунтується на таких властивостях як бінарність, очікуваність, дихотомічність, невизначеність та векторність у координатах «час-інформація-ентропія», які в сукупності становлять основу можливих ризиків у їх тимчасовій інтерпретації для конкретної системи.

Список використаних джерел

1. Найт Ф.Х. Риск, неопределённость и прибыль. М.: Дело, 2003. 359 с.
2. Sommestad T., Ekstedt M., Johnson P.A. Probabilistic relational model for security risk analysis, Computer & Security, 2010. Vol. 29. №6. P. 659-679.
3. Миков Д.А. Управление информационными рисками в системах дистанционного мониторинга состояния объекта. Канд. Дисс. М.: МГТУ им. Баумана. 2018. 156 с.
4. Абрамов М.А. Вероятностная оценка как средство управления системой защиты информационных ресурсов предприятия // Информационные технологии и математическое моделирование: сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Анжеро-Судженск: Издательство Томского университета, 2010. - С. 3-7.
5. Бернштейн П. Против богов. Укрощение риска. М.: Олимп-бизнес. 2002. - С.19.
6. Волченко В.В. Риск в опыте философской рефлексии.//Научно-методический электронный журнал «Концепт», - 2016. Т. 11, С. 1181-1185. URL:<http://e-koncept.ru/2016/86255.htm>

7. Волошин В.С., Лямзин А.В. Риски, события, энтропия. //«Актуальні проблеми безпеки на транспорті, в енергетиці, інфраструктурі». Науково-практична конференція. Херсон, 2021. - С.337-339.

8. Делез Ж. Логика смысла / Науч. ред. Я. Б. Толстов. Пер. Я. И. Свирского. — М.: Изд. Центр «Академия», 1995.

Voloshyn V. S., Danilova T. G.

TERMINOLOGY OF THE MODERN MULTIDIMENSIONAL PHENOMENON OF "RISK"

In the work, an attempt is made to change the traditional approach to understanding the concept of "risk" - from probabilistic methods of its assessment to event-based ones, which have long won a place for themselves in the scientific and applied environment with the help of research and application in various fields of activity. The basis of the proposed methodology is the event-based approach, in which the main role is given to the sequence of events in their temporal dependence, cause-and-effect relationships that change over time from the predicted to the real, as well as the entropy approach, which ensures the meaningful filling of the concept of "risk" with information about reliability and predictability, among predicted events at a moment in time, infinitely close to the present. The synonymy of the term and its semantic and functional meanings for various systems and fields of application have been studied; unequivocal properties of the main synonyms and functions are highlighted, as well as the subject-object component of the most frequently encountered descriptions of the searched term. A functional model of the risk creation process in the event-logical coordinate system: time, information, energy is presented. The results of the research of expert evaluations of various interpretations of the term "risk" in comparison with their priority for the consumer in the specified coordinate system are given. The final result of the work is the proposed concept of the term "risk", which is based on such properties as binary, expected, dichotomous, uncertain and vectorial in "time-information-entropy" coordinates, which together form the basis of possible risks in their temporal interpretation for a specific system.

Keywords: risk, event, uncertainty, time, entropy, information, risk expectation, synonymy.

Стаття надійшла 09.12.2023 р.

Новини України та світу

«ЗАПОРІЖСТАЛЬ» ПОДВОЇЛА ВИРОБНИЦТВО У ПОРІВНЯННІ З ПОПЕРЕДНІМ РОКОМ



Комбінат «Запоріжсталь» у січні-листопаді 2023 року збільшив випуск прокату на 47,9% порівняно з аналогічним періодом торік – до 1,847 млн тон. Передає Промисловий Портал з посиланням на ThePage.

Також виплавка сталі за цей період зросла на 57,6% – до 2,238 млн тон, чавуну – на 31,3%, до 2,453 млн тон. У листопаді 2023 року на «Запоріжсталі» вироблено 262,7 тис. тон чавуну, 240,8 тис. тон сталі та 195,6 тис. тон прокату.

Для порівняння, у листопаді-2022 підприємство виготовило 143,9 тис. тон чавуну, 85,8 тис. тон сталі та 74,8 тис. тон прокату.

«Збільшення рівня виробництва у листопаді 2023 року порівняно з аналогічним періодом минулого року пов'язане з виведенням з режиму гарячої консервації доменної печі №2 та налагодженням режиму роботи трьох доменними печами», — повідомили у пресслужбі «Запоріжсталі».

<https://uprom.info/news/metal/zaporizhstal-podvoyila-vyrobnyctvo-u-porivnyanni-z-poperednim-rokom/>

«ЗАПОРІЖСТАЛЬ» ОСВОЇЛА ВИПУСК ГАРЯЧЕКАТАНОГО ПРОКАТУ З КОНСТРУКЦІЙНИХ МАРОК СТАЛІ



Металургійний комбінат «Запоріжсталь» опанував виробництво гарячекатаного прокату з конструкційних марок сталі. Про це GMK Center повідомила пресслужба підприємства, передає Промисловий Портал.

«Комбінат успішно пройшов процес розширення сфери дії сертифіката на відповідність гарячекатаного прокату вимогам стандарту EN 10025-1 на сталі марок S235-275 J0-J2 та S355 J0-J2», – йдеться у повідомленні.

«Запоріжсталь» розпочала виробництво затребуваної металопродукції, яку до повномасштабного вторгнення виготовляли на маріупольському комбінаті ММК ім. Ілліча. Для цього комбінат пройшов інспектування виробничого процесу й аналіз технологічних можливостей. Таким чином, підприємство отримало сертифікат відповідності системи виробничого контролю від міжнародного сертифікаційного органу Dedal.

«Попри повномасштабну війну, важкі кризові часи у вітчизняному гірничо-металургійному комплексі, «Запоріжсталь» продовжує працювати над розширенням сортаменту та виходом на нові ринки збуту. Сертифікат відповідності системи виробничого контролю дасть змогу перейти в новий для «Запоріжсталі» сегмент – виробництво більш відповідальних конструкційних труб, а також деталей для

машинобудування і контейнерів. Сьогодні саме гнучкість та оперативна відповідь на запити клієнтів дозволяють підприємству з 90-річною історією працювати, зберегти команду та підтримувати економіку України», – зазначив гендиректор «Запоріжсталі» Роман Слободянюк.

Пробні поставки відповідної продукції вже надіслані кільком польським клієнтам. Підприємство отримало перші відгуки про порізку і виробництво труб. Проведено контрольні випробування.

«Продовжуючи працювати в цьому напрямку, «Запоріжсталь» зможе поліпшити виробничі результати, досягти додаткових обсягів виробництва і продажів гарячекатаного прокату, який відповідає європейському стандарту. Продукція повністю відповідає вимогам директив Європейського Союзу в частині прокату, що застосовується в цивільному або промисловому будівництві», – резюмує підприємство.

<https://uprom.info/news/metal/zaporizhstal-osvoyila-vypusk-garyachekatanogo-prokату-z-konstrukcijnyh-marok-stali/>

ІМПОРТ КРАЇНАМИ ЄС УКРАЇНСЬКОЇ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ У СЕРПНІ ВИРІС НА 36,2%



Європейський союз за підсумками серпня 2023 року збільшив імпорт залізної руди з України на 36,2% у порівнянні з аналогічним періодом 2022 року – до 1,22 млн т.

Про це свідчать дані Eurostat, передає Промисловий Портал з посиланням на GMK center.

Імпорт сировини у грошовому виразі зріс на 13% р./р. – до €145 млн.

У порівнянні з липнем поточного року в серпні європейські металурги збільшили імпорт ЗРС з України на 3,6% у натуральному виразі. Поставки сировини у грошовому виразі зросли на 10,3%.

За підсумками січня-серпня Євросоюз імпортував 9,27 млн т залізної руди з України, що на 10,4% менше у порівнянні з аналогічним періодом 2022 року. Витрати європейських металургів на імпорт за цей період скоротились на 24% р./р. – до €1,09 млрд.

Найбільшими імпортерами залізородної сировини українського виробництва серед країн ЄС за підсумками січня-серпня 2023 року були:

Чехія – 2,9 млн т (-8% у порівнянні з січнем-серпнем 2022-го);

Польща – 2,2 млн т (-25,5% р./р.);

Словаччина – 3,5 млн т (+9,7% р./р.);

Угорщина – 218,4 тис. т (-53% р./р.).

За серпень до Чехії відвантажено 466,7 тис. т ЗРС з України (+75,2% м./м.;+35,7% р./р.), до Польщі – 280 тис. т (-15,8% м./м.;-12,5% р./р.), до Угорщини – 7,5 тис. т (-50,6% м./м.;-76,7% р./р.), до Словаччини – 347 тис. т (+11,4% м./м.;+91,5% р./р.).

<https://uprom.info/news/metal/korisni-kopalini/import-krayinamy-yes-ukrayinskoyi-zaliznoyi-rudy-u-serpni-vyris-na-362/>

ВИМОГИ ДО ПУБЛІКАЦІЙ

До відома авторів,
які надсилають статті у міжвузівський тематичний
збірник наукових праць «Наука та виробництво»

У збірнику публікуються статті за наступними напрямками:

1. **Машинобудування і зварювальне виробництво.**
2. **Будівництво та архітектура.**
3. **Біоінженерія.**
4. **Металургія.**
5. **Інформаційні технології.**
6. **Ремонт та відновлення деталей машин.**
7. **Матеріалознавство.**
8. **Транспортні технології.**
9. **Енергетичні системи та обладнання.**
10. **Економіка та управління підприємствами.**
11. **Екологічна безпека.**

Усі статті повинні відповідати вимогам Постанови Президії ВАК України №7-05/1 від 15.01.2003. Вартість публікації однієї статті в збірнику 45 грн. аркуш в разі дотримання авторами таких вимог до оформлення:

- текст статті набирається на комп'ютері в текстовому редакторі MicrosoftWord (шрифт 12-й Times New Roman, міжрядковий інтервал 1,0; поля: верхнє і нижнє – по 20 мм, бічні – по 20 мм);
- ілюстративний матеріал монтується в текст. Креслення і графіки виконуються в будь-якому графічному редакторі. Ілюстративний матеріал повинен бути придатний для безпосереднього відтворення розмножувальними пристроями;
- підписи під рисунками і перелік посилань оформляються відповідно до стандарту ДСТУ ГОСТ 7.1:2006;
- на першій сторінці статті напівжирним шрифтом набираються: класифікаційний індекс УДК – у лівому верхньому куті; прізвища та ініціали авторів – на один рядок нижче, у правому верхньому куті; назва статті – посередині сторінки (великими літерами);
- анотації додаються двома мовами (обсяг анотації українською мовою не менш як 1800 знаків, включаючи ключові слова; для статей не українською мовою обсяг анотації українською мовою – не менш як 1800 знаків, включаючи ключові слова), першою наводиться анотація на мові статті (відступ зліва і справа по 1 см, курсивом) та ключові слова (від трьох до восьми). Анотації, що надруковані іншими мовами розташовуються у наприкінці статті;
- на останній сторінці статті після переліку посилань у правому нижньому куті курсивом друкується «*Стаття надійшла...*» і проставляється дата подання статті у редколегію. У лівому нижньому куті друкується «Рецензент: д-р техн. наук ...» і П.І.Б. Рецензента.

Редакція звертається до авторів з проханням при підготовці статей враховувати вимоги, в відповідності з яким, стаття повинна містити такі необхідні елементи, як:

- постановка проблеми в узагальненому вигляді і її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями;
- аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спираються автори виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена означена стаття;
- формулювання цілей статті (постановка завдання);

- виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
- висновки з даного дослідження і перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Увага! Зазначені елементи статті повинні бути виділені відповідними заголовками: **Постановка проблеми; Аналіз останніх досліджень і публікацій; Мета (завдання) дослідження; Основний матеріал дослідження; Висновки.**

Статті подаються в двох примірниках (з яких один повинен бути першим, видрукованим на лазерному принтері) **на одному боці аркуша формату А4. До рукопису статті додаються:**

- експертний висновок про можливість опублікування у відкритому друці;
- рецензія доктора технічних наук, у якій повинна бути відбита наукова новизна результатів, їх цінність і значимість;
- рекомендація кафедри чи організації, що представляє дану статтю до публікації;
- анотації російською, українською, англійською мовами з ключовими словами;
- відомості про авторів: прізвище, ім'я, по батькові, учений ступінь, звання, місце роботи, посада, адреса, робочий телефон.

До перерахованих матеріалів необхідно додавати CDз текстом статті (Word 2010 або формат **.rtf**).

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ CD

- експертний висновок про можливість опублікування –*файл* **expert.doc**;
- рецензія доктора технічних наук –*файл* **recenz.doc**;
- рекомендація кафедри чи організації –*файл* **recomend.doc**;
- відомості про авторів –*файл* **sved_avt.doc**;
- анотація українською, англійською та російською мовою –*файл* **an.doc**;
- текст статті –*файл* **article.doc**;

Ініціали і прізвища авторів, вчені ступені, назва організації, місто, країна, назва, анотація статті та ключові слова наводяться, **українською, англійською** мовами.

Повністю оформлені статті та додані до них матеріали надсилаються в редакцію збірника на адресу: 87500, Україна, Донецька обл., м. Маріуполь, вул. Університетська, 7, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», каф. «Будівництва, технічної експлуатації і реконструкції». Тел. (0629) 44-66-23; 44-66-73; 44-65-49. Приймання статей проводить відповідальний секретар редколегії збірника, канд. техн. наук, ст. доцент кафедри Зварювання та споріднені технології, **Зусін Антон Михайлович.**

E-mail: zusin_a_m@pstu.edu Тел. +38(096)122-22-74.

Підписано до друку 08.12.2022 р.

Папір тип №2. Умов. друк. ар. 10,69. Тираж 400. Формат 60x84 1/8.
Замовлення №110. Матеріали збірника друкуються мовою оригіналу.

Ціна договірна.

Надруковано у видавничо-поліграфічному центрі ДВНЗ «ПДТУ»
87500, Україна, Донецька обл., м. Маріуполь, вул. Університетська, 7.

Свідоцтво внесення суб'єкта видавничої діяльності

ДК № 3729 від 15.03.2010 р.