



Міністерство освіти і науки України
ДВНЗ «Приазовський державний
технічний університет»

Збірник тез міжнародної
науково-практичної конференції

**ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ
РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
В КОНТЕКСТІ ВІДБУДОВИ І
СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ**

28-29 листопада 2023 року

Дніпро, 2023

Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми і перспективи розвитку сучасних технологій в контексті відбудови і сталого розвитку України»: тези доповідей: Дніпро: ПДТУ, 2023. - 93 с.

В збірник включені тези доповідей учасників Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи розвитку сучасних технологій в контексті відбудови і сталого розвитку України», яка проходила у ДВНЗ «ПДТУ» 29-30 листопада 2023 р.

Матеріали публікуються в авторській редакції. Оргкомітет висловлює подяку учасникам конференції за надані доповіді.

Головний редактор

Верескун М.В., директор навчально-наукового інституту сучасних технологій ДВНЗ «ПДТУ», д.е.н., професор.

Заступник головного редактора

Хлестова О.А., зав. кафедрою промислових теплоенергетичних установок та теплопостачання ДВНЗ «ПДТУ», к.т.н., доцент.

Відповідальний за випуск

Гречана В.В.

Адреса: ДВНЗ «ПДТУ», пр. Дмитра Яворницького, 19,
м. Дніпро, Дніпропетровська обл., 49005, Україна
E-mail: office@pstu.edu

© ДВНЗ «Приазовський
державний технічний
університет», 2023

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ: ІННОВАЦІЇ В МАТЕРІАЛОЗНАВСТВІ	4
СЕКЦІЯ: ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК У НАУЦІ І ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА	19
СЕКЦІЯ: ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ.....	43
СЕКЦІЯ: СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ, ФІНІНСАХ ТА УПРАВЛІННІ.....	54
СЕКЦІЯ: ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА, ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....	60
СЕКЦІЯ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРІЇ	85

СЕКЦІЯ: ІННОВАЦІЇ В МАТЕРІАЛОЗНАВСТВІ

ОКИСЛЕННЯ ТА ЗНЕВУГЛЕЦЮВАННЯ СТАЛІ 120Г3С2

А. Журнаджи, магістр,

В.Г. Єфременко, докт. техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

На даний момент розроблено різні класи сталей, які мають у своєму складі підвищений вміст кремнію. Одним з таких класів є низьколеговані сталі із підвищеним вмістом залишкового аустеніту (TRIP-assisted сталі, Q&P сталі, нанобейнітні сталі, високовуглецеві сталі з метастабільним аустенітом), в яких концентрація кремнію сягає 2,5-3 %. Оптимальні властивості цих сталей досягаються після термічної обробки з нагрівом до високих температур (900-1000 °С). Витримка при таких температурах в атмосфері повітря призводить до активного окислення та зневуглецювання сталі. Відомо, що кремній вливає на ці процеси, причому його вплив може бути неоднозначним.

В даній роботі вивчали вплив кремнію та марганцю на схильність заєвтектоїдної сталі до окислення та зневуглецювання при нагріві під гартування. Для цього порівняли поведінку двох сталей з однаковим вмістом вуглецю (1,2 %) – експериментальної сталі 120Г3С2 та нелегованої сталі У12. Зразки сталей витримували при 800 °С, 900 °С та 1000 °С впродовж 30 хв, 1 год, 2 год та 4 год. Стійкість до окислення визначали гравіметричним методом, схильність до зневуглецювання оцінювали вивченням мікроструктури на поперечних мікрошліфах.

Було встановлено, що нагрів та витримка в інтервалі температур 800-1000 °С приводить до формування на поверхні сталей 120Г3С2 та У12 негомогенних окисних плівок шаруватої будови, які складаються з Fe_2O_3 , Fe_3O_4 та SiO_2 . Показано, що при коротких витримках в інтервалі температур 800-1000 °С сталь 120Г3С2 має нижчу схильність до окислення, аніж сталь У12 завдяки формуванню шпінелі $(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Si})_x\text{O}_y$. З подовженням витримки ця перевага поступово знижується, а у разі витримки при 1000 °С впродовж 240 хв сталь У 12 має більшу стійкість до окислення, аніж сталь 120Г3С2.

Встановлено, що при низьких температурах витримки (800 °С, 900 °С) зневуглецювання сталей 120Г3С2 та У12 відбувається, головним чином, шляхом зменшення об'ємної частки вторинних карбідів на певну глибину від поверхні. В цілому, сталь із підвищеним вмістом кремнію демонструє більш високу схильність до зневуглецювання. Витримка сталі 120Г3С2 при 1000 °С (240 хв) призвела до наскрізного зневуглецювання зразку товщиною 4 мм.

Витримка сталі 120Г3С2 при 1000 °С призвела до утворення на поверхні шару аномального перліту глибиною 52-164 мкм, а всередині зразку відбулось утворення графітних пластин, чому сприяв підвищений вміст кремнію. В цілому, наявність 2% кремнію суттєво підвищило глибину знеуглецювання сталі із 1,2 % С, особливо при 900 °С та 1000 °С. Це необхідно враховувати при виготовленні виробів із кремній-вміщуючих сталей, призначаючи підвищений припуск на завершальну механічну обробку поверхні.

ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ ТЕМПЕРАТУРИ МІЖКРИТИЧНОГО ВІДПАЛУ (Cr, Mo, V)-ЛЕГОВАНОЇ TRIP-ASSISTED СТАЛІ ПЕРЕД ОПЕРАЦІЄЮ АУСТЕМПЕРІНГУ

К. Хамбур, магістр,

В.Г. Єфременко, докт. техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

TRIP-assisted відносяться до високоміцних сталей першого покоління. Як правило, вони леговані комплексом Si-Mn. Їх стандартною технологією термічної обробки є аустемперінг (для перетворення аустеніту на нижній бескарбідний бейніт), який проводять із попереднім відпалом у міжкритичному інтервалі температур. Такий відпал має на меті отримання багатофазної структури з 40-60 об.% доевтектоїдного фериту. Проведені дослідження показали, що легування TRIP-assisted сталі сильними карбідоутворюючими елементами може суттєво вплинути на кінетику та механізм фазово-структурних перетворень, що протікають при аустемперінгу. Це зумовлює необхідність альтернативного підходу до вибору параметрів міжкритичного відпалу для таких сталей.

В даній роботі досліджено вплив температури міжкритичного відпалу на взаємозв'язок мікроструктури та механічних властивостей в TRIP-assisted сталі із 0,2 мас.% С, легованої комплексом Si-Mn-V-Nb. Хімічний склад сталі: 0,20 % С; 0,55 % Cr; 0,20 % Mo; 0,11 % V; 0,045 % Nb. Температура витримки у міжкритичному інтервалі варіювали від 770 °С до 950 °С, а аустемперінг проводили при 350 °С впродовж 20 хв. Було встановлено, що легування сталі такими елементами, як Cr, Mo та V значно покращило прогартованість сталі, що впливає з аналізу діаграм ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту, побудованих за допомогою програми «JMatPro». Відпал при 770 °С забезпечує отримання 50 об.% доевтектоїдного фериту в структурі, що відповідає звичайному підходу при виборі температури відпалу

подібної сталі. Втім, відпал при цій температурі призвів до формування грубих включень цементиту під час формування бейнітної структури, що зменшило кількість залишкового аустеніту і викликало зниження міцності та пластичності сталі. Це було наслідком зміни термодинамічних показників аустеніту під дією сильних карбідоутворюючих елементів, що стимулювало виділення цементиту з аустеніту при бейнітному перетворенні. При вищих температурах відпалу в структурі утворювався бескарбідний бейніт, а об'ємна частка залишкового аустеніту збільшилась в 2,5-3,5 рази відносно 770 °С. Оптимальна комбінація механічних властивостей (межа міцності – 1040 МПа, відносне подовження – 23 %, ударна в'язкість – 95 Дж/см², PSE – 23,9 ГПа·%) була отримана в разі відпалу при 900 °С, тобто за температури, близької до точки Ас₃ (що відповідає структурі із 5 об.% фериту). Така структура забезпечила оптимальний прояв TRIP-ефекту із підвищеним приростом міцності через деформаційне мартенситне перетворення залишкового аустеніту.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ 3D ДРУКОВАНОГО СПЛАВУ Co-28Cr-6Mo

В.Г. Єфременко, докт. техн. наук, проф.,

І.М. Олійник, канд. техн. наук, доцент,

О.А. Новак, магістр, ДВНЗ «ПДТУ»

Для виготовлення біомедичних виробів, наприклад, ортопедичних імплантів, широко використовується сплав Co-28Cr-6Mo (ASTM F75). Традиційними технологіями виробництва цього сплаву є лиття та металопластикове формування.

Останнім часом більш ширше застосовується адитивні технології, які дозволяють отримувати нові властивості виробів, економити час та матеріали при їх виготовленні. Адитивні технології - це створення тривимірного об'єкту шляхом накладання послідовних шарів матеріалу (друку) за даними цифрової моделі. Одна з технологій 3D-друку металом - селективне лазерне плавлення (SLM).

Матеріалом дослідження – служили прямокутні зразки розміром 5×10×20 (мм), виготовлені з використанням принтера «ProX DMP 320» (3D Systems), оснащеного волоконним лазером потужністю 500 Вт, довжиною хвилі 1070 нм і діаметром променя 0,5 мм. Хімічний склад вихідного порошку Co-28Cr-6Mo, мас. %: 28,02 Cr; 5,33 Mo; 0,10 Ni; 0,45 Si; 0,35 Mn; 0,044 C; 0,02 P; 0,0035 S; 0,48 Fe; Co - інше. Середній розмір частинок ≤ 63 мкм.

Дослідження мікроструктури проводили на оптичному «GX71» та сканувальному електронному мікроскопах.

Показано, що сплав Co-28Cr-6Mo має структуру «риб'ячої луски», що складається з рядів щільно прилеглих один до одного «лусочок». Кожній лусці відповідає зона розплаву глибиною 50-70 мкм, що кристалізується після плавлення лазерним променем. Формування структури металу Co-28Cr-6Mo залежить від поверхні спостереження. У площині XY (перпендикулярно напрямку Z) мікроструктура має вигляд рядів, які «переплітаються» (шириною до 50 мкм), що виник в результаті «перехресного» сканування лазерним променем). Також спостерігаються стовпчасті зерна, паралельні напрямку Z; вони мають довжину в десятки мікронів і перетинають кілька «лускатих» рядів. Стовпчасті дендрити характерні для сплавів виготовлених SLM; раніше вони спостерігалися і були підтверджені в сталі SLM 316L і сплавах Co-Cr-Mo.

БАГАТОЦІЛЬОВИЙ ПІДХІД ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИБОРУ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ТРУБ

М.А. Рябікіна, канд. техн. наук, доцент,

К. Шевченко, магістр, ДВНЗ «ПДТУ»

Розподіл питної води відіграє ключову роль у її транспортуванні до споживачів. Подача води включає водопровідні труби, фітинги, покриття, клапани та інші додаткові елементи. Для водопровідних труб використовуються різні матеріали, а тип матеріалу залежить від застосування та якості води.

Найпоширенішими матеріалами для виготовлення труб є бетон, залізобетон і метали (ковкий чавун, мідь, свинець, нержавіюча сталь і оцинкована сталь). Інші матеріали для трубопроводів включають пластики, такі як поліетилен високої щільності (HDPE), полівінілхлорид (PVC), поліпропілен (PP) і зшитий поліетилен (PEX). Труби із ПВХ широко використовується для транспортування питної води завдяки відносно низькій вартості, помірній в'язкості, міцності, хімічній інертності, легкій вазі та широко розробленим методам виготовлення. Найчастіше труби ПВХ, які використовуються для транспортування води до будівель, прокладають під землею з міркувань безпеки та для захисту труб від УФ-випромінювання. Однак використання ПВХ труб виявляється проблематичним, оскільки ерозія землі оголює ці труби. Під дією сонячного випромінювання, хімічного

впливу зовнішнього середовища труби із ПВХ деградують, набувають крихкості і ламаються при найменшому ударі.

В роботі досліджені механічні властивості 8 полімерних матеріалів для водопровідних труб – PE, PVC, PEX, PP, у тому числі наповнених скловолокном (20-30 %). При виборі матеріалу труб також буде врахована ціна, еко-властивості та технологія виготовлення.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЛАВІВ БІОМЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В.Г. Єфременко, докт. техн. наук, проф.,

І.М. Олійник, канд. техн. наук, доцент,

О.А. Новак, магістр, ДВНЗ «ПДТУ»

Завдяки поєднанню механічних властивостей, корозійної стійкості та зносостійкості сплав Co-28Cr-6Mo (литий - та деформований) широко використовується як біоматеріал. Загальновідомо, що сплави на основі Co-Cr мають чудову зносостійкість порівняно зі сплавами на основі титану і нержавіючими сталями, що робить їх найкращим варіантом для операцій з ендопротезування тазостегнового та колінного суглобів. Незважаючи на незаперечні переваги Co-28Cr-6Mo для ортопедичних імплантатів, його тривала експлуатація часто призводить до «несприятливих місцевих тканинних реакцій», включаючи біль і набряк («запальна псевдопухлина»), що впливають на якість життя 10–30 % пацієнтів, які перенесли операцію артропластику. Підтверджено, що причиною цього є нано- та мікрочастинки (металевий Co-Cr-Mo, оксид хрому та фосфат хрому), що утворюються при зношуванні поверхні протеза. Механічна корозія супроводжується виділенням іонів металів Cr⁺³ (основний) та Co⁺² (малий), які накопичуються в синовіальній рідині, призводячи до алергічних та запальних реакцій. У зв'язку з вищевикладеним, зносостійкість сплавів Co-Cr-Mo залишається у центрі уваги багатьох дослідників протягом останніх двох десятиліть. Таким чином, Коулі та ін. ретельно досліджували сплав Co-Cr-Mo в різних станах (литий, термооброблений, гаряче ізостатичне пресування (ГІП), гаряче ізостатичне пресування з наступною термічною обробкою, спечений з наступними гарячим ізостатичним пресуванням і наступною термічною обробкою) і дійшли висновку, що литий варіант продемонстрував найвищу зносостійкість за рахунок найвищої об'ємної частки карбіду. Навпаки, Чен та ін. провели випробування на зношування на симуляторі тазостегнового суглоба на сплавах Co-Cr-Mo, отриманих вакуумною

індукційною плавкою, і не виявили істотної різниці у втраті зношування сплавів Co-Cr-Mo з низьким і високим вмістом вуглецю. Ахмед та ін колеги дійшли такого ж висновку і підкреслили ключову роль наклепу матриці Co-Cr у зносостійкості сплаву Co-Cr-Mo, виготовленого методом ГПП. Багато зусиль були зосереджені на поліпшенні характеристик зносостійкості/корозії сплавів Co-Cr за допомогою обробки поверхні (ультразвукова модифікація поверхні нанокристалів, імплантація іонів вуглецю, плазмова термохімічна обробка, осадження покриттів і багаторазові цикли термообробки), що дозволило підвищити як корозійні так і трибологічні характеристики сплаву.

ПІДВИЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕЙ ТЕРМООБРОБКАМИ З НАГРІВОМ У МІЖКРИТИЧНИЙ ІНТЕРВАЛ ТЕМПЕРАТУР (МКІТ)

Д.В. Бурова, канд. техн. наук, старший викладач,

Г. Дьяконова, магістр, ДВНЗ «ПДТУ»

В роботі досліджено вплив на структуру та механічні властивості сталей 20ГЛ, 20ГФЛ, 14Г2 різних режимів термообробок з нагріванням у МКІТ, які зазвичай для них не застосовуються. Встановлено, що застосування нормалізації з нагріванням у міжкритичний інтервал температур у порівнянні зі звичайною нормалізацією дозволяє отримати більш сприятливий рівень властивостей. У всіх досліджуваних сталях спостерігається підвищення як міцності, і пластичних властивостей. Найбільш істотно збільшуються пластичність та ударна в'язкість. Крім того, проведення нормалізації з нагріванням у МКІТ дозволяє не тільки отримати більш високий комплекс механічних властивостей, а й знизити витрати на виробничий процес. Для сталі 20ГЛ додатково були проведені нормалізація з нагріванням у МКІТ із попередньою та подальшою аустенітизацією. Короточасна аустенітизація після витримки в МКІТ виключає вирівнювання складу аустеніту та забезпечує його дрібнозернистість. Роль попередньої аустенітизації перед витримкою в МКІТ пояснюється отриманням дрібнозернистої структури, що полегшує перерозподіл елементів у МКІТ. Цей варіант простіше, ніж робити короточасну аустенітизацію після витримки в МКІТ, оскільки його можна здійснити в одній печі. Після проведення цих режимів обробки був отриманий високий рівень пластичності та ударної в'язкості порівняно з таким після звичайної нормалізації при збереженні характеристик міцності на необхідному для цієї сталі рівні. Гартування з нагріванням у МКІТ і

низька відпустка дозволяють отримати рівень властивостей міцності близький до низьковідпущеного стану (гартування з нагріванням вище A_{c3}) при вищій пластичності. При цьому температура нагрівання під гартування значно нижча. Оптимальним часом витримки в МКІТ є 60 хв. Крім того, порівняно з поліпшенням, властивості міцності після такої термічної обробки вище, а пластичність і ударна в'язкість залишаються на тому ж рівні, а в деяких випадках, навіть вище. Застосування гарту з нагріванням у МКІТ та високої відпустки призвело до підвищення всього комплексу властивостей для сталей 20ГЛ, 20ГФЛ та 14Г2 порівняно з поліпшенням.

Застосування ізотермічного гарту з нагріванням в МКІТ порівняно з поліпшенням дозволяє отримати в досліджуваних сталях вищу міцність, при задовільній пластичності і ударної в'язкості. Оптимальним часом витримки в інтервалі бейнітного перетворення є 60 хв. Для сталі 20ГЛ був проведений і показав високий рівень властивостей режим термообробки, що полягає в ізотермічному гартуванні з витримкою МКІТ і попередньою аустенітизацією. Міцність та ударна в'язкість значно перевершують ці характеристики після покращення. Дещо збільшуються і пластичні характеристики.

Таким чином, застосування гартування та нормалізації з нагріванням у МКІТ, які раніше не використовувалися для досліджуваних сталей, дозволило отримати більш високий рівень механічних властивостей порівняно з властивостями після типових обробок, але при цьому температура нагріву більш ніж на 100 °C нижче, ніж використовується зазвичай. Це дозволяє економити енергоносії у виробництві. Крім того, охолодним середовищем при проведенні такого роду термообробок є повітря або вода, що спрощує та підвищує екологічність виробництва. Враховуючи позитивні результати проведених досліджень, а також вплив масштабного фактора, передбачається в умовах виробництва відпрацювати нові режими термічної обробки з нагріванням у МКІТ, а саме: нормалізацію з нагріванням у МКІТ, нормалізацію з нагріванням у МКІТ з попередньою аустенітизацією, гартування з нагрівом у МКІТ та висока відпустка, ізотермічне гартування з витримкою в МКІТ, а також ізотермічне гартування з витримкою в МКІТ з попередньою аустенітизацією.

В роботі досліджено вплив нагріву в міжкритичний інтервал температур, гартування з нього з наступною низькою відпусткою на абразивну зносостійкість сталі 60C2A. Ця обробка порівнювалася з такою у цієї сталі після ізотермічного гарту з температури 860 °C і витримки 10 хв при 350 °C, що забезпечує найвищий рівень

зносостійкості. Згідно з даними рентгенівського фазового аналізу, у структурі дослідженої сталі присутнє ~30 % метастабільного аустеніту, що майже повністю перетворюється на мартенсит деформації при абразивному впливі. Після гарту з МКІТ та низької відпустки отримано приблизно таку ж кількість аустеніту та зносостійкість. Така термообробка простіше і екологічніше за ізотермічне гартування.

ПІДВИЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕЙ ОТРИМАННЯМ У НИХ БЕЙНІТНО-АУСТЕНІТНОЇ СТРУКТУРИ

Д.В. Бурова, канд. техн. наук, старший викладач, ДВНЗ «ПДТУ»

Важливим науковим та практичним завданням ресурсозбереження є підвищення механічних властивостей та зносостійкості сталей та чавунів. Одним з варіантів реалізації даного напрямку є отримання в сталях і чавунах структури нижнього бейніту та залишкового метастабільного аустеніту. Це може бути реалізовано застосуванням ізотермічного або перерваного гартування. У цій роботі отримання бейнітно-аустенітної структури здійснювалося нетрадиційним способом. Суть його полягала в тому, що після нагрівання, що забезпечує отримання аустеніту, охолодження до заданої температури в бейнітному інтервалі проводилося у воді для запобігання утворенню ферито-карбідної суміші. Ізотермічна витримка здійснювалася у печі. Перерване гартування, що включає охолодження у воді на першому етапі, передбачало подальше охолодження в інтервалі проміжного перетворення. У ряді випадків нагрівання доцільно проводити у міжкритичний інтервал температур (МКІТ). Раніше таке нагрівання при проведенні ізотермічного гарту сталі 38ГС у розплаві солей було застосовано А.А. Петрунєнковим зі співробітниками. Нагрів в МКІ доєвтектоїдних сталей дозволяє отримати після ізотермічного гарту багатозфазну структуру, що складається з фериту, бейніту, залишкового аустеніту і карбідів, що не розчинилися. Залишковий аустеніт збагачений вуглецем та іншими елементами внаслідок їх перерозподілу в процесі витримки між а- та g-фазами, а також часткового розчинення карбідів в останній. У деяких випадках після нагрівання і витримки в МКІ проводилася короткочасна аустенітизація, мета якої виключити утворення в структурі загартованої сталі фериту, що знижує властивості сталей, міцність, а також зберегти неоднорідність, отриману в МКІ. Ізотермічне гартування за запропонованим способом проводилося також з аустенітного стану. Об'єктом дослідження стали сталі 30ХГСА, 38ХС, 60С2, 60С2ХФА. Для всіх досліджених сталей визначено загальні закономірності формування

структури та її впливу на властивості. Після обраних для кожної сталі режимів термообробки може бути досягнуто гарне поєднання механічних властивостей. Наприклад, у 38ХС після ізотермічного гарту з МКІ отриманий наступний рівень властивостей: $\sigma_{0,2} = 1070$ МПа, $\sigma_B = 1270$ МПа, $\delta = 21\%$, $KCU = 0,96$ МДж/м². Цьому відповідає утворення у структурі $\sim 26\%$ залишкового аустеніту. Після випробувань на розтяг у зоні рівномірного подовження його кількість зменшилася до 18% , що свідчить про поступове утворення мартенситу деформації. Це забезпечує не тільки зміцнення, а й релаксацію мікронапруги. Аналогічна закономірність виявляється у сталях 30ХГСА, 60С2 і 60С2ХФА, у яких за тимчасовому опорі $\sigma_B > 1000$ Мпа, досягнуто подовження ($\delta = 16-25\%$). У 60С2 аналогічні властивості отримані після ізотермічного гарту з аустенітної області (870°C). У разі великого подовження ($\delta \geq 14\%$) доцільно для підвищення властивостей міцності застосовувати холодну пластичну деформацію ($\sim 5\%$). Високий рівень властивостей міцності при достатній пластичності отриманий у вивчених сталях у тому випадку, коли після витримки в МКІ перед ізотермічним гартуванням проводилася короткочасну аустенітизацію при $920-950^\circ\text{C}$. Рівень механічних властивостей, що отримані ізотермічним гартуванням з нагріванням у МКІ, вище, ніж у хромо-нікель-молібденових сталях після поліпшення.

Хороший комплекс властивостей може бути отриманий перерваним гартуванням після попереднього нагріву МКІ і подальшої короткочасної аустенітизації. У сталі 38ХС після такої обробки властивості такі: $\sigma_{0,2} = 1295$ МПа, $\sigma_B = 1585$ МПа, $\delta = 12\%$, $KCU = 0,76$ МДж/м².

Наведені дані показують ефективність отримання бейнітно-аустенітної структури задля забезпечення хорошого поєднання механічних властивостей досліджених сталей.

ЗАСТОСУВАННЯ СТАЛІ 316L ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БІОМЕДИЧНИХ ВИРОБІВ

В.Г. Єфременко, докт. техн. наук, проф.,
І.М. Олійник, канд. техн. наук, доцент,
М. Семенко, магістр, ДВНЗ «ПДТУ»

Аустенітна нержавіюча сталь 316L поєднує в собі високу корозійну стійкість і підвищену стійкість до впливу кислот, лугів та інших агресивних середовищ при тривалому контакті, немагнітні властивості, задовільні механічні властивості, хорошу зварюваність і формувальність. Це робить сталь 316L привабливою для багатьох

галузей, таких як хімічна промисловість, аерокосмічна промисловість, машинобудування, суднобудування тощо.

Хімічний склад сталі 316L виглядає наступним чином: С до 0,03 %; Cr - 15-17 %; Ni - 14-16 %; Мо – 2,5-3 %.

Завдяки хорошій біосумісності сталь 316L широко використовується як біоматеріал для медичних імплантатів, включаючи серцево-судинні та черепно-лицеві вироби, ортопедичну фіксацію кісток, штучні барабанні перетинки тощо.

Протягом останнього десятиліття для виготовлення компонентів із сталі 316L використовували адитивне виробництво. Селективне лазерне плавлення (SLM) є одним із основних процесів адитивного виробництва, у якому використовується пошаровий 3D-друк порошку за допомогою сканування високопотужним лазерним променем. Доведено, що SLM-друк є ефективною технологією для виготовлення невеликих деталей складної форми, яка дозволяє значно скоротити витрати на виробництво та час. Крім того, швидке плавлення/затвердіння частинок порошку під лазерним променем створює особливу мікроструктуру в надрукованому SLM металі, особливу мікроструктуру, яка забезпечує кращі властивості порівняно з традиційною технологією обробки. Покращення мікроструктури сталі 316L, яка виготовлена SLM-друком, пояснюється великим тепловим градієнтом у рідкому металі через швидке нагрівання/затвердіння під лазерним променем, що призвело до утворення надтонкої структури.

Також був досліджений вплив технологічних параметрів SLM на властивості сталі 316L. Показано, що оптимальним кутом лазерного сканування для досягнення хорошої механічної поведінки 316L є кут 30°. Кручення під високим тиском більше 5 обертів є ефективним для утончення структури SLM-316L і, як наслідок, для покращення його механічних властивостей. Є роботи, в яких стверджують, що посттермічна обробка SLM-316L не впливає на його фазовий стан і кристалографічну орієнтацію.

SLM-316L, як біологічний імплантат, буде зазнавати складних навантажень під час служби в організмі людини. Комплексне навантаження може призвести до пошкодження деталей, що використовуються, через тертя. Незважаючи на беззаперечні переваги, аустенітна нержавіюча сталь характеризується низькою твердістю та зносостійкістю і високим коефіцієнт тертя, що призводить до пошкодження її поверхні при ковзанні. Це небажано для застосування імплантатів на тілі людини, оскільки виділення залишків зносу та токсичних іонів Ni/Cr може спричинити запальні та анафілактичні реакції. Таким чином, показники зносостійкості 316L слід покращити,

щоб забезпечити безпечне застосування імплантату та продовжити термін служби його поверхні. Для цього запропоновано різні методики та підходи обробки поверхні. Наприклад, текстурування поверхні та тверді мастила можуть зменшити знос та тертя. Застосування поверхневого лазерного наплавлення Nb-Fe-Ni-B-C на нержавіючу сталь 316L. Також підвищити зносостійкість 316L можна шляхом лазерного текстурування та подальшого плазмового азотування; плазмового електролітичного нітроцементування; поєднання швидкого плазмового азотування та нанесення (CrWAlTiSi)N - керамічного покриття.

Таким чином, розробка способів, спрямованих для підвищення зносостійкості сталі 316L є досить актуальною задачею.

КОМБІНОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ҐРУНТУ

Ю.С. Самоутіна, канд. техн. наук, доцент,
Д.К. Чудновець, магістр, ДВНЗ «ПДТУ»

Підвищення експлуатаційних характеристик різального інструмента землерийної техніки є актуальною проблемою, так як, внаслідок його зношування, зростають зусилля різання ґрунту, а також навантаження на окремі деталі і машину в цілому, знижується продуктивність праці, збільшуються простой і витрати на ремонт зношених деталей.

Для підвищення працездатності ґрунтообробного інструменту використовують різні методи: індукційне гартування, віброхвилову обробку, титанування, плазмове напилення. Проте, найбільш широке поширення отримало плазмове модифікування. Широкі можливості для підвищення працездатності інструменту для оброблення ґрунту дає і використання наплавлення робочого шару – як на стадії виготовлення, так і на стадії відновлення зношеного інструменту. Тому, найбільш перспективна комбінована технологія відновлення і зміцнення інструменту, що поєднує попереднє наплавлення і подальше плазмове модифікування.

Сталь 30ХГСА відноситься до класу хромансильей, яку використовують для відповідальних зварних конструкцій, при виготовленні деталей, працюючих в умовах сильного зношування. Вона досить технологічна і може використовуватися як наплавлене покриття (наплавлювальний дріт або стрічка Нп-30ХГСА). Легуючі елементи хромомарганцевої сталі підвищують межі плинності і міцності,

в'язкість і опірність крихким руйнуванням. Це пов'язано з утворенням сорбитних структур або структур нижнього бейніту. Що робить дуже перспективним застосування подальшого плазмового зміцнення наплавленого металу типу 30ХГСА.

Зразки для досліджень і випробувань отримували наплавленням стрічкою Нп-30ХГСА завтовшки 10 мм на заготівлі із сталі 90ХФ розміром 20×60×200 мм. Плазмову обробку без оплавлення поверхні проводили плазмотроном непрямої дії з секціонованою міжелектродною вставкою (діаметр отвору сопла 6 мм). Режим обробки: загальна теплова потужність 32 кВт, питома теплова потужність струменя $1,2 \cdot 10^5$ Вт/см²; швидкість переміщення плазмотрона 0,7 см/с; плазموутворюючий газ – аргон.

Випробування і дослідження зразків наплавленого металу 30ХГСА показали, що твердість такого типу металу в початковому стані після наплавлення, як правило, нижче твердості виробу, але може бути значно підвищена локальною поверхневою термічною обробкою плазмовим струменем, лазерним або електронним променем. Початкова структура наплавленого металу 30ХГСА – зернистий перліт і ферит у вигляді острівців має твердість 200-215 НV. Основною складовою структури зони плазмового гартування є однорідний високодисперсний (безструктурний) мартенсит, межі між однаково орієнтованими зернами аустеніту не виявляються, твердість досягає 695-710 НV. Це набагато вище за твердість пакетного (рейкового) мартенситу об'ємного гартування (475-490 НV). У зоні переходу від структури плазмового гартування до початкової перетворення на аустеніт надмірного фериту не завершується і зберігаються острівці фериту.

Таким чином, виконані дослідження показують високу ефективність застосування комбінованої технології відновлення і зміцнення ґрунтообробного інструменту – наплавлення + плазмове модифікування. Досягається 3,0-3,5-кратне підвищення твердості (можна прогнозувати і пропорційне підвищення зносостійкості).

ВИЯВЛЕННЯ МОЖЛИВИХ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПІДШИПНИКИ РОТОРНИХ ПИЛ В ПРОЦЕСІ РІЗАННЯ ГАРЯЧОГО ПРОКАТУ

А.О. Іщенко, докт. техн. наук, проф.,

С.В. Капустін, аспірант,

Т.Н. Карпенко, к.ф.-м.н., доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Відмітною особливістю роторних пил є процес різання заготовки, який займає дуже короткий час. Наприклад, заготовка

діаметром 200 мм розрізається за 0,2 секунди, в той час як традиційні конструкції салазкових та маятникових пил виконують цю операцію за 10-20 та більше секунд. Цей ефект досягається за рахунок високих швидкостей подачі диска на різ, перевищуючих традиційні режими в 20 та більше разів.

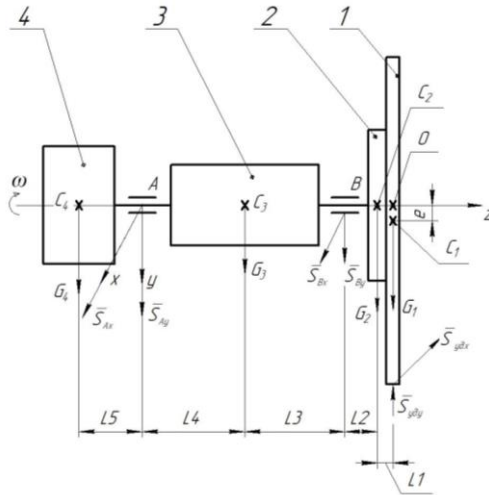
Однак у цих конструкціях через специфічні умови різання були виявлені слабкі ланки, що вимагають подальшого вдосконалення. Одним з факторів, який знижує надійність пили є недостатня довговічність підшипників високошвидкісного дискового валу, що сприймає зусилля різання.

Традиційно розрахунок підшипників дискового валу роторних пилок проводився в статиці, враховуючи вагу шківів ремінної передачі, маховика планшайб з ріжучим диском і, що найголовніше, зусилля різання. Однак, як виявилось, цей метод розрахунку не дозволяє враховувати всі можливі фактори, що впливають на підшипники в процесі різання. Перш за все, як виявилось під час роботи, пильний диск має радіальне биття, можливо, через похибку при нарізанні зубів диска (меншою мірою) та ексцентричною посадкою диска на посадкове місце при його заміні. Це може бути пов'язано з вироботкою посадкового місця під диск на планшайбі, на якому він встановлюється, або можливою похибкою при проточці внутрішнього отвору для посадки на диску. У зв'язку з наявністю такого радіального биття необхідно врахувати його вплив на міцність підшипників. Крім того, коротка тривалість самого процесу різання, який можна скоріше охарактеризувати як удар, також вимагає впливу цього фактора на термін експлуатації підшипників, а отже, з урахуванням переліченого комплексу факторів, які можуть впливати на експлуатаційні показники підшипників, пропонується розглянути процес їх завантаження в динаміці.

Для визначення складових імпульсного впливу в опорах застосовуються наступні теореми:

Про зміну кількості руху: $\overline{Q_1} - \overline{Q_0} = \overline{S_{уд}}$;

— Про зміну моменту кількості руху: $K_1 - K_0 = M_{ом} (S_{уд})$,
де Q_0 – кількість руху до удару; $\overline{Q_1}$ – кількість руху після удару; $\overline{S_{уд}}$ – ударний імпульс; K_0 – кінетичний момент до удару; K_1 – кінетичний момент після удару.



Малюнок 1 - Схема навантаження вала під імпульсним впливом,

де $\bar{S}_{Ax}, \bar{S}_{Ay}, \bar{S}_{Bx}, \bar{S}_{By}$ - складові імпульсів реакцій опор,

$\bar{S}_{ydx}, \bar{S}_{ydy}$ - складові ударного імпульсу

Зробивши проекції на осі Ax та Ay отримуємо рівняння:

$$m_1 \cdot e(\omega_k - \omega_n) = S_{Ax} + S_{Bx} - S_{ydx};$$

$$\text{де } m_1 = \frac{G_1}{g};$$

$$0 = S_{Ay} + S_{By} - S_{ydy};$$

$$0 = -S_{By}(L_4 + L_3) + S_{ydy}(L_1 + L_2 + L_3 + L_4);$$

$$0 = -S_{Bx}(L_4 + L_3) + S_{ydx}(L_1 + L_2 + L_3 + L_4);$$

$$I_{zO}(\omega_k - \omega_n) = S_{ydx} \left(\frac{D_1}{2} + e \right);$$

$$I_{zO} = I_{zC1} + \frac{G_1}{g} e^2;$$

де I_{zO1} - осьовий момент інерції вала в сборі відносно осі обертання OZ;

e - ексцентриситет (радіальне биття диска);

$$I_{zC1} = \frac{GD^2}{4 \cdot 9,8};$$

де I_{zC1} - осьовий момент інерції диска;

D - діаметр диска.

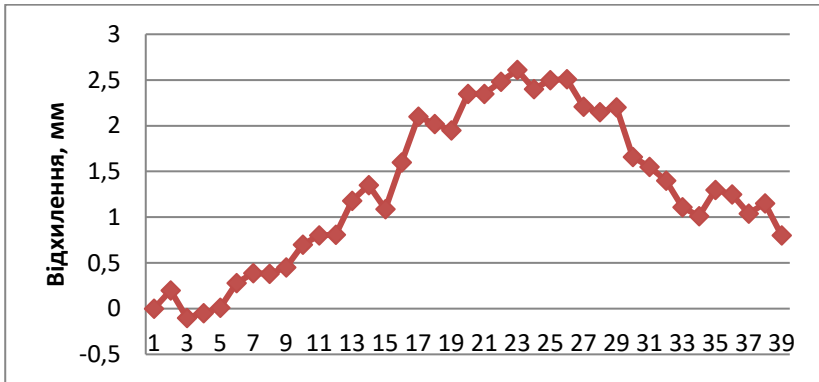
$$\omega_k - \omega_n = \frac{S_{ydx} \left(\frac{D_1}{2} + e \right)}{I_{zO}};$$

$$S_{Bx} = \frac{S_{ydx} \cdot AO}{AB};$$

$$S_{Ax} = S_{ydx} - S_{Bx} + m_1 \cdot e(\omega_k - \omega_n);$$

$$S_{By} = S_{ydy} \frac{AO}{AB};$$

$$S_{Ay} = S_{ydy} - S_{By}$$



Малюнок 2 - Графік радіального биття пильного диску

СЕКЦІЯ: ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК У НАУЦІ І ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМУВАННЯ ОКСИСУЛЬФІДНИХ ВКЛЮЧЕНЬ В СТАЛІ, ЩО РОЗКИСЛЕНА АЛЮМІНІЄМ

Л.І Тарасюк, доцент, канд. техн. наук ДВНЗ «ПДТУ»

При розкисленні металу алюмінієм виникають неметалічні включення, природа яких вивчена недостатньо повно. Для металу, розкисленого алюмінієм, різниця між загальним вмістом та вмістом кислоторозчинного алюмінію в металі може бути мірою забрудненості металу оксидними НВ.

При проведенні досліджень було вивчено та описано склад, тип, морфологію та походження комплексних НВ, вплив параметрів позапічної обробки на НВ. Встановлено, що у розкислений алюмінієм сталі присутні комплексні глобулярні включення на основі алюмінату кальцію, оболонка НВ з алюмінію і кальцію збагачена СаО порівняно з серединою включень.

При додаванні кальцію в сталь, розкислену алюмінієм, частинки включень набувають округлу форму і трохи подрібнюються. Найкращий результат досягається при співвідношенні $\text{Ca}/\text{Al} = 0,112$.

При співвідношенні $\text{Ca}/\text{S} > 0,7$ кількість пластичних включень зменшується приблизно на 55 %, їхня відносна площа зменшується приблизно на 90 %, середня площа включення — ще більшою мірою, а коефіцієнт форми збільшується приблизно на 50 %.

Збільшення окислення конвертерної ванни в кінці плавки призводить до зростання забрудненості прокату оксидними НВ. Тому потрібно уникати передуву конвертерної плавки для того, щоб отримувати помірне переокислення металу в кінці плавки.

Збільшення тривалості перемішування металу в ковші інертним газом понад 15 – 20 хв. призводить до збільшення балу забрудненості прокату недеформованими і крихкими силікатами (СН і СГ за ідентифікацією ГОСТ 1778) за рахунок коагуляції оксидних НВ і частково – за рахунок проникнення кисню в метал при взаємодії зі шлаком (затягування частинок покривного шлаку вглиб) .

Для формування НВ оптимального складу та виключення при модифікуванні утворення СаS на поверхні Al_2O_3 необхідно проводити десульфуріацію сталі з отриманням вмісту сірки в першій пробі на АДС не більше 0,006 %.

Найменшому балу забрудненості СН відповідають плавки з ставленням $[\text{Ca}]_{\text{tot}}/[\text{Al}]_{\text{ox}}$ не менше 0,5 та з ставленням

$[Ca]_{tot}/[S] = 0,8 \dots 1,0$. Це досягається за змістом сірки трохи більше 0,004 % і хорошої розкисленості металу перед обробкою на АДС (зміст загального алюмінію лише на рівні 0,035...0,040 %). Вміст кальцію в готовій сталі має бути не більше 0,0015...0,0030 %.

Встановлено, що зниженню забрудненості прокату оксидними НВ сприяє збільшення витрати алюмінію при розкисленні під конвертером для того, щоб отримати в першій пробі на АДС вміст алюмінію 0,035...0,040 % з мінімальною добавкою алюмінієвої катанки на АДС.

У вакуумованому злитку кількість оксидів і сульфідів порівняно з оксисульфідами істотно менша, ніж у злитку, відлитому на повітрі (кількість оксидів та сульфідів – у 6-10 разів, кількість оксисульфідів – у 4-5 рази).

На базі виконаних досліджень запропоновано алгоритм термодинамічного розрахунку, що дозволяє розраховувати забрудненість сталі НВ; для адаптації методики рівноважного розрахунку запропоновано врахувати вторинне окислення компонентів сталі, насамперед розчиненого алюмінію, киснем атмосфери під час ковшової обробки металу та оцінити частку включень, що видаляються в процесі обробки сталі в ковші.

Встановлено, що розмір включень у зливках із наближенням до центру зливка прагне збільшення. Це свідчить про те, що діаметр включень більший там, де затвердіння металу відбувається за більш тривалий період.

АНАЛІЗ ДЕФЕКТІВ БЕЗПЕРЕРВНО ЛИТИХ ЗАГОТОВОК ТРУБНИХ МАРОК

Л.І. Тарасюк, доцент, канд. техн. наук, О.О. Лушпа,
магістрант гр.МЧМ-22-М, ДВНЗ «ПДТУ»

Сталь 09Г2С - це дуже затребувана сталь, використовується як в будівництві, так і в багатьох галузях промисловості. Існують вітчизняні та зарубіжні аналоги цього виду. Найбільш часто використовується для виготовлення труб, металопрокату та зварних металоконструкцій, температурний діапазон використання яких від -70 до 425 °С з допустимими навантаженнями на них).

Незважаючи на стільки сучасне обладнання, пріоритетним напрямком комбінату є боротьба з дефектами безперервно литих заготовок і поліпшення якості продукції.

Основними дефектами поверхні безперервно литої заготовки являються: поздовжні тріщини (по кутах і гранях); поперечні тріщини; поясам; завороту кірки; залівини; шлакові включення; газові бульбашки.

Поздовжні поверхневі тріщини представляють собою порушення цілісності у вигляді розривів металу. Освіта тріщин в безперервно литу зливку пов'язано з внутрішньою напругою, що виникають в процесі його формування, і обумовлено зниженою міцністю і пластичністю в різних температурних інтервалах.

Поверхневі поздовжні тріщини, пов'язані з спотворенням профілю злитка, є результатом підвищеної ромбічності заготовок, ужимин на поверхні або випинання граней НЛЗ. Тріщини даного виду поширюються зсередини заготовки уздовж діагоналі між тупими кутами. Зазвичай така тріщина згортає в сторону від діагоналі безпосередньо перед кутом і з'являється на поверхні близько кута, де кірка злитка найбільш тонка.

Цей дефект заготовки при його грубому розвитку може привести до прориву металу при знаходженні злитка в ЗВО.

Поздовжні тріщини, не пов'язані з спотворенням профілю безперервнолитої заготовки, можуть мати вигляд від коротких нитковидних (іноді не видимих без зачистки поверхні) до грубих зі значною шириною розкриття. Такі тріщини можуть розташовуватися безпосередньо по кутах, а також на деякому зсуві від кутів або по гранях заготовок.

На утворення поздовжніх тріщин певний вплив має величина кутового радіусу (сполучення) гільз кристалізаторів. Вважається, що при кутовому радіусі гільз вище оптимального на заготовках можуть з'являтися тріщини по вершинах кутів, при зниженому кутовому радіусі - білякутові тріщини.

Поперечні поверхневі тріщини розташовуються по кутах або гранях безперервно литої заготовки в поперечному напрямку, тобто, перпендикулярно напрямку розливання металу. Поперечні тріщини можуть розташовуватися посередині граней, а також в кутах заготовки.

Основними причинами виникнення поперечних тріщин є надлишкова конусність або деформація робочої поверхні кристалізатора, недостатня кількість мастила або ШОС в кристалізаторі, відхилення в центріві кристалізатора щодо технологічній осі струмка, відхилення при зворотно-поступальному русі кристалізатора від робочої траєкторії і т.п. Все це викликає збільшення сил тертя між злитком і робочою поверхнею кристалізатора.

Одним з основних факторів, що визначають можливість утворення поперечних тріщин на поверхні заготовок, є налагодження режиму хитання кристалізатора.

Відхилення в роботі механізму хитання (люфти, биття), можуть призвести до зміни параметрів, що впливають на формування твердої скоринки, стати причиною її підвисання в кристалізаторі або розриву суцільності оболонки. При утворенні поперечних тріщин в кристалізаторі можливе утворення напливів металу, що значно погіршує якість поверхні безперервнолитої заготовки і вимагає її зачистки.

Пояс є грубим технологічним дефектом, який легко ідентифікується на поверхні заготовки. Він охоплює практично весь периметр злитка .

Пояси, як правило, утворюються через перерви в подачі металу в кристалізатор, або при надмірно різкому зниженні швидкості розливання, особливо при низькій температурі стали. При цьому верхній край затверділої кірки по всьому периметру кристалізатора окислюється і при поновленні розливання в цьому місці утворюється пояс. Пояс є слабким місцем в зливку, так як одночасно з окисленням по контуру затверділої кірки злитка відбувається і окислення меніска. Грубі пояси, як правило, не піддаються зачистці і їх вирізують з злитка, що обумовлює додаткові втрати металу.

Завороти кірки. Завороти кірки утворюються в тих випадках, коли окислена кірка металу захоплюється з меніска на поверхню злитка. Найчастіше даний дефект, наприклад, виникає при розливі «холодного» металу, що зумовлює появу шматочків твердої фази на меніску. Значного розвитку цей дефект отримує при розливанні сталей зі зниженою рідкоплинністю або містять легко окислюються елементи.

Залівіни утворюються в результаті попадання рідкого металу в зазор між скоринкою злитка і стінкою кристалізатора, що утворюється внаслідок викривлення меніска в області їхнього зіткнення .

Утворення залівин найбільш ймовірно при перервах в подачі металу в кристалізатор, недостатньою або нерівномірною мастилою стінок кристалізатора, значних коливаннях рівня металу в ньому, розливання металу зі зниженою швидкістю і температурою і т.п. Залівіни утворюються також в разі прориву оболонки злитка.

В цілому для попередження таких дефектів як пояси, завороту скоринки злитка, залівіни необхідно запобігати затягування дозуючих вузлів проміжних ковшів, мінімізувати амплітуду коливань рівня металу в кристалізаторі, оптимізувати режими роботи мастила його

робочої поверхні, забезпечувати стабільність швидкості розливання тощо.

Шлакові включення. Шлакові включення, що зустрічаються на поверхні НЛЗ і проникаючі всередину металу, є багатофазними, переважно силікатного характеру. У сортових заготовках великі шлакові включення частіше зустрічаються в районі ребер.

Шлакові включення на поверхні безперервнолитих заготовок з'являються внаслідок розмиву вогнетривів ковшів, затягування шлаку з проміжного ковша і з дзеркала кристалізатора, спливання в кристалізаторі продуктів розкислення стали, коливань рівня металу і т.п.

Значна кількість шлакових включень на меніску металу в кристалізаторі може привести до масових проривів твердої оболонки заготовки в зоні вторинного охолодження під кристалізатором.

Основні заходи, що дозволяють знизити забрудненість безперервнолитого злитка жужільними включеннями полягають в наступному: дотримання заданих режимів розкислення стали; дотримання температурних режимів; застосування ерозійно стійких вогнетривких матеріалів; підтримання постійного рівня металу в промковшій і кристалізаторі; правильний підбір ШУС і рівномірна подача її в кристалізатор. Поверхневі пухирі представляють собою досить характерний дефект в вигляді поодиначних або групових пор, пустот округлої або витягнутої форми.

Бульбашки на поверхні безперервно литої заготовки можуть бути результатом газовиділення при затвердінні злитка, при згорянні мастила в кристалізаторі, при використанні вогнетривів і шлакоутворюючих сумішей з підвищеною вологістю і т.п.

Найбільший вплив на ураженість заготовки цим дефектом надає рівень «вільного» кисню в сталі. Щоб уникнути утворення газових пір, рівень «вільного» кисню в сталі повинен бути знижений до мінімального рівня (особливо при розливанні низьковуглецевих марок сталі), тому дуже важливо в технологічному плані ефективно проведення операції розкислення стали.

Надмірна кількість мастила в кристалізаторі, підвищений вміст води в маслі або ШОС можуть привести до утворення поверхневих газових бульбашок.

Павукоподібні (зіркоподібні) тріщини характерні, перш за все, для перитектичного класу сталей (вміст вуглецю 0,12-0,18 %).

Вони являють собою тонкі тріщини довжиною кілька міліметрів у вигляді променів, що розходяться «зірок» і т.п. Вони утворюються під поверхнею безперервнолитої заготовки, що ускладнює їх візуальне

виявлення безпосередньо після охолодження. Однак при подальшій прокатці вони розкочуються в тріщини або розриви, що призводить до дефектів металопродукції. На практиці для сталей, схильних до появи павукоподібних тріщин, здійснюється додатковий контроль заготовок за допомогою механічної зачистки поверхні (наприклад, «змійкою»), глибиною 1-2 мм.

Оскільки формування павукоподібних тріщин відбувається в кристалізаторі, то найбільш ефективним засобом їх придушення є застосування ШУС, які кілька знижують відведення тепла від твердої скоринки.

Таким чином, на комбінаті безперервно триває боротьба з дефектами заготовок з метою забезпечення клієнтів продукцією найвищої якості.

ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ГАЗОВОГО ПОТОКУ У ДОМЕННІЙ ПЕЧІ

Л.О. Гудим, аспірант, В.Б. Семакова, доцент, канд. техн. наук,

Ю.В. Хавалиць, ст. викладач, Д.В. Хвостов аспірант,

Д.І. Сибільов студент, ДВНЗ «ПДТУ»

Важливою функцією завантажувального пристрою доменної печі (ДП) є розподіл шихтових матеріалів перерізу колошника. Окружний розподіл шихти має бути рівномірним. У радіальному напрямку цілеспрямовано створюється нерівномірний розподіл матеріалів задля забезпечення плавного сходження шихти печі.

Площа колошника умовно поділяється на три рівновеликі зони: периферійну (ПЗ), проміжну (ПРЗ) та центральну (ЦЗ). Як правило, у ПРЗ розташовується максимальна кількість рудних матеріалів, що мають значну кількість дрібних фракцій, що створює підвищений опір руху газового потоку. У цій зоні проходить найменший обсяг газу, який виходить зі стовпа шихти зі зниженою температурою T (відносна T газу, яка визначається як відношення фактичної температури T_f до середньої за радіусом печі температури $T_{ср}$, менше 1,0).

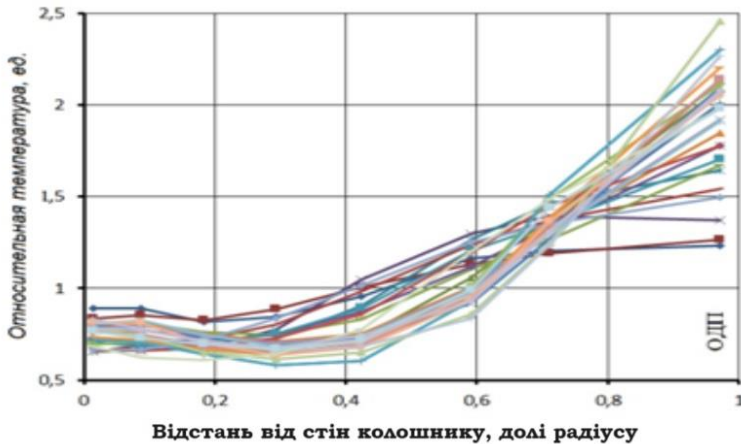
Найбільший обсяг газового потоку має відбуватися у ЦЗ. З цією метою у осі доменної печі (ОДП) формують стовп шихти з підвищеною газопроникністю. Площа так званої «осьової віддушини» становить близько 6 %. Відносна температура газу в ЦЗ підвищена – понад 1,0.

Для збереження плавного опускання шихти біля стінок печі ПЗ кілька розвантажують від рудної частини, щоб створити помірно розвинений периферійно-осьовий газовий потік. Для підвищення

економічності доменного процесу плавку ведуть із розвиненим осьовим газовим потоком.

На доменній печі, обладнаній типовим двоконусним завантажувальним пристроєм, контроль розподілу газового потоку (РГП) здійснювали за допомогою системи термозондів, що вимірюють температуру газу в 8 точках радіуса колошника над поверхнею засипу шихти. Отримане протягом місяця сімейство кривих розподілу відносної температури газу радіусом колошника представлено малюнку 1.

Абсолютна зміна температури біля стін колошника склала $\Delta T = T_{\max} - T_{\min} = 84^\circ\text{C}$ (при зміні $T_{\text{ср}}$ в межах від 223 до 324°C), що показує відносно постійну витрату газу в ПЗ. У проміжній зоні ΔT зросла до 177°C , а в осі ДП – до 392°C . Таким чином, регулювання розподілу газового потоку радіусом колошника здійснювалося в основному за рахунок зміни витрати газу в центральній зоні.



Малюнок 1 - Зміна розподілу відносної температури газового потоку в ДП над поверхнею шихти по радіусу колошника

Відповідно до управління РГП з радіусу печі здійснюється шляхом зміни розподілу рудного навантаження (РН) у відповідних зонах колошника. У осі ДП має бути мінімальна кількість дрібних фракцій шихти, представленої виключно коксом (коксова «віддушина»). У ЦЗ розвиток газового потоку регулюється кількістю рудних матеріалів, які у неї. Не менш важливим фактором, що впливає на газопроникність шихти, є товщина шарів матеріалів. З практики ведення ДП випливає, що мінімальна висота шарів коксу на колошнику становить $0,32$ м, а в розпарі – $0,15$ м. За даними досліджень мінімальна

висота коксового шару має бути не менше шести елементарних коксових шарів – 6 dk, що відповідають середньому розміру шматка коксу dk. При висоті шару коксу менше 3 dk газопроникність шихти різко знижується.

Аналіз результатів промислових досліджень показав, що найбільший вплив на РГП по радіусу колошника надає порядок завантаження рудних та коксових скіпів у подачі та циклах завантаження. Тривала робота печі на системах завантаження, що розпушують ПЗ, призводить до розвитку периферійного газового потоку, що характеризується низьким вмістом CO_2 біля стін та підвищеною температурою газу. Ступінь використання теплової та відновлювальної енергії газового потоку (СІГ) знижується, питома витрата коксу збільшується при скороченні продуктивності доменної плавки.

При тривалій роботі доменної печі на системах завантаження, що підвантажують ПЗ відбувається розвиток центрального газового потоку, який характеризується максимальним вмістом CO_2 біля стін печі з підвищенням температури газового потоку у осі. У цьому центрі колошника утворюється широка розріджена від залізорудних матеріалів область. Погіршення газопроникності в ПЗ призводить до нестійкого перебігу ДП, що також призводить до зниження її продуктивності.

Таким чином, основним методом управління радіальним розподілом шихти та газів є зміна параметрів завантаження – в першу чергу системи завантаження матеріалів, а потім величини подачі або рівня засипу за інших рівних умов по черзі. У разі вдування в ДП ПУТ необхідно застосовувати цикли завантаження шихти з обтяженою рудною подачею з регулюванням маси коксу по скипах.

ВПЛИВ СПОСОБІВ ВВЕДЕННЯ МОДИФІКАТОРІВ У МЕТАЛЕВИЙ РОЗПЛАВ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА НА СТУПІНЬ ЙОГО ЗАСВОЄННЯ

О.О. Лушпа, студент гр. МЧМ-22-М, ДВНЗ «ПДТУ»

Операції, спрямовані на поліпшення якості металу, перенесені в ківш, перед металургами стоїть завдання в розробці нових або вдосконаленні існуючих способів позапічної обробки. Одним із сучасних та перспективних способів позапічної обробки сталі є введення в рідку сталь порошкового дроту (ПП) або стрічки. Цей спосіб може бути застосований практично в будь-якому сталеплавильному цеху для остаточного коригування хімічного складу та покращення якості сталі по неметалевим включенням, в т.ч. і для модифікування цих

включень. Існує велика кількість способів обробки залізвуглецевих розплавів у ковпці дротом. Для вдосконалення способу введення ПП або стрічки у залізвуглецевий розплав, через направляючу трубку з одночасним його перемішуванням, нами запропоновано конструкторське рішення, за рахунок якого досягається збільшення швидкості введення дроту (стрічки), що дозволяє збільшити кількість матеріалу, що вводиться.

3

астосування розробленого конструкторського рішення дозволить досягти значного економічного ефекту завдяки підвищенню швидкості введення дроту (стрічки), що дає можливість збільшити кількість матеріалу, що вводиться в залізвуглецевий розплав, а також підвищити ступінь засвоєння матеріалу, що вводиться за рахунок розплавлення дроту безпосередньо біля дна ковша.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА МЕТОДІВ, СПРЯМОВАНИХ НА УСУНЕННЯ ЗАРОСТАННЯ ЗАНУРЮВАЛЬНОГО СТАКАНУ ПРИ БЕЗПЕРЕРВНОМУ РОЗЛИВАННІ СТАЛІ

Л.І.Тарасюк, доцент, канд. техн. наук, ДВНЗ «ПДТУ»

Р

озвиток сучасних технологій безперервного розливання сталі потребує постійного підвищення продуктивності МБРЗ. Одним із факторів, що визначають цей показник, є стійкість занурювальних склянок. Тому до них пред'являються особливі вимоги щодо міцності при високій температурі і стійкості до ерозії під дією металу і шлакоутворюючих сумішей.

О

днією з основних причин виходу занурювальних склянок з експлуатації є заростання внутрішньої порожнини у зоні вихідного отвору.

В

ідкладення на внутрішній поверхні занурювальної склянки є результатом протікання двох процесів:

- додаткове забруднення сталі неметалевими включеннями в ході її розливання (вторинне окислення, ерозія вогнетривких матеріалів, захоплення шлаку промковша в кристалізатор);

- різного роду відхилення течії струменя металу всередині каналу занурювальної склянки (несиметричне розташування стопора щодо сидла склянки-дозатора, вертикальні коливання стопора та ін.).

Для підвищення терміну служби занурювальної склянки у світовій практиці використовують наступні заходи: захист сталі від

вторинного окислення, обробка сталі силікокальцієм, модифікація алюмінієвмісних включень кальцієм, зниження вмісту оксидів алюмінію в сталі, використання виробів з антиклогінговим покриттям, організація правильної роботи стопора.

СКЛАДИ ШЛАКОУТВОРЮВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ

В.М. Бакланський, доцент, канд. техн. наук,
Ю.В. Хавалиць, старший викладач, ДВНЗ «ПДТУ»

Всі суміші за складом основи розплавів поділяються на чотири основні групи, що складаються з потрійних систем: $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--FeO}$, $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--Na}_2\text{O}$, $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--CaO}$, $\text{CaO--SiO}_2\text{--MnO}$.

Як флюсуєчи добавки до складів ШУС включають фторид (CaF_2), оксид бору (B_2O_3), оксиди лужних металів (Na_2O , K_2O) та інші. Для регулювання швидкості плавлення вносять вуглецевмісні матеріали.

Потрійна система $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--FeO}$ практично не вивчена і мало використовується у металургійній практиці.

Розплави на основі потрійної системи $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--Na}_2\text{O}$ характеризується високою в'язкістю та низькою ємністю із-за включеннями глинозему (Al_2O_3).

Потрійна система $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--CaO}$ отримала найбільш широке застосування у складах ШУС, дозволивши вирішити завдання розливання практично всього асортименту сталей. Нижче наведено приклади ШУС на основі потрійної системи $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--CaO}$.

У ВАТ «ММК ім. Ілліча» (м. Маріуполь, Україна) застосовують у кристалізаторах МБЛЗ суміш ШУС-5 з температурою плавлення 1070-1130 °С, питомою витратою 0,85 кг/т.

Таблиця 1 - Хімічний склад ШУС-5 (% мас. частка)

Хімічний склад, % мас. частка						Вологість, %	Основність
SiO_2	CaO	Al_2O_3	MnO	F	C		
6	30-37	7-10	<1,0	6,0-10,0	7,0-10,0	<0,5	1,0-1,4

ШУС-5 дозволила виключити прориви через «підвисання», не комкується, рівномірно проплавляється, сприяє мінімальному науглерожуванню.

У ВАТ «КМК» (м. НовоКузнецьк) для розливання в блюми рейкової сталі розробили ШУС з насипною щільністю 0,47 т/м³ питомою витратою 0,3-0,5 кг/т та хімічним складом (% мас. частка).

В якості компонентів ШУС використовували пилоподібні відходи та аспіраційних установок виробництва алюмінію, феросплавів та вапна. Використання цієї ШУС дозволило підвищити асимілюючу здатність суміші по глинозему, знизити зношування стінок кристалізатора підвищити стійкість занурюваних склянок, виключити брак за дефектами поверхні.

Таблиця 2 - Хімічний склад ШУС-5 (% мас. частка)

Хімічний склад, % мас. частка							
C	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO/SiO ₂	F	Na+	K+
15,0-20,0	26,0-32,0	30,0-36,0	6,5-8,0	0,7-1,0	4,0-4,5	3,5-4,0	0,7-1,0

У ВАТ «МК «Азовсталь» (м. Маріуполь, Україна) при розливанні в сляби тріщина чутливих марок стали використовують суміш ШУС-1, на основі портландцементу, з температурою початку течії 1160°C, компоненти якої утворюють потрібну систему SiO₂-Al₂O₃ та мають наступне співвідношення (табл.3):

Таблиця 3 - ШУС-1 на основі портландцементу системи SiO₂-Al₂O₃

Найменування компонента	Склад компонента, % (мас. доля)
Шлакопортландцемент 400	31
Сиенит алюмощелочний (горна порода)	27
Силікат натрію розчинений	12
Графіт	10

Встановлено, що при використанні ШУС-1 на основі портландцементу індекс проривів металу під кристалізатором суттєво нижчий, ніж при використанні ШУС на основі шлаків феросплавів. Це різко проявляється за нестабільної швидкості розливання.

ШУС-1 має середній фракційний склад (частка фракції у %).

Таблиця 4 - Фракційний склад ШУС-1

Розмір фракції, мкм	<0,1	0,1-0,63	>0,63
Фракційний склад (частка фракції у %).	65	32	2,0

Кількість поверхневих дефектів при використанні сумішей тонко дисперсного складу знижується в 12-13 рази.

У ВАТ «ММК» (м. Магнітогорськ) розроблено ШУС із компонентним складом на основі потрібної системи SiO₂-Al₂O₃-CaO (табл.5):

Таблиця 5 - ШУС із компонентним складом на основі потрійної системи $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$

Найменування компонента	Зміст компонента, % (мас, частка)
Вуглецевий матеріал	8-12
Фторвмісний матеріал	20-24
Силікат розчинний натрію	19-23
Концентрат датолітовий	17-23
Матеріал на основі оксидів кремнію	3-9
Цемент	ост.

Суміш гранульований з переважними розмірами гранул 0,1-0,5 мм.

У ЛДТУ (м. Липецьк) на основі даних лабораторних досліджень були складені дослідні ШУС з температурою плавлення 1160 °С на основі потрійної системи $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ з компонентним складом (табл.6):

Таблиця 6 - ШУС із температурою плавлення 1160 °С на основі потрійної системи $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$

Найменування компонента	Вміст компонента, % (мас, частка)	
	ШУС-1	ШУС-2
Графіт аморфний	7	7
Флогопіт	23	20
Плавиковий шпат	15	15
Сієніт алломолужний	10	20
Концентрат датолітовий	15	8
Шлакопортландцемент	30	0
Доменний шлак	0	30

У НВП «Асоціація Еко техніка» (Україна) спільно з низкою металургійних заводів розроблено ШУС для слябові МБЛЗ на основі потрійної системи $\text{CaO-SiO}_2\text{-MnO}$ з температурою розтікання 1190-1210 °С та хімічним складом (% мас. частка).

Таблиця 7 - Хімічний склад ШУС (% мас. частка)

SiO_2	CaO	MnO	F	C	Al_2O_3	MgO	S	$\text{Fe}_{\text{общ}}$	Волога, %
25,0-34,0	30,0-37,0	10,0-15,0	5,0-8,0	6,0-10,0	<0,6	<5,0	<0,8	<1,5	0,5

Оксиди кальцію, кремнію та марганцю при оптимальному співвідношенні у сплавленому стані забезпечують швидкий процес формування гомогенного шлаку. Наявність у суміші оксидів марганцю збільшує частку кристалічної складової в шлаковому гарнісажі та дозволяє оптимізувати тепловий потік від оболонки злитка до стінок кристалізатора. Практично негігроскопічні, отже тривалий час зберігаються без втрати технологічних властивостей. Універсальні, тому що використовуються при безперервному розливанні різних марок сталі. Вартість значно нижча за закордонні аналоги.

У ВАТ «НВП «Техмет» розробили суміші, які дозволили знизити наскрізне попадання температур за циклом позапічної обробки та безперервного розливання на 10-12 °С, що дозволило стабілізувати зміни температури металу в проміжному ківші на рівні $\pm (4-6)$ °С та збільшення виходу придатного на 5,5-6,0 кг/т сталі. Економічний ефект від застосування теплоізоляції сталі в сталерозливних ківшах становив 0,2 євро/т сталі. Витрата суміші 0,65 кг/т.

У ВАТ «ММК» з метою запобігання науглерожуванню сталі в ході безперервного розливання (як показали дослідження, при використанні суміші з 6-10 % С вуглеродженням зростає до 0,01 % були запропоновані спеціальні мало вуглецеві шлакоутворювальні суміші № 10 та № 11. Перша суміш використовується до кристалізатора, друга - в проміжному ківші МБЛЗ: обидві суміші виготовляються у вигляді гранул.

При застосуванні в проміжному ківші сумішей вміст не більше 3 % С. а в кристалізаторі з вмістом не більше 2 % С науглерожування слябів на 70 % плавок не відбувається: на інших плавках воно знаходиться в межах до 0,001 %. Вміст вуглецю в безперервно литих злитках ІФ-сталі на окремих плавках отримали від 0,003 до 0,005 %, що в основному визначалося масовою часткою вуглецю в металі, що надходить на розлив.

Нова шлак утворююча суміш для безперервного розливання сталі з ультранизким вмістом вуглецю розроблена на ВАТ «МТМК». Замість вуглецю як горючу складову використовували порошкоподібний нітрид бору. Нова суміш, як утеплювач, подібна при аналогічних властивостях в'язкості та абсорбції включень, але виключає можливість поверхневого науглерожування безперервно литого металу. При цьому виявлено появу бору в металі, що контактує із сумішшю.

Фізичні властивості шлаків характеризуються:

- тепловими константами – температурою плавлення та розм'якнення, теплоємністю, прихованою теплотою плавлення та тепловмістом шлаку;

- в'язкістю в рідкому стані та її зміною з температурою;
- газопроникністю;
- властивостями, що характеризують відділення шлаку від слябу.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ СТІКАННЯ МЕТАЛУ З ПРОМІЖНОГО КОВШУ В КРИСТАЛІЗАТОР З МЕТОЮ ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ЗАГОТОВОК МБРЗ

Л.І.Тарасюк, доцент, канд. техн. наук, ДВНЗ «ПДТУ»

При неперервному розливанні стали важливим завданням є забезпечення попадання металу з промківша у кристалізатор у вигляді компактної ламінарної струмені без розбризкування. Для отримання заготовок 100x100-150x150мм раціонально застосовувати склянки-дозатори діаметром 16-20 мм і використовувати безстопорне розливання, при цьому величина витрат металу контролюється рівнем його в промківші і діаметром склянки. Таким чином, зміна геометричних параметрів склянки-дозатора, а саме його діаметра, значно впливає на стабільність процесу розливання. Насправді такі зміни відбуваються внаслідок заростання його порожнини неметалевими включеннями.

Для дослідження впливу заростання склянки-дозатора на параметри струменя металу було здійснено фізичне моделювання процесу витікання сталі. Моделюючою рідиною була вода, а за допомогою шматочків клейкої плівки на поверхні трубки з оргстекла моделювали утворення настилів. Експеримент проводився з настилями кулястої та гострої форм, що розташовані у верхній та нижній частинах склянки. Внутрішній діаметр склянки – 18 мм, розміри настилів –
 толщина 0,5-2,5 мм, діаметр – 5 мм.
 Е

ксперимент показав, що збільшення толщини настилю викликає прямопропорційне збільшення кута відхилення струменя. При зміщенні настилю до нижньої частини склянки кут відхилення струменя зростає до 2-х разів і досягає 6 градусів. Включення гострої форми викликають не тільки відхилення струменя від вертикалі, а й його закручування.

Таким чином, проведений експеримент показав механізм впливу зміни геометричних параметрів склянки-дозатора на гідродинамічні характеристики струменя металу, що безпосередньо впливає на процес кристалізації та якості неперервнолітої заготовки.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ВВОДУ КАЛЬЦІУ В РОЗПЛАВ НА СТУПІНЬ ЙОГО ЗАСВОЄННЯ

Л.І.Тарасюк, доцент, канд. техн. наук, ДВНЗ «ПДТУ»

На сьогоднішній день вважається, що головний конструкційний матеріал ХХІ століття - це сталь. Її широке застосування в найрізноманітніших галузях промисловості, диктує різноманіття вимог, що пред'являються споживачами до металу. Одним із шляхів вирішення такого завдання є позапічна обробка кальцієм. Введення кальцію в рідкий метал може істотно впливати на вміст кисню в розплаві, рафінування від небажаних домішок, стан і кількість неметалевих включень. Ефективність обробки кальцієм залежить від його ступеня засвоєння, а інтенсивність засвоєння визначається режимом введення кальцію в розплав. Кальцій в чистому вигляді, як правило, не застосовується, а використовують його у вигляді сплавів, що містять кальцій, найчастіше це силікокальцій (CaSi).

Існують різні способи введення кальцію в розплав: введення у вигляді шматків; вистрілювання з пневматичної гармати виготовлених спеціальним чином снарядів; введення порошкоподібних матеріалів; введення у вигляді порошкового дроту (ПД) або стрічки (ПС).

В результаті досліджень було з'ясовано, що найбільш ефективним методом є останній з перерахованих. Причому ефективність засвоєння кальцію при цьому методі на пряму залежить від швидкості введенні ПД або ПС. Ступінь засвоєння Ca при обробці сталі ПД або ПС з CaSi в проковші досягає 20 – 25 %, не зважаючи на малу глибину шару металу (зазвичай 0,8 м).

Наприклад, введення ПД з CaSi, здійснюване зі швидкістю 0,1-0,7 м/с на серіях промислових плавок сталей марок 17Г1СУ, 13Г1СУ, STM 490 і 09Г2ФБ, розливаємих в середньому зі швидкістю 0,7 м/хв., показало, що при швидкості введення порошкового дроту від 0,2 до 0,5 м/с спостерігається стійкий приріст вмісту кальцію від 0,0005 до 0,002 % в металі.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МОДИФІКУВАННЯ ЗАЛІЗНО-ВУГЛЕЦЕВОГО РОЗПЛАВУ РЗМ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЯКОСТІ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ

Л.І. Тарасюк, доцент, канд. техн. наук, ДВНЗ «ПДТУ»

Модифікування металів - введення в металеві розплави модифікаторів - речовин, невеликі кількості яких (зазвичай не більше

десятих часток %), викликають формування структурних складових в округлій або подрібненій формі і сприяють їх рівномірному розподілу в основній фазі, що покращує механічні властивості металу.

Поняття рідкоземельні метали, або лантаноїди, охоплює ряд із 14 елементів, що йдуть за лантаном (порядковий номер 57); їх порядкові номери в періодичній таблиці елементів з 58 по 71.

Відразу після введення РЗМ у розплавлену сталь, відбувається утворення оксидів, оксисульфідів та сульфідів. Продукти цих реакцій через їх високу температуру плавлення перебувають у твердому стані; вони в процесі подальшої гарячої пластичної деформації сталевих злитків слабо або зовсім не деформуються. Оптимальна концентрація РЗМ зменшує кількість неметалевих включень до низьковуглецевої сталі на 30–60 %; модифікація РЗМ призводить до подрібнення неметалевих включень, що покращує механічні властивості сталі.

Розрахунок поверхневого натягу та величини переохолодження на прикладі сталі 08Г2ДНФЛ показав що, ступінь переохолодження дорівнює 0,55 К, поверхнєве натяг розплаву знижується до 1577 мДж/м². Тому модифікація сталі РЗМ впливає в першу чергу на зміну коефіцієнта поверхневого натягу.

Витрати РЗМ можна змінювати (0,2–2 кг/т) залежно від способу введення. Проте досягнення максимального засвоєння модифікатора відбувається за рахунок ускладнення технології модифікування.

ПРО УМОВИ ЛІНЕАРИЗАЦІЇ КІНЕТИЧНИХ КРИВИХ ДРУГОЇ СТАДІЇ КАРБОТЕРМІЧНОГО САМОВІДНОВЛЕННЯ ДИСПЕРСНИХ ЗАЛІЗОГРАФІТОВИХ ВІДХОДІВ МЕТАЛУРГІЇ

Л.О. Дан к.т.н., доцент, В.О. Маслов д.т.н., проф.,

Л.О. Трофімова к.т.н., доцент ДВНЗ «ПДТУ

Дисперсні залізографітові відходи (ДЗГВ) металургійного виробництва перебувають у фокусі уваги вчених уже протягом понад 40 років. Будучи за своєю природою відходами виробництва, через свій хімічний склад (до складу ДЗГВ входять: графіт, оксиди заліза та металеве залізо) і будову (оксидні частинки щільно з'єднані з пластинками графіту, а іноді перебувають усередині них) вони стали цінним сировинним матеріалом. Комплексне використання всіх складових ДЗГВ дає змогу отримувати матеріал з унікальним поєднанням електричних і магнітних властивостей, зокрема радіоекрануючих і радіопоглинаючих.

Керувати рівнем цих властивостей можливо шляхом термічної обробки ДЗГВ. За температур понад 960 °С відбувається відновлення

оксидів заліза до металічного заліза вуглецем, що входить до складу матеріалу, - карботермічне самовідновлення (КТСВ). Проведені раніше дослідження показали, що з кінетичної точки зору визначальну роль за таких умов відіграє реакція $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$.

З огляду на топокінетичний, за своєю суттю, і двостадійний за своєю природою характер явищ, що розглядаються, було показано, що перша стадія КТСВ ДЗГВ, в процесі якої зароджується металева фаза на поверхні частинок вюститу, найточніше описується рівнянням Аврамі-Єрофеева. Межа переходу від першої стадії процесу до другої зазвичай оцінюється за моментом проходження максимуму кривої залежності швидкості перетворень від часу. Для КТСВ ДЗГВ, здійснюваного за температур 970 - 1050 °С, перехід від першої стадії до другої автори спостерігали за ступенів перетворення 0,3 - 0,4.

У цій роботі другу стадію КТСВ ДЗГВ, протікання якої пов'язане з просуванням фронту реакції вглиб частинок, проаналізували з точки зору рівнянь Грея-Веддінгтона ($1 - (1 - \alpha)^{1/3} = k \cdot t$), Яндера (

$\left(1 - (1 - \alpha)^{1/3}\right)^2 = k \cdot t$) та Кранка-Гістлінга-Броунштейна (

$1 - \frac{2}{3}\alpha - (1 - \alpha)^{2/3} = k \cdot t$). У всіх рівняннях: α - ступінь перетворення, t -

час. Рівняння складено таким чином, що якщо праву частину прийняти за функцію, а час реакції за аргумент, то вийде графік прямої лінії за умови адекватного опису цим рівнянням процесу.

Розрахунки й аналіз ступеня лінеаризації кінетичних кривих за різних температур засвідчили, що найточніше другу стадію КТСВ ДЗГВ можна описати за допомогою рівняння Кранка-Гістлінга-Броунштейна.

ФУНКЦІЇ ТА ВЛАСТИВОСТІ ШЛАКОУТВОРЮЮЧИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ КРИСТАЛІЗАТОРА

В.М. Бакланський, доцент, канд. техн. наук,
Ю.В. Хавалиць, старший викладач, ДВНЗ «ПДТУ»

Шлак утворюючі суміші (ШУС) для розливання на МБЛЗ набули широкого поширення завдяки виконанню ними низки найважливіших функцій:

1) мастильний ефект між кристалізатором і скоринкою затверділої сталі для запобігання прямого контакту між ними. На дзеркалі рідкої сталі утворюються три зони із суміші: порошкоподібна зона; зона спеченого порошку; рідкий шлак. Основна частина рідкого шлаку втікає в зазор між кристалізатором і заготовкою і тим самим діє як мастило;

2) встановлення та врівноваження теплопередачі в кристалізаторі. Відомо, що поздовжня тріщина на поверхні безперервно литих заготовок переважно пов'язана з підвищеною теплопередачою в кристалізаторі. Теплопровідність шлакового гарнісажу можна зменшити підвищенням основності шлаку (отримання кристалічної структури замість склоподібної) та зміною його в'язкості;

3) захисне шлакове покриття асимілює продукти розкислення, що спливають до дзеркала металу в кристалізаторі. Поглинання глинозему та кремнезему змінює хімічний склад захисного шлаку та його фізичних властивостей, і в тому числі – в'язкість. Фториди (NaF , CaF_2) сприяють зниженню в'язкості та асиміляції включень. З іншого боку, фториди збільшують знос занурюваної склянки;

4) захист стали від вторинного окиснення. Для запобігання вторинному окисненню сумарний вміст оксидів заліза має бути меншим за 4 %, а на практиці не більше 2 %;

5) теплоізоляція дзеркала металу.

Всі функції мають важливе значення, але у повсякденній практиці найбільш важливими є мастило та горизонтальна теплопередача.

Основними факторами, які слід враховувати при виборі робочих характеристик флюсу, є:

- умови розливання (швидкість розливу V_c , характеристики гойдання кристалізатора);
- марка сталі та розмір кристалізатора;
- регулювання рівня рідкого металу в кристалізаторі;
- умови підведення та гідродинаміка рідкого металу.

Для подачі у кристалізатор зазвичай використовують ШУС, що складається приблизно з 70 % ($\text{CaO}+\text{SiO}_2$), 0-6 % MgO , 2-6 % Al_2O_3 , 2-10 % $\text{Na}_2\text{O}_3+\text{K}_2\text{O}$, 0-10 % F, з різними добавками - TiO_2 , ZrO_2 , B_2O_3 , Li_2O та MnO ; основність (CaO/SiO_2) 0,7-1,3. Частинки вуглецю у вигляді дрібниць коксу, сажі та графіту додаються (2-20 %) для регулювання швидкості плавлення та для утворення відновлювальної атмосфери у верхній частині кристалізатора для захисту металу від окиснення. Частинки вуглецю не змочуються шлаком і тому крапельки шлаку захищені від набряку через присутність частинок вуглецю до тих пір, поки останній не буде витрачений у процесі окиснення. У цьому полягає механізм регулювання швидкості плавлення.

Рідка складова ШУС у кристалізаторі забезпечує мастило сталевого зливка. Важливо, щоб рідке мастило було в наявності протягом усього зливка, тому що якщо відбудеться повна кристалізація шлаку в нижній половині кристалізатора і рідке мастило буде відсутнє,

можуть виникнути проблеми (утворення розгалуженої тріщини). За рахунок гідродинамічного тертя швидкість руху в кристалізаторі зменшується в міру зниження в'язкості та збільшення товщини плівки рідкого флюсу. Витрата порошку забезпечує необхідну кількість мастила і залежить від розміру кристалізатора, тому що тертя підвищується в міру збільшення відстані від кута. Тому сили тертя набагато більше при розливі слябів, ніж блюмів та заготовок, і збільшуються з підвищенням в'язкості ШУС.

Недостатня витрата порошку приводить до виникнення різних дефектів і проблем, а саме: утворення поздовжньої тріщини, проривів рідкої сталі в результаті прилипання (підвисання) кірки злитків у кристалізаторі, появи глибоких слідів гойдання кристалізатора, утворення поперечної тріщини по кутах та западин.

Більшість дослідників вважають, що на витрату ШУС впливають в основному дві складові: частина ШУС, яка йде на мастило кристалізатора, та частина, яка захоплюється слідами гойдання кристалізатора.

Горизонтальна теплопередача є складним процесом, в якому задіяні два механізми, а саме: решіточна, або фононна провідність і провідність, що випромінює. Випромінювальна провідність має на увазі поглинання і повторну віддачу енергії, що випромінюється, і може стати домінуючим механізмом передачі в склоподібних матеріалах при високих температурах.

Шар порошку повинен забезпечувати достатню теплоізоляцію для запобігання застиганню поверхні сталі. Зменшення вертикального теплового потоку має також велике значення для зменшення глибини слідів гойдання кристалізатора та зниження «ситовидної пористості» шляхом зменшення довжини серпа меніска.

Теплоізоляція залежить від основних природних характеристик шару шлаку і в загальних рисах збільшується при використанні в послідовності порошоків гранул, отриманих за допомогою екструзії і кулястих гранул; у міру зменшення розміру гранул; зі збільшенням товщини шару шлаку; під час введення до складу ШУС екзотермічних порошоків.

Асиміляція включення ШУС має важливе значення, тому що механічні властивості сталі залежать як від кількості включень, так і від їх розміру. Це складний багатостадійний процес. Асиміляції включень сприяють великий крайовий кут змочування між включенням, металом і шлаком і змочуванням включень (більшість включень змочується шлаками).

Робота ШУС визначається організацією потоків рідкої сталі у кристалізаторі. Турбулентний потік впливає на ванну шлаку і призводить до:

- захоплення шлаку і газу, здатного викликати виникнення поверхневих дефектів у прокату;
- поглинання вуглецю, особливо у над мало вуглецевих марок сталі;
- ерозії склянки, що занурюється, особливо на поверхні розділу метал-шлак;
- надмірне охолодження поверхні сталі внаслідок зменшення теплоізоляції.

Найчастіше виникнення турбулентних потоків зв'язуються з заглибленням склянки, що занурюється, конструкцією отворів цієї склянки і витратою аргону. Передбачається, що ШУС у кристалізаторі повинні компенсувати вплив турбулентного потоку за рахунок використання сумішей з більш високою в'язкістю. Однак це веде до зниження витрати порошку та виникнення інших проблем, зокрема дефектів зливка: різноманітної тріщини, складчастості, газових та шлакових включень, проривів та ін.

Значний обсяг досліджень присвячений властивостям ШУС, що застосовуються для засипки у кристалізатор. В'язкість (або рідкоплинність) ШУС для подачі в кристалізатор є найважливішим із властивостей та забезпечує:

- визначає витрату порошку, отже, і змащення кірки злитка;
- захоплення шлаку зазвичай усувають збільшенням в'язкості;
- ступінь ерозії склянки, що занурюється, пропорційна рідині плинності (вимірюється на віскозиметрі).

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛО-МАСООБМІНУ ПІД ЧАС ПРОДУВКИ МЕТАЛУ У СТАЛЕРОЗЛИВНОМУ КОВШІ З МЕТОЮ ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ФУТЕРУВАННЯ АГРЕГАТУ «КІВШ-ПІЧ»

Ю.В. Хавалиць, ст. викладач, ДВНЗ «ПДТУ»

Футерування в процесі його експлуатації зазнає різноманітних механічних та технічних навантажень. Основні технологічні операції, що виконуються на установці «ківш-піч» (продування сталі інертним газом у ковші; нагрівання та регулювання температури металу в ковші; доведення металу за хімічним складом і т.п.) також істотно впливають на працездатність футеровки і можуть призводити до її передчасного руйнування.

Моделювання нестационарної теплопровідності у футеруванні ковшів при витримці сталі показало, що при зниженні щільності теплового потоку в часі температура вогнетривів також зменшується. Хоча у початковий період відбувається окреме локальне підвищення температур у внутрішніх шарах футерування. Встановлена нерівномірність розподілу температур у футеруванні ковшів буде викликати неоднорідний напружений стан футерування, що зумовлює її стійкість і міцність.

Переважним є варіант продування через два продувні вузли з однаковою витратою інертного газу з позиції зменшення частки «застійних» зон у розплаві і з позиції негативного впливу на футерування її знос відбувається симетрично, що більш виправдано за експлуатаційними витратами.

Для підвищення стійкості та міцності футерування сталерозливних ковшів рекомендовано використовувати для їх футерування вогнетриви з більш високими параметрами температуропровідності та механічної міцності, але меншими значеннями температурного розширення.

НЕМЕТАЛІЧНІ ВКЛЮЧЕННЯ У СТАЛІ ПІСЛЯ РОЗКИСЛЕННЯ ТА ЛЕГУВАННЯ

В.М. Бакланський, доцент, канд. техн. наук, ДВНЗ «ПДТУ»

Рідка сталь в результаті взаємодії з газовим середовищем в сталеплавильному агрегаті поглинає гази, у тому числі кисень, у кількості, яка залежить від температури, складу металу і шлаку та інших факторів. Зниження вмісту кисню, розчиненого в сталі, досягають у процесі її розкислення за рахунок введення елементів, що мають більш високу спорідненість до кисню, ніж залізо, і утворюють нерозчинні у сталі оксиди.

Як розкислювачі можуть бути застосовані: вуглець, марганець, кремній, алюміній. Ці продукти розкислення не видаляються в повному обсязі і забруднюють метал. З них лише вуглець утворює газоподібний оксид, не розчинний у сталі.

Виходячи з теорії гетерофазних флуктуацій, для оцінки ймовірності зародження нової фази I в обсязі рідкого металу використовують рівняння:

$$I = A \exp(-\Delta G/RT) \quad (1)$$

де ΔG - зміна енергії Гіббса при виділенні речовини з пересиченого розчину з утворенням зародка нової фази критичного розміру, що визначається за рівнянням

$$\Delta G = \frac{16\pi}{3} \cdot \frac{\sigma_{м.в}^3 M^2}{\rho^2 R^2 T^2 \ln(n) \cdot n_3^2}, \quad (2)$$

де $\sigma_{м.в}$ – питома міжфазна енергія, Дж/м²;

M – молекулярна маса продуктів, що виділяються;

ρ – густина продуктів розкислення, кг/м³;

R – універсальна газова постійна, Дж/(К×моль);

T – температура, К;

n/n_3 – ступінь пересичення металу розчиненими у ньому оксидами – продуктами розкислення, %.

Множник A аналізованої формули (1) дорівнює:

$$A = m' \left(\frac{\sigma_{м.в}}{KT} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{2V}{9\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot m \cdot \frac{KT}{h}, \quad (3)$$

де m' – число атомів на поверхні зародка критичного радіусу;

K – постійна Больцмана, Дж/К;

V – об'єм, що припадає на 1 атом вихідної фази (металевого розплаву), м³;

m – число атомів в одиниці обсягу вихідної фази;

h – постійна Планка, Дж×с.

З наведених рівнянь випливає, що зменшення міжфазної енергії на межі розділу фаз метал-включення полегшує спонтанне виділення неметалевих включень із гомогенного розплаву. Їх розмір залежить від складу включень. Якщо включення не містить FeO і MnO, величина міжфазного натягу становить приблизно 1,2÷10,0 Дж/м².

Виділення неметалевих включень буде відбуватися на поверхні включень, що вже містяться в сталі.

Для високозалістистих включень величина поверхневого натягу на межі метал - включення становить близько 0,17÷0,20 Дж/м².

При спільному розкисленні марганцем, кремнієм і алюмінієм кількість Al₂O₃ збільшується зі збільшенням кількості алюмінію, що вводиться в метал. Збільшення кількості марганцю супроводжується збільшенням швидкості впливання продуктів розкислення.

Алюміній значно впливає на тип включень, їх форму і розподіл. Розкислення сталей, високолегованих хромом та нікелем, малою кількістю алюмінію (0,05÷0,10 %) зменшує загальну кількість оксидних включень. При запровадженні 0,2 % Al різкого зниження вмісту неметалевих включень не спостерігалось. Подібна думка підтримується багатьма авторами.

Встановлено, що розмір та розподіл включень залежать від величини розкислювальної здатності елементів та міжфазного натягу продуктів розкислення з металом. Ці характеристики визначають

інтенсивність утворення зародків критичного розміру, які, своєю чергою, визначають розмір і розподіл включень.

Залежно від агрегатного стану продуктів розкислення їх укрупнення може відбуватися або рахунок коалесценції (рідкі включення), або шляхом коагуляції (тверді включення).

Особливий інтерес має можливість коагуляції твердих продуктів розкислення. На думку С.І. Попелю, лімітуючі фактори є частота зустрічей неметалевих включень, величина в'язкості, адгезія та міжфазний натяг.

Відомі два види коагуляції твердих частинок у розплаві - перикінетичні (сили діють у рідині на всі боки однаково) і ортокінетичні, які викликаються дією спрямованого силового поля (наприклад, гравітаційного).

Перемішування спокійної сталі інертним газом прискорює процеси коагуляції, оскільки збільшує ймовірність зустрічей.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОДУВАННЯ РІДКОЇ СТАЛІ З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ ПЕРЕМІШУВАННЯ ТА ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИДАЛЕННЯ НЕМЕТАЛІЧНИХ ВКЛЮЧЕНЬ

Л.І Тарасюк, доцент, канд. техн. наук,
Ю.В.Хавалиць ст. викладач, ДВНЗ «ПДТУ»

Продування сталі в ковші аргоном призводить до помітного збільшення щільності, поверхневого натягу, кінематичної в'язкості розплаву, а також магнітної сприйнятливості твердої та рідкої сталі. Найбільші зміни фізичних властивостей відбуваються в перші 3-7 хв продування, подальше продування слабо змінює властивості.

Вибираючи метод перемішування металу в ківшах, необхідно враховувати як загальні, так і питомі витрати на перемішування, а також технологічні особливості позапічної обробки.

Інтенсивне перемішування металу під час продування його інертним газом збільшує кількість зіткнень і прискорює процеси зпливу неметалевих включень.

Для кожного конкретного випадку існує оптимальна інтенсивність перемішування, коли забезпечується спливання включень. При цьому важливо організувати технологію так, щоб спливаюче включення у момент зіткнення зі шлаком устигло асимілюватися перш, ніж низхідні потоки металу захоплюватимуть його вниз.

Для досягнення досить повної дегазації розплаву необхідно витратити не менше ніж 2-3 м³ аргону на 1 т металу. Дані про витрати інертного газу, необхідні для вирівнювання хімічного складу і температури, за даними різних досліджень значно різняться: від 0,4—0,9 до 0,04 м³/т.

Продування газом супроводжується зниженням температури металу. Перепад температури за висотою ковша іноді досягає 90-100 °С.

Введення в метал добавок у нейтральній атмосфері та гарне засвоєння при перемішуванні металу інертним газом забезпечується CAS-процесом. Цей метод дозволяє досягти високого ступеня засвоєння елементів, що вводяться з добавками до металу, навіть таких як вуглець і алюміній. Загальний вміст кисню у ванні знижується швидко до рівня < 0,004 %, тоді як із звичайного перемішування аргонем вміст кисню часто перебуває в межах 0,005—0,010 %.

СЕКЦІЯ: ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ

РЕЗУЛЬТАТИ КУВАННЯ ПОКОВОК НОВОЇ ФОРМИ ІНСТРУМЕНТУ

С.Б. Каргін, доц., канд. техн. наук, ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”, м. Дніпро - м. Маріуполь;

І.А. Малий аспірант, ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”, м. Дніпро - м. Маріуполь

При куванні прокатних валків по традиційній технології, для забезпечення потрібного укову широко застосовують операцію осадки зливка. Нами запропонована форма бойків, при куванні якими нема потреби у трудомісткій операції осаджування зливка. Кувальному цеху на гідравлічному пресі при куванні прокатного валку вагою 25 т були застосовані трипроменеві бойки, кування якими дозволило отримати трипроменеий зливков. Операція осаджування не була застосована. Подальше кування цього трипроменевого зливка проводили по традиційній технології. При цьому технічні показники прокатки валка відповідали усім потребам стандарту (ДСТУ), а сам процес на 30 % був швидшим. Теоретичні дослідження проведені методом ліній ковзання показали, що кування цими бойками дозволяє добре прокатувати зливков по всьому перерізу. Ми гадаємо, що розроблена і впроваджена конструкція нової трипроменевої форми ковальських бойків може бути широко застосована при куванні різних поковок, в тому числі і прокатних валків.

ПРОГРЕСИВНИЙ ЗАСІБ ОБРОБКИ ГРАФІТА ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАСТИЛ

С.Б. Каргін, доц., канд. техн. наук, ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”, м. Дніпро - м. Маріуполь;

С.А. Сухомлин аспірант, ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”, м. Дніпро - м. Маріуполь

Більшість технологічних мастил для обробки металів тиском (ОМТ) містять в собі графіт. До таких мастил можна віднести: ОГВ-75, ГФП, Укріол-7, Дельта-31, Сумідера та ін. В цих мастилах фракція графіта має розмір від 2 — 5 мкм. Для виготовлення мастил з такими розмірами графіта на підприємстві широко застосовуються шарові млини. Процес відрізняється трудомісткістю та великою енергомісткістю. Нами розроблені і впроваджені на Маріупольському

графітовому заводі засіб виготовлення дрібного графіту за допомогою гідралічного диспіргатора. При цьому за допомогою кавітаційних струй великі частини графіту швидко подрібнюються на фракції розміром 2 — 5 мкм. Отримані проби були засвідчені на електричному мікроскопі. Було встановлено, що за 6 годин на кавітаційному диспергаторі можливо отримати 60 % дрібного графіту фракцією 2 — 5 мкм. У той же час на шарових млинах було б потрібно у 10 разів більше часу, а витрати праці — у 5 разів більше. Розробленим засобом були виготовлені технологічні мастила ОГВ-75, ГФП, Укрінол-7, які пройшли випробування у ковальсько-штампувальному цехах (“Азовмаш”, м. Токмак; ЮЖМАШ, м. Дніпро) і показали хороші результати. Вважаємо, що розроблений засіб є перспективним, екологічно чистим та може бути впровадженим на підприємствах, які виготовляють технологічні мастила.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНАЧЕНЬ ТОВЩИНИ СТІНКИ ГАРЯЧЕКАТАНИХ ТРУБ НА АГРЕГАТІ З ДВОКЛІТОВИМ СТАНОМ ПОВЗДОВЖНЬОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ

С.Б. Каргін, доц., канд. техн. наук, ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”, м. Дніпро - м. Маріуполь;

В.У. Григоренко, проф., докт. техн. наук, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро;

А.С. Сорокін, студент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

На агрегаті з двоклітвовим станом повздовжньої прокатки труб виконують послідовно наступні основні технологічні операції: - нагрів заготовок у кільцевій печі: - прошивку заготовок у гільзи у стані поперечно-гвинтової прокатки; - повздовжню прокатку на короткій нерухомій оправці гільзи у трубу в першому стані повздовжньої прокатки, а потім після кантовки труби у другому стані; - обкатку стінки труби на короткій оправці у тривалковому стані поперечно-гвинтової прокатки, - підігрів труб; - калібруванні труби по діаметру у безперервному калібровочному стані з двовалковими клітями.

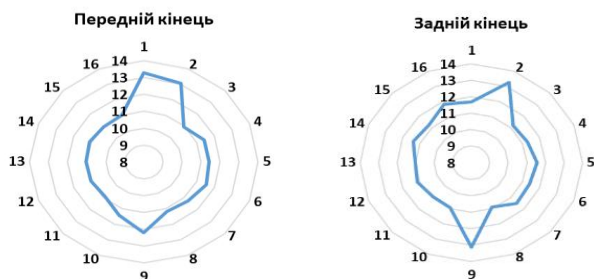
Провели комплексне дослідження зміни характеру коливань стінки в поперечному перерізу по станах агрегату - труба 146х9.5 мм.. Заміри товщини стінки по станах агрегату виконувались з торців труб по колу в 16 рівновіддалених діаметрально протилежних точках за допомогою стінкоміра індикаторного типу.. Допуски на товщину

стілки: $-10\% / +8\%$, чи від 8,55 мм до 10,26 мм, загальне поле допуску – 1,71 мм. (мал. 1 - мал. 4).



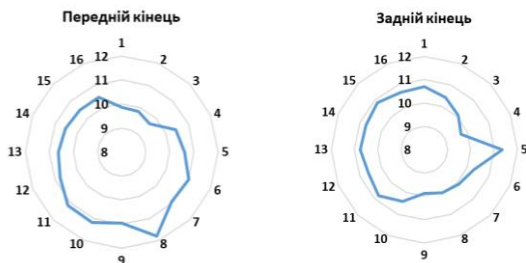
Малюнок 1 - Зміна товщини стінки гільзи 154x13,7 мм

Характер зміни стінки по периметру гільз вказує на велику ексцентричну різностінність, що отримує гільза в процесі прошивки заготовки



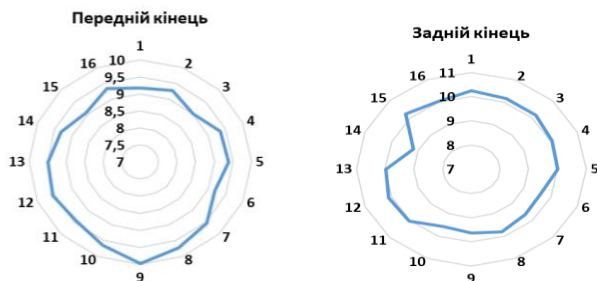
Малюнок 2 - Зміна товщини стінки труби після першого стану повздовжньої прокатки (144×10,92 мм)

Ексцентрична різностінність зменшується, але є потовщення стінки у випусках круглого калібру.



Малюнок 3 - Зміна товщини стінки труби після другого стану повздовжньої прокатки (144×10,55 мм)

Причиною такого характеру поперечної різностінності є неточна кантовка труби перед другим станом повздовжньої прокатки.



Малюнок 4 - Зміна товщини стінки труби після розкатного стану у (146×9,5 мм)

Розподіл стінки по периметру готової труби вказує на ефективність поперечно-гвинтової розкатки на зменшення різностінності.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КУВАННЯ МЕТОДАМИ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Є.А. Мкртчян, старший викладач, канд. техн. наук,
ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”,
м. Дніпро - м. Маріуполь;

Обробка матеріалів шляхом кування представляє собою ключову технологію, що відіграє важливу роль у виробництві різноманітних продуктів, від металевих деталей до складних компонентів мікроелектроніки. Під час цього процесу матеріал піддається інтенсивному механічному впливу, що може призводити до значних напружень в інструменті та оброблюваному матеріалі. Дослідження цих напружень та їх впливу на процес кування є важливим завданням, оскільки вони можуть вплинути на якість, міцність виробів та термін експлуатації оброблювального інструменту.

Мета нашої наукової роботи полягає у моделюванні та аналізі напружень, що виникають в інструменті під час кування матеріалів. Дослідження охоплює різні фактори, такі як температура, швидкість деформації, властивості матеріалів і геометричні параметри інструменту. Основна мета нашого дослідження полягає в установленні

оптимальних умов кування для мінімізації напружень в інструменті та забезпеченні високої якості обробки.

У рамках даного дослідження ми провели детальний аналіз моделювання напружень, що виникають в інструменті під час кування матеріалів. Основні висновки можуть бути узагальнені наступним чином:

1. Залежність від температури: підвищення температури під час кування призводить до збільшення максимальних напружень в інструменті. Ця залежність є ключовою при плануванні процесу кування та виборі оптимальних умов для конкретних матеріалів.

2. Швидкість деформації: велика швидкість деформації призводить до збільшення напружень в інструменті. Це може бути використано для оптимізації швидкості обробки та підвищення продуктивності.

3. Геометричні параметри інструменту: розмір та форма інструменту мають суттєвий вплив на розподіл напружень під час кування. Важливо враховувати ці параметри при проектуванні інструменту для конкретних завдань.

4. Вплив на якість виробів: напруження в інструменті можуть впливати на якість обробки та міцність виробів. Розуміння цього впливу дозволяє покращити якість кінцевих виробів і підвищити їхню тривалість служби.

5. Практичний вплив: результати нашого дослідження мають практичне застосування в промисловості та виробництві, де кування є невід'ємною частиною виробництва. Ці результати можуть бути використані для покращення технологічних процесів та оптимізації витрат матеріалів та ресурсів.

Загальні висновки нашого дослідження підкреслюють важливість ретельного аналізу напружень в інструменті під час кування для досягнення ефективних технологічних рішень та підвищення якості виробництва.

АСПЕКТИ З РОЗВИТКУ МЕТОДІВ КАЛІБРОВКИ ВАЛКІВ СУЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА СОРТОВИХ ПРОФІЛІВ

В.У. Григоренко, проф., докт. техн. наук, ДВНЗ «Приазовський
державний технічний університет», м. Дніпро;

О.М. Заболотній, аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний
університет», м. Дніпро

Основними складові удосконалення технології виробництва сортових профілів полягають у:

- зниженні навантажень на приводи клітей прокатних станів при виробництві більших розмірів профілів;
- зменшенні витрат прокатних валків;
- збільшенні продуктивності станів та розширенні їх сортаменту у бік збільшення габаритних розмірів профілю;
- створенні умов для забезпечення регламентованої точності геометрії профілів.

На сьогодні можна сказати, що найбільш досконалим є розгорнуте калібрування валків, яке показало на практиці добрі результати при прокатці швелерів. Сутність даного способу прокатки полягає в тому, що перехід від розгорнутого майже до горизонталі калібру до прямополичного здійснюється поступово із застосуванням низки перехідних кривополичних калібрів, які забезпечують плавну формозміну розкату.



Малюнок 1 - Схема розгорнутого калібрування прокатних валків з прокатки швелерів

Основними перевагами розгорнутого калібрування є:

- збільшення інтенсивності деформації та скорочення числа проходів, завдяки прямому обтисненню фланців у кривополичних калібрах;
 - зменшення зносу валків за рахунок зменшення величини врізу калібру у валки;
 - зниження нерівномірності деформації металу;
 - забезпечення повної відновлюваності калібру під час переточування валків;
 - вирівнювання температури по перерізу розкату.
- До недоліків даного способу калібрування можна віднести:
- збільшення ширини калібрів при розвороті полиць, отже, на бочці валків можливо розмістити меншу кількість калібрів;
 - важкі умови входу штаби з розгорнутими фланцями в прямополичний калібр, що викликає необхідність застосування складних вступних провідок для завдання та утримування смуги у прямополичному калібрі;
 - погіршується самоцентрування та стійкість штаби у розгорнутих калібрах, у порівнянні з прямополичними.

Наприклад, впровадження розгорнутої калібровки валків при виробництві швелера №22П привело до зниження на 15...33 % навантажень на приводи клітей на стані 550. Знижено витрати прокатних валків – скоротився парк сортопрокатних валків.

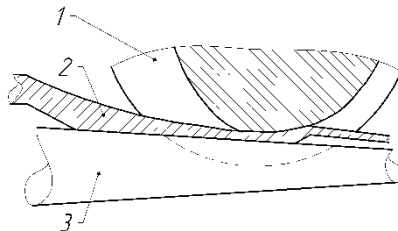
Перспективами подальших досліджень та удосконалень у виробництві сортових профілів з застосуванням розгорнутих калібровок можна назвати зниження нерівномірності деформування по ширині калібрів, розвиток методів розрахунку калібровок на основі математичного та комп'ютерного моделювання та удосконалення виробництва більш широкого типу профілів.

ДО ПИТАННЯ ЗНИЖЕННЯ ОСЬОВИХ СИЛ У ПРОЦЕСІ ХОЛОДНОЇ ПІЛЬГЕРНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ ВАЛКАМИ

В.У. Григоренко, проф., докт. техн. наук, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро;
В.В. Проців, проф. докт. техн. наук, м. Сідней;
Д.В. Іскрижицький, аспірант, м. Дніпро

Труби, що виробляють із застосуванням холодної деформації на спеціальних станах холодної прокатки, використовують в обладнанні відповідального призначення. Вимоги до якості таких труб стосовно точності геометричних параметрів, якості поверхні, механічних властивостей є високими.

Процес холодної прокатки заготівки у трубу валками виконують на нерухомій конічній чи з криволінійною твірною поверхнею оправці перекатуванням валками, що мають рівчак змінного поперечного профілю (рис. 1),



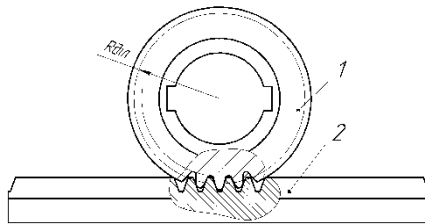
Малюнок 1 – Схема процесу холодної періодичної валкової прокатки на стані типу ХПТ: 1 – труба, 2 – оправка, 3 – калібр

Профіль рівчака відповідає зовнішньому діаметру заготовки на початку прямого ходу, і зовнішньому діаметру труби на початку зворотного ходу кліті.

В процесі холодної прокатки труб майже всі параметри осередку деформації, кінематики і силової взаємодії метал – валок змінюються повздовж прямого, а потім зворотного ходу кліті.

Якщо силу прокатки за спеціальними методиками розрахунків калібровок проектують близькою до рівномірної повздовж ходу кліті, то осьові сили при цьому у зворотному ході в декілька разів більше, ніж у прямому.

Валки розташовані у подушках станини, що здійснює повздовжнє і зворотне переміщення по прямій. Валки, у цей момент, обертаються за рахунок зубчастих коліс, що розташовані на осях валків і з'єднані з прямою зубчастою рейкою. Причому рейка, що приєднана до станини стану, є нерухомою, а шестерня з'єднана шпонкою з валком, що переміщується вздовж робочого конуса та обертається. Така конструкція є широко розповсюдженою у станах холодної прокатки труб валками (рис. 2).



Малюнок 2 – Ведуча шестерня стану холодної прокатки труб у купі з рейкою: 1 – валок; 2 – зубчаста рейка; $R_{д\ell}$ – ділільний радіус ведучого зубчастого колеса

Природним катаючим радіусом називають радіус калібру валка на поверхні калібру, де колова швидкість його точок дорівнює швидкості виходу металу з калібру під час вільної повздовжньої прокатки.

$$Rk = Ro - 0,76Rt,$$

де Ro – ідеальний радіус бочки валка, що дорівнює діаметру бочки валка, плюс зазор між валками при прокатці;

Rt – радіус труби.

На таких станах можливо прокатувати орієнтовно до 10...15 сортрозмірів труб за діаметром. Тоді для цього потрібно мати таку ж кількість зубчастих коліс з різним ділільним радіусом. Це великий парк

і потребується час на переналадку. Тому застосовують два – чотири розміри зубчастих коліс кожна для декількох сорторозмірів труб.

Таким чином, потрібно для кожного сорторозміру труби заготовки і готової труби мати відповідний радіус ділального кола і відповідно модернізувати систему шестерня – рейка. Це дозволить більш раціонально налаштовувати процес прокатки.

Також, це дозволить значно зменшити осьові сили, зменшити знос рівчаків валків, поліпшити поверхню труб та збільшити міжремонтний період роботи стану.

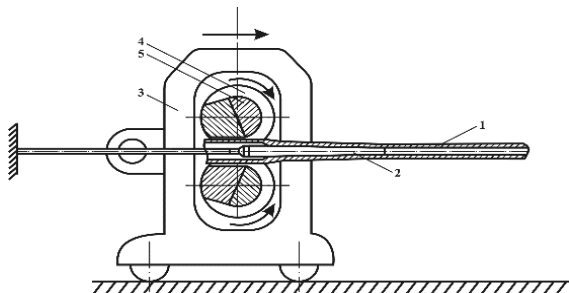
ПИТАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ КІНЕМАТИКИ ВЗАЄМОДІЇ МЕТАЛУ ТА ПОВЕРХНІ РІВЧАКА ВАЛКА В ОСЕРЕДКУ ДЕФОРМУВАННЯ У ХОЛОДНІЙ ПЛІВЕРНІЙ ПРОКАТЦІ ТРУБ ВАЛКАМИ

В.У. Григоренко, проф., докт. техн. наук, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро;

В.В. Проців, проф. докт. техн. наук, м. Сідней;

С.В. Куцевол, аспірант, м. Дніпро

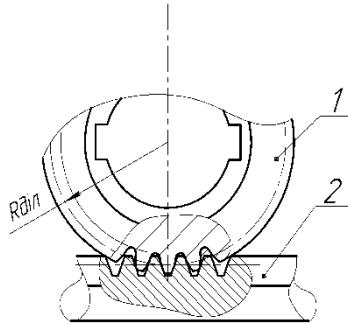
На станах холодної прокатки виробляють труби підвищеної якості для застосування в різноманітних агрегатах відповідального призначення. Такі труби відрізняються від гарячекатаних значно більш якісною поверхнею, точністю геометрії, стабільністю механічних властивостей. Пластичну холодну деформацію труб заготовок здійснюють валками (рис. 1).



Малюнок 1 – Кліть стану ХПТ, труба та оправка зі стрижнем:

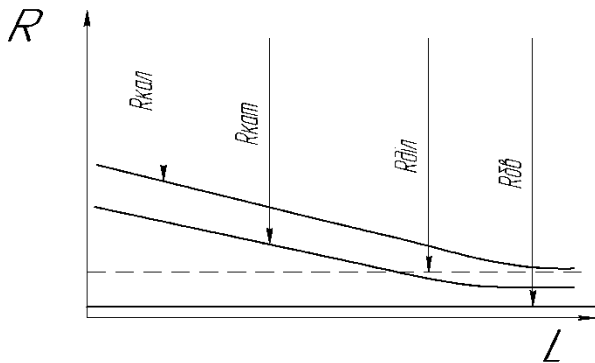
1 – труба; 2 – оправка; 3 – станина; 4 – валок; 5 – калібр

Валки обертаються поздовжньо ходу кліті за рахунок того, що на їх осях розташовані шестерні, що контактують з нерухомими зубчастими рейками (рис. 2).



Малюнок 2 – Ведуче зубчасте колесо та нерухома рейка станів холодної прокатки труб валками: 1 - валок; 2 – зубчаста рейка; 1 - ділільний радіус зубчастого колеса

Кінематичною особливістю прокатки труб у круглому калібрі є змінна колова швидкість точок поверхні рівчака. У вершині калібру вона менша ніж у випусках. Радіус валка на калібрі, де швидкість виходу металу з калібру дорівнює коловій швидкості точки валка називають природним катаючим радіусом. Природний катаючий радіус знаходиться між вершиною рівчака валка та циліндричною поверхнею валка.



Малюнок 3 – Невідповідність примусового катаючого радіусу (ділільного радіусу ведучої шестерні) природньому катаючому радіусу калібру рівчака валка уздовж ходу кліті у стані холодної прокатки труб валками: R_{kal} – радіус валка по вершині калібру; R_{kat} – катаючий радіус, R – ділільний радіус ведучого колеса; R_{bv} – радіус поверхні бочки валка

Природній катаючий радіус залежить від зміни діаметру труби, що деформується і є змінним по довжині ходу кліті, а примусовий катаючий радіус, що дорівнює ділильному радіусу ведучої шестерні є незмінним.

Різниця між примусовим та природнім катаючим радіусом впливає на напрямок та інтенсивність ковзання металу між валком та оправкою. Це в свою чергу призводить до осьових сил під час холодної прокатки.

Одним з варіантів зменшення різниці між примусовим та природнім катаючими радіусами є застосування шестерень зі змінним ділильним радіусом для кожного наступного зуба шестерні. Це забезпечить змінне передаточне відношення між ведучою шестернею та рейкою.

Закон зміни за довжиною ходу кліті ділильного діаметра шестерні під час її обертання повинен бути близьким до закону зміни діаметра труби, що деформують.

приведе до зменшення осьових сил та зносу рівчаків валків, поліпшення якості поверхні труб. Відповідно зменшаються руйнування деталей стану.

СЕКЦІЯ: СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ, ФІНІНСАХ ТА УПРАВЛІННІ

ПОЛІТИКА БЕЗПЕКИ, ЯК ОСНОВА ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВ

М.В. Верескун, проф., докт. екон. наук, ДВНЗ «ПДТУ»,
Камишиникова Е.В., проф, докт. екон. наук, ДВНЗ «ПДТУ»,
Ісаєв О.Ю., аспірант, ДВНЗ «ПДТУ»,
Криклива Є.В., магістрант, ДВНЗ «ПДТУ».

Забезпечення економічної безпеки підприємства в умовах відкритого ринку та жорсткої конкурентної боротьби є базовим чинником, що максимізує прибуток, оптимізує процес взаємодії між елементами системи управління та призводить до стійкості і сталого розвитку бізнесу.

Проте, економічна безпека підсистемою системи більш високого порядку – загальної безпеки підприємства.

Безпека є базовою цінністю, найважливішою функцією, реалізацію якої має забезпечити система будь якого рівня протягом всього періоду свого існування. В контексті даного дослідження ми розглядаємо загальну безпеку підприємства, як систему вищого порядку порівняно з економічною безпекою, забезпечення якої є необхідною, але не достатньою умовою успішного розвитку підприємства. Ми вважаємо, що економічна і загальна безпека підприємства співвідносяться, як частина і ціле. Можна сказати, що економічна безпека – це видима, надводна частина айсбергу, а загальна безпека – його підводна частина.

Загальна політика безпеки підприємства – це документ, що описує принципи і методи управління, які призводять до такого стану справ, який компанія вважає для себе безпечним. Це підґрунтя, фундамент, перелік правил і пріоритетів, виконання яких призводить до безпечного стану, який можна ідентифікувати за допомогою показників, що характеризують економічну безпеку. Можна сказати, що економічна безпека – це видима, надводна частина айсбергу, а загальна політика безпеки – його підводна частина.

Проведені дослідження дозволили визначити основні складові загальної політики безпеки та описати її основні елементи (мал. 1).

Визначено, що загальна політика безпеки складається з двох великих розділів – опису безпечного середовища та визначення головних ворогів безпеки.



Малюнок 1 - Загальна політика безпеки підприємства.

У свою чергу, опис безпечного середовища розділений на наступні підрозділи:

- передумови досягнення стану безпеки;
- підходи до процесу прийняття рішень;

- принципи реалізації рішень;
- відношення до результатів.
- Розглянемо зміст кожного підрозділу більш докладно.

Передумови досягнення стану безпеки. На думку авторів дослідження мінімальний перелік цих передумов має включати:

- формалізовані цінності та цілі;
- систему документування;
- компетентність та професіоналізм;
- наявність резервів.

Підходи до досягнення стану безпеки. Результати проведених досліджень свідчать, що основними підходами можна вважати:

- проактивність та інноваційність;
- ставка на софт-скілз;
- фокусування і концентрація.

Підходи до процесу прийняття рішень. Основними підходами, що формують стан безпеки є:

- довіра;
- спілкування;
- підтримка;
- партнерство.

Принципи відношення до результатів, які формують і дозволяють підтримувати стан загальної безпеки, є наступними:

- визнання та підкреслення внеску кожного члену команди;
- вдячність.

Проведені дослідження дозволили також визначити перелік *головних ворогів стану безпеки*, до яких віднесено:

- терпимість до недоліків;
- відсутність бачення бажаної безпечної картинки;
- реактивне мислення, стан жертви;
- нерозв'язані конфлікти, нез'ясовані стосунки;
- відсутність цілей, перекіс у цілях, негармонізованість в цілях;
- неетичність та замовчування помилок;
- завищенні очікування, «рожеві окуляри», ідеалізація, префекціонізм.

- відсутність розкладу, впорядкованості і дисципліни;
- безлад: на робочому місці, в документах, в комп'ютері, у справах.

ПРОБЛЕМИ ВИБОРУ ПРАВИЛЬНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВЕДЕННЯ БУХГАЛТЕРСЬКОГО ОБЛІКУ

В.Я. Махінко, доцент, к.е.н., доцент ДВНЗ “ПДТУ”

А. Шевченко, студентка групи ОА-22 ДВНЗ “ПДТУ”

Вибір правильного бухгалтерського програмного забезпечення будь-якого бізнесу є важливим рішенням. Незалежно від того, чи є бізнес невеликим стартапом чи солідним підприємством, правильне програмне забезпечення для бухгалтерського обліку може значно покращити та спростити фінансові процеси.

За допомогою інформаційних систем бухгалтерського обліку можна легко та ефективно відстежувати фінансові дані компанії. Багато підприємців починають використовувати бухгалтерську програму лише тоді, коли їм потрібно подати першу декларацію з ПДВ. Потім усі рахунки та квитанції необхідно отримати, ввести та перевірити. Звичайно, іноді трапляється, що бухгалтер бачить у своїй обліковій програмі, що було здійснено платіж, але відсутній рахунок-фактура. Тоді необхідно зв'язатися з постачальником та отримати рахунок-фактуру, щоб її можна було обробити у бухгалтерському програмному забезпеченні.

Такий спосіб роботи не тільки вимагає часу, оскільки несподівано забирає багато часу та викликає розчарування, а й робить ведення бухгалтерського обліку менш цікавим.

Вибравши правильну програму бухгалтерського обліку, що справді підходить, можна уникнути розчарувань, а ведення бухгалтерського обліку може навіть приносити задоволення. Про те, як краще це зробити, розглянемо пізніше, але спочатку подивимося, що є у світі бухгалтерського програмного забезпечення.

Бухгалтерський облік переважно однаковий для усіх бухгалтерських програм. Бухгалтер вводить рахунки, квитанції та виписки, і створюються різні огляди. Таким чином, додана вартість хорошої програми бухгалтерського обліку полягає, головним чином, у тому, як вводяться дані, скільки часу це займає, а також у ступені автоматизації.

Практично кожен підприємець надсилає рахунки-фактури. Будь то кілька на місяць або тисячі на місяць: у всіх випадках потрібно ввести дані лише один раз. Тому рекомендується вибирати бухгалтерську програму, в якій можна створювати рахунки-фактури. Якщо бухгалтерська програма має таку функцію, надіслані рахунки-фактури автоматично включатимуться до обліку. Чому це корисно? Наприклад,

якщо створюються рахунки-фактури в MS Word або Excel, необхідно вводити їх по одному в обліковий запис. Даремне марнування часу!

Рахунки-фактури, що отримує підприємець, завжди доводилося вводити вручну. Але чи в наші дні зробити це набагато простіше? Багато інформаційних програм бухгалтерського обліку тепер мають функцію, яка дозволяє бухгалтеру або постачальнику відправляти цифрові рахунки-фактури безпосередньо до бухгалтерського відділу компанії електронною поштою. Потім бухгалтерська програма розпізнає дані з рахунку-фактури та готує їх для підприємця як пропозицію щодо бронювання. Потім все, що потрібно зробити, це перевірити дані та підтвердити їх. Таким чином, можливо легко вводити 5 рахунків за хвилину.

Якщо бухгалтерія отримує рахунки-фактури звичайною поштою, то вона просто фотографується через програму для смартфона, і процес працює так само, як і з цифровими рахунками.

Ще один виток розвитку бухгалтерського програмного забезпечення. Вже щонайменше 20 років можна завантажити витяги з банку, а потім імпортувати їх до системи обліку. У сучасних умовах це може бути ще простіше та ефективніше. Наприклад, всі банки в ЄС тепер за законом зобов'язані пропонувати посилання, до якого можуть підключатися бухгалтерські програми.

Якщо вибрати пакет бухгалтерського обліку, який підтримує цю функцію, всі бухгалтерські проводки будуть внесені до бухгалтерського обліку компанії повністю автоматично. Більшість бухгалтерських програм також пропонують інтелектуальні функції для автоматичного записування кредитів та дебетів у системі бухгалтерського обліку. Потрібно лише подивитися на винятки самостійно.

Такі чудові функції доступні не тільки в дорогих бухгалтерських програмах або для всього потрібно придбати додаткові модулі, це не так. Будь-яка пристойна бухгалтерська програма пропонує такі функції у стандартній комплектації.

Бізнесмен, який хоче зберегти свої витрати на низькому рівні, крім того, розуміє, що якщо розумно інвестувати, то можна заощадити час і, отже, мати більше часу для ведення бізнесу та обслуговування клієнтів. Таким чином, розумні інвестиції заощадять гроші у довгостроковій перспективі. Бухгалтерська програма є такою інвестицією.

Сьогодні підприємцю більше не доведеться купувати та встановлювати бухгалтерську програму. Все це легко зробити онлайн. Сплативши щомісячну суму за використання, бухгалтерський облік

буде доступний будь-де і будь-коли, і підприємець автоматично отримає доступ до нових функцій.

Наразі легко скористатися перевагами рекламних акцій. Постачальники бухгалтерського програмного забезпечення будуть раді вітати нових клієнтів. Тому вони часто проводять цікаві акції, якими можна скористатися.

Тепер повернемося до того, на що необхідно звернути увагу під час виборів бухгалтерського програмного забезпечення.

На основі досвіду у світі фінансів та бухгалтерського обліку можна виділити п'ять основних аспектів, які слід враховувати при виборі програмного забезпечення для бухгалтерського обліку.

Вартість: дуже важливо розуміти вартість бухгалтерського програмного забезпечення та те, як воно вписується до бюджету. Необхідно брати до уваги не тільки початкові витрати на покупку, але також будь-які щомісячні або річні витрати на передплату, а також будь-які додаткові модулі або послуги. Переконайтеся, що структура ціноутворення є прозорою і не містить несподіваних сюрпризів.

Масштабованість: бізнес, швидше за все, зростатиме згодом, тому важливо вибрати програмне забезпечення для бухгалтерського обліку, яке може зростати разом із компанією. Програмне забезпечення має бути здатне обробляти зростаючу складність та обсяг фінансових даних без необхідності переходу на зовсім нове рішення.

Простота використання: програмне забезпечення для бухгалтерського обліку має бути ефективним та дієвим. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача і зрозумілі функції мають вирішальне значення. Перед впровадженням необхідно протестувати програмне забезпечення, щоб переконатися, що працівники зможуть комфортно використовувати його без тривалого навчання.

Функціональність: необхідно знати, які функції потрібні в бухгалтерському програмному забезпеченні для правильного ведення бухгалтерського обліку на підприємстві. Це може змінюватись від базових функцій, таких як відстеження доходів та витрат, до більш просунутих можливостей, таких як управління запасами, виставлення рахунків та розрахунок заробітної плати. Переконайтеся, що вибране програмне забезпечення пропонує всі необхідні функції, щоб задовольнити фінансові потреби бізнесу.

Інтеграція: бухгалтерське програмне забезпечення має легко інтегруватися з іншими інструментами та системами, які використовує бізнес, платформи електронної комерції та податкові служби. Це зводить до мінімуму ручне введення даних і знижує ймовірність помилок у фінансових процесах.

СЕКЦІЯ: ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА, ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

PYROLYSIS OF HOUSEHOLD WASTE AS A PROMISING DIRECTION IN ENERGY

Olha Khliestova, PhD Ing., Department of Primary Science Institute of
Modern Technologies, Pryazovskyi State Technical University, Dnipro,
Ukraine.

Katarzyna Buczkowska, manager, PhD Ing., Technical University of
Liberec, Czech Republic; Department of Materials Technology and
Production Systems, Stefanowskiego Faculty of Mechanical Engineering,
Lodz Universit

Selective collection of consumer waste by components (paper, textiles, plastics, glass containers, metals, etc.) is practiced in many countries, which prevents a number of valuable components that are recycled or reused from entering the landfill of solid household waste. In addition, selective collection of hazardous waste is carried out - spent accumulators and batteries, fluorescent lamps, which end up as solid household waste in landfills and incineration plants and pose a threat to the health of the population.

Sorting production leaves most of the waste stream unprocessed, approximately 70 %. To them should be added large-sized garbage that is not subject to secondary processing (furniture, mattresses, etc.), which make up to 3% of the mass of solid household waste. The most promising technologies in the energy industry today are related to obtaining cheap and renewable energy resources. Waste processing technology - instant pyrolysis technology - is distinguished by the use of a process scheme that provides the highest energy efficiency in comparison with any alternative technologies - the process is carried out at a very high flow rate, which allows gasification of almost any organic substances to obtain high-calorie pyrolysis gas (an analogue of natural in terms of consumer properties), hot steam (which is not lost in the process of processing organics, but is collected and used in the technological process). In addition, the technology allows to reduce the volume of raw materials by 10 times or more. The essence of the technology is the instantaneous (at a speed of about 104 degrees/sec) heating of matter to the limits of its existence in the condensed phase. At the same time, there is a gradual separation of substances from the initial mixture:

- "explosive boiling" and the transition of low molecular weight liquids (water) into a gaseous state;

- gasification as a result of high-speed pyrolysis of high-molecular compounds with the formation of a gas phase - pyrolysis gas.

A carbon-like residue - another product of thermal shock technology - contains (depending on the type of raw material) valuable, sometimes rare components. The carbon-like residue is black (brown) ash and can be used in the future. So, for processed non-organic matter, this is the use of carbon-like residues in construction (during the construction of road surfaces), for organic matter, as a valuable fertilizer containing minerals. In addition, this material can be used in the production of geopolymer materials.

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL RISKS OF HOUSEHOLD WASTE LANDFILLS

Bhanu Singh Panwar, Professor, Former Professor of Chaudhary Charan Singh Haryana Agricultural University (CCS HAU), Hisar, GREEN INDIA CLEAN ENVIRONMENT SOCIETY (GICES)

Olha Khlietova, PhD Ing., Department of Primary Science Institute of Modern Technologies, Pryazovskyi State Technical University, Dnipro, Ukraine.

Household waste landfills are potentially dangerous sources of environmental pollution. They contain various toxic substances, such as heavy metals, organic solvents, pesticides and others. These substances can enter the environment by filtering, seeping through the soil and groundwater, carried into the atmosphere by the wind, washed from the landfill by rainwater. Household waste landfills can be a source of fires and explosions. This can lead to the release of toxic substances into the environment. Also, they sometimes become a source of unpleasant odors, which negatively affects the quality of life of people living near the landfill.

The greatest danger to the environment is heavy metals, which can accumulate in soil, groundwater and plants. Heavy metals can be toxic to humans, animals and plants. They can cause various diseases, including cancer, nervous system diseases and reproductive problems.

When assessing the ecological risk from soil contamination by leaching products, including heavy metals, organic compounds, pathogenic microorganisms, etc., it is necessary to take into account the features of penetration and distribution of metals in soils, which are determined by the chemical properties of toxic substances: solubility, volatility, adsorption, and geological conditions (type soil, hydrogeological conditions). It is also necessary to take into account climatic conditions: amount of precipitation, temperature.

In general, the distribution of toxic substances in the soil can be described by the following formulas:

Concentration $C(r)$ of a toxic substance in the soil at a distance r from the source of pollution, mg/kg:

$$C(r) = C_0 * \exp(-r / \lambda)$$

where: C_0 - the initial concentration of the toxic substance in the soil, mg/kg;

λ - the diffusion coefficient of a toxic substance in the soil, m²/day.

The diffusion coefficient depends on the chemical properties of the toxic substance and geological conditions. For example, for heavy metals, λ is from 10⁻¹² to 10⁻⁹ m²/day, and for organic compounds, λ is from 10⁻⁹ to 10⁻⁶ m²/day.

Then the radius r of pollution, m, will be:

$$r = \lambda / \ln(C_0 / C);$$

It is worth noting that these formulas are only approximate and can be modified depending on specific conditions.

When determining the overall environmental risk R in points from the impact of household waste landfills on the soil, take into account the probability of negative impact P , points, the degree of negative impact S in points:

$$R = \Sigma P * S = \Sigma (1 - \exp(-r / \lambda)) * C / C_{add}.$$

where: r - is the distance from the landfill to the affected object, m.

It should be noted that these formulas are only examples and may be modified depending on specific conditions.

The results of the environmental risk assessment of household waste landfills are used to develop measures to reduce these risks. Such measures may include: use of safe waste disposal methods; application of landfill reclamation technologies: for example, the creation of green zones at the site of landfills, which contribute to the purification of soil and groundwater from pollutants; reducing the volume of landfilled waste: for example, the development of secondary waste processing.

Environmental risk assessment of household waste landfills is an important procedure that allows for the development of effective measures to protect the environment from the negative impact of these facilities.

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА З ВОДОРОСТЕЙ В ЕНЕРГЕТИЦІ

О.А. Хлестова, канд. техн.наук, доцент ДВНЗ «ПДТУ»,

М.Ю. Дубовкіна, канд. техн.наук, ДВНЗ «ПДТУ»,

Г.І. Хлестов, ст. групи ЕМ-22-М ДВНЗ «ПДТУ»

При оцінці економічної ефективності використання біопалива в енергетиці виходять з того, що по-перше використання біопалива, яке як правило є дешевшим, призводить до зменшення витрат на отримання енергії у порівнянні з традиційними джерелами енергії, такими як нафта, газ або вугілля, по-друге, це призводить до збільшення енергонезалежності. Виробництво біопалива в Україні дозволяє зменшити залежність країни від імпорту енергоносіїв. Це важливо для забезпечення енергетичної безпеки країни. По-третє, це призводить до створення нових робочих місць у сільському господарстві, переробній промисловості та енергетиці. Наприклад, за результатами дослідження, проведеного Інститутом біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (2018 р.), економічна ефективність виробництва біопалива з енергетичної верби в умовах Лісостепу України є високою. При середній урожайності верби 15 т/га собівартість виробництва біопалива становить 1200-1500 грн/т, тоді як ціна реалізації біопалива на ринку становить 1500-2000 грн/т. Це означає, що виробництво біопалива з енергетичної верби є рентабельним і може приносити прибуток.

Більш ґрунтовний аналіз має включати оцінку обсягів виробництва біопалива та технології їх вирощування та переробки, витрат на його виробництво та ціни реалізації.

Коли ж йдеться про аналіз енергетичної ефективності використання біопалива в енергетиці необхідно враховувати, що біопаливо є відновлюваним джерелом енергії, його запаси не вичерпуються й це важливо для забезпечення стійкого розвитку енергосистеми. Також виробництво біопалива пов'язане з меншими викидами парникових газів, ніж виробництво традиційних джерел енергії, таких як вугілля, нафта та газ. Це допомагає зменшити вплив на навколишнє середовище.

Енергетична ефективність використання біопалива може бути виміряна за допомогою коефіцієнта енергетичної ефективності (КЕЕ). КЕЕ показує, скільки енергії отримується з одиниці енергії, яка вкладена в виробництво біопалива.

КЕЕ біопалива залежить від виду біопалива, технології його виробництва та умов експлуатації. Наприклад, КЕЕ біопалива, виробленого з енергетичних культур, становить близько 1,3 до 3,0. Це означає, що для виробництва 1 одиниці енергії з біопалива витрачається 0,67-0,5 одиниці енергії. У порівнянні з традиційними джерелами енергії, КЕЕ біопалива є досить високим. Наприклад, КЕЕ вугілля становить близько 0,7, а КЕЕ нафти - близько 0,8.

Таким чином, використання біопалива в енергетиці є ефективним з точки зору використання відновлюваних джерел енергії та зменшення викидів парникових газів.

Вчені ДВНЗ «ПДТУ» вже не один рік поспіль вивчають енергетичну ефективність (ЕЕ) отримання біопалива з водоростей. Встановлено, що ЕЕ залежить від декількох факторів, в тому числі від виду водоростей, технології їх вирощування та переробки, а також від умов експлуатації.

У загальному випадку, енергетичну ефективність отримання біопалива з водоростей можна розрахувати за формулою:

$$ЕЕ = \frac{\text{Енергоємність біопалива}}{\text{Енергоємність вирощування водоростей}}$$

де: ЕЕ - енергетична ефективність;

Енергоємність біопалива - кількість енергії, необхідна для виробництва 1 одиниці біопалива;

Енергоємність вирощування водоростей - кількість енергії, необхідна для вирощування 1 одиниці водоростей (кг).

За даними "Аналізу енергоємності виробництва біопалива з водоростей" Міжнародного енергетичного агентства, 2022 р., енергоємність біопалива з водоростей зазвичай становить від 1,5 до 2,5 МДж/кг. Енергоємність вирощування водоростей може становити від 0,5 до 1,5 МДж/кг.

Таким чином, енергетична ефективність отримання біопалива з водоростей може становити від 1,0 до 1,7. Для порівняння, енергетична ефективність виробництва бензину з нафти становить близько 0,8.

Наприклад, при енергоємності біопалива з водоростей 2,0 МДж/кг і енергоємності вирощування водоростей 1,0 МДж/кг, енергетична ефективність становитиме $2,0 / 1,0 = 2,0$. Це означає, що для виробництва 1 одиниці біопалива з водоростей необхідно витратити 0,5 одиниці енергії.

Важливо зазначити, що енергетична ефективність отримання біопалива з водоростей може бути ще вище, якщо використовувати енергію, вироблену з водоростей, для вирощування самих водоростей.

Наприклад, якщо використовувати світло сонця для вирощування водоростей, енергетична ефективність виробництва біопалива може становити до 3,0. Важливо зазначити, що ця цифра може відрізнятися в залежності від виду водоростей, технології їх вирощування та умов експлуатації. Наприклад, енергоємність біопалива з мікроводоростей зазвичай вище, ніж енергоємність біопалива з макроводоростей. Енергоємність біопалива з мікроводоростей *Chlamydomonas reinhardtii*, вирощених в відкритих водоймах, становить близько 2,0 МДж/кг, а енергоємність біопалива з макроводоростей *Spirulina platensis*, вирощених в закритих системах, становить близько 1,5 МДж/кг. Крім того, енергоємність біопалива, виробленого з водоростей, вирощених в відкритих водоймах, може бути вищою, ніж енергоємність біопалива, виробленого з водоростей, вирощених в закритих системах.

Загалом, енергетична ефективність отримання біопалива з водоростей є досить високою. Це означає, що виробництво біопалива з водоростей може бути ефективним способом використання відновлюваних джерел енергії.

Наявність сировини для виробництва біопалива залежить від регіону. У деяких регіонах, наприклад, в країнах з теплим кліматом, сировина для виробництва біопалива є більш доступною, ніж у регіонах з холодним кліматом.

Загалом, використання біопалива в енергетиці має ряд переваг перед традиційними джерелами енергії. Однак, важливо враховувати і недоліки використання біопалива, такі як непряме використання землі та вплив на біорізноманіття.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА З ВОДОРОСТЕЙ В КОТЕЛЬНЯХ

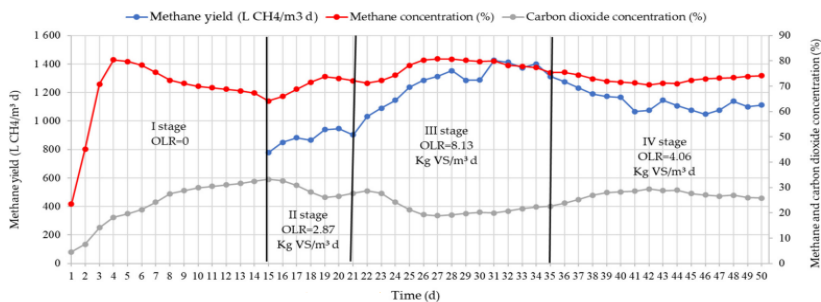
О.А.Хлестова, канд. техн.наук, доцент ДВНЗ «ПДТУ»

П.Г. Коротун, ст. групи ЕМ-22-М ДВНЗ «ПДТУ»

Аналіз літературних джерел показує, що ефективність використання біопалива з водоростей в котлах може бути достатньо високою, якщо буде враховано такі фактори: вибір виду водоростей (так для виробництва біопалива для котлів найкраще підходять мікроводорості, які мають високу швидкість росту та вміст жирів); при вирощуванні водоростей будуть використовуватись технології, які дозволяють отримувати біопаливо з низькими викидами парникових газів; переробка біопалива відбувається за технологією, що дозволяє отримувати продукт з високими енергетичними властивостями.

У сучасній енергетичній системі, заснованій на нафті, газі та вугіллі, залишається значна залежність від обмежених природних ресурсів. Водорості, як біологічний ресурс, пропонують широкий спектр переваг та можливостей для диверсифікації енергетичного сектора. Використання морських водоростей для отримання біопалива сприяє урізноманітненню відновлюваних джерел енергії. Морські водорості, що пропонуються для використання в якості сировини для отримання біогазу відносяться до групи макроводоростей, тобто вони мають клітини розміром понад 100 мікрометрів. Водорості мають високий вміст жирів, який може становити близько 50% й бути використаний для виробництва біопалива. Крім того, морські водорості мають швидкий ріст, що дозволяє отримувати велику кількість біопалива з невеликої площі. Деякі водорості можуть рости зі швидкістю до 10 г/м²/день. При ефективному використанні кліматичних та географічних факторів для вирощування морських водоростей, можна здобути зменшення вартості виробництва біопалива.

Дослідження процесу метаногенезу морських водоростей, проведені вченими ДВНЗ «ПДТУ» показали, що шляхом метаногенезу можна отримати з суміші, що містить у складі азовські морські водорості, біогаз в кількості 500 л/кг суміші на день. При цьому в процесі експерименту було отримано, що концентрація метану в біогазі коливалася залежно від складу суміші й становила від 64,2 до 80,4 %. Результати експерименту наведено на рисунку



Малюнок 1 - Рівні виходу метану (CH₄) й диоксид вуглецю (CO₂) протягом 50-ти дібного бродіння в метантенку з проміжковим додаванням сировинної суміші (результати експерименту в межах спільного українсько-литовського проекту).

Аналіз отриманих даних в проекті дозволив оцінити вихід метану в процесі метаногенезу для різних складів сумішей, відмінних кількісним та якісним складом проб штормових викидів.

Таблиця 1 – Залежність виходу метану від складу суміші

Таблиця 1.1 - Залежність виходу метану від складу суміші							
	TS, Kg		Склад суміші %	Питомий склад	Вміст вуглецю	Доля складу	Вихід CH ₄ , %
				С, пит. од	TS, г/кг	г/кг	
МА, Водорості	7		33,82	29,60	10,01	236,07	90,59
СМ- гній худоби	10		48,31	31,50	15,22		137,72
WS- осад стічних вод	3,7		17,87	4,80	0,86		7,76
	0		0,00	0,00	0,00		
	20,7		100,00	65,90	26,09		236,07

Було проведено попередні розрахунки виходу біогазу отриманого при метаногенезі сировинної суміші за умови зміни в складі проб штормових викидів, зібраних на узбережжі Азовського моря протягом року.

Табл 1.2. Розрахунковий склад робочого біогазу, отриманого при метаногенезі сумішей з різним складом штормових викидів.

Газ	CH ₄	CO ₂	N ₂	H ₂ O	Σ	
Біогаз 1	67,8	22,99833		10,5409	4,17	99,996
Біогаз 2	67,76	17,52		10,5409	4,17	99,996
Біогаз 3	68,69	16,59		10,5409	4,17	99,996
Біогаз 4	67	18,28		10,5409	4,17	99,996
Біогаз 5	66,82	18,46		10,5409	4,17	99,996
Біогаз 6	67,18	18,1		10,5409	4,17	99,996
Біогаз 7	68,07	17,21		10,5409	4,17	99,996
Біогаз 8	69,58	15,7		10,5409	4,17	99,996
Біогаз 9	68,6	16,68		10,5409	4,17	99,996

Проведені розрахунки показали, що найбільший вихід метану в складі біогазу очікується від метаногенезу водоростей штормових викидів, зібраних весною (травень) та наприкінці листопаду. Збирання, складування водоростей в цей період дозволить підвищити енергоефективність використання біогазу в котельнях.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ ВОДОРОСТЕЙ В ЯКОСТІ ФІЛЬТРУЮЧОГО ШАРУ

О.А. Хлестова, канд. техн. наук, доцент ДВНЗ «ПДТУ»

М. А. Буршика, ст. групи ТЕ-21, ДВНЗ «ПДТУ»,

За своїми фізичними й хімічними показниками водорості можуть бути використані в якості фільтруючого шару для очищення повітря та газів. До переваг морських водоростей в цьому сенсі можна віднести наявність великої площини для фільтрації, висока адсорбційна спроможність, високий рівень зростання. Розглянемо кожний з цих факторів.

Велика площа поверхні. Морські водорості мають дуже велику площу поверхні в порівнянні з їхньою масою. Наприклад, 1 квадратний

метр водоростей може мати площу поверхні до 50 квадратних метрів. Це означає, що водорості можуть ефективно захоплювати забруднення з повітря та газів. Під час сушіння площа поверхні морських водоростей збільшується. Це означає, що сухі водорості можуть ефективно захоплювати більше забруднення з повітря та газів.

Висока здатність до абсорбції. Морські водорості мають високу здатність до абсорбції забруднення. Вони можуть абсорбувати широкий спектр забруднень, включаючи діоксид вуглецю, сірководень, оксиди азоту, важкі метали та інші.

Швидкий ріст. Морські водорості ростуть дуже швидко. Вони можуть подвоїтися за кілька годин. Це означає, що їх можна швидко вирощувати та використовувати для очищення повітря та газів.

Крім того, морські водорості мають ряд інших переваг, які роблять їх привабливим варіантом для очищення повітря та газів. Вони:

- відновлювані, й представляють собою сировинний ресурс, який можна вирощувати без використання хімічних добрив та пестицидів;

- нетоксичні. Морські водорості нетоксичні, тому вони не представляють загрози для здоров'я людини або навколишнього середовища;

- в своєму морські водорості складі мають корисні для здоров'я людини речовини. Під час сушіння морських водоростей корисні речовини, такі як вітаміни, мінерали (вітамін А, вітамін С, вітамін Е, кальцій, магній, залізо та інші), амінокислоти (морські водорості містять всі 20 незамінних амінокислот, які необхідні для синтезу білків в організмі людини) та флавоноїди (морські водорості містять флавоноїди, які мають антиоксидантні властивості, що допомагають захищати клітини від пошкодження вільними радикалами) зберігаються в значній кількості. Крім того сухі водорості мають триваліший термін зберігання, ніж свіжі водорості. Це означає, що їх можна використовувати протягом більш тривалого періоду часу.

Де можна використати такі фільтри? Насамперед для для очищення забрудненого повітря в містах для очищення повітря в будинках, квартирах і громадських будівлях. Також можливе застосування фільтру для очищення повітря або настільної витяжки.



Водорості для цих фільтрів можуть бути вирощені на даху будинків, на промислових об'єктах або в спеціально створених установках.

Також водорості можуть бути використані для очищення забруднених газів, що виділяються промисловими підприємствами, для очищення димових газів електростанцій, металургійних заводів та інших промислових об'єктів, для очищення повітря в сільському господарстві, де концентрація забруднювачів може бути високою внаслідок використання пестицидів і добрив.

Але, щоб водорості можна було використовувати в якості фільтруючого шару для газів, їх необхідно удосконалити, щоб вони могли ефективно поглинати, захоплювати та нейтралізувати різні типи забруднень. Для цього можна використовувати різні методи, включаючи: додання адсорбентів, каталізаторів, що допоможе їм швидше нейтралізувати забруднені гази або змінити структуру водоростей для підвищення їх площі поверхні та полегшити доступ забруднень до них. Для цього, наприклад, водорості можна подрібнити або розчинити в рідині. Додання вугілля активованого до водоростей може значно підвищити їх ефективність у поглинанні діоксиду вуглецю.

Морські водорості мають потенціал стати ефективним і економічно вигідним способом очищення повітря та газів. Вони можуть допомогти покращити якість повітря та навколишнього середовища

РЕЗУЛЬТАТИ МІЖНАРОДНОГО НАУКОВО-ДОСЛІДНОГО ПРОЕКТУ «ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАНОГЕНЕЗУ ВОДНОЇ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ – ПАЛИВНОГО БІОГАЗУ»

В.А. Бурко, доцент ДВНЗ «ПДТУ»

Альвідас Загорскіс, доцент, Вільнюський Технічний
Університет, Литва



Research
Council of
Lithuania



VILNIUS
TECH

Vilniaus Gedimino
technikos universitetas

Research is carried out by scientists of Priazov State Technical University (Ukraine), Vilnius Gediminas Technical University (Lithuania) in cooperation with scientists of Vilnius Gediminas Technical University (Lithuania). The research was carried out in the course of an international scientific project, Research of methanogenesis of aquatic plant biomass in order to obtain an alternative source of energy-fuel biogas in a three-stage

bioreactor “. The project is financed by the Lithuanian Science Council, project financing agreement no. S-LU-22-2 and Ministry of Education and Science of Ukraine. The project is carried out in accordance with the 2022-2023 program of cooperation between the Ministry of Education and Science of the Republic of Lithuania and the Ministry of Education and Science of Ukraine in the field of science and technology.

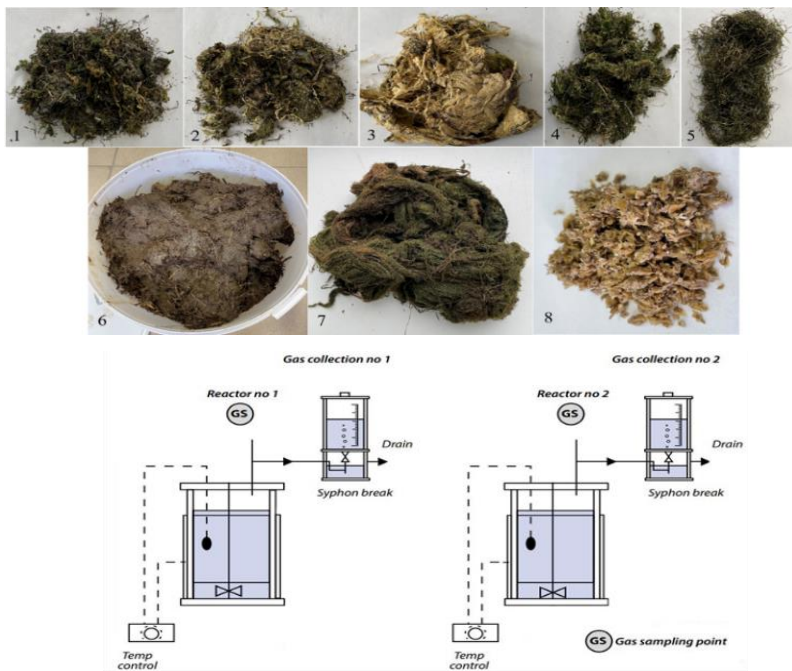
Міжнародний науково-дослідний проект мав початок у 2022 році та був присвячений актуальній та перспективній темі "Дослідження метаногенезу водної рослинної біомаси з метою отримання альтернативного джерела енергії- паливного біогазу". Термін проекту 2 роки. В грудні 2023 року проект має закінчитися. Сам проект мав 2 етапи виконання.

На першому етапі, що проходив у 2022 році, було розроблено способи висушування, консервації та необхідної підготовки біомаси для подальшої переробки та використання (Малюнок 1), проведено дослідження ефективності отримання біогазу з суміші в певному співвідношенні кожного окремого виду біомаси штормових викидів Азовського моря.



Малюнок 1 - Збір та сушіння водоростей

При реалізації цього етапу досліджень встановлювався вплив параметрів підготовчої технології (а саме умов збору, сушіння, зберігання, компактування, подрібнення) на газоутворювальні властивості біосировини. Дослідженнями встановлено, що кількість викинутої на берег рослинної біомаси залежить від сезону року, напрямку та сили прибережних вітрових течій, а також прямих штормових впливів, здатних змити назад у море берегові викиди (малюнок 2). Тому для забезпечення стабільного метаногенезу протягом року необхідно мати достатній запас органічної сировини тривалого терміну зберігання.



Малюнок 2 - Зразки для анаеробного зброджування, та схема стенду анаеробних біореакторів

В межах проекту були досліджені можливі, в берегових умовах, способи консервації рослинної біомаси:

- 1) створення компостних куп і ям;
- 2) прибирання та складування поза зоною штормових впливів;
- 3) висушування та складування в сухих місцях. Також на основі експериментальних і теоретичних методів дослідження спільно з литовськими партнерами оцінено енергетичний потенціал макроводоростей, що ростуть в Азовському морі та прісноводних водоймах для отримання біогазу.

Другий етап проекту що проходив у 2023 році був присвячений питанням дослідження можливості використання відходів метаногенезу водоростей Азовського моря як добрива для сільського господарства. Основним критерієм була визначена наявність вуглецю та азоту у відходах продуктів метаногенезу. Було встановлено вплив кліматичних та сезонних факторів Азовського регіону на якість та кількість штормових викидів, на продуктивність метаногенезу та зміну

співвідношення вуглецю та азоту у процесі метаногенезу та у ферментованому субстраті. Вивчено вплив співвідношення компонентів суміші до метаногенезу в різних пропорціях на продуктивність метаногенезу і зміна співвідношення вуглецю і азоту в процесі метаногенезу і в ферментованому субстраті. В якості компонентів суміші для метаногенезу використовували біомасу азовського моря, гній великої рогатої худоби та відходи стічних вод у різних пропорціях. В роботі надано рекомендації щодо підбору компонентів суміші для метаногенезу, з прогнозованими показниками співвідношення вуглецю і азоту у ферментованому субстраті, при цьому газо-утворюючі властивості біосировини не зменшилися.

За результатами проекту відбулося два відрядження до Вільнюського технічного університету м. Вільнюс, Литва доцента Бурка В.А, та доцента Хлестової О.А. (Малюнок 3).



Малюнок 3 - Відрядження доцентів Бурко В.А, Хлестової О.А. до Вільнюського Технічного Університету

В результаті відрядження відбувся огляд та знайомство з обладнанням лабораторії Інституту охорони навколишнього середовища, кафедри охорони навколишнього середовища та водної інженерії, кафедри хімії та біоінженерії Вільнюського технічного університету імені Гедімінаса (VilniusTech), знайомство з вченими Вільнюського технічного інституту охорони навколишнього середовища та огляд тріступневих біореакторів, біореакторів періодичної дії, технологією очищення біогазу (фотобіоабсорбер), аналізаторів біогазу, забруднення повітря, обладнання для тестування запахів, технології очищення води, знайомство з дослідженнями Вільнюського технічного факультету хімії та біоінженерії в галузі мікробіологічних досліджень, огляд обладнання, яке використовується

для мікробіологічних досліджень, вивчення роботи пілотної біогазової електростанції АТ «Балтійське середовище». Також за результатами проекту відбулося 4 наукових семінари та конференції, та підготовлено та видано 3 публікації в міжнародних журналах ISI Web of Science .

Основні наукові результати проекту:

1. Проведено польові дослідження щодо розробки способів висушування та необхідної підготовки біомаси для подальшої переробки та використання.

2. Визначено можливість та доцільність використання консервації рослинної біомаси штормових викидів для отримання біогазу шляхом метаногенезу.

3. Спільно з литовськими партнерами було проведено дослідження анаеробного зброджування чотирьох різних субстратів (суміші зі штормовими викидами Азовського моря) та було оцінено потенціал макроводоростей, що ростуть в Азовському морі та прісноводних об'єктах для видобутку біогазу. В ході досліджень були визначені вихід і якісний склад біогазу при анаеробному зброджуванні макроводоростей з гноєм великої рогатої худоби.

4. Розроблено концепцію використання водних рослин для виробництва енергії з утворенням ферментованого субстрату з подальшим використанням переробленої біомаси для удобрення ґрунту.

5. Дана оцінка впливу кліматичних факторів на ресурсний потенціал штормових викидів рослинної біомаси Азовського моря.

6. Доведено ефективність ферментованого субстрату як добрива за наявності в ньому вуглецю та азоту, як основних компонентів, що впливають на родючість ґрунту.

Результати роботи мають стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності- раціональне природокористування та освоєння нових технологій впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії. Галузь застосування щодо коду і назви виду економічної діяльності згідно з Національним класифікатором України "КВЕД", ДК 009:2010-72.20 «Дослідження та експериментальні розробки». Соціально-економічна спрямованість НТП: поліпшення стану навколишнього середовища та економія енергоресурсів.

ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОТИ ПРОДУВКИ ПАРОВИХ КОТЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ

В.М. Житаренко, старший викладач ДВНЗ «ПДТУ»

М.В. Медведєва, старший викладач ДВНЗ «ПДТУ»

Одним з основних напрямів економії палива є підвищення ефективності спалювання палива в котельних установках. В парових котлах має місце істотна доля теплових втрат (до 12-16 % і більше). До реальних організаційно-технічних заходів по економії палива можна віднести додаткове підігрівання повітря, що подається в топку.

У більшості конструктивних схем котлів малої потужності хвостові поверхні для підігрівання повітря димовими газами, що йдуть, відсутні. Відсутність повітряпідігрівача знижує загальне тепловиділення в топці і сприяє підвищенню температури газів, що йдуть, що призводить до зменшення ККД котла і перевитрати палива. З урахуванням особливості експлуатації ПК в широкому діапазоні навантажень схема підігрівання повітря димовими газами, що йдуть, у більшості котельних установок не знаходить застосування із-за інтенсивної низькотемпературної корозії, пов'язаної з досягненням температури точки роси при зниженні витрати палива. Реалізація комплексу енергозбережних заходів за рахунок використання теплоти продування для підігрівання повітря потребує вибору раціонального режиму продування. Доцільно в якості підігрівача повітря використати простий по конструкції компактний струминний апарат змішувача. Для надійного функціонування цієї схеми бажана підтримка режиму безперервного верхнього продування котла.

Пропонована схема має ряд переваг :

- утилізує теплоту продувальної води в межах котельної установки;
- підвищує температуру повітря, активізуючи процес згорання палива;
- покращує умови теплообміну в топці котла;
- знижує недопалення і шкідливі викиди, зокрема вміст в димових газах окислів азоту- NO_x .

Переведення котлів на режими з використанням теплоти продування дозволяє модернізувати схеми її утилізації, що дозволить підвищити економічність їх експлуатації.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ОТРИМАННЯ І СПАЛЮВАННЯ БІОГАЗУ З ДЕРЕВНИХ ВІДХОДІВ

М. В. Медведєва, старший викладач ДВНЗ «ПДТУ»

Д. М. Бочаров, студент гр. ЕМ-23-М ДВНЗ «ПДТУ»

Останнім часом у всьому світі все більшу увагу приділяють нетрадиційним і поновлюваним джерелам енергії. Перспективним, екологічно безпечним і економічно вигідним напрямом є анаеробна переробка біомаси у біогазових установках з отриманням біогазу. Завдяки високому вмісту метану (до 70 %) біогаз може бути використаний як технологічне і побутове паливо. Отримуваний біогаз має середній склад (%) : метан - 65, вуглекислий газ - 34, супутні гази - до 1 (у тому числі сірководень - до 0,1). Вміст метану може мінятися залежно від складу субстрату і технології в межах 55-75 %. Вміст води у біогазі при 40°C - до 50 г/м³; при охолодженні біогазу вона конденсується, і необхідно вжити заходи до видалення конденсату(осушення газу, прокладення труб з потрібним ухилом і ін.). Енергоємність отриманого газу - 23-28 МДж/м³.

Біогазові технології вирішують ряд соціально -економічних і природоохоронних завдань: економію і комплексність використання паливно-енергетичних і інших природних ресурсів(земельних і водних); створення нових інтенсивних технологій виробництва сільськогосподарської продукції незалежно від погодно-кліматичних умов; зниження негативної дії теплового забруднення на довкілля.

Особливість біогазових технологій для деревних відходів полягає в необхідності додаткових витрат для приготування вхідного субстрату, утворення значної долі зброджених відходів. Технології збродження деревних відходів не є чисто енергетичними, а представляють комплекс, що охоплює рішення як енергетичних, так і екологічних, агрохімічних, лісотехнічних і інших питань, і в цьому полягає їх висока рентабельність і конкурентоспроможність.

СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

В.М. Житаренко, старший викладач ДВНЗ «ПДТУ»

К.М. Шмат студентка гр. ПТЕ-22-М ДВНЗ «ПДТУ»

На сьогодні існують численні проблеми в області теплопостачання. Однією з таких проблем є ефективне використання палива. Ця проблема пов'язана з постійним зменшенням запасів викопного палива. Іншою проблемою є інтенсивне забруднення

довкілля. Одним з варіантів рішення цих проблем є використання альтернативних джерел енергії. Такі джерела дозволяють значно скоротити витрати палива і, відповідно, шкідливі викиди в атмосферу.

При розробці системи автономного теплопостачання в якості базового варіанту використовувалася система на основі теплового насоса. Ця система є найбільш поширеною схемою використання теплового насоса в якості основного теплогенератора. При цьому тепловий насос повинний повністю покривати споживання тепла будинком як мінімум до температури зовнішнього повітря -5°C .

Вироблена в сонячному колекторі тепла енергія використовується безпосередньо в системі ГВП або за допомогою перетворення в тепловому насосі - в системі опалення. При такій схемі використання сонячної енергії підвищується ефективність системи теплопостачання.

Сонячні колектори здатні забезпечувати високу температуру води, що підігрівається ними, впродовж більшої частини року. Це дозволяє запасати вироблене тепло у буферних ємностях для подальшого його використання. Застосування комбінованих систем теплопостачання дозволяє понизити витрату палива в порівнянні з одним джерелом - водогрійним котлом. У інтервалі температур зовнішнього повітря від -23°C до $+18^{\circ}\text{C}$ економія палива знаходиться в межах від 57 до 76 %.

Найбільш ефективним є температурний режим $95/70^{\circ}\text{C}$. При цьому режимі доля навантаження на водогрійний котел мінімальна і, відповідно, максимальна економія палива.

ЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ОЦІНКИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ У ТЕПЛОПОСТАЧАННІ

В.М. Житаренко, старший викладач ДВНЗ «ПДТУ»

Д. С. Капацина, студентка гр. ЕМ-23-М ДВНЗ «ПДТУ»

ТНУ з погляду впливу на навколишнє середовище у всіх джерелах характеризується малими або нульовими викидами. Вважається, що при роботі ТНУ безпосередньо у користувача відсутні будь-які викиди та забруднення навколишнього середовища. При роботі ТНУ не утворюються вихідні гази, відсутні стічні води, мізерне теплове забруднення. Все це треба довести у порівнянні з паливним котлом. У процесі експлуатації ТНУ споживає тільки електричну енергію. Але для вироблення електричної енергії потрібне первинне джерело енергії. Електричну енергію можна виробляти з атомної енергії, викопного палива, гідроенергії, сонячної енергії тощо. Оскільки всі країни мають

практично всі ці джерела енергії та розрізняються тільки відсотком, оцінку треба провести комплексно.

Утилізація ТНУ полягає у демонтажі, видаленні фреону та подальшій переробки металобрухту. Ця стадія найбільш складна для оцінки, тому оцінимо тільки три фази: фреон, метали, полімери. При утилізації ТНУ висока ймовірність попадання усього фреону у атмосферу.

ЗНИЖЕННЯ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ ПРИ РОБОТІ ОПАЛЮВАЛЬНИХ КОТЕЛЬНЬ

М. В. Медведєва, старший викладач ДВНЗ «ПДТУ»

К. В. Мицкан, студентка гр. ПТЕ-23-М ДВНЗ «ПДТУ»

Сучасні котельні, які використовуються для опалення житлових будинків, використовують здебільшого природний газ. Це паливо характеризується досить низькими викидами шкідливих речовин. Враховуючи високу щільність та наявність фонових джерел у містах, треба приділяти увагу викидам від цих джерел.

Існує чотири основних способи зменшення шкідливих викидів:

- очищення палива та окислювача від складових, що можуть утворювати шкідливі речовини;
- стримування утворення шкідливих речовин;
- випалювання шкідливих речовин;
- очищення димових газів від шкідливих речовин, що утворилися під час спалювання.

Всі котли та інші паливоспалювальні установки, що сертифікуються в Україні, проходять перевірку щодо відповідності екологічних показників, в тому числі з концентрації викидів NO_x та CO.

Вибір тих чи інших заходів та визначення пріоритетів щодо зниження шкідливих викидів, розробка або вдосконалення маловідходних та безвідходних технологічних процесів потребує врахування всебічних оцінок. Як можливі варіанти критеріїв можуть бути розглянуті наступні підходи:

а) обмеження забруднень величинами гранично допустимих концентрацій (ГДК) (санітарно-гігієнічні);

б) обмеження забруднень величинами гранично допустимих навантажень (ГДН) на екосистему, на весь район чи регіон, чи величинами критичних екологічних навантажень;

в) обмеження викидів промислових та інших підприємств, що ґрунтується на величинах ГДК;

г) те саме обмеження, засноване на величинах ГДН;

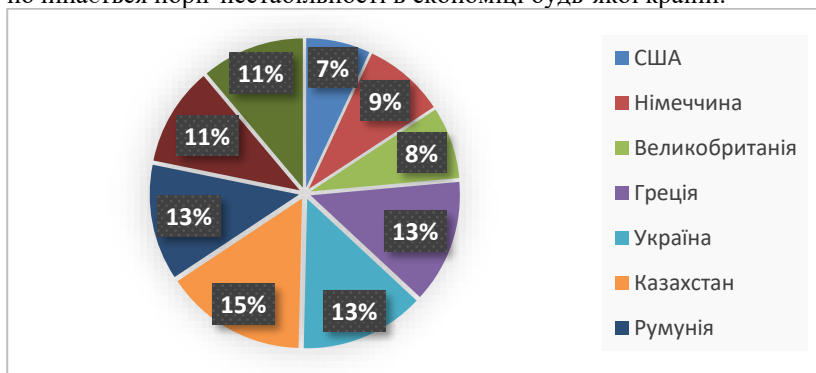
- д) повна заборона викидів у незабруднених районах;
- е) обмеження, зумовлені найкращою досягнутою (або досяжною) технікою чи технологією виробництва;
- ж) обмеження відповідно до оптимального рішення при аналізі витрат та збитків від забруднень з урахуванням виробничого ефекту;
- з) обмеження відповідно до попереднього пункту за існуючих обмежених економічних можливостей.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВІТКУ СУЧАСНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Н.Ю. Єлістратова, старший викладач ДВНЗ «ПДТУ»,
 Д. С. Капацина, студентка гр. ЕМ-23-М ДВНЗ «ПДТУ»,
 Д.М. Бочаров, студент гр. ЕМ-23-М ДВНЗ «ПДТУ»

Висока сукупна вартість сучасних методів виробництва та споживання енергії, обумовлена їхньою неефективністю, екологічними наслідками, залежністю від вичерпних ресурсів та недостатнім переходом до інноваційних технологій, визначає енергетику як ключовий фактор тупикового розвитку, ставлячи під загрозу економічний та екологічний розвиток суспільства.

Наведені дані про граничні витрати споживання енергії у (мал.1) в загальному світовому валовому продукті, в розмірі 10%, вище якого починається поріг нестабільності в економіці будь-якої країни.



Малюнок 1 – Процент витрат на первинні енергоносії у валовому продукті деяких країн, в порівнянні зі споживанням нафти у 2020 року

Одним із факторів, що сприяють зміні існуючого становища, є розвиток технологій у галузі енергетики, що визначають способи виробництва, розподілу та споживання енергії. Найбільш важливою

тенденцією у даній області є зниження під впливом кривої освоєння показника LCOE (нормованої вартості електроенергії) для технологій використання поновлюваних джерел енергії та зберігання електроенергії. Зниження витрат на обладнання та підвищення ефективності стимулюють масштаб їх впровадження, збільшуючи їх конкурентоспроможність на ринках (частка відновлюваних джерел електроенергії у структурі світового споживання зросла з 26,3 % у 2019 р. до 28,2 % у 2020 р.).

Актуальними є також наступні аспекти: впровадження сучасних енергозберігаючих технологій та систем з метою підвищення загальної ефективності зберігання енергії, таких як акумуляторні технології, теплові акумулятори і системи гідрогенерації та накопичення енергії, включаючи стиснуте повітря, гравітаційні системи. В енергетичних мережах це впровадження систем інтелектуальних та цифрових технологій для оптимізації управління та розподілу енергії.

У зв'язку з посиленням нормативів щодо викидів зростання споживання нафти може стримуватися за рахунок розвитку альтернативних видів транспортного палива, таких як газ та біопаливо, на тлі прийняття граничних нормативів з викидів, диверсифікації транспорту, більш активного використання електромобілів та будівництва відповідної інфраструктури. До перспективних напрямків відносять розвиток технологій виробництва, зберігання та використання водню як чистого палива у тому числі металогідридних конгломератів для використання в системах водневого зберігання у водневій енергетиці. Також продовжується проведення досліджень і розробок нових технологій в галузі ядерної енергетики, що включає в себе вдосконалені реактори, безпечні ядерні топливні цикли та низькоенергетичний ядерний синтез (*E-cat effect* або генератори Росії). Як очікується, у найближчі два десятиліття будуть запуснені у серійне виробництво малі модульні реактори потужністю до 100 МВт та реактори нового покоління, здатні використовувати відпрацьоване паливо, накопичене у процесі експлуатації реакторів попередніх поколінь, що виробляють недорогої електроенергію без викидів вуглекислого газу.

Однак, міжнародний обсяг державного фінансування з метою розвитку чистої енергетики в країнах, що розвиваються, в 2021 р. склав 10,8 млрд дол. США, що на 35 % менше середнього показника за період 2010–2019 рр. і становить лише близько 40 % від досягнутого 2017 р. історичного максимуму (26,4 млрд дол. США). У 2021 р. 80 % фінансування припадало на частку лише 19 країн.

Глобальна енергетична екосистема зможе перейти на новий рівень ефективності та стійкості тільки тоді, коли темп інновацій відповідатиме зростаючій спроможності країн інвестувати в реальні проекти в рамках ясної кліматичної політики та за допомогою розвинених фінансових інститутів, що забезпечують прозоре та сильне управління.

Ці напрямки в сукупності представляють собою комплексний підхід до створення стійкої, чистої та ефективної енергетичної системи у майбутньому.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ПАЛИВНИХ РЕСУРСІВ З ПОЗИЦІЇ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

М.Ю. Дубовкіна, канд техн.наук, доцент, ДВНЗ»ПДТУ»

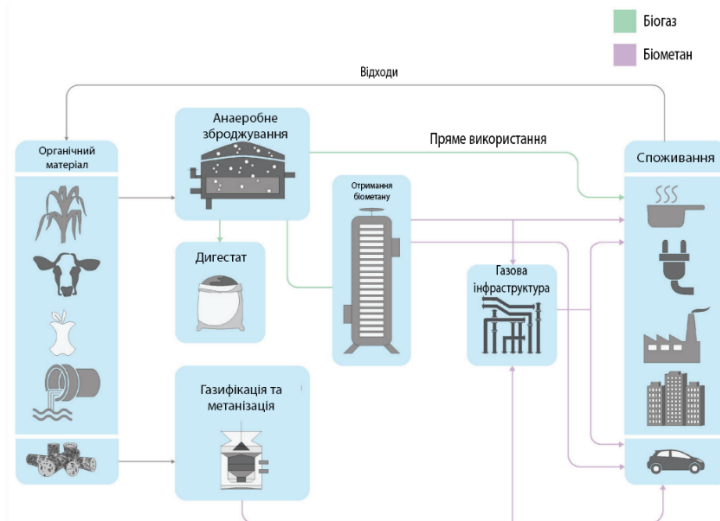
Г.І. Хлестов, ст. гр. ЕМ-22-М, ДВНЗ»ПДТУ»

Не дивлячись на кризи чи війни світова економіка неухильно зростає, а разом із тим збільшується потреба в енергетичних носіях. Зростаючі економіки шукають дешевші та відновлювані джерела енергетичних ресурсів, що окрім іншого, зменшать їх залежність від країн постачальників енергоносіїв.

Прогнозується, що до 2028 року обсяг світового ринку газифікації досягне 4959 мільйонів доларів США, порівняно з 2493 мільйонами доларів США у 2021 році, при середньорічному темпі зростання на рівні 10,2 % протягом 2022-2028 років.

Процес виробництва біогазу та біометану втілює ідею незалежної циркулярної економіки, приносячи вигоду від скорочення викидів, поліпшення управління відходами викидів, покращення управління відходами та більшої ефективності використання ресурсів. За результатами 2021 року сільське господарство дало найвищий відсоток до ВВП серед усіх – більше 10 %. Такі показники підкреслюють об'єм сировини в Україні для отримання біогазу шляхом газифікації.

Екологічна та економічна ефективність процесу газифікації значно збільшується з умови культивування водоростей у гідромеліоративних спорудах для подальшого використання як сировини. Вирощування таких морських і прісноводних організмів, (мідії та моллюски) як харчові продукти, облицювальні матеріали, кормові добавки, що сприяє зменшенню забруднення водного середовища, зниженню при необхідності, її біологічної продуктивності, до рівнів, що виключають екологічні кризи.



Малюнок 1 - Ілюстрація циркулярності економіки за умови використання біогазу та біометану

Таким чином газифікацію сухих водоростей можна розглядати як один із способів отримання енергетичних носіїв, що спрямований збільшити енергетичну незалежність країни, зменшити забруднення водного середовища та підвищити циркулярність економіки.

ПЕРСПЕКТИВИ ВОДОРОСТЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ЯК ДЖЕРЕЛА ОТРИМАННЯ БІОПАЛИВА

М.Ю. Дубовкіна, канд техн.наук, доцент, ДВНЗ»ПДТУ»,
В. В. Євстигнєєв ст.гр. ПТЕ – 21 ДВНЗ «ПДТУ»

Водорості все більше привертають увагу вчених як потенційне екологічно безпечне джерело енергії. Енергетична незалежність та екологічна стійкість є ключовими пріоритетами України, а використання водоростей може надати низку переваг.

Однією з основних переваг водоростей як джерела енергії є їхня висока продуктивність і відсутність конфлікту з використанням земель сільгосппризначення. Водорості можуть бути вирощені в природних та штучних водоймах. Це відкриває нові горизонти для отримання сировини для виробництва біопалива і може суттєво скоротити залежність від традиційних енергетичних ресурсів.

Інтерес до водоростей як джерела біопалива та їхнього потенціалу стає актуальним у контексті коливань цін на нафту. Однак, для ефективного використання водоростей в енергетичному комплексі, необхідно вирішити низку технологічних, економічних та екологічних питань. Досвід, проведений у рамках програми ASP у США, вказує на необхідність підвищення вмісту ліпідів, що впливає на енергоефективність культури. Також, вирощування водоростей у відкритих системах, може не виправдати очікування через присутність інших організмів. Інвестиційні витрати, операційні витрати, кліматичні умови та інші фактори істотно впливають на вартість виробництва біопалива на це треба враховувати.

Продовження досліджень, партнерства між науковими та промислово-енергетичними секторами, розробка ефективних регулюючих механізмів, стануть ключовими кроками на шляху до сталого використання водоростей в енергетиці.

Водорості є багатообіцяючим джерелом енергії для теплоенергетики України. Їх використання може сприяти досягненню енергетичної незалежності, покращенню екологічної стійкості та оптимізації використання земельних ресурсів. Незважаючи на виклики у реалізації, дослідження та розробки у цій галузі надають можливість створення інноваційних та ефективних рішень для майбутнього енергетичного забезпечення України.

Комплексне використання водоростей, включаючи створення нових сортів з покращеними характеристиками які впливають на їх енергетичну цінність, може стати одним з ключових елементів енергетичної стратегії, і стимулом для інноваційного зростання теплоенергетики.

ПЕРСПЕКТИВИ ОТРИМАННЯ БІОПАЛИВА ТРЕТЬОГО ПОКОЛІННЯ

М.Ю. Дубовкіна доцент, канд. техн. наук, ДВНЗ «ПДТУ»

В.Л. Монін доцент, канд. біол. наук., ДВНЗ «ПДТУ»

У зв'язку зі зростаючим енергоспоживанням, яке веде до виснаження джерел викопного палива, а також збільшення викидів, все більше спостерігаються тенденції зростання в напрямку збільшення дослідження у пошуках альтернативних та відновлюваних джерел енергії.

Для виробництва біоенергії використовується різна сировина потенційно безпечного походження, щоб знизити залежність від традиційних видів палива. Водорості в даний час широко використовуються як якості відновлюемого джерела отримання енергії

третього покоління для виробництва біогазу і є сприятливою і стійкою біомасою для біоенергетичної промисловості.

Останніми часом все більше вивчається вплив морських макроводорістів на утворення біогазу шляхом змішування їх із сільськогосподарськими відходами тваринного походження - гною великої рогатої худоби..

Біопалива першого та другого покоління недостатньо для задоволення глобальних потреб. Висока залежність від цієї сировини може вплинути на глобальний вуглецевий цикл. Біопаливом, яке, як очікується, найбільш широко використовуватиметься у всьому світі, є біоетанол з урахуванням нинішніх доступних виробничих технологій та інфраструктурних систем. Біоетанол третього покоління (TGB), заснований на біомасі макроводорістів, потенційно може стати більш життєздатною сировиною порівняно з біоетанолом першого та другого покоління. Ліпіди та вуглеводи водоростей можна переробляти в біоетанол та біодизель відповідно за допомогою відповідних протоколів

Найбільша концентрація водню, необхідна для отримання енергії, була досягнута при анаеробному перетравленні водоростей з вуглеводів і жирів. Високі виходи біогазу можна отримати, змішуючи водорості з гною великої рогатої худоби та іншими субстратами. Вибравши оптимальне співвідношення суміші, можна досягти вищої концентрації метану і одночасно вищого виходу метану. Інші вчені забезпечують необхідне співвідношення рН і С:N субстрату, додаючи буферні розчини, такі як CaCO_3 , які підтримують співвідношення С:N 25:1 і підвищують вихід метану до 24%. стічних вод, що містять метаногенні бактерії.

Подальше дослідження використання водоростей для отримання біопалива, відкриває перспективи отримання додаткових джерел заміни викопного палива оскільки воно має високий енергетичний потенціал, який досягає 3,05 кВтг/кг доданої біомаси.

ПРОМИСЛОВІ ВІДХОДИ: ЯК ПРОБЛЕМИ ПЕРЕТВОРИТИ В МОЖЛИВОСТІ

М.Ю. Дубовкіна, доцент, канд техн.наук ДВНЗ «ПДТУ»,
А.А.Кожушина, студент гр.ПТЕ-20 ДВНЗ «ПДТУ»

Більшу половину утворених промислових відходів, у тому числі – відходів видобутку, після попереднього оброблення, відсортування або поділу на фракції можна було б знову використати як мінеральну сировину.

Питання управління промисловими відходами в Україні не в повному обсязі врегульовані на законодавчому рівні, існують такі недоліки:

- невизначеність пріоритетних цілей та недостатній рівень інтеграції питань охорони навколишнього природного середовища у галузеві стратегії використання природних ресурсів України;

- існує необхідність, враховуючи рекомендації відповідних Директив ЄС, та напрацьований досвід, більш наполегливого та прискореного створення системи переробки, утилізації, видалення утворених промислових відходів та відходів, що утворюються, для їх послідууючого використання як вторинних ресурсів в будівельній та інших виробничих галузях як України так і виробничих галузях європейських держав;

- на державному рівні необхідно врегулювання напрямів проведення екологізації виробництва як послідовного впровадження систем технологічних, управлінських та інших рішень, які дозволять підвищити ефективність використання природних ресурсів з одночасним захистом та збереженням природного середовища України.

Для організації дієвого ринку управління промисловими відходами, насамперед, необхідно:

- відокремити їх від загального поняття «відходи»;

- налагодити систему обліку, для чого, шляхом проведення обласними державними адміністраціями інвентаризації накопичених промислових відходів у регіонах, встановити їх власність: державна, приватна або безхазяйна;

- скласти впорядковану базу промислових відходів з визначенням їх хімічного складу, токсичності та шкідливості тощо, як на регіональному (тобто на рівні кожної області), так і на загальнодержавному рівнях;

- окремо визначити техногенні об'єкти діяльності яких може спровокувати виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру; об'єкти дослідити, вивчити, оцінити та згідно з вимогами Кодексу України про надра включити до Державного фонду родовищ корисних копалин як техногенні родовища.

СЕКЦІЯ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРІЇ

ЗАСТОСУВАННЯ СИНТЕТИЧНИХ АНІОННИХ ГЛИН ДЛЯ ДООЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ТРАНСПОРТНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Бутенко Е. О., канд. техн., наук, доц., ДВНЗ “Приазовський державний
технічний університет”, м. Дніпро - м. Маріуполь;
Волошин В. С., докт. техн. наук, проф., ДВНЗ “Приазовський
державний технічний університет”, м. Дніпро - м. Маріуполь;

Поряд із промисловими підприємствами істотний внесок у забруднення водних об'єктів робить транспорт. На залізничному транспорті є безліч об'єктів інфраструктури, у яких утворюються виробничі стічні води складного хімічного складу. Характерною особливістю виробничих стічних вод є сталість витрат за відносно стабільну якість.

Сучасні технології очищення стічних вод дозволяють забезпечити їх якість до ГДК, що відповідають нормам забруднюючих речовин у стоках при їх скиданні у водні об'єкти. Значними труднощами є очищення поверхневих стічних вод з територій підприємств залізничних станцій. Поверхневі стоки у вигляді талих та зливових, що утворюються під час випадання дощу та танення снігу, забруднені сміттям, завислими речовинами, нафтопродуктами, розчинними та нерозчинними мінеральними та органічними речовинами, біогенними речовинами, іонами важких металів.

Специфічною особливістю поверхневого стоку є сезонність його утворення, нерівномірність витрат стоку як усередині сезону, так і всередині доби. Слід зазначити, що поверхневий стік практично повністю надходить у водні об'єкти, а тому найчастіше відсутня альтернатива його глибокому очищенню.

Для забезпечення вимог до скидання стічних вод у водоймища рибогосподарського призначення рекомендуються сорбційні методи, що реалізуються у фільтрах із завантаженнями з органічних та неорганічних сорбентів. Враховуючи високу вартість та дефіцитність найбільш широко використовуваних при очищенні стічних вод активованого вугілля. Нині проводяться дослідження щодо впровадження у практику будівництва очисних споруд із використанням природних сорбційних матеріалів. До числа подібних матеріалів можуть бути віднесені природні цеоліти.

Найбільш перспективне використання синтетичних аніонних глин змінного складу для очищення від важко вилучених залишкових

забруднень (доочищення) на останніх стадіях перед скиданням вод у навколишнє середовище. Магній-алюмінієві синтетичні аніонні глини змінного складу як сорбент, перспективний для очищення низько концентрованих нафтопродуктів. Висока питома поверхня, необхідний розмір пір, які підлаштовуються під розмір забруднювача, дозволяє поглинати розчинені у воді нафтопродукти з тією ж ефективністю, що й активоване вугілля.

Синтетичні аніонні глини поєднують в собі властивості мінеральних і синтетичних сорбентів і є в цьому сенсі унікальним продуктом, здатним стати недорогим та високоефективним замінником активованого вугілля, а також таких сорбентів-замінників активованого вугілля як природні термовугілля, торфи, високозольні сланці, кокси та напівкокси.

А також не існують проблем з безпечним похованням відпрацьованих сорбентів.

Адсорбенти можуть поглинати забруднюючі речовини як за механізмом фізичної сорбції, так по іонообмінному механізму. Однак, під дією природних умов, у всіх випадках можливе протікання процесу зворотного десорбції адсорбованих компонентів після їх поховання. Для запобігання процесу зворотного десорбції відпрацьовані ШПГ можна термічно обробляти при високих температурах, що призводить до утворення шпинелей.

Термічні дослідження для встановлення структур, що утворюються при термообробці ШПГ; для встановлення областей існування даних структур; для оцінки можливості безпечного захоронення сорбентів з сорбованими речовинами.

Для розуміння, за яких умов утворюються шпінелеобразні структури при термічній обробці ШПГ, проводили рентгеноструктурний аналіз прожарених зразків при різному часі перебування зразків в печі і при різних температурах. За допомогою рентгеноструктурного аналізу було визначено фазовий склад зразків.

ШПГ піддавалися термічній обробці при 800 °C і при даній температурі перебували протягом 24 годин. При тривалій термічній обробці зразка при високій температурі шпинель не утворюється, а відбувається повне руйнування структури. Відпал при температурі 1000 °C протягом 30 хв призводить до утворення двухфазного зразка складу $\text{MgAl}_2\text{O}_4 + \text{MgO}$. А оксид магнію в природних умовах відносно швидко перетворюється в гідроксид $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Тобто, тривале прожарювання при високих температурах робить можливим зворотний процес десорбції. Наші результати показали, що при низьких температурах (нижче 600 °C) процес утворення шпинелей займає тривалий час. Для

повного завершення перетворення потрібно температур не менше 800 °С, що суперечить результатам, які є в літературі. Крім того, очевидно, що температура прожарювання має більше значення, ніж час обробки.

Таким чином, згідно з результатами рентгенофазового аналізу, утворення шпінелі $MgAl_2O_4$ в зразках сорбенту відбувається при прожаренні при температурі вище 600 °С, а при 1000 °С сорбент містить кристалічні фази шпінелі та оксиду магнію. Це дозволяє визначити температуру і часові межі прожарювання, що забезпечують безпечне захоронення, що забезпечує відсутність зворотного аніонного обміну.

Таким чином, термічна обробка відпрацьованих сорбентів дозволяє вирішити відразу кілька завдань безпечного видалення. Якщо сорбент поглинув речовини неорганічного характеру, то прожарювання призводить до утворення шпінелеобразних структур, що забезпечують жорстке скріплення забруднюючих речовин всередині сорбенту і безпечне захоронення. Якщо ж поглинена речовина має органічну природу, то прожарювання призводить в його повної деструкції, а прожарений сорбент може відновити вихідну структуру і ШПГ може бути використаний вдруге.

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ПОДІЄВОГО РИЗИКУ

Волошин В. С., докт. техн. наук, проф., ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”, м. Дніпро - м. Маріуполь;
Бутенко Е. О., канд. техн., наук, доц., ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”, м. Дніпро - м. Маріуполь;

Типові методики оцінювання ризиків у самих різноманітних областях професійної діяльності, як правило, пов'язані з ймовірно-статистичними підходами.

У найпростішому випадку, ризик, це відношення числа несприятливих (ризикових) подій (n) до загального числа подій (N) в деякому інтервалі 0,Т. Недоліком такого підходу є його апостеріорність (походження з попереднього досвіду), неможливість застосування в областях прогнозування та профілактики ризиків. У різних галузях людської діяльності: економіці, інформатиці, інженерії давно відійшли від таких способів у напрямі образності ризиків, їх подійності, апіорних методів аналізу тощо.

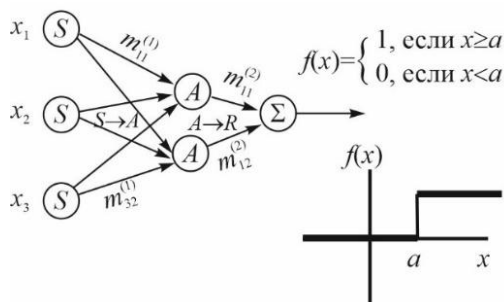
Пропонується метод аналізу ризиків, заснований на послідовності подій, що передують ризикоутворення в їх динаміці. У такому разі ризик передбачається як «Бінарне відображення

суб'єктивної очікуваності події на межі невизначеності, в основі якої лежать тимчасові та ентропійні зміни у напрямку його певного стану». Ризик тут описується лише двома станами системи: або подія не призводить до реального ризику «0», або супроводжується реальним ризиком «1». Такий підхід дозволяє «легалізувати» методи інтелектуального аналізу, на противагу існуючим формалізованим методам оцінки «існуючого в тривалому часі» ризику.

Для аналізу, прогнозування та попередження ризикоутворювальних подій пропонується використовувати досвід логічних моделей в галузі штучного інтелекту, а саме, побудова нейронних мереж (NS) прямого поширення (FFNN), як варіант – мережі рекурентні (RNN) для розпізнавання прихованих закономірностей у необроблених даних. Для того, щоб на їх основі складати алгоритми управління ризиками. Вихідними даними для такої моделі є сукупність вхідних потенційних подій, у вигляді шаблонів станів системи x_i , кожна з яких ранжується деяким ваговим коефіцієнтом m_{ij} , що показує значущість цієї події на j -ом рівні активації. На виході такої моделі отримуємо саме те бінарне відображення нашої суб'єктивної очікуваності події, результатом якого є реальний ризик, позначений як «1», або відсутність такої, позначена як «0».

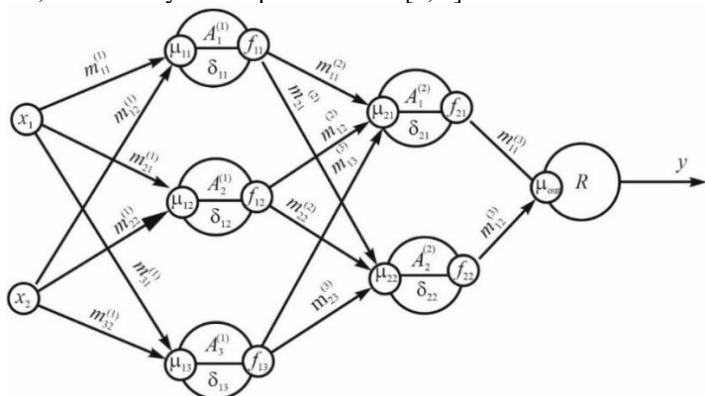
В основі такої моделі лежить схема штучного нейрона, яка називається перцептроном, відомим як кібернетична модель сприйняття інформації мозком (мал. 1), розроблена Ф. Розенблаттомеще в 1958 і широко поширена сьогодні в NS. Вона дозволяє реалізувати головну функцію моделі як результат перебору суми вхідних сигналів x_i с їх синапсоїдними ваговими коефіцієнтами $m_{ij}^{(A)}$, за допомогою спочатку «навчених» активаційних шарів «A», де j -наступний шар активації вхідних сигналів. На виході навченого відповідним чином перцептрон суматор повинен видати результат у вигляді бінарного відображення [0, 1].

Функція активації, яка задається в NS, наприклад, у вигляді відомих формул логістичних функцій, порогових функцій або, що частіше застосовується в таких завданнях, функції спрямованого лінійного вузла (ReLU), має бібліотеки програм для їхнього обчислення мовою Python. Так само це стосується і програм навчання NS відомих конфігурацій.



Малюнок 1 – Загальна схема моделі перцептрону та її функціонування у рамках порогової функції активації

Прикладом моделі нейронної мережі прямого поширення для двох вхідних сигналів з коригуванням вагових коефіцієнтів кожного активаційного шару методом зворотного поширення помилки (backpropagation) представлений на мал. 2. На виході такої моделі, навченої для розпізнавання образів ризикоутворюючих подій із числа заданих, повинен бути бінарний сигнал $[0, 1]$



Малюнок 2 – Нейронна мережа для двох вхідних сигналів з коригуванням вагових коефіцієнтів кожного шару у процесі навчання.

σ_{ij} – локальні градієнти для нейронів попереднього активаційного шару; f_{ij} – функція відгуку активаційного шару системи; μ_{ij} – вектор спостереження для активатора j – го локального шару активації

Як спрощене рішення задачі пошуку образів ризикоутворення, представимо результат такого розрахунку NS у вигляді тринарної суми вхідних сигналів, їх обробка в NS функцією активації типу ReLU і

необхідна бінарна функція відгуку системи (табл. 1). Тут тільки другий і шостий варіанти ітерацій функції активації показує результат у вигляді функції відгуку «1» на відсутність ризиків в системі, що моделюється.

Таблиця 1 – Розмірності спостережуваних ітерацій для пошуку рішення в NS

Вектор спостережень (вхід до мережі)	Число ітерацій для функції активації RELU	Необхідна функція відгуку (вихід із мережі)
$[-1, -1, -1]$	8	0
$[-1, -1, +1]$	8	+1
$[-1, +1, -1]$	8	0
$[-1, +1, +1]$	8	0
$[+1, -1, -1]$	8	0
$[+1, -1, +1]$	8	+1
$[+1, +1, -1]$	8	0
$[+1, +1, +1]$	8	0

Звертаючи увагу на математичний апарат нейронних мереж, у тому числі і з перспективою в подальшому пошуку закономірностей для подійових ризиків та їх прогнозування слід враховувати і можливості NS для знаходження подібних рішень на рівні так званих когнітронів – багатошарової нейромережі, що самоорганізується, перспективи якої очевидні для системи «людина -машина», оскільки пов'язані з процесами інвазивізації людського мозку та комп'ютера. Але це перспектива.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ СКИДАННЯ ЗВОРОТНИХ ВОД У ПЛАНІ НЕПРИПУСТИМОСТІ ТОКСИЧНОСТІ ВОДИ ВОДОПРИЙМАЧА

О.А. Проскурнін, докт. техн. наук, с.н.с., УКРНДІЕП, м. Харків,

Н.С. Цапко, к.т.н., доцент, УКРНДІЕП, м. Харків,

К.В. Белоконь, к.т.н., доцент, Інженерний навчально-науковий
інститут ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, м. Запоріжжя,

О.О. Дем'янова, фізична особа-підприємець, м. Херсон.

Згідно як європейського законодавства, так і українського, для підприємств-водокористувачів розробляються нормативи гранично допустимих скидань (ГДС) забруднюючих речовин до водних об'єктів (ВО) зі зворотними водами (ЗВ). Для того, щоб вода у контрольному створі (КС) водоприймача ЗВ була гарантовано нетоксичною, згідно

діючої методології розрахунку ГДС, вимогою скидання є відсутність токсичності самої зворотної води. Але ця вимога є невиправдано жорсткою і не узгоджується з тим, що концентрації окремих забруднюючих речовин токсичної дії у самій зворотній воді можуть перевищувати значення ГДК. Тому є актуальним розробка методу розрахунку мінімальної кратності попереднього розбавлення ЗВ перед їх скиданням до ВО з метою зниження токсичності ЗВ і, тим самим, неприпустимості токсичності води у КС.

Нижче наведений запропонований авторами метод відповідного розрахунку. Метод дійсний як для неприпустимості гострої летальної токсичності природної води, так і хронічної токсичності. Тому далі мова йде про токсичність без уточнення її виду.

Згідно ДСТУ 3928-99, рівень токсичності води – це кількісна характеристика токсичності води, визначувана через мінімальну кратність розбавлення, за якого токсичність води вже не виявляється. При наявності достатньої кількості натурних спостережень можливо побудувати наступну регресійну модель:

$$T = a_0 + \sum_{j=1}^k a_j \cdot C_j, \quad (1)$$

де T – рівень токсичності води у КС;

k – кількість речовин токсичної дії;

a_0, a_j – параметри регресії; C_j – концентрації речовин у КС.

Верхня границя довірчого інтервалу надійності 95% для рівня токсичності дорівнює:

$$T^+ = T + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (T_i - T_i^*)^2}{m - k - 1}} \cdot t_{\alpha/2}, \quad (2)$$

де $\{T_i\}$ – вибіркові значення рівня токсичності, за якими була побудована регресійна модель (1);

$\{T_i^*\}$ – розраховані за моделлю (1) значення рівня токсичності;

$t_{\alpha/2}$ – $\alpha/2$ -квантіль розподілу Стюдента з $m-k-1$ ступенями свободи.

Концентрація j -ї речовини у КС без урахування самоочищення дорівнює:

$$C_j = \frac{x_j - F_j}{n} + F_j, \quad (3)$$

де x_j, F_j – концентрація речовини відповідно в ЗВ та у фоновому створі ВО;

n – кратність розбавлення ЗВ при їх переміщенні від випуску до КС.

Якщо буде попереднє N -кратне розбавлення ЗВ, то концентрація речовини у КС буде дорівнювати:

$$C_j = \frac{x_j / N - F_j}{n} + F_j = \frac{x_j - N \cdot F_j}{n \cdot N} + F_j, \quad (4)$$

Підставляючи (4) у (1), маємо:

$$T = a_0 + \frac{1}{n \cdot N} \cdot \sum_{j=1}^k a_j \cdot x_j - \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^k a_j \cdot F_j + \sum_{j=1}^k a_j \cdot F_j. \quad (5)$$

Шукана кратність N знаходиться з рівняння

$$T^+ = 1. \quad (6)$$

З урахуванням (2) і (5):

$$N = \frac{\sum_{j=1}^k a_j \cdot x_j}{n} \left[1 - a_0 - \left(1 - \frac{1}{n} \right) \cdot \sum_{j=1}^k a_j \cdot F_j - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (T_i - T_i^*)^2}{m - k - 1}} \cdot t_{\alpha/2} \right]^{-1} \quad (7)$$

Якщо розрахована за (7) кратність буде меншою за 1, то приймається $N = 1$.

Висновок. Запропонований метод дозволяє розрахувати мінімальну кратність попереднього розбавлення ЗВ перед їх скиданням до ВО з метою неприпустимості токсичності води у КС.

ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ПРОМИСЛОВИХ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ

Ярошук К.П., асистент, ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”, м. Дніпро - м. Маріуполь;

Головними розосередженими джерелами забруднюючих речовин на водозборах виступають території населених пунктів, сільськогосподарські угіддя, території гірничодобувних підприємств, а також окремі частини водозборів річок, що потрапляють до зони розсіювання атмосферних викидів великих промислових підприємств, насамперед теплоенергетики, металургії, хімії та нафтохімії. Таким чином, спектр забруднюючих речовин, що надходять у водотоки з розосередженим стоком, залежить від пріоритетного виду господарського використання тієї чи іншої частини водозбору. Природно, що найбільший негативний вплив на водотоки має стік з

території населених пунктів, що обумовлюється, інтенсивністю руху автотранспорту, викидами забруднюючих речовин в атмосферу від промислових підприємств та надходження ґрунтових частинок з газонів.

Вміст зважених речовин, нафтопродуктів та ряду важких металів у стоку приблизно однаково у населених пунктах з порівнянною інтенсивністю руху транспорту.

Слід, проте, відзначити, що промислова спеціалізація призводить до появи у стоку низки специфічних забруднюючих речовин. Так, у населених пунктах із розвинутою металургією збільшується концентрація важких металів (залізо, мідь, цинк, марганець, свинець) та сульфатів (виробництво міді та цинку). Там, де розташовані підприємства хімічної та нафтохімічної промисловості, селітебні території схильні до забруднення сульфатами, нітратами, хлоридами, нафтопродуктами, фенолами. У зоні діяльності ТЕЦ, працюючих на вугіллі, у стоку збільшується вміст сульфатів, нітратів, кальцію та магнію та ряду важких металів. Як показали розрахунки по басейну нар. Урал, винесення забруднюючих речовин із селітебних територій за деякими інгредієнтами (важкі метали, нафтопродукти, зважені речовини, сульфати) може значно перевищувати їх надходження з організованими випусками стічних вод підприємств.

Негативний вплив на водні об'єкти надає неорганізований поверхневий стік з промислових майданчиків. В даний час є промислові підприємства, з промайданчиків яких не проводиться збирання та очищення зливових вод. Як основні заходи щодо скорочення надходження ЗВ із селітебних територій пропонується будівництво:

- 1) систем зливової каналізації у комплексі з очисними спорудами у тих містах, де вона відсутня;
- 2) споруд очищення зливових вод (там, де організовано збирання зливого стоку);
- 3) систем з збирання та очищення зливових вод з територій промислових підприємств;
- 4) майданчиків сухого складування снігу з очисними спорудами (у великих містах).

Для очищення поверхневого стоку застосовуються ставки-відстійники механічного очищення з пристроями для уловлювання плаваючого сміття та нафтопродуктів, з фільтрами доочищення.

Загальна протяжність закритих колекторів зливової каналізації, що проєктуються, дорівнює 103,0 км, відкритих - 25 км.