

Луцак Д.Л.,***Пилипченко О.В.,******Бурда М.Й.****Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, Україна,** Міжгалузевий науково-виробничий
центр «Епсілон ЛТД»,

м. Івано-Франківськ, Україна

E-mail: d.l.lutsak@gmail.com

**ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ
ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ ТА ГРАНУЛ**

УДК 621.791.925

Розглянуто перелік чинників, яким піддаються робочі органи обладнання для виготовлення деревних брикетів та гранул під час роботи, схема процесу фрикційної взаємодії в парі «пресована тирса - сталь», а також перелік матеріалів та технологій, що використовуються для нанесення зносостійких покриттів на робочі органи вказаного обладнання. Для більш ефективного захисту швидкозношуваних робочих органів брикетувальних пресів, зокрема шнеків екструдерів, авторами статті пропонується наносити на робочі поверхні ацетиленово-кисневим способом покриття із реліту, що характеризується високою зносостійкістю в умовах інтенсивного абразивного впливу.

Ключові слова: паливні брикети, гранули, зношування, зміцнення, екструдер, шнек, газополуменеве наплавлення

Вступ

Впродовж останніх десятиліть відбувається стійке зростання об'ємів використання альтернативних енергоресурсів, до яких в першу чергу відносяться паливні брикети та гранули (пелети) з біомаси, виготовлення яких дає можливість вирішувати питання утилізації шляхом переробки відходів, кількість яких, зокрема при повному циклі переробки деревини наближається до 40 % [1]. Крім того, теплотворна здатність паливних брикетів вища ніж у твердих порід деревини і практично відповідає теплотворності кам'яного вугілля; при цьому вміст золи в них значно нижчий. Виділення CO₂ в атмосферу при спалюванні брикетів та пелет в 15 - 30 разів нижче ніж у традиційних видів палива [2].

В основі технології виробництва даного виду палива лежить процес пресування подрібнених відходів деревини, сосяшника, соломи та інших відходів аграрної галузі під високим тиском з додатковим підігрівом (в певних випадках), який викликає склеювання подрібнених фрагментів між собою за рахунок лігніну, що міститься в рослинних клітинах. В Західному регіоні України найбільш поширеним є виробництво саме деревних паливних брикетів, що пов'язано із великим об'ємом лісових насаджень Карпат.

Найбільш поширеними є наступні методи формування деревних брикетів та гранул:

- екструдерне формування гвинтовим (шнековим) пресом пустотілих брикетів;
- пуансонне формування кривошипними та гідравлічними пресами суцільних брикетів;
- гранулювання в кільцевих штапах (персформах-матрицях) гранул.

Робочі органи обладнання для виготовлення паливних деревних брикетів та пелет працюють у складних, часто екстремальних умовах, які обумовлені впливом ряду чинників. Ці чинники діють в більшості випадків в комплексі, що багаторазово підсилює їх вплив на робочі поверхні обладнання.

Мета і постановка задачі

Метою даної роботи є проведення комплексного аналізу чинників, яким піддаються робочі органи обладнання для виготовлення паливних деревних брикетів та гранул, а також здійснення підбору ефективних матеріалів та технологій для їх нанесення з метою підвищення зносостійкості формуютьуючих поверхонь вказаного обладнання.

Основна частина

Під час виробництва робочі формуютьуючі поверхні обладнання для виготовлення паливних деревних брикетів та пелет піддаються дії наступних чинників.

Абразивне середовище. Найбільша кількість абразивних частинок є мінеральними компонентами із складу ґрунту, які містяться у відходах недостатньо очищеної деревини – в корі та тирсі. Ці абразивні частинки мають високу твердість: глинозем (оксид алюмінію) – 15 ... 19 ГПа; кремнезем – 9 ... 11 ГПа, що перевищує твердість поверхні робочих органів обладнання. Другим джерелом поступлення абразиву у робочу зону стискання сировини є оточуюче середовище. Відомо, що у 1 м³ повітря знаходиться від 0,04 до 5 г пилу, який більше як на половину складається із частинок мінералів – кварцу, корунду,

оксидів, сполук алюмінію і інших елементів [3]. Третім джерелом абразиву є частинки зносу робочих поверхонь обладнання, які складаються, в основному, із оксидів заліза і мають достатньо високу твердість (до 10 ГПа). Свій вклад у абразивне середовище зони взаємодії сировини із робочими поверхнями вносять і мінеральні компоненти деревини (SiO_2 , K_2O , Na_2O , MgO , CaO і інші). Однак їх вміст у деревині помірних широт, яка використовується для брикетування, незначний але постійний.

Великі *контактні тиски* з боку перероблюваної сировини (до 100 МПа при пуансонному пресуванні та 150 ... 200 МПа при шнековому пресуванні [7]), необхідність створення яких обумовлена забезпеченням виділення лігніну із рослинних клітин для склеювання окремих фрагментів деревини у виріб.

Значні *швидкості ковзання* фрагментів деревини відносно робочих органів обладнання. При пуансонному формуванні вони сягають 0,2 ... 1,5 м/с, при шнековому – 1,0 ... 3,0 м/с [8].

Сили тертя, виникнення яких пояснюється формуванням водневих зв'язків між гідроксильними групами деревини і оксидними плівками на робочих поверхнях [4].

Підвищена температура, яка виникає внаслідок дії попередніх чинників та додаткового технологічного підігріву екструдерної камери і сягає величини 180 ... 350 °С [8].

Наявність *агресивного середовища*, яке спричиняє значну хімічну дію, руйнуюча здатність якої співмірна із механічним впливом. Підвищення температури у зоні фрикційної взаємодії призводить спочатку до випаровування вільної води, після чого відбувається розкладання геміцелюлоз (275 ... 350 °С) і розкладання дерев'яного волокна із виділенням кислот, спиртів та смол [4]. Ряд сучасних досліджень вказує, що в зоні фрикційного контакту «деревина - сталь» присутні циклічні металоорганічні сполуки, які утворюються при взаємодії заліза із продуктами гідролізу целюлози [5].

Наводнення поверхонь інструменту за рахунок дії іонів водню, який виділяється при дисоціації різних речовин, але і в результаті хімічних реакцій, в яких приймають участь компоненти деревини і продукти розкладу деревини (органічні кислоти, спирти, альдегіди і інші) у процесі фрикційної взаємодії [3]. Експериментально встановлено, що у міжконтактному просторі пари тертя «деревина-сталь» склад газової атмосфери має наступний склад, %: H_2 – 4,2 ... 6, CH_4 – 2, CO – 70 ... 72, CO_2 – 20 [6].

Схема процесу фрикційної взаємодії в парі «пресована тирса - сталь» з врахуванням вище відмічених чинників представлена на рис. 1. Він передбачає наявність динамічної рівноваги між наступними процесами:

- ріст і хімічна модифікація оксидних шарів на робочих поверхнях інструменту;

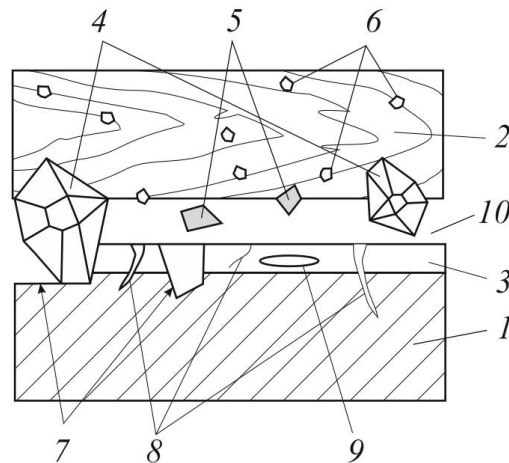


Рис. 1 – Схема фрикційної взаємодії у парі тертя «пресована тирса – сталь»:
 1 – матеріал інструменту; 2 – пресована тирса; 3 – хімічно модифікований оксидний шар;
 4 – зовнішні абразивні частинки; 5 – дисперговані частинки металу – продукти зношування;
 6 – природні абразивні частинки; 7 – ювенільна поверхня металу; 8 – зони корозійного руйнування;
 9 – області молізації водню; 10 – агресивне зовнішнє середовище

- механохімічне, абразивне руйнування утворених шарів, яке активується високою температурою та водневим зношуванням;

- взаємодія деревної сировини із утвореними ювенільними поверхнями металу, їх репасивація і повторне формування хімічно модифікованих оксидних шарів.

Таким чином, руйнування поверхневого шару має циклічний характер, період якого визначається складом деревної сировини і контактними - силовими умовами взаємодії у кожному конкретному випадку. Слід відмітити, що періодичний характер утворення та руйнування хімічно модифікованих поверхневих шарів у реальних умовах тертя носить локальний характер (на кожній

ділянці поверхні тертя). Внаслідок дискретності контакту, неоднорідності епюри навантаження у часі і за просторовими координатами на різних ділянках поверхні тертя одночасно протікають різні фази локально періодичних процесів. Це призводить до згладжування періодичності і динамічної рівноваги процесів утворення та руйнування оксидних структур, обумовленої фізико-статистичним розподілом локально періодичних процесів.

Найбільші руйнування робочої поверхні інструментів пов'язані саме із процесами зношування, серед яких можна виділити наступні основні види:

- *абразивне зношування* – інтенсивне пошкодження робочих поверхонь при терті ковзання твердих включень ущільненої маси, які викликають руйнування за рахунок дряпання та мікрорізання. На робочих поверхнях у місцях максимального навантаження спостерігаються подряпини з чіткою просторовою орієнтацією, обумовленою напрямом переміщення ущільненої маси відносно інструменту (рис. 3, в, д). Мікроскопічне вивчення цих подряпин показує їх невелику глибину і пологість країв, що пояснюється подальшим абразивним зношуванням більш дрібним абразивом та руйнуванням поверхні за рахунок інших видів зношування;

- *окислювальне зношування* – поступове руйнування робочих поверхонь інструменту при терті об ущільнену масу, яке полягає в утворенні та видаленні оксидних плівок. Наявність цього виду зносу підтверджує його характерна ознака – гладкість і блискучість поверхонь (рис. 3, а, б, д). Окислювальне зношування посилюється за рахунок інтенсифікації процесів адсорбції та дифузії кисню через нагрівання поверхневих шарів тертям. Ще одним потужним чинником активації окислювального зношування є пластична деформація поверхневих шарів інструменту;

- *теплове зношування* – інтенсивне руйнування поверхонь при терті об ущільнену масу внаслідок нагрівання до високих температур. У результаті такого термоциклювання відбуваються певні структурні перетворення, формуються внутрішні напруження, які призводять до втрати механічної міцності поверхневих шарів, появи сітки тріщин (рис. 2, а) та інтенсивного руйнування поверхні (рис. 3, а, б);

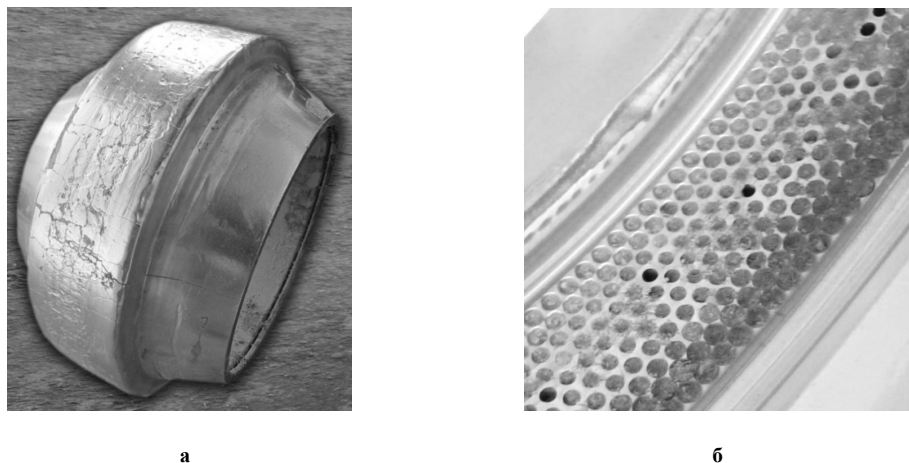


Рис. 2 – Зовнішній вигляд зношених робочих органів обладнання для виготовлення паливних гранул:
а – рол пелетного преса;
б – фрагмент матриці пелетного преса

- *водневе зношування* – вище було відмічено про наявність певної кількості водню у міжконтактному просторі пари тертя «інструмент – ущільнена деревина». За певних умов молекули газоподібного водню адсорбуються на поверхні металу та дисоціюють на іони. Водень у вигляді іонів H^+ завжди присутній у водному розчині, очевидно його наявність і у слабо кислому деревному соку. Важливу роль у процесі насичення воднем відіграє екзоелектронна емісія на ювенільній поверхні металу, яка утворюється при руйнуванні оксидної плівки. Поглинання водню відбувається шляхом його адсорбції та хемосорбції на робочих поверхнях інструменту. Дифузія водню у деформований шар сталі, швидкість якої визначається градієнтом температур та напружень, призводить до його концентрації переважно по межах зерен та неупорядкованих утворень у приповерхневих шарах. Там він частково молізується, створюючи значні внутрішні напруження. Поєднання цих напружень із зовнішнім робочим навантаженням викликає особливий вид руйнування поверхні, пов'язаний із одночасним розвитком великої кількості зародків тріщин по всій зоні деформування. Характерним для водневого зношування є миттєве утворення продуктів зношування у вигляді дрібних зерен порошку матеріалу інструменту.

Розглянемо особливості зносу та можливості відновлення і зміцнення робочих формуючих поверхонь деталей обладнання для виготовлення брикетів та пелет.

Робочими органами пелетних пресів є роли і перфоровані кільцеві матриці, які виготовляються з високолегованих термооброблених вольфрамомістких сталей [8]. В процесі експлуатації за рахунок зношування спостерігається зменшення діаметрів ролів (рис. 2, а), відбувається зниження до критичного розміру перестігків між сусідніми отворами (каналами) та їх глибини (рис. 2, б), в які запресовується шляхом закатування подрібнена деревинна маса.

На даний час не розроблено ефективної технології ремонту кільцевих пресформ-матриць. Найбільш продуктивним методом реставрації зношених ролів є електродугове наплавлення зносостійких покриттів. Проте процес є ускладненим із-за підвищеної схильності матеріалів ролів до утворення тріщин, наявність яких може призводити до виходу з ладу вказаного вузла.

Пуансони пресів для виготовлення суцільних брикетів конструктивно в більшості випадків виконуються суцільними, хоча зустрічаються випадки зі змінним формуючим елементом. Для виготовлення вказаних робочих органів застосовуються інструментальні леговані сталі марок Х12, Х12М [8].

Зношування пуансона призводить до інтенсивного заокруглювання його формоутворюючого ребра і зменшення номінального діаметру в прилеглий зоні (рис. 3, а). В результаті цього зростає зусилля пресування і, як наслідок, енерговитрати на одиницю продукції. Крім того, по периметру торцевої поверхні виробу формується облой, що збільшує транспортний об'єм і перешкоджає технологічному зрощуванню брикетів в процесі виробництва.



Рис. 3 – Зовнішній вигляд зношених робочих органів обладнання для виготовлення паливних брикетів:
 а – брикетувальний пуансон;
 б – формуюча втулка;
 в – суцільний однозахідний шнек (рівномірне зношування);
 г – суцільний однозахідний шнек (інтенсивне відшарування);
 д – вставка збірного шнека; е – суцільний однозахідний шнек з впаяними твердосплавними пластинами

Для випадку експлуатації термооброблених сталей ресурс роботи пуансона преса складає 6 ... 8 тон брикетної продукції. При застосуванні захисного газотермічного покриття робочої частини пуансона із композиції ПГ12-НВК ресурс роботи досягає 25 ... 30 тон брикетної продукції.

Формуюча втулка шнекових пресів для виробництва брикетів (рис. 3, б) виготовляється з високолегованих сталей марок Х12М, Р6М5, 12ХС, 9ХС, Х18 та чавунів марок ЧХ22, ЧХ28, ЧХ28Н2 [8]. Нанесення електродугових покриттів на втулки є затрудненим, оскільки останні схильні до утворення тріщин, тому покриття наносять газополум'євим методом з попереднім підігрівом деталі із використанням присадкових матеріалів типу сормайт та присадкових електродів марки ЕП-ТБ-1-6.

Однозахідні шнеки екструдерних гвинтових пресів конструктивно виконуються суцільними або збірними зі змінною робочою частиною. При цьому суцільні шнеки виготовляють зі сталей марок 45, 40Х, а змінні робочі частини в більшості випадків виготовляються методом литва із чавунів марок ЧХ22, ЧХ28, ЧХ28Н2 [8].

В більшості випадків зношені зовнішні поверхні характеризуються зменшенням габаритних формуючих розмірів у проміжній та, особливо, у вихідній частині шнека з втратою гостроти формуючих граней пера (рис. 3, в). Решта поверхонь в більшості випадків характеризуються наявністю слідів абразивного та окислювального зношування. При проведенні багаторазових ремонтних робіт із нанесенням зносостійких покриттів можливе відшарування останніх (рис. 3, г).

У зв'язку із однозахідною конструкцією шнека в багатьох випадках спостерігається деформація (викривлення) вихідної формуючої частини, що призводить до дроблення пустотілих брикетів на окремі фрагменти і, як наслідок, втрати товарної якості вихідної продукції.

Для випадку суцільної конструкції вихідну робочу частину, як правило, захищають від зношування шляхом нанесення покриттів: електродуговим наплавленням електродами Т-590, Т-620, ОЗШ-1 або плазмовим напиленням порошком із швидкорізальної сталі марки 10Р6М5 [7], що забезпечує ресурс 3-6 тон брикетної продукції; газотермічним напилюванням композиціями типу ПГ12-НВК – ресурс складає 4 - 8 тон брикетної продукції.

В деяких конструкціях шнеків пресів китайського виробництва окремі наплавлені робочі поверхні додатково захищаються шляхом впаювання твердосплавних пластин, при цьому максимальний міжремонтний ресурс таких деталей складає 10 - 12 тонн брикетної продукції (рис. 3, е).

Для більш ефективного захисту швидкозношуваних робочих органів брикетувальних пресів, зокрема шнеків екструдерів, авторами статті пропонується наносити на робочі поверхні покриття із композиційного сплаву на основі зерен литих карбідів вольфраму $W_2C + WC$ (реліту), що характеризується високою зносостійкістю в умовах інтенсивного абразивного впливу [9]. Крім того карбід вольфраму характеризується високою корозійною стійкістю, що дозволяє використовувати його в корозійно-агресивних середовищах [11]. Характерною особливістю процесу зношування таких сплавів є поетапне зношування окремих компонентів композиції, при цьому спостерігається так званий «тіньовий ефект», при якому більш зносостійкі армуючі частинки беруть на себе основне навантаження, захищаючи матрицю сплаву від зношування [10].

Для отримання таких покриттів доцільно використовувати присадковий матеріал – стрічковий реліт, який являє собою пруток (стрічку) плоского перерізу з оболонкою із низьковуглецевої сталі та з порошковим осердям (наповнювачем), що складається із суміші розкислюючих, легуючих і флюсоутворюючих компонентів, а також частинок карбідів вольфраму $WC-W_2C$ (реліту), отриманих шляхом подрібнення злитків.

Стрічковий реліт характеризується відмінними технологічними показниками, що дозволяє отримувати наплавлений шар зі стабільним вмістом частинок карбідів вольфраму $WC-W_2C$ в сплаві без пор, непроварів та інших дефектів наплавки.

Важливу роль в процесі зношування відіграє розмір зерен карбідів вольфраму $WC-W_2C$. Згідно даних, наведених в [10], з ростом розмірів зерен реліту до 0,8 ... 0,9 мм зношування зменшується, а після досягнення величини зерен 1,8 мм величина зношування залишається практично постійним. Виходячи з даної залежності, а також провівши додаткові дослідження впливу розміру зерен карбідів вольфраму на зносостійкість покриття в умовах тертя в середовищі абразивної маси згідно методики, описаної в [11], було визначено оптимальний розмір армуючих включень карбідів вольфраму, що складає 0,5 ... 1,1 мм для даних умов випробувань.

Наплавлення стрічкового реліту здійснюється ацетиленово-кисневим способом, що дозволяє знизити термічний вплив на поверхню, яка підлягає наплавленню, та мінімізувати розчинення частинок карбідів вольфраму $WC-W_2C$ в сталій матриці. Перед нанесенням стрічкового реліту поверхню деталі слід нагрівати до появи дзеркала розплавленого металу. При багатопохідному наплавленні проміжна температура поверхні, що підлягає наплавленню, не повинна опускатись нижче 300 °С. З метою запобігання викришування не рекомендується проводити багатопохідне наплавлення замкнутих контурів.

Наплавлений метал обробляється шліфуванням, має схильність до утворення мікротріщин, які в цілому не знижують експлуатаційну стійкість покриття.

Досвід використання даної технології на базі міжгалузевих науково-виробничого центру «Епсилон ЛТД» при відновленні та зміцненні шнеків екструдерів для брикетування деревини

підтверджує доцільність її використання. Період стійкості шнеків, наплавлених стрічковим релітом зростає до 20 ... 40 тон брикетної продукції, а в окремих випадках може сягати 80 тон брикетної продукції.

Висновки

1. Розглянуто робочі параметри обладнання для виготовлення брикетів та пелет. Визначено перелік чинників, яким піддаються формоутворюючі поверхні обладнання для виготовлення брикетів та пелет під час роботи.
2. Запропоновано схему процесу фрикційної взаємодії в парі «пресована тирса – сталь» з врахуванням вище відмічених чинників. Проаналізовано процеси зношування робочих поверхонь обладнання для виготовлення брикетів та пелет.
3. Висвітлено перелік матеріалів з яких виготовляються робочі швидкозношувані органи обладнання для виготовлення брикетів та пелет, а також матеріалів, що використовуються для нанесення зносостійких покриттів. Запропоновано матеріал та технологію його нанесення для більш ефективного захисту швидкозношуваних робочих органів обладнання для виготовлення брикетів та пелет.
4. Отримано результати промислового впровадження запропонованої технології зміцнення формоутворюючих поверхонь обладнання для виготовлення брикетів та пелет.

Література

1. Морозова Г.А. Экономическая оценка рационального использования вторичных ресурсов / Г.А. Морозова, Т.В. Трофимова // Вестник Нижегородского государственного университета им. Лобачевского. – 2012. – № 2. – С. 214-218.
2. Высоцкий С.П. Использование биологических ресурсов для получения энергии / С.П. Высоцкий, К.В. Айрапетян // Тез. 4-й Международной конференции "Стратегия качества в промышленности и образовании". – Болгария, Варна, 2010. – С. 88-91.
3. Памфилов Е.А. Изнашивание деталей из железоуглеродистых сплавов при фрикционном контакте с древесиной / Е.А. Памфилов, Я.С. Прозоров // Системы. Методы. Технологии. – 2012. – №1 (13). – С. 49-53
4. Зотов Г.А. Повышение стойкости дереворежущего инструмента / Г.А. Зотов, Е.А. Памфилов. – М.: Экология. – 1991. – 304 с.
5. Porankiewicz B. Factors influencing steel tool wear when milling wood / B. Porankiewicz, J. Sandak, C. Tanaka // Wood Science & Technology. – 2005. – № 39(3). – P. 225-234.
6. Pamfilov E.A. Some issues of tools hydrogen wear / E.A. Pamfilov, M.N. Petrenko // Dolgovechnost' trushchikhsya detaley mashin: sb.st. – 1986. – № 1. – P. 148-153.
7. Трошин А. Г. Развитие процессов и оборудования для производства топливных брикетов из биомассы / А. Г. Трошин, В.Ф. Моисеев, И.А. Тельнов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 3(45). – С. 36-40.
8. Гомонай, В. М. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы: учеб. / В. М. Гомонай. – М. : ГОУ МИО МГУЛ. – 2006. – 68 с.
9. Юзвенко Ю.А. Абразивный износ композиционных сплавов / Ю.А. Юзвенко, А.П. Жудра, Е.И. Фрумин // Автоматическая сварка. – 1973. – № 7. – С. 62-63.
10. Белый А.И. Износостойкость и прочность карбидов WC-W₂C, полученных различными способами / А.И. Белый // Автоматическая сварка. – 2010. – № 12. – С. 20-23.
11. Бурда М.Й. Методика і пристрій для дослідження матеріалів на абразивне зношування / М.Й. Бурда, Д.Л. Луцак, Ю.М. Бурда // Інтелектуальний продукт вчених, винахідників і раціоналізаторів Прикарпаття: кат. персп. винаходів, корис. моделей, пром. зразків і рац. пропоз. – Івано-Франківськ: [б. в.]. – 2010. – С. 12-13.

Поступила в редакцію 25.03.2015

Lutsak D.L., Pylypchenko O.V., Burda M.J. **Hardening of the working tools of equipment for manufacturing fuel briquettes and pellets.**

The article describes the list of factors experienced by working tools of equipment for manufacturing wood briquettes and pellets during exploitation, scheme of frictional interaction in pair of «pressed sawdust -steel» and a list of materials and technologies used for hardfacing of the working tools of the mentioned equipment. The authors offer to apply acetylene-oxygen method of coating «relit» on the working surfaces for more effective protection of quick-wear parts of briquetting presses, including screw extruders. Those coatings are characterized with high wear resistance against strong abrasive effect.

Key words: fuel briquettes, pellets, wear, hardening, extruder, screw, gas-flame surfacing.

References

1. Morozova G.A., Trofimova T.V. Jekonomicheskaja ocenka racional'nogo ispol'zovanija vtorichnyh resursov. Vestnik Nizhegorodskogo gosudarstvennogo universiteta im. Lobachev-skogo. 2012. № 2. S. 214-218.
2. Vysockij S.P., Ajrapetjan , K.V. Ispol'zovanie biologicheskikh resursov dlja poluchenija jenerгии. Tez. 4-j Mezhdunarodnoj konferencii "Strategija kachestva v promyshlennosti i obrazovanii". – Bolgarija, Varna, 2010. – S. 88-91.
3. Pamfilov E.A., Prozorov Ja.S. Iznashivanie detalej iz zhelezouglerodistyh splavov pri frikcionnom kon-takte s drevesinoj. Sistemy. Metody. Tehnologii. 2012. №1 (13). S. 49-53
4. Zotov G..A., Pamfilov E.A. Povyshenie stojkosti derevorezhushhego instrumenta. M.: Jekologija. 1991. 304 s.
5. Porankiewicz B., Sandak J., Tanaka C. Factors influencing steel tool wear when milling wood. Wood Science & Technology. 2005. № 39(3). P. 225-234.
6. Pamfilov E.A., Petrenko M.N. Some issues of tools hydrogen wear. Dol-govechnost' trushchikhsya detaley mashin: sb.st. 1986. № 1. P. 148-153.
7. Troshin A. G., Moiseev V.F. , Tel'nov I.A. Razvitie processov i oborudovanija dlja proizvodstva toplivnyh briketov iz biomassy. Vostochno-Evropskij zhurnalпередovyh teh-nologij. 2010. № 3(45). S. 36-40.
8. Gomonaj, V. M. Proizvodstvo toplivnyh briketov. Drevesnoe syr'e, oborudovanie, tehnologii, rezhimy raboty: ucheb. M. : GOU MIO MGUL. 2006. 68 s.
9. Juzvenko Ju.A., Zhudra A.P., Frumin E.I. Abrazivnyj iznos kompozicionnyh splavov. Avtomaticheskaja svarka. 1973. № 7. S. 62-63.
10. Belyj A.I. Iznosostojkost' i prochnost' karbidov WC-W2C, poluchennyh razlichnymi sposobami. Avtomaticheskaja svarka. 2010. № 12. S. 20-23.
11. Burda M.J., Lucak D.L., Burda Ju. M. Metodika i pristirij dlja doslidzhennja materialiv na abrazivne znoshuvannja. Intelktual'nij produkt vchenih, vinahidnikiv i racionalizatoriv Pri-karpattja: kat. persp. vinahodiv, koris. modelej, prom. zrazkiv i rac. propoz. Ivano-Frankivs'k: [b. v.]. 2010. C. 12-13.