

УДК 539.001.5

Мілянчик А.Р., Львівська філія Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна (Львів, Україна)

Метод та інструмент руйнування залишків застиглого пеку в залізничних цистернах

Ключові слова: кам'яновугільний застиглий пек, інструмент, шарошка, шип, цистерна, деформація, зусилля.

Вступ та постановка проблеми

Пек – тверда або в'язка маса чорного кольору, яка залишається від перегонки кам'яного вугілля, торф'яного або деревного дьогтю, сірки та смоли [1] (рис.1). Він, в основному, застосовується для виготовлення покрівельного гідроізоляційного матеріалу, графітових електродів та ряду виробів електроізоляційного призначення.



Рис. 1 – Застиглий кам'яновугільний пек

Транспортування рідкого пеку здійснюється, у більшості випадків, залізничними цистернами [2], з вивантаженням способом сифонування. Після прибуття вантажу в пункт призначення і його розвантаження, застигли в цистернах залишки пеку становлять доволі значну кількість. Так, наприклад, за даними вагонного депо Дрогобич (Львівська залізниця) в 2013 р. в цистернах, що прибули для зачистки та утилізації залишків застиглого пеку, його кількість складала від 2 до 2,6 т.

Підготовка порожнин котлів цистерн для їх повторного ефективного використання пов'язана із видаленням застиглих органічних залишків та якісного очищення внутрішньої металевої поверхні [3].

Проблематичність технологічного процесу очищення внутрішньої поверхні цистерн полягає, в першу чергу, у складності руйнування монолітності застиглої маси та порушення адгезійних зв'язків із металом внутрішньої поверхні цистерни [4, 5]. Особливістю процесу видалення залишків на даний час є застосування виключно фізичної робочої сили при абсолютній відсутності будь-яких засобів механізації.

Аналіз літературних джерел та викладення основного матеріалу

Слід констатувати, що натеper для органічних матеріалів, до яких відноситься і кам'яно-вугільний пек з властивими йому певними міцністними та пружними характеристиками, ще не розроблені, надійні та ефективні методи і засоби механізації, які дозволяють досягати умов гарантованого руйнування таких матеріалів при складному напруженому стані, який властивий застиглому пеку [6].

Фахівцями Львівської філії ДНУЗТ розроблена мобільна механізована установка і комбінований інструмент для ефективного руйнування залишків застиглого пеку та їх видалення із порожнин залізничних цистерн, що дозволить здійснювати зазначену технологічну операцію при мінімальному безпосередньому втручанні робітників.

Дана установка передбачає застосування розробленого комбінованого інструменту з набором комплексу руйнівних шарошок і голкофрез, набраних у формі кільцевої торцевої щітки. Інструмент обробки закріплений на рухомій консолі з можливістю здійснювати ним зворотно-поступальні коливні та поздовжні переміщення. Крім того, передбачено ізолювання окремим кожухом зони обробки з можливістю наступного вентиляційно-витяжного видалення роздрібнених часточок залишків пеку та пилу.

Розроблений автором інструмент передбачає в якості руйнівних елементів застосування гартованих шарошок (рис.2), які окрім обертового руху одночасно здійснюють ще й динамічні удари, що гарантує підвищення ефективності процесу руйнування залишків.

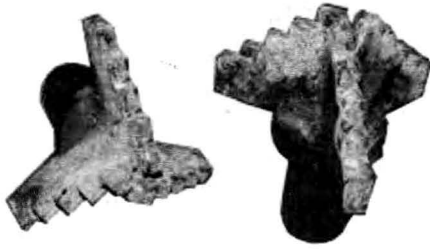


Рис. 2 – Руйнівні шарошки

Схема переміщення робочих елементів шарошки наведена на рис.3, де положення 1 вказує на розташування шипів шарошки при ударі, а положення 2 – при її одночасному обертанні навколо своєї осі, тобто, переміщення шарошки із положення в точці O'' в точку O .

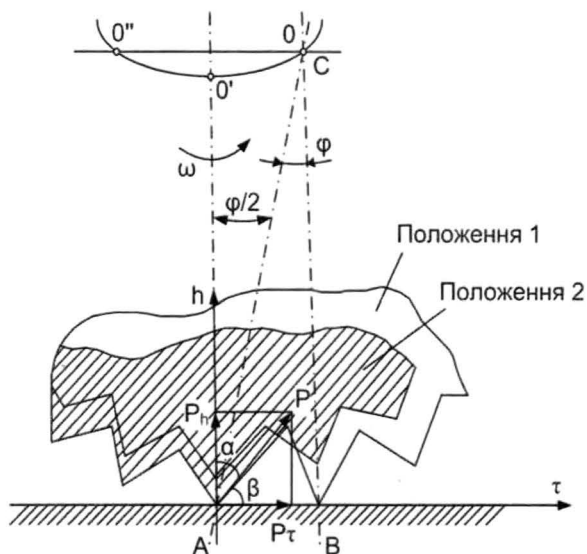


Рис. 3 – Схема контактної взаємодії елементів шарошки

Внаслідок аналізу експериментальних і теоретичних досліджень [7-10] встановлено, що доударна кінетична енергія робочих елементів шарошки витрачається на пружно-пластичну деформацію поверхневого шару застиглого пеку та пружне деформування безпосередньо робочих елементів шарошки. За методом простих ітерацій встановлюємо величину максимального зусилля динамічного удару шарошки в поверхневий шар застиглого пеку [6]:

$$P_{\max} = \frac{m \cdot V_n - \chi \cdot (P_{\max}^2 - N_s^2) - \chi \cdot C_r \cdot (P_{\max} - N_s)}{k \cdot \sqrt[3]{P_{\max} \cdot (C_r + 0,8)}}, \quad (1)$$

де m – маса одиничного шипа шарошки;
 V_n – поточне значення складової швидкості співудару шипа шарошки з поверхнею застиглого пеку;

χ – коефіцієнт, що враховує розміри контактної поверхні шипа та пластичні властивості матеріалу обробки [7];

N_s – критичне зусилля, яке відповідає початку зародження пластичної деформації, отримане при проведенні серії динамічних випробовувань;

C_r – згинальна жорсткість одиничного шипа шарошки;

k – коефіцієнт, який враховує пружні властивості матеріалів шипа шарошки та пеку.

Наведені в залежності (1) складові розраховуються згідно наступних формул [11]:

$$k = \left[3\pi \cdot \left(\frac{1 - \mu_1^2}{\pi \cdot E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{\pi \cdot E_2} \right)^{-1} \right]^{-2/3}, \quad (2)$$

де μ_1 і μ_2 ; E_1 і E_2 – відповідно коефіцієнти Пуассона та модулі пружності матеріалів шипа шарошки та пеку;

$$C_r = \frac{P_r}{K_r} = \frac{P \cdot \cos \beta}{\frac{P_n \cdot h_w^3}{3E_1 \cdot J} \cdot \cos \alpha}, \quad (3)$$

де P_r та P_n – відповідно проекції зусилля P на вісь τ і n (див. рис.3);

h_w – висота шипа шарошки;

J – осьовий момент інерції поперечного перерізу шипа;

Значення N_s встановлюється згідно рекомендованої методики [6]

$$N_s = 0,25 \cdot (0,45 \cdot \text{НД}_\text{д} - 1224), \quad (4)$$

де $\text{НД}_\text{д}$ – число динамічної пластичної твердості, величина якого визначається згідно наступної залежності:

$$\text{НД}_\text{д} = 0,5 \cdot \left\{ 1 - 137 \cdot V_n (\text{НД})^{-1} + \sqrt{1 + 2250 \cdot V_n (\text{НД})^{-1}} \right\} \cdot \text{НД}, \quad (5)$$

де $\text{НД} = \frac{23}{49} \text{HB}^{100/89}$ – число статичної пластичної твердості, в свою чергу HB – твердість матеріалу за Бринелем.

В результаті проведення ряду експериментальних досліджень із прийнятим певним інтервалом технологічних режимів обробки встановлено, що максимальне зусилля ефективного руйнування монолітності застиглого пеку перебуває в діапазоні $P_{\max} = (10^2 \dots 5,5 \cdot 10^3) \text{H}$.

Порівнювання дослідних результатів із отриманими за наведеними моделями показує, що величина відносної середньоквадратичної похибки становить 6,6 %.

Висновки

1. Величина максимального зусилля динамічного удару шарошки в поверхневий шар застиглого пеку становить $5,5 \cdot 10^3$ Н.

2. Отримані значення та математичні моделі дозволять прогнозувати технологічні режими обладнання при виконанні очищення залізничних цистерн та встановлювати оптимальні витрати потужностей для даного процесу.

3. Запропонована автором конструкція робочого інструменту для застосування в механічній установці при її впровадженні в залізничних вагоноремонтних депо дозволять суттєво підвищити продуктивність технологічних процесів підготовки залізничних цистерн для їх наступного ефективного застосування.

Література

1. Привалов В.Е. Каменноугольный пек / В.Е. Привалов, М.А. Степаненко. – М.: Металлургия. – 1981. – 208 с.
2. Губенко В. К. Цистерна для жидкого пека / В. К. Губенко, А. М. Берестовой, С. С. Ткаченко // Пром. транспорт. – 1975. – № 9. – С. 8–9.
3. Повышение эффективности погрузочно-разгрузочных работ при перевозке легкозатвердевающих продуктов / Г. М. Водяник, О. В. Чернов, А. М. Берестовой, В. К. Губенко // Изв. Сев.-Кавк. науч. центра высш. школы. Техн. науки. – 1977. – N 1. – С. 81–82.
4. Hess G. Tank car travails: Regulators mull new safeguards for railcars that carry liquid hazardous materials / G. Hess // Chemical and Engineering News. – 2013. – N 91 (41). PP. 27-28.
5. Пительгузов Н.А. Особенности технологических операций подготовки цистерн при перевозке химически опасных грузов / Н.А. Пительгузов, Т.Б. Ивченко, В.В. Федорченко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: наук. журн. – 2011. – № 6. – С. 135-139.
6. Куліченко А.Я. Теорія руйнування ортотропних матеріалів у вигляді залишків застиглого пеку в котлах залізничних цистерн / А.Я. Куліченко, А.Р. Мілянчик // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – 2012. – Вип. 41. – С. 64-70.
7. Куліченко А.Я. Термомеханічна поверхнева очисно-зміцнююча обробка металу / А.Я. Куліченко // – Львів: Кобзар, 1997. – 216 с.
8. Weltschev M. Comparison of the operating life of tank containers, tank vehicles and rail tank cars for the carriage of dangerous goods in practice, analysis of causes of damage / M. Weltschev, S. Schwarzer, F. Otremba // Chemical Engineering Transactions. – 2013. – N 31, PP. 559-564.
9. Ahad F.R. Modeling the dynamic failure of railroad tank cars using a physically motivated internal state variable plasticity/damage nonlocal model / F.R. Ahad, K. Enakoutsa, K.N. Solanki, Y. Tjiptowidjojo, D.J. Bammann // Modelling and Simulation in Engineering. – 2013.
10. Пономарев С.Д. Расчеты на прочность в машиностроении. Т 3. Колебания и ударные нагрузки / С.Д. Пономарев, В.М. Бидерман, К.К. Лихарев // – М.: Машгиз, 1969. – 1118 с.
11. Долгов Н.И. О расчете на изгиб стержней большой жесткости. В кн.: Расчеты на прочность. Вып. 9. / Н.И. Долгов // – М.: Машгиз, 1983. – С. 56-81.