

## РОЗДІЛ «БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ»

УДК 622.465.3

ЕВСТРАТЕНКО Л.И., аспирант  
ЮРЧЕНКО А.А., к.т.н., доцент

Криворожский национальный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУХА  
В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ ОБРУШЕННЫХ ЗОН РУДНИКОВ КРИВБАССА

**Введение.** Опыт эксплуатации рудников Кривбасса свидетельствует о значительном влиянии аэродинамически активных зон обрушений на эффективность функционирования вентиляционных систем при добыче руды с глубоких рудников. В этих условиях для правильного решения основных вопросов по повышению эффективности проветривания глубоких рудников важнейшей задачей является достоверная оценка параметров фильтрационных потоков и режимов движения воздуха в пористой среде обрушенных зон рудников.

**Постановка задачи.** Движение газа в пористой среде обрушенных зон связано с возникновением сильных возмущений, обусловленных чрезвычайно сложной конфигурацией пор. Поэтому скорости движения газа в пористой среде незначительны по сравнению с движением в каналах. Факторами такого возмущения являются: множество резких поворотов на сравнительно малых отрезках длины поровых каналов; срыв струи с многочисленных выступов и образование местных вихрей; возникновение возмущений в потоке в результате слияния отдельных струек, которые зачастую разнонаправлены и имеют различную величину скорости. В связи с этим при фильтрации в пористой среде отклонение от закона Дарси происходит достаточно плавно и при малых числах Рейнольдса ( $Re$ ). Плавный переход одного режима фильтрации в другой при движении газа в пористой среде обусловлен также наличием пор различного диаметра.

При достижении значений числа Рейнольдса выше критического, т.е. когда имеет место увеличение скорости движения флюида в пористой среде, нарушается линейный закон фильтрации и происходит переход через неустойчивую зону к турбулентному режиму.

Целью настоящей публикации является проведение исследований по установлению режимов фильтрации воздуха в пористой среде обрушенных зон рудников Кривбасса.

**Результаты работы.** С известной долей приближения суммарный градиент давления при движении жидкости в порах породы можно представить как сумму потерь от инерционных сил и от сил трения [1]:

$$\Delta P = \frac{2L\mu}{k_{np}} v_{\phi} + \frac{2L\rho}{k_T} v_{\phi}^2, \quad (1)$$

где  $\Delta P$  – перепад давления, Па;

$L$  – длина (или толщина слоя) пористой среды, м;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu$  – динамическая вязкость воздуха, Н·с/м<sup>2</sup>;

$v_{\phi}$  – скорость фильтрации, м/с;

$k_{np}$  – коэффициент проницаемости пористой среды, определяемый экспериментально при ламинарном режиме течения;

$k_T$  – коэффициент проницаемости пористой среды, определяемый экспериментально при турбулентном режиме течения.

Турбулентность потока в различных порах возникает не одновременно. Если в некоторых из них движение идет при уже сформировавшемся турбулентном потоке, то в других он может только зародиться. При этом общего перемешивания потока, которое происходит в трубах при турбулентном движении, в пористой среде не может быть из-за наличия перегородки между отдельными порами.

Таким образом, все перечисленные выше факторы снижают критическое значение числа  $Re$  для пористой среды и приводят к плавному переходу режима фильтрации от чисто ламинарного до вполне сформировавшегося турбулентного режима и вызывают его значительно быстрее, чем это наблюдается в единичных каналах (щелях или трубах). Выделить из этого множества фактор, преобладающий для данной пористой среды, пока не представляется возможным.

В условиях сформировавшегося турбулентного режима фильтрации газа в пористой среде, когда коэффициент гидравлического сопротивления  $\lambda_T$  не зависит от параметра  $Re_T$ , для определения потери давления принят параметр, учитывающий суммарно все изложенные выше факторы [2]. Таким параметром для пористой среды является параметр турбулентности  $k_T$  или иначе ее проницаемость при вполне сформировавшемся турбулентном режиме фильтрации.

Все факторы, резко снижающие критическое значение параметра  $Re_T$  для пористой среды по сравнению с трубами и приводящие к плавному отклонению сопротивления при увеличении скорости фильтрации от найденного согласно линейному закону, зависят от структуры порового пространства. Следовательно, параметр турбулентности пористой среды  $k_T$  является ее функцией. В свою очередь структура порового пространства обуславливается породообразующим материалом, его укладкой, цементирующим веществом и рядом дополнительных причин, влияющих на обычные характеристики пористой среды: проницаемость, пористость, эффективный диаметр зерна, средний радиус пор и т.д. Поэтому вполне естественно связывают параметр турбулентности пористой среды с обычными характеристиками породы.

Параметр турбулентности пористой среды можно рассчитать по следующей формуле [3]:

$$k_T = \frac{gd_{cp}^2}{N_T\gamma}, \quad (2)$$

где  $N_T$  – постоянная величина для определенного гранулометрического состава пористой среды, обладающей свойственной лишь ей структурой шероховатости на внешней поверхности кусков и присущим ей эквивалентным диаметром каналов [4]; для устойчивого турбулентного режима в пористой среде можно принимать  $N_T = f$  [4];

$d_{cp}$  – средний диаметр пор, мм;

$\gamma$  – удельный вес воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$f$  – коэффициент аэродинамического сопротивления пористой среды.

На рис.1 показана зависимость параметра турбулентности пористой среды от среднего диаметра зерна породы.

Как видно из графика (рис.1), параметр  $k_T$  возрастает с увеличением среднего диаметра пор  $d_{cp}$ , который определяется по зависимости, полученной на основании исследований [4]:

$$d_{cp} = 1,311 \exp 0,0575d_k, \quad (3)$$

где  $d_k$  – диаметр частиц породы, мм.

Количество приведенных данных на графике ограничено в связи с тем, что не по всем образцам пористых сред, на которых исследовались режимы фильтрации жидкостей и газов, проводился ситовой анализ порообразующего материала.

Подставляя в выражение (2) зависимость (3) и с учетом того, что  $N_T = f$ , получим

$$k_T = 1,719 \frac{g(\exp 0,0575 d_k)}{f\gamma}$$

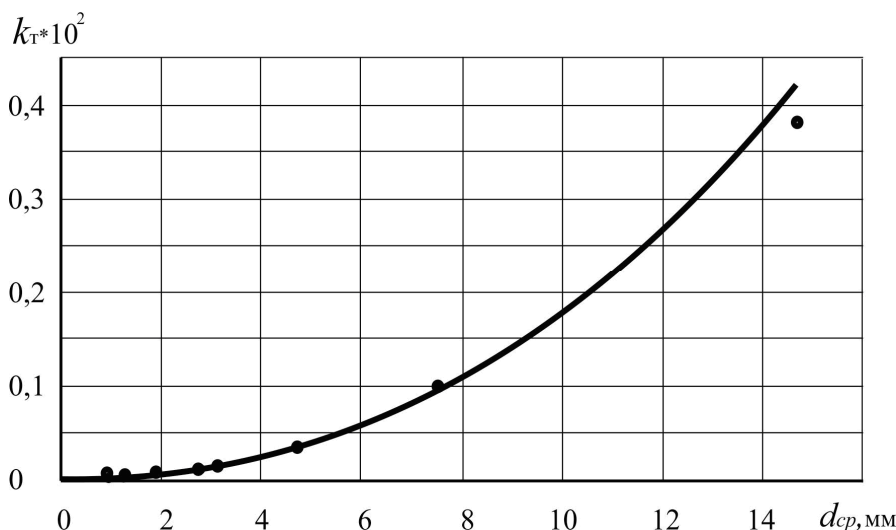


Рисунок 1 – Зависимость  $k_T$  от  $d_{cp}$

Изменение параметра  $k_T$  наблюдается и от коэффициента пористости  $m$  (рис.2).

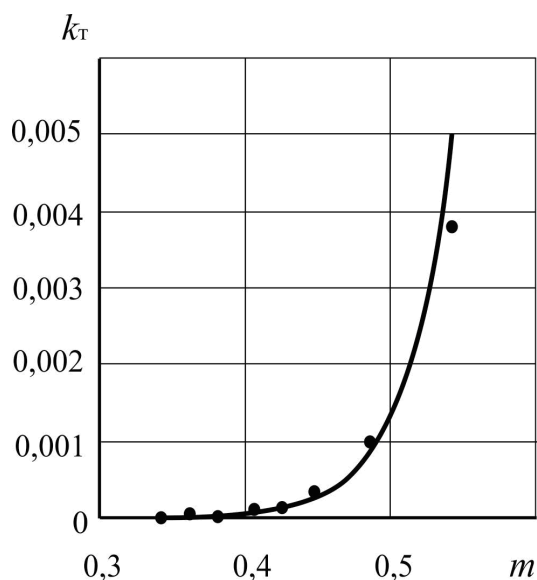


Рисунок 2 – Зависимость  $k_T$  от коэффициента пористости  $m$

С увеличением значений  $m$  параметр турбулентности пористой среды возрастает. Подобная тенденция к изменению параметра  $k_T$  наблюдается и от отношений проницаемости пористой среды к среднему радиусу пор или к эффективному диаметру зерна.

Как видно из графиков рис.1 и 2, параметр турбулентности пористой среды неоднозначно зависит от тех или иных обычных параметров породы. По-видимому, эта зависимость имеет более сложный характер и не остается постоянной для различных серий пористых сред, образовавшихся при отличных геологических условиях.

Параметр турбулентности пористой среды и проницаемость породы имеют различный физический смысл. Пер-

вый обуславливает потерю давления при квадратичном законе фильтрации и имеет размерность длины. Второй характеризует пористую среду при движении в ней жидкостей или газов по закону Дарси и имеет размерность площади. Однако, как видно из рис.3, некоторая зависимость между параметром турбулентности пористой среды и коэффициентом проницаемости для исследованных образцов породы существует. Это

происходит потому, что параметр турбулентности пористой среды обуславливается суммой рассмотренных выше факторов, которые влияют также до некоторой степени и на проницаемость породы, а общее сочетание их, по-видимому, характерно для первого и второго параметров. Найденная эмпирическая зависимость между параметром турбулентности пористой среды и коэффициентом проницаемости нанесена на график (рис.3) и имеет вид

$$k_T = 1 \cdot 10^{-6} e^{1,402k} \quad (4)$$

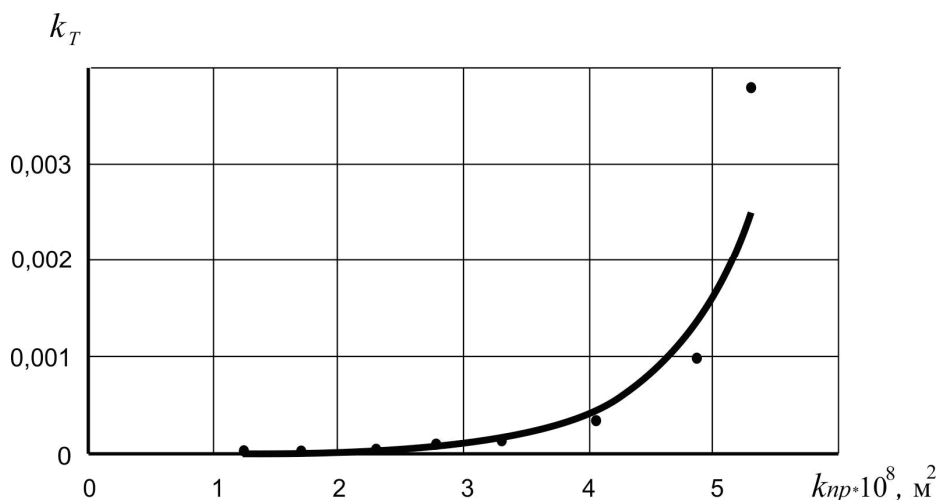


Рисунок 3 – Зависимость параметра турбулентности пористой среды от проницаемости

Полученное выражение не рассчитано на высокую точность определения параметра турбулентности пористой среды по коэффициенту проницаемости, поэтому может быть рекомендовано лишь как оценочное.

Учитывая выражение (4), можно без непосредственного определения величины параметра турбулентности пористой среды, что в некоторых случаях значительно затруднено, приближенно рассчитать потерю давления по двучленному уравнению, которое справедливо в любом диапазоне чисел  $Re_T$ . Для такого оценочного расчета на основании формулы (1) и эмпирического выражения (4) двучленное уравнение можно представить в виде

$$\Delta P = \frac{2L\mu}{k_{np}} v_{\phi} + \frac{2 \cdot 10^6 L\rho}{\exp 1,402k_{np}} v_{\phi}^2 \quad (5)$$

**Выводы.** Таким образом, потерю давления при фильтрации газов в пористой среде более правильно определять по двучленной формуле с применением параметров породы, по которой происходит движение газа (проницаемости и турбулентности пористой среды). При малых значениях параметра  $Re$  ошибка в расчете потери давления по уравнению Дарси в сравнении с экспериментом будет незначительной, но при возрастании этого числа значительно выше критического при заданной точности проводимых расчетов будет заметно увеличиваться разница между рассчитанным и замеренным (при экспериментальном исследовании) перепадом давления на участке пористой среды. Во втором случае, при больших значениях параметра  $Re$  расчет по квадратичной зависимости будет приближаться к действительности по мере увеличения скорости фильтрации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ф.А. Рудничная аэрогазодинамика / Ф.А.Абрамов. – М.: Недра, 1972. – 272с.
2. Пятибрат В.П. Подземная гидромеханика / В.П.Пятибрат. – Ухта: УГТУ, 2002. – 100с.

3. Савенко С.К. Аэрогазодинамика массовых взрывов в рудниках / Савенко С.К., Морозов Е.Г., Бережной В.И. – М.: Недра, 1976. – 184с.
4. Луговский С.И. Проветривание глубоких рудников / С.И.Луговский. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 323с.

*Поступила в редколлегию 27.06.2014.*

УДК 613.6.027:669-131.2

РОМАНЮК Р.Я., к.т.н, ст. викладач  
ЛЕВЧУК К.О., к.е.н., доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

## **БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРИ ПРОКАТЦІ ЖЕРСТІ**

**Вступ.** Жерсть – тонкий холоднокатаний лист з низьковуглецевої сталі, який застосовується для виготовлення легких штампованих та зварних конструкцій в машинобудуванні, електротехнічній, консервній та легкій промисловості, приладобудуванні та інших галузях економіки держави [1].

Аналіз сортаменту сталевого прокату, отриманого у світі за останні 25 років, показує, що обсяг холоднокатаної сталі безупинно збільшувався. В останні роки ця тенденція підсилася і за прогнозами в найближчі 10-20 років збережеться. Поряд зі збільшенням обсягу розширився сортамент і зросли вимоги, що пред'являються до точності геометричних розмірів, якості поверхні і властивостей холоднокатаного прокату. Одночасно з цим, особливу актуальність набули питання економії металу, енергоресурсів, трудових та інших матеріальних витрат (інструмента, технологічного змащення, кислоти, захисного газу тощо) при виробництві.

Особливої уваги потребують і питання, пов'язані із безпекою праці при прокатці, оскільки виробничий травматизм і профзахворювання не випадково прирівнюються до національних лих. Вони не тільки заподіюють горе і біль постраждалим, їх рідним і близьким, але і спричиняють величезні, непоправні суспільні втрати, негативно впливають на економіку країни, рівень життя людей.

В умовах, що не відповідають санітарно-гігієнічним нормам, в Україні працює зараз більше 3,4 млн. чоловік, забезпечення засобами індивідуального захисту складає 40-50%, 850 тис. машин, механізмів, транспортних засобів не відповідають вимогам безпеки, більш як 10 тис. виробничих будівель і споруджень знаходяться в аварійному стані [2].

На думку іноземних фахівців, велика кількість нещасних випадків зі смертельними наслідками в Україні обумовлена наступними причинами: незадовільною підготовкою працівників і керівників з питань охорони праці, відсутністю належного контролю за станом безпеки і виконанням встановлених норм, недостатньою забезпеченістю працюючих засобами індивідуального захисту, повільним впровадженням методів і пристроїв колективної безпеки на підприємствах, зношеністю (у деяких галузях до 80%) засобів виробництва.

**Постановка задачі.** Метою даної роботи є аналіз небезпечних та шкідливих факторів холодної прокатки жерсті за сучасною технологією і розробка рекомендацій з поліпшення умов праці, зниження травматизму та профзахворювань.

**Результати роботи.** Для створення безпечних умов праці в прокатних цехах, в тому числі і при холодній прокатці, необхідно передбачати: ефективну аерацію будівель, установку вентиляційних і аспіраційних пристроїв, повітряне та повітряно-водяне

душування робочих зон і робочих місць, кондиціонування повітря, захист від джерел тепловипромінювання, електричних, електромагнітних і магнітних полів, ультразвуку, шуму, широке використання засобів колективного та індивідуального захисту, нормоване освітлення, систематичне та ретельне прибирання приміщень.

З метою виявлення небезпечних та шкідливих факторів при виробництві жерсті на стадіях технології проаналізуємо сучасний процес холодної прокатки жерсті, схему якого наведено на рис.1 [1]. У відповідності до цієї схеми гарячекатана полоса в рулонах 1 проходить травлення в безперервних агрегатах 2. Потім вона надходить на 6-тиклітьовий стан нескінченної холодної прокатки 3. Далі частина металу направляється на агрегати електролітичної очистки 4 та в ковпакові печі відпалу 5, а інша – в агрегат безперервного відпалу 6. В головній частині агрегату встановлено обладнання для очищення полоси від технологічного мастила до її потрапляння в камеру підігріву. Після термообробки в ковпакових печах або в агрегатах безперервного відпалу частину металу в рулонах направляють до стану повторної холодної прокатки 7 для отримання тонкої та надтонкої жерсті, а інша частина металу, призначена для отримання жерсті звичайним (одинарним) способом, поступає до дресирувального стану 8. Далі слідує агрегат підготовки полоси 9, де здійснюють обрізання кінців, вирізку дефектних ділянок полоси, обрізання бокових кромки та комплектацію рулонів за товщиною та масою. Далі частина жерсті поступає на агрегати 10, 11 та 12 для нанесення захисних покриттів, інша – агрегат порізки полоси на окремі листи 13. Остаточні операції, тобто операції нанесення захисних покриттів, здійснюються на лініях електролітичного лудіння 10, хромування 11 та вакуумного алюмініювання 12. Потім готову продукцію сортують та упаковують на стендах 14 і транспортують у вигляді рулонів або листів покупцю 15.

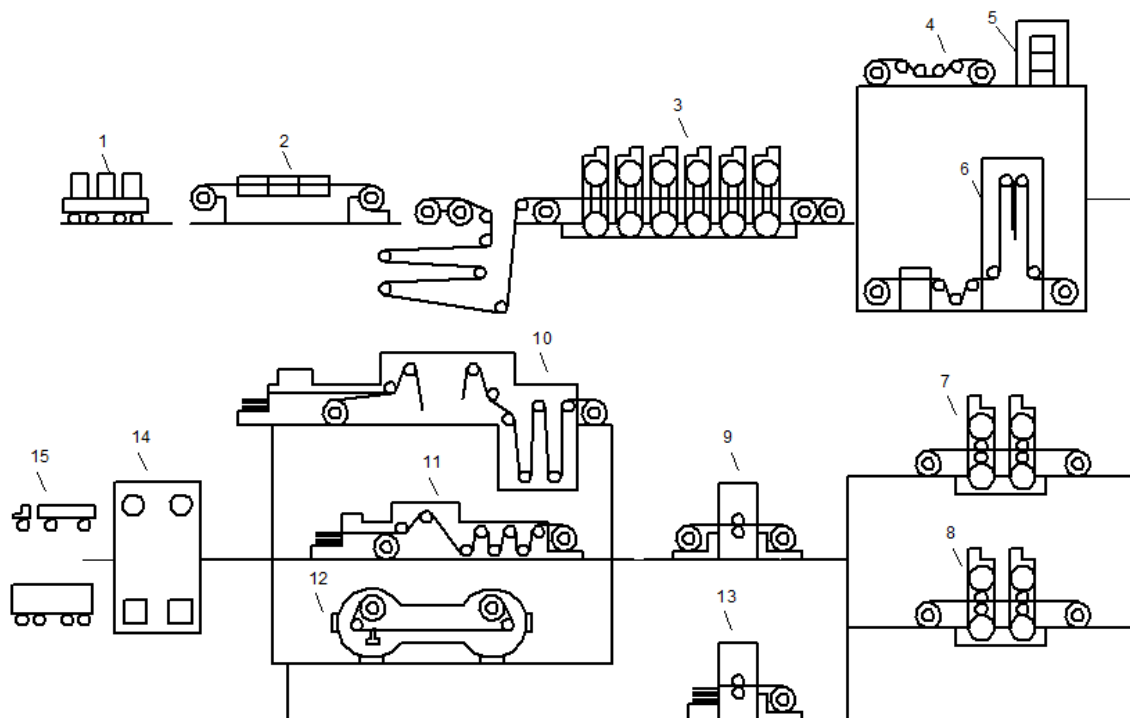


Рисунок 1 – Сучасна схема технологічного процесу холодної прокатки жерсті

Отже, основними операціями є травлення, холодна прокатка, термообробка (відпал) та нанесення захисних покриттів.

Щоб уникнути аварійних ситуацій на прокатних станах, необхідна установка автоматизованих систем контролю за роботою основного механічного та електричного ус-

таткування з використанням електронно-обчислювальних машин.

Для підвищення рівня безпеки всього технологічного процесу холодної прокатки підкати (гарячекатані полоси) не повинні мати дефектів сталеплавильного та прокатного походження, повинні мати точні розміри і якісну поверхню.

На складі гарячекатаних рулонів, у відділеннях ковпакових печей і агрегатів для термообробки та нанесення захисних покриттів спостерігається значне виділення тепла. Для оздоровлення умов праці слід, по можливості, виключити роботу працівників в цих місцях, що досягається комплексною механізацією та автоматизацією процесу. Крім цього, рекомендується застосовувати екранування, що відводить або відбиває поглинаюче тепло, повітряних душів, охолодження поверхонь на робочих місцях, проектування раціональної аерації, використання раціональних режимів праці та відпочинку, облаштування захищених від тепла, що випромінюється, місць відпочинку, проведення заходів профілактики працюючих (забезпечення спецодягом, засобами індивідуального захисту, водою тощо). У цих відділеннях робоче опалення, як правило, не передбачається.

Очищення металу перед травленням проводять в закритих камерах. Очисні відділення повністю герметизують і обладнують витяжною вентиляцією.

Травлення необхідне для видалення окалини з поверхні гарячекатаної полоси. Воно включає підготовку поверхні, взаємодію електроліту (розчини солей, кислот, лугів) з половою та очищення поверхні від продуктів травлення. При травленні основними шкідливими факторами є підвищена загазованість парами шкідливих хімічних речовин, підвищена температура поверхні полоси, підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло працівника, пожежо-, вибухонебезпечність, бризки кислот і лугів токсичних електролітів і розчинів.

Для запобігання виділення парів кислот і води всі ванни вкривають щільно кришками. Отвори для виходу полоси в торцях ванн закривають прогумованими фартухами. Отвори для введення трубопроводів у ванни ретельно закривають пластинами. На ваннах, з метою створення в них розрідження, передбачають патрубки для відсмоктування газів. Стіни та підлоги, підвісні пристосування (траверси, кошики та інші) повинні бути виготовленими з матеріалу, стійкого до впливу кислот і лугів.

Технологічний процес травлення повинен бути повністю автоматизованим.

Приміщення для травлення металів повинно бути ізольованим від інших виробничих дільниць і оснащеним системою припливно-витяжної вентиляції з очищенням повітря. Ванни для травлення повинні бути обладнаними бортовими відсосами, які включаються з початком підігріву ванн, а вимикаються після повного охолодження. Опалення в безперервно-травильному відділенні передбачається повітряне – підігрівом припливного повітря.

Працівники, зайняті травленням металів, повинні забезпечуватися засобами індивідуального захисту та спецодягом (костюм бавовняний з кислотозахисним просоченням, фартух прогумований з нагрудником, чоботи гумові, рукавиці гумові, окуляри захисні) [3].

Шестиклітьовий стан та стани повторної холодної прокатки жерсті застосовуються для отримання необхідних розмірів жерсті, а дресирувальний стан – для формування якісних показників жерсті (механічні властивості, мікрогеометрія поверхні).

Деформації металу на станах холодної прокатки та дресирувальних станах супроводжується багатьма небезпечними факторами.

При експлуатації прокатних станів можливо: захоплення валками, обертовими шпинделями і сполучними муфтами частин одягу та кінцівок вальцювальника, механічні ушкодження осколками, що відлітають, прокатуваного металу. Прокатка жерсті

здійснюється на великій швидкості, при цьому можливі обриви полоси як на заправній, так і на робочій швидкості стану, що може призвести до травмування персоналу стану.

Холодна прокатка характеризується значними навантаженнями на валки (сила, момент прокатки), тому у випадку порушення технологічного процесу (режимів деформації, температури металу, валків) можливі поломки сполучних пристроїв, валків, натискних механізмів, що, в свою чергу, є причинами травмування працівників або нещасних випадків.

При прокатці на валки стану поливається емульсія. Полоса в процесі прокатки розігрівається, що призводить до інтенсивного випару емульсії. Випар починається за другою кліттю і особливо інтенсивно відбувається за передостанньою кліттю та на моталці. Крім небезпеки отруєння працівників парами емульсії, якщо їх не уловити, вони конденсуються на фермах та ліхтарях [4]. Це забруднює електроустаткування та може призвести до загоряння.

Хоча прокатка жерсті відбувається в холодному стані, однак температура металу та валків, а також змащення є достатніми для отримання опіків працівниками стану.

Для безпеки праці на станах холодної прокатки здійснюються наступні заходи:

- всі сполучні шпинделі, муфти, валки прокатних станів обгороджують із боків ґратчастими або суцільними щитами або кожухами;
- стани повинні бути обладнаними захисними пристроями від травмування персоналу осколками металу, що відлітають;
- ретельна розробка режимів деформації, контроль основних параметрів прокатки (товщини, температури полоси, температури валків, тиску металу на валки, сили, моменту, потужності прокатки);
- з метою видалення парів технологічного змащення в міжклітьових проміжках і за останньою кліттю встановлюють витяжні зонти;
- для безпечного переходу працівників через рольганги та транспортери повинні бути обладнані перехідні містки.

Вальцювальники стану холодної прокатки повинні забезпечуватися засобами індивідуального захисту та спецодягом: костюм бавовняний, рукавиці комбіновані, черевки шкіряні, окуляри захисні, респіратор [3].

Відпал – вид термічної обробки, що полягає в нагріванні металу до певної температури, витримці і наступному, як правило, повільному охолодженні.

При термообробці безупинно рухається полоса з гострими крайками та обертаються ролики, в печі є наявність азотно-водневого газу, використовується природний газ у якості палива, а також кислота і луг для очищення полоси. Електричне обладнання безпосередньо в робочому просторі термічного відділення неізольоване.

З метою боротьби з корозією та надання жерсті товарного виду в технологічному процесі використовується обладнання для нанесення захисних покриттів (лудіння, хромування, алюмініювання).

Процес нанесення захисних покриттів складається з підготовки електродів, поверхні жерсті та процесу нанесення.

Хоча процеси термообробки та нанесення захисних покриттів значно різняться, але небезпека їх майже однакова.

Небезпечними та шкідливими факторами цих процесів є: небезпека отримання травм, опіків, загазованість, отруєння шкідливими хімічними речовинами, ураження електричним струмом, виникнення пожеж та вибухів, підвищена температура поверхні виробу і устаткування.

Поліпшення умов праці в термічному відділенні пов'язане з огороженням небезпечних зон, оснащенням припливно-витяжною вентиляцією, встановленням блокування, за допомогою якого автоматично відключається живлення зі струмопровідних



частин при дотику з ними без попереднього відключення живлення, заземленням усіх механізмів та агрегатів.

Для недопущення пожеж будівлю термічного відділення огорожують від інших протипожежними розривами.

Для запобігання вибухів застосовується виключення утворення горючих сумішей, джерел запалювання або самозаймання, локалізація вибуху (джерела горіння) у межах певного пристрою, здатного витримати його наслідки (застосовується, коли не можна виключити можливість утворення горючих сумішей або джерел запалювання).

У відділенні печей (агрегатів) для відпалу проектується ефективна природна вентиляція.

Безпека технологічних процесів нанесення захисних покриттів забезпечується механізацією всіх процесів, герметизацією ванн, встановленням місцевих відсосів, огороження місць виходу полос з ванн покриттів.

Працівники відділень термообробки та нанесення захисних покриттів забезпечуються кислотостійким спецодягом, захисними окулярами, гумовими рукавицями, протигазами [3].

Крім цього, небезпека при виробництві жерсті походить від електромостових кранів, передавальних візків, транспортерів, шлеперів, рольгангів, електроустаткування, агрегатів порізки жерсті, моталок та розмотувачів, агрегатів зварювання рулонів, насосно-акумуляторних станцій [4] тощо.

**Висновки.** Таким чином, проаналізовано основні фактори, які впливають на безпеку праці працівників стану холодної прокатки жерсті. Для цього розглянуто сучасну схему виробництва жерсті, виділено основні чотири стадії процесу, описано шкідливі та небезпечні фактори, а також заходи щодо поліпшення умов праці на них.

Найбільш загальні вимоги безпеки наступні: виключення безпосереднього контакту працюючих з вихідними матеріалами, готовою продукцією, відходами виробництва, повна механізація та автоматизація технологічних процесів, використання захисних і блокувальних пристроїв, що виключають виникнення аварійних ситуацій, проектування ефективної природної, механічної та місцевої вентиляції, освітлення, ретельна розробка та контроль всіх параметрів технологічного процесу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Василев Я.Д. Производство жести методом двойной прокатки / Я.Д.Василев, А.В.Дементиенко, С.Г.Горбунков. – М.: Металлургия, 1994. – 124с.
2. Журнали з охорони праці. [Ел. ресурс.]. – Режим доступу: <http://www.ohoronapraci.kiev.ua/>.
3. Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам загальних професій різних галузей промисловості. [Ел. ресурс.]. – Режим доступу: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/RE16440.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE16440.html).
4. НПАОП 27.1-1.04-09. Правила охорони праці в прокатному виробництві підприємств металургійного комплексу.

Надійшла до редколегії 02.09.2014.