

обработанных деталей / В. Н. Подураев, В. М. Ярославцев, Н. А. Ярославцев // Изв. вузов; сер. Машиностроение. — 1971. — № 8. — С. 121–124. 5. Технології механообробки інструментами з надтвердих матеріалів і твердих сплавів у ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України / М. В. Новіков, В. О. Шепелев, С. А. Клименко [та ін.] // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. — 2005. — Вип. 2. — С. 91–101. 6. Шахбазов Я. О. Математичний аналіз технологічного процесу обробки площин корпусних деталей комбінованими торцевими фрезами / Я. О. Шахбазов, Ю. Б. Стецько, М. Л. Білявський // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. — 2009. — № 642. — С. 32–41.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ МАШИН

В работе предложена феноменологическая модель влияния предварительного пластического деформирования на выходные параметры обработки при торцевом фрезеровании.

TEKNOLOGICHESKIE VOZMOZHNOСТИ POVYSHENIYA PROIZVODITEL'NOSTI BUTT-END FREZEROVANIYA DETAILS OF POLIGRAFICHESKIKH OF MACHINES

In rabote razrobotana fenomenologicheskaya model of vliyaniya predvaritel'nogo plasticheskogo deformirovaniya on vykhodnye parametry obrabotki at torcevom frezerovanii.

Стаття надійшла 01.07.10

УДК 621.928.9

В. А. Батлук, В. В. Батлук

Національний університет «Львівська політехніка»

НАУКОВІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧІВ

Розглядається математична модель процесу транспортування й осаджування твердих частинок з пилогазового струменя пилоуловлюючих апаратів. Побудована розрахункова схема пиловловлювання апаратів з жалюзійним віддільником принципового типу.

Математична модель, пиловловлюючий апарат, тверді частинки, пилогазовий струмінь, розрахункова схема

Існуючі пиловловлювачів не в змозі задовольнити потреби сучасного виробництва. Необхідні конструкції апаратів для очистки повітря від пилу, які б реалізували в собі теорію руйнування турбулентних вихорів, згідно з якою тверді частинки мають можливість виділитися з пилогазового потоку і відбитися до зовнішньої стінки апарата. Основна задача на даному етапі — звільнення частинок пилу від впливу вихоря, що можливо тільки після

його руйнування при зіткненні зі стінкою апарата. Цього можна досягти і виготовленням внутрішньої стінки апарата патрубком виходу чистого повітря не суцільного, а у вигляді жалюзійного віддільника. Для вирішення зазначеної проблеми необхідно створити в апаратах нового типу математичну модель процесу сепарації, де маємо сумарний потік газу. Цей потік є результатом накладання двох потоків: обертового руху в корпусі апарата аналогічно циклонам (плоский вихор) і руху повітря, яке відсмоктується через жалюзійний віддільник (плоский стік). Дослідження руху аерозолу в криволінійному каналі дозволяють виявити механізм руйнування вихорів, що забезпечить і конструювання принципово нових пиловловлювачів, однією з основних відмінностей яких є наявність жалюзійного віддільника. Ввівши результати досліджень у банк даних ЕОМ і маючи дані щодо типу і його фізико-хімічних властивостей, отримуємо можливість вибору найефективнішої конструкції пиловловлювача для конкретних умов виробництва.

Аналіз останніх досліджень показує, що різкого підвищення їх продуктивності і зменшення металоемності можна досягти використанням прямооточного руху двофазних потоків у зоні розділення, при якому не накладаються обмеження на швидкість руху потоків. Найефективнішим принципом пиловиділення при прямооточному русі пилогазового потоку є його відділення у відцентровому полі, інтенсивність якого може у декілька сотень разів перевищувати інтенсивність гравітаційного та інерційного полів, що і визначає основні конструктивні варіанти відцентрово-інерційних пиловловлювачів.

Аналіз існуючих теоретичних основ розділення аерозолів в полі механічних сил довів, що в даний час відсутня теорія процесу розділення гетерогенних систем, яка дала б можливість на її основі розробити принципово нові конструкції апаратів пилоочистки, що змогли б задовольнити потреби сучасного виробництва. Задача пиловловлювання полягає в виділенні аерозольних частинок з пилогазового потоку. Траєкторії руху потоку в установках пиловловлення визначаються, по-перше — швидкістю його руху в них, їх конструктивними особливостями, фізико-механічними, морфометричними, дисперсними, хімічними властивостями матеріалу, по-друге — аеродинамічними характеристиками потоку, які визначаються гідростатичним тиском.

Метою даної роботи є вивчення процесів, які протікають у відцентрово-інерційних апаратах, створення на їх основі математичної моделі процесу і розроблення принципово нових пиловловлювачів з підвищеною ефективністю роботи, зменшеною енергоемністю та металомісткістю.

Пилоповітряна суміш рухається в трубопроводі у вигляді циліндра (пробки), в пристінній ділянці якої існує перехідна зона, де створюються напруження зсуву і чиниться опір руху матеріалу (рис. 1). Інший характер опору створюють елементи конструкції пиловловлювача (жалюзі, діаметр, висота, розміри вхідного патрубка тощо).

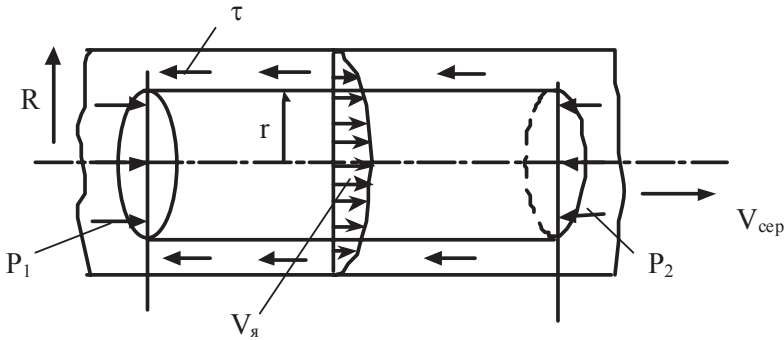


Рис. 1. Схема розрахунку опору руху пилоповітряної суміші в трубопроводі

Втрати тиску на ділянці трубопроводу довжиною l визначаються з умови сталості різниці сил, що діють на торці виділеної циліндричної ділянки суміші і сил внутрішнього тертя в перехідній зоні, тобто:

$$\pi r^2 (P_2 - P_1) = 2\pi r l \cdot \tau,$$

де r — радіус циліндра (пробки), що рухається, м;

P_1, P_2 — тиск на торцях циліндра, Па;

τ — напруження зсуву в перехідній зоні, Па;

l — довжина циліндра (пробки), м.

Напруження зсуву є характеристикою реологічних властивостей матеріалу, що транспортується, і залежить від напружено-деформованого стану всередині циліндра (пробки) та режимів руху. Для вивчення реологічних властивостей матеріалів, що підлягають вловлюванню, необхідні дослідження за спеціальною методикою, яка враховує особливості сумішей. Як показують дослідження, в деяких випадках їх можна подавати пластичною моделлю зі зміцненням.

Математична задача пилотловлювання зводиться до описання траєкторій руху пилогазового потоку в апараті з оцінкою на певних ділянках умови випадання твердих аерозольних частинок з них. Це задача про рух пластичного середовища в умовах плоскої (чи об'ємної) деформації. Такі задачі розглядаються в ряді робіт — стосовно напруженого стану в газах, сипучих середовищах, пластичних тілах.

У теорії струменів (Г. Н. Абрамович і ін.) аналізуються закономірності руху частинок пилу (чи взагалі повітря) у вільному (відкритому) потоці. При цьому розглядаються рух окремих частинок у повітряному потоці й характер їх взаємодії з повітрям внаслідок зміни траєкторій, швидкості руху тощо. Коли йдеться про рух запиленого повітря в апаратах, на наш погляд, доцільно відокремитись від особливостей руху всередині потоку (тобто процесу) і розглянути взаємодію повітряного потоку зі стінками апаратів, використовуючи при цьому координати напруження (σ) і швидкості (V).

При розгляді плоскої задачі в кожній точці середовища маємо п'ять невідомих функцій:

$$\sigma_x = \sigma_x(x, y, t); \quad \sigma_y = \sigma_y(x, y, t); \quad \tau_{xy} = \tau_{xy}(x, y, t);$$

$$V_x = V_x(x, y, t); \quad V_y = V_y(x, y, t).$$

де три з них компоненти напружень (дві нормальних і одна дотична), а дві — проєкції вектора швидкості на осі x і y .

Рівняння стану складаємо в змінних Ейлера і отримуємо рівняння руху (динамічної рівноваги) пилоповітряної суміші в трубопроводі. На рис. 2 показано елемент середовища з розмірами $dy \cdot dx$.

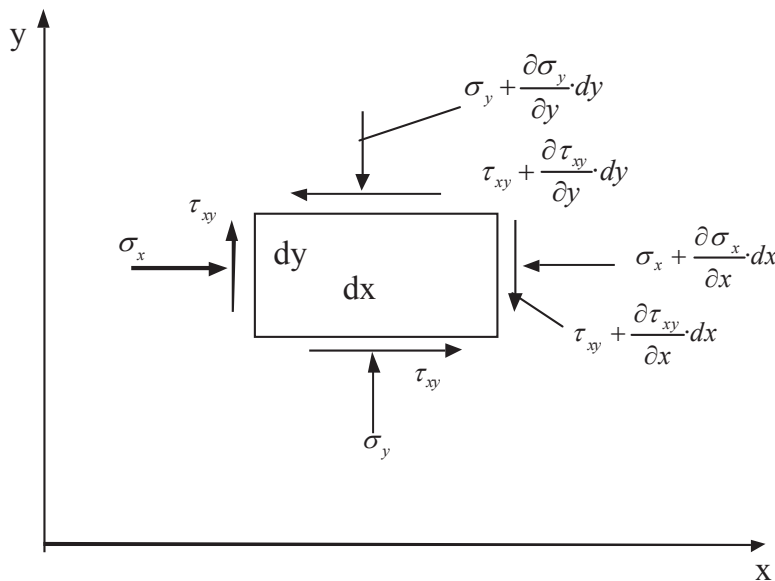


Рис. 2. Схема дії сил при плоскому напруженому стані

За додатний напрямок напружень приймаємо напрямок, показаний на рис. 2. Враховуючи, що проєкції на осі x і y головного вектора всіх сил, що діють на елемент, дорівнюють нулю, отримуємо:

$$\sum P_{nx} - m \frac{d^2 x}{dt^2} = 0; \quad \sum P_{ny} - m \frac{d^2 y}{dt^2} = 0,$$

де $m = \rho \cdot dx dy$.

$$\sum P_{nx} = \rho X dy \cdot dx - \frac{\sigma_x}{\partial x} \cdot dy dx - \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \cdot dy \cdot dx;$$

$$\sum P_{ny} = \rho Y dx \cdot dy - \frac{\sigma_y}{\partial y} \cdot dx dy - \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} \cdot dx \cdot dy,$$

де X, Y — відповідні проєкції масових сил, додатний напрямок яких збігається з додатним напрямком осей координат.

Для частинного випадку вагомого середовища зі щільністю ρ , коли $X = 0$, а $Y = \text{gr}$, отримаємо вирази

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{\partial V_x}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y};$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{\partial V_y}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y}.$$

Остаточний вигляд рівнянь руху пилоповітряної суміші в трубопроводі:

$$X - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \right) = \frac{\partial V_x}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y};$$

$$Y - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} \right) = \frac{\partial V_y}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y}.$$

Для одержання третього рівняння, що визначає невідгідне поєднання (сполучення) нормального і дотичного напруження (так звана умова міцності за термінологією опору матеріалу, тобто умови руйнування структури матеріалу), необхідно провести експериментальні дослідження напружено-деформованого стану. Для деяких матеріалів встановлено, що ця залежність у координатах σ - τ має нелінійний характер, як огинаюча кругів Мора.

Вивчення і аналіз цієї залежності показали, що вона являє собою відому умову граничної рівноваги, яка полягає в тому, що в будь-якій точці середовища в області граничної рівноваги максимальна різниця дотичного напруження і відповідного нормального напруження, помноженого на тангенс кута внутрішнього тертя, дорівнює граничному напруженню зчеплення K_0 .

Ця умова виражається рівнянням

$$|\tau_n| - \sigma_n \text{tg}\varphi = K_0,$$

або

$$(\sigma_x + \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 = \sin^2 \varphi (\sigma_x + \sigma_y + 2K_0 \text{ctg}\varphi)^2,$$

де τ_n — дотичне напруження в точці на площадці з нормаллю \bar{n} ;
 σ_n — відповідне нормальне напруження.

Даний вираз — умова руйнування структури матеріалу. Для аналізу цієї залежності перетворимо її до зручного вигляду. Виразимо нормальну σ_n і дотичну τ_n компоненти вектора напружень, що діють на якій-небудь площадці, через головні нормальні напруження σ_1 і за σ_2 формулами перетворення:

$$\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) + \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\gamma;$$

$$|\tau_n| = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \sin 2\gamma,$$

де γ — абсолютна величина кута між нормаллю до площадки — віссю n і головною віссю I.

З наведених рівнянь отримаємо вираз

$$|\tau_n| - (\sigma_n - K_0 \text{ctg} \varphi) \cdot \text{tg} \varphi = \frac{I}{2} \cos \varphi [(\sigma_1 - \sigma_2) \cdot \sin(2\gamma) - \sin \varphi (\sigma_1 + \sigma_2 + 2K \text{ctg} \varphi)].$$

Звідси видно, що руйнування структури матеріалу досягає мінімуму при куті $2\gamma = \pi - 2\lambda$, причому $2\lambda = \pi/2 - \varphi$ визначає положення площадок ковзання (рис. 3). Таких площадок дві. Вони спрямовані до головної осі I під кутами $\pm\gamma$ й утворюють між собою кут λ .

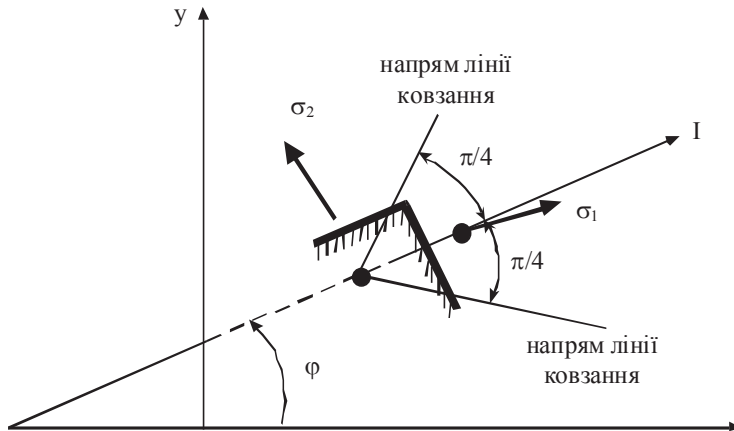


Рис. 3. Умова граничної рівноваги

Два сімейства ліній, що збігаються в кожній точці з напрямками цих площадок, називають першим і другим сімействами ліній ковзання.

Можна також замість третього рівняння скористатися рівнянням стану середовища, провівши відповідні випробування або прийнявши певну модель суміші, що транспортується (пластичний газ зі зміцненням) — рис. 4.

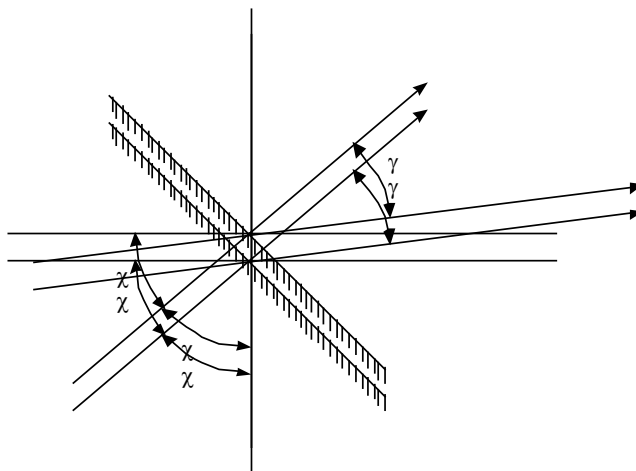


Рис. 4. Умови руйнування структури матеріалу

Дані залежності набувають такого вигляду

$$\sigma_x = F_1(\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy});$$

$$\sigma_y = F_2(\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy});$$

$$\tau_{xy} = F_3(\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy})$$

характеризують реакцію фізичної системи на завантаження та являють собою математичну ідеалізацію механізму поведінки матеріалу. Для дослідження природи цих функцій розглянемо деформацію зразків ідеалізованого середовища під навантаження (рис. 5).

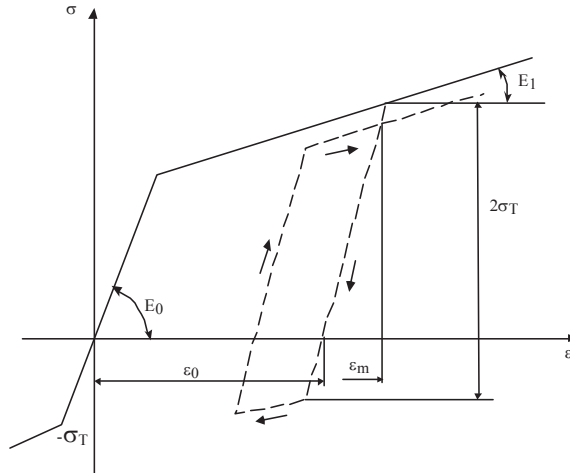


Рис. 5. Навантаження, розвантаження і повторне навантаження ідеалізованого пластичного середовища зі зміцненням

Випробування на розтягування і стиснення показують, що при малих деформаціях графічні залежності між напруженнями і деформаціями являють собою майже прямі лінії. Це означає, що коли б ми розклали рівняння $\sigma_x = f_1(\epsilon)$, $\sigma_y = f_2(\epsilon)$ і $\tau_{xy} = f_3(\epsilon)$ в ряд Маклорена, то суттєвими були б тільки члени першого порядку. Для кожного з цих рівнянь отримали б вирази:

$$\sigma_x = (F_1)_0 + \left(\frac{\partial F_1}{\partial \epsilon_x}\right)_0 \epsilon_x + \left(\frac{\partial F_1}{\partial \epsilon_y}\right)_0 \epsilon_y + \left(\frac{\partial F_1}{\partial \gamma_{xy}}\right)_0 \gamma_{xy},$$

де $(F_i)_0$ — нуль в індексі — величина функції F_i , тобто функції, визначеної з рівняння стану газової суміші і її похідних при $\epsilon_x = \epsilon_y = \gamma_{xy}$. Коефіцієнти в цих виразах постійні. Оскільки деформації неможливі без напружень, одержимо рівняння

$$\sigma_x = k_{11}\epsilon_x + k_{12}\epsilon_y + k_{13}\gamma_{xy};$$

$$\sigma_y = k_{21}\epsilon_x + k_{22}\epsilon_y + k_{23}\gamma_{xy};$$

$$\tau_{xy} = k_{31}\epsilon_x + k_{32}\epsilon_y + k_{33}\gamma_{xy};$$

Зручніше записати ці залежності у вигляді (c_{ij} — постійні)

$$\epsilon_x = c_{11}\sigma_x + c_{12}\sigma_y + c_{13}\tau_{xy};$$

$$\epsilon_y = c_{21}\sigma_x + c_{22}\sigma_y + c_{23}\tau_{xy};$$

$$\gamma_{xy} = c_{31}\sigma_x + c_{32}\sigma_y + c_{33}\tau_{xy}.$$

Для середовища ізотропного й однофазового

$$\epsilon_x = c_{11}\sigma_x + c_{12}\sigma_y;$$

$$\epsilon_y = c_{11}\sigma_x + c_{12}\sigma_y;$$

$$\gamma_{xy} = 2(c_{11} - c_{22})\tau_{xy}.$$

Для пружного середовища

$$c_{11} = \frac{1}{E_0}; \quad c_{12} = -\frac{\mu}{E},$$

де E_0 — модуль пружності;

μ — коефіцієнт Пуансона.

Четвертим рівнянням, що зв'яже пошукові функції, слід прийняти рівняння суцільного середовища (середовища, що стискається):

$$\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + V_x \frac{\partial \rho}{\partial x} + V_y \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) + \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0.$$

П'яте рівняння, що замикає систему, отримаємо з умови збіжності максимальних швидкостей деформацій зсуву з напрямком ліній ковзання.

В основу побудови рішення задачі про опір пиловловлювачів нами покладено припущення, що опір P в елементах конструкції пиловловлювачів (рис. б) — пряма ділянка, поворот, жалюзі і т. ін., є функцією напруженого стану на цій ділянці.

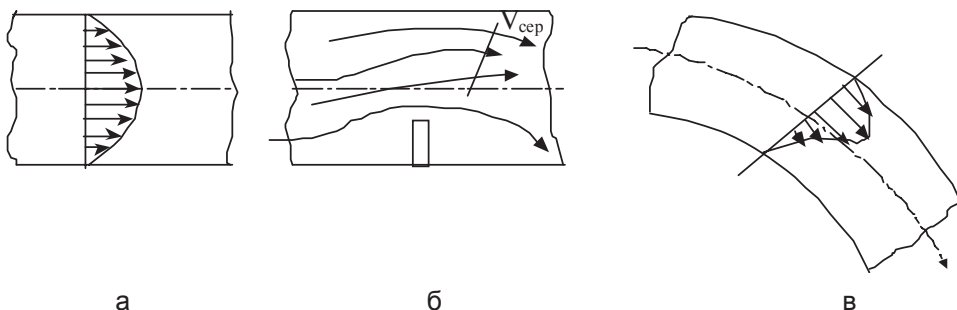


Рис. 6. Фізична суть граничних умов у визначенні опору:
а — у прямолінійній ділянці; б — у жалюзях; в — у криволінійній ділянці

З фізичної точки зору при виконанні умови граничної рівноваги напружений стан у кожній точці повністю визначається на основі експериментальних даних функцією ρ , тобто $P = P(\sigma)$. Вигляд її залежить не тільки від реологічних властивостей середовища, а й від особливостей конструкції апарата, тобто:

$$\frac{\partial P}{\partial \Psi} = \frac{\partial P}{\partial \sigma} = \frac{\partial \sigma}{\partial \Psi} = P'_\sigma \frac{\partial \sigma}{\partial \Psi},$$

де Ψ — деяка незалежна змінна.

Підставляючи отримане у рівняння суцільності, матимемо остаточне рівняння:

$$\frac{P'_\sigma}{P} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial t} + V_x \frac{\partial \sigma}{\partial x} + V_y \frac{\partial \sigma}{\partial y} \right) + \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0.$$

Дана умова широко застосовується при розв'язанні різних задач механіки суцільних середовищ:

$$\frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) \pm \frac{\partial V_x}{\partial x} \operatorname{tg} \varphi}{\frac{\partial V_x}{\partial x} \pm \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) \operatorname{tg} \varphi}.$$

Вибір певного знака визначається тим, яке з сімейств ліній ковзання (перше чи друге) активне.

Таким чином, система рівнянь стану руху газоповітряної суміші в пиловловлювачах запишемо як:

$$\begin{aligned} x - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \right) &= \frac{\partial V_x}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y}; \\ y - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} \right) &= \frac{\partial V_y}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y}; \\ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 &= \sin^2 \varphi (\sigma_x + \sigma_y + 2kct \operatorname{tg} \varphi)^2; \\ \frac{\rho'_\sigma}{\rho} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial t} + V_x \frac{\partial \sigma}{\partial x} + V_y \frac{\partial \sigma}{\partial y} \right) + \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} &= 0; \\ \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} &= \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) \pm \frac{\partial V_x}{\partial x} \operatorname{tg} \varphi}{\frac{\partial V_x}{\partial x} \pm \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) \operatorname{tg} \varphi}. \end{aligned}$$

Отже, дослідження процесів, які протікають у відцентрово-інерційних пиловловлювачах, дозволили створити їх математичну модель, яка лягла в основу конструювання апаратів принципово нового типу, з підвищеною ефективністю роботи, зменшеною енергоємністю і металомісткістю. Усе це дає можливість довести концентрацію пилу при проведенні цілого ряду технологічних процесів до гранично-допустимих норм, зменшивши тим самим його пожежо- і вибухонебезпечність.

Запропонована конструкція вихрового пиловловлювача впроваджується у деревообробній промисловості.

1. Батлук В. А. Математичне моделювання траєкторії руху частинки пилу в пиловловлювачі з жалюзійним відокремлювачем / В. А. Батлук, Ю. Р. Дадак // Вісн. нац. тех. ун-ту України «КПІ». — К.: НТУУ «КПІ». — 2008. — № 53. — С. 95–100. 2. Батлук В. А. Математичне моделювання процесу очищення повітря від пилу у відцентрово-інерційних пиловловлювачах / В. А. Батлук, Р. М. Васи́лів, Р. Ю. Сукач // Екологічна безпека. — 2008. — Вип. 3–4. — С. 17–20. 3. Декларац. пат. № 42581 Україна. Пиловловлювач із ступеневим відокремлювачем і бункером / В. А. Батлук, В. Г. Мака́рчук. 4. Принципово новий метод очищення повітря від типу, який утворюється при спалюванні твердих побутових відходів / [Батлук В. А., Мота Я. В., Шибанов С. В., Мака́рчук В. Г., Романцов С. В.]: зб. матеріалів Міжнар. наук. конф. «Охорона праці та соціальний захист працівників». — К., 2008. — С. 22–28.

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

Рассматривается математическая модель процесса транспортирования и осаждения твёрдых частиц из пылегазовой струи пылеулавливающих аппаратов. Построена расчётная схема пылеулавливания аппаратов с жалюзийным отделителем принципиально нового типа.

SCIENTIFIC BASES OF CREATION OF PILOVLOVLYUVACHIV

The mathematical model of process of portage and besieging of particulate matters is examined from the pylegazovoy stream of pyleulavlivayuschikh vehicles. The calculation chart of ardor-catching of vehicles is built with the jalousie separator of on principle new type.

Стаття надійшла 20.04.10