فیلتراسیون مخلوط های معلق گازی با منسوجات بی بافت

تهیه و گردآوری : سمیه ابراهیم پور - نوید هادی عشر

رفتار و کنترل مخلوط های معلق گازی هنگامی که به درون پارچه ها نفوذ می یابند، با پارامترهایی همچون ضریب تخلخل، میزان انحنا و افت فشار مورد بررسی قرار می گیرند. تئوری های فیلتراسیون هوا و مکانیزم های مختلف ربایش ذرات و نگهداری آنها توسط فیلتر با جزئیات آن در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته و استانداردهای فعلی و روش های عملی آزمایش برای اندازه گیری خاصیت فیلتراسیون مخلوط های معلق گازی توسط پارچه های بی بافت تحقیق و بررسی شده است. به منظور محافظت مؤثر در برابر گازهای سمی، می بایست رفتار پارچه های محافظتی تحت شرایط عملی و واقعی شناخته شوند که به عنوان نمونه در مورد یکی از آنها بحث می شود.

۱ - معرفی

ذرات مضر معلق در هوا می توانند خطرات جدی برای کارکنان بخش های صنعتی، نظامی و بهداشتی به وجود آورند. کارکنانی که در معرض این شرایط قرار دارند، به پوشش های مخصوصی نیاز دارند تا از خودشان در برابر مواد شیمیایی، ذرات معلق در هوا و گازهای خطرناک و بیماری زا محافظت نمایند. لباس های محافظتی از پارچه های تار و پودی و یا بی بافت ساخته می شوند. این لباس ها که به عنوان فیلترهایی برای تمام سطح بدن به کار می روند، از الیاف آلی و یا معدنی ساخته می شوند و می توانند شخص را از مواد شیمیایی و گازهای مخلوط با هوا محافظت کنند. قسمت هایی از لباس که این هدف را محقق نمی کنند، ممکن است نقاطی مانند دهانه لباس، زیپ آن و یا محل های دوخت باشد. لباس های محافظتی باید در مقابل ذرات، بخارها و گازها سدی ایجاد کنند و قابلیت نفوذ مایعات در آنها کم باشد. از آنجا که مکانیزم نفوذ مایعات در پارچه ها با نفوذ ذرات معلق در هوا در همان پارچه بسیار متفاوت است . نیازها و شرایط مواد اولیه لباس های محافظتی در این دو مورد متفاوت می باشد. از این رو، روش های آزمایش برای ارزیابی بازدهی آنها نیز با هم فرق دارد. همچنین گروه دیگری از لباس های محفاظتی برای حافظت از آلودگی در عملیات های تولیدی و آزمایشی حساس وجود دارد، مانند لباس هایی که کارگران اتاق های نیمه هادی شستشو و یا تولید کنندگان محصولات دارویی و بی بار می پوشند. این لباس ها سدی در جهت مخالف ایجاد می کنند، بدین معنی که محیط را از ذراتی که توسط بدن کارگر پراکنده می شود، محافظت می نمایند. این مقاله در مورد پارچه هایی که برای محافظت کارگران در مقابل مخلوط های معلق گازی به کار می رود، بحث کرده است.

شناخت رفتار فیلتراسیون پارچه های محافظتی در معرض مخلوط های معلق گازی ضروری است، چرا که امروزه بسیاری از ذرات مضر معلق در هوا، کارکنان بخش های مختلف صنعتی، نظامی و بهداشتی را در معرض خطر قرار می دهند. برای محافظت این کارگران، دانستن رابطه بین بازدهی فیلتراسیون پارچه های محافظتی و ساختار آنها لازم است.

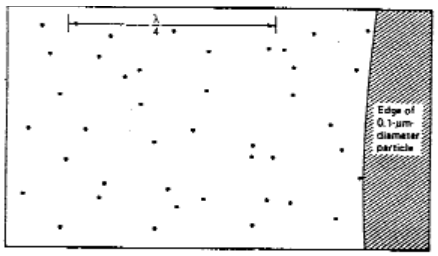
جدول ۱ انواع مخلوط معلق

نوع ذرات معلق			محیط مخلوط
جامد	مایع	گاز	
بخار، غبار	قطره، مه	-	گاز
سوسپانسیون	امولسیون	کف	مایع
آلیاژ	ژل	اسفنج	جامد

به منظور دانستن میزان کارآیی یک پارچه محافظتی برای محافظت در برابر مخلوط های معلق گازی از پیشرفت تکنولوژی جهت مطالعه ویژگی ها، رفتار و کنترل مخلوط معلق گازی کمک می گیریم. به دلیل اندازه کوچک ذرات مربوطه، رفتار آنها بیشتر توسط اثرات ویسکوزی کنترل می شود تا توسط نیروهای لختی مختلف. بنابراین مکانیزم های نیوتنی به تنهایی برای توضیح این رفتارها کافی نیستند. همچنین یافتن تئوری فیلتراسیون هوا، و شناخت عواملی که بر کارآیی فیلتر و مکانیزم های جذب ذرات و حفظ آنها توسط فیلتر مؤثرند ضروری به نظر می رسد.

۱ - تکنولوژی مخلوط معلق گازی

تکنولوژی مخلوط معلق گازی در واقع مطالعه خواص، رفتار و اصول فیزیکی حاکم بر مخلوط های معلق گازی و نیز به کار گیری این شناخت در اندازه گیری و کنترل آنهاست. یک مخلوط معلق گازی، مخلوط معلقی از مایع و یا ذرات جامد در یک گاز است. بنابراین چنین مخلوطی، یک سیستم دو فازی شامل ذرات مایع یا جامد، و گازی که ذرات در آن معلق اند، می باشد (شکل ۱). محدوده اندازه ذرات از ۰/۰۰۱ تا تقریباً ۱۰۰ میکرومتر است. مخلوط های معلق گازی دو گروه از طبقه بندی هایی که در جدول ۱ نشان داده شده است را تشکیل می دهند. همه این گروه ها شامل دو سیستم هستند که با توجه به اندازه ذرات و غلظتشان در مخلوط، ویژگی های خاصی دارند.



شکل ۱

اندازه نسبی یک ذره با قطر ۰/۱ میکرو متر که در شرایط استاندارد در هوا معلق است (نقاط نشان دهنده

مولکول های اکسیژن و نیتروژن هستند و λ میانگین مسیر حرکت آزاد آنها به طور متوسط است).

۲-ویژگی های مهم مخلوط معلق گازی

رفتار ذرات معلق در هوا تنها به خواص گاز و ذرات معلق در آن بستگی ندارد، بلکه به بر هم کنش میان این دو ماده نیز وابسته است. تعدادی از ویژگی های مهم مخلوط های معلق گازی که ناشی از بر هم کنش میان ذرات و گاز است، در این بخش مورد بحث قرار می گیرد.

الف) میانگین مسیر آزاد

میانگین مسیر آزاد یک مفهوم فیزیکی است که بیان کننده فاصله موجود تا بر هم کنش بعدی می باشد. گاز موجود در یک مخلوط معلق گازی به عنوان یک واسطه ناپیوسته تلقی می شود که در آن مجموعه ای از ذرات متحرک با سرعت زیاد به طور تصادفی به مولکول های گاز برخورد می نمایند. طبق تئوری جنبشی گازها، این برخوردها به اندازه ذره، فاصله آن و میزان حرکت مولکول های گاز بستگی دارد. به منظور محاسبه تعداد برخوردهای بین ذرات و مولکول های گازی که در آن معلق هستند، قرار دادن میانگین مسیر آزاد گاز به عنوان مبنای محاسبات بهتر از انجام محاسبات بر اساس فاصله متوسط میان مولکول های گاز است. میانگین مسیر آزاد گاز (λ)، به عنوان متوسط فاصله طی شده توسط مولکول های گاز بین برخوردهای متوالی تعریف می شود و می تواند با داشتن قطر برخورد (d_c) که همان فاصله میان مراکز دو مولکول گاز در لحظه برخورد است، و همچنین تعداد مولکول های گاز در واحد حجم محاسبه شود:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}n\pi d_c^2} \qquad (۱)$$

میانگین مسیر آزاد برای هوا در فشار یک اتمسفر و دمای $20C^\circ$، ۰/۶۶ میکرومتر است.

ب) عدد رینولدز:

همان طور که اشاره شد، رفتار ذرات کوچک در یک گاز بیشتر با نیروهای ویسکوزی کنترل می شود تا با نیروهای لختی. از این رو اهمیت نسبی این نیروها بیشتر است. عدد رینولدز (Re) یک ویژگی بدون بعد برای یک مایع جاری در یک لوله و یا در نزدیکی مانعی همچون یک ذره در مخلوط معلق گازی است. بنابراین Re کلیدی برای درک رفتار آیرودینامیکی جریان گاز در اطراف ذره است. مقدار عدد رینولدز تعیین می کند که جریان آرام است یا آشفته. برای جریان سیال درون یک لوله، این عدد نشان دهنده نسبت نیروهای لختی به نیروهای مالشی است که در سیال وجود دارند و از رابطه زیر به دست می آید:

$$\mathrm{Re}_t = \frac{eV_t d_t}{\eta} \qquad (۲)$$

در این رابطه e چگالی سیال، V_t سرعت نسبی سیال در لوله، d_t قطر لوله و η ویسکوزیته می باشد. در دمای $20C^\circ$، ویسکوزیته هوا $1/81\times10^{-4}$ dyne-s/cm2 و چگالی آن $1/2\times10^{-3}$ g/cm3 است. در نتیجه با قرار دادن این مقادیر در رابطه (۲) عدد رینولدز آن می شود:

$$\mathrm{Re}_t = 6.6V_t d_t \qquad (۳)$$

هنگامی که V_t و d_t که با واحدهای cgs نشان داده شوند. با جایگزین کردن سرعت ذرات (که بعداً در مورد آن بحث خواهد شد) با سرعت نسبی سیال، و قطر ذره با لوله، رابطه (۳) عدد رینولدز را برای ذرات در حال ته نشین شدن به طور آزادانه، به دست می دهد:

$$\mathrm{Re}_p = 6.6V_{TS}d_p \qquad (۴)$$

که V_{TS} سرعت نهایی ته نشینی ذرات و d_p قطر ذره است.

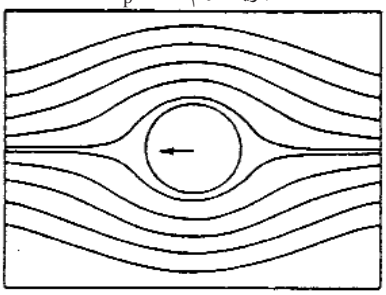
اگر عدد رینولدز (Re_t) کمتر از ۲۰۰۰ باشد، جریان سیال در لوله آرام، و اگر بیش از ۴۰۰۰ باشد، آشفته است. در رابطه ۴، اگر عدد رینولدز (Re_p) کمتر از ۱ باشد، جریان پیرامون ذره آرام و اگر بیشتر از ۱ باشد آشفته است.

قانون استوکس

استوکس در مورد کشش وارده به ذراتی که در داخل سیال حرکت می کنند، هنگامی که نیروهای لختی در مقابل نیروهای ویسکوزی ناچیز باشد، تعبیری را ارائه کرد. از سوی دیگر نیوتن نیز در مطالعاتش بر روی منحنی مسیر حرکت گلوله، نتایج خود را در مورد کشش وارده به گلوله های بزرگ، هنگامی که نیروهای ویسکوزی در مقایسه با نیروهای لختی ناچیز باشند، اعلام نمود. نتایج نیوتن برای اعداد رینولدز بزرگ تر از ۱۰۰۰ معتبر می باشد که این محدوده برای حرکت گلوله ها مورد استفاده است، اما برای ذرات مخلوط معلق گازی با اندازه زیر میکرون مناسب نمی باشد. به دلیل سرعت های پایین و اندازه کوچک ذرات مورد بحث، بیشترین جنبش مخلوط معلق گازی در اعداد رینولدز پایین اتفاق می افتد، یعنی هنگامی که نیروهای لختی در مقابل نیروهای

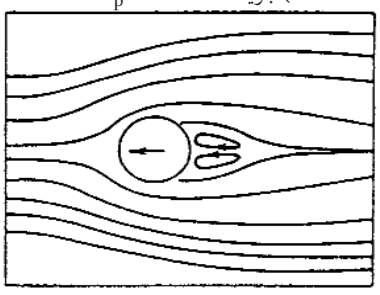
(شکل۲ جریان پیرامون یک ذره کروی)

a) جریان آرام Re_p = ۰/۱



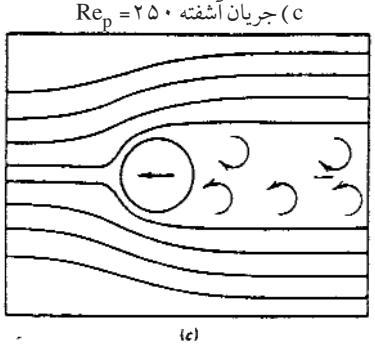
(a)

b) جریان آشفته Re_p = ۰/۲



(b)

c) جریان آشفته Re_p = ۲۵۰



(c)

ویسکوزی جزئی هستند. بنابراین، قانون استوکس در اعداد رینولدز پایین معتبر است. این قانون راه حلی برای معادله حل نشدنی Navier-Stokes در شرایط زیر می باشد:

الف) نیروهای لختی در مقابل نیروهای ویسکوزی ناچیز باشند

ب) سیال معلق تراکم ناپذیر باشد

ج) سیال معلق از نظر اندازه نامحدود باشد

د) میزان حرکت بسیار کم باشد

ه) ذرات سخت و صلب باشند و

و) لغزش در سطح ذرات صفر باشد.

بیشتر این شرایط در مورد جریان ذرات صدق می کند، چرا که در آن سرعت ها، اندازه ذرات و همچنین اعداد رینولدز کوچک اند (یعنی نیروهای ویسکوزی>> نیروهای لختی) و بنابراین جریان آرام است. از آنجایی که هوا در نزدیکی ذرات به طور محسوس فشرده نمی شود، شرط تراکم ناپذیری نیز محقق می شود، اما شرط نامحدود بودن اندازه در عمل هیچ گاه محقق نمی گردد. وجود یک جداره (یا بدنه ماکروسکوپی) به اندازه قطر ۱۰ ذره، بر اعمال نیروی کششی و مقاوم در برابر حرکت ذرات مؤثر است. به دلیل این که ذرات مخلوط معلق گازی کوچک اند، در یک ظرف یا یک لوله تنها کسر کوچکی از ذرات در حصار این دیواره هستند. همه ذرات جامد صلب می باشند، اما برای قطرات کوچک مایع که صلب نیستند در قانون استوکس به یک ضریب تصحیح نیاز است. هر چند مقدار تصحیح ناچیز بوده و می توان آن را نادیده گرفت. فرضیه عدم وجود لغزش در سطح ذره (یعنی صفر بودن سرعت سیال در سطح ذرات) با وجود ذرات کوچکی که قطر آنها به میانگین مسیر آزاد گاز می رسد، محقق نمی شود. این ذرات سریع تر از آنچه که با قانون استوکس پیش بینی شده ته نشین می شوند. برای رفع این اختلاف، یک ضریب تصحیح برای نیروی کششی در رابطه وارد می شود که ضریب تصحیح لغزشی کونینگهام نامیده می شود.

با توجه به قانون استوکس، نیروی مقاوم در برابر حرکت یک ذره (نیروی کششی) F_D از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$F_D = 3\pi\eta V_{TS} d_p \qquad (۵)$$

از سوی دیگر،

هنگامی که اثرات ویسکوزی در مقابل اثرات لختی ناچیز باشد (عدد رینولد بزرگتر از ۱۰۰۰)، نیوتن رابطه زیر را به دست آورد:

$$F_{D(N)} = C_D(\frac{\pi}{8})eV_{TS}^2 d_p^2 \qquad (۶)$$

که در آن C_D ضریب کشش است.

از روابط (۴)، (۵) و (۶) رابطه زیر را برای ضریب کشش می توان به دست آورد:

$$C_D = \frac{24\eta}{eV_{TS}d_p} = \frac{24}{\mathrm{Re}_p} \qquad (۷)$$

رابطه بین ضریب کشش و عدد رینولدز برای یک ذره در شکل۳ نشان داده شده است. این رابطه در قسمت هایی که قانون استوکس معتبر است با قسمت هایی که قانون نیوتن در آن برقرار می باشد، متفاوت است. در اعداد رینولد کوچک تر، یعنی در نواحی قانون استوکس، ضریب کشش در یک رابطه خطی با عدد رینولدز نسبت معکوس دارد. اما در اعداد رینولد بزرگتر از ۱۰۰۰، یعنی در ناحیه های که قانون نیوتن صدق می کند، ضریب کشش با افزایش عدد رینولدز تقریباً ثابت (۰/۴۴) می ماند.

سرعت ته نشینی و جنبش مکانیکی

سرعت ته نشینی یک ذره، سرعتی است که با آن سرعت تحت تأثیر نیروی گرانشی در هوای راکد استقرار می یابد. ذره ای که در هوا رها می شود، با سرعت نهایی ته نشینی خود (VTS) حرکت می کند که این سرعت ناشی از نیروی کششی وارده به ذره در حال تعادل توسط نیروی گرانشی است. این شرایط می تواند به صورت زیر بیان شود، هنگامی که سمت چپ رابطه (FD) نیروی کششی، و سمت راست آن نیروی گرانشی (FG=mg) را نشان می دهند:

$$F_D = 3\pi\eta V_{TS} d_p = F_G = \frac{(e_p - e)\pi d_p^3 g}{6} \qquad (۸)$$

در این رابطه ep چگالی ذره و g شتاب گرانشی است. از آنجا که چگالی ذره بسیار بیشتر از چگالی سیال است، از چگالی سیال صرف نظر می کنیم. از رابطه (۸) رابطه زیر را برای سرعت نهایی ته نشینی ذره می توان به دست آورد:

$$V_{TS} = \frac{e_p d_p^2 g}{18\eta} \qquad (۹)$$

رابطه (۹) به روشنی نشان می دهد که سرعت نهایی ته نشینی با افزایش چگالی ذرات و مربع اندازه ذرات افزایش یافته و با افزایش ویسکوزیته گاز کاهش می یابد، اما از چگالی آن مستقل است. این رابطه برای ذرات با قطر بزرگ تر از ۱ میکرومتر مادامی که لغزشی ندارند، معتبر است. برای ذرات کوچک تر از این مقدار، به ضریب تصحیح لغزش کونینگهام در این رابطه نیاز است.

شکل ۳- رابطه بین ضریب کشش و عدد رینولد برای ذرات