١٤٤٢٢٢٣_٢٠٢٢٤٨٣

دانشکده فنی و مهندسی مکانیک

گروه مهندسی مکانیک

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک تبدیل انرژی

عنوان

مطالعه تجربی اثر آرایه‌های الکترودی در عملکرد پمپهای رسانشی

استاد راهنما

دکتر اسماعیل اسماعیل زاده

استاد مشاور

دکتر فرامرز طلعتی

۱۳۸۹/۸/ ۲

پژوهشگر

مرتضی حجتی

شهریور۸۹

۱۴۴۲۲۳

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

به نام خدا

افتادگی آموز اگر طالب فیضی　　هرگز نخورد آب، زمینی که بلند است

خدای بزرگ و مهربان را به خاطر توفیق انجام این پایان نامه، شاکرم و از او می خواهم که بقیهٔ زندگی ام را نیز در راه علم و دانش سپری نمایم. چرا که با اهل علم بودن، به بشر کرامت انسانی می بخشد و خروج از این راه موجب گمراهی و ندامت می گردد.

در اینجا جا دارد از زحمات بی دریغ استاد راهنمای عزیزم، جناب آقای پروفسور اسماعیل زاده، تقدیر و تشکر نمایم؛ که به حق، اگر کمک ها و راهنمایی‌های ارزشمند ایشان نبود، طی کردن این مسیر، میسر نبود.

همچنین از جناب آقای دکتر فرامرز طلعتی استاد مشاور این پایان نامه ، به خاطر کمک‌ها و راهنمایی‌های ارزشمندشان ، کمال تشکر و سپاسگزاری دارم.

از همه دوستان و عزیزان گروه تحقیقاتی آزمایشگاه مکانیک سیالات که در مدت تحصیل در کنار بنده بوده و در سختی ها یاریگر اینجانب بوده‌اند، بسیار ممنون و سپاسگزارم؛ از جمله: آقایان مهندس مرتضی حمایت‌خواه، بهنام خورشیدی، محمدرضا شکوری‌پور، رسول جدی، رضا غرایی، بهنام صدری، حمید معصومی، احمد خوشنویس، مازیار جلال ، احمد اسماعیل زاده، عباسی و سایر عزیزانی که نامشان ذکر نشده است.

در پایان از همه افراد خانواده‌ام، به خصوص پدر و مادر عزیزم به خاطر تحمل سختی ها و حمایت های بی دریغشان در مدت تحصیل تقدیر و تشکر می نمایم.

مرتضی حجتی

شهریور ۱۳۸۹

نام خانوادگی دانشجو: حجتی نام: مرتضی

عنوان پایان نامه: مطالعه تجربی اثر آرایه‌های الکترودی در عملکرد پمپ‌های رسانشی

استاد راهنما: دکتر اسماعیل اسماعیل زاده

استاد مشاور: دکتر فرامرز طلعتی

مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد رشته : مهندسی مکانیک گرایش : تبدیل انرژی دانشگاه : تبریز

دانشکده : مهندسی مکانیک تاریخ فارغ التحصیلی : ۸۹/۶/۲۸ تعداد صفحات: ۸۰

کلید واژه ها: فیلم مایع، الکتروهیدرودینامیک، پمپ رسانش الکتریکی، موبیلیته، الکترود استوانه‌ای، گردابه

چکیده:

با اعمال میدان‌های الکتریکی ولتاژ بالا و با ایجاد نیروهای حجمی به سیال در حال سکون یا حرکت، می‌توان به عنوان پمپ برای انتقال مقادیر بسیار اندک مایعات دی الکتریک استفاده نمود. در کار حاضر رفتار الکتروهیدرودینامیکی جریان فیلم مایع در حضور پمپ رسانش الکتریکی با آرایه الکترودهای استوانه‌ای، بصورت تجربی مورد مطالعه قرار گرفته است. با ایجاد سکو، کانال روبازی بصورت مدار بسته طراحی شده و با قرار دادن تعداد محدودی از الکترودهای ولتاژ بالا و الکترود زمین در کف کانال به بررسی عملکرد پمپ رسانشی برای دو سیال ان-هگزان و نفت سفید پرداخته شده است. نتایج نشان داد که سیال ان-هگزان به دلیل داشتن اختلاف موبیلیته بیشتر و ویسکوزیته کمتر دارای سرعت‌های بیشتری نسبت به نفت سفید می‌باشد. هنگامی که پمپ‌ها بصورت سری پشت‌سر هم قرار می‌گیرند، فاصله جفت الکترودها با یکدیگر از عوامل مؤثر در عملکرد پمپ رسانشی می‌باشد، با بررسی فواصل مختلف، فاصله بهینه بدست آمده است. آرایش زیگ‌زاگی با فاصله بهینه پمپ‌ها نیز مورد مطالعه قرار گرفت. آرایش زیگ‌زاگی دارای سرعت‌های بیشتری نسبت به دو آرایش هم‌راستا با دو و سه جفت الکترود موازی، می‌باشد، بطوری که سرعت بیشینه برای این آرایش در سیال ان-هگزان تا ۴۲mm/s با توان مصرفی ۲۰/۶۱ mW بدست آمده است. با استفاده از روغن سیلیکون، الگوی جریان آشکارسازی شده است. نتایج آشکارسازی نشان داد که بین الکترود ولتاژبالا و الکترود زمین دو گردابه قوی وجود دارد که با ایجاد تنش برشی باعث حرکت سیال مجاور می‌شوند، همچنین بین پمپ‌ها گردابه‌هایی وجود دارند که تعداد و شدت آنها به فاصله جفت‌الکترودها از یکدیگر بستگی دارد بطوری که در کمترین فاصله سه گردابه، در فاصله بهینه دو گردابه و در بیشترین فاصله گردابه‌ای مشاهده نشد.

فهرست مطالب صفحه

مقدمه ۱

فصل اول: پایه‌های نظری و پیشینه پژوهش

۱-۱ پایه‌های نظری ۳
۱-۱-۱ الکتروهیدرودینامیک ۳
۱-۱-۲ رسانندگی الکتریکی ۳
۱-۱-۳ نفوذپذیری ۴
۱-۱-۴ موبیلیته ۵
۱-۱-۵ فرایند دو قطبی‌شدن ۶
۱-۱-۶ فرایندهای تولید بار در سیال دی‌الکتریک ۸
۱-۱-۷پمپ‌های EHD ۹
۱-۱-۷-۱ پمپ القایی ۱۰
۱-۱-۷-۲ پمپ تزریقی ۱۱
۱-۱-۷-۳ پمپ رسانش الکتریکی ۱۲
۱-۱-۸ مزایا و کاربردهای EHD و پمپهای EHD ۱۴
۱-۲ پیشینه پژوهش ۱۵
۱-۳ معادلات حاکم ۲۳

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱ سکوی آزمایش ۲۶
۲-۲ محدوده کاری ۲۷
۲-۲-۱ آرایش الکترودها ۳۰
۲-۳ اندازه‌گیری ولتاژ و توان مصرفی پمپ‌های رسانش الکتریکی ۳۲

۲-۴ اندازه‌گیری سرعت سیال ۳۳
۲-۵ عدم قطعیت در نتایج اندازه‌گیری ۳۴
۲-۶ سیال کاری ۳۴
۲-۷ نحوه آشکارسازی هیدرودینامیک جریان فیلم ۳۵

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱ بررسی نحوه عملکرد پمپ رسانش الکتریکی با آرایش هم‌راستا ۳۷
۳-۱-۱ بررسی رفتار پمپ رسانش الکتریکی در ضخامت‌های مختلف فیلم مایع ۳۷
۳-۱-۲. مقایسه عملکرد پمپ رسانش الکتریکی برای دو سیال ان-هگزان و نفت سفید ۴۲
۳-۱-۳ بررسی آرایش هم‌راستا با فاصله‌های مختلف ۴۹
۳-۲ بررسی پمپ رسانش الکتریکی با آرایش زیگ‌زاگی ۶۱
۳-۳ آشکارسازی هیدرودینامیک جریان فیلم مایع در حضور پمپ رسانش الکتریکی ۷۰
۳-۴ نتیجه‌گیری ۷۵
۳-۵ ارائه پیشنهادات ۷۶
منابع و مراجع ۷۷

نمادها

مومنتم دو قطبی ..... $M\,[C.m]$

میدان الکتریکی ..... $E\,[V/m]$

جریان الکتریکی ..... $I[A]$

چگالی جریان الکتریکی ..... $J\left[A/m^3\right]$

دبی‌حجمی ..... $Q\left[m^3/s\right]$

بردار قطبش ..... $P\left[C/m^2\right]$

عرض کانال ..... $y[m]$

شتاب گرانش ..... $g\left[m/s^2\right]$

سرعت جریان ..... $u[m/s]$

موبیلیتی بار مثبت ..... $b_+[\mathrm{m^2/Vs}]$

موبیلیتی بارمنفی ..... $b_-[\mathrm{m^2/Vs}]$

چگالی بارمثبت ..... $q_+[\mathrm{C/m^3}]$

چگالی بارمنفی ..... $q_-[\mathrm{C/m^3}]$

ضریب پخش بارمثبت ..... $D_+[\mathrm{m^2/s}]$

ضریب پخش بارمنفی ..... $D_-[\mathrm{m^2/s}]$

ضریب گسستگی بار ..... K_d

ضریب بهم پیوستن بار ..... K_r

تعداد بار ..... N

نمادهای یونانی

ضخامت فیلم سیال..... $\delta\,[m]$

نفوذپذیری الکتریکی در خلاء..... $\varepsilon_0\,[F/m]$

نفوذپذیری الکتریکی در محیط..... $\varepsilon\,[F/m]$

نفوذپذیری نسبی..... ε_r

لزجت دینامیکی..... $\mu\,[kg/m.s]$

لزجت سینماتیکی..... $\nu\,[m^2/s]$

چگالی..... $\rho\,[kg/m^3]$

هدایت الکتریکی..... $\sigma\,[S/m]$

تنش برشی..... $\tau\,[N/m^2]$

وزن مخصوص سیال..... $\gamma\,[kg/m^2s^2]$

مقدمه

تداخل میدان‌های جریان سیال با میدان‌های الکتریکی در مبحث الکتروهیدرودینامیک کاربردهای زیادی در صنایع پیشرفته دارند. با اعمال میدان‌های الکتریکی ولتاژ بالا و با ایجاد نیروهای حجمی به سیال در حال سکون یا حرکت، می‌توان به عنوان پمپ برای انتقال مقادیر بسیار اندک مایعات دی الکتریک استفاده نمود. پمپ‌های الکتروهیدرودینامیکی دارای پتانسیل های زیادی نه تنها در پمپاژ سیالات بلکه در افزایش انتقال حرارت در سیستم های صنعتی می باشند. به طور کلی این نوع پمپ ها سبک ، غیر مکانیکی، بدون لرزش و مهم تر از همه دارای توان مصرفی پایین می باشند. در طول دهه های گذشته پیشرفت ابزارهای الکترونیکی و کاهش اندازه آنها معمولا"منجر به افزایش میزان حرارت در این سیستم‌ها شده است ، از این رو نیاز به سیستم‌های انتقال گرمای پربازده افزایش می یابد. در همین راستا کوچک کردن ابعاد سیستم‌های انتقالی در اندازه های میکرو پراهمیت می گردد که این نوع پمپ ها به خوبی می توانند این نیاز را برآورده کنند .

پمپ‌های EHD به سه صورت پمپ‌های القایی، پمپ‌های تزریقی و پمپ‌های رسانشی در فن آوریهای نوین مورد استفاده قرار می گیرند. پمپ‌های القایی و تزریقی بعلت تأثیرات نامطلوبی که در خواص شیمی فیزیکی محیط سیال می‌گذارند و در برخی از کاربردها چندان مورد توجه نیستند. اما پمپ‌های رسانشی در خواص سیال اثرگذار نمی‌باشند بنابراین به عنوان هدف بهینه مورد توجه هستند. در کار حاضر با ایجاد سکوی تجربی، به بررسی عملکرد پمپ رسانش الکتریکی با الکترودهای استوانه‌ای پرداخته شده است، همچنین سعی شده است علاوه بر بررسی تأثیر این نوع پمپ بر روی سیالات مختلف، به بررسی تأثیر آرایش‌های مختلف از جمله آرایش زیگ‌زاگی بر جریان فیلم مایع پرداخته‌شود.

فصل اول

پایه‌های نظری و پیشینه پژوهش

۱-۱ پایه‌های نظری

۱-۱-۱ الکتروهیدرودینامیک

مدل‌های مختلف جریان سیال تحت اثر میدان الکترومغناطیس ، برای ساده سازی به دو قسمت تقسیم می‌شوند[۲]

۱) مگنوهیدرودینامیک (MHD)

۲) الکتروهیدرودینامیک (EHD)

درMHD میدان جریان سیال تحت اثر میدان مغناطیسی بدون وجود میدان الکتریکی و ذرات شارژ شده قرار می‌گیرد در حالی که در EHD میدان جریان تحت اثر میدان الکتریکی و بارهای شارژ شده الکتریکی قرار دارد و اثر میدان مغناطیسی در اینجا ناچیز می‌باشد. در کل نسبت اثر میدان مغناطیسی و اثر میدان الکتریکی متناسب با ضریب هدایت سیال می‌باشد[۲]. بنابراین مدل MHD برای سیالات با ضریب هدایت بالا همانند فلزات مذاب به کار می‌رود در حالی‌که مدل EHD برای سیال‌های با ضریب هدایت پایین همانند مواد خنک‌کننده، هیدروکربن‌هایی که ضریب هدایت آنها در گستره $10^{-8}(S/m)$ تا $10^{-14}(S/m)$ است، قابل کاربرد می‌باشد.

درEHD موضوع اصلی بررسی تاثیر میدان الکتریکی بر سیالات دی الکتریک می باشد، بنابراین ابتدا برخی خواص دی‌الکتریک‌ها را مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۱-۲ رسانندگی الکتریکی[1]:

وقتی به هر محیط عایق یک اختلاف پتانسیل جریان مستقیم اعمال می‌شود جریان الکتریکی محدودی را از خود عبور می‌دهد که هرقدر این جریان کمتر باشد، عایق مورد نظر بهتر است. هدایت الکتریکی با رابطه زیر بیان می‌شود[۳]:

$$\sigma = \frac{J}{E} \qquad (۱-۱)$$

[1] .Electrical Conductivity

در اینجاσهدایت الکتریکی حجمی،Jچگالی جریان و E شدت میدان الکتریکی می‌باشد. در عایق‌های مایع جریان الکتریکی به دلیل وجود یون‌های مثبت و منفی حاصل از شکستن خود ملکول‌های ماده می‌باشد.

۱-۱-۳ نفوذپذیری[۲]:

دو الکترود موازی که بین آنها خلاء می باشد را در نظر گرفته و فرض می شود چگالی بار در دو سطح q+ و q– می باشد . با واردکردن یک دی الکتریک در فضای بین دو الکترود ، میزان چگالی بار در سطوح دو الکترود تنزل میابد و به q_d+و q_d–می رسد. نسبت این دو چگالی بار را نفوذپذیری نسبی نامیده می‌شود . در حقیقت نفوذپذیری نشانگر میزان انحراف از خلاء می باشد.

$$\varepsilon_r = \frac{q}{q_d} \qquad (۲-۱)$$

در محاسبات، نفوذپذیری خلاء به عنوان معیار استفاده می شودکه مقدار آن برابر است با [۳] :

$$\varepsilon_0 \approx 8.854 \times 10^{-12} F/m \qquad (۳-۱)$$

بنابراین نفوذپذیری هر دی الکتریک به صورت $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$ تعریف میگردد. از دیدگاه فیزیکی εیک خاصیت فیزیکی است که نشان می‌دهد که چگونه یک میدان الکتریکی می‌تواند یک محیط دی-الکتریک را تحت تأثیر قرار دهد یا تحت تأثیر آن قرار گیرد و با قابلیت ماده برای قطبی شدن و کاهش میدان در داخل ماده تعیین می‌شود، به عبارت دیگر εمربوط به توانایی ماده برای گذردهی میدان از خود می‌باشد.

ε_rاز لحاظ فیزیکی نسبت ظرفیت یک خازن با شرایط معین و با وجود دی‌الکتریک بین صفحات به ظرفیت خازن با محیط خلأ بین همان صفحات می‌باشد.

---

[2] .Permittivity

۱-۱-۴ موبیلیته:

اصلی ترین بارها ،الکترون ها، یون ها و ذرات معلق می باشند. وقتی که میدان به یک ذره بار دار موجود در سیال وارد می شود ،این ذره شتاب گرفته و بعد از طی مسافتی به سرعت حدی U در راستای میدان می رسد . بنابراین موبیلیته به صورت زیر تعریف می گردد :

$$b = \frac{U}{E} \qquad (۴-۱)$$

واحد موبیلیته $cm^2V^{-1}s^{-1}$ است. روش های گوناگونی برای اندازه گیری موبیلیته وجود دارد .درتعدادی از روش‌ها از منابع پالسی تولید بار استفاده می کنند مثل ایزوتوپ‌های رادیواکتیو، لیزرها و یا شتاب دهنده‌ها. در بعضی دیگر از تزریق دائمی میدان الکتریکی بهره می گیرند . در کل معمول‌ترین روش برای اندازه گیری موبیلیته الکترون و یا یون‌ها روش time-of-flight می باشد که شامل اندازه گیری زمانی است که یک بار طول می‌کشد که فاصله مشخصی را در یک میدان الکتریکی بپیماید. حال فرض کنید ذره باردار کروی به شعاع r تحت تأثیر نیروی ناشی از میدان الکتریکی با سرعت u در یک سیال با ویسکوزیته μحرکت می‌کند[۴].حال می‌توان نوشت:

$$qE = k'\pi\mu r u \qquad (۵-۱)$$

$$u = \frac{qE}{k'\pi\mu r} \qquad (۶-۱)$$

که در رابطه بالا k'در شرایط عدم لغزش برابر۶ ودر حالت لغزش نسبی برابر۴می‌باشد، از رابطه موبیلیته داریم[۴]:

$$b = \frac{q}{k'\pi\mu r} \qquad (۷-۱)$$

معادله بالا را می توان در حالت کلی به صورت قانون والدن برای یون های منفی به صورت زیر تعریف کرد[۴] :

$$b\,\mu = const \qquad (۸-۱)$$

و برای یون‌های مثبت به شکل زیر نوشت[۴] :

$$b\,\mu^{3/2} = const \qquad (۹-۱)$$

۱-۱-۵ فرایند دو قطبی شدن[۳]:

در اتم‌ها و ملکول‌های مواد دی‌الکتریک،مجموع بارها صفر است یعنی بر اثر اعمال میدان الکتریکی بارهای مثبت و منفی اتم‌ها و یا ملکول‌ها می‌توانند در جای خود به صورت الاستیک حرکت کنند(یعنی جابه‌جایی انجام‌شده بعد از حذف میدان به صورت معکوس بر خواهد گشت). این عمل بسته به جنس عایق می‌تواند متفاوت باشد.حرکت الاستیک بارهای الکتریکی غیر آزاد در ماده عایق در اثر میدان الکتریکی خارجی را دوقطبی‌شدن می‌گویند. ابر الکترونی با بار q(-) در فاصله d از بار q پروتون واقع در هسته قرار میگیرد که باعث ایجاد یک مومنتوم دو قطبی به شکل زیر می گردد:

$$\vec{M} = q\vec{d} \qquad (۱۰-۱)$$

اگر ممان دوقطبی‌های ایجادشده در ماده را با هم جمع شده و ممان حاصله را به حجم محیط تقسیم کرده و حجم را به صفر میل داده، بردار قطبش به دست می‌آید:

$$\vec{P} = \lim_{\Delta v \to 0} \frac{\sum_i \vec{M}_i}{\Delta v} \qquad (۱۱-۱)$$

برای مواد همگن،ایزوتروپیک خطی می‌توان نوشت:

$$\vec{P} = k\vec{E} \qquad (۱۲-۱)$$

کهkضریب ثابت می‌باشد. فرایند دوقطبی‌شدن از لحاظ ماهیت به چند دسته تقسیم می‌شوند.

قطبشی که در آن مرکز ثقل الکترون‌ها و هسته اتم از هم جدا می‌شود را قطبش الکترونی می‌گویند.فاصله بین این دو مرکز ثقل بسیار کم است، زیرا نیروهای واردشده بین هسته و الکترون‌ها

[3] .Polarization

نسبت به نیروهای وارد از میدان‌های خارجی بسیار بزرگتر است. به علت جرم کم الکترون‌ها سرعت قطبش بسیار بالا است و در فرکانس های خیلی بالا(حدود10^{16} Hz)نیز قابل انجام است.

قطبش اتمی که گاهی یونی نیز نامیده می‌شود، در مواردی پیش می‌آید که اتم‌های یک ملکول یا بلور بر اثر میدان الکتریکی تغییر مکان یا تغییر ترتیب دهند. این نوع قطبش با توجه به جرم اتم که از الکترون بیشتر می‌باشد کندتر از قطبش الکترونی می‌باشد، در فرکانس‌های بالاتر از فرکانس مؤثر مادون قرمز $10^{13} Hz$ انجام نمی‌گیرد.

بعضی از ملکول‌ها با وجود اینکه از لحاظ بار الکتریکی خنثی می‌باشند ولی به‌دلیل اینکه مرکز ثقل یون‌های مثبت و منفی روی هم نمی‌افتد تشکیل یک دوقطبی می‌دهند.در داخل ماده در شرایط طبیعی ملکول‌ها به صورت تصادفی و نامنظم طوری قرار می‌گیرند که ماده در کل خنثی می‌باشد،با اعمال میدان الکتریکی این ملکول‌ها بصورت دوقطبی در آمده،چرخیده و در جهت میدان قرار می-گیرند به این ترتیب ماده باردار شده و این قطبش جهتی نامیده می‌شود،این قطبش کندتر از دو نوع قبلی می‌باشد.

قطبش مواد غیر همگن بر اثر غیرهمگن بودن عایق نیز قطبش در میدان اتفاق می‌افتد.برای روشن شدن مطلب،فرض کنید که گلوله‌های بسیار ریز هادی در داخل یک عایق جامد قرار گرفته باشند در این صورت بر اثر میدان الکتریکی گلوله‌های کوچک هادی بصورت دوقطبی در می‌آیند که همان دوقطبی شدن در اثر غیر همگن‌بودن است.

قطبش ناگهانی‌در موادی پیش می‌آید که در آنها نه تنها ملکول‌های دوقطبی در میدان جهت می‌گیرند بلکه شبکه بلوری آنها نیز در میدان الکتریکی پس از آنکه میدان از یک حد مشخصی بیشتر شد،ناگهان تغییر جهت می‌دهند این نوع قطبش شدیدتر از انواع دیگر می‌باشد و دارای خاصیت پس-ماند می‌باشد.در واقع می‌توان گفت که تغییر جهت آن بصورت پلاستیک انجام شده است.به این مواد به واسطه شباهت با مواد فرومغناطیس، مواد فروالکتریک می‌گویند.

۱-۱- ۶فرایندهای تولید بار در سیال دی الکتریک

هدف اصلی مطالعات الکتروهیدرودینامیکی بررسی سیال دی الکتریک در معرض میدان الکتریکی می باشد. در این راستا یافتن ماهیت بارهای موجود و یا فرایند تشکیل آنها که دلیل اصلی ایجاد جریان الکتریکی و حرکت حجم سیال می باشند، بسیار پر اهمیت است. در کل می‌توان منابع تولید بار را به دو بخش تقسیم نمود، علل داخلی و منابع خارجی .

الکترون‌ها و پروتون‌ها که اجزای اصلی اتم هستند ، به عنوان اولین نوع بارهای موجود می توانند مورد بررسی قرار گیرند . می دانیم که الکترون‌ها به صورت ابرهایی در اطراف هسته قرار دارند و هر کدام شامل سطوح انرژی مختلفی می باشند. بر همین اساس فقط تعداد مشخصی الکترون می توانند در یک سطح خاصی از انرژی قرار گیرند. با افزایش سطح انرژی یک الکترون این سطوح به هم نزدیک می شوند و بالأخره در سطح انرژی $n=\infty$ انرژی الکترون به حدی می رسد که می تواند به راحتی از اتم جدا شود.این فرایند با ایجاد ارتعاشات مولکولی و چرخش آنها نسبت به هم باعث تحریک اتم‌ها می‌شوند. فرایندهایی از این قبیل در تحریک اتم و مولکول‌ها نقش بسزایی دارند. این ملکول‌ها و اتم-های تحریک شده می توانند در سیال واکنش های شیمیایی گوناگونی دهند این واکنش ها منبع اصلی یون‌ها هستند .عوامل خارجی تولید بار مربوط به یون‌ها و الکترون‌هایی است که از خود سیال نمی باشند و ناشی از عللی همچون وجود ناخالصی وتزریق از الکترودها است .

ناخالصی‌های موجود در سیال را نیز می توان به دو قسم طبقه بندی کرد : ترکیب‌های یونی [1] و ذرات جامد رسانا یا نارسانا بنابراین علل خارجی تولید بار شامل وجود ترکیبات یونی ، تزریق در سطح الکترود و ذرات معلق می باشند.

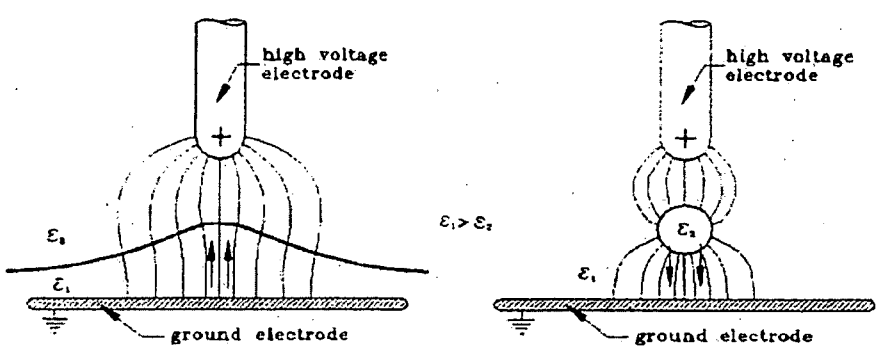
[1] . Ionizing Compounds

۱-۱-۷پمپ‌های EHD

پدیده EHD عکس‌العمل میدان الکتریکی و میدان جریان سیال، در یک سیال دی‌الکتریک است. این عکس‌العمل میان میدان الکتریکی و میدان جریان سیال باعث حرکت سیال به وسیله نیروی الکتریکی می‌شود[۲].

$$F_C = qE - \frac{1}{2}E^2\nabla\varepsilon + \frac{1}{2}\nabla\left[E^2\left(\frac{\partial\varepsilon}{\partial\rho}\right)_T\rho\right] \qquad (۱-۱۳)$$

در اینجا q چگالی بار الکتریکی، E میدان الکتریکی، ε ضریب گذردهی سیال، ρ چگالی سیال و T دمای سیال می‌باشد. جمله اول در این معادله ارائه‌کننده نیروی کولمب است که نیروی عمل‌کننده بر روی بارهای آزاد در میدان الکتریکی است. جمله دوم نیروی دی‌الکتروفورتیک[1] نامیده می‌شود که با گرادیان ضریب گذردهی الکتریکی ارتباط دارد. جمله سوم نیروی الکترواستریکشن[2] است که تنها در سیال‌های تراکم پذیر وجود دارد. عبارت‌های دوم و سوم، نیروی قطبی عمل‌کننده در بارهای قطبی شده را نشان می‌دهد. بنابراین، پمپ‌های EHD به فضای آزاد بار یا گرادیان ضریب گذردهی داخل مایع نیاز دارند.شکل۱-۱نیروی قطبی بوجود آمده به علت گرادیان ضریب گذردهی الکتریکی را نشان می‌دهد. این به پدیده کشیدگی[3] اشاره دارد و می‌تواند در افزایش آهنگ انتقال حرارت در فرایندهای چند فازی جوشش و چگالش مفید باشد.



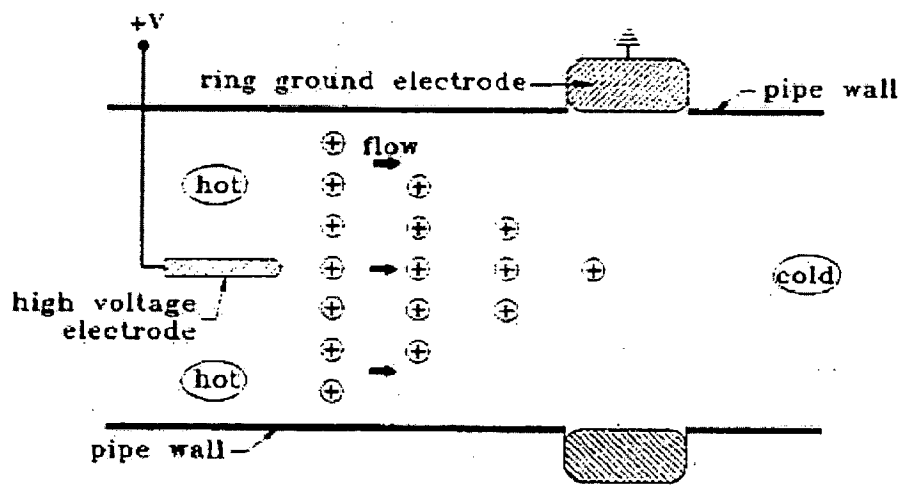
شکل ۱- ۱: نیروی قطبی در اثر گرادیان ضریب نفوذ [۵]

[1]. Dielectrophoretic
[2]. Electrostriction
[3]. Extraction

در مایع تک فازی دماثابت، $\nabla\varepsilon$ حذف می‌شود، زیرا ضریب نفوذپذیری در دمای ثابت تغییر نمی‌کند. در نتیجه نیروی کولمب بعنوان تنها سازوکار برای تولید حرکت EHD خالص می‌شود. سه نوع پمپ EHD که عملکرد آنها بر اساس نیروی کولمب است، وجود دارد: پمپ القایی[۱] ، پمپ تزریقی[۲] ، پمپ رسانش الکتریکی[۳]

۱-۱-۷-۱پمپ‌القایی

پمپ القایی EHD متکی بر تولید بارهای القا شده می باشد. این القای بار در حضور میدان الکتریکی به علت غیریکنواخت بودن رسانش الکتریکی سیال اتفاق می‌افتد. همچنین غیر یکنواختی رسانش الکتریکی سیال بعلت توزیع دمای غیریکنواخت و یا غیر همگن بودن سیال (چند فازی بودن) می‌باشد. بنابراین این سازوکار پمپ نمی تواند برای مایع دماثابت بکار رود. شکل۱-۲ حرکت جریان بوسیله بارهای القاء شده بر اثر توزیع دمای غیر یکنواخت را نشان می دهد. بطور معمول هدایت الکتریکی مایعات با افزایش دما، افزایش می یابد و این افزایش باعث تحریک بیشتر بارها در منطقه گرم می‌شود. بنابراین مایع از سمت الکترود ولتاژ بالا که گرم تر است به سمت الکترود زمین جریان می یابد.



شکل۱-۲ : حرکت جریان EHD به وسیله بارهای تحریک شده در اثر توزیع دمای غیر یکنواخت[۶]

[1]. Induction pump
[2]. Ion – Drag Pump
[3]. Conduction Pump

۱-۱-۷-۲ پمپ تزریقی

دو سازوکار عمده برای تولید فضای بار در یک مایع دماثابت وجود دارد. مورد اول اشاره دارد به پاشش یون در سطح تداخل فلز، مایع که این سازوکار تحت عنوان پمپ تزریقی شناخته می‌شود. دو نوع مدل پاشش وجود دارد که بر اساس الکترود ولتاژ بالا انتخاب می‌شود [۷]. این دو مدل عبارتند از:

۱- یونش میدان[1]

۲- گسیلش میدان[2]

یونش میدان هنگامی اتفاق می‌افتد که ولتاژ بالای مثبت برای الکترود دارای نوک تیز بکار برده شود. الکترون‌ها در حضور میدان الکتریکی قوی از سمت سیال به سمت الکترود تولیدکننده یون‌های مثبت در سیال منتقل می‌شوند. که در شکل ۱-۳ قسمت a نشان داده شده است. این یون‌های تولید شده، در میدان الکتریکی داخل سیال از سمت الکترود ولتاژ بالا به سمت الکترود زمین حرکت می-کنند.گسیلش میدان هنگامی اتفاق می‌افتد که ولتاژ بالای با قطب منفی برای الکترود دارای نوک تیز بکار برده شود. الکترون بوسیله میدان الکتریکی قوی تحریک می‌شود و از سمت الکترود ولتاژ بالای منفی به سمت سیال تولید کننده یون‌های منفی داخل سیال حرکت می کنند که در شکل ۱-۳ قسمت b نشان داده شده است. این یون‌های تولید شده، به سمت الکترود زمین که باعث تحریک جریان از سمت الکترود ولتاژ بالا به سمت خود می‌شود، کشیده می‌شوند. به هرحال پمپ تزریقی مطلوب نیست زیرا این نوع پمپ خواص الکتریکی سیال کاری را به علت پاشش یون خراب می‌کند این می تواند هنگام عملکرد خطرناک باشد.

---

[1]. Field ionization
[2]. Field emission