مقاله پژوهشی ۹۱

شماره ۱۲۵، مهر و آبان ۱۴۰۱، صفحه ۱۱۲-۹۹ پژهش نفت

بررسی اثرات مقیاس pH و امواج فراصوت برپایداری نانوذرات مس اکسید درفر آیند جوشش استخرى

محسن خوشهچین^۱، سهراب فتحی^۲، فرهاد سلیمی^{۱®} و اکبر محمدی دوست^{۱®} ۱ – گروه مهندسی شیمی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران ۲ – گروه مهندسی شیمی، دانشکده انرژی، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰۴

چکیدہ

در این پژوهش آزمایشگاهی به بررسی افزایش ضریب انتقال حرارت در جوشش استخری نانوسیال با ذرات مس اکسید (CuO) با استفاده ازروش های تغییر PH و امواج فراصوت پرداخته شده است. نانوذرات موجب افزایش ضریب انتقال حرارت سیال پایه در فرآیند جوشش شده اما این مواد به علت عدم پایداری با افزایش دما و زمان، موجب رسوب بر سطح گرم کن و در نهایت موجب کاهش ضریب انتقال حرارت می شوند. در نتیجه لازم است که غلطت بهینه نانوذرات در سیال به دست آید تا کمترین مقدار رسوبات تشکیل شود. بنابراین استفاده از روش هایی که منجر به کاهش رسوب نانوذرات برروی سطح شوند، مانند افزایش پایداری نانوذرات و استفاده از غلظت بهینه، می تواند ضریب انتقال حرارت را افزایش دهد در این کار از دو روش پایداری نانوذرات در محلول یعنی تغییر PH (۵/۹، ۱۰ و ۱۰/۱) و تابش امواج فراصوت (با توان های ۵ ۵۰ و ۵۷٪ از توان دستگاه فراصوت (۱/۱۲ kW) استفاده شده است. نتایج کار به خوبی نشان داد که در غلظت به ۲۰/۱۰ از محلول نانوسیال، بیشترین مقدار ضریب انتقال حرارت با تابش امواج فراصوت (۲/۱۰ دارت دارت دار است. ۵۷ و ۲۰/۱۰ از محلول نانوسیال، بیشترین مقدار ضریب انتقال حرارت با تابش امواج فراصوت (۱۰ ۲ در ۱۰ دارت دارت دار ۱۰ می ۲۰۱۰ دارت دارت دار این دارت دارت در اسی دارت دار این دارت دارت در محلول به دارت استفاده از علط دارت در این دارت در انوز در این دارت دار افزایش دهد. معروی دار از در روش پایداری نانوذرات در محلول یعنی تغییر HT (۵/۹، ۱۰ و ۱۰/۱) و تابش امواج فراصوت (با توان های ۲۵

كلمات كليدي: نانوذرات، ضريب انتقال حرارت جوشش، امواج فراصوت، pH، رسوب

مقدمه

بهعلت وجود بحران انرژی (در تولیدازمنابع) در سراسر جهان، توجه بیشتری بهسمت صرفهجویی در تولید و تبدیل انرژی بهسایر انرژیهای کارآمد

و با صرف اقتصادی جلب شده است. فرآیندهای تغییر فاز در انتقال حرارت یکی از روش های مؤثر در انتقال انرژی هستند که در آن انرژی با شار حرارت بالا و در قالب فرآیند تغییر فاز مایع به بخار و بالعکس رخ میدهد [۱]. فرآیند جوشش استخری با تغییر فاز قادر به انتقال شارهای حرارتی خیلی کم تا شارهای بسیار زیاد است.

[«]مسؤول مکاتبات آدرس الکترونیکی Ak.Mohammadidoust@iau.ac.ir f.salimi@iauksh.ac.ir (DOI:10.22078/PR.2022.4710.3114)

۹۲ مقاله پژوهشی

پر وش نفت شماره ۱۲۵، مهر و آبان ۱۴۰۱، صفحه ۹۱–۹۱

و تەنشــینی را کاهــش میدهنــد، امــا جــز لاینفــک در کاهـش هدايـت حرارتـی نانوسـيال اسـت .برخـی از محققین تأکید دارند که تجمع ذرات و تشکیل خوشههای[†] نانوذرات باعث کاهش در پایداری نانوسیال می شوند [۱۲ و ۱۳]. مادامی که در فرآیند جوشش، تبخیر در میکرولایه ها باعث حفظ و ادامه فرآیند می شود، غلظت نانوذرات در این نواحی و یـس از جـدا شـدن هـر حبـاب از سـطح، افزایـش یافته و موجب رسوب سریع نانوذرات برروی سطح انتقال حرارت می شود. این سازوکار باعث می شود تشکیل رسوب در فرآیند جوشش اجتنابناپذیر باشد [۱۴]. هدایت حرارتی نانوسیالها تابع فاکتورهایی مانند شکل، اندازه و پایداری نانوذرات، نوع سيال پايه استفاده شده، غلظت نانوذرات و دمای محلول است [۱۵]. روش های متداول برای يايدارى نانوسيالات شامل افزودن سورفكتانت، تغییـر pH محلـول و تابـش امـواج فراصـوت هسـتند [۱۶]. پراکندگے مناسب نانوذرات در سوسپانسیون را میتوان با افزایش چگالی بار سطحی (جهت تولید نیروهای دافعه قوی) بهدست آورد. بهطور کلی، نانوسیال نباید در نقطه ایزوالکتریک (IEP) قرار داشته باشد. نقطه ایزوالکتریک نقطهای است که در آن مولکول یا ذرہ دارای بار الکتریکی سطحی خالصی نباشـد. در ایـن حالـت، پدیدههـای الکتروسـینتیکی از بین میروند. در صنعت هر دو روش تغییر pH محلول و افزودن سورفکتانت برای دور شدن از نقطه ایزوالکتریک به کار می برند. براساس نظریه .[1Y] Derjaguin- Landau- Verwey- Overbeek کنترل کردن pH در محلول یک روش مناسب برای پراکندگی نانیوذرات در محلول است. زمانی که pH مساوی یا نزدیک به نقطه IEP است، نانوذرات تمایل به نایایداری دارند و در نتیجه خوشههایی از ذرات تشکیل و رسوب میکنند.

1. Electro Hydrodynamic

2. Swirl Flow Device

3. Brownian Motion

4. Cluster

فرآیند جوشش استخری، در تجهیزات صنعتی مانند راكتورهای هستهای، تراشههای الكترونیكی، دیگهای بخار و غیره، که در آنها دستیابی به بالاترین میزان انتقال حرارت از اهمیت زیادی برخوردار است، نقش اساسی دارد [۲]. بهطور کلی، دو روش برای افزایش کارایی در انتقال حرارت وجود داد کـه شـامل روشهـاي فعـال و غيرفعـال ميباشـند. در روش های فعال نیازمند یک نیروی خارجی مانند ارتعاشات مکانیکی [۳]، الکتروهیدرودینامیک (EHD) [۴] وامــواج فراصـوت [۵] اسـت. روشهـای غیرفعال نیےز شامل تکنیکھایے میشود کے درون محلول و سیستم (بعد از شروع فرآیند نمی توان بر فرآیند تغییر اعمال کرد) انجام می گیرد که شامل نوع محلول، جنس و هندسه سطح هستند. این تکنیک ها مانند نانوسیال [۶]، دستگاههای جریان جرخشی^۲ [۷] و سطوح افزایش یافته [۸] می باشند. با توجه به هدایت حرارتی بالای نانوذره، اکثر نتایج نشان میدهند که نانوذرات میتوانند عملکرد انتقال حرارت را در مایعات به طور چشم گیری افزایـش دهنـد [۹]. امـا نکتـه مهـم در مـورد افـزودن نانوذرات فلزى، افزايش ويسكوزيته مايعات است كه موجـب افزایـش هزینههای پمپاژ شـده، و از طرفـی نانوذرات بەشدت تمایل به تەنشىنى داشتە كە موجب كاهش ميزان ضريب انتقال حرارت مي شود. نانوذرات متداول درصنعت و آزمایشگاهها شامل آلومینیوم اکسید (Al₂O₃)، مـس (Cu)، مـس اکسید (TiC)، کاربیدس_یلیکون (SiC)، کاربیدتیتانیوم (CuO) می باشند. نانوذرات فلزی یا اکسید آن ها می توانند با خواص خود که شامل بالا بودن ضریب هدایت [۱۰ و ۱۱]، افزایت نیروی براونیت م در کنار کم بودن ویسکوزیته نسبت به اندازه ذرات در مقیاس میکرومت.، باعـث افزایـش چشـمگیری در ضریـب انتقال حرارت مخصوصاً در مبدل های حرارتی شوند، کـه ایـن افزایـش موجـب کاهـش در انـدازه سـاخت تجهیـزات گـران قیمـت میشـود. اگرچـه ذرات در اندازه نانو بهطور چشم گیری مشکل کلوخه شدن

محسن خوشهچین و همکاران 🔜 ۹۳

فعال مولد حباب می شود [۲۶]. امواج فراصوت را مىتوان بەصورت مستقيم يا غيرمستقيم اعمال کرد. در روش مستقیم برای انتشار امواج، پراب را بهصورت غوط موردر محلول قرار داده، ولی در روش غیرمستقیم ظرف حاوی نمونه را داخل حمامی از مایع قرار داده و سپس امواج از داخل مایع به ظرف نمونه تابانده می شود [۲۷]. مشکل اصلی نانوذرات عدم پایداری آن ها در محلول و تمایل به تهنشینی است که موجب رسوب بر سطح انتقال حرارت، و در نتیجـه کاهـش میـزان انتقـال حـرارت میشـوند. در ایــن مطالعــه آزمایشــگاهی هــدف بررســی افزایــش ضريب انتقال حرارت بهوسيله افزودن نانوذرات به محلول در جوشش استخری (رژیم هستهای و ناحیه اشباع) و همچنین پایداری نانوذرات با اعمال امواج فراصوت و تغییرات pH محلول است. واضح است که دو روش ذکر شده جزء روشهای پایداری نانوسیالات میباشیند، اما در جوشیش استخرى بهعلت توليد حباب برروى سطح انتقال حرارت، پایداری پیچیده و متفاوت در می شود زیرا هنگام تولید و جدایش حبابها از روی سطح انتقال حرارت، نانوذرات معلق در محلول به محض جدا شدن هر حباب از سطح انتقال حرارت برروی سطح نشسته و رسوب می کنند. بنابراین لازم است بررسی شود که کدامیک از دو روش موجود، موجب کاهش رسوبات و افزايش ميزان انتقال حرارت مى شود. بهطور کلی، باید مشخص شود کدام روش پایداری برای نانوذرات در جوشش استخری، عملکرد بهتری داشته بدون اینکه باعث بهوجود آمدن مشکلات و موانعی برای افزایش میزان انتقال حرارت شود. اصلی ترین تفاوت این کار با دیگر تحقیقات را می توان در بهینه کردن جزء به جزء پارامترهای تأثیر گذار نانوذرات، امواج فراصوت و همچنین مقیاس pH محلول ذکر نمود. تأثیر گذاری امواج مافوق صوت و مقياس pH بر پايدارى نانوذرات و در نهایت مقایسه این دو از دیگر نوآوریهای این کار میباشد. بررسى اثرات مقياس ...

بهطور خلاصه در نقطه ایزوالکتریک، نیروی دافعه بین ذرات به کمترین مقدار خود میرسد. گودرزی CuO-H₂O نانوسیال pH نانوسیال [۱۸] نشان داد که با تغییر ا و دور شدن از نقطه ایزوالکتریک نانوذرات (بهدلیل اینکے نانوسےالھا اسےدی یے بازیتے میشوند)، بازده انتقال حرارت افزایش می یابد. سرافراز [۱۹] نشان داد که برای نانوذرات CuO محلول در آب، نقطه ایزوالکتریک در pH= ۸/۳۳ بوده، بنابراین برای تثبیت نانوس_يال pH · CuO سوسپانس_يون باي_د تاجايىك_ه امــکان دارد کمتــر يــا بيشــتر از ۸/۳۳ باشــد کــه در نهایت pH برابر با ۱۰/۲ را بهعنوان بهترین مقدار برای پایداری نانوذرات CuO اعلام کرد. از طرفی، ییغمب_زاده [۲۰] در آزمایشهای خود بیان کرد کـه pH برابـر ۱۰/۱، نانـوذرات CuO را در محلـول بـه پایدارترین حالت میرساند. روش سوم در پایداری نانوذرات استفاده از امواج فراصوت است که از آن برای شکست یا ضعیف کردن نیروی جاذبه واندروالسی در سطح تماس بین ذرات میتوان استفاده کرد. درصورتی کـه امـواج فراصـوت نتواننـد كلوخـه شـدن نانوذرات را بهطور کامل در هم بشکنند، اما با تبدیل آن ها به تراکمهای کوچکتر، موجب افزایـش پایـداری در نانوسـیال میشـوند [۲۱]. البتـه کاهـش رسـوبات يـا شکسـتن کلوخـه هـا بـه قـدرت و مدت زمان تابش امواج فراصوت بستگی دارد. محبوبول [۲۲] مشاهده کردکه پراکندگی نانوذرات با افزایے ش زمان تابے ش امواج فراصوت، هدایے حرارتے بالاتر و ویسکوزیته پایینتری حاصل می گردد. امواج فراصوت با شدت بالا در محلول انتشار پیدا کرده و باعـث کاویتاسـیون میشـود [۲۳]. حبابهایـی کـه در اثر کاویتاسیون تولید شده، طی چندین دوره رشد میکنند و بعد از رسیدن به قطر بحرانی خود متلاشی می شوند [۲۴]. اثر مثبت کاویتاسیون ناشی از امواج فراصوت برروی انتقال حرارت جامد- مایع قبلاً توسط کیم بررسی شده است [۲۵]. از طرفی، تابیش امواج فراصوت با جلوگیری از نشست ذرات برروی سطح گرمکن، مانع از مسدود شدن نقاط

مه مقاله پژوهشی

در ادامه، به بررسی مهم ترین مدل های پیش بینی ضريب انتقال حرارت پرداخته شده است. روزنو [۲۸] مدل خود را بر این فرض که حرکت حبابها از ابتدای ترک سطح انتقال حرارت، بیشترین اهمیت را دارا هستند، ارائه نمود. کوتاتلادزه [۲۹] مدل خود را بااستفاده از دو پارامتر بدون بعد و بدون لحاظ كردن زبري سطح انتقال حرارت محاسبه و ارائــه داد. اســتفان [۳۰] معـادل خــود را بــا اســتفاده از برازش چندگانه و با تحلیل و به کارگیری ۵۰۰۰ نتایج آزمایشگاهی از ۷۲ مقاله، برای سطوح افقی و تحت فشار اتمسفریک بهدست آورد. گارنفلو [۳۱] با بررسی و تحلیل آزمایش های بی شمار و حجم زیادی از داده ها، مدل خود را ارائه کرد. مدل گارنفلو تابعی از زبری سطح Rp، فشارکاهیده و شار حرارتی است. علوی فاضل [۳۲] با مطالعات آزمایشـگاهی بـرروی محلولهـای خالـص (ماننـد آب دی یونیزه و مایعات الکلی) با استفاده از اصل حالات متناظر و آنالیز ابعادی مدل خود را ارائه نمود. این مدلهای ریاضی در جدول ۱ آورده شده است.

مواد و روشها دستگاه آزمایشگاهی

سیستم مورد مطالعه از یک ظرف مکعب شکل از جنس شیشهای (آکواریوم) به ضخامت mm ۱۰ که دارای مقاومت حرارتی بالا و ابعاد ۱۸۰ ، ۹۰ و mm ۳۵۰ که بهترتیب طول، عرض و ارتفاع میباشند، ساخته شده است. در مرکز این ظرف از یک استوانهای توخالی از جنس مس به قطر خارجی، قطر داخلی و طول بهترتیب ۲۴، ۱۳ و mm ۱۶۰ و با زبری متوسط سطح mμ ۲۸٬۴ بهعنوان گرم کن با زبری متوسط سطح mμ ۲۸٬۰ بهعنوان گرم کن استوانه یک لامپ مدادی به قطر و طول بهترتیب ۱۱ و ۲۰۰۳ با توان حداکثر Mk ۱ قرار داده شده است. همچنین برای تغییر در ولتاژ ورودی به لامپ، از یک اتوترانس با توان M ۱ که قادر به تغییر ولتاژ در بازه V۰۰۳ - ۱ست، استفاده گردیده است.

پر وش رفضت شماره ۱۲۵، مهر و آبان ۱۴۰۱، صفحه ۹۱–۹۱

دامنیه ولتاژ ۲۰۰۷–۲۲۰ و بهصورت پلکانی ۲۰ افزایش یافت. پس از هر بار تغییر ولتاژ به سیستم اجازه داده شدکه از نظر تغییرات دمایی ایجاد شده پایدار شده (معمولاً بین ۲ تا ۳ min)، سپس نتایج را ثبت کرده و مجدد ولتاژ افزایش داده می شد. برای ثابت نگهداشتن حجم (۲ ۲) و غلظت محلول برای ثابت نگهداشتن حجم (۲ ۲) و غلظت محلول در حال جوشش از یک کندانسور دربالای آکواریوم جهت میعان کردن بخارات و برگشت به مخزن دستگاه یا کاردن بخارات و برگشت به مخزن استفاده شده است. جهت ایجاد امواج فراصوت، از دستگاه یا کار او فرکانس ۲۴ kHz استفاده شد که جزئیات بیشتر در شکل ۱ قابل مشاهده است.

برای اندازه گیری مقدار ولتاژ و آمپر مصرفی از یک مولتیمتر در محدوده N mV~۱۰۰۰ ۷ و ۰/۱~μΑ ۲۰ A استفاده شد. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می گردد جهت ثبت تغییرات دمای ایجاد شـده در سـطح گرمکـن، از سـه عـدد ترموکوپـل در سه سوراخ ایجاد شده با زاویه ^۱۲۰۰ نسبت به هم استفاده شده است. این سوراخها در نزدیکترین فاصله ممکن به قطر خارجی استوانه یعنی ۱ mm قـرار داده شـدهاند. قطـر هـر سـوراخ ۲ mm و عمـق آن نیز mm ۵۰ mm است. در درون هر سوراخ یک ترموکوپل نوع K با طول سنسور ۲۰ ۳۳ و قطر ۲۰ mm، با محدوده عملکرد C° ۱۸۰-تا C +۷۵۰ و دارای حساسیت ۴۱ µV.°C -۱ قرار داده شد. صفحه نمایش دمایی که ترموکوپلها به آن وصل شده تک کاناله، از نوع LCD و مدل أن LCD ED6-FKMAP4 با دقت خواندن دما بهصورت اعشاری و با خروجی A میباشد. برای اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی محلول نانوسیال، از دستگاه KD2pro مدل DECAGON ساخت آمریکا که امکان اندازه گیری در محــدوده ۵۰- تـا C[°] ۱۵۰+ دارا اسـت، اسـتفاده گردیـد. جهت اندازه گیری میزان pH محلول نیز از دستگاه pH متر مدل MI150 ساخت كمپانے pH ايتاليا استفاده شد.

محسن خوشهچین و همکاران ۹۵

بررسی اثرات مقیاس ...

	جنول آروابط برای پیش بینی صریب انتقال خرارت جوشش استخری
محقق	رابطه ریاضی مدل
روزنو [۲۸]	$\frac{h\beta'}{k} \left[\frac{gc\sigma}{g(\rho_l - \rho_v)} \right]^{\frac{1}{2}} = C_r \left[\frac{\beta'}{\mu} \left(\frac{g_c\sigma}{g(\rho_l - \rho_v)} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{q}{A} \right]^{\frac{2}{3}} \left(\frac{c\mu}{k} \right)^{-0.7}$
كوتاتلادزه [۲۹]	$h = \left[3.37E - 9\frac{k_l}{I^*} \left(\frac{H_{g_l}}{C_{pl}(\frac{q}{A})}\right)^2 M^{*4} \right]^{\frac{1}{3}}, M^{*4} = \frac{\left(\frac{p}{\rho_e}\right)^2}{\frac{\sigma g}{\rho_l - \rho_v}}, I^* = \left[\frac{\sigma}{g\left(\rho_l - \rho_v\right)}\right]^{0.5}$
استفان [۳۰]	$\frac{hD_{b}}{k_{l}} = (0.24E+7) \left(\frac{qD_{b}}{Ak_{l}}\right)^{0.673} \left(\frac{h_{fg}D_{b}^{2}}{k_{l}^{2}}\right)^{-1.58} \left(\frac{T_{sat}D_{b}C_{pl}}{k_{l}^{2}}\right)^{1.26} \left(\frac{\rho_{l}-\rho_{v}}{\rho_{l}}\right)^{5.22}$ $\frac{hD_{b}}{k_{l}} = 267 \left(\frac{qD_{b}}{Ak_{l}T_{sat}}\right)^{0.745} \left(\frac{\rho_{v}}{\rho_{l}}\right)^{0.581} \left(\frac{\alpha_{l}}{k_{l}}\right)^{0.533}$
	شکل عمومی رابطه $\frac{hD_b}{k_l} = 0.23 \left(\frac{qD_b}{Ak_l T_{sat}}\right)^{0.647} \left(\frac{\rho_v}{\rho_l}\right)^{0.297} \left(\frac{h_{fg} D_b^2}{\alpha^2}\right)^{0.371} \left(\frac{\rho_l \alpha^2}{\sigma D_b}\right)^{0.35} \left(\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_l}\right)^{-1.73}$
گارنفلو [۳۱]	$\frac{h}{h_0} = \left(\frac{q}{q_0}\right)^{n(p_r)} F(p_r) \left(\frac{R_p}{R_{p0}}\right)^{0.133}$ $n(p_r) = 0.9 - 0.3 p_r^{0.3}, F(p_r) = 1.73 p_r^{0.27} + \left(6.1 + \frac{0.68}{1 - p_r}\right) p_r^{2}$
علوی فاضل [۳۲]	$h = \frac{3.253\sigma^{0.125} h_{fg}^{0.125} \left(\frac{q}{A}\right)^{0.876}}{T_{sat} \alpha_l^{0.145}}$

بانتقال حيايت حمشش استخ La transformation of the Automation



مقاله پژوهشی ٩۶

دستگاه حمام ویسکوزیته دو قلوکلاس A، مدل kp0312 شرکت کیان پژوهش گستر ساخت ایران با ۲ مخزن ۲۰ لیتری، دو عدد گرم کن برقی با توانهای ۱۰۰۰ و W ۱۵۰۰، در محدوده ۲۰+ تا ۲۵ ۰۵۲+ و با حداکثر نوسان دما ۲۰ ۲۰/۰۰± بهکار گرفته شد. این دستگاه همچنین دارای ۴ زمانسنج مستقل با دقت ۲ ۱۰/۰۱ست.

شرح أزمايشها

آزمایشها ابتدا با آب دی یونیزه شده بهعنوان محلول پایه به حجم ۲ L و سپس با اضافه کردن نانوذرات مے اکسید (CuO) ہے وزن مولے ′۷۹/۵۵ g. mol و چگالے ۶/۴ g. cm - 3 ساخت کمیانے platonicnanotech کشور هند، انجام گرفت. مشخصات نانوذرات در جدول ۲ نشان داده شده است. شکل ذرات نزدیـک بـه کـروی بـا غلظـت ٪. v/۰۲۵ wt بـه آب دی یونیزه با سه اندازه ۲۰، ۴۰ و nm ۶۰ اضافه شد. تصاوير ميكروسكوپ الكتروني (SEM) در شكل ۲ قابل مشاهده می باشند. پس از تعیین بهترین اندازه نانوذره جهت افزايش ضريب انتقال حرارت، در مرحله بعد جهت تعیین غلظت بهینه با افزایش درصد وزنیهای نانوذرات، از ./wt. ۲۵ ۰/۰۲۵ تا ۰/۱۲۵ wt./ با گام /۰۲۵ wt./ استفاده شد. در مراحل بعدی برای بررسی پایداری نانوسیال بهترتیب تغییر pH (استفاده از HCl و NaOH جهت تنظيم) و سيس امواج فراصوت بهکار گرفته شد. قبل از استفاده از درصد وزنی های مختلف نانوسیال، محلول نانوسیال

جدول ۲ مشخصات نانوذرات مس اکسید.

مادہ	فرمول شيميايى	خلوص ٪	رم مولی ((.g. mol) چگالی (g. cm) رنگ خلوه		جرم مولی (g. mol-1)	اندازه (nm)
نانوذرات مس اكسيد	CuO	९९/९	پودرسياه	۶/۴	۲٩/۵۵	۲۰، ۴۰ و ۶۰

پر وش نفت شماره ۱۲۵، مهر و آبان ۱۴۰۱، صفحه ۱۲–۹۱

را جهت پراکندگی یکنواختتر ذرات، حدود نیم ساعت در حمام فراصوت دیجیتال Elmasonic EP20H ساخت آلمان با فرکانس ۳۷ kHz قرار داده شد. برای اطمینان از قرار داشتن فرآیند در شرایط جوشش اشباع، در طول آزمایش ها به کمک ترموکوپل چهارم که در محلول قرار داده شد، شرایط اشباع بودن همواره کنترل گردید. همچنین در هر مرحله از آزمایش ها با استفاده از دوربین فیلمبرداری پر سرعت Sony PMW-300K1 از تغییرات رخ داده در سطح گرم کن و محلول در حال جوشش فیلم گرفته شد. در نهایت اثرات و تغییرات دینامیک حباب ضبط و سیس با استفاده از نرمافزار EDIUS (نرمافزاری جهت ویرایش فیلم) تصاویر را آهسته تا تغییرات دینامیک حباب (فرکانس جدایش حباب، قطر جدایش حباب و نقاط مولد حباب) مشاهده و بررسی گردد. لازم به ذکر است که هر آزمایش حداقل ۵ بار تکرار شده و میانگین دادههای آزمایشی لحاظ شد.

عدم قطعيت

در ایـن دسـتگاه، بـرای اندازه گیـری ضریـب انتقـال حـرارت از قانـون سـرمایش نیوتـن بهصـورت زیـر اسـتفاده شـد: $h = \frac{q/A}{(T_s - T_{sat})}$ (۱) کـه درآن _sT دمـای سـطح انتقـال حـرارت، A سـطح انتقـال حـرارت، h ضریـب انتقـال حـرارت، q شـار حرارتـی و _{sat} دمـای تـوده سـیال اسـت کـه روش اندازه گیـری هـر کـدام بررسـی میشـود.



محسن خوشه چین و همکاران ۹۷

(ب)

بررسی اثرات مقیاس ...





(ج)

شكل ۲ تصاوير ميكروسكوپ الكتروني (SEM) نانوذرات اكسيدمس: الف) مقياس ۲۰ nm، ب) مقياس ۴۰ nm و ج) مقياس ۶۰ nm

و تحلیل نتایج حائز اهمیت است و از طرف دیگر، مکان نصب ترموکوپل ها در فاصله کمی با سطح بیرونی گرمکن قرار دارند و این فاصله هر چند کوچک، باعث اختلاف دمای بسیار کمی شده که برای ثبت دقیقتر دما، از رابطه ۴ برای تصحیح این خطا استفاده شد:

$$T_s = T_{th} - \frac{q^{'} b_s}{k_s} \tag{(f)}$$

در ایسن رابطیه، b_s فاصلیه بیسن محلهای نصب ترموکوپل تا سطح انتقال حرارت و k_s هدایت حرارتی سطح گرمکن است. میانگین درجه حرارت سیه ترموکوپل (\overline{T}_s) از رابطیه ۵ محاسیه گردید: $\overline{T_s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} T_{s,i}$ (۵) از آنجا که گرمکن موجود در سیستم توان الکتریکی را به انـرژی حرارتـی تبدیـل میکنـد، مقـدار شـار حرارتـی را میتـوان بـا اسـتفاده از رابطـه زیـر محاسـبه کـرد [۳۳]:

(الف)

$$q / A = IV / A(\cos\varphi) \tag{(Y)}$$

سطح گرمکن نیز از رابطه زیر محاسبه می شود:
(۳)
$$A = \pi d L$$

که در آن I، V و م بهترتیب معرف اختلاف پتانسیل الکتریکی برحسب ولت، شدت جریان برحسب آمپر و م اختلاف فاز بین اختلاف پتانسیل الکتریکی است (که اختلاف فاز بین اختلاف پتانسیل الکتریکی و شدت جریان ناچیز بوده عملا میتوان مos را برابر واحد در نظر گرفت). از آنجا که ثبت دقیق دمای سطح گرمکن توسط ترموکوپل برای تجزیه

۹۸ مقاله پژوهشی

نتايج و بحث

حداکشـر عـدم قطعيـت تخميـنزده شـده بـراى شـار
حرارتـى برابـر اسـت بـا:
(۶)
$$\frac{\delta(q/A)}{2} = \sqrt{\left(\frac{\delta I}{2}\right)^2 + \left(\frac{\delta V}{2}\right)^2}$$

$$\sqrt{P} = \sqrt{T} \sqrt{T} \sqrt{T}$$
 همچنین برای بهدست آوردن مقادیر خطای
اختلاف دمای سطح و محلول در حال جوشش
(دمای سوپرهیت) و همچنین ضریب انتقال حرارت
از رابطههای ۲ و ۸ استفاده شده است.

$$\delta \Delta T = \sqrt{\left(\delta T_{s}\right)^{2} - \left(\delta T_{th}\right)^{2}} \tag{Y}$$

$$\frac{\delta h}{h} = \sqrt{\left(\frac{\delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\delta V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\delta T}{T}\right)^2} \tag{(A)}$$

در جدول ۳ میران عدم قطعیت دستگاههای اندازه گیری در این پژوهش آورده شده است.

قطعيت	جدول ۳ منابع عدم
میزان عدمقطعیت	پارامتر
± •/• \ mm	قطر و طول لوله
±•/\°C	ترموكوپل ,K-type
±%.•/\ V	ولتاژ
±7.1 A	جريان
±'.\/Δ W	توان
\pm 1/laga kW. ${\rm m}^{\text{-2}}$	شار حرارت ماکزیمم ۷۶ kW.m ⁻²
'/.∆ W.m-¹.K ⁻¹	ضریب هدایت حرارتی ,KD2 pro
± %	زبری سنج

مقایسه ضریب انتقال حرارت (BHTC) آزمایشگاهی با مدلهای پیشین برای صحت از عملکرد و درستی دستگاه آزمایشگاهی مورد استفاده قبل از شروع به آزمایشها، چند

تست برروی آب دییونیزه به عنوان سیال پایه انجام گرفت. سپس نتایج را با مدل های موجود مقایسه و نتایج در شکل ۳ آورده شده است. نتایج نشان میدهد، که دستگاه مورد آزمایشگاهی در محدوده مناسبی از نتایج کار میکند. به نحوی که نتایج بهدست آمده در مقایسه با مدل استفان که نتایج بهدست آمده در مقایسه با مدل استفان و عبدالسلام با میانگین خطا و با مدل علوی فاضل فمپوشانی یا کمترین هم پوشانی را با نتایج آزمایشگاهی برای آب دی یونیزه داشته اند.

تاثیر اندازه نانوذره بر BHTC

در شکل ۴ مشاهده می شود در ابتدا به بررسی اثرات اضافه کردن نانوذرات CuO بر BHTC و شار حرارت بحرانی در سه اندازه ۲۰، ۴۰ و ۳۸ ۶۰ در غلظت ثابت ٪.۰۲۵ wt در آب دی یونیزه به عنوان سیال پایه پرداخته شده است.



محسن خوشهچین و همکاران 🛛 ۹۹

بررسی اثرات مقیاس ...



شکل ۴ تغییرات ضریب انتقال جوشش نانو مس اکسید با غلظت ٪ .۰۰۲۵ wt نسبت به آب دی یونیزه

دلایل مهمی در کنار افزایش دما بر افزایش نیروی براونین نقش اساسی دارد. بیشتر شدن سطح ویژه باعث میشود سطح بیشتری برای تبادل حرارت در اختيار سوسيانسيون قرار گيرد (جدول ۴).

جدول ۴ مقادیر سطح ویژه CuO

۶.	۴.	۲.	(nm) قطر
~18	~7.	~۳۵	(m².g-1) سطح مقطع ويژه

براساس نظريه انتشار اينشتين سرعت براونين نانوذرات با کاهش قطر نانوذرات تا حد زیاد افزایـش مییابـد [۴۰]. افزایـش دمـا باعـث افزایـش حرکت ذرات می شود و از آنجایی که ذرات کوچکتر سریعتر نسبت به ذرات در شتتر حرکت میکنند، در نتیجه ذرات کوچکتر در سطح بالاتری از حرکت براونین نسبت به ذرات بزرگتر قرار می گیرند [۳۵]. کاهـش در انـدازه ذرات موجـب کاهـش ویسـکوزیته و در نهایت افزایش در میانگین سرعت حرکات براونین می شود، که چندین عامل مهم مانند کسر حجمی، اندازه ذرات، درجـه حـرارت مایـع و اثـر زیـادی بـر ویسے کوزیته می گذارنے [۴۰].

2. Brownian Motion

با اضاف کردن نانوذرات CuO، افزایش چشم گیری در عملکرد BHTC نانوسیال، نسبت به آب دی یونیزه بهدست آمده است. لو و همکاران [۳۴] در تحقیقات خود نشان دادند که با اضافه کردن نانوذرات CuO بـه آب دیونیـزه، HTC ^۱ تـا ۳۰٪ افزایـش یافـت. بـا مشاهده شکل ۴ افزایش BHTC در شارهای پایین تا حدود شار ۵۵ kW.m² روندی صعودی داشته و یـس از آن رفتهرفتـه افـت شـدید مـی یابـد. در ادامـه به بررسی این افزایش و کاهش پرداخته میشود. همان طور که در بالا نیز اشاره شد افزودن ذرات فلـزى در ابعـاد نانومتـر بهعلـت داشـتن هدايـت حرارت بالا، باعث افزایش HTC می شود [۳۶ و ۳۵]. از طرفی، این افزایش فقط محدود به مقیاس در اندازهی نانو نمیباشد، بلکه هر چه سایز ذرات در حد نانوذره باز هم کوچکتر شود، ضریب انتقال حرارت بیشتر و بیشتر می شود. نتایج نشان داده که در سایز ۲۰ nm با متوسط افزایش ۱۲/۱۷٪ و nm ۶۰ با متوسط افزایش ۱۱/۱۵٪ بهترتیب بیشترین و کمتریــن افزایــش مشــاهده شــد. افزایــش نیــروی براونیـن^۲ بهدلیـل افزایـش ضریـب هدایـت حرارتـی را می توان دلیل مهم در افزایش BHTC نام برد [۳۹-۳۷]. حرکات براونین تنها زمانی وجود دارد که ذرات با ابعاد بسیار کوچک در سیال حضور داشته باشند.

^{1.} Heat Transfer Coefficient

۱۰۰ مقاله پژوهشی

پر وش رفت شماره ۱۲۵، مهر و آبان ۱۴۰۱، صفحه ۹۱–۹۱

نانوذرات ضريب انتقال حبرارت افت يبدا كبرده است. عامل اصلی این افت همان طور که گفته شد، بهعلت رسوب و کلوخه شدن نانوذرات در حیس فرآیند است. تمایل ذرات در سیال به کلوخه شدن را میتوان به دو دلیل مهم مرتبط دانست. اول بەدلیل وجود نیروهای واندروالس، که به ویژه در ذرات فلزی بیشتر دیده میشود، چون دو قطبی^۲ شدن یون ها می توانند به راحتی در مولکول های این ذرات رخ دهند. ایجاد دو قطبی باعث جذب دیگردو قطبیهای مجاو می شود. نیروهای واندروالـس از جاذبـه ايـن دو قطبىهـا ناشـى مىشـود. این نیروی جاذبه بهعنوان عامل اصلی در تجمعات ذرات، به ویژه در نانوپودرها محسوب می شود [۲۲]. دوم اینکه با توجه به سطح انرژی بالای نانوذرات، به راحتی انعقاد پیدا می کنند و درنتیجه پراکنده کردن ذرات در مایع پایه دشوار شده که این امر می تواند سیستم را به سمت کلوئیدی برده و در نتیجـه پایـداری نانـوذرات کـم میشـود [۴۳]. تاثیر افزایش غلظت نانوسیال بر BHTC

در بخـش قبـل نانـوذره CuO در قطـر ۲۰ nm بهعنـوان انـدازه مطلـوب در افزايـش BHTC تعييـن گرديـد.

شکل ۵ بـه بررسـی تغییـرات ضریـب هدایـت حـرارت آب دی یونیزه و نانوذارات ۲۰، ۴۰ و nm ۶۰ در دمای °C می بردازد. از طرفی، افزایش هر چه بیشتر نیروی براونین نتیجه آن پایداری بیشتر نانوسیال است. پایداری نانوسیال موجب تشکیل رسوب کمتر بـر سـطح گرمکـن میشـود. از رسـوب بـرروی سـطح گرمکین باید اجتناب شود زیرا، هم باعث مسدود شدن چشمههای فعال مولد حباب شده هماینکه در بلند مدت با افزایش ضخامت خود بر سطح گرمکن مانند یک لایه عایق عمل کرده و موجب کاهـش انتقـال حـرارت میشـود. کـوارک و همـکاران نشان دادند که همزمان با تبخیر میکرولایه ها در زیر حباب در حال رشد برروی سطح گرمکن و نهایتاً پس از جدا شدن حباب، نانوذرات بهجای آن رسوب می کند [۴۱]. هر چند نتایج نشان دادند کـه کاهـش هـر چـه بیشـتر سـایز نانـوذرات بـه یایـداری آن کمک میکند، اما در هر صورت رسوب بهوجود آمـده و باعـث کاهـش BHTC می شـود. در بـالا هـم ذکر شد که هر سه نانوذره تا نزدیکی شار حرارتی ۵۵ kW.m⁻² عملکرد مشابه و تقریباً خطے در افزایش BHTC داشـــتهاند امــا بعــد از آن در هــر ســه ســايز



شکل ۵ تغییرات ضریب هدایت جوشش نانو CuO با غلظت ٪.۰۲۵ v/۰۲۵ نسبت به آب دییونیزه

1. Active Nucleation Sites Density

2. Dipoles

محسن خوشهچین و همکاران 🔜 ۱۰۱

بهطورىكه متوسط اين افزايش باتوجه به جدول ۵ از غلظــت //۰۲۵ wt./ تـا //۰۷۵ wt./ بهصـورت متوسط تقریبا ۳/۴٪ افزایش پیدا کرده و پس از آن از ٪. ۰/۵۷ wt بـه ٪. ۱ wt مـدوداً ۰/۵۴٪ افزايـش پیدا کرده و از //۱ wt. به //۱۲۵ wt. حدوداً ۰/۱۲۸ ٪ افزايش پيدا كرده است. مطلب دوم، افزايش BHTC در تمام غلظتها تا حدوداً شار حرارتی 40 kW.m-صعودی بوده و پس از آن روند نزولی پیدا کردهاند. روند كاهـش BHTC بعـداز غلظـت //•٧۵ wt. بـا شدت بیشتری افت کرده است. در بررسی علت کاهـش BHTC در هـر دو قسـمت بـالا بايـد بـاز هـم به رسوب و تەنشىينى نانوذرات كه مهمتريىن عامل است اشاره کرد. Patra و همکاران [۴۴] نیےز دریافتند که BHTC در نانوسیال با افزایش غلظت در شارهای حرارتی بالا، کاهش می ابد به طوری که نانوذرات با رسوب بر سطح گرمکن باعث می شوند که چشمههای فعال مولد حباب پر شده و از طرفی، افزايش رسوب مانع رسيدن مستقيم سيال به سطح گرمکن و در نهایت مانند یک عایق عمل میکند. بررسى اثرات مقياس ...

در این بخش با همین قطر به بررسی تأثیرات افزايـش غلظتهـاي مختلـف (٢٥/٠٠، ٢٥/٠، ٢٥/٠، ۱/۱ و ٪.۰۰ ۷۱/۱۵ (۰/۱۲۵ wt.) پرداخته شد. شکل ۶ و جدول ۵ نشان میدهد که با افزایش غلظت نانوذرات از ٪.wt ۰/۰۲۵ wt.٪ تـا ۸/۱۲۵ wt./ مقـدار BHTC پيوسـته افزايـش مییابد. اما این روند افزایش در شارهای حرارتی پایین بیشتر بوده و هر چه شار حرارتی افزایش می یابد، BHTC کاهش پیدا می کند. کاهش BHTC با افزایش درصد غلظت وزنی، بیشتر و بیشتر هم می شود به طوری که بعد از غلظت ./.۷۵ wt. BHTC در شارهای پایین نیز بهشدت افت پیدا می کند. علت این افزایش و کاهشها را باید در عملک د ضریب هدایت حرارتی جستجو کرد. در بخـش قبـل ذكـر شـد كـه با افـزودن نانـوذرات، ضريـب هدایت حرارتی که مهمترین عامل افزایش BHTC است، افزایش می یابد. در شکل ۷ تغییرات ضریب هدایت حرارتی با افزودن غلظت نانوذرات مشاهده می شود. در بررسی افزایش غلظت نانوسیال و اثر آن بر افزایش BHTC دو نکته وجود دارد:اول اینکه روند متوسط افزایش BHTC در همه غلظتها برابر نبوده،



شکل ۶ تغییرات BHTC نانو مس اکسید با درصدهای جرمی مختلف نسبت به آب دییونیزه

٥	نىز	ې د	آب د	ىە	نسىت	مختلف	غلظت	L CuO	BHTC نانه	تغبيرات	متوسط	۵.	.14	عده
	1	J U		•	•			•		1		-	<u> </u>	

۰/۱۲۵	• / ١	•/•Y۵	•/•۵	•/• ۳۵	درصد وزنى نانوذره
۱٩/٧۶	۱۹/۴۸	۱۸/۹۴	10/84	17/17	درصد تغييرات



۱۰۲ مقاله پژوهشی



شکل ۷ تغییرات ضریب هدایت حرارت نانو CuO با غلظت مختلف نسبت به آب دییونیزه در دمای C° ۱۰۰

نانوذرات بر تغییرات دمایی نسبت به آب دی یونیزه را نشان میدهد. باز هم نتایج نشان میدهند که افزایے ش نانے ذرات باعے ثمی شود تا فرآینے جوشے ش در دمای فوق اشباع کمتر سطح انجام گیرد. اما اضاف کردن نانوذرات بیش از مقدار بهینه آن باعـث مىشـود تـا رونـد اختـلاف دمـا كمتـر شـود. طبق جدول ۶ روند متوسط اختلاف دما از غلظت ۰/۰۲۵ تـا ٪.۰/۰۷۵ wt مـدود ۲/۵٪ افزایـش یافتـه و یـس از آن بـه کمتـر از۵/۰٪ رسـید. هـر چنـد افزایـش غلظت، كاهـش تغييـرات BHTC را بهدنبال داشـته امـا در افزایش شارحرارتی بحرانی نقشی مؤثر ایفا کرده به طوری که این نتیجه با نتایج محققین [۵۱ و ۵۰] هم خوانی دارد. تا اینجا مشخص شد که استفاده از نانوذرات CuO به سيال پايه باعث افزايش ضريب هدایت حرارتی و به دنبال آن باعث افزایش BHTC شده است. اما مشکل اصلی نانوذرات در شارهای حرارتی بالا بود که به شدت به علت ناپایداری و رسوب کردن نانوذرات باعث کاهش BHTC می شود. در ادامه به بررسی روشهای متداول برای پایداری نانوذرات يعنى تغيير pH و تاباندن امواج فراصوت به نانوسیال برای پایدار نگهداشتن نانوذرات در سه غلظت ۵/۰۷۵، ۰/۱ و //۱۲۵ wt. بالاترين BHTC در طــول آزمایشهـا، پرداختــه میشـود.

کیے و همکاران [۴۵] دریافتند درفرآیند جوشش برخی از نانیوذرات روی سیطح گرمکن رسیوب کیرده و لایے رسوب، ترشیوندگی را از طریق تغییر کاهش زاویه تماس استاتیکی روی سطح گرمکن افزایش میدهد. بنابراین با افزایش ترشوندگی سطح احتمال پرشدن حفرهها با نانوسیال افزایش، چشههای فعال کاهش و BHTC نیز کاهش مییابد. نتیجه بهدست آمده با نتیجه بسیاری از محققین، که BHTC با افزایش غلظت نانوذرات در شارهای حرارتی بالا کاهش پیدا کرده است، همخوانے دارد [۴۹-۴۹]. علت افزایش ترشوندگی و پر شدن حفرات به دو دلیل اصلی است: اول اینکه در فرآیند جوشش هنگام جداشدن حباب از روی سطح گرمکن موجب می شود که مقداری از نانوذرات جای حباب را بگیرند. دوم اینکه از طرفی نیروهای واندروالـس (نیـروی جاذبـه و عامـل اصلـی در تجمعـات ذرات) با افزایش جرم و حجم مولکول، افزایش یافته، کـه باعـث افزایـش کلوخـه شـدن بیشـتر نانـوذرات می شود. طبق نتایج، نکتهای که درمورد افزودن نانوذرات به سیال وجود دارد اینست که نمی توان بـه هـر انـدازه مقـدار نانـوذرات را بهعلـت ناپایـداری در سیال افزایش داد، یعنی مقداری بھینے بایے تعیین گردد. جدول ۶ اثرات افزایش درصد وزنی غلطت

محسن خوشهچین و همکاران م

بررسی اثرات مقیاس ...

-		•	• •	015 C	C. ()	
	•/١٢۵	• / ١	•/•Y۵	•/•۵	۰/۰۲۵	درصد وزنی نانوذره
	-18/4.	-18/24	-10/9·	-13/48	- \ • /\\T	درصد تغييرات

جدول ۶ متوسط درصد تغییرات فوق اشیاع سطح گرمکن نانو CuO یا غلظت مختلف نسبت به آب دی یونیزه.

و روند افزایشی ضریب انتقال حرارت را ادامه دهد چرا که با رسوب نانوذرات، ضریب هدایت حرارتی و در نتیجه ضریب انتقال حرارت کاهش پیدا میکند. در ادامـه، pH از ۹/۵ بـه ۱۰ افزایـش داده شـد. نتایـج در شکل ۸ (ب و ج) نشان میدهد که افزایش pH از ۹/۵ به ۱۰، ضریب انتقال حرارت در غلظت ٪.wt ۰/۱ به بیشترین مقدار رسیده است. اما ضریب انتقال حرارت با افزایش pH از ۱۰/به ۱۰/۵ کاهش پیدا میکند. هر چند که pH= ۱۰/۵ طبق جدول ۷ بیشترین افزایش ضریب انتقال حرارت را داشته اما، بیشتر این افزایشها در شارهای حرارتی پایین بوده و هر چه شار حرارتی افزایش پیدا کند، روند آن كاهشي مي شود. بالاترين ضريب انتقال حرارت بهدست آمده مقدار ² ۱۰/۱۵ kW.m و در غلظت ٪. ۱ wt است که نشان میدهد بهترین میـزان pH بـرای نانوسـیال CuO مقـدار ۱۰ میباشـدکه این نتیجه با نتایج دیگر محققین برای نانوسیال CuO هم خوانیی دارد [۲۰ و ۱۹].

در مورد تغییرات ایجاد شده توسط pH بر ضریب انتقال حرارت دو نکته وجود دارد: اول میزان پایداری نانوذرات و دور شدن از نقطه ایزوالکتریک و دوم تغییر در قطر جدایش حباب است. در مورد نقطه ایزوالکتریک بیان شد که با تغییر pH، نانوسیال از نقطه ایزوالکتریک دور می شود و با افزایش نیروهای دافعه بین ذرات خود پایدارتر می شود. قطر جدایش حباب نیز پارامتری مهم و شناخته شده در تعیین شدت انتقال حرارت در طی فرآیند جوشش است [۵۱-۵۴]. هـر چـه قطـر جدايـش حبـاب افزايـش پيـدا کند، اختلاط و آشفتگی در محلول در حین فرآیند بیشــتر میشـود. امـا بـا افزایــش pH محلـول، قطـر جدایے صحباب ای کوچک تے شدہ، کے علیت آن نیے كاهـش كشـش سـطحى بهواسـطه افزايـش pH اسـت.

تغییرات اعمال شده در هر دو روش در سه سطح (مقـدار)، بـرای پیـدا کـردن سـطح بهینـه آزمایـش گردیـد. انتخـاب حـدود بـرای شـروع ایـن سـطوح براسـاس مقادیـری بـوده کــه در مقـالات پیشــین ذکــر شدہ بود. نکتبہ مہم کیہ باید ذکر شود این است کــه ایــن دو روش پایــداری نانوســیالات، روشهــای معمولی هستند که همواره برای همه شرایط فرآیندی (جوشش و غیر جوشش) انجام گرفتهاند و حال باید بررسی شود که، نتایج و اثرات این روشها در فرآیند جوشش استخری تا چه حد مؤثر می با شند.

یایدارکنندههای نانوذرات

اولین مرحله برای پایدار کردن نانوذرات، تغییر pH نانوسیال و تاثیر آن بر ضریب انتقال حرارت است. شکل ۸ (الف-ج)، تغییرات pH در سه سطح ۹/۵، ۱۰ و ۲۰/۵ برای پایداری نانوسیال CuO و در سه غلظت ۰/۱٬۰/۷۵ و ٪. wt و شان میدهد. اولین مرحله برای پایدار کردن نانوذرات، تغییر pH نانوسیال و تأثير آن بر ضريب انتقال حرارت است. لازم به ذكر است کـه pH اولیـه آب دی یونیـزه مـورد مطالعـه برابر ۷ اندازه گیری شد. همچنین محدوده انتخابی pH برای رسیدن به نتیجه بهتر و سریعتر از نتایج تحقیقات قبلی انتخاب شده است [۳۰ و ۲۹]. با افزایش pH نانوسیال از ۷ به ۹/۵ در شکل ۸ (الف) نتایج نشان میدهند که تغییر pH تأثیر مثبت برروی افزایش ضریب انتقال حرارت می گذارد. اما تأثیر pH در تمام طول فرآیند مطلوب نبوده، به طوری که تا شار حرارتی ²- ۵۵ kW.m روند تغییرات ضریب انتقال حرارت صعودی بوده و بعد از آن این روند کاهش پیدا کرده است یعنی افزایش pH به ۹/۵ نتوانسته در تمام طول آزمایشها، پایداری نانوذرات را حفظ کند



شکل ۸ تاثیر pH بر ضریب انتقال حرارت در جوشش نانوسیال: الف) ۹/۵، ب) ۹/۵ و ۱۰ و ج) ۱۰ و ۱۰/۸

	-		
۰/۱۲۵	٠/١	۰/۰۷۵	درصد وزنی نانوذره
22/11	T 1/0V	۲۰/۳۴	pH= ٩/Δ
22/88	۲۲/۳۹	۲1/۲۵	pH= \.
TT/81	22/26	T1/F+	$pH= 1 \cdot /\Delta$

جدول ۷ متوسط درصد تغییرات BHTC در سه سطح pH نسبت به آب دی یونیزه.

تشکیل رسوب باعث کاهش قطر حباب می شود [۵۵]. نانوذرات با رسوب برروی سطح گرم کن باعث به وجود آمدن چشمه های جدید مولد حباب اما کوچکتر شده اما با گذر زمان ذرات دیگری با وارد شدن به این چشمه های فعال آن ها را به چشمه های کوچکتر تبدیل می کنند. شکل های ۹ و ۱۰ (الف-د) تغییرات قطر جدایش حباب را با تغییر HH نشان می دهند. کاهـش کشـش سـطحی باعـث میشـود تـا حبابهـا در هنـگام رشـد بـرروی سطح گرم کـن فرصت کمتـری بـرای رشـد داشـته باشـند و در نتیجـه قطـر جدایـش آنهـا کاهـش یابـد. ولـی افزایـش Hp از ۹/۵ بـه بـالا، موجب کاهـش بیـش از حـد کشـش سطحی شـده کـه منجـر بـه کاهـش مقـدار زیـاد قطـر جدایـش حبـاب و در نتیجـه کاهـش ضریـب انتقـال حـرارت را در پـی دارد. در مورد کاهـش قطـر حبـاب، تأثیـر رسـوب نانـوذرات CuO بـر سطح گرم کـن نیـز بایـد در نظـر گرفتـه شـود. زیـرا

محسن خوشهچین و همکاران 🚽 ۱۰۵

بررسی اثرات مقیاس ...





(ب) pH= ٩/۵



(الف) pH=γ



 $pH = 1 \cdot / \Delta$ (s)



pH=۱۰ (ج)

شكل ۱۰ تصاوير واقعى تاثير pH برقطرجدايش حباب

تأثيراعمال امواج فراصوت بر BHTC در این قسمت به بررسی اثر تابش امواج فراصوت بر ضريب انتقال حرارت پرداخته شده است. دستگاه انتخابی از نوع روش مستقیم، یعنی قرار دادن یـراب دسـتگاه بهطـور مسـتقیم در محلـول اسـت. امـا

استفاده از پراب شامل در نظر گرفتن چندین پارامتر همزمان، از قبیل میزان توان دستگاه، سیکل، زمان تایش و میزان فاصله سنسور پراب از سطح گرمکن است. دستگاه دارای شدت فرکانس ۲۴ kHz بوده که در سه درصد توان ۲۵، ۵۰ و ۷۵ استفاده شده است.

مقاله پژوهشی

پر هم رفعت شماره ۱۲۵، مهر و آبان ۱۴۰۱، صفحه ۱۲–۹۱

در بخــش قبلــی مشـخص شــد کـه دوره تابــش در توان ۵۰٪، بهترین عملکرد را در افزایش ضریب انتقال حرارت دارد. حال به بررسی پارامتر دوم در تنظیم امواج فراصوت يعنى دوره يا سيكل تابش كه شامل دو زمان بودہ پرداختہ مے شود. اپن دو زمان شامل زمان تابش و زمان استراحت است. در این تحقیق با توجه به تجربیات آزمایشگاهی و شرایط آزمایشگاهی از سے دورہ ۱–۱ و ۵/۰–۱ و ۵/۰–۵/۰ استفادہ شدہ کے عدد سمت راست زمان استراحت و عدد سمت چپ زمان تابش امواج و بهصورت ثانیه هستند. شکل ۱۲ و جدول ۹ نشان میدهد که با تنظیم دوره تابش بهصورت ۰/۵ – ۰/۵ بهترین شرایط پایداری محقق می شود زیرا این زمان با تابش بیشتر و اما کوتاه موجب حدف احتمالی نانوذرات از سطح و همچنین تولید حباب بیشتر در محلول شده و در نتیجه منجر به بیشترین میزان ضریب انتقال حرارت شده است. در جوشـش هسـتهای بهسـبب تولیـد حبابهـا در حجم بالالازم است كه حبابها سريعاً از سطح انتقال حرارت حذف وجاى خود را به حبابهاى تــازه دهنــد.

فاصله سنسور يراب از سطح گرمکن، با آزمایشهای مختلف ۴ cm کے بیشترین تأثیر را بر افزایش ضریب انتقال حرارات داشته است، انتخاب شد. همان طور کـه در شـکل ۱۱ نیـز مشاهده می شـود، اعمـال امـواج فراصوت باعث افزايش ضريب انتقال حرارت شده است زيرا اين امواج با تغيير دما و فشار در محلول باعث ایجاد پدیده کاویتاسیون (حبابزایی) و افزایش قطر حباب در محلول می شوند. همان طور که در بالا هم اشاره شد، قطر جدایش حباب در نانوسیالها نسبت به سیال پایه کوچکتر است و هر چه حباب بزرگتر تولید شود در نتیجه اغتشاشات بیشتر شده و ضريب انتقال حرارت نيز افزايش مي يابد [۵۶]. امواج فراصوت فركانس پايين ۲۴ kHzاستفاده شده در این تحقیق توانایی تشکیل حبابهای بزرگتر را دارا میباشند. یعنی امیواج فراصوت اثیری را کیه نانوذرات بر کاهش قطر جدایش حباب در محلول دارند را جبران میکند. در جدول ۸ میزان تغییرات اعمال فراصوت در توان های مختلف نسبت به حالت بدون اعمال فراصوت نشان داده شده است. بهینه کردن دوره تابش امواج فراصوت بر BHTC



شکل ۱۱ تغییرات BHTC نانو سیال با درصد توانهای مختلف فراصوت در غلظت۰/۱۲۵٪

جدول ۸ تغییرات عددی متوسط BHTC نانوسیال در غلظت ۱۲۵.۰٪ با درصد توان های مختلف تابش فراصوت نسبت به بدون تابش.

۷۵	۵۰	۲۵	درصد توان امواج فراصوت
۳۴/۸	۳۷/۴۸	۶/۳۲	h (kW.m ⁻² .°C ⁻¹)

بررسى اثرات مقياس ...

محسن خوشهچین و همکاران ۱۰۷



شكل ۱۲ تغييرات متوسط BHTC نانوسيال با غلظت ۱۲۵٪٪ بادامنه تابش مختلف

جدول ۹ تغییرات عددی متوسط BHTC نانو سیال با غلظت ۰/۱۲۵٪ باسیکل تابش مختلف نسبت به ۱-۱

•/۵—•/۵	۱-۰/۵	زمان (s)
۲/۵۸	1/14	h (kW.m ⁻² .°C ⁻¹)

بنابرایین در ایین مطالعه دوره تابیش به صورت ۸/۵-۵/۰با تابیش مداوم و در زمان کم تر نسبت به دوره۱-۱، حباب ها سریع تر حذف و جای خود را به حباب های تازه می دهند.

جهت بررسی افزایش رسوب که بهصورت افزایش زبری بر سطح انتقال حرارت ظاهر می شوند و همچنین تاثیر امواج فراصوت بر کاهش آنها، از تصاویر سه بعدی میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) استفاده شد. زبریها بهصورت پستی و بلندی در شکل ۱۳ نشان داده شدهاند. همان طور که در شـكل مشـاهده مىشـود، بـا اعمـال امـواج فراصـوت، زبرى سطح انتقال حرارت كاهش يافته است. اين روند کاهشی از توان ۲۵٪ تا۵۰٪ میباشد. اما با اعمال توان بیشتر به ۷۵٪ بار دیگر افزایش زبری را بههمراه داشته است این مسئله می تواند بهعلت برخورد بیشتر ذرات در اثر شتاب بیش از حد با انرژی بالا باشد. از طرفی شار حرارت بحرانی با استفاده از ارتعاشات امواج فراصوت و همچنین مقیاس pH، افزایــش مییابـد. امـواج، حــذف حبابهـای از سطح گرم را تسهیل میکنند [۵۷]. طبق شکل ۱۴ استفاده از امواج فراصوت باعث کاهش زیادی در

فوق اشباع سطح انتقال حرارت شده وباحركت منحنی ها به سمت چپ، نشان می دهد شار حرارت بحرانی افزایش یافته است. تعدادی از محققین دیگر همچون داگلاس [۵۸]، ایدا و تسوتسی [۵۹] تأیید کردند که شارحرارت بحرانی با استفاده از ارتعاشات فراصوت افزایش می یابد. همچنین، تغییرات pH در افزایش شار بحرانی مؤثر بوده که در شکل بهوضوح دیـده میشـود. در بخـش پایانـی کار و در شـکل ۱۵ بـه مقایسه عملکرد دو روش اعمال شده در این پژوهش يعنى افزايش پايداري نانوذرات و تأثير أن بر افزايش ضريب انتقال حرارت در جوشش استخرى پرداخته شده است. البته در این مقایسه بهعلت تعداد زیاد آزمایشها، مقایسه بین بهترین حالت ممکن بهدست آمده در هر روش صورت گرفته است. برای تغییر pH= ۱۰ ،pH و برای تابش امرواج فراصوت، تـوان ۵۰٪ اسـتفاده شـده اسـت. همانطـور کـه مشـخص است و در قسمتهای قبلی هم توضیح داده شد، امـواج فراصـوت بهطـور متوسـط بـا افزايـش ضريـب انتقال حرارتی برابر با ۳۷/۴۸٪ در غلظت ٪.۱۲۵ Wt به بهترین عملکرد دست پیدا کرده است.

^{1.} Atomic Force Microscopy



شکل ۱۴ مقایسه دو روش امواج فراصوت و pH در کاهش درصد فوق اشباع سطح گرمکن نسبت به آب دییونیزه



شکل 1۵ مقایسه دو روش اعمال شده امواج فراصوت و pH در افزایش BHTC نسبت به آب دییونیزه

محسن خوشهچین و همکاران 🔜 ۱۰۹

از این جهت در این پژوهش از دو روش متداول در پایداری نانوسیال یعنی تغییر PH (۹/۵ ، ۱۰ و ۱۰/۵) و تابـش امـواج فراصـوت (بـا درصـد توانهـای ۲۵، ۵۰ و ۷۵) استفاده شده است. نتایج کار در زیر خلاصه شـده اسـت:

۱- استفاده از هر دو روش موجب افزایش ضریب انتقال حرارت بهواسطه افزايش پايداري نانوذرات در سوسيانسـيون شـد.

۲- افزایش ضریب انتقال حرارت جوشش در غلظت ./. Wt./ ۱۲۵ ۲۱/۰برای امواج فراصوت با متوسط ۳۷/۴۸. در دامنــه ۵۰٪ از تـوان و بـرای ۲۰ =pH برابـر ۲۲/۶۸٪ تعیین گردید.

۳- تغییر pH بهدلیل کاهش کشش سطحی، باعث کاهــش قطــر جدايــش حبـاب شــده و کاهــش قطــر موجب کم شدن اختلاط در محلول در حال جوشش شد. از طرفی تغییر pH فقط در شارهای حرارتی پایین مناسب بوده و منجر به افزایش ضریب انتقال حـرارت گردیـد.

۴- امـواج فراصـوت بهدليـل اينكـه مـاده جديـدى به محلول درحال جوشش اضافه نشد و از طرفی بهدلیل افزایش قطر جدایش حباب و همچنین كاهـش ويسـكوزيته منجـر بـه افزايـش ضريـب انتقـال حرارت در تمامی شارهای حرارتی گردید. همچنین این امواج تاثیر بسیار زیادی بر افزایش شار حرارتی بحرانی داشت.

> *I: پارامتر رابطه کوتاتلادزه $(W m^{-1} C^{-1})$: ضریب هدایت حرارتی (K(m) طول: *M**: پارامتر رابطه کوتاتلادزه n(p): پارامتر رابطه گارنفلو P: فشار (Pa) Pr: عدد پرانتل q: شار حرارتی (W) دارت انتقال حرارت R_n

بررسى اثرات مقياس ...

از مهم ترین دلایل این افزایش می توان به ایجاد تلاطم، افزايش قطر جدايش حباب و مهمتر اينكه ایـن افزایـش بـدون اضافـه کـردن هیـچ مـاده ی دیگـری به محلول حاصل شده است. چرا که در تغییر pH محلول بهواسطه اضاف کردن یک ماده دیگر به محلول اصلی موجب می شود که در معادلات مربوطه جهت محاسبه ديناميك حباب، پارامترهاي جدیدی وارد حل معادلات شوند.

نتيجه گيري

انتقال حرارت جوشش بهعنوان يك روش تبادل حرارت کارآمد، بهطور گستردهای در زمینههای متعددي مانند خنک کننده دستگاههاي الکترونيکي، چرخه قدرت، ذخیره سازی و انتقال مایعات برودتی در محفظــه بــهكار گرفتــه میشـود.در ایــن مطالعــه آزمایشـگاهی بـه بررسـی اثـرات افـزودن نانـوذرات CuO به سيال با يايه آب دي يونيزه، جهت افزايش ضريب انتقال حرارت پرداخته شد. سيستم مورد آزمایے شازیے کا ظرف شیشہ ای با مقاومے حرارتے بالاکه دارای یک گرمکن از جنس مس به شکل استوانه و با زبری ثابت ۰/۸۴ سترانجام گرفت. نتايج نشان داد كه افرودن نانوذرات باعث افزايش ضريب انتقال حرارت جوشش شد. اما این نانوذرات بهعلت عدم پایداری طولانی در سوسپانسیون، موجب رسوب برروی سطح گرم کن شده و به مرور زمان باعث كاهش ضريب انتقال حرارت مي شود.

علائم و نشانهها

$$A:$$
 سطح مقطع (m²) مقطع (J kg⁻¹ C⁻¹) (J kg⁻¹ C⁻¹) (mm)
 $C:$ قطر حباب (mm)
 $F_{(pr)}$: پارامتر رابطه گارنفلو
 $g:$ گرانش
 H_{fg} : گرمای نهان تبخیر (J kg⁻¹)
 $H:$ ضریب انتقال حرارت جوشش
 $I:$ جو یان (A)

پر دهش نفت شماره ۱۲۵، مهر و آبان ۱۴۰۱، صفحه ۹۱–۹۱

T: دما (°C):	زير نويسها
<i>V</i> : ولتاژ (V)	0: پايە
نمادهای یونانی	b: حباب
ضريب نفوذ (m² s-1)	<i>d</i> : قطر
<i>:</i> جگالی (kg m ⁻³)	c: بحرانی
∂: عمق نفوذ (mm)	I: مايع
µ: ويسكوزيته (kg m ⁻¹ s ⁻¹)	s: سطح
<i>ס:</i> کشش سطحی (N m⁻¹)	sat: اشباع
π: عدد پی	th: گرما
اختلاف بین فاز، ولتاژ و جریان $arphi$	v: بخار
∆: اختلاف	W: وات

مراجع

مقاله پژوهشی

11.

[1]. Sunil L, Kumarappa S, Hegde R (2016) Experimental studies on pool boiling heat transfer using alumina and graphene oxied nanofluid, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN, 03, 01: 2395-0056

[2]. Chung J, Chen T, Maroo S (2011) A review of recent progress on nano/micro scale nucleate boiling fundamentals, Frontiers in Heat and Mass Transfer (FHMT), 2: 2.

[3]. Liu W, Yang Z, Zhang B, Lv P (2017) Experimental study on the effects of mechanical vibration on the heat transfer characteristics of tubular laminar flow, International Journal of Heat and Mass Transfer, 115: 169-79.

[4]. Léal L, Miscevic M, Lavieille P, Amokrane M, Pigache F, Topin F, Nogarède B, Tadrist L (2013) An overview of heat transfer enhancement methods and new perspectives: Focus on active methods using electroactive materials, International Journal of Heat and Mass Transfer, 61: 505-24.

[5]. Improvement of heat transfer by means of ultrasound: Application to a double-tube heat exchanger (2012) Ultrasonics Sonochemistry, 19: 1194-1200.

[6]. Azmi W, Sharif M, Yusof T, Mamat R, Redhwan (2017) Potential of nanorefrigerant and nanolubricant on energy saving in refrigeration system–A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 69: 415-28.

[7]. Sheikholeslami M, Gorji-Bandpy M, Ganji D D (2015) Review of heat transfer enhancement methods: Focus on passive methods using swirl flow devices, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 49: 444-69.

[8]. Leong K, Ho J, Wong K (2017) A critical review of pool and flow boiling heat transfer of dielectric fluids on enhanced surfaces, Applied Thermal Engineering, 112: 999-1019.

[9]. Yang L, Du K (2017) A comprehensive review on heat transfer characteristics of TiO₂ nanofluids, International Journal of Heat and Mass Transfer, 108: 11-31.

[10]. Amani M, Amani P, Kasaeian A, Mahian O, Wongwises S (2017) Thermal conductivity measurement of spinel-type ferrite MnFe2O4 nanofluids in the presence of a uniform magnetic field, Journal of Molecular Liquids, 230: 121-8.

[11]. Choi S U, Eastman J A (1995) Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, Argonne National Lab., (ANL), Argonne, IL (United States).

[12]. Timofeeva E V, Gavrilov A N, McCloskey J M, Tolmachev Y V, Sprunt S, Lopatina L M, Selinger J V (2007) Thermal conductivity and particle agglomeration in alumina nanofluids: experiment and theory, Physical Review E, 76: 061203.

[13]. Hong K, Hong T K, Yang H S (2006) Thermal conductivity of Fe nanofluids depending on the cluster size of nanoparticles, Applied Physics Letters, 88: 031901.

[14]. Vafaei S, Borca Tasciuc T (2014) Role of nanoparticles on nanofluid boiling phenomenon: Nanoparticle deposition, Chemical Engineering Research and Design, 92: 842-56.

[15]. Das PK, Mallik AK, Ganguly R, Santra AK (2016) Synthesis and characterization of TiO₂-water nanofluids with different surfactants, International Communications in Heat and Mass Transfer, 75: 341-8.

[16]. Xuan Y, Li Q (2000) Heat transfer enhancement of nanofluids, International Journal of heat and fluid flow, 21: 58-64.
[17]. Wamkam C T, Opoku M K, Hong H, Smith P (2011), Effects of pH on heat transfer nanofluids containing ZrO, and TiO, nanoparticles, Journal of Applied Physics, 109: 024305.

بررسی اثرات مقیاس ...

Archive of SID.ir

محسن خوشهچین و همکاران ا۱۱۱

[18]. Goudarzi K, Nejati F, Shojaeizadeh E, Yousef Abad S A (2015) Experimental study on the effect of pH variation of nanofluids on the thermal efficiency of a solar collector with helical tube, Experimental Thermal and Fluid Science, 60: 20-7.

[19]. Sarafraz M, Hormozi F (2015) Pool boiling heat transfer to dilute copper oxide aqueous nanofluids, International Journal of Thermal Sciences, 90: 224-37.

[20]. Peyghambarzadeh S, Hashemabadi S, Naraki M, Vermahmoudi Y (2013) Experimental study of overall heat transfer coefficient in the application of dilute nanofluids in the car radiator, Applied Thermal Engineering, 52: 8-16.

[21]. Habibzadeh S, Kazemi-Beydokhti A, Khodadadi A A, Mortazavi Y, Omanovic S, Shariat Niassar M (2010) Stability and thermal conductivity of nanofluids of tin dioxide synthesized via microwave-induced combustion route, Chemical Engineering Journal, 156: 471-8.

[22]. Mahbubul I, Shahrul I, Khaleduzzaman S, Saidur R, Amalina M, Turgut A (2015) Experimental investigation on effect of ultrasonication duration on colloidal dispersion and thermophysical properties of alumina-water nanofluid, International Journal of Heat and Mass Transfer, 88: 73-81.

[23]. Ghotbinasab S, Khooshehchin M, Mohammadidoust A, Rafiee M, Salimi F, Fathi S (2021) Comparing the heat transfer coefficient of copper sulfate and isopropanol solutions in the pool boiling process: Bubble dynamic and ultrasonic intensification, Chemical Engineering Science, 116589.

[24]. Yang L, Du K, Zhang X S, Cheng B (2011) Preparation and stability of Al₂O₂ nano-particle suspension of ammonia-water solution. Applied Thermal Engineering, 31: 3643-7.

[25]. Kim H, Kim Y, BH kang (2004) Enhancement of natural convection and pool boiling heat transfer via ultrasonic vibraton, Journal of Heat and Mass Transfer, 47:2831-40.

[26]. Khooshehchin M, Mohammadidous A, Ghotbinasab S (2020) An optimization study on heat transfer of pool boiling exposed ultrasonic waves and particles addition, International Communications in Heat and Mass Transfer, 114: 104558.

[27]. Taurozzi J S, Hackley V A, Wiesner M (2012) Preparation of nanoparticle dispersions from powdered material using ultrasonic disruption, NIST Special Publication, 1200: 1200-2.

[28]. Rohsenow W M (1951) A method of correlating heat transfer data for surface boiling of liquids, Cambridge, Mass.: MIT Division of Industrial Cooporation, 5, 3-4.

[29]. Kutateladze S S (1995) Heat transfer in condensation and boiling, AEC-tr-3770.

[30]. Stephan K, Abdelsalam M (1980) Heat-transfer correlations for natural convection boiling, International Journal of Heat and Mass Transfer, 23: 73-87.

[31]. Gorenflo D (1993) Pool Boiling, VDI Heat Atlas, VDI-Verlag, Dusseldorf, Germany.

[32]. Fazel S A, Roumana S (2010) Pool boiling heat transfer to pure liquids, In: WSEAS Conference, USA.

[33]. Fazel SAA (2017) A genetic algorithm-based optimization model for pool boiling heat transfer on horizontal rod heaters at isolated bubble regime, Heat and Mass Transfer, 53: 2731-2744.

[34]. Lu L, Liu Z H, Xiao H S (2011) Thermal performance of an open thermosyphon using nanofluids for hightemperature evacuated tubular solar collectors: Part 1: Indoor experiment, Solar Energy, 85, 2: 379-387.

[35]. Wong K V, Castillo M J (2010) Heat transfer mechanisms and clustering in nanofluids, Advances in Mechanical Engineering, 2: 795478.

[36]. Xu G, Fu J, Dong B, Quan Y, Gu G (2019) A novel method to measure thermal conductivity of nanofluids, International Journal of Heat and Mass Transfer, 130: 978-988.

[37]. Asadi A, Asadi M, Rezaniakolaei A, Aistrup L, Rosendahl L A, frand M, Wongwises S (2018) Heat transfer efficiency of Al₂O₂-MWCNT/thermal oil hybrid nanofluid as a cooling fluid in thermal and energy management applications: An experimental and theoretical investigation, International Journal of Heat and Mass Transfer, 117: 474-486.

[38]. Esfahani N N, Toghraie D, Afrand M (2018) A new correlation for predicting the thermal conductivity of ZnO-Ag (50%-50%)/water hybrid nanofluid: an experimental study, Powder Technology, 323: 367-373.

[39]. Hamid K A, Azmi W H, Nabil M F, Mamat R (2018) Experimental investigation of nanoparticle mixture ratios on TiO,-SiO, nanofluids heat transfer performance under turbulent flow, International Journal of Heat and Mass Transfer, 118: 617-627.

[40]. Yu W, Xie H, Chen L, Li Y (2010) Investigation on the thermal transport properties of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles, Powder Technology, 197, 3: 218-221.

[41]. Kwark S M, Kumar R, Moreno G, Yoo J, You S M (2010) Pool boiling characteristics of low concentration nanofluids, International Journal of Heat and Mass Transfer, 53, 5-6: 972-981.

[42]. Wong K V, Castillo M J (2010) Heat transfer mechanisms and clustering in nanofluids, Advances in Mechanical Engineering, 2: 1-9.

[43]. Wang X j, Zhu D S (2009) Investigation of pH and SDBS on enhancement of thermal conductivity in

پر و شنق شماره ۱۲۵، مهر و آبان ۱۴۰۱، صفحه ۹۱-۹۱



nanofluids, Chemical Physics Letters, 470, 1-3: 107-111.

[44]. Patra N, Ghosh P, Singh R S, Nayak A (2019) Flow visualization in dilute oxide based nanofluid boiling, International Journal of Heat and Mass Transfer, 135: 331-344.

[45]. Kim S J, Bang I C, Buongiorno J, Hu W (2007) Surface wettability change during pool boiling of nanofluids and its effect on critical heat flux, International Journal of Heat and Mass Transfer, 50, 19-20: 4105-4116.

[46]. Suriyawong A, Wongwises S (2010) Nucleate pool boiling heat transfer characteristics of TiO₂-water nanofluids at very low concentrations, Experimental Thermal and Fluid Science, 34, 8: 992-999.

[47]. Cieslinski J T, Kaczmarczyk T Z (2011) Pool boiling of water-Al₂O₃ and water-Cu nanofluids on horizontal smooth tubes, Nanoscale Research Letters, 6, 1: 220.

[48] Umesh V, Raja B (2015) A study on nucleate boiling heat transfer characteristics of pentane and CuOpentane nanofluid on smooth and milled surfaces, Experimental Thermal and Fluid Science, 64: 23-29.

[49]. Shahmoradi Z, Etesami N, Esfahany M N, (2013) Pool boiling characteristics of nanofluid on flat plate based on heater surface analysis, International Communications in Heat and Mass Transfer, 47: 113-120.

[50]. Shi M, Shuai M, Xuan Y (2006) Experimental study of pool boiling heat transfer for nano-particle suspensions on a plate surface, in International Heat Transfer Conference 13. Begel House Library, 7.

[51]. Chopkar M, Das S K, Manna I, Das P K (2008) Pool boiling heat transfer characteristics of ZrO₂-water nanofluids from a flat surface in a pool, Heat and Mass Transfer, 44, 8: 999-1004.

[52]. Narayan G P, Kanjirakat A, Sateesh G, Das S.K (2008) Effect of surface orientation on pool boiling heat transfer of nanoparticle suspensions, International Journal of Multiphase Flow, 34, 2: 145-160.

[53]. Pioro I, Rohsenow W, Doerffer S (2004) Nucleate pool-boiling heat transfer. I: review of parametric effects of boiling surface, International Journal of Heat and Mass Transfer, 47: 5033-44.

[54]. Gerardi C, Buongiorno J, Hu L w, McKrell T (2010) Study of bubble growth in water pool boiling through synchronized, infrared thermometry and high-speed video, International Journal of Heat and Mass Transfer, 53: 4185-92.

[55]. Cao Z, Wu Z, Pham A D, Yang Y, Abbood S, Falkman P, Ruzgas T, Albèr C, Sundén B (2019) Pool boiling of HFE-7200 on nanoparticle-coating surfaces: Experiments and heat transfer analysis, International Journal of Heat and Mass Transfer, 133: 548-60.

[56]. Rostamzadeh A, Jafarpur K, Rad E G (2016) Numerical investigation of pool nucleate boiling in nanofluid with lattice Boltzmann method, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 54.

[57]. Li B, Han X, Wan Z, Wang X, Tang Y (2016) Influence of ultrasound on heat transfer of copper tubes with different surface characteristics in sub-cooled boiling, Applied Thermal Engineering, 92: 93-103.

[58]. Douglas Z, Boziuk T R, Smith M K, Glezer A (2012) Acoustically enhanced boiling heat transfer, Physics of Fluids, 24: 052105.

[59]. Iida Y, Tsutsui K (1992) Effects of ultrasonic waves on natural convection, nucleate boiling, and film boiling heat transfer from a wire to a saturated liquid, Experimental Thermal and Fluid Science, 5: 108-15.



Petroleum Research Petroleum Research, 2022(October-November), Vol. 32, No. 125, 23-24 DOI:10.22078/PR.2022.4710.3114

Investigation of the Effects of pH Scale and Ultrasonic Waves on the Stability of Copper Oxide Nanoparticles in the Pool Boiling Process

Mohsen Khooshehchin¹, Sohrab Fathi², Farhad Salimi^{1*} and Akbar Mohammadidoust^{1*}

Department of Chemical Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Kermanshah, Iran
Department of Chemical Engineering, Faculty of Energy, Kermanshah University of Technology, Kermanshah, Iran

mohammadidoust@iauksh.ac.ir f.salimi@iauksh.ac.ir DOI:10.22078/PR.2022.4710.3114

Received: January/11/2022

Accepted: July/03/2022

Introduction

Pool boiling belongs to the phase conversion process, in which heat transfer can occur ranging from very low to high heat flux (HF). Pool boiling is used in several heat transfer processes including cooling nuclear reactors, electronic chips, and boilers, where obtaining the highest heat transfer is extremely important [1]. Generally, two methods exist to improve the heat transfer: active and passive methods. Due to the high thermal conductivity of nanoparticles, most results show that nanoparticles (except passive) can significantly increase the heat transfer performance of liquids [2]. Several conventional methods exist to stabilize the suspension, including the addition of surfactants, pH change, and ultrasonic radiation [3]. In this laboratory study, the aim is to investigate the stability of nanoparticles by applying ultrasound and changes in pH value.

Materials and Methods

The main part of the laboratory machine including an empty copper cylindrical element with a medium surface roughness of 0.840 μ m (stable roughness during tests), an external diameter of 24 mm, an internal diameter of 13 mm and with a length of 180 mm that was used as a heat transfer surface within a rectangular cube tank with a dimension of 180 ×130 ×350 mm. It was made of safe glass with a 10 mm thickness having a high thermal resistance. This vessel was surrounded by some glass wool to avoid thermal dissipation. There was a heater located in the middle of copper element by 11 mm in diameter, length of 160 mm and with a maximum power of 1 kW as a heat source. This heater worked with 220 V Urban Electricity which to modify the input voltage and temperature record, there was an autotransformer 10 KVA (Model MST) placed in the flow path with input of 220 V, AC and output of 0-300 V and at 1000 kW. The voltage range was 100-220 V and increases 20 V stepwise. To create the ultrasound waves, USH 1200 Generator Ultrasonic Homogenizer with 1.2 kW power and the frequency of 24 kHz was used. More details for the experimental apparatus are shown in Figure 1. The experiments were carried out at first with deionized water as base solution in the volume of 1 liter and then by the addition of copper oxide (CuO) nanoparticles with 0.025 wt.% to 0.125 wt.% by the step of 0.025 wt.% were investigated.



Fig. 1 The schematic of experimental rig.

Results and Discussions

At the first, the effects of applying CuO nanoparticles on the BHTC and the CHF at three sizes of 20, 40 and 60 nm at the constant concentration of 0.025 wt.% in deionized water was investigated. (Figure 2).



Fig. 2 Effects of size of CuO nanoparticles at constant concentration of 0.025 wt.% on the BHTC relative to deionized water.

It can be seen in Figure 2 that by applying CuO nanoparticles, a significant increase in the performance of BHTC nanofluid compared to deionized water was achieved. A diameter of 20 nm was determined as the optimal size for increasing the BHTC.

Then CuO nanoparticles with 20 nm diameter had the best performance for the increasing BHTC. Subsequently, the effects of nanoparticle concentration (0.025, 0.05, 0.75, 0.1 and 0.125 wt.%) on the BHTC was investigated.

Figure 3 shows that as the concentration of nanoparticles increases from 0.025 wt.% to 0.125 wt.%, the BHTC will increase continuously. But, the main problem was the deposition of nanoparticles on the surface of heat transfer, which it reduced the heat transfer coefficient. In the following, we will deal with the stability of nanoparticles by changing the pH and irradiation of ultrasound waves. For the stability of nanofluid, CuO with water changes from 9.5, 10 and 10.5 and for ultrasound in three radiations have been selected. Also, nanofluid concentrations of 0.075 wt.%, 0.1 wt.%, 0.125 wt.% have been selected.



Fig. 3 Effect of CuO concentration on the BHTC relative to deionized water.

The Effect of pH Change and Ultrasonic Waves on BHTC

As shown in Figure 4, the increase of pH caused to increase the heat transfer coefficient reached the maximum value. In addition the ultrasonic waves play important role in increasing the BHTC and stabilizing the nanoparticles.



Fig.4 The effect of pH change and ultrasonic waves on BHTC.

Conclusions

1. The use of both stabilizers increased the heat transfer coefficient by increasing the stability of nanoparticles in the suspension.

2. Increasing the boiling heat transfer coefficient was achieved at a concentration of 0.125wt.% for ultrasonic waves with an average of 37.48% and for pH value of 10 as 22.68%.

References

- 1. Chung J, Chen T, Maroo S (2011) A review of recent progress on nano/micro scale nucleate boiling fundamentals. Frontiers in Heat and Mass Transfer (FHMT), 2:023004.
- Yang L, Du K (2017) A comprehensive review on heat transfer characteristics of TiO₂ nanofluids. International Journal of Heat and Mass Transfer, 108:11-31.
- 3. Xuan Y, Li Q (2000) Heat transfer enhancement of nanofluids. International Journal of heat and fluid flow, 21:58-64.

24