



چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir

بررسی آزمایشگاهی رشد حباب محلول غیر الکترولیت آب و اتانول در جوشش استخری روی استوانه استیل افقی

سحر حافظی بیرگانی^۱، محمد جامی الاحمدی^۲، سید علی علوی فاضل^۳

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ماهشهر، گروه مهندسی شیمی، ماهشهر، ایران

Saharhafezi.b@gmail.com

چکیده

در این پروژه، قطر حباب در حال رشد برای محلول آب و اتانول، در غلظت‌های ۰،۰۸۹، ۰،۲۴، ۰،۴ و ۰،۷۱ مول برلیتر و شار حرارتی ۵۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ وات بر متر مربع و در زمان‌های متفاوت بطور آزمایشگاهی مطالعه شده است. نتایج، تغییرات قطر حباب در حال رشد با افزایش غلظت را نشان داده است که یک روند مشخص ندارد. به دلیل پیچیدگی مدلسازی رشد حباب روابط زیادی جهت پیش‌بینی قطر حباب در حال رشد برای محلول ارائه نشده است.

واژه‌های کلیدی: جوشش استخری، رشدحباب، استوانه افقی فولادی

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر

^۲ - عضو هیات علمی دانشکده نفت اهواز

^۳ - عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر



چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

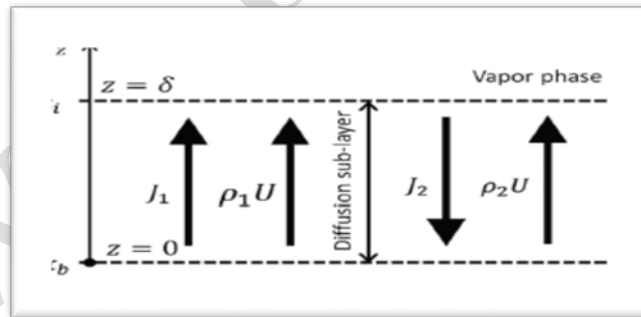
تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir

۱- مقدمه

مکانیسم جوشش همواره به عنوان یک مکانیسم مناسب جهت انتقال بارهای حرارتی سنگین در بسیاری از فرآیندهای صنعتی مورد استفاده قرار گرفته و می‌گیرد. در اینجا می‌توان به راکتورهای اتمی، برجهای جذب و تقطیر و همچنین دیگهای بخار به عنوان مثالهای متداولی از کاربردهای فرآیندهای جوشش در مقیاس صنعتی اشاره نمود. به عنوان مثال این فرآیندها در سیکل‌های تبرید و قدرت، نقش اساسی را ایفا میکنند. در یک سیکل تبرید، مایع تحت فشار در دیگ بخار به بخار تبدیل میشود و پس از انبساط در توربین مجدداً بخار در یک کندانسور به مایع تبدیل می‌گردد و از آنجا به دیگ بخار پمپ شده و سیکل تکرار می‌شود. به طور کلی جوشش محلولهای دو یا چند جزئی نسبت به جوشش مایعات خالص میتوان شامل تفاوتی در قطر حبابهای تولید شده، فرکانس تولید حباب، تراکم تعداد نقاط حبابزا در واحد سطح و چند تفاوت دیگر باشد. از جمله ضریب انتقال حرارت جوشش نیز بین مایعات خالص و محلولهای چند جزئی به تبع تفاوتی که ذکر شد متفاوت خواهد بود. تاکنون چند واسطه برای مرتبط ساختن ضریب انتقال حرارت جوشش به ضریب انتقال حرارت حقیقی برای جوشش پیشنهاد شده است.

هنگامی که روی سطح انتقال حرارت در حال جوشش محلولهای دو جزئی حباب تولید می‌شود، ترمودینامیک تعادلی دو فاز بخار و مایع، امکان حضور همزمان دو فاز مایع و بخار در حال تعادل با وجود اختلاف در غلظت هر یک از اجزاء فرار و غیر فرار را فراهم می‌آورد. در این حالت، بعلت تبخیر انتخابی سریعتر، جزء فرارتر از فاز مایع به فاز بخار سریعتر انتقال می‌یابد. بنابر این غلظت آن در سطح مشترک مایع X_I^l کمتر از غلظت آن در توده سیال X_I^b می‌باشد. به سبب وجود این اختلاف، جزء با فراریت نسبی کمتر توسط مکانیسم نفوذ مولکولی از سطح مشترک به سوی توده سیال نفوذ می‌نماید. این فرآیند موجب تشکیل دو لایه نفوذ می‌شود که در شکل (۱) نشان داده شده است. از آنجا که هیچگونه تجمعی از جرم در لایه نفوذ نمی‌تواند وجود داشته باشد، نرخ انتقال جرم برای جزء فرارتر و غیر فرارتر در هر دو سوی سطح مشترک باید برابر باشد. بنابر این گرادیان غلظت در راستای لایه نفوذ بطور خودکار به گونه ای خود را تنظیم می‌کند که متناسب با مقاومت انتقال جرم فازهای مربوطه باشد.



شکل (۱): لایه نفوذ و انتقال جرم بین فازها در حین تشکیل حباب

۲- پیشینه تاریخی

به طور کلی دو نقطه نظر در مورد رشد حباب بر روی سطح گرمکن وجود دارد. یک گروه از محققین معتقدند که رشد حباب به دلیل تبخیر همه اینترفیس اطراف حباب رخ می‌دهد و انرژی لازم برای تبخیر را از لایه فوق گرم مایعی که حباب راز شروع



چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir

تشکیل احاطه کرده است فراهم می‌گردد. نقطه نظر دوم این است که بیشترین تبخیر در جای است که میکرو لایه تشکیل می‌شود یعنی در اینترفیس بخار-مایع و سطح گرمکن اتفاق می‌افتد.

استنی زوئسکی در سال ۱۹۵۹، مدل فریتز را با توجه داده‌های آزمایشگاهی خود در رنج فشاری بالا اصلاح کرد و تاثیر نرخ رشد حباب را روی قطر جدایش مشاهده کرد.

$$D_d = 0.0071 * \beta \left[\frac{2\sigma}{g \Delta \rho} \right] \left[1 + 34.3 \frac{dD}{dt} \right] \quad (1)$$

ون استرالن در سال ۱۹۷۰، مدل پلیسیت وزوئیک را از مایعات خالص به محلول دو جزئی توسعه داد. و با بستن موازنه جرم وانرژی و حرکت روی حباب و با تصحیح عدد ژاکوب وهمچنین صرف نظر کردن از نیروی اینرسی و کشش سطحی رابطه (۲) را ارائه نمود.

$$R(t) = \left(\frac{12\alpha}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{\rho_l c_{pl} \Delta T}{\rho_v h_{fg}} \left[\frac{1}{1 - (y-x) \left(\frac{\alpha}{D} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{c_{pl}}{h_{fg}} \right) \left(\frac{dT}{dx} \right)} \right] t^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ولاشکودر سال ۱۹۷۴ از راه آنالیز ریاضی، و این که رشد حباب به عدد ژاکوب وابسته است مدل خود را ارائه داد.

$$\frac{dR}{dt} = \beta_1 \frac{\alpha}{R} Ja \quad \Psi(Ja) \quad (3)$$

$$\Psi(Ja) = \left[1 + \frac{\beta_2^2}{\beta_1} Ja + \frac{\beta_2}{\beta_1} \sqrt{2\beta_1 Ja + (\beta_2 Ja)^2} \right] \quad (4)$$

برای $Ja \leq 1$ مقدار $1 \approx (Ja)$ و برای $Ja \geq 600$ مقدار $(Ja) = 0.03$ می‌باشد. β_1 و β_2 فاکتور هندسی هستند و مقدار $\beta_1 = 6$ و $\beta_2 = 0.3$ می‌باشد.

جدول (۱): روابط ارائه شده برای پیشگویی قطر و شعاع حباب برای سیالات محلول

محقق	رابطه ارائه شده
Stanizewski	$D_d = 0.0071 * \beta \left[\frac{2\sigma}{g \Delta \rho} \right] \left[1 + 34.3 \frac{dD}{dt} \right]$
Van Stralen	$R(t) = \left(\frac{12\alpha}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{\rho_l c_{pl} \Delta T}{\rho_v h_{fg}} \left[\frac{1}{1 - (y-x) \left(\frac{\alpha}{D} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{c_{pl}}{h_{fg}} \right) \left(\frac{dT}{dx} \right)} \right] t^{\frac{1}{2}}$
A.A.Voloshko	$\frac{dR}{dt} = \beta_1 \frac{\alpha}{R} Ja \quad \Psi(Ja)$ $\Psi(Ja) = \left[1 + \frac{\beta_2^2}{\beta_1} Ja + \frac{\beta_2}{\beta_1} \sqrt{2\beta_1 Ja + (\beta_2 Ja)^2} \right]$



چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

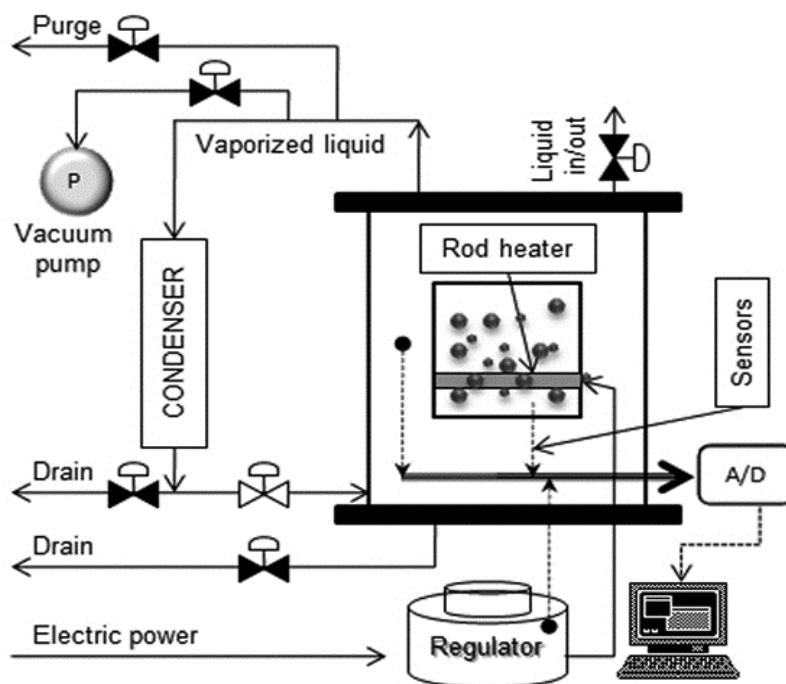
تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

www.Koureh.ir

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶

3- دستگاه آزمایشگاهی

دستگاه مورد استفاده برای جمع‌آوری و اندازه‌گیری داده‌ها موسوم به دستگاه جوشش استخری گارنفلو می‌باشد. این دستگاه از یک استوانه افقی با سطح صاف و از جنس فولاد ضد زنگ ساخته شده است که درون یک محفظه از جنس شیشه با قابلیت تحمل حرارتی بالا قرار دارد. در روی سطح این استوانه چهار عدد ترموکوپل قرار دارد که در هر لحظه میانگین حسابی دمای این چهار ترموکوپل پس از تصحیح نهایی نشان‌دهنده دمای سطح این استوانه می‌باشد. در مرکز این استوانه هیتر اصلی آزمایش قرار دارد که در نزدیکی نقطه جوش وارد عمل شده و پدیده جوشش استخری به کمک این هیتر صورت می‌گیرد. شکل شماره (۲) و (۳) جزئیات کامل دستگاه را نشان می‌دهد.



شکل (۲): جزئیات مربوط به دستگاه آزمایشگاهی

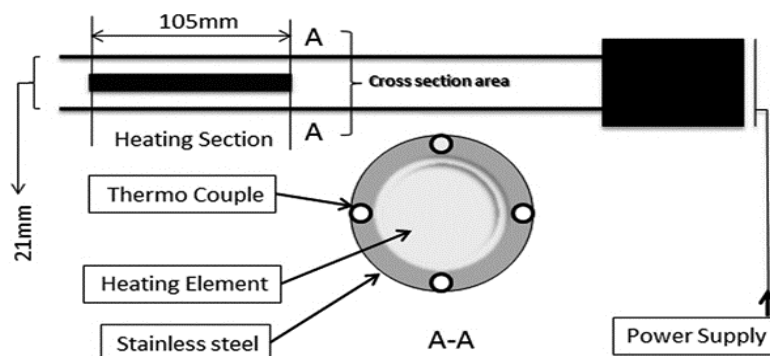


چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ هجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

www.Koureh.ir

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶



شکل (۳): جزئیات مربوط به هیتر اصلی دستگاه آزمایشگاهی

برای کاهش مقاومت تماس حرارتی میان ترموکوپل و سوراخها از خمیر سیلیکون استفاده می‌گردد. ولتاژ لازم توسط منبع برق شهری تامین شده و به وسیله یک اتوترانس تنظیم می‌گردد. به منظور حذف زبری، سطح استوانه توسط کاغذ سمباده یکنواخت با زبری 400 میکرومتر پالیش شده و با روغن جلادهی ریز پالیش شده است و به منظور عملکرد دقیق سنسور های دمایی، قطر این سنسور ها 2 میلی متر و طول آنها 100 میلی متر در نظر گرفته شده است. ظرف آزمایش به طور تقریبی در حدود 4 لیتر حجم دارد. همچنین یک کندانسور جهت بازگردانی بخارات ناشی از فرایند جوشش در بالای آن تعبیه شده است. اساس انجام این آزمایش بر قانون سرمایش نیوتن رابطه (۵) استوار است.

$$q'' = \frac{q}{A} = h(T_w - T_{sat}) = h\Delta T_{excess} \quad \left(\frac{W}{m^2}\right) \quad (5)$$

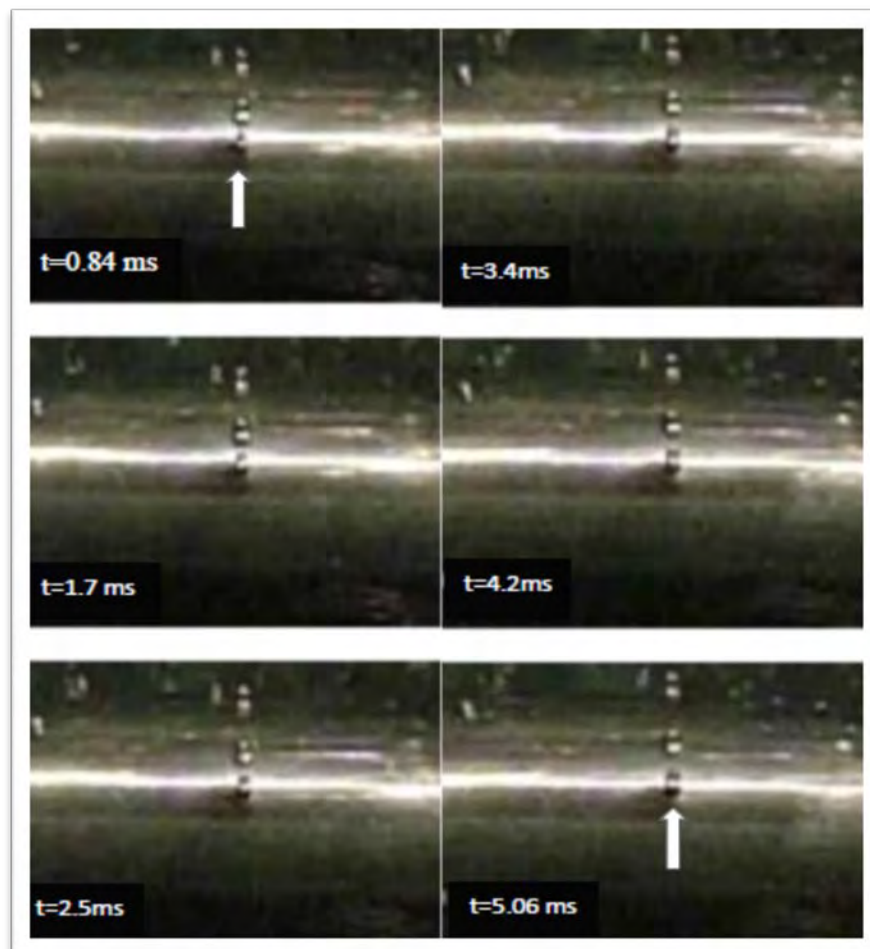
که در آن T_w دمای استوانه و T_{sat} دمای اشباع مایع اطراف استوانه می‌باشد. همچنین برای ثبت نتایج مربوط به قطر حباب از یک دوربین Camera High Speed با قابلیت فیلمبرداری 1200 فریم در ثانیه و قابلیت عکس برداری 60 فریم در ثانیه استفاده شده است که علاوه بر ثبت تصاویر دقیق و با کیفیت بسیار بالا امکان تحلیل تصاویر را توسط نرم افزار های پیشرفته ای از قبیل Adobe Premiere Pro را به وجود می‌آورد. شکل شماره (۳) رشد حباب محلول در فرآیند جوشش را بطور نمونه نشان می‌دهد.



چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir



شکل(۴): قطر حباب در حال رشد محلول ۰,۴ در صد اتانول با گذشت زمان

۴- نتایج آزمایشگاهی

نمودار شماره (۱) قطر حباب در حال رشد اندازه گیری شده برای محلول آب واتانول را بصورت تابعی از غلظت در زمان ۰,۰۳ ثانیه و شار حرارتی ۵۲۶۰ وات بر متر مربع نشان داده است. در این شکل نتایج پیش بینی مدل ون استرالن نیز آمده است. در نمودار شماره (۲) قطر حباب در حال رشد اندازه گیری شده، برای محلول آب واتانول با غلظت، در زمان های ۰,۰۳، ۰,۰۵، ۰,۰۸ و ۰,۰۸ ثانیه و شار حرارتی ۵۲۶۰ وات بر متر مربع کشیده شده است.

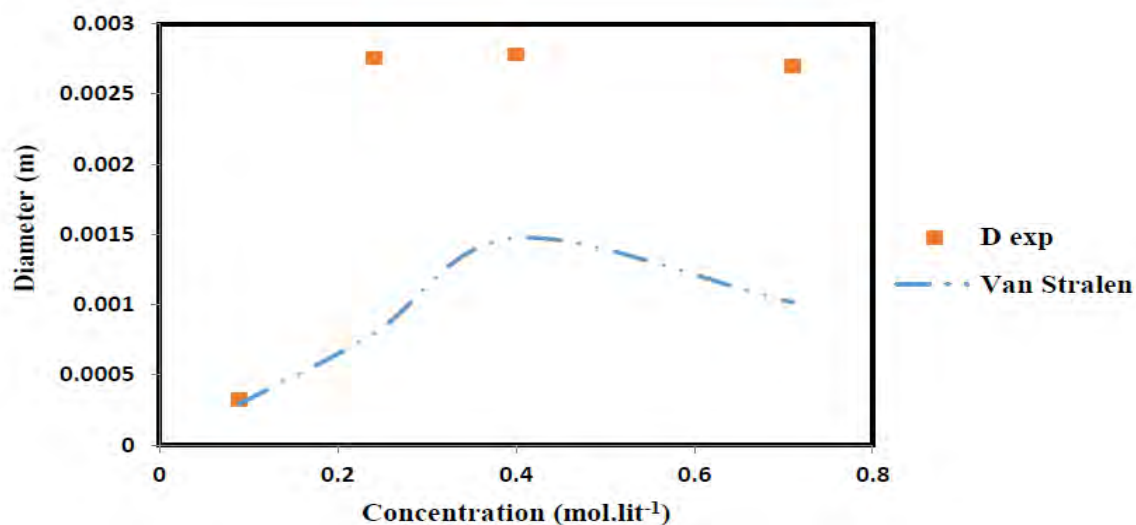


چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

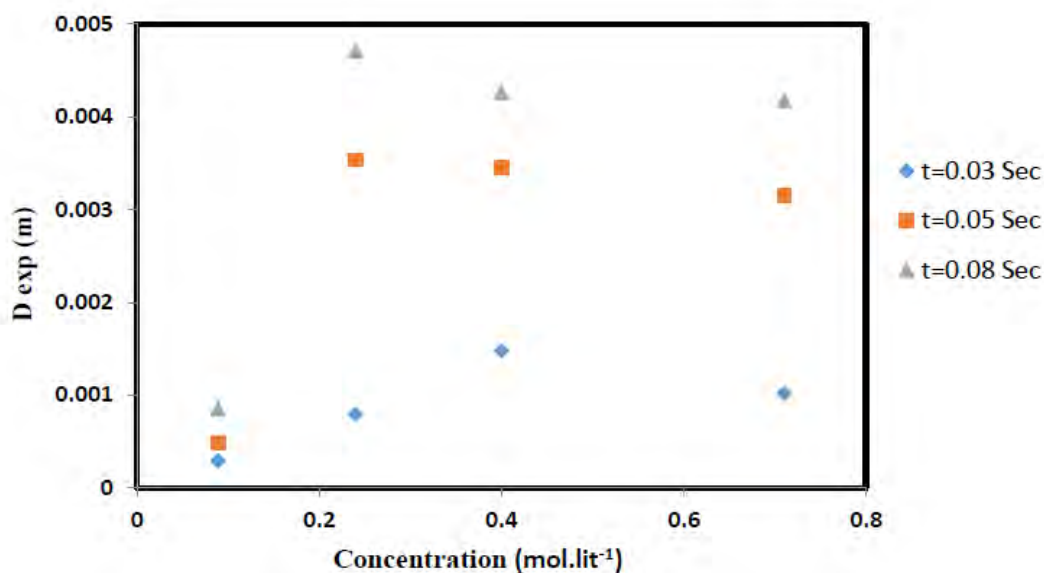
تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir

همانگونه که در نمودار شماره (۱) مشاهده می‌شود با افزایش غلظت قطر حباب در حال رشد ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است که علت آن را می‌توان تغییرات اختلاف دمای سطح هیترو و بالک محلول و همچنین تغییرات نیروی کشش سطحی، زاویه تماس و ویسکوزیته محلول با غلظت دانست.



نمودار (۱): مقایسه نتایج آزمایشگاهی قطر حباب محلول با رابطه ون استرالین زمان ۰,۰۳ ثانیه و شار حرارتی ۵۲۷۰ وات بر متر مربع



نمودار (۲): قطر حباب در حال رشد اندازه گیری شده برای محلول آب و اتانول در شار حرارتی ثابت و زمان های متفاوت



چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ هجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir

جدول (۲): خطا روابط ضریب انتقال حرارت با نتایج آزمایشگاهی آب خالص و اتانول خالص

غلظت	زمان	ون استرالن	زمان	ون استرالن
۰,۰۸۹	۰,۰۳	9.7	۰,۰۵	7.4
۰,۲۵	۰,۰۳	71.2	۰,۰۵	57.4
۰,۴	۰,۰۳	47	۰,۰۵	43
۰,۷۱	۰,۰۳	63.2	۰,۰۵	57.6

۵- نتیجه گیری

قطر حباب در حال رشد برای محلول آب و اتانول در غلظت‌های متفاوتی در فشار اتمسفری مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به بررسی نیروهای وارد بر حباب و خواص فیزیکی متوجه می‌شویم نیروی کشش سطحی عامل موثر در غلظت و زمان‌های پایین می‌باشد. و با افزایش غلظت عامل موثر ویسکوزیته می‌باشد. پس زمانی که نیروی کشش بیشتر است (در زمان یکسان) قطر حباب کوچکتر می‌باشد. و با افزایش غلظت ویسکوزیته در حال افزایش و اختلاف دانسیته کم می‌شود. بنابراین بالانس نیروها بگونه‌ای می‌باشد ابتدا قطر حباب ابتدا افزایش سپس کاهش می‌یابد. لازم بذکر می‌باشد که زاویه تماس تاثیر بسزایی در قطر حباب دارد.

مراجع

- [۱] Alavi Fazel, S. A., Jamialahmadi, M., Semi-Empirical Modeling of Pool Boiling Heat Transfer in Binary Mixtures, 2013, vol.44, pp.468-477.
- [۲] Van Stralen, S. J. D., The Mechanism of Nucleate Boiling in Pure Liquids and in Binary Mixtures –Part II, Surface Boiling, 1966, vol.9, pp.1021-1046.
- [۳] Van Stralen, S. J. D., The Mechanism of Nucleate Boiling in Pure Liquids and in Binary Mixtures –Part IV, Surface Boiling, 1967, vol.10, pp.1485-1498.
- [۴] Voloshko, A. A., Diameter and Frequency of Bubble Departure in Boiling, 1979, vol.6, pp.529-532.
- [۵] Plesset, M.S., Zwick. J. A., Growth of Vapor Bubble in Superheat Liquids, J. Appl, Phys, 1954, vol.25, pp.493.
- [۶] Fritz, W., Maximum volume of vapour bubbles, Physik Zeitschr, 1935, vol.36, pp.379–384.
- [۷] Young, T., An Essay on The Cohesion of Fluids, Philos. Trans. R. Lond, 1805, vol.95, pp.65-87.



چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir

[۸] Phan, H. T., Caney, N., Philippe Marty., Stephane Colasson., Jerome Gavillet., A model to Predict The Effect of Contact Angle on The Bubble Departure Diameter During Heterogeneous Boiling, 2010, vol.37, pp.964-969.

اختصارات

پارامترها				زیر نویس			
D_a	قطر جدایش	g	شتاب گرانش	exp	آزمایشگاهی	c	بحرانی
R	شعاع حباب	α	ضریب پخش حرارتی	fg	تبخیر		
T	دما	p	فشار	w	دیواره		
β	زاویه تماس	q''	شار حرارتی	sat	اشباع		
σ	کشش سطحی	C_p	ظرفیت گرمایی	b	حباب		
ρ	دانسیته	h	ضریب انتقال حرارت	l	مایع		
h	آنتالپی	x	جزء جرمی در مایع	v	بخار		
A	سطح	γ	جزء جرمی در بخار	fg	تبخیر		