

BestMasters

Ruben Steinhoff

Kondensation und Verdampfung an strukturierten Rohren

Aufbau eines Versuchsstandes
zur Untersuchung von
Wärmeübergangskoeffizienten

 Springer Vieweg

BestMasters

Mit „BestMasters“ zeichnet Springer die besten Masterarbeiten aus, die an renommierten Hochschulen in Deutschland, Österreich und der Schweiz entstanden sind. Die mit Höchstnote ausgezeichneten Arbeiten wurden durch Gutachter zur Veröffentlichung empfohlen und behandeln aktuelle Themen aus unterschiedlichen Fachgebieten der Naturwissenschaften, Psychologie, Technik und Wirtschaftswissenschaften.

Die Reihe wendet sich an Praktiker und Wissenschaftler gleichermaßen und soll insbesondere auch Nachwuchswissenschaftlern Orientierung geben.

Ruben Steinhoff

Kondensation und Verdampfung an strukturierten Rohren

Aufbau eines Versuchsstandes
zur Untersuchung von
Wärmeübergangskoeffizienten

Ruben Steinhoff
Hannover, Deutschland

BestMasters

ISBN 978-3-658-09529-1

ISBN 978-3-658-09530-7 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-658-09530-7

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2015

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Fachmedien Wiesbaden ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde ein neuer Versuchsstand zur Untersuchung von Wärmeübergangskoeffizienten bei der Kondensation und Verdampfung auf der Außenseite von glatten und strukturierten Rohren aufgebaut. Zuvor wurde ein thermodynamisches Auslegungsverfahren für den Versuchsstand entwickelt, welches die Grundlage für dessen konstruktive Ausführung war. Wahlweise sind Untersuchungen des Wärmeübergangskoeffizienten bei der Kondensation oder der Verdampfung anhand eines Einzelrohres möglich. Vier weitere Rohre wurden korrespondierend für die Bereitstellung des Kältemitteldampfes bzw. dessen Kondensation vorgesehen. Die kältemittelberührten Bauteile wurden in Edelstahl ausgeführt und für Drücke bis 10bar ausgelegt, um die Verwendung zukünftiger Kältemittel zu ermöglichen. Für den maximalen Umlaufmassenstrom des Kältemittels wurde eine Kondensations- bzw. Verdampfungsleistung von 15kW angenommen, die einer maximalen Wärmestromdichte von 260kW/m^2 an einem einzelnen untersuchten Rohr entspricht. Die Kühlung bzw. Beheizung der verbauten Rohre findet hierbei indirekt über einen Wärmeträger in Form von Wasser oder einem Wasser-Ethylenglykol-Gemisch statt.

Abstract

In the present work a new test rig for investigations on heat transfer coefficients during condensation and evaporation on the outside of plain and structured tubes was built up. Previously a thermodynamic method of design was developed for this test rig which was the basis of the constructive implementation. Investigations on the heat transfer coefficients during condensation or evaporation are achievable by a single tube. Four additional tubes allow for providing refrigerant vapor or alternatively condensing it. Parts wetted with refrigerant were made of stainless steel and are designed for pressures up to 10bar to enable further refrigerants in future. The maximum mass flow of the refrigerant was derived of the power of 15kW which is assumed for the condensation respectively the evaporation. This leads to a heat flux up to 260kW/m^2 on a single investigated tube. Cooling and heating of all the mounted tubes is realized indirectly by a heat transfer medium in terms of water or a water-ethylene glycol mixture.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	ix
Tabellenverzeichnis	xi
Formelzeichen	xiii
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	5
2.1 Sieden	5
2.1.1 Konvektives Sieden	7
2.1.2 Blasensieden	8
2.1.3 Filmsieden	14
2.1.4 Wärmeübergang beim Blasensieden	15
2.2 Kondensation	21
2.2.1 Tropfenkondensation	22
2.2.2 Filmkondensation	23
2.2.3 Wärmeübergang bei der Filmkondensation	27
2.3 Wärmeübergang im Inneren von durchströmten Rohren	29
2.4 Wilson-Plot	33
2.4.1 Bestimmung des inneren Wärmeübergangskoeffizienten . . .	36
2.4.2 Bestimmung des äußeren Wärmeübergangskoeffizienten . . .	37
2.4.3 Bestimmung des Wärmedurchgangs	38

3	Versuchsstand	41
3.1	Thermodynamisches Auslegungsverfahren	41
3.2	Konstruktive Ausführung	45
3.2.1	Überblick	45
3.2.2	Kreisläufe des Kühl- und Heizmediums	47
3.2.3	Kreislauf des Kältemittels	48
3.3	Rohre	55
3.4	Inbetriebnahme und Regelung	57
4	Messtechnik	59
4.1	Datenerfassung	59
4.2	Drucksensoren	60
4.3	Temperaturmessung	61
4.4	Durchflussmessung	63
4.4.1	Wasserkreisläufe	63
4.4.2	Kältemittelkreislauf	66
5	Schlussfolgerungen und Ausblick	67
	Literaturverzeichnis	69
	Tabellen	75
	Konstruktionszeichnungen	79

Abbildungsverzeichnis

2.1	Verlauf der Wärmestromdichte \dot{q} als Funktion der Wandüberhitzung ΔT für die Verdampfung von reinen Stoffen [59]	6
2.2	Kräftegleichgewicht an einer kugelförmigen Blase in einer Flüssigkeit [2]	10
2.3	Idealisierte Oberfläche einer porösen Metallschicht [86]	12
2.4	Grenzfläche zwischen Dampf und Flüssigkeit und dessen Krümmung innerhalb und außerhalb einer Kavität [86]	13
2.5	Ausbreitung eines Flüssigkeitsfilmes über eine mit Gas oder Dampf gefüllte Kerbe [86]	13
2.6	Beispielhafte Ausführung zur Realisierung von Kavitäten auf Rohroberflächen [14] [92] [93]	14
2.7	Vergleich der vorhergesagten Wärmeübergangskoeffizienten beim Blasensieden durch die modifizierte Gorenflo-Korrelation mit Messwerten [16]	16
2.8	Wärmeübergangskoeffizient und Exponent n beim Blasensieden als Funktion des reduzierten Drucks für Halogenkohlenwasserstoffe [29]	18
2.9	(a) Mischkondensation [49] (b) Tropfenkondensation [48]	22
2.10	Grenzflächenspannungen am Tropfenrand im Gleichgewichtszustand nach [2]	23
2.11	Schematische Darstellung abfließenden Kondensats an einem gekühlten Rohr	25
2.12	Längsschnitt eines Rippenrohres mit glattem Teilstück [86]	25
2.13	Kondensatprofile für unterschiedlich gewellte Oberflächen [31]	26
2.14	Kondensatretention an einem Rippenrohr nach [91]	27

2.15	Beeinflussung des Wärmeübergangs durch eine abwärts gerichtete Dampfströmung am horizontalen Rohr [62].	29
2.16	Schematische Darstellung eines innenberippten Rohres [90].	33
2.17	(a) Innenberippung mit $N_S = 45$, $e = 0,36$ mm und $\varphi = 45^\circ$ [90]	
	(b) Innenberippung mit $N_S = 30$, $e = 0,43$ mm und $\varphi = 45^\circ$ [90].	33
2.18	Beispielhafter Wilson-Plot mit gekennzeichnete Steigung	39
3.1	Iteratives Auslegungsverfahren für den Versuchsstand	43
3.2	Gesamtschema des Versuchsaufbaus	45
3.3	Gesamtaufnahme des ungedämmten Versuchsstandes mit Messrechner im Vordergrund und Rückkühler sowie Heizung im Hintergrund	46
3.4	Dampfdruckkurven für R134a und Hexan [55]	48
3.5	Längsschnitt durch den Verdampfer	49
3.6	Längsschnitt durch den Kondensator	51
3.7	Mittlere Anströmgeschwindigkeit des Kondensationsrohres in Abhängigkeit der Bohrungsdurchmesser des Lochbleches	53
3.8	Ausbildung der Strömung im Halbmodell des Kondensators bei maximaler Strömungsgeschwindigkeit des Hexandampfes	54
3.9	Gesamtaufnahme der Rohre C1-4 (oben) und B1-4 (Mitte) eines Kooperationspartners und eines Glattrohres (unten)	55
3.10	Mikroskopaufnahmen der strukturierten Oberflächen von Kupferrohren des Kooperationspartners	57
4.1	K-Faktoren der Turbine HM9 unter Berücksichtigung des Viskositätseinflusses	65
4.2	K-Faktoren der Turbine H11 unter Berücksichtigung des Viskositätseinflusses	65
B.1	Konstruktionszeichnung der Blindflansche mit 4 Bohrungen.	79
B.2	Konstruktionszeichnung der Blindflansche mit 1 Bohrungen.	80
B.3	Konstruktionszeichnung des Dichtungsflansches	81