

Holographische Untersuchungen zum unterkühlten Sieden*

Franz Mayinger, Dieter Nordmann und Walter Panknin**

Bei sehr hohen Wärmestromdichten, wenn die Fluidtemperatur in unmittelbarer Nähe der Heizfläche höher ist als die Sättigungstemperatur, kann Verdampfung, sog. „unterkühltes Sieden“, eintreten. Die Blasen, die sich auf der Heizfläche bilden, werden, sobald sie infolge Volumenzunahme oder Bewegung aus der überhitzten Grenzschicht in die unterkühlte Flüssigkeit gelangen, wieder kondensieren. Das Strömungsverhalten an der Heizfläche ist dabei stark vom zeitlichen Mittelwert des tatsächlichen Dampfgehaltes abhängig, der von der Geschwindigkeit des Wachstums und der Kondensation der Blasen bestimmt wird. In der Literatur [1, 2] wird je nach Unterkühlungsgrad für Blasenwachstum und -kondensation entweder die Massenträgheit oder der Wärmetransport nahe der Phasengrenze als beeinflussende Größe betrachtet.

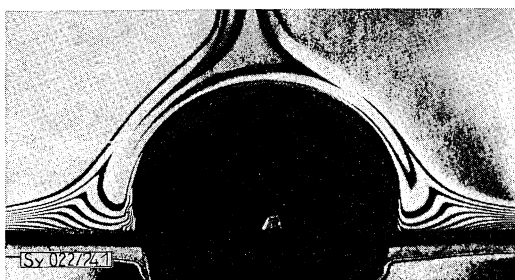


Abb. 1. Temperaturfeld um eine sich bildende „Folgeblase“, Versuchsfliuid Wasser, $p = 0,3$ bar, $q = 30$ W/cm², Unterkühlung $\Delta\theta_u = 2$ K.

Mit Hilfe der Hochgeschwindigkeitskinematographie wurden Untersuchungen der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverhältnisse bei Wachstum und Kondensation der Blasen durchgeführt, und es wurde die Temperaturverteilung in der überhitzten flüssigen Grenzschicht sowohl mit Miniaturthermoelementen als auch mittels holographischer Interferometrie gemessen. Im Gegensatz zu bisherigen Anwendungen [3, 4] der Holographie, die nur Einzelaufnahmen zuließen, konnte mit einer neuen Aufnahmetechnik auch der zeitliche Verlauf der Temperaturverhältnisse und damit des Wärmetransportes an der Phasengrenze kontinuierlich beobachtet und kinematographisch festgehalten werden. Die Messungen wurden unter freier Konvektion mit Wasser als Versuchsfliuid bei Drücken zwischen 0,3 und 1 bar durchgeführt.

Ein Vergleich der Messungen über die Wachstums- und Kondensationsgeschwindigkeiten der Dampfblasen mit Rechenmodellen aus der Literatur zeigt nur begrenzte Gültigkeit der theoretischen Ansätze und beweist, daß gerade in den technisch interessanten Bereichen, d. h. bei Unterkühlungsgraden

* Vortrag auf dem Jahrestreffen der Verfahrens-Ingenieure, 2. bis 4. Oktober 1973 in Berlin.

** Prof. Dr.-Ing. F. Mayinger (Vortragender), Dipl.-Ing. D. Nordmann und Dipl.-Ing. W. Panknin, Institut für Verfahrenstechnik der Techn. Universität Hannover, Callinstr. 15F.

von 5 bis 30 K, Trägheits- und Wärmetransporteffekte gleichzeitig berücksichtigt werden müssen. Das Blasenwachstum erfolgt zehnmal schneller als die Kondensation. Wegen der hohen Phasengeschwindigkeiten ist die in der Literatur häufig getroffene Annahme des thermodynamischen Gleichgewichtes zwischen Dampf und Flüssigkeit sicher nicht zulässig. Die Hologramme zeigen, daß man bei der Betrachtung der Temperaturverhältnisse zwischen einer ersten Blase, die sich unmittelbar nach Beginn der Beheizung bildet, und den folgenden Blasen (Abb. 1) unterscheiden muß.

Die im weiteren Verlauf des Siedens sich bildenden Blasen wachsen in den Driftkegel der vorhergehenden Blase hinein (Abb. 1). Die Rückkondensation, die in Abb. 1 noch nicht zu erkennen ist, beginnt in der Regel am Blasenkopf, wodurch eine heftige Zirkulationsströmung um die Blase eingeleitet wird, die ihrerseits kalte Flüssigkeit zum Blasenfuß transportiert, was dort dann die Weiterführung der Kondensation verursacht.

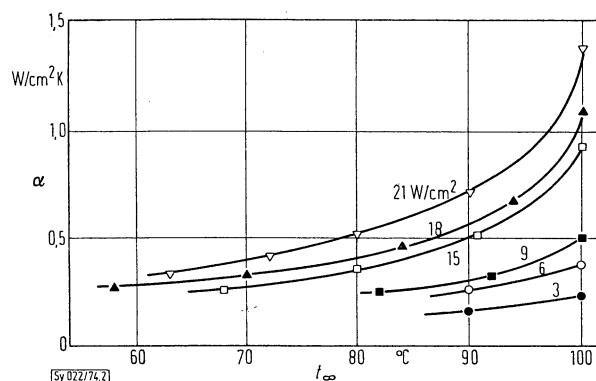


Abb. 2. Wärmeübergangskoeffizient beim unterkühlten Sieden unter freier Konvektion in Wasser von 1 bar.

Der zeitlich gemittelte Temperaturverlauf in unmittelbarer Nähe der Heizfläche ist bei konstant gehaltener Wärmestromdichte, keine oder höchstens eine schwache Funktion des Unterkühlungsgrades. Abb. 2 zeigt in Wasser von Umgebungsdruck gemessene Wärmeübergangskoeffizienten für verschiedene Heizflächenbelastungen in Abhängigkeit vom Unterkühlungsgrad des Fluids. Sie reichen von den aus der Literatur bekannten Werten der freien, einphasigen Konvektion bis zu den Werten des ausgebildeten Sättigungs-siedens.

Eingegangen am 9. Januar 1974

Literatur

- [1] Lord Rayleigh, Phil. Mag. 34, 94 [1917].
- [2] V. F. Prismanyakov, Int. J. Heat Mass Transfer 14, 353/56 [1971].
- [3] H. Beer, Progress in Heat and Mass Transfer 2, 311/70 [1969].
- [4] E. R. F. Winter, International Symposium on Two-Phase Systems, Technicon City, Haifa, Israel, 29. 8. bis 2. 9. 1971.

Schlüsselworte: unterkühltes Sieden, Holographie, Blasenwachstum, Wärmeübergang.

Das vollständige Manuskript dieser Arbeit umfaßt 23 Seiten mit 16 Abbildungen und 16 Literaturzitaten. Es ist als Photokopie oder Mikrofiche MS 022/74 erhältlich. Bestellkarten finden Sie in diesem Heft.