

Der vorliegende Abschnitt Ja enthält nur den Kondensationsvorgang reiner Dämpfe. Die Kondensation von Dampfgemischen und von Dämpfen aus Inertgasen wird in weiteren Abschnitten Jb und Jc behandelt.

Kondensation reiner Dämpfe

Strömt Dampf an einer gekühlten Wand vorbei, deren Temperatur unterhalb der Sättigungstemperatur liegt, so findet an der Wand Kondensation statt. Wenn das Kondensat die Wand benetzt, bildet es dabei eine mehr oder weniger zusammenhängende Haut (Filmkondensation). Bei Nichtbenetzung bilden sich einzelne Kondensatropfen, die durch Zusammenfließen anwachsen (Tropfenkondensation) (vgl. „Einführung“ Blatt A 14/15).

1. Filmkondensation von ruhendem Sattdampf

An der Oberfläche des Kondensatfilms wird die Verdampfungswärme frei, die durch den Film hindurch an die gekühlte Wand abgeführt werden muß. Der Wärmeleitwiderstand des Films überwiegt bei weitem alle übrigen Transportwiderstände (im Dampfstrom und an der Filmoberfläche), so daß die Wärmeübergangszahl allein durch die Filmdicke bestimmt wird. Herrscht an der Filmoberfläche Sättigungstemperatur t_s und innerhalb des Films geradliniger Temperaturabfall auf die konstante Wandtemperatur t_w , und nimmt man ferner laminare Strömung im Kondensatfilm an, so läßt sich die Wärmeübergangszahl α nach Nußelt¹⁾ berechnen.

a) senkrechte Wand oder senkrechttes Rohr.

Die folgenden Gleichungen gelten für den Fall, daß auf die Oberfläche des Kondensatfilms durch den Dampfstrom keine nennenswerten Schubkräfte ausgeübt werden, was für Dampfgeschwindigkeiten unter etwa 5 m/s der Fall ist. Dann wird nach Nußelt¹⁾ unter Benutzung der Einheiten von Blatt Ba 1 für den Fall **laminarer** Kondensathaut

$$\alpha_H = 0,943 \left(\frac{1}{H \Delta t} \right)^{1/4} \left(\frac{\lambda^3 \gamma^2 r}{\eta \cdot 3600} \right)^{1/4} = 7,3 \left(\frac{1}{H \Delta t} \right)^{1/4} \left(\frac{\lambda^3 \gamma^2 r}{\eta} \right)^{1/4} \quad (1)$$

Hierin ist $\Delta t = t_s - t_w$ [grad] und H [m] die senkrechte Höhe der Kühlstrecke. Die Wärmeübergangszahl α ist durch $q = \alpha \Delta t$ definiert, worin q die mittlere Heizflächenbelastung über die ganze Kühlstrecke bedeutet. Die Stoffwerte beziehen sich auf das Kondensat. Die Auswertung von Gl. (1) ist auf Blatt Ja 3 dargestellt.

Die Bezugstemperatur für die Stoffwerte in Gl. (1) ist die Mitteltemperatur $t_m = (t_s + t_w)/2$. Bei nicht zu hohen Werten von Δt und in genügendem

¹⁾ W. Nußelt: Die Oberflächenkondensation des Wasserdampfes. Z.VDI Bd. 60 (1916) S. 541/46 und 569/75.

Abstand vom kritischen Zustand kann man die Stoffwerte einfacher bei der Sattdampf Temperatur t_s einsetzen, wodurch dann aus Gl. (1) für eine bestimmte Sattdampf Temperatur die Beziehung entsteht:

$$\alpha_H = \frac{\text{const.}}{(H \Delta t)^{1/4}} \quad (1a)$$

Zahlenbeispiel zu Blatt Ja 3:

Als Beispiel sei die Filmkondensation von Wasserdampf bei 100°C an einem senkrechten Rohr von $H = 1$ m behandelt, wenn zwischen Dampfraum und Wand ein mittleres Temperaturgefälle $\Delta t = t_s - t_w = 10$ grad herrscht. Wegen des kleinen Wertes von Δt können die Stoffwerte ohne Bedenken auf die Sattdampf Temperatur $t_s = 100^\circ\text{C}$ bezogen werden. Gegeben sind damit folgende Stoffwerte für Wasser (vgl. Abschnitt D, Blatt Db 1):

dynamische Zähigkeit

$$\text{des Kondensats } \eta = 28,8 \cdot 10^{-9} \text{ kgs/m}^2$$

spezifisches Gewicht

$$\text{des Kondensats } \gamma = 958 \text{ kg/m}^3$$

Wärmeleitzahl

$$\text{des Kondensats } \lambda = 0,586 \text{ kcal/mhgrad}$$

Verdampfungswärme

$$r = 539 \text{ kcal/kg}$$

Durch Verfolgen des eingezeichneten Linienzuges ergibt sich damit aus Blatt Ja 3 die Wärmeübergangszahl zu

$$\alpha_H = 5700 \text{ kcal/m}^2 \text{ h grad.}$$

Um das Aufsuchen der Stoffwerte zu vermeiden, wurde für einige technisch wichtige Stoffe das Blatt Ja 5 entworfen, in dem die Stoffwerte wieder auf die Sattdampf Temperatur t_s bezogen sind. Das eingezeichnete Zahlenbeispiel entspricht der Kondensation von gesättigtem Toluol (C_7H_8) bei einer Temperatur von 110,6°C (Sattdampfdruck $p = 760$ mm QS). Man erhält für $\Delta t = 15$ grad und $H = 2$ m eine Wärmeübergangszahl $\alpha = 710 \text{ kcal/m}^2 \text{ h grad}$. Aus der Lage der Kurven im linken oberen Quadranten von Blatt Ja 5 erkennt man, daß die Wärmeübergangszahlen kondensierender organischer Dämpfe meist erheblich unter denen für Wasserdampf liegen.

Da die Kurven für alle Stoffe ziemlich gestreckt sind, läßt sich daraus die Berechtigung für die Wahl von t_s als Bezugstemperatur der Stoffwerte ableiten. Aber auch bei großem Δt , wenn der gemachte Fehler nicht mehr zu vernachlässigen ist, läßt sich Blatt Ja 5 anwenden: man muß dann nicht mit der Sattdampf Temperatur t_s in den linken oberen Quadranten eingehen, sondern mit der Mitteltemperatur

$$t_m = (t_s + t_w)/2 = t_s - \Delta t/2.$$

^{*)} Bearbeiter des Abschnittes J: U. Grigull, Leverkusen.