
1. Abkühlung von Stahlwellen

Zum Härten werden zylinderförmige Stahlwellen mit einer Masse von 1,2 kg, einer Gesamtoberfläche von 300 cm² und einem Durchmesser von 20 mm in einem Ölbad von 800°C auf 300°C (gemittelt) abgekühlt. Das Ölbad hat eine konstante Temperatur von 50°C und der Wärmeübergangskoeffizient beträgt 600 W/(m²·K).

Die Stoffwerte des Stahls sind: $\lambda = 47 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,
 $c_p = 550 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

Aufgabenstellung:

- a.) Welche Zeit wird für die Abkühlung der Stahlwellen benötigt?
- b.) Welche Wärmemenge wird über diesen Zeitraum von den Stahlwellen abgegeben?

2. Bewertung eines neuartigen Prozesses

Die notwendige Bearbeitung eines Spezialmaterials erfordert die Entwicklung eines neuen Prozesses. Im Konkreten soll das Spezialmaterial, welches prinzipiell die Form einer Kugel mit dem Radius 15 mm hat, in einem Brennraum auf eine konstante Temperatur von 400°C erwärmt werden. Anschließend werden die Kugeln aus dem Brennraum entnommen und kontrolliert abgekühlt. Dieser Abkühlvorgang verläuft dabei über nachfolgende zwei Schritte:

- 1) Kühlung der Kugeln mit Luft ($T=20^\circ\text{C}$) für eine bestimmte Zeit t_a , bis die Temperatur im Kugelmittelpunkt die kritische Temperatur von $T_a(t_a)=335^\circ\text{C}$ erreicht hat. Der dabei erzielte Wärmeübergangskoeffizient beträgt konstant 10 W/(m²·K).
- 2) Nach dem ersten Prozessschritt erfolgt unverzüglich die weitere Kühlung der Kugeln in einem gut gerührten Wasserbad mit einer Temperatur von 20°C und einem konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten von 6000 W/(m²·K) für die Zeit t_b , bis die Temperatur im Kugelmittelpunkt $T_b(t_a+t_b)=50^\circ\text{C}$ erreicht hat.

Nach dem Schritt 2 werden die Kugeln dem Wasserbad entnommen.

Die Stoffwerte des Spezialmaterials sind: $\rho=3000 \text{ kg}/\text{m}^3$;
 $\lambda = 20 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,
 $c_p = 1000 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

Aufgabenstellung:

- a.) Welche Zeit t_a wird für den ersten Prozessschritt benötigt?
- b.) Wie lange dauern beide Prozessschritte zusammen, wenn für den zweiten Prozessschritt als Anfangstemperatur der Kugeln die gemittelte Temperatur der Kugeln nach dem ersten Prozessschritt berücksichtigt wird?
- c.) Wie groß ist die Oberflächentemperatur der Kugeln nach dem zweiten Prozessschritt?

3. Vergleich von Wärmeübergangskoeffizienten in einem Rohr mit unterschiedlichen Strömungsmedien

Es sollen für verschiedene Strömungsmedien in einem Rohr mit 25 mm Innendurchmesser und einer Rohrlänge von 3 m die Wärmeübergangskoeffizienten ermittelt und gegenübergestellt werden. Für diese Betrachtung soll für die Rohrwand eine konstante Temperatur von $T_W=T_S=90^\circ\text{C}$ und für das Fluid eine Eintrittstemperatur von 50°C berücksichtigt werden. Zur Berücksichtigung der Richtung des Wärmestroms bzw. der Temperaturabhängigkeit der Stoffwerte ist bei der Berechnung der Nusselt-Zahlen der Faktor K (bzw. f_2) zu berücksichtigen ($Nu_{korrigiert} = f_2 \cdot Nu$). Dieser ist wie folgt definiert:

$$K = f_2 = \left(\frac{Pr_m}{Pr_W}\right)^{0,11} \quad \text{für Flüssigkeiten}$$

$$K = f_2 = \left(\frac{T_m}{T_W}\right)^{0,45} \quad \text{für Gase } (T_m \text{ bzw. } T_W \text{ in Kelvin; mit } T_W = T_S)$$

Für T_m soll dabei der arithmetische Mittelwert aus Fluidein- und Fluidaustrittstemperatur herangezogen werden ($T_m = \frac{T_{Ein} + T_{Aus}}{2}$). Das bedeutet, dass eine iterative Berechnung erforderlich ist, um die Fragestellung beantworten zu können (1. Annahme einer Austrittstemperatur und Berechnung von T_m ; 2. Berechnung der Stoffdaten; 3. Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten; 4. Berechnung der logarithmischen Temperaturdifferenz; 5. Berechnung der Fluidaustrittstemperatur und Vergleich mit der angenommenen Austrittstemperatur und 6. Gegebenenfalls Berechnung von T_m mit der berechneten Austrittstemperatur und Fortsetzung bei Punkt 2.).

In der nachfolgenden Tabelle sind die zu verwendenden Geschwindigkeiten angegeben:

		u [m/s]
Wasser	1 bar	2
Luft	1 bar	20

Aufgabenstellung:

Wie groß sind die Wärmeübergangszahlen in Abhängigkeit des jeweiligen Strömungsmediums?

4. Kühlung einer Ofenoberfläche

Ein Trocknungs-ofen mit den Außenabmessungen $0,5 \times 0,5 \times 0,5 \text{ m}^3$ hat auf der Oberseite eine Oberflächentemperatur von 47°C . Bei einer Umgebungstemperatur von 17°C (Raumlufitemperatur im Aufstellungsort) und einer inneren Ofenlufitemperatur von 150°C wurde ein Wärmeverlust durch die Oberseite von 40 W gemessen.

Zur Reduktion der Ofenoberflächentemperatur ist angedacht, mittels Umgebungsluft (17°C) konvektiv die Oberfläche zu kühlen. Dazu wird ein Ventilator aufgestellt, der Umgebungsluft parallel zur Oberfläche mit einer Geschwindigkeit von 20 m/s ausbläst.

Stoffdaten:

Die Stoffdaten für Luft sind mit EES für Luft (Bezeichnung 'Air_ha') bei $T=17^\circ\text{C}$ und dem Umgebungsdruck $p_{\text{atm}}=1 \text{ bar}$ zu ermitteln.

Aufgabenstellung:

- Bestimmen Sie den durch die erzwungene Konvektion veränderten Wärmeverlust durch die Oberseite des Trocknungs-ofens (es kann angenommen werden, dass der Wärmeübergangskoeffizient auf der Innenseite des Ofens und dessen Temperatur (150°C) dabei unverändert bleibt).
- Bestimmen Sie die durch die erzwungene Konvektion veränderte Oberflächentemperatur auf der Oberseite des Trocknungs-ofens.
- Bestimmen Sie die durch die erzwungene Konvektion veränderte Oberflächentemperatur auf der Oberseite des Trocknungs-ofens in Abhängigkeit der Luftgeschwindigkeit (u - T Diagramm für $u=1 - 20 \text{ m/s}$).

Hinweis:

Der Strahlungswärmeaustausch zwischen der Ofenoberfläche und der Umgebung kann vernachlässigt werden. Für die Nu-Korrelation ist für dieses Beispiel die „Mittelkurve“ aufgrund stumpfer Plattenränder usw. heranzuziehen.