

VERIFICHE TECNICHE: PROGETTAZIONE GENERATORE

Dati in ingresso

$m = 0,2 \text{ ml} = 0,0002 \text{ kg}$ è la massa relativa ad ogni iniezione nelle condizioni di lavoro di sterilizzazione.

$\dot{m} = 10 \frac{\text{ml}}{\text{s}} = 0,01 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ è la portata nelle condizioni di pre-sterilizzazione.

$T(in) = 293,15 \text{ K}$ il fluido entra nel generatore a temperatura ambiente.

$P(in) = 3,2 \text{ bar}$ la pressione imposta dalle modalità di esercizio della pompa durante la fase di sterilizzazione.

Dati in uscita

$\dot{m} = 0,01 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ per il principio di conservazione della massa.

$T(out) = 433,15 \text{ K}$ temperatura in uscita dal generatore: 160°C come imposto dai requisiti dell'azienda.

$P(out) = 3,3 - 3,5 \text{ bar}$ pressione massima in uscita dal generatore, imposta dal regime di funzionamento dell'autoclave.

Parametri da determinare

- sezione della serpentina.
- Lunghezza della serpentina.

Svolgimento

Si ricavano alcuni valori essenziali come la temperatura di evaporizzazione e di conseguenza il calore latente necessario alla transizione di fase.

$$P(in) = 3,2 \text{ bar} \rightarrow T(evap) = 135^\circ C \rightarrow \lambda(evap) = 2163,5 \frac{kJ}{kg}$$

Fase liquida → è la fase che intercorre tra i 20°C e i 135°C, temperatura di ebollizione. I parametri da determinare, ovvero il calore specifico e la densità, sono stati calcolati prendendo come riferimento una temperatura media del processo.

$$T(in) = 20^\circ C \rightarrow Cp(20^\circ C) = 4186 \frac{J}{kg * K}$$

$$T(evap) = 135^\circ C \rightarrow Cp(135^\circ C) = 4220 \frac{J}{kg * K}$$

Considerando una temperatura media di **T(med) = 75°C** si è stabilito un **Cp(med) = 4190 J/kg*K**.

Torna utile per passi successivi determinare anche la densità del fluido a temperatura ambiente che risulta essere di **ρ = 998 kg/m³**.

Si determina quindi il calore necessario per la fase liquida:

$$\begin{aligned} Q(liq) &= m * Cp(med) * (T(evap) - T(in)) \\ &= 0,0002 \text{ kg} * 4190 \frac{J}{kg * K} * (135^\circ C - 20^\circ C) = 96,37 \text{ J} \end{aligned}$$

Si ricordi che tutti i valori dei calori calcolati sono relativi ad una singola iniezione da 0,2 ml.

Transizione di fase → è la fase che intercorre isotermobaricamente a 135 °C.

La quantità di calore necessaria viene facilmente calcolata come:

$$Q(evap) = m * \lambda(evap) = 0,0002 \text{ kg} * 2163,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} = 432,7 \hat{\text{J}}$$

Surriscaldamento → Consideriamo quindi un ulteriore aumento da 135 °C a 160 °C. Anche in questo caso occorre definire valori medi di temperatura e calore specifico. Si ha una **T(med) = 147°C**

Per definire il calore specifico di un vapore si ricorre ad una formula valida per gas ideali; questa corrisponde ad una ulteriore approssimazione non poco significativa poichè il vapore in questione è ben lontano dall'essere considerato puramente ideale. Generalmente per i gas ideali vale che:

$$C_p = a + b * T + c * T^2 + d * T^3$$

Sostituendo i rispettivi valori dei coefficienti a, b, c, d si ottiene:

$$C_p(med) = a + b * T(med) + c * T(med)^2 + d * T(med)^3 = 34,59 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}$$

$$\begin{aligned} Q(surr) &= m * C_p(med) * (T(out) - T(evap)) \\ &= 0,0002 \text{ kg} * 34,59 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * (160^\circ\text{C} - 135^\circ\text{C}) = 172,95 \hat{\text{J}} \end{aligned}$$

Conseguentemente, può essere determinato quindi il calore totale che necessariamente la resistenza deve fornire al fluido in questione, si ricordi che stiamo sempre prendendo in considerazione unicamente una singola iniezione da 0,2 ml.

$$Q(tot) = Q(liq) + Q(evap) + Q(surr) = 96,37 \hat{\text{J}} + 432,7 \hat{\text{J}} + 172,95 \hat{\text{J}} = 702,02 \hat{\text{J}}$$

Il processo può essere condotto avendo a disposizione una potenza nominale di 2000W. Non tutta la potenza nominale però viene fornita al fluido, ci è stato detto che solamente 800/900 Watt incidono sul riscaldamento dell'acqua. Poniamoci quindi in termini di sicurezza in condizioni che potrebbero abbondantemente comprendere le problematiche discusse tramite una sensibile maggiorazione del calore sperimentalmente ottenuto; consideriamo quindi un coefficiente di sicurezza.

$$Q(tot) = 702,02 \hat{J} \rightarrow Q(tot, eff) = 800 \hat{J}$$

$$\eta = \frac{Q(tot, eff)}{Q(tot)} = \frac{800 \hat{J}}{702,02 \hat{J}} = 1,14$$

Andiamo quindi a definire il tempo di transito.

$$t = \frac{Q(tot, eff)}{W(nominale)} = \frac{800 \hat{J}}{900 \frac{\hat{J}}{s}} = 0,889 \text{ sec.}$$

Si è rispettato in questo modo l'istantaneità del processo che avviene in meno di un secondo per il transito di una singola iniezione.

A questo punto ci sono ancora 3 parametri che possono variare. Cerchiamo in prima approssimazione di legare il tempo di attraversamento con le grandezze fisiche velocità di attraversamento, sezione e lunghezza della serpentina. E' evidente che:

$$tempo = \frac{\text{lunghezza serpentina}}{\text{velocità attraversamento}}$$

Cerchiamo quindi di esplicitare il termine della velocità in ingresso come:

$$\dot{m} = \rho(in) * V(in) * A(in) \rightarrow V(in) = \frac{\dot{m}}{\rho(in) * A(in)}$$

Esplicitando la sezione di passaggio si ottiene:

$$A(in) = \pi * \frac{d^2}{4} \rightarrow V(in) = \frac{4 * \dot{m}}{\rho(in) * \pi * d^2}$$

Tornando alla relazione con il tempo si ha che:

$$tempo = \frac{(lunghezza serpentina) * \rho(in) * \pi * d^2}{4 * \dot{m}}$$

Per garantire l'adeguato trasferimento di calore nel tempo stabilito, occorre che la serpentina si sviluppi su una lunghezza data da:

$$lunghezza serpentina \geq \frac{4 * tempo * \dot{m}}{\rho(in) * \pi * d^2}$$

Numericamente si ottiene:

$$lunghezza serpentina \geq \frac{4 * 0,889sec. * 0,01 \frac{kg}{sec.}}{998 \frac{kg}{m^3} * \pi * (4 * 10^{-3})^2 m^2} = 709 mm$$

Supponendo di voler porre ulteriormente in margine di sicurezza, è ragionevole pensare di aumentare ulteriormente anche la lunghezza della serpentina. Prendiamo in considerazione una lunghezza di:

$$lunghezza serpentina = 759 mm$$

In questo modo se scegliamo di costruire un generatore di vapore con il corpo cilindrico di diametro pari a 36 mm, ci occorre il seguente numero di spire:

$$\text{numero spire} = \frac{\text{lunghezza serpentina}}{\text{lunghezza spire}} = \frac{0,759 \text{ m}}{\pi * 36 * 10^{-3}} = 6,71$$

A tutto ciò, bisogna tuttavia tenere in considerazione che nella valutazione fatta fino ad ora è stato presupposto che la superficie di scambio termico fosse quella totale delle spire. Tuttavia, nel nostro generatore, a causa dei piccoli interstizi tra una spira e l'altra, non tutta la superficie è coinvolta direttamente nello scambio termico: per questo motivo abbiamo supposto un coefficiente di scambio termico pari a 0,7. Conseguentemente otteniamo:

$$\text{numero spire eff} = \frac{\text{numero spire}}{0.7} = 9.59$$