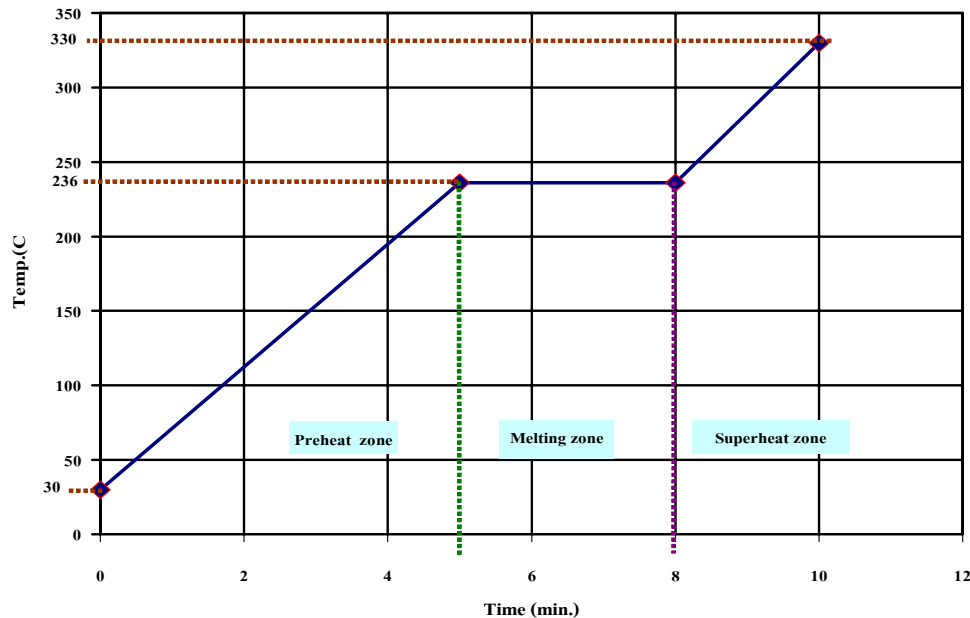


ภาคผนวก ข.

การคำนวณค่าพลังงานการทดสอบ
หลอมโลหะด้วยเตาทดสอบ

1. การคำนวณทดสอบหลอมโลหะครั้งที่ 1

1. ชนิดโลหะที่ทดสอบ ดีบุก
2. น้ำหนักก่อนการหลอม 250 g
3. ส่วนผสมโลหะที่ทดสอบ ดีบุกบริสุทธิ์ (Tin Powder)
4. หัวเผาที่ใช้แบบที่ 1
5. อุณหภูมิเริ่มหลอมละลาย 236 °C
6. อุณหภูมิเทออกน้ำโลหะ 330 °C
7. น้ำหนักโลหะหลังการหลอม 248.8 g
8. เวลาที่ใช้ในการหลอม 10 min.
9. พลังงานในการหลอมโลหะ ($Q_{\text{metal melt}}$)



9.1 พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 – 236 °C (Q_{preheat})

จากสมการ

$$Q_{\text{preheat}} = c_{p \text{ solid}} m (T_m - T_{\text{amb}})$$

ค่าความร้อนจำเพาะของโลหะดีบุก ($c_{p \text{ solid}}$) = 0.23 kJ/kg . K

(จาก Metal hand book , 1996)

มวลของโลหะ (m) = 250 g

อุณหภูมิโลหะก่อนการหลอม (T_{amb}) = 30 + 273 K

$$\text{อุณหภูมิโลหะถึงจุดหลอมละลาย (T}_m\text{)} = 236 + 273 \text{ K}$$

$$Q_{preheat} = 0.23 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times \frac{250}{1000} kg (509 - 303) K$$

$$Q_{preheat} = 11.845 kJ$$

9.2 พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายที่อุณหภูมิ 236 °C (Q_{melt})

จากสมการ

$$Q_{melt} = mL$$

ค่าความร้อนแฝงหลอมเหลวของโลหะดีบุก (L) = 59 kJ/kg

(จาก Metal hand book , 1996)

$$Q_{melt} = \frac{250}{1000} kg \times 59 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{melt} = 14.75 kJ$$

9.3 พลังงานในการทำให้โลหะหลอมมีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 236 – 330 °C (Q_{superheat})

จากสมการ

$$Q_{superheat} = c_{P liquid} m (T_{superheat} - T_m)$$

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของโลหะดีบุกหลอมเหลว

(จาก Metal hand book , 1996) (C_{P liquid}) = 0.26 kJ/kg . K

อุณหภูมิโลหะที่จุดหลอมละลาย (T_m) = 236 + 273 K

อุณหภูมิโลหะที่จุดเทน้ำโลหะ (T_{superheat}) = 330 + 273 K

$$Q_{superheat} = 0.26 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times \frac{250}{1000} kg (603 - 509) K$$

$$Q_{superheat} = 6.11 kJ$$

9.4 พลังงานที่ใช้ในการหลอมโลหะ (Q_{metal melt})

จากสมการ

$$Q_{metal melt} = Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superher}$$

$$Q_{metal melt} = (11.845 + 14.75 + 6.11) kJ$$

$$Q_{metal melt} = 32.705 kJ / 250 g$$

10. พลังงานที่ทำให้ผนังห้องเผาไหม้เพิ่มอุณหภูมิจาก 30 – 348 °C (Q_{chamber})

จากสมการ

$$Q_{chamber} = m_{chamber} c_p (T_m - T_{amb})$$

มวลผนังห้องเผาไหม้ ($m_{chamber}$) = 5.304 kg

ค่าความจุความร้อนจำเพาะวัสดุผนังห้องเผาไหม้

Thermal Ceramic 85P (C_p) = 0.92 kJ/kg . K

อุณหภูมิแวดล้อมผนังห้องเผาไหม้เริ่มต้น (T_{amb}) = 30 + 273 K

อุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ถึงจุดหลอมละลาย (T_m) = 348 + 273 K

$$Q_{chamber} = 5.304kg \times 0.92 \frac{kJ}{kg \cdot K} (621 - 303)K$$

$$Q_{chamber} = 1551.7382kJ$$

11. พลังงานที่ทำให้เบ้าหลอมเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 – 236 °C ($Q_{crucible}$)

จากสมการ

$$Q_{crucible} = m_{crucible} c_p (T_m - T_{amb})$$

มวลเบ้าหลอม ($m_{crucible}$) = 0.55 kg

ค่าความจุความร้อนจำเพาะเบ้าหลอมวัสดุ Alumina (C_p) = 0.96 kJ/kg . K

อุณหภูมิแวดล้อมผนังห้องเผาไหม้เริ่มต้น (T_{amb}) = 30 + 273 K

อุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ถึงจุดหลอมละลาย (T_m) = 236 + 273 K

$$Q_{crucible} = 0.55kg \times 0.96 \frac{kJ}{kg \cdot K} (509 - 303)K$$

$$Q_{crucible} = 108.768kJ$$

12. ปริมาตรการใช้ก๊าซออกซิเจนที่ความดันบรรยากาศ (1bar)

จากสมการ

$$\Delta V_{ox} = \frac{V_{vessel} (P_1 - P_2)}{P_{amb}}$$

ปริมาตรถังบรรจุก๊าซ (V_{vessel}) = 40 ℓ

ความดันถังก๊าซก่อนใช้งาน (P_1) = 13.70 bar

ความดันถังก๊าซหลังใช้งาน (P_2) = 13.35 bar

$$\Delta V_{ox} = \frac{40\ell(13.70 - 13.35)bar}{1bar}$$

$$\Delta V_{ox} = 14\ell$$

13. อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่เข้าในเตาทดสอบ

$$14\ell / 1800s = 7.77 \times 10^{-3} \ell / s = 7.77 \times 10^{-6} m^3 / s$$

14. อัตราการไหลมวลของก๊าซออกซิเจนที่เข้าในเตาทดสอบ

จากสมการ

$$m_{ox} = \rho \Delta V_{ox}$$

$$\text{ความหนาแน่นของก๊าซออกซิเจน } (\rho) = 1.43 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน } (\Delta V_{ox}) = 7.77 \times 10^{-6} m^3/s$$

$$m_{ox} = 1.43 \frac{kg}{m^3} (7.77 \times 10^{-6}) \frac{m^3}{s}$$

$$m_{ox} = 1.111 \times 10^{-5} kg / s$$

15. ค่าใช้จ่ายก๊าซออกซิเจน ปริมาตรบรรจุ 6000 ลิตร ราคาถังละ 120 บาท

$$0.02 Baht / \ell \times 14 \ell = 0.28 Baht$$

16. ปริมาตรการใช้ก๊าซอะเซทิลีน

จากสมการ

$$\Delta V_{fuel} = \frac{V_f}{P_{max}} (P_1 - P_2)$$

$$\text{ปริมาตรก๊าซเต็มถัง } (V_f) = 3000 \ell$$

$$\text{ความดันสูงสุดถังก๊าซ } (P_{max}) = 15 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถังก๊าซก่อนใช้งาน } (P_1) = 13.10 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถังก๊าซหลังใช้งาน } (P_2) = 12.44 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{fuel} = \frac{3000\ell}{15bar} (13.10 - 12.44) bar$$

$$\Delta V_{fuel} = 132\ell$$

17. อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีน

$$132\ell / 1800s = 7.33 \times 10^{-2} \ell / s$$

18. ค่าใช้จ่ายก๊าซอะเซทิลีน ปริมาตรบรรจุ 3000 ลิตร ราคาถังละ 630 บาท

$$0.21\text{Baht} / \ell \times 132\ell = 27.72\text{Baht}$$

19. ปริมาตรการใช้ก๊าซอาร์กอนที่ความดันบรรยากาศ (1 bar)

จากสมการ

$$\Delta V_{ar} = \frac{V_{vessel}(P_1 - P_2)}{P_{amb}}$$

$$\text{ปริมาตรถังบรรจุก๊าซ (} V_{vessel} \text{)} = 40 \ell$$

$$\text{ความดันถังก๊าซก่อนใช้งาน (} P_1 \text{)} = 142 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถังก๊าซหลังใช้งาน (} P_2 \text{)} = 141.5 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{ar} = \frac{40\ell(142 - 141.5)\text{bar}}{1\text{bar}}$$

$$\Delta V_{ar} = 20\ell$$

20. อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน

$$20\ell / 600 \text{ s} = 3.33 \times 10^{-2} \ell / \text{s}$$

21. ค่าใช้จ่ายก๊าซอาร์กอน ปริมาตรบรรจุ 6000 ลิตร ราคาถังละ 3000 บาท

$$0.50\text{Baht} / \ell \times 20\ell = 10\text{Baht}$$

22. อัตราการไหลมวลของก๊าซอะเซทิลีนที่ใช้

จากสมการ

$$m_f = \rho \Delta V_{fuel}$$

$$\text{อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนที่ใช้ (} \Delta V_{fuel} \text{)} = 7.33 \times 10^{-2} \ell / \text{s}$$

$$= 7.333 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\text{ค่าความหนาแน่นก๊าซอะเซทิลีน (} \rho \text{)} = 1.17 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$m_f = 1.17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (7.333 \times 10^{-5}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$m_f = 8.5796 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

23. พลังงานความร้อนที่เข้าในเตาทดสอบ (Q_{in})

จากสมการ กำลังที่เข้าเตาทดสอบ

$$P_{in} = m_f LHV$$

ค่าความร้อนต่ำของก๊าซอะเซทิลีน(LHV) = 56700 kJ/m³

จาก Roderick Fletcher GTZ. , 1984

$$P_{in} = 7.333 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} \cdot 56700 \frac{kJ}{m^3}$$

$$P_{in} = 4.157 \frac{kJ}{s} = 4.157 kW$$

$$\therefore Q_{in} = P_{in} \cdot time_{melt}$$

$$Q_{in} = 4.157 \frac{kJ}{s} \cdot (10 \times 60) s = 2494.2 kJ$$

24. พลังงานที่สูญเสียจากการพาพร้อมกับการนำความร้อน (Q_{loss})

จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการพาพร้อมกับการนำความร้อน

$$P_{loss} = UA_{total} (T_1 - T_{n+1})$$

พื้นที่ผิวนิ่งเตาทดสอบทั้งหมด (A_{total}) = 2.1381 m²

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) = 0.3289 W/m² · K

อุณหภูมิผิวนิ่งเตาด้านนอกสุด (T_{n+1}) = (46 + 273) K

อุณหภูมิด้านในผนังห้องเผาไหม้ (T₁) = (348 + 273) K

$$P_{loss} = 0.3289 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 2.1381 m^2 (621 - 319) K$$

$$P_{loss} = 212.3737 W = 0.2123 kW$$

$$\therefore Q_{loss} = P_{loss} \cdot time_{melt}$$

$$Q_{loss} = 0.2123 \frac{kJ}{s} (10 \times 60) s = 127.42 kJ$$

25. ปริมาตรอากาศที่เข้าเตาทดสอบ

จากสมการ

$$V = vA_{in}$$

ความเร็วอากาศจากพัดลมเป่าอากาศเฉลี่ย (V) = 1.47 m/s

พื้นที่หน้าตัดท่ออากาศเข้าเตาทดสอบ (A_{in}) = 40 mm² = 1.256 × 10⁻³ m²

$$V = 1.47 \frac{m}{s} (1.256 \times 10^{-3}) m^2$$

$$V = 1.8463 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

26. อัตราการไหลมวลของอากาศที่เข้าเตาทดสอบ

จากสมการ

$$m_a = \rho V$$

ความหนาแน่นอากาศที่ความดันคงที่ (ρ) = 1.29 kg/m³

$$m_a = 1.29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (1.8463 \times 10^{-3}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$m_a = 2.3817 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

27. อัตราการไหลมวลของอากาศและก๊าซออกซิเจนที่เข้าเตาทดสอบ

$$m_{a_{total}} = m_a + m_{ox}$$

$$m_{a_{total}} = (2.381 \times 10^{-3}) + (1.111 \times 10^{-5}) \text{ kg/s}$$

$$m_{a_{total}} = 2.392 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

28. พลังงานที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อนไอเสีย ($Q_{\text{fuel-loss}}$)

จากสมการ กำลังที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อนไอเสีย

$$P_{\text{fuel-loss}} \approx (m_f + m_{a_{total}}) c_{p_a} (T_{\text{exh}} - T_{\text{amb}})$$

อัตราการไหลมวลของอากาศที่เข้าเตาทดสอบ ($m_{a_{total}}$) = 2.392×10^{-3} kg/s

อัตราการไหลมวลของก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้ (m_f) = 8.579×10^{-5} kg/s

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่ (C_{p_a}) = 1.423 kJ/kg · K

(จาก โยชิฮิโกะ ทาคามูระ , 2543 หน้า 193)

อุณหภูมิที่ปล่อยไอเสีย (T_{exh}) = (348 + 273) K

อุณหภูมิแวดล้อม (T_{amb}) = (30 + 273) K

$$P_{\text{fuel-loss}} \approx (8.579 \times 10^{-5} + 2.392 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}) 1.423 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (621 - 303) \text{K}$$

$$P_{\text{fuel-loss}} = 1.1212 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 1.1212 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{\text{fuel-loss}} = P_{\text{fuel-loss}} \text{ time}_{\text{melt}}$$

$$Q_{\text{fuel-loss}} = 1.1212 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (10 \times 60) \text{s} = 672.72 \text{ kJ}$$

29. พลังงานที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังเตาด้านนอก (Q_{emission})

จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังเตาด้านนอก

$$P_{\text{emission}} = A_{\text{sur}} \varepsilon_{\text{sur}} \sigma (T_{\text{sur}}^4 - T_{\text{amb}}^4)$$

พื้นที่ผิวผนังด้านนอกเตาทดสอบ (A_{sur}) = 0.6144 m²

$$\begin{aligned}
\text{ค่าสภาพการเปล่งรังสีของพื้นผิววัสดุ} (\epsilon_{sur}) &= 0.39 \\
\text{ค่าคงที่ของสเตฟาน - โบลต์ซมันน์} (\sigma) &= 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \\
\text{อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ} (T_{sur}) &= 46 + 273 \text{ K} \\
\text{อุณหภูมิแวดล้อม} (T_{amb}) &= 30 + 273 \text{ K}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{emission} &= 0.6144 \text{ m}^2 \times 0.39 \times (5.67 \times 10^{-8}) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} (319^4 - 303^4) \text{ K}^4 \\
P_{emission} &= 0.026 \text{ kW} \\
\therefore Q_{emission} &= P_{emission} \cdot \text{time}_{melt} \\
Q_{emission} &= 0.0261 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (10 \times 60) \text{ s} = 15.66 \text{ kJ}
\end{aligned}$$

30. พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อนรวมกับการนำความร้อนผ่านผนังท่อไอเสีย จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการพาความร้อนรวมกับการนำความร้อน

$$P_{loss} = \frac{(T_1 - T_{n+1})}{\sum R}$$

$$\begin{aligned}
\text{อุณหภูมิภายในท่อไอเสีย} (T_1) &= 348 + 273 \text{ K} \\
\text{อุณหภูมิแวดล้อมด้านนอกที่ผิวท่อไอเสีย} (T_{n+1}) &= 127 + 273 \text{ K} \\
\text{ค่าความต้านทานรวมของตัวกลาง} (\sum R) &= 5.105 \text{ K/W}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{loss} &= \frac{(621 - 400) \text{ K} \cdot \text{W}}{5.105 \text{ K}} \\
P_{loss} &= 0.0432 \text{ kW} \\
\therefore Q_{loss} &= P_{loss} \cdot \text{time}_{melt} \\
Q_{loss} &= 0.043 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (10 \times 60) \text{ s} = 25.8 \text{ kJ}
\end{aligned}$$

31. พลังงานสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย จากสมการ กำลังสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย

$$P_{emission} = A_{sur} \epsilon_{sur} \sigma (T_{sur}^4 - T_{amb}^4)$$

$$\text{พื้นที่ผิวท่อไอเสีย} (A_{sur}) = 0.0377 \text{ m}^2$$

$$\text{สภาพการเปล่งรังสีของผิววัสดุ} (\epsilon_{\text{sur}}) = 0.42$$

$$\text{ค่าคงที่ของสเตฟาน - โบลต์ซมันน์} (\sigma) = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

$$\text{อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ} (T_{\text{sur}}) = 127 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อม} (T_{\text{amb}}) = 30 + 273 \text{ K}$$

$$P_{\text{emission}} = 0.0377 \text{ m}^2 \times 0.42 \times (5.67 \times 10^{-8}) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} (400^4 - 303^4) \text{ K}^4$$

$$P_{\text{emission}} = 0.0154 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{\text{emission}} = P_{\text{emission}} \cdot \text{time}_{\text{melt}}$$

$$Q_{\text{emission}} = 0.0154 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \cdot (10 \times 60) \text{ s} = 9.24 \text{ kJ}$$

พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อนผ่านผนังท่อไอเสียและพลังงานสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย จะไม่นำมาคิด พลังงานที่สูญเสียในเตาทดสอบเนื่องจากเป็นทางวิ่งผ่านของก๊าซไอเสียร้อนออกจากห้องเผาไหม้ที่ถือว่าเป็นส่วนภายนอกเตาทดสอบ

32. พลังงานที่ใช้ในเตาทดสอบ (Q_{work})

จากสมการ กำลังที่ใช้ในเตาทดสอบ

$$Q_{\text{work}} = Q_{\text{in}} - (Q_{\text{loss}} + Q_{\text{fuel-gas}} + Q_{\text{emission}})$$

$$\text{พลังงานที่เข้าเตาทดสอบ} (Q_{\text{in}}) = 2494.2 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อน} (Q_{\text{fuel-loss}}) = 672.6 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อน} (Q_{\text{loss}}) = 127.2 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน} (Q_{\text{emission}}) = 15.6 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{work}} = 2494.2 - (127.2 + 672.6 + 15.6) \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{work}} = 1678.8 \text{ kJ}$$

33. ประสิทธิภาพของเตาทดสอบในเชิงการใช้เชื้อเพลิงที่สภาวะคงที่ (Steady state)

จากสมการ

$$\eta_{\text{net}} = \frac{Q_{\text{work}}}{Q_{\text{in}}} \cdot 100\%$$

$$\text{พลังงานที่ใช้ในเตาทดสอบ} (Q_{\text{work}}) = 1678.8 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่เข้าเตาทดสอบ} (Q_{\text{in}}) = 2494.2 \text{ kJ}$$

$$\eta_{net} = \frac{1678.8kJ}{2494.2kJ} \times 100\%$$

$$\eta_{net} = 67.30\%$$

34. เวลาที่ใช้ในการหลอมทางทฤษฎี

จากสมการ

$$time_{theory} = \frac{Q_{crucible} + Q_{chamber} + (Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat})}{P_{work}}$$

พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะ 30 – 236 °C ($Q_{preheat}$)	= 11.84 kJ
พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายโลหะ 236 °C (Q_{melt})	= 14.75 kJ
พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะเหลว 236 - 330 °C ($Q_{superheat}$)	= 6.11 kJ
พลังงานเพิ่มอุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ 30 – 348 °C ($Q_{chamber}$)	= 1551.73 kJ
พลังงานเพิ่มอุณหภูมิเบ้าหลอม 30 – 236 °C ($Q_{crucible}$)	= 108.76 kJ
กำลังที่ใช้ในเตาทดสอบ (P_{work})	= 2.798 kJ/s

$$time_{theory} = \frac{(11.845 + 14.750 + 6.110) + 108.768 + 1551.738kJ \cdot s}{2.798kJ}$$

$$time_{theory} = 605.15s. = 10.08 \text{ min.}$$

35. ประสิทธิภาพเตาทดสอบในเชิงความร้อนทางทฤษฎี (η)

จากสมการ

$$\eta = \frac{Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat}}{Q_{in} \cdot time_{melt}}$$

พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะ 30 – 236 °C ($Q_{preheat}$)	= 11.84 kJ
พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายโลหะ 236 °C (Q_{melt})	= 14.75 kJ
พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะเหลว 236 - 330 °C ($Q_{superheat}$)	= 6.11 kJ
พลังงานที่เข้าเตาทดสอบ (Q_{in})	= 4.157 kJ/s

$$\eta = \frac{(11.84 + 14.75 + 6.11)kJ}{4.157 kJ / s \times 600s} \times 100\%$$

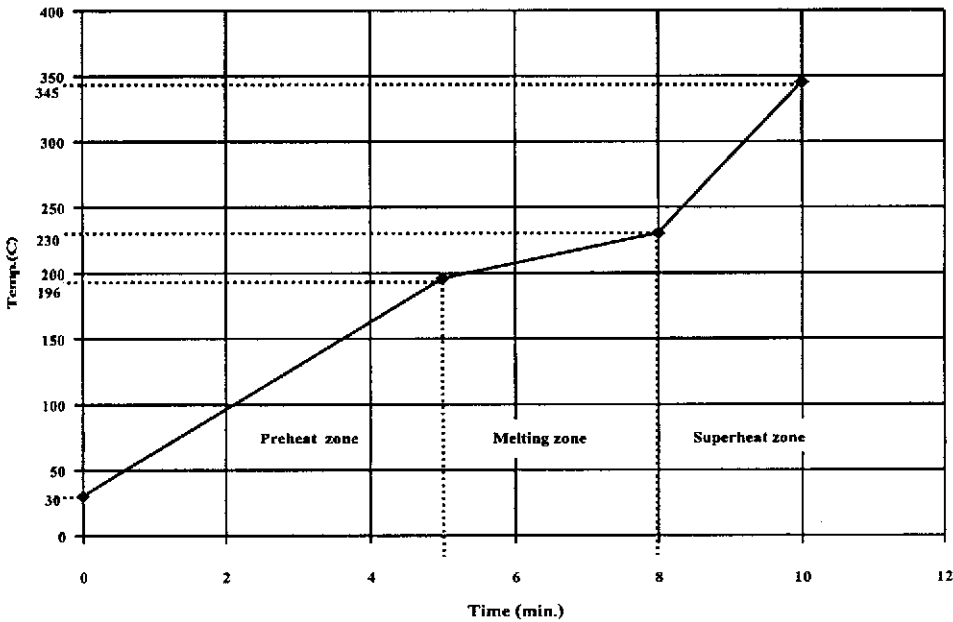
$$\eta = 1.31\%$$

สรุปจากการทดลองหลอมโลหะดีบุกบริสุทธิ์ 99.3% ปริมาณ 250 กรัม

1. พลังงานความร้อนที่เข้าในเตาทดสอบ (Q_{in}) = 2494.2 kJ
2. พลังงานความร้อนที่ใช้ในเตาทดสอบ (Q_{work}) = 1678.8 kJ
3. พลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมโลหะ ($Q_{metal\ melt}$) = 32.705 kJ/250 g
4. เตาทดสอบมีประสิทธิภาพในเชิงการใช้เชื้อเพลิง = 67.30%
5. เตาทดสอบมีประสิทธิภาพทางทฤษฎี = 1.31%

2. การคำนวณทดสอบหลอมโลหะครั้งที่ 2

1. ชนิดโลหะที่ทดสอบ ตะกั่วผสมดีบุก
2. น้ำหนักก่อนการหลอม 250 g
3. ส่วนผสมโลหะที่ทดสอบ ตะกั่ว 60 % ดีบุก 40% (Lead solder)
4. หัวเผาที่ใช้แบบที่ 1
5. อุณหภูมิเริ่มหลอมละลาย 196°C
6. อุณหภูมิเทออกน้ำโลหะ 345°C
7. น้ำหนักโลหะหลังการหลอม 250 g
8. เวลาที่ใช้ในการหลอม 10 min.
9. พลังงานในการหลอมโลหะ ($Q_{\text{metal melt}}$)



9.1 พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจาก $30 - 196^{\circ}\text{C}$ (Q_{preheat})

จากสมการ

$$Q_{\text{preheat}} = c_{p \text{ solid}} m (T_m - T_{\text{amb}})$$

ค่าความร้อนจำเพาะของโลหะตะกั่วผสมดีบุก ($c_{p \text{ solid}}$)

(จาก Metal hand book , 1996) = 0.186 kJ/kg . K

มวลของโลหะ (m) = 250 g

อุณหภูมิโลหะก่อนการหลอม (T_{amb}) = 30 + 273 K

อุณหภูมิโลหะถึงจุดหลอมละลาย (T_m) = 196 + 273 K

$$Q_{preheat} = 0.186 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times \frac{250}{1000} kg (469 - 303) K$$

$$Q_{preheat} = 7.719 kJ$$

9.2 พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายที่อุณหภูมิ 196 - 230 °C (Q_{melt})

จากสมการ

$$Q_{melt} = mL$$

ค่าความร้อนแฝงหลอมเหลวของโลหะตะกั่วผสมดีบุก (L) = 42 kJ/kg

(จาก Metal hand book , 1996)

$$Q_{melt} = \frac{250}{1000} kg \times 42 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{melt} = 10.50 kJ$$

9.3 พลังงานในการทำให้โลหะหลอมมีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 230 - 345 °C ($Q_{superheat}$)

จากสมการ

$$Q_{superheat} = c_{liquid} m (T_{superheat} - T_m)$$

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของโลหะตะกั่วผสมดีบุกเหลว

(จาก Metal hand book , 1996) ($C_{p liquid}$) = 0.199 kJ/kg . K

อุณหภูมิโลหะที่จุดหลอมละลาย (T_m) = 230 + 273 K

อุณหภูมิโลหะที่จุดเทน้ำโลหะ ($T_{superheat}$) = 345 + 273 K

$$Q_{superheat} = 0.199 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times \frac{250}{1000} kg (618 - 503) K$$

$$Q_{superheat} = 5.721 kJ$$

9.4 พลังงานที่ใช้ในการหลอมโลหะ ($Q_{metal melt}$)

จากสมการ

$$Q_{metal melt} = Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat}$$

$$Q_{metal melt} = (7.719 + 10.50 + 5.721) kJ$$

$$Q_{metal melt} = 23.940 kJ / 250 g$$

10. พลังงานที่ทำให้ผนังห้องเผาไหม้เพิ่มอุณหภูมิจาก 30 - 356 °C ($Q_{chamber}$)

จากสมการ

$$Q_{chamber} = m_{chamber} c_p (T_m - T_{amb})$$

มวลผนังห้องเผาไหม้ ($m_{chamber}$) = 5.304 kg

ค่าความจุความร้อนจำเพาะวัสดุผนังห้องเผาไหม้

$$\text{Thermal Ceramic 85P } (C_p) = 0.92 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อมผนังห้องเผาไหม้เริ่มต้น } (T_{amb}) = 30 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ถึงจุดหลอมละลาย } (T_m) = 356 + 273 \text{ K}$$

$$Q_{chamber} = 5.304 \text{ kg} \times 0.92 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (629 - 303) \text{ K}$$

$$Q_{chamber} = 1590.7756 \text{ kJ}$$

11. พลังงานที่ทำให้เข้าหลอมเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 – 196 °C ($Q_{crucible}$)

จากสมการ

$$Q_{crucible} = m_{crucible} c_p (T_m - T_{amb})$$

$$\text{มวลเข้าหลอม } (m_{crucible}) = 0.55 \text{ kg}$$

$$\text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะเข้าหลอมวัสดุ Alumina } (C_p) = 0.96 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อมผนังห้องเผาไหม้เริ่มต้น } (T_{amb}) = 30 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ถึงจุดหลอมละลาย } (T_m) = 196 + 273 \text{ K}$$

$$Q_{crucible} = 0.55 \text{ kg} \times 0.96 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (469 - 303) \text{ K}$$

$$Q_{crucible} = 87.648 \text{ kJ}$$

12. ปริมาตรการใช้ก๊าซออกซิเจนที่ความดันบรรยากาศ (1bar)

จากสมการ

$$\Delta V_{ox} = \frac{V_{vessel} (P_1 - P_2)}{P_{amb}}$$

$$\text{ปริมาตรถังบรรจุก๊าซ } (V_{vessel}) = 40 \text{ l}$$

$$\text{ความดันตั้งก๊าซก่อนใช้งาน } (P_1) = 13.35 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันตั้งก๊าซหลังใช้งาน } (P_2) = 12.89 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{ox} = \frac{40 \text{ l} (13.35 - 12.89) \text{ bar}}{1 \text{ bar}}$$

$$\Delta V_{ox} = 18.4 \text{ l}$$

13. อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน

$$18.4 \text{ l} / 1800 \text{ s} = 1.0222 \times 10^{-2} \text{ l} / \text{s} = 1.022 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}$$

14. อัตราการไหลมวลของก๊าซออกซิเจนที่เข้าในเตาทดสอบ

จากสมการ

$$m_{ox} = \rho \Delta V_{ox}$$

$$\text{ความหนาแน่นของก๊าซออกซิเจน } (\rho) = 1.43 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน } (\Delta V_{ox}) = 1.022 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$m_{ox} = 1.43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (1.022 \times 10^{-5}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$m_{ox} = 1.461 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

15. ค่าใช้จ่ายก๊าซออกซิเจน ปริมาตรบรรจุ 6000 ลิตร ราคาถังละ 120 บาท

$$0.02 \text{ Baht} / \ell \times 18.4 \ell = 0.36 \text{ Baht}$$

16. ปริมาตรการใช้ก๊าซอะเซทิลีน

จากสมการ

$$\Delta V_{fuel} = \frac{V_f}{P_{max}} (P_1 - P_2)$$

$$\text{ปริมาตรก๊าซเต็มถัง } (V_f) = 3000 \ell$$

$$\text{ความดันสูงสุดถึงก๊าซ } (P_{max}) = 15 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถึงก๊าซก่อนใช้งาน } (P_1) = 12.44 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถึงก๊าซหลังใช้งาน } (P_2) = 11.73 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{fuel} = \frac{3000 \ell}{15 \text{ bar}} (12.44 - 11.73) \text{ bar}$$

$$\Delta V_{fuel} = 142 \ell$$

17. อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีน

$$142 \ell / 1800 \text{ s} = 7.888 \times 10^{-2} \ell / \text{s}$$

18. ค่าใช้จ่ายก๊าซอะเซทิลีน ปริมาตรบรรจุ 3000 ลิตร ราคาถังละ 630 บาท

$$0.21 \text{ Baht} / \ell \times 142 \ell = 29.82 \text{ Baht}$$

19. ปริมาตรการใช้ก๊าซอาร์กอนที่ความดันบรรยากาศ (1 bar)

จากสมการ

$$\Delta V_{ar} = \frac{V_{vessel}(P_1 - P_2)}{P_{amb}}$$

ปริมาตรถังบรรจุก๊าซ (V_{vessel})	= 40 ℓ
ความดันถังก๊าซก่อนใช้งาน (P_1)	= 141.5 bar
ความดันถังก๊าซหลังใช้งาน (P_2)	= 140.9 bar

$$\Delta V_{ar} = \frac{40\ell(141.5 - 140.9)\text{bar}}{1\text{bar}}$$

$$\Delta V_{ar} = 24\ell$$

20. อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน

$$24\ell / 600s = 4.0 \times 10^{-2} \ell / s$$

21. ค่าใช้จ่ายก๊าซอาร์กอน ปริมาตรบรรจุ 6000 ลิตร ราคาถังละ 3000 บาท

$$0.50\text{Baht} / \ell \times 24\ell = 12\text{Baht}$$

22. อัตราการไหลมวลของก๊าซอะเซทิลีนที่ใช้

จากสมการ

$$m_f = \rho \Delta V_{fuel}$$

อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนที่ใช้ (ΔV_{fuel})	= $7.888 \times 10^{-2} \ell / s$
	= $7.888 \times 10^{-5} m^3 / s$

ค่าความหนาแน่นก๊าซอะเซทิลีน(ρ)	= $1.17 \text{ kg} / m^3$
---------------------------------------	---------------------------

$$m_f = 1.17 \frac{\text{kg}}{m^3} (7.888 \times 10^{-5}) \frac{m^3}{s}$$

$$m_f = 9.2289 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{s}$$

23. พลังงานความร้อนที่เข้าในเตาทดสอบ (Q_{in})

จากสมการ กำลังที่เข้าเตาทดสอบ

$$P_{in} = m_f LHV$$

ค่าความร้อนต่ำของก๊าซอะเซทิลีน(LHV)	= $56700 \text{ kJ} / m^3$
-------------------------------------	----------------------------

จาก Roderick Fletcher GTZ., 1984

$$P_{in} = 7.888 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} \times 56700 \frac{\text{kJ}}{m^3}$$

$$P_{in} = 4.472 \frac{\text{kJ}}{s} = 4.472 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{in} = P_{in} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{in} = 4.472 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \times (10 \times 60) \text{s} = 2683.2 \text{kJ}$$

24. พลังงานที่สูญเสียจากการพาร่วมกับการนำความร้อน (Q_{loss})

จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการพาร่วมกับการนำความร้อน

$$P_{loss} = UA_{total}(T_1 - T_{n+1})$$

$$\text{พื้นที่ผนังเตาทดสอบทั้งหมด (A}_{total}\text{)} = 2.1381 \text{ m}^2$$

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)} = 0.3289 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{อุณหภูมิผนังเตาด้านนอกสุด (T}_{n+1}\text{)} = (45 + 273) \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิด้านในผนังห้องเผาไหม้ (T}_1\text{)} = (356 + 273) \text{ K}$$

$$P_{loss} = 0.3289 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \times 2.1381 \text{m}^2 (629 - 318) \text{K}$$

$$P_{loss} = 218.7027 \text{W} = 0.2187 \text{kW}$$

$$\therefore Q_{loss} = P_{loss} \cdot \text{time}_{melt}$$

$$Q_{loss} = 0.2187 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (10 \times 60) \text{s} = 131.2 \text{kJ}$$

25. ปริมาตรอากาศที่เข้าเตาทดสอบ

จากสมการ

$$V = vA_{in}$$

$$\text{ความเร็วอากาศจากพัดลมเป่าอากาศเฉื่อย (V)} = 1.47 \text{ m/s}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดท่ออากาศเข้าเตาทดสอบ (A}_{in}\text{)} = 40 \text{ mm}^2 = 1.256 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = 1.47 \frac{\text{m}}{\text{s}} (1.256 \times 10^{-3}) \text{m}^2$$

$$V = 1.8463 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

26. อัตราการไหลมวลของอากาศที่เข้าเตาทดสอบ

จากสมการ

$$m_a = \rho V$$

$$\text{ความหนาแน่นอากาศที่ความดันคงที่ (\rho)} = 1.29 \text{ kg/m}^3$$

$$m_a = 1.29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (1.8463 \times 10^{-3}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$m_a = 2.3817 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

27. อัตราการไหลมวลของอากาศและก๊าซออกซิเจนที่เข้าเตาทดสอบ

$$m_{a_{total}} = m_a + m_{ox}$$

$$m_{a_{total}} = 2.381 \times 10^{-3} + 1.461 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

$$m_{a_{total}} = 2.395 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

28. พลังงานที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อนไอเสีย ($Q_{fuel-loss}$)

จากสมการ กำลังที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อน ไอเสีย

$$P_{fuel-loss} \approx (m_f + m_{a_{total}}) c_{p_a} (T_{exh} - T_{amb})$$

$$\text{มวลของอากาศที่เข้าเตาทดสอบ } (m_{a_{total}}) = 2.395 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$\text{มวลของก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้ } (m_f) = 9.2289 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

$$\text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่ } (C_{p_a}) = 1.423 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

(จาก โยชิอิโกะ ทาคามุระ , 2543 หน้า 193)

$$\text{อุณหภูมิที่ปล่องไอเสีย } (T_{exh}) = (356 + 273) \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อม } (T_{amb}) = (30 + 273) \text{ K}$$

$$P_{fuel-loss} \approx \left(9.2289 \times 10^{-5} + 2.395 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) 1.423 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (629 - 303) \text{K}$$

$$P_{fuel-loss} = 1.1538 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 1.1538 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{fuel-loss} = P_{fuel-loss} \cdot \text{time}_{melt}$$

$$Q_{fuel-loss} = 1.153 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (10 \times 60) \text{s} = 692.2 \text{ kJ}$$

29. พลังงานที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังเตาด้านนอก ($P_{emission}$)

จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังเตาด้านนอก

$$P_{emission} = A_{sur} \epsilon_{sur} \sigma (T_{sur}^4 - T_{amb}^4)$$

$$\text{พื้นที่ผิวผนังด้านนอกเตาทดสอบ } (A_{sur}) = 0.6144 \text{ m}^2$$

$$\text{ค่าสภาพการเปล่งรังสีของพื้นผิววัสดุ } (\epsilon_{sur}) = 0.39$$

$$\text{ค่าคงที่ของสเตฟาน - โบลต์ซมันน์ } (\sigma) = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

$$\text{อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ } (T_{sur}) = 45 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อม } (T_{amb}) = 30 + 273 \text{ K}$$

$$P_{emission} = 0.6144 \text{ m}^2 \times 0.39 \times (5.67 \times 10^{-8}) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} (318^4 - 303^4) \text{K}^4$$

$$P_{emission} = 0.0244 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{emission} = P_{emission} \cdot \text{time}_{melt}$$

$$Q_{emission} = 0.024 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (10 \times 60) \text{s} = 14.64 \text{ kJ}$$

30. พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อนผ่านผนังท่อไอเสีย จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อน

$$P_{loss} = \frac{(T_1 - T_{n+1})}{\sum R}$$

$$\text{อุณหภูมิภายในท่อไอเสีย } (T_1) = 356 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อมด้านนอกที่ผิวท่อไอเสีย } (T_{n+1}) = 124 + 273 \text{ K}$$

$$\text{ค่าความต้านทานรวมของตัวกลาง } (\sum R) = 5.105 \text{ K/W}$$

$$P_{loss} = \frac{(629 - 397) \text{ K} \cdot \text{W}}{5.105 \text{ K}}$$

$$P_{loss} = 0.0454 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{loss} = P_{loss} \cdot \text{time}_{\text{melt}}$$

$$Q_{loss} = 0.045 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (10 \times 60) \text{ s} = 27.24 \text{ kJ}$$

31. พลังงานสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย จากสมการ กำลังสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย

$$P_{\text{emission}} = A_{\text{sur}} \varepsilon_{\text{sur}} \sigma (T_{\text{sur}}^4 - T_{\text{amb}}^4)$$

$$\text{พื้นที่ผิวท่อไอเสีย } (A_{\text{sur}}) = 0.0377 \text{ m}^2$$

$$\text{สภาพการเปล่งรังสีของผิววัสดุ } (\varepsilon_{\text{sur}}) = 0.42$$

$$\text{ค่าคงที่ของสเตฟาน - โบลต์ซมันน์ } (\sigma) = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

$$\text{อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ } (T_{\text{sur}}) = 124 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อม } (T_{\text{amb}}) = 30 + 273 \text{ K}$$

$$P_{\text{emission}} = 0.0377 \text{ m}^2 \times 0.42 (5.67 \times 10^{-8}) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} (397^4 - 303^4) \text{ K}^4$$

$$P_{\text{emission}} = 0.0147 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{\text{emission}} = P_{\text{emission}} \cdot \text{time}_{\text{melt}}$$

$$Q_{\text{emission}} = 0.014 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (10 \times 60) \text{ s} = 8.82 \text{ kJ}$$

พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อนผ่านผนังท่อไอเสีย และพลังงานสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย จะไม่นำมาคิดพลังงานที่สูญเสียในเตาทดสอบเนื่องจากเป็นทางวิ่งผ่านของก๊าซไอเสียร้อนออกจากห้องเผาไหม้ที่ถือว่าเป็นส่วนภายนอกเตาทดสอบ

32. พลังงานที่ใช้ในเตาทดสอบ (Q_{work})

จากสมการ

$$Q_{work} = Q_{in} - (Q_{loss} + Q_{fuel-loss} + Q_{emission})$$

$$\text{พลังงานที่เข้าเตาทดสอบ } (Q_{in}) = 2683.2 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อน } (Q_{fuel-loss}) = 692.2 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่สูญเสียจากการพาาร่วมกับการนำความร้อน } (Q_{loss}) = 131.2 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน } (Q_{emission}) = 14.6 \text{ kJ}$$

$$Q_{work} = 2683.2 - (131.2 + 692.2 + 14.6) \text{ kJ}$$

$$Q_{work} = 1845.2 \text{ kJ}$$

33. ประสิทธิภาพของเตาทดสอบในเชิงการใช้เชื้อเพลิงที่สภาวะคงที่ (Steady state)

จากสมการ

$$\eta_{net} = \frac{Q_{work}}{Q_{in}} \cdot 100\%$$

$$\text{พลังงานที่ใช้ในเตาทดสอบ } (Q_{work}) = 1846.2 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่เข้าเตาทดสอบ } (Q_{in}) = 2683.2 \text{ kJ}$$

$$\eta_{net} = \frac{1846.2 \text{ kJ}}{2683.2 \text{ kJ}} \cdot 100\%$$

$$\eta_{net} = 68.80\%$$

34. เวลาที่ใช้ในการหลอมทางทฤษฎี

จากสมการ

$$time_{theory} = \frac{(Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat}) + Q_{crucible} + Q_{chamber}}{P_{work}}$$

$$\text{พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะ } 30 - 196^\circ \text{C } (Q_{preheat}) = 7.719 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายโลหะ } 196 - 230^\circ \text{C } (Q_{melt}) = 10.50 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะเหลว } 230 - 345^\circ \text{C } (Q_{superheat}) = 5.72 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานเพิ่มอุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ } 30 - 348^\circ \text{C } (Q_{chamber}) = 1590.77 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานเพิ่มอุณหภูมิเบ้าหลอม } 30 - 236^\circ \text{C } (Q_{crucible}) = 87.64 \text{ kJ}$$

$$\text{กำลังที่ใช้ในเตาทดสอบ } (P_{work}) = 3.077 \text{ kJ/s}$$

$$time_{theory} = \frac{(7.719 + 10.50 + 5.721) + 87.648 + 1590.775 kJ}{3.077 kJ/s}$$

$$time_{theory} = 553.25 s = 9.22 \text{ min.}$$

35. ประสิทธิภาพเตาทดสอบในเชิงความร้อนทางทฤษฎี (η)

จากสมการ

$$\eta = \frac{Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat}}{P_{in} \cdot time_{melt}} \times 100\%$$

พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะ 30 – 196 °C ($Q_{preheat}$) = 7.719 kJ

พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายโลหะ 196 - 230 °C (Q_{melt}) = 10.50 kJ

พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะเหลว 230 - 345 °C ($Q_{superheat}$) = 5.721 kJ

กำลังที่เข้าเตาทดสอบ (P_{in}) = 4.472 kJ/s

$$\eta = \frac{(7.719 + 10.50 + 5.721) kJ}{4.472 kJ/s \times 600s} \times 100\%$$

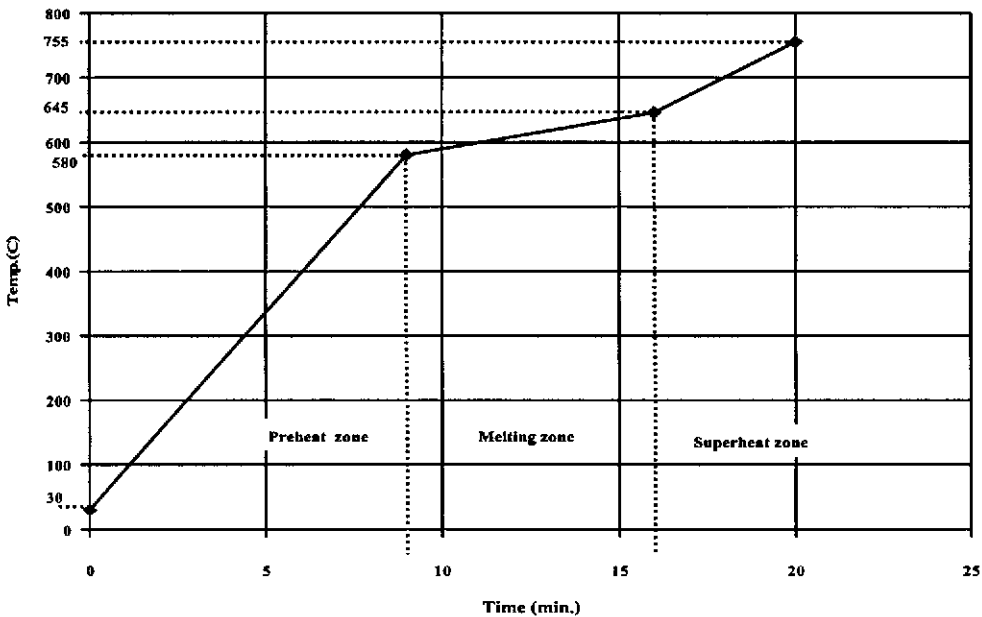
$$\eta = 0.89\%$$

สรุปจากการทดลองหลอมโลหะตะกั่วผสมดีบุก 40 % ในปริมาณ 250 กรัม

1. พลังงานความร้อนที่เข้าในเตาทดสอบ (Q_{in}) = 2683.2 kJ
2. พลังงานความร้อนที่ใช้ในเตาทดสอบ (Q_{work}) = 1845.2 kJ
3. พลังงานที่ใช้ในการหลอมโลหะ ($Q_{metal\ melt}$) = 23.94 kJ/250 g
4. เตาทดสอบมีประสิทธิภาพในเชิงการใช้เชื้อเพลิง = 68.80%
5. เตาทดสอบมีประสิทธิภาพทางทฤษฎี = 0.89%

3. การคำนวณทดสอบหลอมโลหะครั้งที่ 3

1. ชนิดโลหะที่ทดสอบ อะลูมิเนียมผสม (Aluminum Ingot)
2. น้ำหนักก่อนการหลอม 250 g
3. ส่วนผสมโลหะที่ทดสอบ อะลูมิเนียม 89% – ซิลิกอน 11%
4. หัวเผาที่ใช้แบบที่ 1
5. อุณหภูมิเริ่มหลอมละลาย 580 °C
6. อุณหภูมิเทออกน้ำโลหะ 755 °C
7. น้ำหนักโลหะหลังการหลอม 248.9 g
8. เวลาที่ใช้ในการหลอม 20 min.
9. พลังงานในการหลอมโลหะ ($Q_{\text{metal melt}}$)



9.1 พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 – 580 °C (Q_{preheat})

จากสมการ

$$Q_{\text{preheat}} = c_{p \text{ solid}} \cdot m(T_m - T_{\text{amb}})$$

ค่าความร้อนจำเพาะของโลหะอะลูมิเนียม – ซิลิกอน ($c_{p \text{ solid}}$)

(จาก Metal hand book , 1996) = 0.864 kJ/kg . K

มวลของโลหะ (m) = 250 g

อุณหภูมิโลหะก่อนการหลอม (T_{amb}) = 30 + 273 K

อุณหภูมิโลหะถึงจุดหลอมละลาย (T_m) = 580 + 273 K

$$Q_{preheat} = 0.864 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times \frac{250}{1000} kg (853 - 303) K$$

$$Q_{preheat} = 118.80 kJ$$

9.2 พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายที่อุณหภูมิ 580 - 645 °C (Q_{melt})

จากสมการ

$$Q_{melt} = m \cdot L$$

ค่าความร้อนแฝงหลอมเหลวของโลหะอะลูมิเนียม - ซิลิคอน

(จาก Metal hand book , 1996) (L) = 356 kJ/kg

$$Q_{melt} = \frac{250}{1000} kg \times 356 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{melt} = 89 kJ$$

9.3 พลังงานในการทำให้โลหะหลอมมีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 645 - 755 °C ($Q_{superheat}$)

จากสมการ

$$Q_{superheat} = c_{P liquid} \cdot m (T_{superheat} - T_m)$$

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของโลหะอะลูมิเนียม - ซิลิคอน

(จาก Metal hand book , 1996) ($C_{P liquid}$) = 1.06 kJ/kg · K

อุณหภูมิโลหะที่จุดหลอมละลาย (T_m) = 645 + 273 K

อุณหภูมิโลหะที่จุดเทน้ำโลหะ ($T_{superheat}$) = 755 + 273 K

$$Q_{superheat} = 1.06 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times \frac{250}{1000} kg (1028 - 918) K$$

$$Q_{superheat} = 29.150 kJ$$

9.4 พลังงานที่ใช้ในการหลอมโลหะ ($Q_{metal melt}$)

จากสมการ

$$Q_{metal melt} = Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat}$$

$$Q_{metal melt} = (118.80 + 89 + 29.150) kJ$$

$$Q_{metal melt} = 236.950 kJ / 250 g$$

10. พลังงานที่ทำให้ผนังห้องเผาไหม้เพิ่มอุณหภูมิจาก 30 - 580 °C ($Q_{chamber}$)

จากสมการ

$$Q_{chamber} = m_{chamber} c_p (T_m - T_{amb})$$

มวลผนังห้องเผาไหม้ ($m_{chamber}$) = 5.304 kg

ค่าความจุความร้อนจำเพาะวัสดุผนังห้องเผาไหม้

$$\text{Thermal Ceramic 85P } (C_p) = 0.92 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อมผนังห้องเผาไหม้เริ่มต้น } (T_{amb}) = 30 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ถึงจุดหลอมละลาย } (T_m) = 786 + 273 \text{ K}$$

$$Q_{chamber} = 5.304 \text{ kg} \times 0.92 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (1059 - 303) \text{ K}$$

$$Q_{chamber} = 3689.038 \text{ kJ}$$

11. พลังงานที่ทำให้เบ้าหลอมเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 – 580 °C ($Q_{crucible}$)

จากสมการ

$$Q_{crucible} = m_{crucible} \cdot c_p (T_m - T_{amb})$$

$$\text{มวลเบ้าหลอม } (m_{crucible}) = 0.55 \text{ kg}$$

$$\text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะเบ้าหลอมวัสดุ Alumina } (C_p) = 0.96 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อมผนังห้องเผาไหม้เริ่มต้น } (T_{amb}) = 30 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ถึงจุดหลอมละลาย } (T_m) = 580 + 273 \text{ K}$$

$$Q_{crucible} = 0.55 \text{ kg} \times 0.96 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (853 - 303) \text{ K}$$

$$Q_{crucible} = 290.40 \text{ kJ}$$

12. ปริมาณการใช้ก๊าซออกซิเจนที่ความดันบรรยากาศ (1bar)

จากสมการ

$$\Delta V_{ox} = \frac{V_{vessel} (P_1 - P_2)}{P_{amb}}$$

$$\text{ปริมาตรถังบรรจุก๊าซ } (V_{vessel}) = 40 \text{ } \ell$$

$$\text{ความดันถังก๊าซก่อนใช้งาน } (P_1) = 12.89 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถังก๊าซหลังใช้งาน } (P_2) = 11.99 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{ox} = \frac{40 \ell (12.89 - 11.99) \text{ bar}}{1 \text{ bar}}$$

$$\Delta V_{ox} = 36 \ell$$

13. อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน

$$36 \ell / 3000 \text{ s} = 1.20 \times 10^{-2} \ell / \text{s} = 1.2 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}$$

14. อัตราการไหลมวลของก๊าซออกซิเจนที่เข้าในเตาทดสอบ

จากสมการ

$$m_{ox} = \rho \Delta V_{ox}$$

$$\text{ความหนาแน่นของก๊าซออกซิเจน } (\rho) = 1.43 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน } (\Delta V_{ox}) = 1.20 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$m_{0,ox} = 1.43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (1.20 \times 10^{-5}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$m_{ox} = 1.716 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

15. ค่าใช้จ่ายก๊าซออกซิเจน ปริมาตรบรรจุ 6000 ลิตร ราคาถังละ 120 บาท

$$0.02 \text{ Baht} / \ell \times 36 \ell = 0.72 \text{ Baht}$$

16. ปริมาตรการใช้ก๊าซอะเซทิลีน

จากสมการ

$$\Delta V_{fuel} = \frac{V_f}{P_{max}} (P_1 - P_2)$$

$$\text{ปริมาตรก๊าซเต็มถัง } (V_f) = 3000 \ell$$

$$\text{ความดันสูงสุดถังก๊าซ } (P_{max}) = 15 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถังก๊าซก่อนใช้งาน } (P_1) = 11.73 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถังก๊าซหลังใช้งาน } (P_2) = 9.83 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{fuel} = \frac{3000 \ell}{15 \text{ bar}} (11.73 - 9.83) \text{ bar}$$

$$\Delta V_{fuel} = 380 \ell$$

17. อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีน

$$380 \ell / 3000 \text{ s} = 0.1266 \ell / \text{s}$$

18. ค่าใช้จ่ายก๊าซอะเซทิลีน ปริมาตรบรรจุ 3000 ลิตร ราคาถังละ 630 บาท

$$0.21 \text{ Baht} / \ell \times 380 \ell = 79.80 \text{ Baht}$$

19. ปริมาตรการใช้ก๊าซอาร์กอนที่ความดันบรรยากาศ (1 bar)

จากสมการ

$$\Delta V_{ar} = \frac{V_{vessel}(P_1 - P_2)}{P_{amb}}$$

ปริมาตรถังบรรจุก๊าซ (V_{vessel})	= 40 ℓ
ความดันถังก๊าซก่อนใช้งาน (P_1)	= 140.9 bar
ความดันถังก๊าซหลังใช้งาน (P_2)	= 139.8 bar

$$\Delta V_{ar} = \frac{40\ell(140.9 - 139.8)\text{bar}}{1\text{bar}}$$

$$\Delta V_{ar} = 44\ell$$

20. อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน

$$44\ell / 1200\text{s} = 3.66 \times 10^{-2} \ell / \text{s}$$

21. ค่าใช้จ่ายก๊าซอาร์กอน ปริมาตรบรรจุ 6000 ลิตร ราคาถังละ 3000 บาท

$$0.50\text{Baht} / \ell \times 44\ell = 22\text{Baht}$$

22. อัตราการไหลมวลของก๊าซอะเซทิลีนที่ใช้

จากสมการ

$$m_f = \rho \Delta V_{fuel}$$

อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนที่ใช้ (ΔV_{fuel})	= 0.1266 ℓ / s
	= $1.2666 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$

ค่าความหนาแน่นก๊าซอะเซทิลีน (ρ)	= 1.17 kg / m^3
--	---------------------------------

$$m_f = 1.17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (1.2666 \times 10^{-4}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$m_f = 1.482 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

23. พลังงานความร้อนที่เข้าในเตาทดสอบ (Q_{in})

จากสมการ กำลังที่เข้าในเตาทดสอบ

$$P_{in} = m_f LHV$$

ค่าความร้อนต่ำของก๊าซอะเซทิลีน (LHV)	= 56700 kJ / m^3
--------------------------------------	----------------------------------

(จาก Roderick Fletcher GTZ., 1984)

$$P_{in} = 1.2666 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} \times 56700 \frac{kJ}{m^3}$$

$$P_{in} = 7.1816 \frac{kJ}{s} = 7.1816 kW$$

$$\therefore Q_{in} = P_{in} \cdot time_{melt}$$

$$Q_{in} = 7.1816 \frac{kJ}{s} (20 \times 60)s = 8617.92 kJ$$

24. พลังงานที่สูญเสียจากการพาพร้อมกับการนำความร้อน (Q_{loss})
จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการพาพร้อมกับการนำความร้อน

$$P_{loss} = UA_{total}(T_1 - T_{n+1})$$

$$\text{พื้นที่ผิวนิ่งเตาทดสอบทั้งหมด (A}_{total}\text{)} = 2.1381 m^2$$

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)} = 0.3289 W/m^2 \cdot K$$

$$\text{อุณหภูมิผิวนิ่งเตาด้านนอกสุด (T}_{n+1}\text{)} = (89 + 273) K$$

$$\text{อุณหภูมิด้านในผนังห้องเผาไหม้ (T}_1\text{)} = (792 + 273) K$$

$$P_{loss} = 0.3289 \frac{W}{m^2 \cdot K} \times 2.1381 m^2 (1065 - 362) K$$

$$P_{loss} = 494.364 W = 0.4943 kW$$

$$\therefore Q_{loss} = P_{loss} \cdot time_{melt}$$

$$Q_{loss} = 0.494 \frac{kJ}{s} (20 \times 60)s = 593.16 kJ$$

25. ปริมาตรอากาศที่เข้าเตาทดสอบ (V)

จากสมการ

$$V = vA_{in}$$

$$\text{ความเร็วอากาศจากพัดลมเป่าอากาศเฉลี่ย (v)} = 1.47 m/s$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดท่ออากาศเข้าเตาทดสอบ (A}_{in}\text{)} = 40 mm^2 = 1.256 \times 10^{-3} m^2$$

$$V = 1.47 \frac{m}{s} (1.256 \times 10^{-3}) m^2$$

$$V = 1.8463 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

26. อัตราการไหลมวลของอากาศที่เข้าเตาทดสอบ (m_a)

จากสมการ

$$m_a = \rho V$$

$$\text{ความหนาแน่นอากาศที่ความดันคงที่} (\rho) = 1.29 \text{ kg/m}^3$$

$$m_a = 1.29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (1.8463 \times 10^{-3}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$m_a = 2.3817 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

27. อัตราการไหลมวลของอากาศและก๊าซออกซิเจนที่เข้าเตาทดสอบ ($m_{a_{total}}$)

$$m_{a_{total}} = m_a + m_{ox}$$

$$m_{a_{total}} = (2.381 \times 10^{-3}) + (1.716 \times 10^{-5}) \text{ kg/s}$$

$$m_{a_{total}} = 2.398 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

28. พลังงานที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อนไอเสีย ($Q_{\text{fuel-loss}}$)

จากสมการ กำลังที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อนไอเสีย

$$P_{\text{fuel-loss}} \approx (m_f + m_{a_{total}}) c_{p_o} (T_{\text{exh}} - T_{\text{amb}})$$

$$\text{อัตราการไหลมวลของอากาศที่เข้าเตาทดสอบ} (m_{a_{total}}) = 2.398 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$\text{อัตราการไหลมวลของก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้} (m_f) = 1.482 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

$$\text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่} (C_{p_o}) = 1.423 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

(จาก โยชิฮิโกะ ทาคามุระ, 2543 หน้า 193)

$$\text{อุณหภูมิที่ปล่องไอเสีย} (T_{\text{exh}}) = (786 + 273) \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อม} (T_{\text{amb}}) = (30 + 273) \text{ K}$$

$$P_{\text{fuel-loss}} \approx (1.482 \times 10^{-4} + 2.398 \times 10^{-3}) \frac{\text{kg}}{\text{s}} (1.423 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}) (1059 - 303) \text{ K}$$

$$P_{\text{fuel-loss}} = 2.7391 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 2.7391 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{\text{fuel-loss}} = P_{\text{fuel-loss}} \cdot \text{time}_{\text{melt}}$$

$$Q_{\text{fuel-loss}} = 2.739 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (20 \times 60) \text{ s} = 3286.8 \text{ kJ}$$

29. พลังงานที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังเตาด้านนอก (Q_{emission})

จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังเตาด้านนอก

$$P_{\text{emission}} = A_{\text{sur}} \epsilon_{\text{sur}} \sigma (T_{\text{sur}}^4 - T_{\text{amb}}^4)$$

$$\text{พื้นที่ผิวผนังด้านนอกเตาทดสอบ} (A_{\text{sur}}) = 0.6144 \text{ m}^2$$

$$\text{ค่าสภาพการเปล่งรังสีของพื้นผิววัสดุ} (\epsilon_{\text{sur}}) = 0.39$$

$$\text{ค่าคงที่ของสเตฟาน - โบลต์ซมันน์} (\sigma) = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

$$\text{อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ} (T_{\text{sur}}) = 89 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อม} (T_{\text{amb}}) = 30 + 273 \text{ K}$$

$$P_{\text{emission}} = 0.6144 \text{ m}^2 \times 0.39 \times (5.67 \times 10^{-8}) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} (362^4 - 303^4) \text{ K}^4$$

$$P_{\text{emission}} = 0.1187 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{\text{emission}} = P_{\text{emission}} \cdot \text{time}_{\text{melt}}$$

$$Q_{\text{emission}} = 0.118 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (20 \times 60) \text{ s} = 141.6 \text{ kJ}$$

30. พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อนผ่านผนังท่อไอเสียจากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อน

$$P_{\text{loss}} = \frac{(T_1 - T_{n+1})}{\Sigma R}$$

$$\text{อุณหภูมิภายในท่อไอเสีย } (T_1) = 786 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อมด้านนอกที่ผิวท่อไอเสีย } (T_{n+1}) = 398 + 273 \text{ K}$$

$$\text{ค่าความต้านทานรวมของตัวกลาง } (\Sigma R) = 5.105 \text{ K/W}$$

$$P_{\text{loss}} = \frac{(1059 - 671) \text{ K} \cdot \text{W}}{5.105 \text{ K}}$$

$$P_{\text{loss}} = 0.0760 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{\text{loss}} = P_{\text{loss}} \cdot \text{time}_{\text{melt}}$$

$$Q_{\text{loss}} = 0.076 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (20 \times 60) \text{ s} = 91.2 \text{ kJ}$$

31. พลังงานสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสียจากสมการ กำลังสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนัง

$$P_{\text{emission}} = A_{\text{sur}} \varepsilon_{\text{sur}} \sigma (T_{\text{sur}}^4 - T_{\text{amb}}^4)$$

$$\text{พื้นที่ผิวท่อไอเสีย } (A_{\text{sur}}) = 0.0377 \text{ m}^2$$

$$\text{สภาพการเปล่งรังสีของผิววัสดุ } (\varepsilon_{\text{sur}}) = 0.49$$

$$\text{ค่าคงที่ของสเตฟาน - โบลต์ซมันน์ } (\sigma) = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

$$\text{อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ } (T_{\text{sur}}) = 398 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อม } (T_{\text{amb}}) = 30 + 273 \text{ K}$$

$$P_{\text{emission}} = 0.0377 \text{ m}^2 \times 0.49 \times (5.67 \times 10^{-8}) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} (671^4 - 303^4) \text{ K}^4$$

$$P_{\text{emission}} = 0.2035 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{\text{emission}} = P_{\text{emission}} \cdot \text{time}_{\text{melt}}$$

$$Q_{\text{emission}} = 0.203 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (20 \times 60) \text{ s} = 243.6 \text{ kJ}$$

พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อนผ่านผนังท่อ ไอเสีย และพลังงานสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย จะไม่นำมาคิดพลังงานที่สูญเสียในเตาทดสอบเนื่องจากเป็นทางวิ่งผ่านของก๊าซไอเสียร้อนออกจากห้องเผาไหม้ที่ถือว่าเป็นส่วนภายนอกเตาทดสอบ

32. พลังงานที่ใช้ในเตาทดสอบ (Q_{work})

จากสมการ

$$Q_{work} = Q_{in} - (Q_{loss} + Q_{fuel-loss} + Q_{emission})$$

$$\text{พลังงานที่เข้าเตาทดสอบ } (Q_{in}) = 8617.92 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อน } (Q_{fuel-loss}) = 3286.92 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อน } (Q_{loss}) = 593.16 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนเตาทดสอบ } (Q_{emission}) = 142.44 \text{ kJ}$$

$$Q_{work} = 8617.92 - (593.1 + 3286.9 + 142.4) \text{ kJ}$$

$$Q_{work} = 4595.52 \text{ kJ}$$

33. ประสิทธิภาพของเตาทดสอบในเชิงการใช้เชื้อเพลิงที่สภาวะคงที่ (Steady state)

จากสมการ

$$\eta_{net} = \frac{Q_{work}}{Q_{in}} \cdot 100\%$$

$$\text{พลังงานที่ใช้ในเตาทดสอบ } (Q_{work}) = 4595.52 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่เข้าเตาทดสอบ } (Q_{in}) = 8617.92 \text{ kJ}$$

$$\eta_{net} = \frac{4595.52 \text{ kJ}}{8617.92 \text{ kJ}} \cdot 100\%$$

$$\eta_{net} = 53.32\%$$

34. เวลาที่ใช้ในการหลอมทางทฤษฎี

จากสมการ

$$time_{theory} = \frac{(Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat}) + Q_{crucible} + Q_{chamber}}{P_{work}}$$

พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะ 30 – 580 °C (Q_{preheat})	= 118.80 kJ
พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายโลหะ 580 – 645 °C (Q_{melt})	= 89.00 kJ
พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะเหลว 645 – 755 °C ($Q_{\text{superheat}}$)	= 29.15 kJ
พลังงานเพิ่มอุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ 30 – 786 °C (Q_{chamber})	= 3689.03 kJ
พลังงานเพิ่มอุณหภูมิเข้าหลอม 30 – 580 °C (Q_{crucible})	= 290.40 kJ
กำลังที่ใช้ในเตาทดสอบ (P_{work})	= 3.829 kJ/s

$$time_{\text{theory}} = \frac{(118.80 + 89.00 + 29.15) + 290.40 + 3689.038 \text{ kJ} \cdot \text{s}}{3.829 \text{ kJ}}$$

$$time_{\text{theory}} = 1101.17 \text{ s} = 18.35 \text{ min.}$$

35. ประสิทธิภาพเตาทดสอบในเชิงความร้อนทางทฤษฎี (η)

จากสมการ

$$\eta = \frac{(Q_{\text{preheat}} + Q_{\text{melt}} + Q_{\text{superheat}})}{P_{\text{in}} \cdot time_{\text{melt}}} \times 100\%$$

พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะ 30 – 580 °C (Q_{preheat})	= 118.80 kJ
พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายโลหะ 580 – 645 °C (Q_{melt})	= 89.00 kJ
พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะเหลว 645 – 755 °C ($Q_{\text{superheat}}$)	= 29.15 kJ
กำลังที่เข้าเตาทดสอบ (P_{in})	= 7.1816 kJ/s

$$\eta = \frac{(118.80 + 89 + 29.15) \text{ kJ}}{7.1816 \text{ kJ/s} \times 1200 \text{ s}} \times 100\%$$

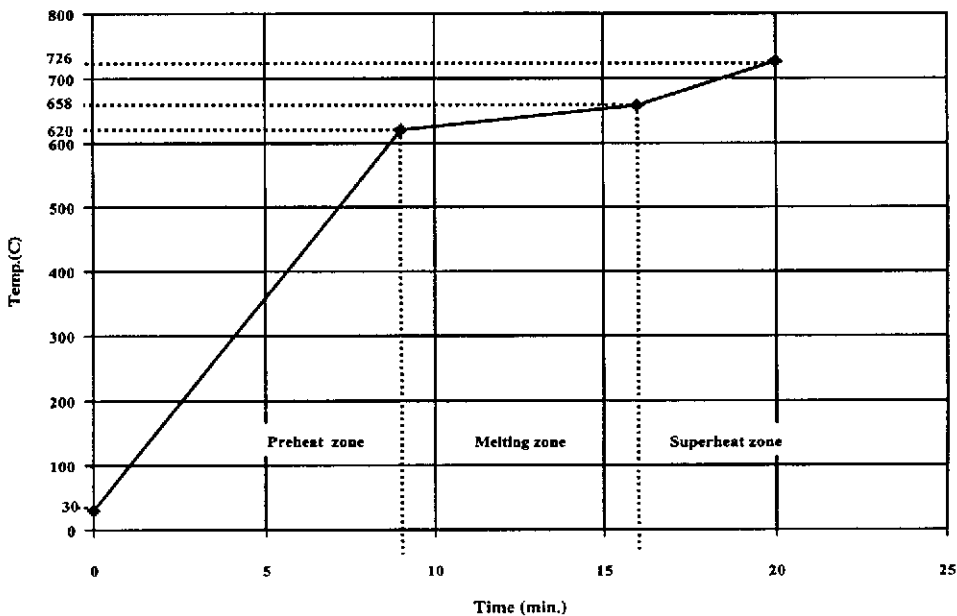
$$\eta = 2.74\%$$

สรุปจากการทดลองหลอมโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน 11 % ในปริมาณ 250 กรัม

1. พลังงานความร้อนที่เข้าในเตาทดสอบ (Q_{in}) = 8617.92 kJ
2. พลังงานความร้อนที่ใช้ในเตาทดสอบ (Q_{work}) = 4595.52 kJ
3. พลังงานที่ใช้ในการหลอมโลหะ ($Q_{\text{metal melt}}$) = 236.95 kJ/250 g
4. เตาทดสอบมีประสิทธิภาพในเชิงการใช้เชื้อเพลิง = 53.32%
5. เตาทดสอบมีประสิทธิภาพทางทฤษฎี = 2.74%

4. การคำนวณทดสอบหลอมโลหะครั้งที่ 4

1. ชนิดโลหะที่ทดสอบ อะลูมิเนียม
2. น้ำหนักก่อนการหลอม 250 g
3. ส่วนผสมโลหะที่ทดสอบ อะลูมิเนียมรีด (Wrought Aluminum)
4. หัวเผาที่ใช้แบบที่ 1
5. อุณหภูมิเริ่มหลอมละลาย 630 °C
6. อุณหภูมิเทออกน้ำโลหะ 726 °C
7. น้ำหนักโลหะหลังการหลอม 249.3 g
8. เวลาที่ใช้ในการหลอม 20 min.
9. พลังงานในการหลอมโลหะ ($Q_{\text{metal melt}}$)



9.1 พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 – 630 °C (Q_{preheat})

จากสมการ

$$Q_{\text{preheat}} = c_{p, \text{solid}} m (T_m - T_{\text{amb}})$$

ค่าความร้อนจำเพาะของโลหะอะลูมิเนียมเหนียว ($c_{p, \text{solid}}$)

(จาก Metal hand book , 1996) = 0.917 kJ/kg . K

มวลของโลหะ (m) = 250 g

อุณหภูมิโลหะก่อนการหลอม (T_{amb}) = 30 + 273 K

อุณหภูมิโลหะถึงจุดหลอมละลาย (T_m) = 630 + 273 K

$$Q_{preheat} = 0.917 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times \frac{250}{1000} kg (930 - 303) K$$

$$Q_{preheat} = 137.55 kJ$$

9.2 พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายที่อุณหภูมิ 630 - 658 °C (Q_{melt})

จากสมการ

$$Q_{melt} = mL$$

ค่าความร้อนแฝงหลอมเหลวของโลหะอะลูมิเนียมรีด (L)

(จาก Metal hand book , 1996) = 388 kJ/kg

$$Q_{melt} = \frac{250}{1000} kg \times 388 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{melt} = 97 kJ$$

9.3 พลังงานในการทำให้โลหะหลอมมีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 658 - 763 °C ($Q_{superheat}$)

จากสมการ

$$Q_{superheat} = c_{Pliquid} m (T_{superheat} - T_m)$$

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของโลหะอะลูมิเนียมเหนียว ($c_{p liquid}$)

(จาก Metal hand book , 1996) = 1.08 kJ/kg . K

อุณหภูมิโลหะที่จุดหลอมละลาย (T_m) = 658 + 273 K

อุณหภูมิโลหะที่จุดเทน้ำโลหะ ($T_{superheat}$) = 763 + 273 K

$$Q_{superheat} = 1.08 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times \frac{250}{1000} kg (1036 - 931) K$$

$$Q_{superheat} = 28.35 kJ$$

9.4 พลังงานที่ใช้ในการหลอมโลหะ ($Q_{metal melt}$)

จากสมการ

$$Q_{metal melt} = Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat}$$

$$Q_{metal melt} = (137.55 + 97 + 28.35) kJ$$

$$Q_{metal melt} = 262.90 kJ / 250 g$$

10. พลังงานที่ทำให้ผนังห้องเผาไหม้เพิ่มอุณหภูมิจาก 30 - 785 °C ($Q_{chamber}$)

จากสมการ

$$Q_{chamber} = m_{chamber} c_p (T_m - T_{amb})$$

มวลผนังห้องเผาไหม้ ($m_{chamber}$) = 5.304 kg

ค่าความจุความร้อนจำเพาะวัสดุผนังห้องเผาไหม้

$$\text{Thermal Ceramic 85P } (c_p) = 0.92 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อมผนังห้องเผาไหม้เริ่มต้น } (T_{\text{amb}}) = 30 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ถึงจุดหลอมละลาย } (T_m) = 785 + 273 \text{ K}$$

$$Q_{\text{chamber}} = 5.304 \text{ kg} \times 0.92 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (1058 - 303) \text{ K}$$

$$Q_{\text{chamber}} = 3684.1584 \text{ kJ}$$

11. พลังงานที่ทำให้เบ้าหลอมเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 – 630 °C (Q_{crucible})

จากสมการ

$$Q_{\text{crucible}} = m_{\text{crucible}} c_p (T_m - T_{\text{amb}})$$

$$\text{มวลเบ้าหลอม } (m_{\text{crucible}}) = 0.55 \text{ kg}$$

$$\text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะเบ้าหลอมวัสดุ Alumina } (c_p) = 0.96 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อมผนังห้องเผาไหม้เริ่มต้น } (T_{\text{amb}}) = 30 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิมันห้องเผาไหม้ถึงจุดหลอมละลาย } (T_m) = 630 + 273 \text{ K}$$

$$Q_{\text{crucible}} = 0.55 \text{ kg} \times 0.96 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (903 - 303) \text{ K}$$

$$Q_{\text{crucible}} = 316.80 \text{ kJ}$$

12. ปริมาตรการใช้ก๊าซออกซิเจนที่ความดันบรรยากาศ (1bar)

จากสมการ

$$\Delta V_{\text{ox}} = \frac{V_{\text{vessel}} (P_1 - P_2)}{P_{\text{amb}}}$$

$$\text{ปริมาณถังบรรจุก๊าซ } (V_{\text{vessel}}) = 40 \text{ l}$$

$$\text{ความดันถังก๊าซก่อนใช้งาน } (P_1) = 11.96 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถังก๊าซหลังใช้งาน } (P_2) = 11.06 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{\text{ox}} = \frac{40 \text{ l} (11.96 - 11.06) \text{ bar}}{1 \text{ bar}}$$

$$\Delta V_{\text{ox}} = 36 \text{ l}$$

13. อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน

$$36 \text{ l} / 3000 \text{ s} = 1.20 \times 10^{-2} \text{ l/s} = 1.20 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}$$

14. อัตราการไหลมวลของก๊าซออกซิเจนที่เข้าในเตาทดสอบ

จากสมการ

$$m_{ox} = \rho \Delta V_{ox}$$

ความหนาแน่นของก๊าซออกซิเจน (ρ) = 1.43 kg/m³

อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน (ΔV_{ox}) = 1.20 × 10⁻⁵ m³/s

$$m_{ox} = 1.43 \frac{kg}{m^3} (1.20 \times 10^{-5}) \frac{m^3}{s}$$

$$m_{ox} = 1.716 \times 10^{-5} kg/s$$

15. ค่าใช้จ่ายก๊าซออกซิเจน ปริมาตรบรรจุ 6000 ลิตร ราคาถังละ 120 บาท

$$0.02 Baht / \ell \times 36 \ell = 0.72 Baht$$

16. ปริมาตรการใช้ก๊าซอะเซทิลีน

จากสมการ

$$\Delta V_{fuel} = \frac{V_f}{P_{max}} (P_1 - P_2)$$

ปริมาตรก๊าซเต็มถัง (V_f) = 3000 ℓ

ความดันสูงสุดถังก๊าซ (P_{max}) = 15 bar

ความดันถังก๊าซก่อนใช้งาน (P_1) = 9.83 bar

ความดันถังก๊าซหลังใช้งาน (P_2) = 7.92 bar

$$\Delta V_{fuel} = \frac{3000 \ell}{15 bar} (9.83 - 7.92) bar$$

$$\Delta V_{fuel} = 382 \ell$$

17. อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีน

$$382 \ell / 3000 s = 0.1273 \ell / s$$

18. ค่าใช้จ่ายก๊าซอะเซทิลีน ปริมาตรบรรจุ 3000 ลิตร ราคาถังละ 630 บาท

$$0.21 Baht / \ell \times 382 \ell = 80.22 Baht$$

19. ปริมาตรการใช้ก๊าซอาร์กอนที่ความดันบรรยากาศ (1 bar)

จากสมการ

$$\Delta V_{ar} = \frac{V_{vessel}(P_1 - P_2)}{P_{amb}}$$

$$\text{ปริมาตรถังบรรจุก๊าซ (} V_{vessel} \text{)} = 40 \ell$$

$$\text{ความดันถังก๊าซก่อนใช้งาน (} P_1 \text{)} = 139.5 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถังก๊าซหลังใช้งาน (} P_2 \text{)} = 138.5 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{ar} = \frac{40\ell(139.5 - 138.5)\text{bar}}{1\text{bar}}$$

$$\Delta V_{ar} = 40\ell$$

20. อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน

$$40\ell / 1200\text{s} = 3.33 \times 10^{-2} \ell / \text{s}$$

21. ค่าใช้จ่ายก๊าซอาร์กอน ปริมาตรบรรจุ 6000 ลิตร ราคาถังละ 3000 บาท

$$0.50\text{Baht} / \ell \times 40\ell = 20\text{Baht}$$

22. อัตราการไหลมวลของก๊าซอะเซทิลีนที่ใช้

จากสมการ

$$m_f = \rho \cdot \Delta V_{fuel}$$

$$\text{อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนที่ใช้ (} \Delta V_{fuel} \text{)} = 0.1273 \ell / \text{s}$$

$$= 1.273 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\text{ค่าความหนาแน่นก๊าซอะเซทิลีน (} \rho \text{)}$$

$$= 1.17 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$m_f = 1.17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (1.273 \times 10^{-4}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$m_f = 1.489 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

23. พลังงานที่เข้าในเตาทดสอบ (Q_m)

จากสมการ กำลังที่เข้าในเตาทดสอบ

$$P_m = m_f LHV$$

$$\text{ค่าความร้อนต่ำของก๊าซอะเซทิลีน (LHV)} = 56700 \text{ kJ} / \text{m}^3$$

(จาก Roderick Fletcher GTZ., 1984)

$$P_m = 1.273 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 56700 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

$$P_m = 7.2179 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 7.2179 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{in} = P_{in} \text{ time}$$

$$Q_{in} = 7.2179 \frac{kJ}{s} (20 \times 60) s = 8661.48 \text{ kJ}$$

24. พลังงานที่สูญเสียจากการพาร่วมกับการนำความร้อน (Q_{loss})

จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการพาร่วมกับการนำความร้อน

$$P_{loss} = UA_{total} (T_1 - T_{n+1})$$

$$\text{พื้นที่ผืนเงาทดสอบทั้งหมด (A}_{total}\text{)} = 2.1381 \text{ m}^2$$

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)} = 0.3289 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{อุณหภูมิผืนเงาด้านนอกสุด (T}_{n+1}\text{)} = (86 + 273) \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิด้านในผนังห้องเผาไหม้ (T}_1\text{)} = (816 + 273) \text{ K}$$

$$P_{loss} = 0.3289 \frac{W}{m^2 \cdot K} \times 2.1381 m^2 (1089 - 359) K$$

$$P_{loss} = 513.351 W = 0.5133 kW$$

$$\therefore Q_{loss} = P_{loss} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{loss} = 0.513 \frac{kJ}{s} (20 \times 60) s = 615.96 kJ$$

25. ปริมาตรอากาศที่เข้าเตาทดสอบ

จากสมการ

$$V = vA_{in}$$

$$\text{ความเร็วอากาศจากพัดลมเป่าอากาศเฉลี่ย (V)} = 1.47 \text{ m/s}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดท่ออากาศเข้าเตาทดสอบ (A}_{in}\text{)} = 40 \text{ mm}^2 = 1.256 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = 1.47 \frac{m}{s} (1.256 \times 10^{-3}) m^2$$

$$V = 1.8463 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

26. อัตราการไหลมวลของอากาศที่เข้าเตาทดสอบ

จากสมการ

$$m_a = \rho V$$

$$\text{ความหนาแน่นอากาศที่ความดันคงที่ (\rho)} = 1.29 \text{ kg/m}^3$$

$$m_a = 1.29 \frac{kg}{m^3} (1.8463 \times 10^{-3}) \frac{m^3}{s}$$

$$m_a = 2.3817 \times 10^{-3} \frac{kg}{s}$$

27. อัตราการไหลมวลของอากาศและก๊าซออกซิเจนที่เข้าเตาทดสอบ

$$m_{a_{total}} = m_a + m_{ox}$$

$$m_{a_{total}} = (2.381 \times 10^{-3}) + (1.716 \times 10^{-5}) \frac{kg}{s}$$

$$m_{a_{total}} = 2.398 \times 10^{-3} \frac{kg}{s}$$

28. พลังงานที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อนไอเสีย ($Q_{fuel-loss}$)

จากสมการ กำลังที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อนไอเสีย

$$P_{fuel-loss} \approx (m_f + m_{a_{total}}) c_{p_a} (T_{exh} - T_{amb})$$

$$\text{มวลของอากาศที่เข้าเตาทดสอบ } (m_{a_{total}}) = 2.398 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$\text{มวลของก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้ } (m_f) = 1.489 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

$$\text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่ } (C_{p_a}) = 1.423 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

(จาก โยชิฮิโกะ ทากามูระ , 2543 หน้า 193)

$$\text{อุณหภูมิที่ปล่องไอเสีย } (T_{exh}) = (785 + 273) \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อม } (T_{amb}) = (30 + 273) \text{ K}$$

$$P_{fuel-loss} \approx (1.489 \times 10^{-4} + 2.398 \times 10^{-3}) \frac{kg}{s} \times 1.423 \frac{kJ}{kg \cdot K} (1058 - 303) \text{ K}$$

$$P_{fuel-loss} = 2.7364 \frac{kJ}{s} = 2.7364 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{fuel-loss} = P_{fuel-loss} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{fuel-loss} = 2.7364 \frac{kJ}{s} (20 \times 60) \text{ s} = 3283.68 \text{ kJ}$$

29. พลังงานที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังเตาด้านนอก ($Q_{emission}$)

จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังเตาด้านนอก

$$P_{emission} = A_{sur} \epsilon_{sur} \sigma (T_{sur}^4 - T_{amb}^4)$$

$$\text{พื้นที่ผิวผนังด้านนอกเตาทดสอบ } (A_{sur}) = 0.6144 \text{ m}^2$$

$$\text{ค่าสภาพการเปล่งรังสีของพื้นผิววัสดุ } (\epsilon_{sur}) = 0.39$$

$$\text{ค่าคงที่ของสเตฟาน - โบลต์ซมันน์ } (\sigma) = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

$$\text{อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ } (T_{sur}) = 86 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อม } (T_{amb}) = 30 + 273 \text{ K}$$

$$P_{emission} = 0.6144 \text{ m}^2 \times 0.39 \times (5.67 \times 10^{-8}) \frac{W}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} (359^4 - 303^4) \text{ K}^4$$

$$P_{emission} = 0.111 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{\text{emission}} = P_{\text{emission}} \text{time}_{\text{melt}}$$

$$Q_{\text{emission}} = 0.111 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (20 \times 60) \text{s} = 133.2 \text{ kJ}$$

30. พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อนผ่านผนังท่อไอเสีย จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อน

$$P_{\text{loss}} = \frac{(T_1 - T_{n+1})}{\Sigma R}$$

$$\text{อุณหภูมิภายในท่อไอเสีย } (T_1) = 785 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อมด้านนอกที่ผิวท่อไอเสีย } (T_{n+1}) = 395 + 273 \text{ K}$$

$$\text{ค่าความต้านทานรวมของตัวกลาง } (\Sigma R) = 5.105 \text{ K/W}$$

$$P_{\text{loss}} = \frac{(1058 - 668) \text{ K} \cdot \text{W}}{5.105 \text{ K}}$$

$$P_{\text{loss}} = 0.0763 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{\text{loss}} = P_{\text{loss}} \text{time}_{\text{melt}}$$

$$Q_{\text{loss}} = 0.076 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (20 \times 60) \text{s} = 91.56 \text{ kJ}$$

31. พลังงานสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย จากสมการ กำลังสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย

$$P_{\text{emission}} = A_{\text{sur}} \epsilon_{\text{sur}} \sigma (T_{\text{sur}}^4 - T_{\text{amb}}^4)$$

$$\text{พื้นที่ผิวท่อไอเสีย } (A_{\text{sur}}) = 0.0377 \text{ m}^2$$

$$\text{สภาพการเปล่งรังสีของผิววัสดุ } (\epsilon_{\text{sur}}) = 0.49$$

$$\text{ค่าคงที่ของสเตฟาน - โบลต์ซมันน์ } (\sigma) = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

$$\text{อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ } (T_{\text{sur}}) = 395 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อม } (T_{\text{amb}}) = 30 + 273 \text{ K}$$

$$P_{\text{emission}} = 0.0377 \text{ m}^2 \times 0.49 \times (5.67 \times 10^{-8}) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} (668^4 - 303^4) \text{ K}^4$$

$$P_{\text{emission}} = 0.1997 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{\text{emission}} = P_{\text{emission}} \text{time}_{\text{melt}}$$

$$Q_{\text{emission}} = 0.199 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (20 \times 60) \text{s} = 238.8 \text{ kJ}$$

พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อนผ่านผนังท่อไอเสีย และพลังงานสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย จะไม่

นำมาคิดพลังงานที่สูญเสียในเตาทดสอบเนื่องจากเป็นทางวิ่งผ่านของก๊าซไอเสีย
ร้อนออกจากห้องเผาไหม้ที่ถือว่าเป็นส่วนภายนอกเตาทดสอบ

32. พลังงานที่ใช้ในเตาทดสอบ (Q_{work})

จากสมการ กำลังที่ใช้ในเตาทดสอบ

$$Q_{work} = Q_{in} - (Q_{loss} + Q_{fuel-loss} + Q_{emission})$$

พลังงานที่เข้าเตาทดสอบ (Q_{in}) = 8661.48 kJ

พลังงานที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อน ($Q_{fuel-loss}$) = 3283.68 kJ

พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อนกับการนำความร้อน (Q_{loss}) = 615.96 kJ

พลังงานที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนผนังเตาทดสอบ ($Q_{emission}$) = 133.2 kJ

$$Q_{work} = 8661.48 - (615.96 + 3283.6 + 133.2) kJ$$

$$Q_{work} = 4628.78 kJ$$

33. ประสิทธิภาพของเตาทดสอบในเชิงการใช้เชื้อเพลิงที่สภาวะคงที่ (Steady state)

จากสมการ

$$\eta_{net} = \frac{Q_{work}}{Q_{in}} \cdot 100\%$$

พลังงานที่ใช้ในเตาทดสอบ (Q_{work}) = 4628.78 kJ

พลังงานที่เข้าเตาทดสอบ (Q_{in}) = 8661.48 kJ

$$\eta_{net} = \frac{4628.78 kJ}{8661.48 kJ} \times 100\%$$

$$\eta_{net} = 53.44\%$$

34. เวลาที่ใช้ในการหลอมทางทฤษฎี

จากสมการ

$$time_{theory} = \frac{(Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat}) + Q_{crucible} + Q_{chamber}}{P_{work}}$$

พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะ 30 – 630 °C ($Q_{preheat}$) = 137.55 kJ

พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายโลหะ 630 – 658 °C (Q_{melt}) = 97.00 kJ

พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะเหลว 658 – 763 °C ($Q_{superheat}$) = 28.35 kJ

พลังงานเพิ่มอุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ 30 – 785 °C ($Q_{chamber}$) = 3684.15 kJ

$$\begin{aligned} \text{พลังงานเพิ่มอุณหภูมิเบ้าหลอม } 30 - 630^\circ\text{C } (Q_{\text{crucible}}) &= 316.80 \text{ kJ} \\ \text{กำลังที่ใช้ในเตาทดสอบ } (P_{\text{work}}) &= 3.8573 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{time}_{\text{theory}} &= \frac{(137.55 + 97.00 + 28.35) + 316.80 + 3684.158 \text{ kJ}}{3.8573 \text{ kJ/s}} \\ \text{time}_{\text{theory}} &= 1105.39 \text{ s} = 18.42 \text{ min.} \end{aligned}$$

35. ประสิทธิภาพเตาทดสอบในเชิงความร้อนทางทฤษฎี (η)

จากสมการ

$$\eta = \frac{Q_{\text{preheat}} + Q_{\text{melt}} + Q_{\text{superheat}}}{P_{\text{in}} \cdot \text{time}_{\text{melt}}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะ } 30 - 630^\circ\text{C } (Q_{\text{preheat}}) &= 137.55 \text{ kJ} \\ \text{พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายโลหะ } 630 - 658^\circ\text{C } (Q_{\text{melt}}) &= 97.00 \text{ kJ} \\ \text{พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะเหลว } 658 - 763^\circ\text{C } (Q_{\text{superheat}}) &= 28.35 \text{ kJ} \\ \text{กำลังที่เข้าเตาทดสอบ } (P_{\text{in}}) &= 7.217 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

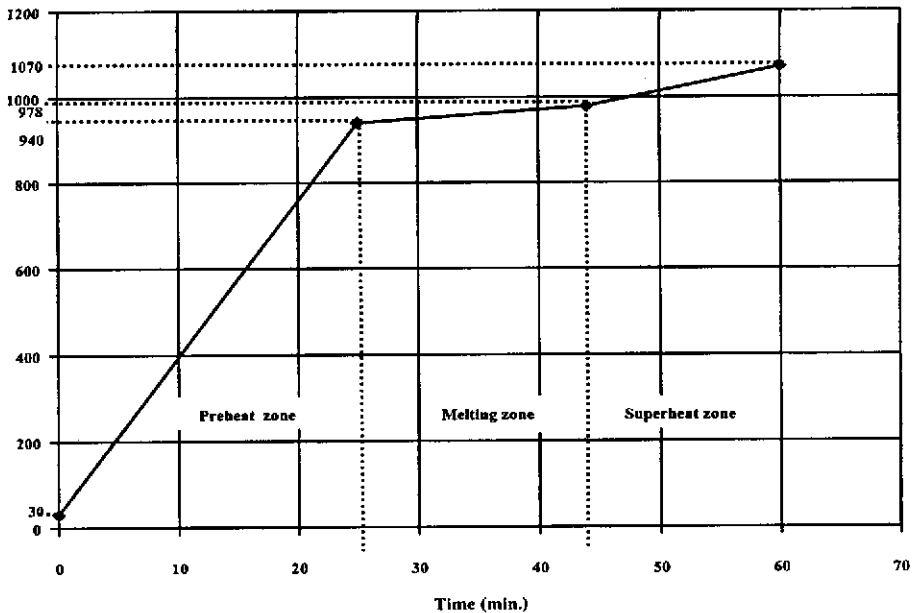
$$\begin{aligned} \eta &= \frac{(137.55 + 97 + 28.35) \text{ kJ}}{7.217 \text{ kJ/s} \times 1200 \text{ s}} \times 100\% \\ \eta &= 3.03\% \end{aligned}$$

สรุปจากการทดลองหลอมโลหะอะลูมิเนียมเหนียวผสมแมกนีเซียม 0.5 % ใน ปริมาณ 250 กรัม

1. พลังงานความร้อนที่เข้าในเตาทดสอบ (Q_{in}) = 8661.48 kJ
2. พลังงานความร้อนที่ใช้ในเตาทดสอบ (Q_{work}) = 4628.78 kJ
3. พลังงานที่ใช้ในการหลอมโลหะ ($Q_{\text{metal melt}}$) = 262.90 kJ/250 g
4. เตาทดสอบมีประสิทธิภาพในเชิงการใช้เชื้อเพลิง = 53.44%
5. เตาทดสอบมีประสิทธิภาพทางทฤษฎี = 3.03%

5. การคำนวณทดสอบหลอมโลหะครั้งที่ 5

- ชนิดโลหะที่ทดสอบ ทองเหลือง
- น้ำหนักก่อนการหลอม 250 g
- ส่วนผสมโลหะที่ทดสอบ ทองแดง 70% สังกะสี 30%
- หัวเผาที่ใช้แบบที่ 1
- อุณหภูมิเริ่มหลอมละลาย 940 °C
- อุณหภูมิเทออกน้ำโลหะ 1070 °C
- น้ำหนักโลหะหลังการหลอม 249 g
- เวลาที่ใช้ในการหลอม 60 min.
- พลังงานในการหลอมโลหะ ($Q_{\text{metal melt}}$)



9.1 พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 – 940 °C (Q_{preheat})

จากสมการ

$$Q_{\text{preheat}} = c_{p \text{ solid}} m (T_m - T_{\text{amb}})$$

ค่าความร้อนจำเพาะของโลหะทองเหลือง ($c_{p \text{ solid}}$)

(จาก Metal hand book , 1996) = 0.380 kJ/kg . K

มวลของโลหะ (m) = 250 g

อุณหภูมิโลหะก่อนการหลอม (T_{amb}) = 30 + 273 K

อุณหภูมิโลหะถึงจุดหลอมละลาย (T_m) = 940 + 273 K

$$Q_{preheat} = 0.380 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times \frac{250}{1000} kg (1213 - 303) K$$

$$Q_{preheat} = 86.450 kJ$$

9.2 พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายที่อุณหภูมิ 940 - 978 °C (Q_{melt})

จากสมการ

$$Q_{melt} = mL$$

ค่าความร้อนแฝงหลอมเหลวของโลหะทองเหลือง (L)

(จาก Metal hand book , 1996) = 167 kJ/kg

$$Q_{melt} = \frac{250}{1000} kg \times 167 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{melt} = 41.75 kJ$$

9.3 พลังงานในการทำให้โลหะหลอมมีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 978 - 1070 °C

($Q_{superheat}$)

จากสมการ

$$Q_{superheat} = c_{liquid} m (T_{superheat} - T_m)$$

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของโลหะทองเหลือง ($c_{p liquid}$)

(จาก Metal hand book , 1996) = 0.473 kJ/kg . K

อุณหภูมิโลหะที่จุดหลอมละลาย (T_m) = 978 + 273 K

อุณหภูมิโลหะที่จุดเหนืโลหะ ($T_{superheat}$) = 1070 + 273 K

$$Q_{superheat} = 0.473 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times \frac{250}{1000} kg (1343 - 1251) K$$

$$Q_{superheat} = 10.879 kJ$$

9.4 พลังงานที่ใช้ในการหลอมโลหะ ($Q_{metal melt}$)

จากสมการ

$$Q_{metal melt} = Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat}$$

$$Q_{metal melt} = (86.45 + 41.75 + 10.879) kJ$$

$$Q_{metal melt} = 139.079 kJ / 250g$$

10. พลังงานที่ทำให้ผนังห้องเผาไหม้เพิ่มอุณหภูมิจาก 30 - 1102 °C ($Q_{chamber}$)

จากสมการ

$$Q_{chamber} = m_{chamber} c_p (T_m - T_{amb})$$

มวลผนังห้องเผาไหม้ ($m_{chamber}$) = 5.304 kg

ค่าความจุความร้อนจำเพาะวัสดุผนังห้องเผาไหม้

Thermal Ceramic 85P (c_p) = 0.92 kJ/kg . K

อุณหภูมิแวดล้อมผนังห้องเผาไหม้เริ่มต้น (T_{amb}) = 30 + 273 K

อุณหภูมิน้ำห้องเผาไหม้ถึงจุดหลอมละลาย (T_m) = 1102 + 273 K

$$Q_{chamber} = 5.304 \text{ kg} \times 0.92 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (1375 - 303) \text{ K}$$

$$Q_{chamber} = 5231.016 \text{ kJ}$$

11. พลังงานที่ทำให้เป่าหลอมเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 – 940 °C ($Q_{crucible}$)

จากสมการ

$$Q_{crucible} = m_{crucible} c_p (T_m - T_{amb})$$

มวลเป่าหลอม ($m_{crucible}$) = 0.55 kg

ค่าความจุความร้อนจำเพาะเป่าหลอมวัสดุ Alumina (c_p) = 0.96 kJ/kg . K

อุณหภูมิแวดล้อมผนังห้องเผาไหม้เริ่มต้น (T_{amb}) = 30 + 273 K

อุณหภูมิน้ำห้องเผาไหม้ถึงจุดหลอมละลาย (T_m) = 940 + 273 K

$$Q_{crucible} = 0.55 \text{ kg} \times 0.96 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (1213 - 303) \text{ K}$$

$$Q_{crucible} = 480.48 \text{ kJ}$$

12. ปริมาณการใช้ก๊าซออกซิเจนที่ความดันบรรยากาศ (1bar)

12.1 ปริมาณการใช้ก๊าซออกซิเจนช่วงอุ่นเตา

จากสมการ

$$\Delta V_{ox} = \frac{V_{vessel} (P_1 - P_2)}{P_{amb}}$$

ปริมาตรถังบรรจุก๊าซ (V_{vessel}) = 40 ℓ

ความดันตั้งก๊าซก่อนใช้งาน (P_1) = 11.06 bar

ความดันตั้งก๊าซหลังใช้งาน (P_2) = 10.52 bar

$$\Delta V_{ox} = \frac{40 \ell (11.06 - 10.52) \text{ bar}}{1 \text{ bar}}$$

$$\Delta V_{ox} = 21.60 \ell$$

อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนช่วงอุ่นเตา

$$21.6\ell/1800s = 1.20 \times 10^{-2} \ell/s = 1.20 \times 10^{-5} m^3/s$$

12.2 ปริมาณการใช้ก๊าซออกซิเจนช่วงหลอมโลหะ

จากสมการ

$$\Delta V_{ox} = \frac{V_{vessel}(P_1 - P_2)}{P_{amb}}$$

ปริมาณถังบรรจุก๊าซ (V_{vessel}) = 40 ℓ

ความดันตั้งก๊าซก่อนใช้งาน (P_1) = 10.52 bar

ความดันตั้งก๊าซหลังใช้งาน (P_2) = 8.30 bar

$$\Delta V_{ox} = \frac{40\ell(10.52 - 8.30)\text{bar}}{1\text{bar}}$$

$$\Delta V_{ox} = 88.8\ell$$

อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนช่วงหลอมโลหะ

$$88.8\ell/3600s = 2.466 \times 10^{-2} \ell/s = 2.466 \times 10^{-5} m^3/s$$

13. อัตราการไหลมวลของก๊าซออกซิเจนที่เข้าในเตาทดสอบ

13.1 อัตราการไหลมวลของก๊าซออกซิเจนช่วงอุ่นเตา

จากสมการ

$$m_{ox} = \rho \Delta V_{ox}$$

ความหนาแน่นของก๊าซออกซิเจน (ρ) = 1.43 kg/m^3

อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน (ΔV_{ox}) = $1.20 \times 10^{-5} m^3/s$

$$m_{ox} = 1.43 \frac{kg}{m^3} (1.20 \times 10^{-5}) \frac{m^3}{s}$$

$$m_{ox} = 1.716 \times 10^{-5} kg/s$$

13.2 อัตราการไหลมวลของก๊าซออกซิเจนช่วงหลอมโลหะ

จากสมการ

$$m_{ox} = \rho \Delta V_{ox}$$

ความหนาแน่นของก๊าซออกซิเจน (ρ) = 1.43 kg/m^3

อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน (ΔV_{ox}) = $2.466 \times 10^{-5} m^3/s$

$$m_{0x} = 1.43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (2.466 \times 10^{-5}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$m_{0x} = 3.526 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

14. ค่าใช้จ่ายก๊าซออกซิเจน ปริมาตรบรรจุ 6000 ลิตร ราคาถังละ 120 บาท

$$0.02 \text{ Baht} / \ell \times (21.6 + 88.8) \ell = 2.20 \text{ Baht}$$

15. ปริมาณการใช้ก๊าซอะเซทิลีน

15.1 ปริมาณการใช้ก๊าซอะเซทิลีนช่วงอุ่นเตา

จากสมการ

$$\Delta V_{\text{fuel}} = \frac{V_f}{P_{\text{max}}} (P_1 - P_2)$$

$$\text{ปริมาณก๊าซเต็มถัง } (V_f) = 3000 \ell$$

$$\text{ความดันสูงสุดถึงก๊าซ } (P_{\text{max}}) = 15 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถึงก๊าซก่อนใช้งาน } (P_1) = 8.03 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถึงก๊าซหลังใช้งาน } (P_2) = 6.88 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{\text{fuel}} = \frac{3000 \ell}{15 \text{ bar}} (8.03 - 6.88) \text{ bar}$$

$$\Delta V_{\text{fuel}} = 230 \ell$$

อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงอุ่นเตา

$$230 \ell / 1800 \text{ s} = 0.1277 \ell / \text{s}$$

15.2 ปริมาณการใช้ก๊าซอะเซทิลีนช่วงหลอมโลหะ

จากสมการ

$$\Delta V_{\text{fuel}} = \frac{V_f}{P_{\text{max}}} (P_1 - P_2)$$

$$\text{ปริมาณก๊าซเต็มถัง } (V_f) = 3000 \ell$$

$$\text{ความดันสูงสุดถึงก๊าซ } (P_{\text{max}}) = 15 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถึงก๊าซก่อนใช้งาน } (P_1) = 6.88 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถึงก๊าซหลังใช้งาน } (P_2) = 4.55 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{\text{fuel}} = \frac{3000 \ell}{15 \text{ bar}} (6.88 - 4.55) \text{ bar}$$

$$\Delta V_{\text{fuel}} = 466 \ell$$

อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงหลอมโลหะ

$$466\ell/3600s = 0.1294\ell/s$$

16. ค่าใช้จ่ายก๊าซอะเซทิลีน ปริมาตรบรรจุ 3000 ลิตร ราคาถังละ 630 บาท

$$0.21\text{Baht}/\ell \times (230 + 466)\ell = 146.16\text{Baht}$$

17. ปริมาตรการใช้ก๊าซอาร์กอนที่ความดันบรรยากาศ (1 bar)

จากสมการ

$$\Delta V_{ar} = \frac{V_{vessel}(P_1 - P_2)}{P_{amb}}$$

$$\text{ปริมาตรถังบรรจุก๊าซ } (V_{vessel}) = 40 \ell$$

$$\text{ความดันถังก๊าซก่อนใช้งาน } (P_1) = 138.5 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถังก๊าซหลังใช้งาน } (P_2) = 135.3 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{ar} = \frac{40\ell(138.5 - 135.3)\text{bar}}{1\text{bar}}$$

$$\Delta V_{ar} = 128\ell$$

18. อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน

$$128\ell/3600s = 3.55 \times 10^{-2} \ell/s$$

19. ค่าใช้จ่ายก๊าซอาร์กอน ปริมาตรบรรจุ 6000 ลิตร ราคาถังละ 3000 บาท

$$0.50\text{Baht}/\ell \times 128\ell = 64\text{Baht}$$

20. อัตราการไหลมวลของก๊าซอะเซทิลีนที่ใช้

20.1 อัตราการไหลมวลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงอุ่นเตา

จากสมการ

$$m_f = \rho \Delta V_{fuel}$$

$$\text{อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงอุ่นเตา } (\Delta V_{fuel}) = 0.1277 \ell/s$$

$$= 1.277 \times 10^{-4} \text{ m}^3/s$$

$$\text{ค่าความหนาแน่นก๊าซอะเซทิลีน } (\rho) = 1.17 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1.17 \text{ kg/m}^3$$

$$m_f = 1.17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (1.277 \times 10^{-4}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$m_f = 1.4940 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

20.2 อัตราการไหลมวลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงหลอมโลหะ

อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงหลอมโลหะ (ΔV_{fuel})

$$= 0.1294 \text{ l/s} = 1.294 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

ค่าความหนาแน่นก๊าซอะเซทิลีน(ρ) = 1.17 kg/m³

$$m_f = 1.17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (1.294 \times 10^{-4}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$m_f = 1.5139 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

21. พลังงานความร้อนที่เข้าในเตาทดสอบ (Q_{in})

จากสมการ กำลังที่เข้าในเตาทดสอบ

$$P_{\text{in}} = m_f LHV$$

21.1 พลังงานความร้อนที่เข้าในเตาทดสอบช่วงอุ่นเตา

ค่าความร้อนต่ำของก๊าซอะเซทิลีน(LHV) = 56700 kJ/m³

(จาก Roderick Fletcher GTZ. , 1984)

มวลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงอุ่นเตา (m_p) = 1.277 × 10⁻⁴ m³/s

$$P_{\text{in}} = 1.277 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 56700 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

$$P_{\text{in}} = 7.2405 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 7.2405 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{\text{in}} = P_{\text{in}} \text{ time}_{\text{melt}}$$

$$Q_{\text{in}} = 7.2405 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (30 \times 60) \text{s} = 13033.06 \text{ kJ}$$

21.2 พลังงานความร้อนที่เข้าในเตาทดสอบช่วงหลอมโลหะ

ค่าความร้อนต่ำของก๊าซอะเซทิลีน(HHV) = 56700 kJ/m³

(จาก Roderick Fletcher GTZ. , 1984)

มวลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงหลอมโลหะ (m_p) = 1.294 × 10⁻⁴ m³/s

$$P_{\text{in}} = 1.294 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 56700 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

$$P_{\text{in}} = 7.3369 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 7.3369 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{\text{in}} = P_{\text{in}} \text{ time}_{\text{melt}}$$

$$Q_{\text{in}} = 7.3369 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (60 \times 60) \text{s} = 26412.84 \text{ kJ}$$

22. พลังงานที่สูญเสียจากการพาร่วมกับการนำความร้อน (Q_{loss})

จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการพาร่วมกับการนำความร้อน

$$P_{loss} = UA_{total}(T_1 - T_{n+1})$$

พื้นที่ผิวด้านนอกของเตาทดสอบทั้งหมด (A_{total})	= 2.1381 m ²
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)	= 0.3289 W/m ² ·K
อุณหภูมิผิวด้านนอกสุด (T_{n+1})	= (119 + 273) K
อุณหภูมิด้านในผนังห้องเผาไหม้ (T_1)	= (1156 + 273) K

$$P_{loss} = 0.3289 \frac{W}{m^2 \cdot K} \times 2.1381 m^2 (1429 - 392) K$$

$$P_{loss} = 729.2402 W = 0.7292 kW$$

$$\therefore Q_{loss} = P_{loss} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{loss} = 0.729 \frac{kJ}{s} (60 \times 60) s = 2624.4 kJ$$

23. ปริมาณอากาศที่เข้าเตาทดสอบ

จากสมการ

$$V = vA_{in}$$

ความเร็วอากาศจากพัดลมเป่าอากาศเฉลี่ย (V) = 1.68 m/s

พื้นที่หน้าตัดท่ออากาศเข้าเตาทดสอบ (A_{in}) = 40 mm² = 1.256 × 10⁻³ m²

$$V = 1.68 \frac{m}{s} (1.256 \times 10^{-3}) m^2$$

$$V = 2.110 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

24. อัตราการไหลมวลของอากาศที่เข้าเตาทดสอบ

จากสมการ

$$m_a = \rho V$$

ความหนาแน่นอากาศที่ความดันคงที่ (ρ) = 1.29 kg/m³

$$m_a = 1.29 \frac{kg}{m^3} (2.110 \times 10^{-3}) \frac{m^3}{s}$$

$$m_a = 2.7220 \times 10^{-3} \frac{kg}{s}$$

25. อัตราการไหลมวลของอากาศและก๊าซออกซิเจนที่เข้าเตาทดสอบช่วงหลอมโลหะ

$$m_{a_{total}} = m_a + m_{ox}$$

$$m_{a_{total}} = 2.722 \times 10^{-3} + 3.526 \times 10^{-5} kg/s$$

$$m_{a_{total}} = 2.757 \times 10^{-3} kg/s$$

26. พลังงานที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อนไอเสีย ($Q_{fuel-loss}$)
จากสมการ กำลังที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อนไอเสีย

$$P_{fuel-loss} \approx (m_f + m_{a total}) c_{p_a} (T_{exh} - T_{amb})$$

$$\text{มวลของอากาศที่เข้าเตาทดสอบ} (m_{a total}) = 2.757 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$\text{มวลของก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้} (m_f) = 1.7936 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

$$\text{ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่} (C_{p_a}) = 1.4988 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

(จาก โยชิโกะ ทาคามูระ , 2543 หน้า 193)

$$\text{อุณหภูมิที่ปล่องไอเสีย} (T_{exh}) = (1102 + 273) \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อม} (T_{amb}) = (30 + 273) \text{ K}$$

$$P_{fuel-loss} \approx (1.7936 \times 10^{-4} + 2.757 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}) 1.4988 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (1375 - 303) \text{K}$$

$$P_{fuel-loss} = 4.7178 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 4.7178 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{fuel-loss} = P_{fuel-loss} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{fuel-loss} = 4.7178 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (60 \times 60) \text{ s} = 16984.08 \text{ kJ}$$

27. พลังงานที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังเตาด้านนอก ($Q_{emission}$)
จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังเตาด้านนอก

$$P_{emission} = A_{sur} \epsilon_{sur} \sigma (T_{sur}^4 - T_{amb}^4)$$

$$\text{พื้นที่ผิวผนังด้านนอกเตาทดสอบ} (A_{sur}) = 0.6144 \text{ m}^2$$

$$\text{ค่าสภาพการเปล่งรังสีของพื้นผิววัสดุ} (\epsilon_{sur}) = 0.39$$

$$\text{ค่าคงที่ของสเตฟาน - โบลต์ซมันน์} (\sigma) = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

$$\text{อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ} (T_{sur}) = 143 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อม} (T_{amb}) = 30 + 273 \text{ K}$$

$$P_{emission} = 0.6144 \text{ m}^2 \times 0.39 \times (5.67 \times 10^{-8}) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} (416^4 - 303^4) \text{ K}^4$$

$$P_{emission} = 0.292 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{emission} = P_{emission} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{emission} = 0.292 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (60 \times 60) \text{ s} = 1051.2 \text{ kJ}$$

28. พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อนผ่านผนังท่อไอเสีย จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อนท่อไอเสีย

$$P_{loss} = \frac{(T_1 - T_{n+1})}{\sum R}$$

$$\text{อุณหภูมิภายในท่อไอเสีย } (T_1) = 1102 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อมด้านนอกที่ผิวท่อไอเสีย } (T_{n+1}) = 594 + 273 \text{ K}$$

$$\text{ค่าความต้านทานรวมของตัวกลาง } (\sum R) = 5.105 \text{ K/W}$$

$$P_{loss} = \frac{(1375 - 867) \text{ K} \cdot \text{W}}{5.105 \text{ K}}$$

$$P_{loss} = 0.099 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{loss} = P_{loss} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{loss} = 0.099 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (60 \times 60) \text{ s} = 356.4 \text{ kJ}$$

29. พลังงานสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการแผ่รังสีออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย

$$P_{emission} = A_{sur} \epsilon_{sur} \sigma (T_{sur}^4 - T_{amb}^4)$$

$$\text{พื้นที่ผิวท่อไอเสีย } (A_{sur}) = 0.0377 \text{ m}^2$$

$$\text{สภาพการเปล่งรังสีของผิววัสดุ } (\epsilon_{sur}) = 0.52$$

$$\text{ค่าคงที่ของสเตฟาน - โบลต์ซมันน์ } (\sigma) = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

$$\text{อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ } (T_{sur}) = 594 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อม } (T_{amb}) = 30 + 273 \text{ K}$$

$$P_{emission} = 0.0377 \text{ m}^2 \times 0.52 \times (5.67 \times 10^{-8}) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} (867^4 - 303^4) \text{ K}^4$$

$$P_{emission} = 0.618 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{emission} = P_{emission} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{emission} = 0.618 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (60 \times 60) \text{ s} = 2224.8 \text{ kJ}$$

พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อนผ่านผนังท่อไอเสีย และพลังงานสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย จะไม่นำมาคิดพลังงานที่สูญเสียในเตาทดสอบเนื่องจากเป็นทางวิ่งผ่านของก๊าซไอเสียร้อนออกจากห้องเผาไหม้ที่ถือว่าเป็นส่วนภายนอกเตาทดสอบ

30. พลังงานที่ใช้ในเตาทดสอบ (Q_{work})

จากสมการ กำลังที่ใช้ในเตาทดสอบ

$$Q_{work} = Q_{in} - (Q_{loss} + Q_{fuel-loss} + Q_{emission})$$

$$\text{พลังงานที่เข้าเตาทดสอบ } (Q_{in}) = 26412.84 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อน } (Q_{fuel-loss}) = 16984.08 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่สูญเสียจากการพาาร่วมกับการนำความร้อน } (Q_{loss}) = 2624.4 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนผนังเตาทดสอบ } (Q_{emission}) = 1051.2 \text{ kJ}$$

$$Q_{work} = 26412.84 - (2624.4 + 16984.08 + 1051.2) \text{ kJ}$$

$$Q_{work} = 5753.16 \text{ kJ}$$

31. ประสิทธิภาพของเตาทดสอบในเชิงการใช้เชื้อเพลิงที่สภาวะคงที่ (Steady state)

จากสมการ

$$\eta_{net} = \frac{Q_{work}}{Q_{in}} \cdot 100\%$$

$$\text{พลังงานที่ใช้ในเตาทดสอบ } (Q_{work}) = 5753.16 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่เข้าเตาทดสอบ } (Q_{in}) = 26412.84 \text{ kJ}$$

$$\eta_{net} = \frac{5753.16 \text{ kJ}}{26412.84 \text{ kJ}} \cdot 100\%$$

$$\eta_{net} = 21.78\%$$

32. เวลาที่ใช้ในการหลอมทางทฤษฎี

จากสมการ

$$time_{theory} = \frac{(Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat}) + Q_{crucible} + Q_{chamber}}{P_{work}}$$

$$\text{พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะ } 264 - 940 \text{ }^{\circ}\text{C } (Q_{preheat}) = 86.45 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายโลหะ } 940 - 978 \text{ }^{\circ}\text{C } (Q_{melt}) = 114.50 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะเหลว } 978 - 1070 \text{ }^{\circ}\text{C } (Q_{superheat}) = 10.879 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานเพิ่มอุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ } 30 - 1102 \text{ }^{\circ}\text{C } (Q_{chamber}) = 5231.01 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานเพิ่มอุณหภูมิเข้าหลอม } 30 - 940 \text{ }^{\circ}\text{C } (Q_{crucible}) = 480.48 \text{ kJ}$$

$$\text{กำลังที่ใช้ในเตาทดสอบ } (P_{in}) = 1.598 \text{ kJ/s}$$

$$time_{theory} = \frac{(86.45 + 114.50 + 10.879) + 480.48 + 5231.016 kJ}{1.598 kJ/s}$$

$$time_{theory} = 3706.47 s. = 61.77 \text{ min.}$$

33. ประสิทธิภาพเตาทดสอบในเชิงความร้อนทางทฤษฎี (η)

จากสมการ

$$\eta = \frac{Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat}}{P_{in} \cdot time_{melt}} \times 100\%$$

พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะ 264 – 940 °C ($Q_{preheat}$) = 86.45 kJ

พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายโลหะ 940 – 978 °C (Q_{melt}) = 114.50 kJ

พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะเหลว 978 - 1070 °C ($Q_{superheat}$) = 10.879 kJ

กำลังที่เข้าเตาทดสอบ (P_{in}) = 7.336 kJ/s

$$\eta = \frac{(86.45 + 114.50 + 10.879) kJ}{7.336 kJ/s \times 3600 s} \times 100\%$$

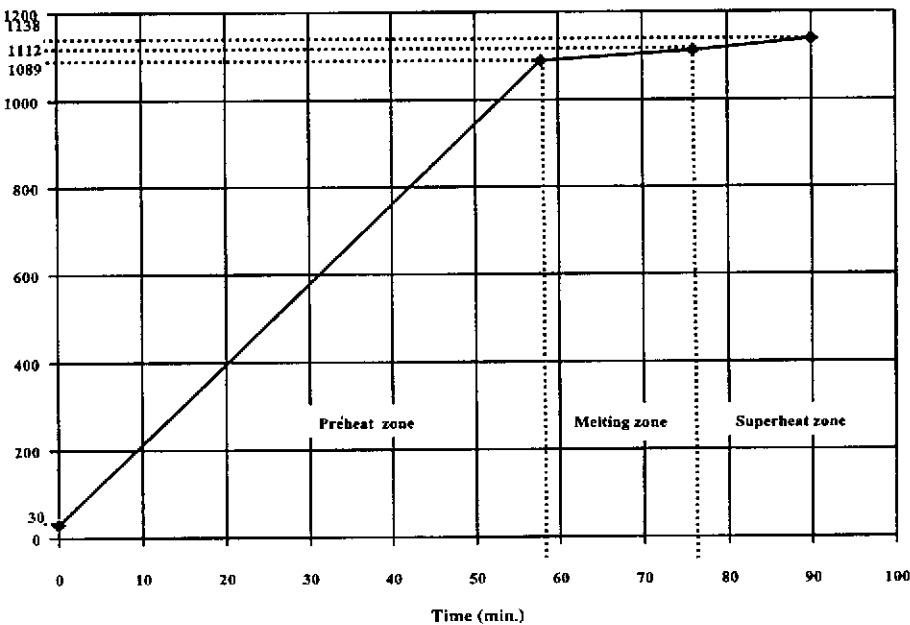
$$\eta = 0.80\%$$

สรุปจากการทดลองหลอมโลหะทองแดงผสมสังกะสี 30 % ในปริมาณ 250 กรัม

1. พลังงานความร้อนที่เข้าในเตาทดสอบ (Q_{in}) = 26412.84 kJ
2. พลังงานความร้อนที่ใช้ในเตาทดสอบ (Q_{work}) = 5753.16 kJ
3. พลังงานที่ใช้ในการหลอมโลหะ ($Q_{metal\ melt}$) = 211.82 kJ/250 g
4. เตาทดสอบมีประสิทธิภาพในเชิงการใช้เชื้อเพลิง = 21.78%
5. เตาทดสอบมีประสิทธิภาพทางทฤษฎี = 0.80%

การคำนวณทดสอบหลอมโลหะครั้งที่ 6

- ชนิดโลหะที่ทดสอบ บรอนซ์อะลูมิเนียม
- น้ำหนักก่อนการหลอม 250 g
- ส่วนผสมโลหะที่ทดสอบ ทองแดง 80% อะลูมิเนียม 20%
- หัวเผาที่ใช้แบบที่ 1
- อุณหภูมิเริ่มหลอมละลาย 1089 °C
- อุณหภูมิเทออกน้ำโลหะ 1138 °C
- น้ำหนักโลหะหลังการหลอม 248 g
- เวลาที่ใช้ในการหลอม 90 min.
- พลังงานในการหลอมโลหะ ($Q_{\text{metal melt}}$)



9.1 พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 – 1089 °C (Q_{preheat})

จากสมการ

$$Q_{\text{preheat}} = c_{p, \text{solid}} m (T_m - T_{\text{amb}})$$

ค่าความร้อนจำเพาะของโลหะทองแดง ($c_{p, \text{solid}}$)

(จาก Metal hand book , 1996) = 0.473 kJ/kg . K

มวลของโลหะ (m) = 250 g

อุณหภูมิโลหะก่อนการหลอม (T_{amb}) = 30 + 273 K

อุณหภูมิโลหะถึงจุดหลอมละลาย (T_m) = 1089 + 273 K

$$Q_{preheat} = 0.473 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times \frac{250}{1000} kg (1362 - 303) K$$

$$Q_{preheat} = 125.226 kJ$$

9.2 พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายที่อุณหภูมิ 1089 - 1112 °C (Q_{melt})

จากสมการ

$$Q_{melt} = mL$$

ค่าความร้อนแฝงหลอมเหลวของโลหะทองแดง (L)

(จาก Metal hand book , 1996) = 297 kJ/kg

$$Q_{melt} = \frac{250}{1000} kg \times 297 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{melt} = 74.25 kJ$$

9.3 พลังงานในการทำให้โลหะหลอมมีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 1112 - 1138 °C

($Q_{superheat}$)

จากสมการ

$$Q_{superheat} = c_{P_{liquid}} m (T_{superheat} - T_m)$$

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของโลหะทองแดงผสมอะลูมิเนียม ($c_{p_{liquid}}$)

(จาก Metal hand book , 1996) = 0.787 kJ/kg . K

อุณหภูมิโลหะที่จุดหลอมละลาย (T_m) = 1108 + 273 K

อุณหภูมิโลหะที่จุดเหน้าโลหะ ($T_{superheat}$) = 1124 + 273 K

$$Q_{superheat} = 0.787 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times \frac{250}{1000} kg (1411 - 1385) K$$

$$Q_{superheat} = 5.1155 kJ$$

9.4 พลังงานที่ใช้ในการหลอมโลหะ ($Q_{metal\ melt}$)

จากสมการ

$$Q_{metal\ melt} = Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat}$$

$$Q_{metal\ melt} = (125.226 + 74.25 + 5.115) kJ$$

$$Q_{metal\ melt} = 204.591 kJ / 250g$$

10. พลังงานที่ทำให้ผนังห้องเผาไหม้เพิ่มอุณหภูมิจาก 30 - 1188 °C ($Q_{chamber}$)

จากสมการ

$$Q_{chamber} = m_{chamber} c_p (T_m - T_{amb})$$

มวลผนังห้องเผาไหม้ ($m_{chamber}$) = 5.304 kg

ค่าความจุความร้อนจำเพาะวัสดุผนังห้องเผาไหม้

Thermal Ceramic 85P (c_p) = 0.92 kJ/kg . K

อุณหภูมิแวดล้อมผนังห้องเผาไหม้เริ่มต้น (T_{amb}) = 30 + 273 K

อุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ถึงจุดหลอมละลาย (T_m) = 1188 + 273 K

$$Q_{chamber} = 5.304 \text{ kg} \times 0.92 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (1461 - 303) \text{ K}$$

$$Q_{chamber} = 5650.6694 \text{ kJ}$$

11. พลังงานที่ทำให้เข้าหลอมเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 – 1089 °C ($Q_{crucible}$)

จากสมการ

$$Q_{crucible} = m_{crucible} c_p (T_m - T_{amb})$$

มวลเข้าหลอม ($m_{crucible}$) = 0.55 kg

ค่าความจุความร้อนจำเพาะเข้าหลอมวัสดุ Alumina (c_p) = 0.96 kJ/kg . K

อุณหภูมิแวดล้อมผนังห้องเผาไหม้เริ่มต้น (T_{amb}) = 30 + 273 K

อุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ถึงจุดหลอมละลาย (T_m) = 1089 + 273 K

$$Q_{crucible} = 0.55 \text{ kg} \times 0.96 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (1362 - 303) \text{ K}$$

$$Q_{crucible} = 559.152 \text{ kJ}$$

12. ปริมาณการใช้ก๊าซออกซิเจนที่ความดันบรรยากาศ (1bar)

12.1 ปริมาณการใช้ก๊าซออกซิเจนช่วงอุ่นเตา

จากสมการ

$$\Delta V_{ox} = \frac{V_{vessel} (P_1 - P_2)}{P_{amb}}$$

ปริมาตรถังบรรจุก๊าซ (V_{vessel}) = 40 ℓ

ความดันตั้งก๊าซก่อนใช้งาน (P_1) = 9.87 bar

ความดันตั้งก๊าซหลังใช้งาน (P_2) = 9.34 bar

$$\Delta V_{ox} = \frac{40 \ell (9.87 - 9.34) \text{ bar}}{1 \text{ bar}}$$

$$\Delta V_{ox} = 21.2 \ell$$

อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนช่วงอุ่นเตา

$$21.2\ell/1800s = 1.177 \times 10^{-2} \ell/s = 1.177 \times 10^{-5} m^3/s$$

12.2 ปริมาณการใช้ก๊าซออกซิเจนช่วงหลอมโลหะ

จากสมการ

$$\Delta V_{ox} = \frac{V_{vessel}(P_1 - P_2)}{P_{amb}}$$

$$\text{ปริมาณถังบรรจุก๊าซ (} V_{vessel} \text{)} = 40 \ell$$

$$\text{ความดันถังก๊าซก่อนใช้งาน (} P_1 \text{)} = 9.34 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถังก๊าซหลังใช้งาน (} P_2 \text{)} = 5.99 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{ox} = \frac{40\ell(9.34 - 5.99)\text{bar}}{1\text{bar}}$$

$$\Delta V_{ox} = 134\ell$$

อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนช่วงหลอมโลหะ

$$134\ell/5400s = 2.481 \times 10^{-2} \ell/s = 2.481 \times 10^{-5} m^3/s$$

13. อัตราการไหลมวลของก๊าซออกซิเจนที่เข้าในเตาทดสอบ

13.1 อัตราการไหลมวลของก๊าซออกซิเจนช่วงอุ่นเตา

จากสมการ

$$m_{ox} = \rho \Delta V_{ox}$$

$$\text{ความหนาแน่นของก๊าซออกซิเจน (} \rho \text{)} = 1.43 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน (} \Delta V_{ox} \text{)} = 1.177 \times 10^{-5} m^3/s$$

$$m_{0x} = 1.43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (1.177 \times 10^{-5}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$m_{ox} = 1.683 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

13.2 อัตราการไหลมวลของก๊าซออกซิเจนช่วงหลอมโลหะ

จากสมการ

$$m_{0x} = \rho \Delta V_{ox}$$

$$\text{ความหนาแน่นของก๊าซออกซิเจน (} \rho \text{)} = 1.43 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน (} \Delta V_{ox} \text{)} = 2.481 \times 10^{-5} m^3/s$$

$$m_{ox} = 1.43 \frac{kg}{m^3} (2.481 \times 10^{-5}) \frac{m^3}{s}$$

$$m_{ox} = 3.547 \times 10^{-5} kg/s$$

14. ค่าใช้จ่ายก๊าซออกซิเจน ปริมาตรบรรจุ 6000 ลิตร ราคาถังละ 120 บาท

$$0.02 Baht/\ell \times (21.2 + 134)\ell = 3.10 Baht$$

15. ปริมาณการใช้ก๊าซอะเซทิลีน

- 15.1 ปริมาณการใช้ก๊าซอะเซทิลีนช่วงอุ่นเตา

จากสมการ

$$\Delta V_{fuel} = \frac{V_f}{P_{max}} (P_1 - P_2)$$

$$\text{ปริมาณก๊าซเต็มถัง } (V_f) = 3000 \ell$$

$$\text{ความดันสูงสุดถึงก๊าซ } (P_{max}) = 15 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถึงก๊าซก่อนใช้งาน } (P_1) = 8.49 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถึงก๊าซหลังใช้งาน } (P_2) = 7.35 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{fuel} = \frac{3000\ell}{15bar} (8.49 - 7.35)bar$$

$$\Delta V_{fuel} = 228\ell$$

อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงอุ่นเตา

$$228\ell / 1800s = 0.1266\ell/s$$

- 15.2 ปริมาณการใช้ก๊าซอะเซทิลีนช่วงหลอมโลหะ

จากสมการ

$$\Delta V_{fuel} = \frac{V_f}{P_{max}} (P_1 - P_2)$$

$$\text{ปริมาณก๊าซเต็มถัง } (V_f) = 3000 \ell$$

$$\text{ความดันสูงสุดถึงก๊าซ } (P_{max}) = 15 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถึงก๊าซก่อนใช้งาน } (P_1) = 7.35 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถึงก๊าซหลังใช้งาน } (P_2) = 3.85 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{fuel} = \frac{3000\ell}{15bar} (7.35 - 3.85)bar$$

$$\Delta V_{fuel} = 700\ell$$

อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงหลอมโลหะ

$$700\ell / 5400s = 0.1296\ell / s$$

16. ค่าใช้จ่ายก๊าซอะเซทิลีน ปริมาตรบรรจุ 3000 ลิตร ราคาถังละ 630 บาท

$$0.21\text{Baht} / \ell \times (228 + 700)\ell = 194.88\text{Baht}$$

17. ปริมาตรการใช้ก๊าซอาร์กอนที่ความดันบรรยากาศ (1 bar)

จากสมการ

$$\Delta V_{ar} = \frac{V_{vessel}(P_1 - P_2)}{P_{amb}}$$

$$\text{ปริมาตรถังบรรจุก๊าซ (} V_{vessel} \text{)} = 40 \ell$$

$$\text{ความดันถังก๊าซก่อนใช้งาน (} P_1 \text{)} = 130 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถังก๊าซหลังใช้งาน (} P_2 \text{)} = 125.4 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{ar} = \frac{40\ell(130 - 125.4)\text{bar}}{1\text{bar}}$$

$$\Delta V_{ar} = 184\ell$$

18. อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน

$$184\ell / 5400s = 3.407 \times 10^{-2} \ell / s$$

19. ค่าใช้จ่ายก๊าซอาร์กอน ปริมาตรบรรจุ 6000 ลิตร ราคาถังละ 3000 บาท

$$0.50\text{Baht} / \ell \times 184\ell = 92\text{Baht}$$

20. อัตราการไหลมวลของก๊าซอะเซทิลีนที่ใช้

20.1 อัตราการไหลมวลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงอุ่นเตา

จากสมการ

$$m_f = \rho \Delta V_{fuel}$$

$$\text{อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงอุ่นเตา (} \Delta V_{fuel} \text{)} = 0.1266 \ell / s$$

$$= 1.266 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / s$$

$$\text{ค่าความหนาแน่นก๊าซอะเซทิลีน (} \rho \text{)} = 1.17 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$m_f = 1.17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (1.266 \times 10^{-4}) \frac{\text{m}^3}{s}$$

$$m_f = 1.4812 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{s}$$

20.2 อัตราการไหลมวลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงหลอมโลหะ

$$\text{อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงหลอมโลหะ (} \Delta V_{fuel} \text{)}$$

$$= 0.1296 \text{ l/s} = 1.296 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{ค่าความหนาแน่นก๊าซอะเซทิลีน}(\rho) = 1.17 \text{ kg/m}^3$$

$$m_f = 1.17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (1.296 \times 10^{-4}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$m_f = 1.5163 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

21. พลังงานความร้อนที่เข้าไปในเตาทดสอบ (Q_{in})

จากสมการ กำลังที่เข้าไปในเตาทดสอบ

$$P_{in} = m_f LHV$$

21.1 พลังงานที่เข้าไปในเตาทดสอบช่วงอุ่นเตา

$$\text{ค่าความร้อนต่ำของก๊าซอะเซทิลีน(LHV)} = 56700 \text{ kJ/m}^3$$

(จาก Roderick Fletcher GTZ. , 1984)

$$\text{มวลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงอุ่นเตา} (m_f) = 1.266 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_{in} = 1.266 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 56700 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

$$P_{in} = 7.1782 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 7.1782 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{in} = P_{in} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{in} = 7.1782 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (30 \times 60) \text{ s} = 12920.79 \text{ kJ}$$

21.2 พลังงานที่เข้าไปในเตาทดสอบช่วงหลอมโลหะ

$$\text{ค่าความร้อนต่ำของก๊าซอะเซทิลีน(LHV)} = 56700 \text{ kJ/m}^3$$

(จาก Roderick Fletcher GTZ. , 1984)

$$\text{มวลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงหลอมโลหะ} (m_f) = 1.296 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_{in} = 1.296 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 56700 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

$$P_{in} = 7.3483 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 7.3483 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{in} = P_{in} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{in} = 7.348 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (90 \times 60) \text{ s} = 39680.82 \text{ kJ}$$

22. พลังงานที่สูญเสียจากการพาร่วมกับการนำความร้อน (Q_{loss})

จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการพาร่วมกับการนำความร้อน

$$P_{loss} = UA_{total} (T_1 - T_{n+1})$$

$$\text{พื้นที่ผนังเตาทดสอบทั้งหมด} (A_{total}) = 2.1381 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)} &= 0.3289 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \\ \text{อุณหภูมิผนังเตาด้านนอกสุด (T}_{n+1}\text{)} &= (161 + 273) \text{ K} \\ \text{อุณหภูมิด้านในผนังห้องเผาไหม้ (T}_1\text{)} &= (1228 + 273) \text{ K} \end{aligned}$$

$$P_{loss} = 0.3289 \frac{W}{m^2 \cdot K} \times 2.1381 m^2 (1501 - 434) K$$

$$P_{loss} = 750.3369 W = 0.7503 kW$$

$$\therefore Q_{loss} = P_{loss} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{loss} = 0.750 \frac{kJ}{s} (90 \times 60) s = 4050 kJ$$

23. ปริมาตรอากาศที่เข้าเตาทดสอบ

จากสมการ

$$V = vA_{in}$$

$$\text{ความเร็วอากาศจากพัดลมเป่าอากาศเฉลี่ย (V)} = 1.68 \text{ m/s}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดท่ออากาศเข้าเตาทดสอบ (A}_{in}\text{)} = 40 \text{ mm}^2 = 1.256 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = 1.68 \frac{m}{s} (1.256 \times 10^{-3}) m^2$$

$$V = 2.110 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

24. อัตราการไหลมวลของอากาศที่เข้าเตาทดสอบ

จากสมการ

$$m_a = \rho V$$

$$\text{ความหนาแน่นอากาศที่ความดันคงที่ (\rho)} = 1.29 \text{ kg/m}^3$$

$$m_a = 1.29 \frac{kg}{m^3} (2.110 \times 10^{-3}) \frac{m^3}{s}$$

$$m_a = 2.7220 \times 10^{-3} \frac{kg}{s}$$

25. อัตราการไหลมวลของอากาศและก๊าซออกซิเจนที่เข้าเตาทดสอบช่วงหลอมโลหะ

$$m_{a_{total}} = m_a + m_{ox}$$

$$m_{a_{total}} = 2.722 \times 10^{-3} + 3.547 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

$$m_{a_{total}} = 2.757 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

26. พลังงานที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อนไอเสีย (Q_{fuel-loss})

จากสมการ กำลังที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อนไอเสีย

$$P_{fuel-loss} \approx (m_f + m_{a_{total}}) c_{p_a} (T_{exh} - T_{amb})$$

มวลของอากาศที่เข้าเตาทดสอบ ($m_{a_{total}}$) = 2.7574×10^{-3} kg/s

มวลของก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้ (m_f) = 1.516×10^{-4} kg/s

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่ (c_{p_a}) = 1.4988 kJ/kg · K
(จาก โยชิโกะ ทาคามูระ , 2543 หน้า 193)

อุณหภูมิที่ปล่องไอเสีย (T_{exh}) = $(1188 + 273)$ K

อุณหภูมิแวดล้อม (T_{amb}) = $(30 + 273)$ K

$$P_{fuel-loss} \approx (1.516 \times 10^{-4} + 2.7574 \times 10^{-3} \frac{kg}{s}) 1.4988 \frac{kJ}{kg \cdot K} (1461 - 303) K$$

$$P_{fuel-loss} = 5.0490 \frac{kJ}{s} = 5.049 kW$$

$$\therefore Q_{fuel-loss} = P_{fuel-loss} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{fuel-loss} = 5.049 \frac{kJ}{s} (90 \times 60) s = 27264.6 kJ$$

27. พลังงานที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังเตาด้านนอก ($Q_{emission}$) จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังเตาด้านนอก

$$P_{emission} = A_{sur} \epsilon_{sur} \sigma (T_{sur}^4 - T_{amb}^4)$$

พื้นที่ผิวผนังด้านนอกเตาทดสอบ (A_{sur}) = 0.6144 m²

ค่าสภาพการเปล่งรังสีของพื้นผิววัสดุ (ϵ_{sur}) = 0.41

ค่าคงที่ของสเตฟาน - โบลต์ซมันน์ (σ) = 5.67×10^{-8} W/m² · K⁴

อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ (T_{sur}) = $161 + 273$ K

อุณหภูมิแวดล้อม (T_{amb}) = $30 + 273$ K

$$P_{emission} = 0.6144 m^2 \times 0.41 \times (5.67 \times 10^{-8}) \frac{W}{m^2 \cdot K^4} (434^4 - 303^4) K^4$$

$$P_{emission} = 0.386 kW$$

$$\therefore Q_{emission} = P_{emission} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{emission} = 0.386 \frac{kJ}{s} (90 \times 60) s = 20844 kJ$$

28. พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อนผ่านผนังท่อไอเสีย จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อนท่อไอเสีย

$$P_{loss} = \frac{(T_1 - T_{n+1})}{\Sigma R}$$

$$\text{อุณหภูมิภายในท่อไอเสีย (T}_1\text{)} = 1188 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อมด้านนอกที่ผิวท่อไอเสีย (T}_{n+1}\text{)} = 761 + 273 \text{ K}$$

$$\text{ค่าความต้านทานรวมของตัวกลาง (\Sigma R)} = 5.105 \text{ K/W}$$

$$P_{loss} = \frac{(1461 - 1034) \text{ K} \cdot \text{W}}{5.105 \text{ K}}$$

$$P_{loss} = 0.0836 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{loss} = P_{loss} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{loss} = 0.083 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (90 \times 60) \text{ s} = 448.2 \text{ kJ}$$

29. กำลังสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย
จากสมการ

$$P_{emission} = A_{sur} \epsilon_{sur} \sigma (T_{sur}^4 - T_{amb}^4)$$

$$\text{พื้นที่ผิวท่อไอเสีย (A}_{sur}\text{)} = 0.0377 \text{ m}^2$$

$$\text{สภาพการเปล่งรังสีของผิววัสดุ (\epsilon}_{sur}\text{)} = 0.62$$

$$\text{ค่าคงที่ของสเตฟาน - โบลต์ซมันน์ (\sigma)} = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ (T}_{sur}\text{)} = 775 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อม (T}_{amb}\text{)} = 30 + 273 \text{ K}$$

$$P_{emission} = 0.0377 \text{ m}^2 \times 0.62 \times (5.67 \times 10^{-8}) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} (1048^4 - 303^4) \text{ K}^4$$

$$P_{emission} = 1.5875 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{emission} = P_{emission} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{emission} = 1.587 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (90 \times 60) \text{ s} = 8569.8 \text{ kJ}$$

พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อนผ่านผนังท่อไอเสีย
และพลังงานสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย จะไม่
นำมาคิดพลังงานที่สูญเสียในเตาทดสอบเนื่องจากเป็นทางวิ่งผ่านของก๊าซไอเสีย
ร้อนออกจากห้องเผาไหม้ที่ถือว่าเป็นส่วนภายนอกเตาทดสอบ

30. พลังงานที่ใช้ในเตาทดสอบ (Q_{work})

จากสมการ

$$Q_{work} = Q_{in} - (Q_{loss} + Q_{fuel-loss} + Q_{emission})$$

พลังงานที่เข้าเตาทดสอบ (Q_{in}) = 39680.82 kJ

พลังงานที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อน ($Q_{fuel-loss}$) = 27264.6 kJ

พลังงานที่สูญเสียจากการพาาร่วมกับการนำความร้อน (Q_{loss}) = 4050 kJ

พลังงานที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนผนังเตาทดสอบ ($Q_{emission}$) = 2084.4 kJ

$$Q_{work} = 39680.82 - (4050 + 27264.6 + 2084.4)kJ$$

$$Q_{work} = 6281.82kJ$$

31. ประสิทธิภาพของเตาทดสอบในเชิงการใช้เชื้อเพลิงที่สภาวะคงที่ (Steady state)

จากสมการ

$$\eta_{net} = \frac{Q_{work}}{Q_{in}} \times 100\%$$

พลังงานที่ใช้ในเตาทดสอบ (Q_{work}) = 6281.82 kJ

พลังงานที่เข้าเตาทดสอบ (Q_{in}) = 39680.82 kJ

$$\eta_{net} = \frac{6281.82kJ}{39680.82kJ} \times 100\%$$

$$\eta_{net} = 15.82\%$$

32. เวลาที่ใช้ในการหลอมทางทฤษฎี

จากสมการ

$$time_{theory} = \frac{(Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat}) + Q_{crucible} + Q_{chamber}}{P_{work}}$$

พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะ 264 – 1089 °C ($Q_{preheat}$) = 125.226 kJ

พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายโลหะ 1089 – 1112 °C (Q_{melt}) = 74.25 kJ

พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะเหลว 1112 - 1138 °C ($Q_{superheat}$) = 5.115 kJ

พลังงานเพิ่มอุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ 30 – 1188 °C ($Q_{chamber}$) = 5650.6694 kJ

พลังงานเพิ่มอุณหภูมิเบ้าหลอม 30 – 1089 °C ($Q_{crucible}$) = 599.152 kJ

กำลังที่ใช้ในเตาทดสอบ (P_{work}) = 1.163 kJ/s

$$time_{theory} = \frac{(125.226 + 74.25 + 5.115) + 599.152 + 5650.669 kJ}{1.163 kJ / s}$$

$$time = 5549.79 s. = 92.49 \text{ min.}$$

33. ประสิทธิภาพเตาทดสอบในเชิงความร้อนทางทฤษฎี (η)

จากสมการ

$$\eta = \frac{Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat}}{P_{in} \cdot time_{melt}}$$

พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะ 264 – 1089 °C ($Q_{preheat}$) = 125.226 kJ

พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายโลหะ 1089 – 1112 °C (Q_{melt}) = 74.25 kJ

พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะเหลว 1112 - 1138 °C ($Q_{superheat}$) = 5.115 kJ

กำลังที่เข้าเตาทดสอบ (P_{in}) = 7.348 kW

$$\eta = \frac{125.226 + 74.25 + 5.115 kJ}{7.3483 kJ / s \times 5400 s} \times 100\%$$

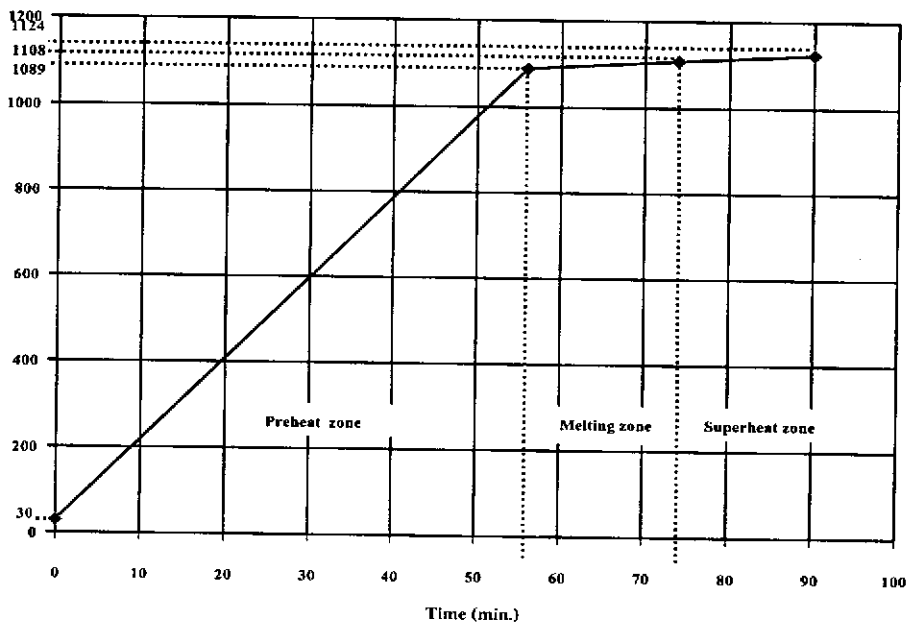
$$\eta = 0.51\%$$

สรุปจากการทดลองหลอมโลหะทองแดงผสมอะลูมิเนียม 20% ในปริมาณ 250 กรัม

1. พลังงานความร้อนที่เข้าในเตาทดสอบ (Q_{in}) = 39680.82 kJ
2. พลังงานความร้อนที่ใช้ในเตาทดสอบ (Q_{work}) = 6281.82 kJ
3. พลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมโลหะ ($Q_{metal\ melt}$) = 204.59 kJ/250 g
4. เตาทดสอบมีประสิทธิภาพในเชิงการใช้เชื้อเพลิง = 15.82%
5. เตาทดสอบมีประสิทธิภาพทางทฤษฎี = 0.51%

การคำนวณทดสอบหลอมโลหะครั้งที่ 7

1. ชนิดโลหะที่ทดสอบ บรอนซ์อะลูมิเนียม
2. น้ำหนักก่อนการหลอม 250 g
3. ส่วนผสมโลหะที่ทดสอบ ทองแดง 70% อะลูมิเนียม 30%
4. หัวเผาที่ใช้แบบที่ 1
5. อุณหภูมิเริ่มหลอมละลาย 1089 °C
6. อุณหภูมิเทออกน้ำโลหะ 1124 °C
7. น้ำหนักโลหะหลังการหลอม 240 g
8. เวลาที่ใช้ในการหลอม 90 min.
9. พลังงานในการหลอมโลหะ ($Q_{\text{metal melt}}$)



9.1 พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 – 1089 °C (Q_{preheat})

จากสมการ

$$Q_{\text{preheat}} = c_{p, \text{solid}} m (T_m - T_{\text{amb}})$$

ค่าความร้อนจำเพาะของโลหะทองแดง ($c_{p, \text{solid}}$)

(จาก Metal hand book , 1996) = 0.473 kJ/kg . K

มวลของโลหะ (m) = 250 g

อุณหภูมิโลหะก่อนการหลอม (T_{amb}) = 30 + 273 K

อุณหภูมิโลหะถึงจุดหลอมละลาย (T_m) = 1089 + 273 K

$$Q_{preheat} = 0.473 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times \frac{250}{1000} kg (1362 - 303) K$$

$$Q_{preheat} = 125.2267 kJ$$

9.2 พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายที่อุณหภูมิ 1089 - 1108 °C (Q_{melt})

จากสมการ

$$Q_{melt} = mL$$

ค่าความร้อนแฝงหลอมเหลวของโลหะทองแดง (L)

(จาก Metal hand book , 1996) = 297 kJ/kg

$$Q_{melt} = \frac{250}{1000} kg \times 297 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{melt} = 74.25 kJ$$

9.3 พลังงานในการทำให้โลหะหลอมมีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 1108 - 1124 °C ($Q_{superheat}$)

จากสมการ

$$Q_{superheat} = c_{p liquid} m (T_{superheat} - T_m)$$

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของโลหะทองแดงผสมอะลูมิเนียม ($c_{p liquid}$)

(จาก Metal hand book , 1996) = 0.787 kJ/kg . K

อุณหภูมิโลหะที่จุดหลอมละลาย (T_m) = 1108 + 273 K

อุณหภูมิโลหะที่จุดเทน้ำโลหะ ($T_{superheat}$) = 1124 + 273 K

$$Q_{superheat} = 0.787 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times \frac{250}{1000} kg (1397 - 1381) K$$

$$Q_{superheat} = 3.148 kJ$$

9.4 พลังงานที่ใช้ในการหลอมโลหะ ($Q_{metal melt}$)

จากสมการ

$$Q_{metal melt} = Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat}$$

$$Q_{metal melt} = (125.226 + 74.25 + 3.148) kJ$$

$$Q_{metal melt} = 202.624 kJ / 250 g$$

10. พลังงานที่ทำให้ผนังห้องเผาไหม้เพิ่มอุณหภูมิจาก 30 - 1172 °C ($Q_{chamber}$)

จากสมการ

$$Q_{chamber} = m_{chamber} c_p (T_m - T_{amb})$$

มวลผนังห้องเผาไหม้ ($m_{chamber}$) = 5.304 kg

ค่าความจุความร้อนจำเพาะวัสดุผนังห้องเผาไหม้

Thermal Ceramic 85P = 0.92 kJ/kg · K

อุณหภูมิแวดล้อมผนังห้องเผาไหม้เริ่มต้น (T_{amb}) = 30 + 273 K

อุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ถึงจุดหลอมละลาย (T_m) = 1172 + 273 K

$$Q_{chamber} = 5.304 \text{ kg} \times 0.92 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (1445 - 303) \text{ K}$$

$$Q_{chamber} = 5572.5945 \text{ kJ}$$

11. พลังงานที่ทำให้เบ้าหลอมเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 – 1089 °C ($Q_{crucible}$)

จากสมการ

$$Q_{crucible} = m_{crucible} c_p (T_m - T_{amb})$$

มวลเบ้าหลอม ($m_{crucible}$) = 0.55 kg

ค่าความจุความร้อนจำเพาะเบ้าหลอมวัสดุ Aluminas (c_p) = 0.96 kJ/kg · K

อุณหภูมิแวดล้อมผนังห้องเผาไหม้เริ่มต้น (T_{amb}) = 30 + 273 K

อุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ถึงจุดหลอมละลาย (T_m) = 1089 + 273 K

$$Q_{crucible} = 0.55 \text{ kg} \times 0.96 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (1362 - 303) \text{ K}$$

$$Q_{crucible} = 559.152 \text{ kJ}$$

12. ปริมาตรการใช้ก๊าซออกซิเจนที่ความดันบรรยากาศ (1bar)

12.1 ปริมาตรการใช้ก๊าซออกซิเจนช่วงอุ่นเตา

จากสมการ

$$\Delta V_{ox} = \frac{V_{vessel} (P_1 - P_2)}{P_{amb}}$$

ปริมาตรถังบรรจุก๊าซ (V_{vessel}) = 40 ℓ

ความดันตั้งก๊าซก่อนใช้งาน (P_1) = 13.70 bar

ความดันตั้งก๊าซหลังใช้งาน (P_2) = 13.18 bar

$$\Delta V_{ox} = \frac{40 \ell (13.70 - 13.18) \text{ bar}}{1 \text{ bar}}$$

$$\Delta V_{ox} = 20.8 \ell$$

อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนช่วงอุ่นเตา

$$20.8\ell/1800s = 1.1555 \times 10^{-2} \ell/s = 1.155 \times 10^{-5} m^3/s$$

12.2 ปริมาณการใช้ก๊าซออกซิเจนช่วงหลอมโลหะ

จากสมการ

$$\Delta V_{ox} = \frac{V_{vessel}(P_1 - P_2)}{P_{amb}}$$

$$\text{ปริมาตรถังบรรจุก๊าซ (V}_{vessel}\text{)} = 40 \ell$$

$$\text{ความดันตั้งก๊าซก่อนใช้งาน (P}_1\text{)} = 13.18 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันตั้งก๊าซหลังใช้งาน (P}_2\text{)} = 9.87 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{ox} = \frac{40\ell(13.18 - 9.87)\text{bar}}{1\text{bar}}$$

$$\Delta V_{ox} = 132.4\ell$$

อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนช่วงหลอมโลหะ

$$132.4\ell/5400s = 2.451 \times 10^{-2} \ell/s = 2.451 \times 10^{-5} m^3/s$$

13. อัตราการไหลมวลของก๊าซออกซิเจนที่เข้าในเตาทดสอบ

13.1 อัตราการไหลมวลของก๊าซออกซิเจนช่วงอุ่นเตา

จากสมการ

$$m_{ox} = \rho \Delta V_{ox}$$

$$\text{ความหนาแน่นของก๊าซออกซิเจน (}\rho\text{)} = 1.43 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน (}\Delta V_{ox}\text{)} = 1.155 \times 10^{-5} m^3/s$$

$$m_{ox} = 1.43 \frac{\text{kg}}{m^3} (1.155 \times 10^{-5}) \frac{m^3}{s}$$

$$m_{ox} = 1.651 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

13.2 อัตราการไหลมวลของก๊าซออกซิเจนช่วงหลอมโลหะ

จากสมการ

$$m_{ox} = \rho \Delta V_{ox}$$

$$\text{ความหนาแน่นของก๊าซออกซิเจน (}\rho\text{)} = 1.43 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน (}\Delta V_{ox}\text{)} = 2.451 \times 10^{-5} m^3/s$$

$$m_{ox} = 1.43 \frac{kg}{m^3} (2.466 \times 10^{-5}) \frac{m^3}{s}$$

$$m_{ox} = 3.504 \times 10^{-5} kg / s$$

14. ค่าใช้จ่ายก๊าซออกซิเจน ปริมาตรบรรจุ 6000 ลิตร ราคาถังละ 120 บาท

$$0.02 Baht / \ell \times (20.8 + 132.4) \ell = 3.06 Baht$$

15. ปริมาณการใช้ก๊าซอะเซทิลีน

15.1 ปริมาณการใช้ก๊าซอะเซทิลีนช่วงอุ่นเตา

จากสมการ

$$\Delta V_{fuel} = \frac{V_f}{P_{max}} (P_1 - P_2)$$

$$\text{ปริมาณก๊าซเต็มถัง } (V_f) = 3000 \ell$$

$$\text{ความดันสูงสุดถังก๊าซ } (P_{max}) = 15 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถังก๊าซก่อนใช้งาน } (P_1) = 13.10 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถังก๊าซหลังใช้งาน } (P_2) = 11.95 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{fuel} = \frac{3000 \ell}{15 \text{ bar}} (13.10 - 11.95) \text{ bar}$$

$$\Delta V_{fuel} = 230 \ell$$

อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงอุ่นเตา

$$230 \ell / 1800 s = 0.1277 \ell / s$$

15.2 ปริมาณการใช้ก๊าซอะเซทิลีนช่วงหลอมโลหะ

จากสมการ

$$\Delta V_{fuel} = \frac{V_f}{P_{max}} (P_1 - P_2)$$

$$\text{ปริมาณก๊าซเต็มถัง } (V_f) = 3000 \ell$$

$$\text{ความดันสูงสุดถังก๊าซ } (P_{max}) = 15 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถังก๊าซก่อนใช้งาน } (P_1) = 11.95 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถังก๊าซหลังใช้งาน } (P_2) = 8.49 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{fuel} = \frac{3000 \ell}{15 \text{ bar}} (11.95 - 8.49) \text{ bar}$$

$$\Delta V_{fuel} = 692 \ell$$

อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงหลอมโลหะ

$$692\ell / 5400s = 0.1281\ell / s$$

16. ค่าใช้จ่ายก๊าซอะเซทิลีน ปริมาตรบรรจุ 3000 ลิตร ราคาถังละ 630 บาท

$$0.21\text{Baht} / \ell \times (230 + 692)\ell = 193.62\text{Baht}$$

17. ปริมาตรการใช้ก๊าซอาร์กอนที่ความดันบรรยากาศ (1 bar)

จากสมการ

$$\Delta V_{ar} = \frac{V_{vessel}(P_1 - P_2)}{P_{amb}}$$

$$\text{ปริมาตรถังบรรจุก๊าซ (} V_{vessel} \text{)} = 40 \ell$$

$$\text{ความดันถังก๊าซก่อนใช้งาน (} P_1 \text{)} = 135 \text{ bar}$$

$$\text{ความดันถังก๊าซหลังใช้งาน (} P_2 \text{)} = 130.1 \text{ bar}$$

$$\Delta V_{ar} = \frac{40\ell(135 - 130.1)\text{bar}}{1\text{bar}}$$

$$\Delta V_{ar} = 196\ell$$

18. อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน

$$196\ell / 5400s = 3.629 \times 10^{-2} \ell / s$$

19. ค่าใช้จ่ายก๊าซอาร์กอน ปริมาตรบรรจุ 6000 ลิตร ราคาถังละ 3000 บาท

$$0.50\text{Baht} / \ell \times 196\ell = 98\text{Baht}$$

20. อัตราการไหลมวลของก๊าซอะเซทิลีนที่ใช้

20.1 อัตราการไหลมวลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงอุ่นเตา

จากสมการ

$$m_f = \rho \Delta V_{fuel}$$

$$\text{อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงอุ่นเตา } (\Delta V_{fuel}) = 0.1277 \ell / s$$

$$= 1.277 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / s$$

$$\text{ค่าความหนาแน่นก๊าซอะเซทิลีน } (\rho) = 1.17 \text{ kg/m}^3$$

$$m_f = 1.17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (1.277 \times 10^{-4}) \frac{\text{m}^3}{s}$$

$$m_f = 1.4940 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{s}$$

20.2 อัตราการไหลมวลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงหลอมโลหะ

อัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงหลอมโลหะ (ΔV_{fuel})

$$= 0.1281 \text{ l/s} = 1.281 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

ค่าความหนาแน่นก๊าซอะเซทิลีน(ρ) = 1.17 kg/m³

$$m_f = 1.17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (1.281 \times 10^{-4}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$m_f = 1.4987 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

21. พลังงานความร้อนที่เข้าในเตาทดสอบ (Q_{in})

จากสมการ กำลังที่เข้าในเตาทดสอบ

$$P_{in} = m_f LHV$$

21.1 พลังงานที่เข้าในเตาทดสอบช่วงอุ่นเตา

ค่าความร้อนต่ำของก๊าซอะเซทิลีน(LHV) = 56700 kJ/m³

(จาก Roderick Fletcher GTZ. , 1984)

มวลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงอุ่นเตา (m_p) = 1.277 × 10⁻⁴ m³/s

$$P_{in} = 1.277 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 56700 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

$$P_{in} = 7.2405 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 7.2405 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{in} = P_{in} \text{time}_{\text{melt}}$$

$$Q_{in} = 7.2405 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (30 \times 60) \text{s} = 13032.9 \text{ kJ}$$

21.2 พลังงานที่เข้าในเตาทดสอบช่วงหลอมโลหะ

ค่าความร้อนต่ำของก๊าซอะเซทิลีน(LHV) = 56700 kJ/m³

(จาก Roderick Fletcher GTZ. , 1984)

มวลของก๊าซอะเซทิลีนช่วงหลอมโลหะ (m_p) = 1.281 × 10⁻⁴ m³/s

$$P_{in} = 1.281 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 56700 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

$$P_{in} = 7.2632 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 7.2632 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{in} = P_{in} \text{time}_{\text{melt}}$$

$$Q_{in} = 7.2632 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (90 \times 60) \text{s} = 39221.28 \text{ kJ}$$

22. พลังงานที่สูญเสียจากการพาร่วมกับการนำความร้อน (Q_{loss})

จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการพาร่วมกับการนำความร้อน

$$P_{loss} = UA_{total}(T_1 - T_{n+1})$$

$$\text{พื้นที่ผนังเตาทดสอบทั้งหมด (A}_{total}\text{)} = 2.1381 \text{ m}^2$$

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)} = 0.3289 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{อุณหภูมิผนังเตาด้านนอกสุด (T}_{n+1}\text{)} = (153 + 273) \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิด้านในผนังห้องเผาไหม้ (T}_1\text{)} = (1203 + 273) \text{ K}$$

$$P_{loss} = 0.3289 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \times 2.1381 \text{ m}^2 (1476 - 426) \text{ K}$$

$$P_{loss} = 738.382 \text{ W} = 0.7383 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{loss} = P_{loss} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{loss} = 0.738 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (90 \times 60) \text{ s} = 3986.82 \text{ kJ}$$

23. ปริมาตรอากาศที่เข้าเตาทดสอบ

จากสมการ

$$V = vA_{in}$$

$$\text{ความเร็วอากาศจากพัดลมเป่าอากาศเฉลี่ย (V)} = 1.68 \text{ m/s}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดท่ออากาศเข้าเตาทดสอบ (A}_{in}\text{)} = 40 \text{ mm}^2 = 1.256 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = 1.68 \frac{\text{m}}{\text{s}} (1.256 \times 10^{-3}) \text{ m}^2$$

$$V = 2.110 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

24. อัตราการไหลมวลของอากาศที่เข้าเตาทดสอบ

จากสมการ

$$m_a = \rho V$$

$$\text{ความหนาแน่นอากาศที่ความดันคงที่ (\rho)} = 1.29 \text{ kg/m}^3$$

$$m_a = 1.29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (2.110 \times 10^{-3}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$m_a = 2.7220 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

25. อัตราการไหลมวลของอากาศและก๊าซออกซิเจนที่เข้าเตาทดสอบช่วงหลอมโลหะ

$$m_{a_{total}} = m_a + m_{ox}$$

$$m_{a_{total}} = 2.722 \times 10^{-3} + 3.504 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

$$m_{a_{total}} = 2.757 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

26. พลังงานที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อนไอเสีย ($Q_{fuel-loss}$)
จากสมการ กำลังที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อนไอเสีย

$$P_{fuel-loss} \approx (m_f + m_{a_{total}}) c_{p_a} (T_{exh} - T_{amb})$$

$$\text{มวลของอากาศที่เข้าเตาทดสอบ} (m_{a_{total}}) = 2.757 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$\text{มวลของก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้} (m_f) = 1.4987 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่ (C_{p_a}) = 1.4988 kJ/kg · K
(จาก โยชิฮิโกะ ทาคามูระ , 2543 หน้า 193)

$$\text{อุณหภูมิที่ปล่องไอเสีย} (T_{exh}) = (1172 + 273) \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อม} (T_{amb}) = (30 + 273) \text{ K}$$

$$P_{fuel-loss} \approx (1.4987 \times 10^{-4} + 2.757 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}) 1.4988 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (1445 - 303) \text{ K}$$

$$P_{fuel-loss} = 4.9755 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 4.9755 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{fuel-loss} = P_{fuel-loss} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{fuel-loss} = 4.975 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (90 \times 60) \text{ s} = 26865 \text{ kJ}$$

27. พลังงานที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังเตาด้านนอก ($Q_{emission}$)
จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังเตาด้านนอก

$$P_{emission} = A_{sur} \epsilon_{sur} \sigma (T_{sur}^4 - T_{amb}^4)$$

$$\text{พื้นที่ผิวผนังด้านนอกเตาทดสอบ} (A_{sur}) = 0.6144 \text{ m}^2$$

$$\text{ค่าสภาพการเปล่งรังสีของพื้นผิววัสดุ} (\epsilon_{sur}) = 0.41$$

$$\text{ค่าคงที่ของสเตฟาน - โบลต์ซมันน์} (\sigma) = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

$$\text{อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ} (T_{sur}) = 153 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อม} (T_{amb}) = 30 + 273 \text{ K}$$

$$P_{emission} = 0.6144 \text{ m}^2 \times 0.41 \times (5.67 \times 10^{-8}) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} (426^4 - 303^4) \text{ K}^4$$

$$P_{emission} = 0.349 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{emission} = P_{emission} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{emission} = 0.349 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (90 \times 60) \text{ s} = 18846 \text{ kJ}$$

28. พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อนผ่านผนังท่อไอเสีย จากสมการ กำลังที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อนท่อไอเสีย

$$P_{loss} = \frac{(T_1 - T_{n+1})}{\sum R}$$

$$\text{อุณหภูมิภายในท่อไอเสีย } (T_1) = 1172 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อมด้านนอกที่ผิวท่อไอเสีย } (T_{n+1}) = 749 + 273 \text{ K}$$

$$\text{ค่าความต้านทานรวมของตัวกลาง } (\sum R) = 5.105 \text{ K/W}$$

$$P_{loss} = \frac{(1445 - 1022) \text{ K} \cdot \text{W}}{5.105 \text{ K}}$$

$$P_{loss} = 0.082 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{loss} = P_{loss} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{loss} = 0.082 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (90 \times 60) \text{ s} = 442.8 \text{ kJ}$$

29. พลังงานสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย จากสมการ กำลังสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย

$$P_{emission} = A_{sur} \epsilon_{sur} \sigma (T_{sur}^4 - T_{amb}^4)$$

$$\text{พื้นที่ผิวท่อไอเสีย } (A_{sur}) = 0.0377 \text{ m}^2$$

$$\text{สภาพการเปล่งรังสีของผิววัสดุ } (\epsilon_{sur}) = 0.62$$

$$\text{ค่าคงที่ของสเตฟาน - โบลต์ซมันน์ } (\sigma) = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

$$\text{อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ } (T_{sur}) = 768 + 273 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิแวดล้อม } (T_{amb}) = 30 + 273 \text{ K}$$

$$P_{emission} = 0.0377 \text{ m}^2 \times 0.62 \times (5.67 \times 10^{-8}) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} (1041^4 - 303^4) \text{ K}^4$$

$$P_{emission} = 1.545 \text{ kW}$$

$$\therefore Q_{emission} = P_{emission} \text{ time}_{melt}$$

$$Q_{emission} = 1.545 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (90 \times 60) \text{ s} = 8343 \text{ kJ}$$

พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อนร่วมกับการนำความร้อนผ่านผนังท่อไอเสีย และพลังงานสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิวผนังปล่องไอเสีย จะไม่นำมาคิดพลังงานที่สูญเสียในเตาทดสอบเนื่องจากเป็นทางวิ่งผ่านของก๊าซไอเสียร้อนออกจากห้องเผาไหม้ที่ถือว่าเป็นส่วนภายนอกเตาทดสอบ

30. พลังงานที่ใช้ในเตาทดสอบ (Q_{work})

จากสมการ

$$Q_{work} = Q_{in} - (Q_{loss} + Q_{fuel-loss} + Q_{emission})$$

$$\text{พลังงานที่เข้าเตาทดสอบ } (Q_{in}) = 39221.28 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อน } (Q_{fuel-loss}) = 26865 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่สูญเสียจากการพาพร้อมกับการนำความร้อน } (Q_{loss}) = 3986.82 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนผนังเตาทดสอบ } (Q_{emission}) = 1884.6 \text{ kJ}$$

$$Q_{work} = 39221.28 - (3986.82 + 26865 + 1884.6) \text{ kJ}$$

$$Q_{work} = 6484.86 \text{ kJ}$$

31. ประสิทธิภาพของเตาทดสอบในเชิงการใช้เชื้อเพลิงที่สภาวะคงที่ (Steady state)

จากสมการ

$$\eta_{net} = \frac{Q_{work}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\text{พลังงานที่ใช้ในเตาทดสอบ } (Q_{work}) = 6484.86 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่เข้าเตาทดสอบ } (Q_{in}) = 39221.28 \text{ kJ}$$

$$\eta_{net} = \frac{6484.86 \text{ kJ}}{39221.28 \text{ kJ}} \times 100\%$$

$$\eta_{net} = 16.53\%$$

32. เวลาที่ใช้ในการหลอมทางทฤษฎี

จากสมการ

$$time_{theory} = \frac{(Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat}) + Q_{crucible} + Q_{chamber}}{P_{work}}$$

$$\text{พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะ } 328 - 1089^\circ \text{C } (Q_{preheat}) = 125.226 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายโลหะ } 1089 - 1108^\circ \text{C } (Q_{melt}) = 74.25 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะเหลว } 1108 - 1124^\circ \text{C } (Q_{superheat}) = 3.148 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานเพิ่มอุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ } 30 - 1172^\circ \text{C } (Q_{chamber}) = 5572.594 \text{ kJ}$$

$$\text{พลังงานเพิ่มอุณหภูมิเบ้าหลอม } 30 - 1089^\circ \text{C } (Q_{crucible}) = 599.152 \text{ kJ}$$

$$\text{กำลังที่ใช้ในเตาทดสอบ } (P_{work}) = 1.200 \text{ kJ/s}$$

$$time_{theory} = \frac{(125.226 + 74.25 + 3.148) + 599.152 + 5572.594 \text{ kJ}}{1.2009 \text{ kJ/s}}$$

$$time_{theory} = 5307.99 \text{ s} = 88.46 \text{ min.}$$

33. ประสิทธิภาพเตาทดสอบในเชิงความร้อนทางทฤษฎี (η)

จากสมการ

$$\eta = \frac{Q_{preheat} + Q_{melt} + Q_{superheat}}{P_{in} \cdot time_{melt}} \times 100\%$$

พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะ 328 – 1089 °C ($Q_{preheat}$) = 125.226 kJ

พลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายโลหะ 1089 – 1108 °C (Q_{melt}) = 74.25 kJ

พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิโลหะเหลว 1108 - 1124 °C ($Q_{superheat}$) = 3.148 kJ

กำลังที่เข้าเตาทดสอบ (P_{in}) = 7.263 kJ/s

$$\eta = \frac{(125.226 + 74.25 + 3.148) \text{ kJ}}{7.263 \text{ kJ/s} \times 5400 \text{ s}} \times 100\%$$

$$\eta = 0.51\%$$

สรุปจากการทดลองหลอมโลหะทองแดงผสมอะลูมิเนียม 30% ในปริมาณ 250 กรัม

1. พลังงานความร้อนที่เข้าในเตาทดสอบ (Q_{in}) = 39221.28 kJ
2. พลังงานความร้อนที่ใช้ในเตาทดสอบ (Q_{work}) = 6484.86 kJ
3. พลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมโลหะ ($Q_{metal \ melt}$) = 202.62 kJ/250 g
4. เตาทดสอบมีประสิทธิภาพในเชิงการใช้เชื้อเพลิง = 16.53%
5. เตาทดสอบมีประสิทธิภาพทางทฤษฎี = 0.51%

เตาทดสอบมีประสิทธิภาพในเชิงการใช้เชื้อเพลิงที่สภาวะคงที่ 16.97% และมี

ประสิทธิภาพทางทฤษฎี 0.54%