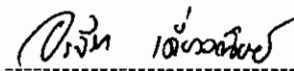


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี **สำนักหอสมุด**  
การสอบปลายภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 **มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี**

ข้อสอบวิชา MEN218 Transport Phenomena in Materials Processing ภาควิชา วศ. วัสดุ ชั้นปีที่ 3 (ปกติ)  
สอบวันศุกร์ที่ 29 พฤศจิกายน 2556 เวลา 9.00-12.00 น.

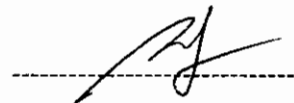
- คำสั่ง
1. ข้อสอบมีทั้งหมด 13 หน้า (รวมหน้านี้)  
ข้อสอบมี 6 ข้อ 45 คะแนน
  2. ให้ทำในข้อสอบ และใช้ปากกาในการทำข้อสอบเท่านั้น ข้อความใดที่ไม่เอาให้ขีดฆ่า
  3. อนุญาตให้ใช้เครื่องคิดเลขที่ไม่มีปุ่มป้อนตัวอักษรได้
  4. ไม่อนุญาตให้นำเอกสารเข้าห้องสอบ
  5. ห้ามนำเอกสารข้อสอบออกนอกห้องสอบ หากนำไปเข้าข่ายทุจริตทันที



(อ. อรจิรา เดียวณิษฐ์)

ผู้ออกข้อสอบ

ข้อสอบนี้ได้ผ่านการประเมินจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ



(รศ.ดร. วารุณี เปรมานนท์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ

ชื่อ-นามสกุล.....รหัสนักศึกษา.....

**Solidification of Metal (sand mold)**

$$\frac{T - T_m}{T_o - T_m} = \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha_M t}}\right)$$

heat flux into the mold

$$q|_{x=0} = -k \left[ \frac{\partial T}{\partial x} \right]_{x=0} = \frac{k(T_m - T_o)}{\sqrt{\pi \alpha_M t}}$$

$$q|_{x=0} = \frac{\sqrt{k \rho C_p}}{\sqrt{\pi t}} (T_m - T_o)$$

$$\frac{ds}{dt} = \frac{(T_m - T_o) \sqrt{k \rho C_p}}{\rho' H_f \sqrt{\pi t}}$$

$$s = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left[ \frac{T_m - T_o}{\rho' H_f} \right] \sqrt{k \rho C_p} \sqrt{t}$$

Chvorinov's parameter

$$\beta \equiv \frac{V/A}{\sqrt{\alpha_M t}}$$

$$\gamma \equiv \left[ \frac{T_m - T_o}{\rho_s H_f} \right] \rho_M C_{pM}$$

$$\beta \equiv \gamma \left[ \frac{2}{\sqrt{\pi}} + \frac{1}{a\beta} \right]$$

 $a = \infty$  (infinite plate) $a = 4$  (infinite cylinder) $a = 3$  (sphere)**Error function for Diffusion**

$$\frac{C - C_s}{C_o - C_s} = \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

$$j_{x=0} = (C_s - C_o) \left[ \frac{D}{\pi t} \right]^{1/2}$$

**Thin film source infinite sink (เกิดการแพร่ 2 ฝั่ง)**

$$C(x, t) = \frac{C_i \Delta x'}{2\sqrt{\pi Dt}} \exp\left[\frac{-x^2}{4Dt}\right]$$

สำนักหอสมุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

**Falling Film in z-direction**

$$v_z = \frac{\rho g \delta^2 \cos \beta}{2\eta} \left( 1 - \left( \frac{x}{\delta} \right)^2 \right)$$

**Fully Develop flow in Circular Tube**

$$v_z = \left( \frac{P_0 - P_L}{L} + \rho g \right) \frac{1}{4\eta} (R^2 - r^2)$$

การไหลแบบปั่นป่วนภายในท่อ

แสดงค่าของแรงจลน์ (kinetic force)

$$F_K = AKf$$

$A$ : characteristic area

$K$ : characteristic kinetic energy (per unit volume)

$f$ : friction factor (function of Reynolds number for a given geometrical shape)

**Kinetic energy**

$$K = \frac{1}{2} \rho v^2$$

**Friction Factor**

$$f = \frac{1}{4} \left( \frac{D}{L} \right) \left( \frac{P_0 - P_L}{\frac{1}{2} \rho v^2} \right)$$

สำนักหอสมุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

# Error Function Table

สำนักหอสมุด  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

x	Hundredths digit of x									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.00000	0.01128	0.02256	0.03384	0.04511	0.05637	0.06762	0.07886	0.09008	0.10128
0.1	0.11246	0.12362	0.13476	0.14587	0.15695	0.16800	0.17901	0.18999	0.20094	0.21184
0.2	0.22270	0.23352	0.24430	0.25502	0.26570	0.27633	0.28690	0.29742	0.30788	0.31828
0.3	0.32863	0.33891	0.34913	0.35928	0.36936	0.37938	0.38933	0.39921	0.40901	0.41874
0.4	0.42839	0.43797	0.44747	0.45689	0.46623	0.47548	0.48466	0.49375	0.50275	0.51167
0.5	0.52050	0.52924	0.53790	0.54646	0.55494	0.56332	0.57162	0.57982	0.58792	0.59594
0.6	0.60386	0.61168	0.61941	0.62705	0.63459	0.64203	0.64938	0.65663	0.66378	0.67084
0.7	0.67780	0.68467	0.69143	0.69810	0.70468	0.71116	0.71754	0.72382	0.73001	0.73610
0.8	0.74210	0.74800	0.75381	0.75952	0.76514	0.77067	0.77610	0.78144	0.78669	0.79184
0.9	0.79691	0.80188	0.80677	0.81156	0.81627	0.82089	0.82542	0.82987	0.83423	0.83851
1.0	0.84270	0.84681	0.85084	0.85478	0.85865	0.86244	0.86614	0.86977	0.87333	0.87680
1.1	0.88021	0.88353	0.88679	0.88997	0.89308	0.89612	0.89910	0.90200	0.90484	0.90761
1.2	0.91031	0.91296	0.91553	0.91805	0.92051	0.92290	0.92524	0.92751	0.92973	0.93190
1.3	0.93401	0.93606	0.93807	0.94002	0.94191	0.94376	0.94556	0.94731	0.94902	0.95067
1.4	0.95229	0.95385	0.95538	0.95686	0.95830	0.95970	0.96105	0.96237	0.96365	0.96490
1.5	0.96611	0.96728	0.96841	0.96952	0.97059	0.97162	0.97263	0.97360	0.97455	0.97546
1.6	0.97635	0.97721	0.97804	0.97884	0.97962	0.98038	0.98110	0.98181	0.98249	0.98315
1.7	0.98379	0.98441	0.98500	0.98558	0.98613	0.98667	0.98719	0.98769	0.98817	0.98864
1.8	0.98909	0.98952	0.98994	0.99035	0.99074	0.99111	0.99147	0.99182	0.99216	0.99248
1.9	0.99279	0.99309	0.99338	0.99366	0.99392	0.99418	0.99443	0.99466	0.99489	0.99511
2.0	0.99532	0.99552	0.99572	0.99591	0.99609	0.99626	0.99642	0.99658	0.99673	0.99688
2.1	0.99702	0.99715	0.99728	0.99741	0.99753	0.99764	0.99775	0.99785	0.99795	0.99805
2.2	0.99814	0.99822	0.99831	0.99839	0.99846	0.99854	0.99861	0.99867	0.99874	0.99880
2.3	0.99886	0.99891	0.99897	0.99902	0.99906	0.99911	0.99915	0.99920	0.99924	0.99928
2.4	0.99931	0.99935	0.99938	0.99941	0.99944	0.99947	0.99950	0.99952	0.99955	0.99957
2.5	0.99959	0.99961	0.99963	0.99965	0.99967	0.99969	0.99971	0.99972	0.99974	0.99975
2.6	0.99976	0.99978	0.99979	0.99980	0.99981	0.99982	0.99983	0.99984	0.99985	0.99986
2.7	0.99987	0.99987	0.99988	0.99989	0.99989	0.99990	0.99991	0.99991	0.99992	0.99992
2.8	0.99992	0.99993	0.99993	0.99994	0.99994	0.99994	0.99995	0.99995	0.99995	0.99996
2.9	0.99996	0.99996	0.99996	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99998
3.0	0.99998	0.99998	0.99998	0.99998	0.99998	0.99998	0.99998	0.99999	0.99999	0.99999
3.1	0.99999	0.99999	0.99999	0.99999	0.99999	0.99999	0.99999	0.99999	0.99999	0.99999
3.2	0.99999	0.99999	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000

1. จงคำนวณหาค่าเวลาในการแข็งตัวของโลหะอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ที่หล่อเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด  $0.15\text{ m} \times 0.3\text{ m}$  ยาว  $1\text{ m}$  ที่ทำการหล่อในแบบหล่อทราย (ใช้ Chvorinov's rule) กำหนดให้อุณหภูมิในโลหะเท่ากับอุณหภูมิหลอมเหลวของอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ ส่วนอุณหภูมิทรายแบบเท่ากับ  $303\text{ K}$  และเปรียบเทียบกับเวลาในการแข็งตัวหากหล่อแท่งโลหะอะลูมิเนียมขนาดเดียวกันนี้โดยใช้แบบหล่อถาวรซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเป็น  $250\text{ W m}^{-2}\text{ K}^{-1}$  และแบบหล่อถาวรมีอุณหภูมิประมาณ  $150^\circ\text{C}$  (10 คะแนน)

ข้อมูลของอะลูมิเนียม  $T_m = 889\text{ K}$ ,  $H_f = 398\text{ kJ kg}^{-1}$ ,  $\rho_s = 2710\text{ kg m}^{-3}$

ข้อมูลของทราย  $k = 0.865\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$ ,  $\rho_M = 1600\text{ kg m}^{-3}$ ,  $Cp_M = 1170\text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$

ณ นักหอสมุด

2. ที่อุณหภูมิ 1500 °C สัมประสิทธิ์การแพร่ของโมลิบดีนัมในเหล็กหลอมเหลวเท่ากับ  $5 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  และที่อุณหภูมิ 1600 °C มีค่าเท่ากับ  $3.5 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  จงหาว่าที่อุณหภูมิ 1200 °C ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของโมลิบดีนัมในเหล็กหลอมเหลวเท่ากับเท่าใด (7 คะแนน)

3. ในการเติมธาตุอะลูมิเนียมลงในซิลิคอนทำโดยนำซิลิคอนไปอบที่อุณหภูมิ 1473 K เพื่อให้สัมผัสกับบรรยากาศของอะลูมิเนียมที่มีความเข้มข้น  $10^{18} \text{ atoms cm}^{-3}$  หากความเข้มข้นเริ่มต้นของอะลูมิเนียมในซิลิคอนเท่ากับ  $5 \times 10^{15} \text{ atoms cm}^{-3}$

3.1 ภายหลังจากเวลาผ่านไป 30 นาที อยากทราบว่าที่ความลึกจากผิวเท่าใดที่ความเข้มข้นของอะลูมิเนียมเท่ากับ  $10^{16} \text{ atoms cm}^{-3}$  (4 คะแนน)

3.2 ปริมาณอะลูมิเนียมที่เติมลงในซิลิคอนเป็นเท่าใด (ตอบในหน่วย  $\text{atom cm}^{-3}$ ) หลังจากอบซิลิคอนที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 30 นาที (4 คะแนน)

กำหนดให้ค่าสป.การแพร่ของอะลูมิเนียมในซิลิคอนเท่ากับ  $5.8 \times 10^{-16} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

4. โลหะหลอมเหลวไหลลงข้างบนพื้นเอียงที่ทำมุม  $30^\circ$  กับแนวดิ่งเป็นระยะทาง  $L$  หากชั้นโลหะหลอมเหลวมีความหนาเท่ากับ  $2\text{ cm}$  สมมติให้การไหลมีลักษณะเป็นชั้น (laminar flow) ความหนาแน่นของโลหะหลอมเหลวเท่ากับ  $7.0\text{ kg m}^{-3}$

ความหนืดของโลหะหลอมเหลว  $3 \times 10^{-3}\text{ N s m}^{-2}$  จงหา

4.1 สมการ velocity profile ของโลหะหลอมเหลวเมื่อความเร็วในการไหลอยู่ในขณะ fully develop (3 คะแนน)

4.2 ความเร็วสูงสุดของโลหะหลอมเหลวมีค่าเท่าใด และเป็นความเร็วที่ตำแหน่งใด ( 2 คะแนน)

4.3 ความเร็วเฉลี่ยของโลหะหลอมเหลวมีค่าเท่าใด ( 3 คะแนน)



5.ของเหลวไหลผ่านท่อในแนวราบ มีความยาว 0.3 m. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อเท่ากับ 2.5 mm. ความหนาแน่นของของเหลวเท่ากับ  $1260 \text{ kg m}^{-3}$  อัตราการไหล (mass flow rate) เท่ากับ  $3.8 \times 10^{-5} \text{ kg s}^{-1}$

5.1 จงคำนวณหาค่าความหนืดของของเหลวในหน่วย  $\text{N s m}^{-2}$  (4 คะแนน)

5.2 จงตรวจสอบคำตอบของข้อ 5.1 ว่าถูกต้องหรือไม่ (4 คะแนน)

หมายเหตุ ไม่คิดผลของความดันตก

6. จงคำนวณหาความดันตก (pressure drop) ของน้ำที่มีอุณหภูมิ 300 K ซึ่งไหลผ่านท่อในแนวราบความยาว 180 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 125 มิลลิเมตร โดยมีความเร็วในการไหลเฉลี่ย 1 เมตรต่อวินาที กำหนดให้ท่อมีความหยาบสัมพัทธ์  $\epsilon/D$  ประมาณ 0.001 หากที่อุณหภูมินี้ น้ำมีความหนืด  $8.55 \times 10^{-4} \text{ N s m}^{-2}$  (5 คะแนน)

