الاحتكـــاك Friction

إنـه من الأهميـة بمكـان دراسـة تـأثير نـوع السريان علـى معـاملات الاحتكـاك بـين طبقات المائع وبعضها وبينها وبين الوعاء المحتوى عليها أثناء تطور الأنواع المختلفة من نظم السريان (طبقى – مرحلى – دوامى). وحيث أن معظم المواد الغذائية المصنعة تسلك سلوك غير نيوتونى وتتأثر كثيراً بدرجة الحرارة أثناء معاملة هذه المواد حرارياً ، وبالتالى يتطلب الأمر تطوير صيغ رياضية للموائع الغير نيوتونية لإمكان استخدامها لوصف سلوك الموائع أثناء سريانها وبالأخص داخل الأنابيب أو المواسير الاسطوانية.

ويتعين علينا استخدام رقم رينولدز آخر مختلف عن الموائع النيوتونية ويسمى رقم رينولدز العام Generalized Reynolds Number (GRe) حيث:

$$G\,\mathrm{Re} = \frac{\rho u^{2-n} D^{n}}{2^{n-3}.K\left[\frac{3n+1}{n}\right]^{n}} \qquad (5\text{-}14)$$

ومن الواضح أن رقم رينولدز العام سيتغير بتغير نفس المعاملات كما هو الحال بالنسبة لرقم رينولدز العادى ولكن يختلفان فى أن القيمة ستتغير مع تغير قيمة الأس n (دليل سلوك السريان) ويتلاحظ أن رقم رينولدز العام يساوى رقم رينولدز العادى عندما تكون قيمة n = 1 وبالتالى تتحول K إلى μ.

وفى حالة السريان الانسيابى أو الطبقى يكون:

$\mathrm{GRe} < 2100$ Laminar Flow

$$\mathrm{f} = \text{friction factor} = \frac{64}{G\,\mathrm{Re}}$$

وفى حالة السريان الدوامى المضطرب:

$\mathrm{GRe} < 2100$ Laminar Flow

$$\mathrm{f} = \frac{0.316}{G\,\mathrm{Re}^{0.25}}$$

ومن العوامل الأخرى الهامة فى عملية وصف سريان موائع الأغذية هو طاقة الحركة ، فإذا طبقنا قانون الأس بالنسبة لمائع يسرى داخل أنبوب اسطوانى فتكون طاقة الحركة كما يأتى:

$$\text{K.E.} = \frac{u^2}{2ag} = \text{Constant} = a$$

Where:

$$a = \frac{(4n+2)(5n+3)}{3(3n+1)^2}$$

ويلاحظ أن قيمته تساوى الواحد الصحيح عندما تكون n = 1 أى فى حالة سائل نيوتونى.

مثال (٣):

احسب قيمة رقم رينولدز لتحديد نوع السريان لمركز المشمش ذو الخصائص الآتية:

$n = 0.3$ $\quad\quad$ $K = 20\ \text{Pa.s}^n$

إذا كان سريان مركز المشمش فى أنبوب قطره ٢,٥٤ سم وسرعة السريان المتوسطة تساوى ٠,٦ متر/ثانية. ماذا تكون قيمة رقم رينولدز فى حالة سريان مياه نقية فى الأنبوب ؟

ρ Apricot $= 1040\ \text{kg/m}^3$

ρ Water $= 1000\ \text{kg/m}^3$

μ Water $= 1488 \times 10^{-3}\ \text{Pa.sec.}$

الحل

$$G\,\text{Re} = \frac{\rho u^{2-n} D^n}{2^{n-3}.K\left[\frac{3n+1}{n}\right]^n}$$

$$\therefore \sum dQ = 700 mkJ/s$$

$$\sum dW = 1000 - 5 = 995 kW = 995 kJ/s$$

وبتطبيق القانون الأول ينتج أن:

$$\sum dQ = \sum dW$$

$$700\ m = 995$$

$$M = 1.421\ \text{kg/s}$$

أى أن معدل انسياب البخار ١,٤٢١ كجم/ث.

معادلة عدم السريان The non flow equation

عندما نقوم بإجراء على نظام حيث يتغير من الحالة ١ إلى الحالة ٢ وتزداد طاقته الداخلية (U) فإنه يتم التعبير عن القانون الأول للديناميكا الحرارية بأن الزيادة فى الطاقة الداخلية للنظام هى الفرق بين صافى كمية الحرارة المضافة للنظام وصافى الشغل الناتج أى أن:

$$U_2 - U_1 = dQ - dW \qquad (3\text{-}3)$$

ويمكن الوصول إلى المعادلة التالية والتى تعرف بمعادلة عدم السريان:

$$dQ = dU + dW \qquad (3\text{-}4)$$

مثال رقم (٤):

فى شوط الانضغاط لآلة احتراق داخلى وجد أن كمية الحرارة المطرودة لماء التبريد هى ٤٥ كيلوجول/كجم والشغل المبذول مقداره ٩٠ كيلوجول/كجم. احسب التغير فى الطاقة الداخلية النوعية لمائع الشغل وحدد ما إذا كان التغير فقد أو اكتساب؟

الحل

الإشارة سالبة لأنها حرارة مطرودة $Q = - 45$ kJ/kg

الإشارة سالبة لأنه شغل مبذول على النظام $W = - 90$ kJ/kg

باستخدام المعادلة التالية:

$$dQ = dU + dW$$
$$Q = (U_2 - U_1) + W$$
$$-45 = (U_2 - U_1) - 90$$

ازدياد فى الطاقة الداخلية

$$U_2 - U_1 = -45 + 90 = 45 \text{ kJ/kg}$$

معادلة السريان المستقر The steady flow equation

سبق أن ذكرنا أن المائع له طاقة داخلية ترجع لخواصه الثرموديناميكية إلا أن المائع إذا تحرك بسرعة C وكان على ارتفاع من سطح الأرض أو خط مرجع Z فإن ١ كجم مائع يحتوى بالإضافة إلى طاقته النوعية الداخلية (u) على طاقة حركية (C2/2)

وطاقة وضع Zg ، كما يحتوى على طاقة الضغط pv فإذا فرض أن المائع يتحرك بين نقطتين (١) ، (٢) ونفترض أنه يضاف إليه حرارة عند النقطة (١) وينتج شغل عند النقطة (٢) فإن مجموع الطاقة فى النظام لكل ١ كجم عند أية نقطة ثابت ، وعندما ينساب المائع بمعدل انسياب كتلة ثابتة فإنه يقال أن الانسياب مستقر وعندئذ يمكن الحصول على المعادلة التالية:

$$U_1 + \left(\frac{C_1^2}{2}\right) + Z_1 g + p_1 v_1 + Q_1 = U_2 + \left(\frac{C_2^2}{2}\right) + Z_2 g + p_2 v_2 + Q_2 \qquad (3\text{-}5)$$

وفى مسائل وتمارين الديناميكا الحرارية يمكن إهمال التغير فى طاقة الوضع وبالتالى يمكن رفع القيمة Zg من المعادلة السابقة كما أن مجموع الطاقة الداخلية u + طاقة الضغط pv تعرف بالانثالبى h وبالتالى يمكن الحصول على المعادلة التالية والتى تستخدم فى حالة السريان المستقر فى حسابات الديناميكا الحرارية.

$$h_1 + \left(\frac{C_1^2}{2}\right) + Q = h_2 + \left(\frac{C_2^2}{2}\right) + W \qquad (3\text{-}6)$$

وتسمى معادلة سريان الطاقة المستقر Bernoulli's Equation

مع ملاحظة أن الانثالبى هو :

$$h = u + pv \qquad (3\text{-}7)$$

وأن معدل سريان الكتلة هو:

$$m = CA / v = pCA$$