CHAPTER-1

Modes of Heat transfer

2012, 2010, 2008, 2006, 2005,

Modes of Heat transfer (Heat transfer का तरीका) :-

Practically Chemical Engineer, energy का production या absorvation heat के रूप मे करते है। जब दो विभिन्न ताप वाले objects को thermal contact मे लाया जाता है तो heat high temp. वाले object से low temp. वाले object मे flow होती है। Net flow of heat हमेशा temp. decrease की direction मे होता है।

उष्मा के एक स्थान से दूसरे स्थान पर या एक वस्तु से दूसरी वस्तु को heat transfer करना है।

2012, 2010, 2008, 2006, 2005,

Methods of Heat transfer :-

There are three Methods of heat transfer —

(i) Conduction (चालन)

(ii) Convection (संवहन)

(iii) Radiation (विकिरण)

Scanned by CamScanner

Conduction :- जब किसी एक वस्तु के विभिन्न भागो मे temp. difference होता है तो वस्तु के उच्च ताप वाले अणु अपने निकट के अपेक्षाकृत कम ताप वाले अणु को परस्पर सम्पर्क से उष्मा देते है। अतः उष्मा का प्रवाह उच्च ताप वाले अणु से निम्न ताप वाले अणु की ओर होता है। उष्मा संचरण की इस विधि को चालन (conduction) कहते है।

or

जब किसी solid को उष्मा दी जाती है तो उसके अणुओ की गतिज ऊर्जा मे वृद्धि होती है। जिससे अणुओ का आयाम बढ़ जाता है। जिससे वह दूसरे अणुओ के सम्पर्क मे आता है। और अपनी कुछ उष्मा दूसरे अणुओ को दे देता है। जिससे उष्मा प्रारम्भिक सिरे से अन्तिम सिरे तक Transfer हो जाती है।

Example :- हम धातु की एक छड़ के एक सिरे को आग मे रखते है तो उष्मा गर्म सिरे से ठण्डे सिरे की ओर चालन द्वारा जाती है। इस प्रकार धीरे-2 पूरी छड़ गर्म हो जाती है।

धातुओ तथा मिश्र धातुओ मे उष्मा संचरण, चालन विधि द्वारा होता है।

ठोसो मे उष्मा संचरण की व्याख्या free electron के Base पर भी की जाती है। धातुओ मे free electron होते है। जब हम धातु को गर्म करते है तो इन free electron की Kinetic energy बढ़ जाती है। जिससे electron अपने आस-पास के electron से टकराकर उन्हे उष्मा प्रदान करते है। इससे धातुओ मे heat transfer होती है।

जिन धातुओ मे free electron की संख्या ज्यादा होती है। उनमे उष्मा संचरण शीघ्र होता है। ऐसे पदार्थ good conductor कहलाते है।

As :- पारा धातुए, आदि।

जिन पदार्थो मे Heat transfer नही होती है। वे non-conductor or insulator कहलाते है।

As :- रबर, थर्मोकोल, आदि।

Convection :- जब किसी तरल पदार्थ [Fluid (gas or liq.)] के किसी स्थान का ताप दूसरे स्थान के ताप से कम होता है तो उच्च ताप वाले द्रव का घनत्व कम ताप वाले द्रव के घनत्व से कम होता है। अतः पदार्थ के उच्च ताप वाले द्रव निम्न ताप वाले द्रव बर्तन मे विभिन्न ~~घनत्व वाले द्रव की परत घटती जाती है। अर्थात विभिन्न~~ घनत्वो के पर्तों के रूप मे एकत्रित हो जाते है। अर्थात विभिन्न घनत्व वाले द्रव की परत घटती जाती है। अधिक घनत्व वाली पर्त भारी होने के कारण कम घनत्व वाली से नीचे आने का प्रयास करती है। यह क्रिया तब तक चलती रहती है। जब तक सम्पूर्ण द्रव का ताप एक समान न हो जाय। उष्मा संचरण की यह विधि convection (संवहन) कहलाती है।

Example :- आग पर रखी केतली का पानी संवहन विधि द्वारा गर्म होता है। अतः संवहन द्रव और गैसो मे ही होता है। ठोसो मे नही।

or

जब किसी पात्र मे भरे द्रव को गर्म किया जाता है तो उष्मा प्रवाह के कारण द्रव के घनत्व मे परिवर्तन होता है। और जल उष्मा प्राप्त करके ऊपर उठता है। तथा उसके स्थान पर ऊपर से अधिक घनत्व वाला कण आ जाता है। इस प्रकार पुन जल धीरे-2 गर्म हो जाता है। यह क्रिया केवल द्रवो तथा gases मे होती है। द्रव के स्थान से दूसरे स्थान तक या एक द्रव से दूसरी द्रव वस्तु के मध्य उष्मा का transfer, convection (संवहन) के द्वारा होता है।

Radiation :- जब किसी गर्म स्रोत से उष्मा विद्युत चुम्बकीय तरंगो के रूप मे संचलित होती है तो उसे Radiation कहते है। इसके लिए किसी माध्यम की आवश्यकता नही होती है। यदि कोई माध्यम बीच मे आता है तो वह गर्म हो जाता है। सूर्य से पृथ्वी तक उष्मा इसी विधि से आती है।

conduction व convection मे उष्मा का प्रवाह धीरे-2 होता है। जबकि Radiation द्वारा heat transfer जल्दी होता है।

जब ये तरंगे किसी वस्तु पर पड़ती है तो आंशिक या पूर्ण रूप से अवशोषित हो जाती है। और इनकी energy heat मे change हो जाती है। इस ऊर्जा को Radient energy कहते है। Heat को एक स्थान से दूसरे स्थान पर ले जाने की इस क्रिया को उष्मा संचरण कहते है।

वैसे कोई भी पदार्थ Heat ~~transfer~~ insulator नही होता है फिर भी Rubber, Asbastos, Amonite को heat insulator माना जाता है।

CHAPTER - 2

Conduction (चालन)

2012, 2007,

Fourier's Law :- इस नियम के अनुसार uniform material से ऊष्मा प्रवाह conduction द्वारा प्रत्यक्षरूप से area of heat transfer (normal to the air of heat) तथा ऊष्मा की दिशा मे temp. gradient/drop के समानुपाती तथा length of path of flow के व्युत्क्रमानुपाती होती है। जबकि surface isothermal है।

$$dQ \propto A.[-dT/dx]$$

$$dQ = -KA\frac{dT}{dx}$$

where dQ = Rate of heat transfer

K = Termal Conductivity

dx = वस्तु के प्रथम पृष्ठ से अन्तिम पृष्ठ की दूरी

A = समतापीय पृष्ठ का क्षेत्रफल

(-)ve sign यह indicate करता है कि heat flow occurs from hot to cold.

यहाँ K एक समानुपाती स्थिरांक है। तथा dQ का मान नियत रहता है।

$$dQ = Q$$

$$Q = -KA\frac{dT}{dx} \quad \text{—— (1)}$$

Q. Heat transfer का सिद्धांत किस fundamental principle पर कार्य करता है?

A. कैलोरीमिति के सिद्धांत पर (~~ली गई ऊष्मा~~ दी गई ऊष्मा = ली गई ऊष्मा)

By integrating the above eqn.

$$\int dx = \frac{-KA}{Q}\int dT$$

lim लेने पर

$$\int_{x_1}^{x_2} dx = -\frac{KA}{Q}\int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$\Rightarrow \quad x_2 - x_1 = -\frac{KA}{Q}(T_2 - T_1)$$

यदि $x_2 - x_1 = \Delta x$ तथा $T_2 - T_1 = \Delta T$

तो $\Delta x = -\frac{KA}{Q}.\Delta T$

$$Q = -KA\frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{— (ii)}$$

$\therefore$ Thermal Resistance, $R = \frac{\Delta x}{KA}$

$$\boxed{Q = -\frac{\Delta T}{R}}$$

~~Thermal Conductivity by Fourier's law -~~

~~$Q = -KA\frac{dT}{dx}$~~

~~where, K = Proportional constant/Thermal constant~~

2012.

Thermal Conductivity :-

Thermal conductivity by Fourier's law -

$$Q = -KA\frac{dT}{dx}$$

where, K = Proportional constant/Thermal constant.

यहाँ K का मान तापमान के साथ परिवर्तित होता है। तथा पदार्थ जिसमे ऊष्मा का प्रवाह हो रहा है। Characteristic property है। यह मान μ की तरह पदार्थ की एक transport property है। यह पदार्थ के ऊष्मा प्रवाह का माप है।

" Thermal conductivity is the quantity of heat passing through a quantity of material of unit thickness with unit heat flow area in unit time when unit temperature difference is maintained across the opposite faces of material.

If Q is measured in watts (W = J/s), A in m^2, x in m and T in K, then units of K are W/(m.K) in the SI system.

$$Q = -KA\frac{dT}{dx}$$

$$K = -\frac{Q}{A}\frac{dx}{dT} = \frac{W.m}{m^2.K} = \frac{W}{m.K} = \frac{J}{sec.m.K}$$

or K = Newton/sec.K

किसी पदार्थ की ऊष्मा चालकता गुणांक, ऊष्मा की उस मात्रा के बराबर होती है जो स्थाई अवस्था उस पदार्थ की बनी एक मीटर लम्बी छड़ मे जिसके परिच्छेद का क्षेत्रफल एक वर्गमीटर है, प्रति सेकेण्ड एक सिरे से दूसरे सिरे की ओर संचारित होती है, जबकि इन सिरो मे तापान्तर 1°c है।

Note:- Solid के लिए Thermal Conductivity का मान सबसे अधिक होता है। द्रव मे उससे कम तथा gases मे सबसे कम होता है। आदर्श चालक के लिए K का मान ∞ होता है। K का मान जितना अधिक होता है। पदार्थ उतना ही अच्छा होता है। K का मान अधिक होने पर conducted heat अधिक होगी। आदर्श कुचालक के लिए K का मान 0 होता है।

किसी पदार्थ की Thermal conductivity पदार्थ की प्रकृति तथा उसके temp. पर निर्भर करती है।

Silver = 420, red copper = 395, gold = 302, Aluminium = 210

2010, **Conductance:-** जब किसी cross section से heat पास होती है तो conductance को निम्न equation द्वारा परिभाषित करते है।

$$C = \frac{\Sigma Q}{\Delta T}$$

ΣQ = Heat transfer

ΔT = Temp. difference

$$\Sigma Q = q_1 + q_2 + q_3 + \cdots$$

for unit area -

$$C = \frac{\Sigma Q}{A\Delta T}$$

जब heat ~~above~~ किसी solid substance से above conduction से होता है।

$$Q = \frac{K_m A_m \Delta T}{x}$$

conduction किसी entire wall का गुण है तथा ऊष्मा पदार्थ की मोटाई तथा area पर depend करता है।

$$\text{Conductance} = \frac{1}{\text{Resistance}} = \frac{KA}{x}$$

where,

A = Area of wall

x = Thickness of wall

Scanned by CamScanner

Steady State Conduction :-

यदि conduction के दौरान Rate of heat flow समय के साथ परिवर्तित नही होती है तो इसे Steady State conduction कहते हैं। Steady state conduction बिन्दु पर rate of heat flow नियत रहता है।

Rate of heat transfer through a flate/Plane wall (Slab) :-

माना कि एक flat wall जिसकी thermal conductivity K है जो तापमान पर निर्भर करती है / तथा इस wall की thickness इसके area की तुलना मे बहुत कम है। इसलिये सिरे से convection द्वारा ऊष्मा हानि Nil होगी। Plate के दोनो ही तल isothermal है तथा ऊष्मा प्रवाह तलो के लम्बवत् है। अत: steady state मे slab मे न हो तो heat का Accumulation (क्षय) नही हो सकता है और नहीं depulsion। ऊष्मा प्रवाह के दौरान Q का मान constant रहता है। तथा यदि x_1 hot side तथा x_2 cold side से दूरिया तथा T_1 व T_2 क्रमश: उनके तापमान है।

so applying the fourier's law -

$$\frac{Q}{A} = -K\frac{dT}{dx}$$

$$dT = -\frac{Q}{KA}dx \quad \text{——} (1)$$

By integrating both side, we get

$$\int_{T_1}^{T_2} dT = -\frac{Q}{KA}\int_{x_1}^{x_2} dx$$

$$(T_2 - T_1) = -\frac{Q}{KA}(x_2 - x_1)$$

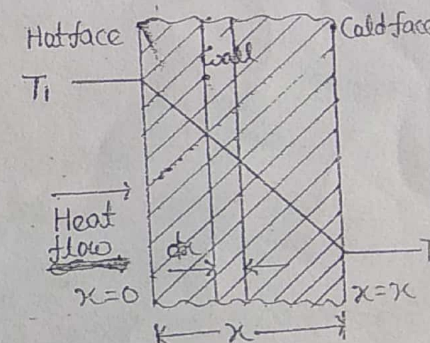
$$T_1 - T_2 = \frac{Q}{KA}(x_2 - x_1)$$

where $\Delta x = x_2 - x_1$ = thickness of slab

$\Delta T = T_1 - T_2$ = driving force

$$\frac{Q}{A} = \frac{K.\Delta T}{\Delta x}$$

$$Q = \frac{KA\Delta T}{\Delta x}$$



$$\because R = \frac{\Delta x}{KA}$$

$$\therefore \boxed{Q = \frac{\Delta T}{R}}$$

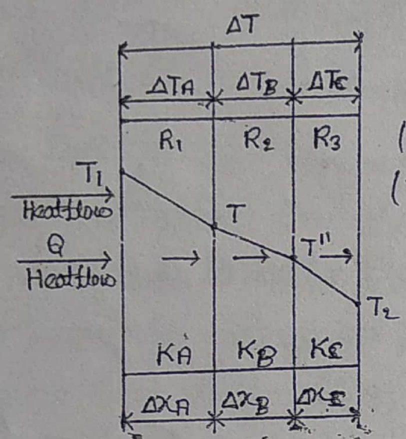
so that

$$\boxed{\text{Heat transfer rate} = \frac{\text{driving force}}{\text{Thermal Resistance}}}$$

Scanned by CamScanner

2007

Heat flow through Multilayer wall (compound Resistance is series / Heat conduction through a composite Plane wall) :-



$(T_1 > T' > T'' > T_2)$
(T' and T'' interface temperature)

माना कि flat wall श्रेणी पर्त-पर्तो की बनी है। जैसा कि चित्र मे दिखाया गया है। माना प्रत्येक पर्त की मोटाई क्रमशः $\Delta x_A, \Delta x_B, \Delta x_C$ तथा उसकी Thermal conductivity क्रमशः K_A, K_B तथा K_C है। माना कि Illustration Plane से समकोण पर compound wall की तरह Area है। पुनः माना कि Layer A, B, C से temp. drop क्रमशः $\Delta T_A, \Delta T_B, \Delta T_C$ है। Layer पूर्णतः Thermal contact मे है। अतः पर्तो के मध्य कोई temp. difference नहीं होगा तब ΔT सम्पूर्ण दीवार से temp. drop होगा।

$$\Delta T = \Delta T_A + \Delta T_B + \Delta T_C \quad \text{—(I)}$$

Through first heat flow

$$\frac{Q_A}{A} = K_A \frac{\Delta T_A}{\Delta x_A}$$

$$\Rightarrow \Delta T_A = \frac{Q_A}{A} \cdot \frac{\Delta x_A}{K_A} \quad \text{—(II)}$$

similarly

$$\Delta T_B = \frac{Q_B}{A} \cdot \frac{\Delta x_B}{K_B} \quad \text{—(III)}$$

$$\Delta T_C = \frac{Q_C}{A} \cdot \frac{\Delta x_C}{K_C} \quad \text{—(IV)}$$

By eqn (II), (III), (IV) and (I), we get

$$\Delta T = \Delta T_A + \Delta T_B + \Delta T_C$$

$$\Delta T = \frac{Q_A}{A} \cdot \frac{\Delta x_A}{K_A} + \frac{Q_B}{A} \cdot \frac{\Delta x_B}{K_B} + \frac{Q_C}{A} \cdot \frac{\Delta x_C}{K_C}$$

But $Q = Q_A = Q_B = Q_C$ (steady state condition)

$$\Delta T = Q\left[\frac{\Delta x_A}{A \cdot K_A} + \frac{\Delta x_B}{A \cdot K_B} + \frac{\Delta x_C}{A \cdot K_C}\right] \quad \text{—(V)}$$

$$\Delta T = Q\left[R_A + R_B + R_C\right]$$

$$\because R = R_A + R_B + R_C$$

so, $\boxed{\Delta T = QR} \Rightarrow \boxed{Q = \frac{\Delta T}{R}}$

If R is overall resistance then Resistance in series.

Scanned by CamScanner

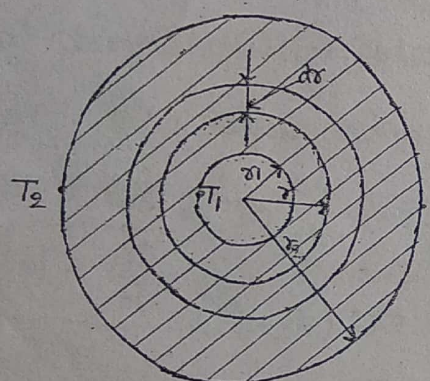
$$\frac{\Delta T}{R} = \frac{\Delta T_A}{R_A} = \frac{\Delta T_B}{\Delta R_B} = \frac{\Delta T_C}{R_C}$$

$$\text{Rate of heat flow} = \frac{\text{driving force}}{\text{Resistance}}$$

यदि figure मे n प्लेटे हो तो समी (V) से

$$\Delta T = \frac{Q_A}{(A \cdot K_A/\Delta x_A)} + \frac{Q_B}{(A \cdot K_B/\Delta x_B)} + \frac{Q_C}{(A \cdot K_C/\Delta x_C)} + \cdots + \frac{Q_n}{(A \cdot K_n/\Delta x_n)}$$

Heat Flow through Hallow Cylinder :-



एक hallow cylinder चित्र मे दिखाया गया है। Cylinder की inside तथा outside radius क्रमशः r_1 तथा r_2 है। जिसकी length l है। जिस material का cylinder बना है। उसकी Thermal Conductivity K है। outside surface तथा inside surface का temp t_2 तथा t_1 है। $t_1 > t_2$

अतः इसमे हम cylindrical element की कल्पना करते है। जिसकी radius r ($r_2 > r > r_1$) तथा उसकी मोटाई dr है। जिसकी त्रिज्या r की तुलना मे बहुत छोटी है। इसमे temp. drop dT है। ($dr \ll r$)

Applying the fourier's law at cylindrical element

$$Q = -KA\frac{dT}{dr} \qquad \{A = 2\pi r l\}$$

$$dT = -\frac{Q}{K \cdot 2\pi r l} dr \quad \text{--- (1)}$$

eqn (1) का integration करने पर

$$\int_{t_1}^{t_2} dT = -\frac{Q}{K \cdot 2\pi l}\int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r} dr$$

$$(t_2 - t_1) = -\frac{Q}{K 2\pi l} \log\frac{r_2}{r_1}$$

$$Q = -\frac{2K\pi l}{\log\frac{r_2}{r_1}} (t_2 - t_1) \times \frac{r_2 - r_1}{r_2 - r_1}$$

$\because r_2 - r_1 = \Delta r$

$$r_m = \frac{r_2 - r_1}{\log\frac{r_2}{r_1}}$$

Scanned by CamScanner

$$\therefore Q = \frac{K 2\pi l (t_2 - t_1) \cdot r_m}{\Delta r}$$

since, $t_2 - t_1 = \Delta T$

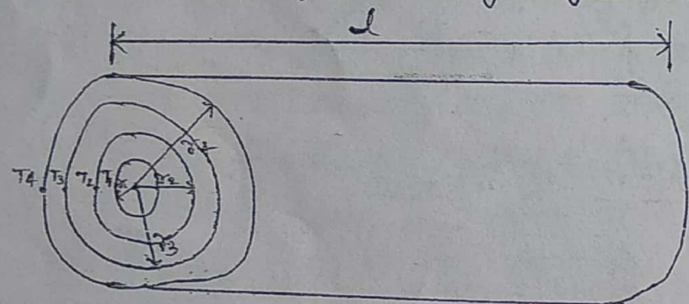
so, $Q = \frac{K 2\pi l}{\Delta r} \cdot r_m \Delta T$

$$Q = \frac{K A_m \Delta T}{\Delta r} \quad (\text{since } A_m = 2\pi r_m l)$$

$$\therefore \frac{\Delta r}{K A_m} = R$$

so, $\boxed{Q = \frac{\Delta T}{R}}$

Heat transfer through Multilayer Cylinder:-



एक multilayer hollow cylinder चित्र मे दिखाया गया है। पहली, दूसरी तथा तीसरी radius क्रमशः r_1, r_2 तथा r_3 है। तथा बाहरी पर्त की radius r_4 है। जिनके temp. क्रमशः T_1, T_2, T_3 तथा T_4 है। तथा Thermal conductivity क्रमशः K_1, K_2, K_3 तथा K_4 है। Cylinder की लम्बाई l है।

माना कि पर्त एक-दूसरे से पूर्णतया सम्पर्क मे है। अब बहुत पतले cylindrical element की कल्पना करते हैं। जिसकी मोटाई dr त्रिज्या r है। तथा $dr <<<<< r$ है।

अब पहली पर्त मे उपस्थित काल्पनिक cylinderical element पर fourier's law apply करने पर

$$Q_A = -K_A \cdot A \frac{dT}{dr}$$

$$Q_A = -K_A \cdot 2\pi r l \frac{dT}{dr}$$

$$\frac{dr}{r} = -\frac{K_A}{Q_A} \cdot 2\pi l \, dT \quad \text{—— (1)}$$

on integrating eqn (1), we get

$$\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = -\frac{K_A}{Q_A} 2\pi l \int_{t_1}^{t_2} dT$$

$$\log \frac{r_2}{r_1} = -\frac{K_A}{Q_A} \cdot 2\pi l (t_2 - t_1)$$

$$(t_1 - t_2) = \frac{Q_A}{K_A}\left[\log \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{(r_2 - r_1)}{(r_2 - r_1)} \cdot \frac{1}{2\pi l}\right]$$

$$\Delta T_1 = \frac{Q_A}{K_A}\left[\frac{\Delta r_1}{r_m 2\pi l}\right]$$

But $\frac{\Delta r_1}{K_A 2\pi l r_m} = R_1$ = Thermal resistance

$\therefore \quad \Delta T_1 = Q_A \cdot R_1$ —— (ii)

similarly $\Delta T_2 = Q_B \cdot R_2$ —— (iii)

$\Delta T_3 = Q_C \cdot R_3$ —— (iv)

where, $\Delta T_1 = t_1 - t_2$, $\Delta T_2 = t_2 - t_3$, $\Delta T_3 = t_3 - t_4$

$\Delta r_1 = r_2 - r_1$, $\Delta r_2 = r_3 - r_2$, $\Delta r_3 = r_4 - r_3$

R_1, R_2, R_3 are thermal Resistance

adding the eqn (ii), (iii) and (v)

$\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 = Q_A R_1 + Q_B R_2 + Q_C R_3$

at steady state $Q_A = Q_B = Q_C = Q$

$\therefore \quad \Delta T = Q(R_1 + R_2 + R_3)$

$\Rightarrow \quad \Delta T = QR$ $\qquad \Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3$

$\Rightarrow \quad \boxed{Q = \frac{\Delta T}{R}}$ $\qquad R = R_1 + R_2 + R_3$

$\Rightarrow$ **Heat transfer rate = $\frac{\text{driving force}}{\text{Resistance}}$**

2010, ✓ **Logmean Area :-** यदि Cylinder की inside तथा outside radius क्रमशः r_1 तथा r_2 हो तो उसकी logmean radius,

$$r_m = \frac{r_2 - r_1}{\log \frac{r_2}{r_1}}$$

जब radius को logmean radius की तरह प्रयोग करते हैं तो इससे प्राप्त cylinder area को logmean area कहते हैं। इसे Am से प्रकट करते हैं।

$$\boxed{A_m = 2\pi r_m l}$$

where l = length of cylinder

or

यदि हम Cylinder का area logmean radius से निकाले तो उसे logmean area कहते हैं।

2012 ✓ **Geometric Mean Area :-** यदि किसी sphere (गोला) की inside radius r_1 तथा outside radius r_2 है। तथा इसकी length l है। तब Geometric mean radius of sphere is -

$$\boxed{r_G = \sqrt{r_1 r_2}}$$

from fourier's law -

$$\frac{Q}{A} = -K\frac{dT}{dr}$$

Scanned by CamScanner

$$Q\frac{dr}{A} = -K\,dT \quad \text{---} (1)$$

on integrating eqn (1), we get

$$Q\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{A} = -K\int_{t_1}^{t_2} dT$$

$$Q\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{4\pi r^2} = -K_m\int_{t_1}^{t_2} dT$$

$$\frac{Q}{4\pi}\left[-\frac{1}{r}\right]_{r_1}^{r_2} = K_m(t_1-t_2)$$

$$\frac{Q}{4\pi}\left[-\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_1}\right] = K_m(t_1-t_2) = K_m\Delta T$$

$$Q = \frac{K_m\Delta T\, r_1 r_2 4\pi}{(r_2-r_1)}$$

$$Q = \frac{K_m\Delta T\, r_1 r_2 4\pi}{r_2-r_1} \quad \text{---} (11)$$

we know that

$$r_G = \sqrt{r_1 r_2} \Rightarrow r_G^2 = r_1 r_2$$

$$\therefore Q = \frac{4K_m\Delta T\pi r_G^2}{r_2-r_1}$$

$$A_G = \sqrt{A_1 \times A_2} = \sqrt{4\pi r_1^2 \times 4\pi r_2^2}$$

$$\boxed{A_G = 4\pi r_1 r_2} \Rightarrow \boxed{A_G = 4\pi r_G}$$

Cylinder का Geometric mean area

$$\boxed{A_G = 2\pi r_G l}$$

12

2019 **Arthmatic Mean Area :-** यदि किसी cylinder की inside तथा outside radius क्रमशः r_1 तथा r_2 हो तथा उसकी लम्बाई l हो तो

$$\bar{r} = \frac{r_2+r_1}{2}$$

अत: Arthmatic Mean Area

$$\boxed{\bar{A} = 2\pi\bar{r}l = \pi l(r_1+r_2)}$$

Scanned by CamScanner

CHAPTER-3

Convection (संवहन)

Types of convection :- There are two types of convection.

2012, 2009, 2007, 2006,

① Free or Natural Convection :-

Microscope scale पर संवहन द्वारा उष्मा का संचरण fluid के movement का circulating current मे परिवर्तन होने के कारण होता है।

Circulating current उष्मा संचरण प्रक्रम मे स्वत: उत्पन्न होता है। जब tube को गर्म किया जाता है। तब उसकी वह film जो उष्मा source के निकट है। अन्य film की अपेक्षा अधिक गर्म हो जाती है। इससे इनके घनत्वो मे difference उत्पन्न हो जाता है। अधिक तापमान वाली film का घनत्व कम होता है। अत: कम घनत्व वाली film ऊपर आ जाती है। इस प्रकार पूरे द्रव मे circulating current generate हो जाता है।

Example :- द्रव से भरे बर्तन को गैस की ज्वाला मे गर्म करना।

Natural convection प्राय: laminar flow मे होती है। कम वेग, कम श्यानता एवं बड़ी नलिकाओ जहां temp. बहुत कम होता है। Natural convection की क्रिया हो सकती है। इसे निम्न equation से show करते है।

$$N_{Cr} = D^3 g G^2 B \Delta T / \mu^2$$

where, D = diameter of unit

g = Gravitational acceleration

B = द्रव का प्रसार गुणांक

ΔT = Temp. difference between matter and wall

2012, 2009, 2007, 2006,

② Forced Convection :-

Microscope scale पर संवहन द्वारा उष्मा का संचरण तरल के movement का circulating current मे परिवर्तन होने के कारण होता है। जब circulating current उष्मा संचरण प्रक्रम मे स्वत: उत्पन्न न होकर किसी बाह्य माध्यम जैसे - pump, blower, fan, agitator आदि के द्वारा उत्पन्न होती है। तो उष्मा संचरण की यह विधि forced convection कहलाती है। यह द्रव की गति, density gradient पर निर्भर नही करता है।

Example:- Heat flow to a fluid pumped through heated pipe.

Scanned by CamScanner

Dimensional Analysis :- कुछ महत्वपूर्ण engineering problems का समाधान नही है। इस प्रकार के problems fluid flow, Heat flow, diffusion operation आदि मे उत्पन्न होती है। इस प्रकार की समस्याओ के समाधान के लिए कोई एक mathmetical eqn उत्पन्न नही की जा सकती है। इसका समाधान केवल अनुभव जन्म परीक्षण से ही सम्भव है। Dimensional Analysis का अस्तित्व formal mathemetical development तथा completely emperical study (पूर्णतः अनुभव जन्म अध्ययन) के माध्यम से होता है। यह इस कथन पर आधारित है कि यदि सैद्धान्तिक समी० भौतिक प्रक्रमो को प्रभावित करने वाले कारकों के अस्तित्व मे आती है। तो यह समी० विमीय दृष्टि से समान होना चाहिए। इसकी संभावना बहुत से factor की dimension less group of variables को समाहित करने मे ही होता है। इन्हीं dimension less group की सहायता से final eqn प्राप्त हो जाती है। यह विधि विमीय विश्लेषण (Dimensional Analysis) कहलाती है।

Example:- There are five dimension less group of variables.

14

[1] Nussel's No. = N_{NU} = hD/K

[2] Reynald's No = N_{Re} = $\rho V D/\mu$

[3] Prandle No = N_{PR} = $\frac{C\mu}{R}$ = $\mu . C . P/K$

[4] Grashoff No. = N_{GR} = $L^3 \rho^2 g \Delta T \beta/\mu^2$

[5] Stanton No = N_{ST} = h/C_pG

Formula = $\frac{L}{D}$

where, h = heat transfer coefficient

L = length of tube

D = diameter

C_p = Specific heat at constant pressure

g = acceleration due to gravity

μ = viscosity

V = laminer velocity

G = mass velocity

β = coefficient of thermal expansion

K = Thermal conductivity

These given dimensionless groups are related by thus

$$N_{NU} = f[N_{Re}, N_{Pr}, N_{GR}, L/D]$$

Scanned by CamScanner

15

Pi (π) Theorem :– इस प्रयोगानुसार विमाहीन समूह की संख्या, variables तथा उनको प्रदर्शित करने वाले dimensions संख्या के अन्तर करने के बराबर होती है। यह प्रमेय Buckingham द्वारा दी गयी थी। इसलिए इसे Buckingham प्रमेय के नाम से जानते हैं। यह विमीय विश्लेषण में प्रयोग किया जा सकता है तथा इस प्रमेय को complete proof चौरि मैन नामक वैज्ञानिक ने किया था।

No. of dimensionless group = No. of variable (including dimensionless content) – No. of dimensions used

यदि dimensionless group $\pi_1, \pi_2, \pi_3, ----\pi_n$ से प्रदर्शित किये जाये तो प्रमेय का physical representation निम्न प्रकार से होगा।

$$\phi[\pi_1, \pi_2, \pi_3, ----, \pi_n] = 0$$

जहाँ पर π की संख्या या विमाहीन समूह की संख्या variables तथा विमाओं की संख्या के अन्तर के बराबर होना।

H.T.O. में force convection $\mu, \rho, C_p, D, V, K, R, h$ राशियों पर निर्भर करती है।

$$Pi \propto V^a \rho^b C_p^d D^e K^f H^g R^H \mu^c$$

Total No. of variables = 8

written their dimensions –

$$H \propto \left(\frac{L}{T}\right)^a \left(\frac{M}{L^3}\right)^b \left(\frac{H}{MT}\right)^d (L)^e \left(\frac{H}{\theta LT}\right)^F \left(\frac{M}{L\theta}\right)^g \left(\frac{ML^2}{H\theta^2}\right)^H$$

Total no. of variables used = 5

Variables used (L, T, θ, M, H)

$$\frac{bD}{K} - \left(\frac{DG}{H}\right)^a \cdot \left(\frac{CH}{K}\right)^{1-\gamma}$$

we see that total no. of dimensionless group = 3

According to Pi (π) Theorem –

No. of variables – No. of dimension used.

= No. of dimensionless group

$\Rightarrow$ 8 – 5 = No. of dimensionless group

= 3

So, No. of variables – No. of dimension used

= No. of dimensionless group.

Hence Proved

Scanned by CamScanner

2005.
Reynald's Number :- Reynald ने ज्ञात किया कि laminar flow का turbulent flow मे change होना चार राशियो, Diameter of pipe, तरल की श्यानता (viscosity), density of fluid, velocity of fluid पर निर्भर करता है। उसने इन चारो राशियो को एक group मे संयुक्त कर एक dimensionless eqn स्थापित किया जो एक Number को प्रदर्शित करता है। इसे Reynald's Number (N_{Re}) कहते है।

$$N_{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{DV}{\nu}$$

where, N_{Re} = Reynald no., D = diameter of pipe
v = velocity of fluid, ν = Kinematic viscosity of fluid

when $N_{Re} < 2000$ flow is laminar

$N_{Re} > 4000$ flow is turbulent

Physical Significance :- इस समूह का Physical significance यह है कि यह group inertia force तथा viscous force का ratio है।

$$\text{Reynald Number} = \frac{\text{Inertia force (जड़त्व बल)}}{\text{Viscous force (श्यान बल)}}$$

यह एक विमाहीन राशी है।

2006, 2005,
Prandle Number:- Kinematic viscosity तथा Thermal diffusivity के मध्य अनुपात को Prandle Number कहते है।

$$N_{Pr} = \frac{\text{Kinematic viscosity}}{\text{Thermal diffusivity}} = \frac{\nu}{\alpha}$$

$$N_{Pr} = \frac{\mu}{\rho} \times \frac{C_p \rho}{K} = \frac{C_p \mu}{K}$$

where $\alpha = \frac{K}{C_p \rho}$, $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

N_{Pr} की Numerical value fluid के temp. व pressure पर depend करती है। अतः N_{Pr} एक true property है। N_{Pr} की value अलग-2 substance के लिए अलग-2 होती है। केवल heat transfer मे वे liquid या metals जिनका Prandle No. बहुत कम होता है। उनकी Thermal layer hydrodynamic layer की अपेक्षा काफी अधिक मोटी होती है।

Physical Significance :- इस No. की Physical significance यह है कि यह Thermal diffusion of momentum का गुणक है। यह molecular diffusivity of heat का ratio होता है।

Scanned by CamScanner

$$\text{Prandle Number} = \frac{\text{molecular diffusivity of momentum}}{\text{molecular diffusivity of heat}}$$

2006, 2005,
Nusselt's Number :- यदि किसी Pipe के अन्दर heat flow होता है तो उसका Nusselt's Number निम्न अनुपात के अनुसार परिभाषित किया जा सकता है।

$$N_{NU} = \frac{hD}{K}$$

where, D = dia. of pipe, h = heat transfer coefficient
K = Thermal conductivity

जब किसी Pipe मे तरल बह रहा है तो heat transfer निम्न surface से होगा, Fluid की उस सतह द्वारा heat transfer जो Pipe की दिवार के साथ सम्पर्क मे है।

$$\frac{dq}{dA} = h(T - T_w) \quad \text{—(I)}$$

where, $\frac{dq}{dA}$ = heat flux
h = individual heat transfer coefficient
T = Average temp. of fluid
T_w = temp^r of metal wall

Metal wall से heat transfer

$$\left(\frac{dq}{dA}\right)_w = -K\left(\frac{dT}{dy}\right)_w \quad \text{—(II)}$$

where $\left(\frac{dq}{dA}\right)_w$ = temp. gradient at the metal wall

by eq^n (I) and (II), we get

$$h(T - T_w) = -K\left(\frac{dT}{dy}\right)_w$$

$$\frac{hD}{K} = -\left\{D\left(\frac{dT}{dy}\right)_w\left(\frac{1}{T - T_w}\right)\right\}$$

$$N_{NU} = -D\left(\frac{dT}{dy}\right)_w\left(\frac{1}{T - T_w}\right)$$

Physical Significance :-

$$\text{Nusselt's Number} = \frac{\text{Wall heat transfer rate}}{\text{Heat transfer by conduction}}$$

2017, 2005,

Stanton's Number :- Stanton's number निम्न समी० द्वारा परिभाषित किया जा सकता है।

$$N_{St} = \frac{h}{C_p G}$$

$$N_{St} = \frac{N_{Nu}}{N_{Re} \cdot N_{Pr}}$$

where, h = heat transfer coefficient
G = mass velocity
C_p = Specific heat

अर्थात्
यह Nusselt's Number तथा Reynald Number और prandle Number के गुणनफल का ratio होता है।

Physical Significance :- इस No. का Physical significance यह है कि इसके entercity of heat transfer तथा inertia force के मध्य अनुपात प्रदर्शित करती है।

$$N_{St} = \frac{\text{entercity of Heat transfer}}{\text{inertia force}}$$

18 2017, **Peclet Number :-** Reynald's number तथा Prandle Number के गुणनफल को Peclet Number के रूप मे जानते है। इसे N_{pe} से निरूपित करते है।

$$N_{pe} = N_{Re} \times N_{Pr}$$

$$N_{pe} = \frac{\rho V D}{\mu} \times \frac{C_p \mu}{K}$$

$$N_{pe} = \frac{\rho V D C_p}{K}$$

But $\alpha = \frac{K}{\rho C_p}$, so $N_{pe} = \frac{DV}{\alpha}$

$$N_{pe} = \frac{\text{Fluid velocity} \times \text{Pipe dia}}{\text{Thermal diffusivity}}$$

Physical Significance :- Forced convection मे Peclet No. fluid के flow तथा heat flow के मध्य अनुपात होता है।

Scanned by CamScanner

Grashoff Number :- एक Pipe के अन्दर Grashoff No. इस प्रकार परिभाषित किया जा सकता है।

$$N_{GR} = \frac{D_o^3 \rho^2 g \beta . \Delta T}{\mu^2}$$

where, D_o = outside diameter of pipe

ρ = Density of fluid

g = accelaration of thermal conductivity expansion of fluid

μ = viscosity of fluid

ΔT = Average tempr difference between outside and fluid distance from wall.

Physical Significance :-

$$N_{GR} = \frac{\text{Buoyancy forces} \times \text{Inertia forces}}{(\text{viscous forces})^2}$$

Tube or Pipe मे fluid के turbulent flow के लिए heat transfer coefficient की गणना की जाती है।

Greatz Number :- इसे N_{GZ} से denote करते हैं। यह एकांक लम्बाई से प्रवाहित होने वाले fluid की Heat capacity तथा Pipe की conductivity का ratio होता है।

$$N_{GZ} = \frac{M . C_p}{KL}$$

where, M = mass flow rate

$$m = \rho v A$$

$$m = \frac{\rho v \pi D^2}{4}$$

then $N_{GZ} = \frac{\pi}{4} \times \frac{\rho v}{K} \times \frac{C_p D^2}{L}$

$$\Rightarrow N_{GZ} = \frac{\pi}{4} \times \frac{D v \rho}{\mu} \times \frac{C_p \mu}{K} \times \frac{D}{L}$$

$$\Rightarrow N_{GZ} = \frac{\pi}{4} . N_{Re} . N_{pr} . \frac{D}{L}$$

Scanned by CamScanner

2016, 2008, 2009

Dittus Boelter's Equation :-

जब कोई fluid किसी Pipe मे विमाहीन eqⁿ के अनुसार प्रवाहित होता है तो इसे Dittus Boelter's equation कहते हैं।

One empirical correction for long tube with sharp edged entrance. The dittus Boelter's Equation

$$\frac{h_i D}{K} = 0.023\left(\frac{D\rho V}{\mu}\right)^{0.8}\left(\frac{C_p \mu}{K}\right)^{a}$$

$$\Rightarrow N_{Nu} = 0.023 (N_{Re})^{0.8} (N_{Pr})^{a}$$

अत: Dittus Boelter's Equation heat transfer coefficient, Reynold Number और Prandle Number के बीच सम्बन्ध को व्यक्त करती है।

where, h = Heat transfer coefficient
K = Thermal Conductivity
C_p = Specific heat at constant pressure
D = Dia of tube
ρ = mass density

where, $a = 0.4$ for heating
$a = 0.3$ for cooling

Condition for this eqⁿ :-

(i) जब liquid turbulent तथा पूर्ण विकसित प्रवाह मे होता है।

(ii) N_{Pr} की value 0.7 से अधिक हो तथा 700 से कम हो।

(iii) Pipe मे L/D का अनुपात 60 से अधिक हो।

(iv) Fluid के सभी measurement arithmatic mean built temp पर हो $(T_i + T_o)$

(v) N_{Re} की value 10000 से अधिक हो अन्यथा यह eqⁿ लागू नहीं होगा।

T_i = Inlet temp of fluid
T_o = Outlet temp of fluid

(vi) जब N_{Pr} बहुत कम होता है तो इसका प्रयोग पिघली धातुओ के लिए नहीं करनी चाहिए। जिसकी साधारण heating और cooling के लिए eq को निम्न प्रकार लिखते है।

$$h = 0.023 \frac{K}{D} (N_{Re})^{0.8} (N_{Pr})^{0.33}$$

Utility :- यह समी० turbulent flow के लिए heat transfer coefficient का मान ज्ञात करने के लिए प्रयोग मे लाया जाता है। यह eqⁿ

दो रूप मे use की जाती है।

for heating $\frac{hD}{K} = 0.023\left(\frac{DV\rho}{\mu}\right)^{0.8}\left(\frac{C_p\mu}{K}\right)^{0.4}$

for cooling $\frac{hD}{K} = 0.023\left(\frac{DV\rho}{\mu}\right)^{0.8}\left(\frac{C_p\mu}{K}\right)^{0.3}$

Sieder-Tate Equation :- किसी ट्यूब/पाइप मे turbulent flow के लिए sieder tate eqn वह है जो thermal gradient के साथ wall के नजदीक fluid के viscosity परिवर्तन की गणना मे भाग लेता है।

$$\frac{hD}{K} = 0.023\left(\frac{DV\rho}{\mu}\right)^{0.8}\left(\frac{C_p\mu}{K}\right)^{1/3}(\mu/\mu_w)^{0.14}$$

उपरोक्त eqn sieder tate equation है।

where, $(\mu/\mu_w)^{0.14}$ = Sieder tate correction factor.

μ_w = Viscosity of the fluid at the wall temp.

Colburn Equation :- Colburn equation मे, Nusselt Number (N_{Nu}) के स्थान पर Stanton Number (N_{St}) प्रयोग किया जाता है।

$$N_{St} = \frac{h}{C_p\rho v} \quad \text{— (I)}$$

It should be noted that,

$$\frac{h}{C_p.\rho v} = \frac{hD}{K}\cdot\frac{\mu}{DV\rho}\cdot\frac{K}{C_p\mu}$$

$$N_{St} = N_{Nu}\cdot N_{Re}^{-1}\cdot N_{Pr}^{-1}$$

$$N_{Nu} = N_{St}\cdot N_{Re}\cdot N_{Pr} \quad \text{— (II)}$$

we know that sieder tate equation is

$$N_{Nu} = 0.023(N_{Re})^{0.8}(N_{Pr})^{1/3}(\mu/\mu_w)^{0.14} \quad \text{— (III)}$$

putting the value of N_{Nu} from eqn (II) into (III), we get

$$N_{St}\cdot N_{Re}\cdot N_{Pr} = 0.023(N_{Re})^{0.8}(N_{Pr})^{1/3}(\mu/\mu_w)^{0.14}$$

$$N_{St}\cdot N_{Pr}^{2/3}\cdot(\mu_w/\mu)^{0.14} = 0.023(N_{Re})^{-0.2}$$

$$\frac{h}{C_p\rho v}\left(\frac{C_p\mu}{K}\right)^{2/3}\left(\frac{\mu_w}{\mu}\right)^{0.14} = 0.023\left(\frac{DV\rho}{\mu}\right)^{-0.2}$$

उपरोक्त equation ही Colburn equation है।

Scanned by CamScanner

Fouling Factor :- जब Heat transfer coefficient का प्रयोग करते हैं तो कुछ समय बाद scale, dirt तथा कुछ अन्य solids deposit pipe wall के दोनो तरफ जम जाते हैं। जो over all heat transfer coefficient की गणना मे इनके द्वारा उत्पन्न resistance को add करना आवश्यक होता है। या original heat मे से घटा देते हैं। इसलिए required heat की ज्यादा आवश्यकता होती है।

इसलिए Heat transfer equipment, dirt तथा scale व resistance को ध्यान मे रखकर बनाये या designed किये जाते हैं। जिसमे R_d resistance add किया जाता है। जिसे Fouling factor कहते हैं।

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{x_w}{K} + \frac{1}{h_o} + R_d$$

जहाँ over all heat transfer coefficient को design or dirty overall heat transfer coefficient कहते हैं

Dirty heat transfer coefficient का मान हमेशा Clean overall heat transfer से कम होता है।

$$R_d = R_{di} + R_{do}$$

R_{di} = dirt factor of inner fluid of inside surface pipe

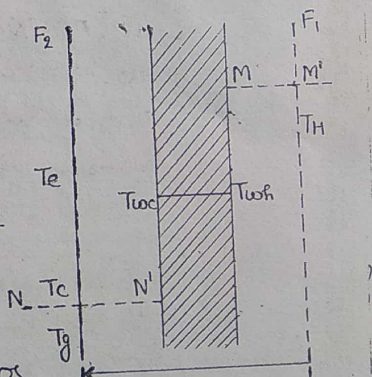
R_{do} = Outer side inside surface of pipe

Unit of $R_d = (m^2 . K)/W$.

यह Resistance जिससे heat transfer coefficient ज्ञात करते समय Pipe मे scale, dirt आदि solids के कारण उत्पन्न होता है। dirt or fouling factors कहलाता है।

Temperature Gradient Inforced Convection :-

Distance के अनुसार temp मे परिवर्तन line T_a, T_b Turn T_{we}, T_e, T_g द्वारा दिखाया गया है। इस पूरे temp curve को तीन भागो मे विभाजित किया गया है।



① Metal wall के द्वारा

② Warm/hot fluid के द्वारा

③ Cold fluid के द्वारा

चूंकि turbulent flow के conducts मे तीन zone produce हो जाते हैं। दीवार के पास एक viscos

sublayer होती है तथा steam के अधिक से अधिक भाग मे turbulent flow रहता है। Fluid की velocity gradient wall के नजदीक अधिक turbulent zone कम तथा buffer zone मे बहुत तेजी से change होती है।

Fig. मे viscouse sublayer $F_1 - F_2$ द्वारा show की गयी है। warm steam का maximum temp. (T) average temp रहता है। जिसे line (m-m') से T_H द्वारा denote करते है। इसी प्रकार cold steam का temp (N-N') द्वारा T_c से denote किया गया है। अत: heat flow के लिए total resistance series मे जुड़े तीन resistance के योग के बराबर है। दो resistance fluid के hot steam, cold steam से तथा एक resistance metal wall से उत्पन्न होता है। अत: overall heat transfer coefficient निकलने के लिए प्रत्येक resistance का individual Heat transfer coefficient निकाला जायेगा।

Metal द्वारा produce resistance का मान fluid द्वारा produce resistance से काफी कम होता है। अत: केवल steam के individual heat transfer coefficient पर विचार करे।

so, $$h = \frac{da/dA}{T - T_w} \quad \text{—} (1)$$

$\frac{da}{dA}$ = total heat flux based on area in contact with fluid.

T = total average temp. of fluid

T_w = temp. of wall in contact with fluid

यदि दोनो fluid के लिए अलग-2 heat transfer coefficient निकाले जाये तो

$$h_i = \frac{da}{dA_i} \Big/ T_h - T_{wh} \quad (\text{for hot fluid})$$

$$T_h - T_{wh} = \frac{da}{dA_i} \times \frac{1}{h_i} \quad \text{—} (2)$$

where, T_h = temp. of hot fluid

T_{wh} = Hot fluid के दिवार के पास का temp.

for cold steam fluid

$$h_o = \frac{da}{dA_o} \Big/ T_{wc} - T_c$$

for outside of tube

$$T_{wc} - T_c = \frac{da}{dA_o} \times \frac{1}{h_o} \quad \text{—} (3)$$

लेकिन $\frac{da}{dA_o}$ को Fourier's law के द्वारा भी ज्ञात किया जा सकता है। क्योकि wall से heat flow conduction द्वारा होती है।

इसलिए $\frac{dq}{dA_0} = -K\left(\frac{dT}{dy}\right)_\omega$ —— ④

जहाँ $\left(\frac{dT}{dy}\right)_\omega$ = wall पर temp. gradient

अत: eqⁿ ④ से $\frac{dq}{dA_0}$ का मान समी० ① मे रखने पर

$$h = \frac{-K(dT/dy)_\omega}{T-T_\omega} \quad —— ⑤$$

अत: eqⁿ ⑤ के दोनों पक्षों मे D से गुणा करने पर

$$\frac{hD}{K} = \frac{(dT/dy)_\omega}{T-T_\omega} \cdot D$$

where, D is dia of fluid.

unitless group $\frac{hD}{K}$ को Nusselt No. कहते हैं। इसे N_{NU} से denote करते हैं। इसलिए समी० ① से स्पष्ट है कि Nusselt No. का मान Pipe के diameter पर depend करता है।

P.E.U 2010,

Individual and overall heat transfer Coefficient:-

यह माना कि एक circular pipe के अन्दर hot fluid तथा बाहर cold fluid बह रहा है। जो heat hot fluid से cold fluid तक resistance की एक series द्वारा जायेगी। साधारणत: solid surface पर fluid velocity को शून्य माना जाता है तथा जैसे-2 surface से दूर जाते हैं। यह तेजी से बढ़ता है। यह पाया गया है कि turbulent flow जहाँ convective heat flow surface से fluid तक पाया जाता है। उसमे wall surface के पास एक film पायी जाती है जो turbulence free होती है। इस film का rate of heat transfer ज्ञात करने मे बहुत महत्व है। क्योंकि जो भी heat cold fluid को प्राप्त हो रही है। वह इस film से conduction द्वारा बह रही है। चूँकि fluid की Thermal conductivity बहुत कम होती है। अत: इसका resistance अत्यधिक होगा। यदि y_1, y_2 व z_1, z_2 क्रमश: hot film तथा cold film की boundary मे तथा y_1, y_2 के left तथा z_1, z_2 के right मे flow turbulent हो। यदि T_a minimum temp of hot fluid तथा T' hot fluid boundary

Scanned by CamScanner

temp t_2 metal wall पर temp व T_3 metal wall के दूसरी ओर temp व T'' cold fluid film boundary पर temp, T_b cold fluid temp हो तथा heat transfer calculation मे maximum temp के स्थान पर average temp. लेते हैं। Hot fluid का average temp T_1 NN से तथा cold fluid का average temp T_2 mm से प्रदर्शित है।

Rate of heat transfer through hot film

$$Q = \frac{h_i A_i (T_1 - T_2)}{x_1}$$

The effective film thickness X_1 depends upon the nature of flow and nature of surface और साधारणत: इसका मान ज्ञात नही होता है। अत:

$$Q = h_i A_i (T_1 - T_2)$$

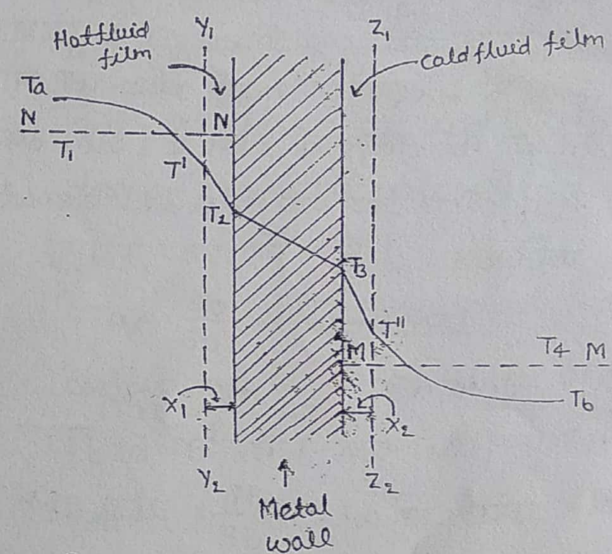
जहाँ h_i = inside heat transfer coefficient या surface coefficient कहलाता है।

Hot fluid से cold fluid तक का resistance or overall resistance तीन series resistance से मिलकर बना होता है।

① Hot fluid की film का प्रतिरोध

② Metal wall का प्रतिरोध

③ Cold fluid की film का प्रतिरोध



P.E.D 2010, 2008.

Overall Heat transfer Coefficient :-

हम जानते है कि Heat flux अपने driving forces के समानुपाती होता है। चूंकि temp of difference, heat transfer के लिए driving force का कार्य करता है

$$\frac{q}{A} \propto (T_h - T_c)$$

where T_h and T_c is average temp of hot & cold fluid respectively.

$T_h - T_c$ is driving force in a heat exchanger.

किसी heat exchanger मे $T_h - T_c$ का मान overall temp. difference को प्रदर्शित करता है। ΔT का मान एक बिन्दु से दूसरे बिन्दु तक परिवर्तन शील हो सकता है। परन्तु driving force ΔT के बराबर होता है। इसलिए heat flux का मान भी ΔT के समानुपाती होता है। अतः उपरोक्त eqn को differentiate द्वारा denote करते है।

$$\text{Local flux} \Rightarrow \frac{dq}{dA} \propto \Delta T$$

$$\Rightarrow \frac{dq}{dA} = U \Delta T$$

$$\Rightarrow \frac{dq}{dA} = U(T_h - T_c)$$

U = local ~~mass~~ overall heat transfer coefficient & unit of U is Joule/hr.m²K.

अतः U को पूर्ण रुप से define करने के लिए Area को specify करना जरुरी है। यदि किसी tube का outside Area 'A_o' लिया जाये तो U को U_o से denote करते है। यदि Inside area 'A_i' हो तो U को U_i से denote करते है।

$$\frac{U_o}{U_i} = \frac{dA_i}{dA_o} = \frac{D_i}{D_o}$$

where, D_i = inside dia of tube.

D_o = outside dia of tube.

P.E.D 2010,

✓ Individual Heat transfer Coefficient :-

Individual heat transfer coefficient का मान बहुत से variable पर depend करता है। अतः इसको इसके अवयवो मे divide करना जरुरी है। इसके लिए हम double pipe heat exchanger पर विचार करते है।

माना कि hot fluid tube के अन्दर से तथा cold fluid बाहर वाले pipe से होकर प्रवाहित हो रहा है तथा pipe के दोनो surface clean है। तथा temp. period fig. मे दिखाया गया है।

Tube की metal wall hot fluid तथा cold fluid को right तथा left side seperate करती है।

suppose that

T_a = fluid का minimum temp.

T_b = The temp. to the boundary between the turbulent and viscouse.

than,
$$h = \frac{dq/dA}{T - T_w} \quad \text{—— (1)}$$

where, $\frac{dQ}{dA}$ = Local heat flux based on the area with fluid.

T = Local average temp of fluid

T_w = Temp of wall in contact with fluid.

$\frac{dQ}{dA}$ का मान fourier's law से ज्ञात कर सकते है। क्योंकि wall heat flow conduction द्वारा होता है।

$$\frac{dQ}{dA} = -K\frac{dt}{dy} \quad \text{—(ii)}$$

$\frac{dt}{dy}$ = wall का temp. gradient

$\frac{dQ}{dA}$ का मान समी० (i) मे रखने पर

$$h = \frac{dQ/dA}{T-T_w} \quad \text{—(i)}$$

$$h = -K\frac{(dt/dy)|_w}{T-T_w} \quad \text{—(iii)}$$

eqⁿ (iii) को pipe के dia D से गुणा तथा Thermal conductivity K से भाग करने पर

$$\frac{hD}{K} = -\frac{(dt/dy)/w}{(T-T_w)/D}.$$

Dimensionless group $\frac{hD}{K}$ को Nusselt No. कहते है। $(dt/dy)_w$ wall का temp. gradient है। $(T-T_w)/D$ को entire पाइप का average temp. gradient मान सकते है। इस प्रकार Nusselt No. Temp gradient at wall तथा avg. temp. gradient accross the entire पाइप का ratio है।

यदि individual heat transfer coefficient को heat fluid तथा cold fluid के लिए अलग-2 प्रयोग करे तब hot fluid के tube के अन्दर flow होने की condition मे –

$$h_i = \frac{dQ/dA_i}{T_h - T_{wh}}$$

dA_i = inside area of pipe

T_h = avg temp of hot fluid

T_{wh} = Temp of hot fluid at the wall

Scanned by CamScanner

cold fluid के लिए -

$$h_o = \frac{dQ/dA_o}{T_{wc} - T_c}$$

T_{wc} - Temp of cold fluid at the wall contact.

T_c = avg. temp. of cold fluid.

Unit of Individual heat transfer coefficient :-

Btu/hr ft °F

Surface Coefficient :- किसी particular case के लिए surface coefficient को स्पष्ट करने के लिए आवश्यक है कि fluid की सम्पूर्ण properties तथा flow condition ज्ञात हो। यह factor pipe का dia, fluid की density, viscosity तथा specific heat होते हैं। ऊष्मा संचरण की कुछ आवश्यकताएं इतनी जटिल होती है कि partical form मे इन properties को एक रूप मे प्रकट करना कठिन होता है। इन properties को एक रूप मे प्रकट करने के लिए diamension

analysis करते हैं। यह diamentional group मे व्यवस्थित किये जा सकते हैं।

- Opaque material
- Specular body

$\{a + r + J = 1\}$

White body :-

If $r = 1$

all the incident energy is supposed to be entirely reflected by the body and is specular.

If the surface gives diffused reflection the body is called as a white body.

e.g., a piece of white chalk (white body)

Opaque material/surface :- A majority of engineering materials are opaque (i.e., for which the amount transmitted is very negligible) and in such cases equation ($a + r + \tau = 1$) simplifies to -

$a + r = 1$ -- for an opaque material/surface.

Scanned by CamScanner

2009, 2005,

Emissive Power :- (उत्सर्जन क्षमता) Emissive Power is the total quantity of radient energy emitted by a body per unit area per unit time.

$$e = \frac{Q}{At} \quad J/m^2 sec$$

or

जब किसी वस्तु का ताप आस-पास के ताप से अधिक होता है तो वस्तु के तल से heat का emission होता है। इस emission की दर तल की प्रकृति, क्षेत्रफल तथा विकिरण की तरंग दैर्ध्य λ_m पर depend करती है।

किसी वस्तु के प्रति एकांक क्षेत्रफल से प्रति sec उत्सर्जित ऊर्जा कुल विकिरण ऊर्जा की मात्रा को उस पृष्ठ की उत्सर्जन क्षमता कहते हैं।

इसे e से denote करते हैं। इसका मात्रक J/m^2s होता है।

$$e = \frac{Q}{At}$$

~~एक अन्य परिभाषानुसार " किसी वस्तु की उत्सर्जन क्षमता उसके प्रति एकांक क्षेत्रफल से प्रति second उत्सर्जित ऊर्जा तथा उसी ताप पर कृष्णिका (Black body) के प्रति एकांक क्षेत्रफल से प्रति second उत्सर्जित ऊर्जा का ratio है।~~

~~इस दशा में इसका कोई मात्रक~~

चूंकि विकिरण में सभी तरंग दैर्ध्य की तरंगे होती हैं। अतः इसे निम्न प्रकार परिभाषित किया जा सकता है।

किसी पृष्ठ के प्रति एकांक क्षेत्रफल द्वारा एक second में तरंग दैर्ध्य (स्पेक्ट्रम) λ परास में उत्सर्जित विकिरण ऊर्जा की मात्रा को उस पृष्ठ की उत्सर्जन क्षमता है।

$$e_\lambda = \frac{Q}{A\lambda t}$$

एक अन्य परिभाषानुसार " किसी वस्तु की उत्सर्जन क्षमता उसके प्रति एकांक क्षेत्रफल से प्रति second उत्सर्जित ऊर्जा तथा उसी ताप पर black body के प्रति एकांक क्षेत्रफल से प्रति second उत्सर्जित ऊर्जा का ratio है।

इस दशा में इसका कोई मात्रक नहीं होता है तथा इसका मान सदैव एक से कम होता है।

Emissivity (उत्सर्जकता) :-

किसी पिण्ड की उत्सर्जकता उस पिण्ड की उत्सर्जन क्षमता (E) तथा black body की उत्सर्जन क्षमता (E_b) का अनुपात होता है (जबकि ताप निश्चित हो)।

or

The emissivity 'e' of any body is defined as the ratio of the total emissive power E of the body to that of a black body E_b at the same temperature

$$e = \frac{E}{E_b}$$

∵ for black body, $E_b/a_b = I$ —(i)

and for non black body or any bodies,

$$E/a = I \quad \text{—(ii)}$$

from eqn (i) and (ii)

$$\frac{E_b}{a_b} = \frac{E}{a} \Rightarrow \frac{E}{E_b} = \frac{a}{a_b}$$

$$\Rightarrow e = \frac{a}{a_b}$$

∵ $a_b = 1$ (for black body)

∴ $\boxed{e = a}$

Note- जब कोई body surroundings के Thermal equilibrium मे होतो उसकी emmissivity and absortivity ratio equal होती है। यह Kirchoff's Law का अन्य statement है।

3. Monochromatic Emissive Power (E_λ) :-

It is the radient energy emitted from a body per unit area per unit time per unit wave length about the wave length l. It is denoted by E_λ it is has units of ($w/m^2 \mu m$).

किसी body की प्रति इकाई क्षेत्रफल से प्रति सेकण्ड प्रति इकाई wave length के लिए जो radient energy emitted होती है। उसे monochromatic emissive power कहते है।

$$\text{unit} = w/(m^2 \mu m)$$

Monochromatic Emissivity :- It is the ratio of the monochromatic emissive power of a body to that of black body at the same wave length.

एक समान wave length के लिए किसी वस्तु तथा black body की monochromatic emissive power का ratio monochromatic emissivity कहलाता है।

$$\boxed{e_\lambda = \frac{E_\lambda}{E_{b\lambda}}}$$

Scanned by CamScanner

CHAPTER-4

31

RADIATION (विकिरण)

Radiation or Introduction :- किसी भी स्रोत से heat विद्युत चुम्बकीय तरंगो के रूप मे संचरित होने की प्रक्रिया को radiation कहते है।

अर्थात

उष्मा संचरण की वह विधि जिसमे उष्मा एक स्थान से दूसरे स्थान मे सीधे चली जाती है, विकिरण कहलाती है। इसके लिए माध्यम की आवश्यकता नही होती है। जब ये किरणे (waves) किसी ऐसी वस्तु पर पड़ती है। जो इनके लिए पारदर्शी नही है। उनसे ये अवशोषित होकर उष्मीय ऊर्जा मे change हो जाती है।

Example :- सूर्य की किरणे अंतरिक्ष से होती हुयी पृथ्वी की वातावरण तक पहुचती है। जो आंशिक रूप से अवशोषित हो जाता है और बची हुई पृथ्वी की सतह तक पहुचती है। जहाँ इनका कुछ भाग परिवर्तित हो जाता है।

2010

Reflection, absorption, transmission of radiation:- विकिरण प्रकाश की दिशा की तरह सरल रेखा से गुजरती है। केवल पदार्थ ही इसका radiation body के पथ मे आकर इसे रोक सकता है।

यदि Q किसी पिण्ड का reflection thermal energy है और इसका reflection part Q_r, absorption part Q_a and transmitting part Q_t है तो किसी पिण्ड पर पड़ने वाली विकिरण ऊर्जा का वह अंश जो पिण्ड से परिवर्तित हो जाता है तो उसे परावर्तकता कहते है।

$$\text{Reflectivity} = \frac{Q_r}{Q} = r$$

किसी पिण्ड पर पड़ने वाले विकिरण ऊर्जा का वह भाग जो पिण्ड द्वारा अवशोषित कर लिया जाता है, absorptivity कहते है।

$$\text{Absorptivity} = \frac{Q_a}{Q} = a$$

किसी पिण्ड पर पड़ने वाली विकिरण ऊर्जा का वह भाग जो पिण्ड से होकर संचरित होता है, उसे transmissivity कहते है।

$$\text{Transmissivity} = \frac{Q_t}{Q} = \tau$$

Scanned by CamScanner

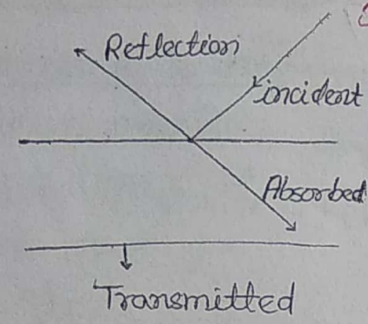
But we know that

$Q_r + Q_a + Q_t = Q$

दोनो पक्षो मे Q से भाग करने पर

$$\frac{Q_r}{Q} + \frac{Q_a}{Q} + \frac{Q_t}{Q} = 1$$

$$\therefore \boxed{r + a + \tau = 1}$$



2009 (परावर्तन)
Reflection of Radiation :- जब कोई विकिरण किसी surface पर आपतित होती है तो इसका एक भाग surface द्वारा परावर्तित हो जाता है। इसे विकिरण का परावर्तन कहते हैं।

(i) जब surface चिकनी व चमकीली हो तो परावर्तन बहुत अधिक होगा। दर्पण पर पड़ने वाले विकिरण शत प्रतिशत परावर्तित हो जाते हैं।

(ii) जब surface खुरदरी हो तो परावर्तन कम होगा।

2009 (अवशोषण)
Absorption of Radiation :- जब विकिरण किसी वस्तु पर आपतित होती है तो इसका कुछ भाग वस्तु द्वारा अवशोषित हो जाता है। इस घटना को absorption कहते हैं।

जब सतह चिकनी हो तब परावर्तन अधिक तथा अवशोषण बहुत कम अर्थात नगण्य हो पाता है तथा सतह के खुरदरे होने की स्थिति मे ठीक इसका विपरित होता है।

$$\text{Absorptivity} = \frac{\text{Absorbed energy}}{\text{Total incident energy}}$$

$$\boxed{a = \frac{Q_a}{Q}}$$

(संचरण)
Transmission of Radiation :- जब विकिरण किसी सतह पर आपतित होता है तो इसका कुछ भाग सतह से transmitt हो जाता है। Radiation का कितना भाग transmitt होता है। यह निम्न बातो पर निर्भर करता है।

(i) यदि surface अपारदर्शक है तो कुछ ही भाग संचरित होता है।

(ii) जब surface विशेष पतली अथवा पारदर्शक हो किन्तु glass न हो तो incident radiation का max. fraction transmitt हो जाता है।

(iii) यदि surface मोटी हो तो बहुत कम भाग संचरित होता है।

2012, 2006, 2005,

Kirchoff's Law :- इसके अनुसार किसी निश्चित ताप पर किसी भी हुमी तरंग दैर्ध्य के लिए सभी वस्तुओं की उत्सर्जन क्षमता तथा अवशोषण क्षमता का ratio सदैव एक constant रहता है। तथा यह उसी ताप पर एक ideal black body की उत्सर्जन क्षमता के बराबर होता है।

माना किसी वस्तु पर आपतित विकिरण का अवशोषण भाग a_1 तथा सम्पूर्ण उत्सर्जन E_1 है।

माना कि non black body and black body की area क्रमशः A_1 तथा A_2 है। पिण्डों के इकाई क्षेत्रफल पर गिरने वाले radiation की दर I है और E_1, E_b क्रमशः non-black body और black body की emissive power है।

At thermal equilibrium, absorption and emission rates are equal, thus,

$$I a_1 A_1 = A_1 E_1 \quad \text{(for non black body)}$$

$$I a_1 = E_1$$

$$\frac{E_1}{a_1} = I \quad \text{— (i)}$$

thus, $\boxed{\frac{\text{उत्सर्जन क्षमता}}{\text{अवशोषित भाग}} = \text{constant}}$

and $I a_b A_2 = A_2 E_b$ (for black body)

$$I a_b = E_b$$

$$\frac{E_b}{a_b} = I \quad \text{— (ii)}$$

from eqn (i) and (ii)

$$\boxed{\frac{E_1}{a_1} = \frac{E_b}{a_b} = I \text{ (constant)}} \quad \text{— (iii)}$$

इसी प्रकार यदि तीसरी वस्तु non-black body है तो

$$I A_3 a_2 = E_2 A_3$$

$$I a_2 = E_2$$

$$\frac{E_2}{a_2} = I \quad \text{— (iv)}$$

eqn (i), (ii) and (iv) की तुलना करने पर

$$\frac{E_1}{a_1} = \frac{E_2}{a_2} = \frac{E_b}{a_b} = I \quad \text{— (v)}$$

∵ Black body की absorptivity 1 होती है

∴ $E_b = I$

∴ from eqn (v), we get

$$\boxed{\frac{E_1}{a_1} = \frac{E_2}{a_2} = E_b} \quad \text{— (vi)}$$

from eqn (vi)

or $\frac{E_1}{a_1} = E_b$ and $\frac{E_2}{a_2} = E_b$

$\Rightarrow \frac{E_1}{E_b} = a_1$ and $\frac{E_2}{E_b} = a_2$

Scanned by CamScanner

because the absorptivity and emissivity of perfect black body are only 1.

$Q_1 = E_1$ and $Q_2 = E_2$

$\therefore \boxed{a = E}$

अतः जब कोई वस्तु अपने वातावरण के साम्यावस्था मे हो तो उष्मीय अवशोषक क्षमता तथा उत्सर्जन क्षमतायें equal होगी।

or

अच्छे अवशोषक अच्छे उत्सर्जक भी होते हैं।

2007 **Black Body :-** वह वस्तु जो अपने ऊपर गिरने वाले total radiation को अवशोषित कर लेती है। और इसका कोई अंश परावर्तित नही करती है और न ही transmitt करती है। Black body कहलाती है। Ideal black body के लिए उत्सर्जकता तथा अवशोषकता एक समान होता है। परन्तु really मे कोई भी पूर्ण रूप से black body नहीं होता है।

Lamp black and Platinum black भी कुछ परावर्तन करते है। Practically रूप से

34 किसी uniform temp encloser को सम्पूर्ण विकिरण कहते है। अतः यदि इसके अन्दर एक ideal black body रखी हो तो वह उस विकिरण को पूर्णतः अवशोषित करेगी।

2007, 2006, **Gray Surfaces or Gray Body :-**

यदि किसी body की monochromatic emissivity सभी wave length के लिए समान हो तो वह gray body कहलाती है। अर्थात Gray body वह body है। जिसके radiation का radiation power इस बात पर निर्भर करती है कि radiation की wave क्या है तथा incident radiation angle क्या है?

Emissive power of gray body

$$\boxed{e = \frac{Q}{Q_t}}$$

where, Q = gray body निर्मित कुल विकिरण ऊर्जा

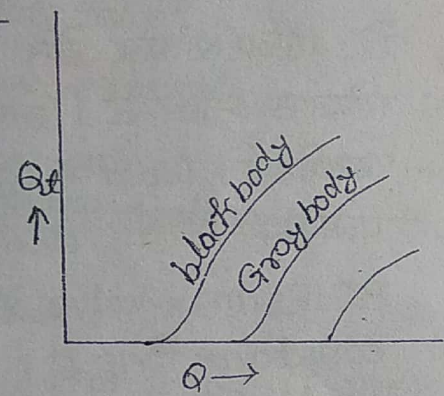
Q_t = black body से निर्मित कुल विकिरण ऊर्जा।

Scanned by CamScanner

Graph of Gray and black body :-

इकाई समय मे gray body के इकाई क्षेत्रफल से उत्सर्जित उष्मा

$E = \Sigma T^4$



Solar Radiation :-

सौर विकिरण ऊर्जा का स्रोत है। सूर्य से radiation energy निर्वात से होकर लगातार पृथ्वी पर आती रहती है। यही radiation energy solar radiation के नाम से जानी जाती है। Solar radiation की तीव्रता atmosphere की स्थिति पर निर्भर करती है। सूर्य से निकलने वाली उष्मा का सम्पूर्ण भाग पृथ्वी तक नही पहुच पाता है। क्योकि इस energy का कुछ भाग air, dust, water, vapour, CO_2 द्वारा absorb कर लिये जाते है। यह उष्मीय ऊर्जा का वह रूप है, जिसकी तरंग दैर्घ्य निश्चित होता है। तथा यह विकिरण पृथ्वी पर ताप के अनुकरण के लिए उत्तरदायी होता है। इसका उपयोग समुद्री पानी के distillation मे किया जाता है। यह air craft मिसाइल और welding की heating व cooling आवश्यकताओ को पूरा करने का एक temp factor है।

Steafan - Baltzmann law :-

2012, 2008, 2007, 2006, 2005,

इस नियमानुसार, किसी black body के इकाई क्षेत्र के पृष्ठ के प्रति सेकेण्ड उत्सर्जित होने वाली विकिरण ऊर्जा इसके परमताप के चतुर्थ घात के समानुपाती होती है।

$$E_b \propto T^4$$

$$E_b = \sigma T^4 \quad \text{—(I)}$$

where, σ = steafan baltzmann constant

$= 5.67 \times 10^{-8}\ w/(m^2 \cdot K^4)$

T = tempr in Kelvin

for a non- black body

$$\frac{E}{E_b} = e$$

$$\therefore E = e \cdot E_b \quad \text{—(II)}$$

from eqn (I) and (II), we get

$$\boxed{E = e \cdot \sigma \cdot T^4}$$

where, e = emissivity of non-black body.

36

Planck's Law :- यह black body के monochromatic emissive power, absolute tempr तथा corresponding wavelength के मध्य सम्बन्ध स्थापित करता है।

अत: $E_{b,\lambda}$ = monochromatic emissive power of black body.

$$E_{b,\lambda} = \frac{2\pi hc^2\lambda^{-5}}{e^{hc/K\lambda T}-1} \quad \text{—} (1)$$

where,
h = Planck's constant
C = Speed of light
K = Boltzmann constant
T = absolute tempr
λ = wave length of radiation.

समी० (1) को निम्न प्रकार से लिख सकते हैं।

$$E_{b,\lambda} = \frac{C_1\lambda^{-5}}{e^{C_2/\lambda T}-1}$$

where C_1 and C_2 are constant.

$C_1 = 3.472 \times 10^{-16}$ w-m^2

and $C_2 = 0.01439$ m.K

2012, 2009, 2008, 2007, 2006,

Wiens Displacment Law :- Wein's के अनुसार ताप बढ़ाने पर अधिकतम ऊर्जा की तरंग दैर्घ्य का मान कम हो जाता है। जैसे – ताप 1000K से 1650°K कर देने पर शिखर बायीं ओर खिसक जाता है। अर्थात तरंग दैर्घ्य कम हो जाती है। Wein ने देखा कि Black body का परमताप T तथा तरंग दैर्घ्य (λ_{max}) जिस पर E_λ max value है। इनका गुणनफल constant होता है।

अत: Wein ने Black body के ताप तथा तरंग दैर्घ्य के मध्य एक relation स्थापित किया। जिसे wein का विस्थापन नियम कहते है।

or

किसी भी वस्तु की उत्सर्जित तरंग दैर्घ्य उसके परमताप के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

or

इसके अनुसार max. power की विकिरण तरंग दैर्घ्य परमताप के मान के व्युत्क्रमानुपाती होती है।

$$\lambda_{max} \propto \frac{1}{T}$$

$$\lambda_{max} = \frac{C}{T}$$

Scanned by CamScanner

$C = T.\lambda_{max}$

where C = constant and equal to 25%

T = absolute tempr

λ_{max} = wave length

C = wein constant = 2.89×10^{-3} m·K

~~Heat Transfer By Radiation:-~~

$\therefore \quad T.\lambda_{max} = 2.89 \times 10^{-3}$ m·K

wein ने यह prove किया की $(E_\lambda)_{max}$ T के पंचम घात के समानुपाती होता है।

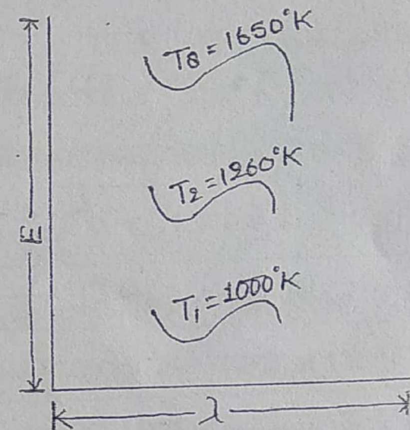
$(E_\lambda)_{max} \propto T^5$

अर्थात पिण्ड का ताप बढ़ाने पर किसी तरंग दैर्घ्य λ के संगत उत्सर्जित अधिकतम ऊर्जा काफी तेजी से बढ़ती है।

इसके द्वारा निम्न तथ्य स्पष्ट होते हैं।

1. ताप बढ़ने के साथ वक्र का शिखर कम तरंग दैर्घ्य की ओर झुकता है। अर्थात λ_{max} (जिस पर E_λ max है) घटती है।

2. किसी दिये गये ताप पर λ बढ़ाने पर E_λ पहले बढ़कर max value प्राप्त करता है। तथा फिर घटता है। अर्थात एक दिये गये ताप पर black body द्वारा उत्सर्जित विकिरण ऊर्जा मे एक विशेष तरंग दैर्घ्य की ऊर्जा सबसे अधिक होती है।



3. जब किसी वस्तु को साधारण ताप तक गर्म करने पर केवल बड़ी तरंग दैर्घ्य वाली विकिरण तरंगे निकलती है। परन्तु जैसे 2 वस्तु का ताप बढ़ता है। इसके साथ छोटी तरंगे भी अधिकाधिक मात्रा मे निकलने लगता है। यही कारण है कि जब लोहे को गर्म किया जाता है तो वह पहले हल्का लाल फिर गहरा लाल फिर पीला और अन्त मे श्वेत हो जाता है।

Heat Transfer By Radiation :- हम जानते हैं कि emissivity 'e' है तो body के द्वारा emitted radient energy $e\sigma T^4$ per unit area है। यदि surrounding black है तो radiation का कोई भी friction reflect नही होगा। यदि surrounding का $temp^r$ T_2 है तो black surrounding से emitted radient energy σT_2^4 होगी।

यदि body gray है तो वह इस emitted energy का 'e' fraction absorb करती है। इसलिए gray body से black surrounding की ओर ऊर्जा प्रवाह की दर इस समी० द्वारा व्यक्त की जाती है।

$$\frac{Q}{A} = e\sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

e = emissivity of gray body

T_2 = absolute $temp^r$ of black body

T_1 = absolute $temp^r$ of gray body

A = area of gray body of surface.

38 2006 **Heat transfer coefficient of Radiant :- Radiation :-** $Temp^r$ T_1 पर gray body के unit area से $Temp^r$ T_2 पर black surrounding की ओर विकिरण द्वारा heat transfer निम्न समी० द्वारा प्रस्तुत किया जाता है।

$$Q_r = h_r(T_1 - T_2)$$

$$\text{Therefore, } h_r = \frac{Q_r}{(T_1 - T_2)}$$

$$\boxed{h_r = \frac{e \cdot \sigma}{(T_1 - T_2)}(T_1^4 - T_2^4)} \quad \text{— (11)}$$

where, h = heat transfer coefficient for radiation of the body.

Note:- The eqn (11) is also applicable if the surroundings are not black, the body is small and none of its radiation is reflected back to it.

or

Scanned by CamScanner

Radiant Heat transfer coefficient :-

यदि कोई वस्तु (hot) वातावरण के सम्पर्क मे है तो उसके द्वारा हुआ heat transfer, चालन, संवहन या विकिरण द्वारा ही सम्भव है।

किसी कमरे मे पाइप लाइन है तो उसके द्वारा जो heat transfer होगी वह तीनो के द्वारा सम्भव है तथा उस heat transfer को निम्न प्रकार निरूपित कर सकते है।

$$\frac{Q_T}{A} = \frac{Q_c}{A} = \frac{Q_r}{A} = h_c(T_1 - T_2) = \sigma E_w (T_1^4 - T_2^4)$$

where,

$\frac{Q_T}{A}$ = Total heat flux (loss)

$\frac{Q_c}{A}$ = Total heat flux by conduction and convection.

$\frac{Q_r}{A}$ = Heat flux (loss) by radiation.

h_c = heat transfer coefficient convection.

E_w = emmisivity of surface

T_1 = temp. of surface

T_2 = temp. of surrounding

from eq (I)

$$\frac{Q_T}{A} = (h_c + h_r)(T_1 - T_2) \quad \text{—— (II)}$$

where -

h_r = radiation heat transfer coefficient

h_c = convection heat transfer coefficient

Heat transfer by Radiation (Exchange of energy between two parallel plane of difference emissivity) (Multiple reflection method) :-

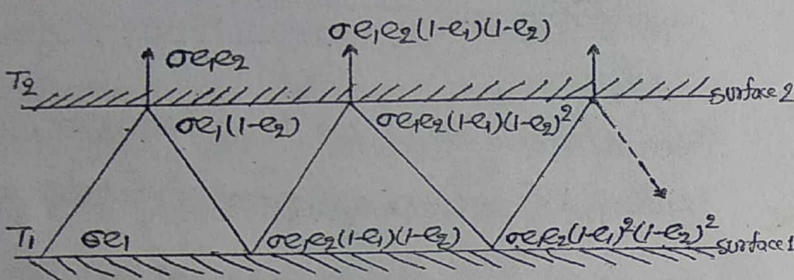
यदि दोनो bodies black नही है और उनकी emissivity भिन्न-2 या अलग-2 है तो energy का total exchange भी भिन्न होगा।

प्रथम तल से उत्सर्जित ऊर्जा का कुछ भाग तो दूसरे तल द्वारा अवशोषित कर लिया जायेगा। दो अनन्त आकार के तलो या दिवारो का विकिरण गणना द्वारा ज्ञात किया जा सकता है। माना दो बडी समान्तर तलो के परमताप T_1 and T_2 है। उनकी Radiation क्रमशः E_1 and E_2 है तथा

तलों की ऊर्जाओं का ratio E_1/E_2 है। तब

$E_1 = \sigma . e_1 T_1^4$ — (i)

$E_2 = \sigma . e_2 T_2^4$ — (ii)



consider the energy radiated from the surface-1. Then, per unit area per unit time:-

energy radiated from surface 1 $= \sigma . e_1 T_1^4$

of this amount absorbed by surface 2

$= \sigma e_1 T_1^4 e_2$

and amount reflected by surface 2

$= e_1 T_1^4 (1-e_2)$

of this, amount re-absorbed by surface 1

$= \sigma e_1 T_1^4 (1-e_2) e_1$

and amount re-reflected by surface 1

$= \sigma e_1 T_1^4 (1-e_2)(1-e_1)$

and, of this, amount absorbed by surface-2

$= \sigma e_1 T_1^4 (1-e_2)(1-e_1) e_2$

Total transfer of energy from surface 1 to surface 2 per unit area and unit time

$$= \sigma . e_1 e_2 T_1^4 \left[1 + (1-e_1)(1-e_2) + (1-e_1)^2(1-e_2)^2 \cdots \text{to } \infty\right]$$

$$= \sigma . e_1 e_2 T_1^4 \frac{1}{1-(1-e_1)(1-e_2)}$$

$$= \frac{\sigma . e_1 e_2 T_1^4}{e_1 + e_2 - e_1 e_2}$$

Similarly, the total transfer of energy from surface 2 to surface 1 per unit area per unit time

$$= \frac{\sigma e_1 e_2}{e_1 + e_2 - e_1 e_2} T_2^4$$

Thus, the net energy transferred per unit area per unit time is

$$\left(\frac{Q}{A}\right)_{12} = \frac{\sigma e_1 e_2}{e_1 + e_2 - e_1 e_2} (T_1^4 - T_2^4)$$

Scanned by CamScanner

$$\left(\frac{Q}{A}\right)_{12} = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} - 1}$$

$$\left(\frac{Q}{A}\right)_{12} = \sigma . F_{12} (T_1^4 - T_2^4)$$

where, $F_{12} = \frac{1}{\frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} - 1}$

(F_{12} is called overall interchange factor and is function of e_1 and e_2)

Spheres or cylinders with sperical or cylindrical enclosures -

The net exchange between the inner and outer sphere is given by

$$Q = \frac{\sigma A_1}{\frac{1}{e_1} + \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \left(\frac{1}{e_2} - 1\right)} (T_1^4 - T_2^4)$$

$$= \frac{\sigma A_1}{\frac{1}{e_1} + \frac{A_1}{A_2}\left(\frac{1}{e_2} - 1\right)} (T_1^4 - T_2^4)$$

The net exchang between infinitely large concentric cylinders is given by

~~$Q = \frac{\sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{e_1} + \frac{A_1}{A_2}\left(\frac{1}{e_2} - 1\right)}$~~

$$\boxed{Q = \sigma A_1 F_{1-2} (T_1^4 - T_2^4)}$$

where $F_{12} = \frac{1}{\frac{1}{e_1} + \frac{A_1}{A_2}\left(\frac{1}{e_2} - 1\right)}$

2012, 2008, 2007, 2006, 2005,

Steafan-Baltzman Law:- It states that the total energy emitted per unit area per unit time by a black body is directly proportional to the fourth power of its absolute temperature.

$$E_b \propto T^4$$

$$E_b = \sigma . T^4 \quad \text{— (1)}$$

where, σ = Steafan-Baltzman Constant $= 5.67 \times 10^{-8}\ W/(m^2 . K^4)$

for a non-black body,

$$\frac{E}{E_b} = e$$

$$\Rightarrow \quad E = e \cdot E_b \quad \text{---(ii)}$$

combining eqⁿ (i) and (ii), we get

$$\boxed{E = e \cdot \sigma \cdot T^4}$$

where 'e' is the emissivity of the non-black body.

Planck's Law :- This law gives a relationship between the monochromatic emissive power of a black body, absolute temperature and the corresponding wavelength.

$$\boxed{E_{b,\lambda} = \frac{2\pi h c^2 \lambda^{-5}}{e^{hc/K\lambda T} - 1}} \quad \text{---(i)}$$

eqⁿ (i) को निम्न प्रकार से लिख सकते हैं।

$$\boxed{E_{b,\lambda} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{(e^{C_2/\lambda T} - 1)}}$$

where C_1 and C_2 are constants.

$$C_1 = 3.472 \times 10^{-16} \, W.m^2$$

and $C_2 = 0.01439 \, m.K$

42. 2012, 2009, 2008, 2007, 2006.

Wiens displacement Law :- It states that the wavelength at which the maximum monochromatic emissive power is obtained (i.e., λ_{max}) is inversely proportional to the absolute temperature. ~~or~~

~~$T\lambda_{max} = C$~~

$$\lambda_{max} \propto \frac{1}{T}$$

$$\lambda_{max} = \frac{C}{T}$$

$$\boxed{T \lambda_{max} = C}$$

When λ_{max} is in micrometers and T is kelvins, the value of constant C is equal to 2890.

Opaque body :- वह body जो अपने ऊपर गिरने वाले सम्पूर्ण radiation का बहुत कम (very negligible) भाग transmitted करता है, opaque body कहलाता है।

Scanned by CamScanner

CHAPTER-5

Heat Exchange Equipments

Heat Exchanger :- A heat exchanger is a pices of equipment built for efficient heat transfer from one media to another. The media may be seperated by a solid wall. So that they never mixed or they may be in direct contact. Heat transfer equipment are used to transfer of heat from hot fluid to cold. The heat exchanger equipment invalve heat energy transfer either by conduction, convection or by radiation mode.

Some heat transfer equipment

Cooler :- It is a heat exchange equipment employed to cool a process fluid (gas or liquid) by means of water or atmospheric air. It involves the removal of sensible heat from the process fluid (stream).

Condenser :- It is a heat exchange equipment employed to condense a vapour or a mixture of vapours. It involves the removal of latent heat with the help of a suitable cooling medium. e.g.. cooling tower water or chilled water.

Chiller :- It is a heat exchange equipment employed to cool a process fluid (stream) to a temperature below that can be obtained by using water as a cooling medium. It employs a refrigerant such as ammonia or freon (cooling medium).

Exchanger :- It is a heat exchange equipment that allows exchange of heat between hot and cold process fluids/streams.

Scanned by CamScanner

Heater:- It is a heat exchange equipment which imparts sensible heat to a process fluid(stream).

Reboiler:- It is a heat exchange equipment, employed to meet the latent heat requirement at the bottom of a distillation column. The heating medium may be either steam or a hot process fluid.

Vaporiser:- It is a heat exchange equipment which vaporises part of the liquid.

Waste heat boiler:- It is a heat exchange equipment employed for the production of steam using a hot gas or a hot liquid stream produced in a chemical reaction as a heating medium.

Evaporator:- It is a heat exchange equipment employed for the concentra-tion of a solution by evaporation of water.

2012, 2010, 2009, 2008, 2007, 2005.

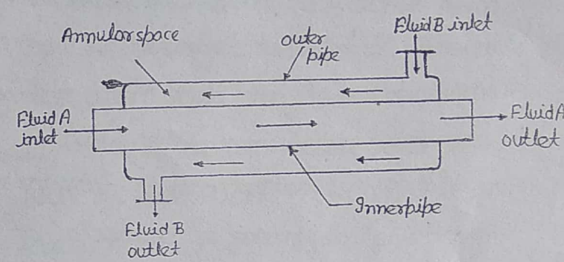
Double Pipe heat exchanger:- It is the simplest type of heat exchanger used in industry. It is used when the required heat transfer area is relatively small.

Construction:- यह धात्विक नली का बना होता है तथा इसमे दो पाइप होते है। इसलिए इसे Double pipe or U-tube heat exchanger कहते है। इसमे दो pipe एक अधिक diameter का तथा एक कम diameter का होता है। कम diameter वाला पाइप अधिक diameter वाले पाइप के अन्दर होता है। Heat liquid, पाइप के अन्दर और cold liquid, angular space मे flow करता है। इसे Heat exchanger का कार्य cool liquid का temp बढ़ाने तथा hot liquid का temp.

Scanned by CamScanner

घटाने मे किया जाता है। इस pipe को ऊर्ध्वाधर स्थिति मे ही लगाते है। ताकि यह कम ~~अर्थात~~ लागत और कम जगह घेरे। नली की धातु उसमे बहने वाली liquid पर निर्भर करती है। अलग-2 liquid के लिए अलग-2 धातु के pipe प्रयोग मे लाये जाते है। यदि कोई liquid corrosive प्रकृति का है तो उसे अन्दर वाले पाइप मे प्रयोग किया जाता है। ताकि खराब होने पर केवल अन्दर वाला pipe ही change करना पड़े।

<u>Working:-</u> System मे hot liquid को बाहरी pipe मे तथा cold liquid को आन्तरिक pipe से flow करते है। जिससे गर्म liquid का ऊष्मा धातु द्वारा pipe मे liquid counter current तथा co-current way मे flow कर सकता है। इस प्रकार liquid दोनो pipe मे outlet से बाहर हो जाते है। इस प्रकार के Heat exchanger का use उस समय किया जाता है, जब 100-200 fit से अधिक area की आवश्यकता होती है। यह exchanger liquid-liquid, liquid-gas तथा gas-gas के तीन heat अन्तरण के लिए use होता है।



<u>Advantage:-</u> Double Pipe heat exchanger is very attractive where the total heat transfer surface required is small 100 to 150 ft^2.

<u>Disadvantage:-</u>

1. It has max. leakage point.
2. Small heat transfer surface in large floor space as compared to other type (e.g., Shell and tube ~~type~~ heat exchanger).
3. Dismantling requires large time.
4. High Capacitive हेतु इन्हे operate नही कर सकते है।

2012, 2009, 2005,

Shell and tube Heat Exchanger

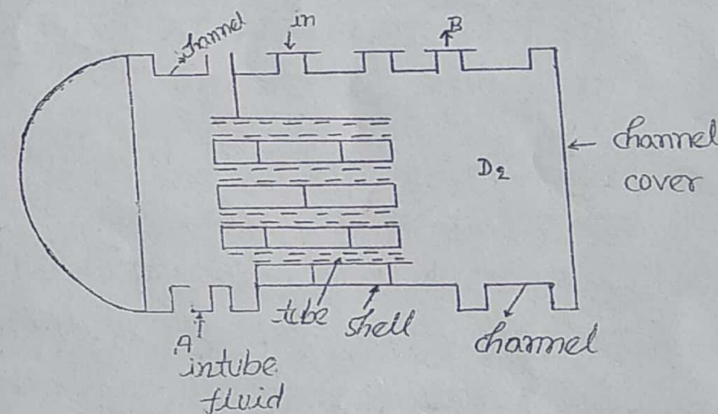
46

For a variety of industrial services where large heat transfer surface are required, shell and tube heat exchangers are commonly used. These heat exchange equipment can be fabricated from a wide range of material of construction.

Construction :- इस प्रकार के Heat exchanger मे धातु की बनी हुई parallel tube होती है। जो कि shell के अन्दर की ओर fit रहती है। तथा tube के दोनो सिरे seat मे fit रहते है। तथा tube cylindrical casting मे fit रहती है। जिसके दोनो सिरो पर एक-2 distributer chamber, जो d_1 से d_2 प्रदर्शित तथा E_1 and E_2 closer से बन्द रहते है। Tube को supported होती है।

इस Heat exchanger मे cold fluid को connection A द्वारा pump किया जाता है और cold fluid tube मे channel d_1 से d_2 की ओर बहता है। यह fluid B से discharge हो जाता है।

Hot fluid को connection C के द्वारा भेजते है। इस प्रकार heat transfer tube की cold द्वारा होती है। Heat transfer के बाद fluid connection D के द्वारा निकल जाता है। इस heat exchanger का मुख्य लाभ यह है कि कम से कम space मे अधिक से अधिक volume packed रहता है।

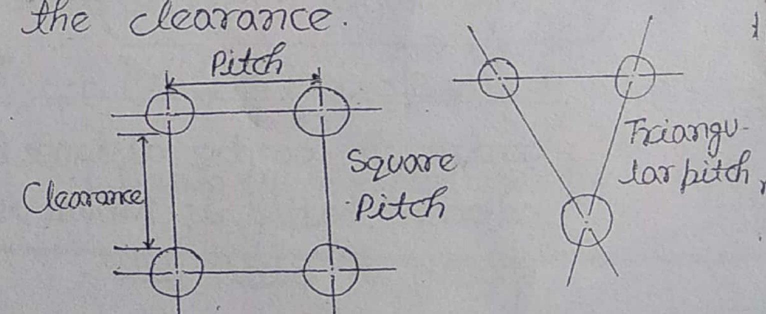


Shell :- It is usually a cylindrical casing through which one of the fluid flows in one or more passes. Shell is commonly made of carbon steel. It may be cut ~~of~~ to the required length from a standard pipe upto 60 cm diameter or fabricated from plate. The minimum thickness of shell made of carbon steel varies from 5 mm to 11 mm depending upon the diameter.

Tubes :- Standard heat exchanger tubes used in many industrial process may be of various size and length. The outside diameter of tubes vary from 6 mm to 40 mm. The tubes with outside diameters of 19 to 25 mm are very common. The wall thickness of tubes is usually expressed in terms of Birmingham Wire Guage (BWG). It depends upon the material of construction and diameter. For 19 to 25 mm outside diameter tube of mild steel 10 or 12 BWG is common. In general, an even number of the tube side passes are used.

Pitch or tube Pitch :- The shortest centre to centre distance between the adjacent tubes is called as the tube Pitch.

Clearance :- The shortest distance between two tubes is called as the clearance.



Baffles :- Baffles are commonly employed within the shell of a heat exchanger to ~~incre~~ increase the rate of heat transfer by increasing the velocity and turbulence of the shell side fluid and also as structural supports for the tubes and dampers against vibration.

The baffles cause the fluid to flow through the shell at right angles to the axes of the tubes. To avoid bypassing of the shell side fluid the clearance between the baffles and shell, and the baffles and tubes must be minimum.

Baffle spacing or pitch :- The centre to centre distance between adjacent baffles is known as baffle spacing or baffle pitch.

The baffle spacing should not be greater than the inside diameter of the shell and should not be less than one-fifth of the inside diameter of the shell. The optimum ~~(0.3 — 0.50)~~ baffle spacing is (0.3-0.50) times the shell diameter.

Baffles (thickness 3-6 mm)

- Segmental
- disc
- Ring
- orifice

Segmental baffle :- The segmental baffles are most commonly used. Segmental baffle is a drilled circular disk of sheet metal with one side cut away.

* When the height of the baffle is 75% of the inside diameter of the shell, it is called as 25% cut segmental baffle.

Scanned by CamScanner

Tie rods :- Tie rods are used to hold the baffles in place

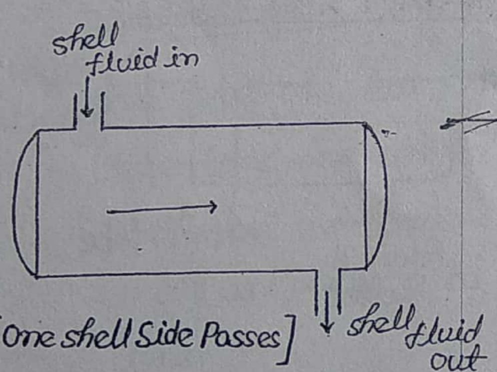
1. support for tube
2. Participate of fluid
3. Heat transfer rate increase

Usually 4 to 6 tie rods with atleast 10 mm diameter necessary.

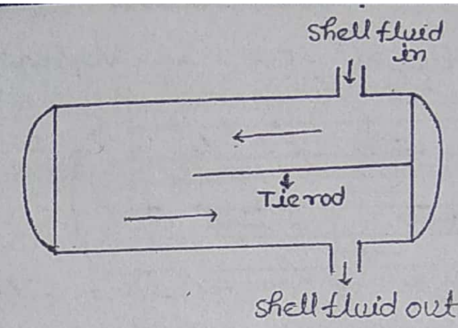
Tube sheet :- A large number of holes are drilled in the tube sheet according to the pitch requirments.

Tube sheet thickness ranges from (6 – 25.4)mm for tube outside diameter of (6 - 40)mm.

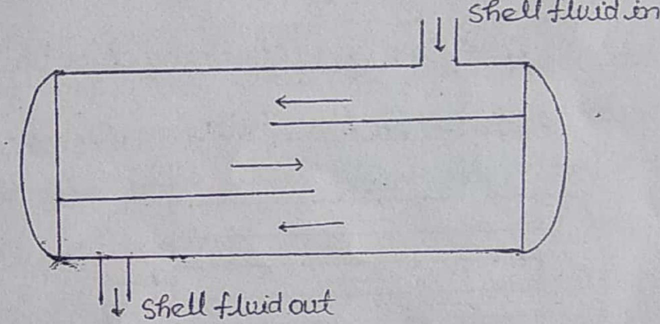
Shell and tube Side Passes



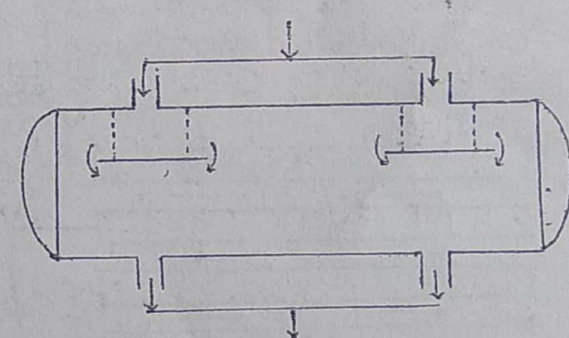
[One shell Side Passes]



[two shell side passes]



[Three shell side Passes]



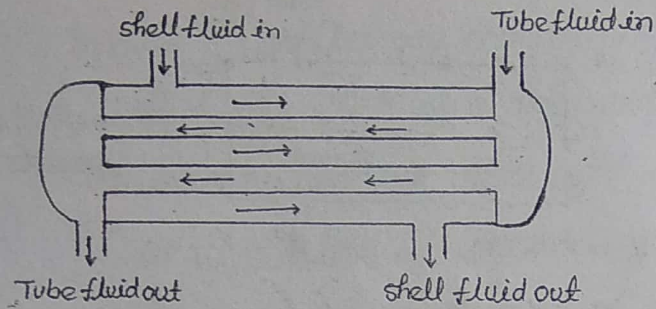
[Double splite fluid Passes]

Scanned by CamScanner

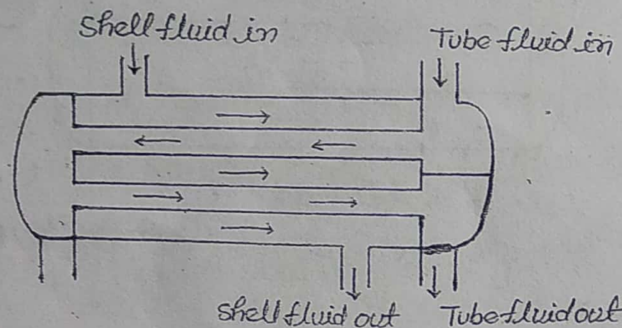
Baffle :- 1. Tube को support करने मे.
2. Tube इसमे फसी होती है

Shell passes - One, two, single splite

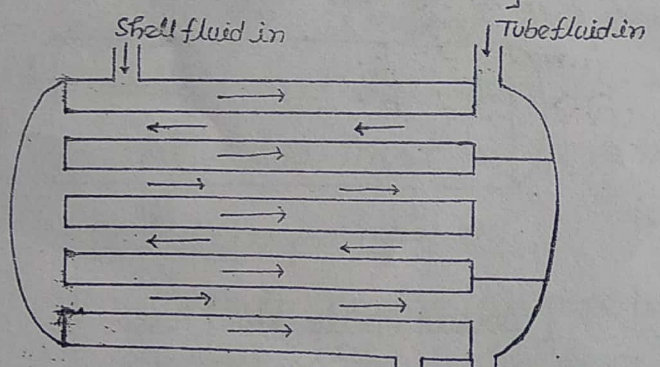
Tube Passes - 1, 2, 4, 6, ---- 12



[One-One (1-1) shell and tube passes]

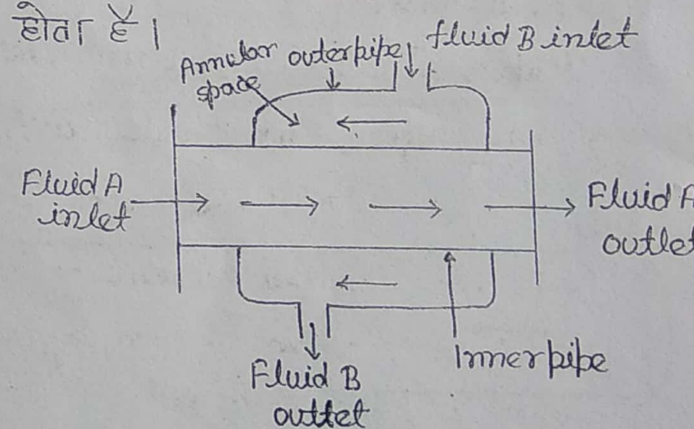


[1-2 Shell and tube Passes]



[1-4 Shell and tube Passes]

① <u>Single Pass heat exchanger :-</u> यह
<u>Construction :-</u>
Shell and tube heat exchanger का एक simplest रूप है। इसमे tube shell के दोनो सिरे पर weld होती है। और shell मे दो Nozzle attach होते है। इसमे shell, tube side portion मे बन्द होता है। इसमे मुख्य बात यह है कि shell side portion tube portion से welded होता है।



Working:- चित्रानुसार इसमे shell side and tube side दोनो मे ही बहने वाली अलग-अलग liquid एक-एक ही path पूरा करते है। इसमे tube मे बहने वाला fluid nozzle द्वारा channel मे आकर tube मे प्रवेश करता है तथा इसी तरफ channel से निकलकर nozzle द्वारा ठण्डा होने के पश्चात बाहर निकल जाता है। तथा shell मे एक तरफ प्रवेश कर इसी तरफ गर्म होकर निकल जाता है।

Advantage:- This tube of heat exchanger is used only when the shell side fluid is cleaned and non falling.

Disadvantage:- The problem with this type of heat exchanger is that tube bads can not be removed from shell for mechanical cleaning and usual inspection of out side the tubes.

57

Double Pass Heat Exchanger:-

Construction:- 1-2 Shell and tube heat exchanger मे tube-2 tube sheet मे fixed होती है तथा tube sheet, shell मे welded होते है जो कि Flanges तथा sheet cover से जुड़ा रहता है। shell side मे एक तरफ channel pass partition द्वारा विभक्त होता है। जिसका use tube side मे ~~आने~~ जाने वाले fluid तथा आने वाले fluid के लिए किया जाता है। तथा shell side के इसी तरफ cover tube sheet के साथ nuts and bolts द्वारा clamped होता है।

Tube की बाहरी तरफ mechanical cleaning नही की जाती है। shell मे channel की सुविधा उपलब्ध होती है। जिसे fluid entory or exist कहते है।

Different betⁿ Single and Multipass shell and tube heat exchanger :-

1. Single pass heat exchanger is simple in construction.
   - complex in construction.
2. Heat transfer coefficient are relatively low.
   - Heat transfer coefficient are high.
3. rate of heat transfer low.
   - high
4. Friction losses are low.
   - - - - - - - are high.
5. Fluids flow once through the exchanger.
   - Fluids flow no. of times through the exchanger depending upon the number of passes.
6. Easier to assemble, dismantle and clean.
   - difficult.
7. It is relatively inexpensive.
   - - - - - - - expensive.

52

Shell :- least corrosive and cleanest fluid should be admitted.

- corrosive fluid should be admitted through tube.
- When the both fluid are corrosive, the fluid which is more corrosive should be directed through the tube.
- Viscous liquid should be introduced in shell side.
- High-pressure fluid should be flow through the tube.
- Vapour or gas should always be directed through the shell.

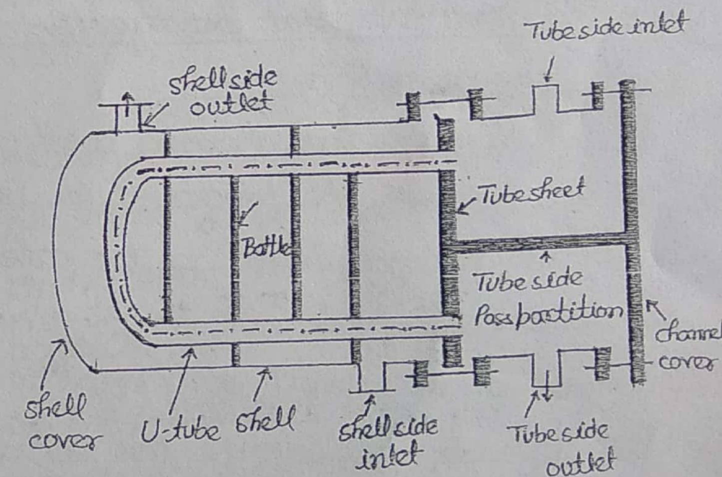
Classification of shell and tube Heat exchanger,

1. Fixed tube heat exchanger.
2. Floating head heat exchanger.
   - (a) Internal floating head
   - (b) Outside packed floating head
3. U-tube type heat exchanger
4. Reboiler/Kettel type heat exchange
   - (i) with internal floating head
   - (ii) with U-tube (hair pan).

Scanned by CamScanner

<u>U-tube heat exchanger:-</u> A U-tube 1-2 heat exchanger (shown in figure) consists of U- shaped tubes, both the ends of which are fixed to a single stationary tube sheet. At one end of a shell, a channel provided with pass partition and is used for entry and exit of the tube side fluid. At the opposite end of the shell, there is a cover which is integral with it. The shell is provided with two nozzles for entry and exit of the shell side fluid. The tube sheet is clamped between shell flange and channel flange. The different thermal expansion between shell and tubes is absorbed by U-bends. Each tube can expand or contract freely without affecting the other tubes. The number of tube holes in the tube sheet of a given diameter with this exchanger are less than that with a fixed tube sheet exchanger.

In this exchanger, the tube side fluid enters through channel, it flows first through one arm of U-shaped tubes. During its passage through the exchanger, it exchanges heat with the shell side fluid.



[U-tube heat exchanger]

The tube bundle can be removed for cleaning of the tubes from outside.

Scanned by CamScanner

The inside of the tube can be cleaned only by chemical means.

Commonly used for the reboiler on large fractionating columns (with enlarged shell) where steam is condensed in the tubes. Also used for high pressure and temperature applications.

Finned tube heat Exchanger/Extended surface exchanger :-

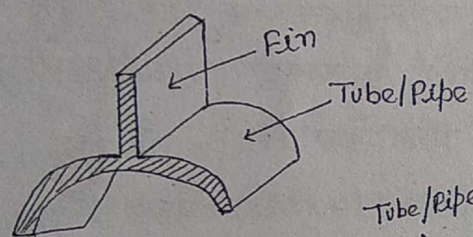
When the heat transfer coefficient of one of the process fluids is very low as compared to the other, the overall heat transfer coefficient becomes approximately equal to the lower coefficient. This reduce the capacity per unit area of heat transfer surface, making it necessary to provide very large heat transfer area.

इसमे condensing steam or a hot liquid of low viscosity के द्वारा viscous liquid का heating करते है। तथा condensing steam के द्वारा air or a gas stream की heating होती है। इस case मे limitting coefficient के साथ surface area on the side, increasing/extending के द्वारा इसकी heat increase करना सम्भव है (Fins की सहायता के साथ)। Air gas or viscous liquid side, limitting coefficient है। Heat transfer surface का increase होना Fins के नाम से जाना जाता है। Tube के out side पर fins most commonly employed होता है। Extended surface heat exchangers का example कुछ automobile radiators. Common types के fins निम्न है-

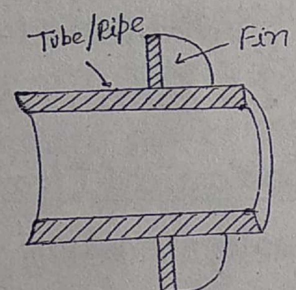
(i) Longitudinal Fins

(ii) Transverse Fins

इनको extended surface भी कहा जाता है। Longitudinal fins are used when the direction of flow is parallel to the axis of the tube whereas (जबकि) transverse fins are used when the direction of flow is across the tubes.



ⓐ Longitudinal fins



ⓑ Transverse fins

Cross flow मे गैसो के large quantities के heating तथा cooling के लिए Transverse fins का commonly use किया जाता है।

Eg:- Economiser air cooled steam condenser, turbine and engine के work के लिए, etc.

2005 **Scale formation :-** अधिकतर विलेय के tempr को बढ़ाने पर उसकी विलेयता (solubility) बढ़ जाती है। परन्तु कुछ लवण (salt) जैसे - $CaSO_4$, Na_2SO_4, Na_2CO_3 आदि का tempr बढ़ाने पर solubility घटती है।

अर्थात जब shell and tube heat exchanger मे liquid को tube side से flow करते है तो flow की सतह पर विभिन्न प्रकार की अशुद्धियाँ तथा suspended particles अवक्षेप के रूप मे जमा हो जाते है। इस प्रकार heat exchanger को निरन्तर प्रयोग करने से कुछ समय के पश्चात tube मे एक मोटी पर्त जमा हो जाती है। जिसे scale कहते है।

scale formation से heat exchanger को कई प्रकार की हानियाँ होती है

कुछ महत्वपूर्ण हानियाँ निम्न हैं -

1. scale की पर्त जितनी मोटी होगी उतना ही आधिक ऊष्मीय प्रतिरोध होगा फलत: heat transfer rate उतना ही कम होगा। जिसके कारण steam economy पर काफी प्रभाव पड़ता है।

2. Scale तथा tube की ऊष्मीय प्रसार गुणांक अलग-2 होने के कारण tube के चटखने का भय बना रहता है। अत: tube के अन्दर आवश्यक temp' maintain करने के लिए अधिक ऊष्मा देनी पड़ती है। इससे tube wall मे scale मे अलग-2 expansion होगा। जिससे tube फट सकती है। अत: जहाँ तक हो सके इसे scale formation से बचाना चाहिए।

3. जब पानी से steam बनती है तो Ca^{++} व Mg^{++} के sulphate carbon के रूप मे नीचे जमा हो जाते हैं। इस प्रकार boiler की सतह पर एक कड़ी पर्त जमा हो जाती है। जिसे पपड़ी कहते हैं।

4. पपड़ी मे ऊष्मा चालन न होने के कारण fuel का नुकसान आधिक होता है।

5. Boiler के अतितापन से plate व tube का भारी नुकसान होता है।

6. कभी-2 पपड़ी मे दरार हो जाने के कारण जल अचानक ताप सम्पर्क मे आ जाता है और अचानक दाब बढ़ने के कारण विस्फोट होने की सम्भावना रहती है।

Maintenance/
Cleaning device:- जब exchanger की tube मे scale formation हो जाती है तो समय-समय पर उसकी सफाई करना आवश्यक है। साधारणत: cleaning device दो प्रकार की होती है।

1. Mechanical cleaning device
2. Chemical cleaning device

1. Mechanical Cleaning device:- कभी-2 scale formation इस प्रकार की होती है कि इसे आसानी से अलग किया जा सकता है। इसके लिए पतली छड़े जो आसानी से tube के अन्दर जा सके, से साफ करते हैं।

इसके अतिरिक्त विशेष प्रकार के brushes द्वारा भी scale साफ

किया जाता है। Brush जिसके अपयव cup shape होते हैं। इसे tube के अन्दर सरकार गुजारते हैं। जिससे scale आसानी से खुरचकर अलग हो जाती है। इस प्रकार tube को आसानी से साफ कर लिया जाता है।

② **Chemical Cleaning device :-**

यदि scale water मे saluble हो तो water के द्वारा remove कर देते हैं। कभी-2 scale की पर्त कर tube की wall पर इस प्रकार जम जाती है कि उसे mechanical device से अलग नहीं किया जा सकता है। इसके लिए chemical cleaning device प्रयुक्त की जाती है। जो scale को अन्दर ही घोल देता है और tube पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता है। इसके लिए निम्न chemical प्रयोग करते हैं -

(i) Dilute acid (0.5% HCl or H_2SO_4)

(ii) Dilute Alkaline

(iii) Hot water

ⓐ यदि pump मे Mg^{++} या SO_4^{-} की अशुद्धि कम हो तो पपड़ी बड़ी size की व soft होती है। जो आसानी से Hot water के द्वारा दूर की जा सकती है।

ⓑ यदि Mg^{++} व SO_4^{-} की अशुद्धि अधिक हो तो पपड़ी अत्यन्त कठोर बनती है। जिसे corrosive oil की सहायता से दूर करते हैं।

Rate of scale formation :- scale formation के लिए यह माना जाता है कि scale के कारण addition resistance, heat transfer के लिए उत्पन्न होजाता है। तथा यह addition evaporation की मात्रा के समानुपाती होता है। जबकि scale बनना प्रारम्भ हो जाती है। इसे निम्न प्रकार प्रदर्शित करते हैं।

$$\frac{1}{V_\theta^2} = \frac{1}{V_0^2} + B\theta \quad \text{--- (1)}$$

$$\frac{1}{V_\theta^2} - \frac{1}{V_0^2} = B\theta \quad \text{--- (2)}$$

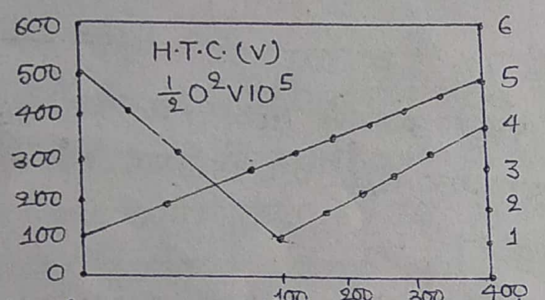
where, θ = Time scale formation

V_0 = overall H.T.C. at starts of scale formation

V_θ = overall H.T.C. at time θ

B = A constant for the particular case in hand.

$\Delta T = T_h - T_c$ = Point temp difference



Rate of scale formation in evaporator

θ व V_θ का relation linear नही होता है। परन्तु θ व $1/V_\theta^2$ का ग्राफ plot करने पर straight line प्राप्त होती है। evaporator को बन्द करके scale को remove करने पर समय पर production होगा। जिससे average period कम होगा। परन्तु scale को साफ न किया जाये तो resistance बढ़ता ही जायेगा। अत: इन दोनो conditi[on] को ध्यान मे रखते हुये optimum time of operation निकाल लेते है। तथा इस time के बाद evaporator को बन्द करके scale को remove कर लेते है।

PED

Wilson's Plot :- Condensing vapour का film coefficient ज्ञात करने के लिए Wilson ने एक विधि ज्ञात की जिसका आधार यह है कि overall resistance सभी individual resistance के योग के equal होगा। इस कथन को निम्न समी० द्वारा प्रदर्शित करते है।

$$\sum R = R_c + R_w + R_d + R_L = \frac{1}{UA} \quad \text{--- (1)}$$

where,

U = overall H.T.C.

A = Total heating surface area

R_c = condensate resistance

R_w = Wall resistance

R_d = Scale or dirt or dust resistance

R_L = liquid side resistance.

vapour side का resistance, condensate temp तथा temp driving force पर depend करता है।

Wilson ने अपने प्रयोगो द्वारा यह ज्ञात किया ~~की~~ कि steam condenser operation मे scale and tube wall resistance

साधारण तथा constant होता है। जबकि शीतलन (cooling) दर (rate) change होती रहती है। liquid के turbulent flow (विक्षुब्ध) के लिए fluid side resistance tube से होकर flow होने वाले liquid की velocity के व्युत्क्रमानुपाती होता है। जिसे निम्न eqⁿ से denote किया जाता है।

$$\frac{1}{U.A} = R_c + R_d + R_w + \frac{1}{C_2(V)^{0.8}} \quad \text{—— (ii)}$$

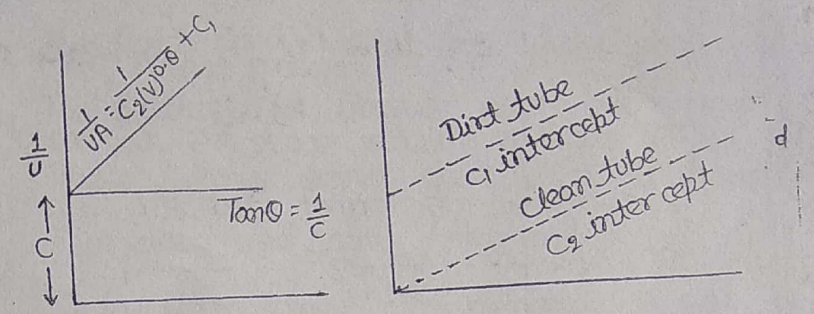
Let $R_c + R_d + R_w = C_1$

then $$\frac{1}{U.A} = C_1 + \frac{1}{C_2(V)^{0.8}} \quad \text{—— (iii)}$$

where, C_1 and C_2 are constant जो कि Physical production तथा geomatric shape के ऊपर depend करती है। समी० (iii) से,

$$\frac{1}{U.A} \propto \frac{1}{(V)^{0.8}} \quad \text{—— (iv)}$$

U.A तथा V से समी० (iii) के अनुसार graph plot किया जाये तो दोनो constant C_1 तथा C_2 का मान प्राप्त हो जाता है। इसे निम्न Fig द्वारा प्रदर्शित करते हैं।



उपरोक्त graph "wilson plot" कहलाता है। C_1 तथा C_2 का मान ज्ञात करके total resistance का मान ज्ञात किया जा सकता है।

Fouling Factor or dirt Factor :- जब किसी heat transfer equipment को कुछ समय बाद use किया जाता है तो pipe wall के दोनो तरफ scale dirt तथा other solid जमा हो जाते हैं। जिससे heat flow मे दो अन्य resistance provide हो जाते हैं।

अतः overall H.T.C. के calculation मे added resistance को भी count करना चाहिए। In addition resistance 'u' की orignal value कम हो जाती है। जिससे orignal heat transfer surface से required ammount की heat transfer नही हो पाती है।

अतः Heat transfer equipment की design करते समय dirt तथा scale के decomposition से produce resistance R_d

Scanned by CamScanner

को introduce करते हैं।

Note:– R_d को ही fouling factor कहते हैं।
यह fouling factor scale के thermal resistance के कारण होता है।
so, we can use eqⁿ

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{x_w}{K} + \frac{1}{h_o}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{x_w}{K} + \frac{1}{h_o} + R_d$$

इस प्रकार dirt factor R_d को count करने पर प्राप्त O.H.T.C. को dirty are design O.H.T.C. कहते हैं।

$$R_d = R_{di} + R_{do}$$

where, R_{di} = Dirt factor for inner fluid at inside surface

R_{do} = dirt factor for outside fluid at outside surface of pipe

Laminar flow heat transfer tube :-

Tube मे laminar flow heat transfer को निम्न condition द्वारा प्रदर्शित किया जाता है।
Fluid की सम्पूर्ण tube मे velocity के किसी

भी cross section की सभी point constant हो ताकि

$$V = \bar{V} = \bar{V} \text{ average velocity}$$

wall tempʳ constant है।
Fluid की property temp पर depend नही करती है। सामान्यत: यह स्थिति उस उष्मा के अनुसार है जो की आवश्यकता है। तथा Heat transfer के लिए पर्याप्त मात्रा मे area प्राप्त हो जाता है।

Maintenance/Cleaning of heat exchanger:-

The main maintenance of a heat exchanger is cleaning of the both tubes as the surface of the tubes is the heat transfer surface. The cleaning of tube is required from both inside and outside as deposits/scales can from on both the sides. Cleaning of the tubes is done by mechanical or chemical means. Usually, cleaning of the tubes

Scanned by CamScanner

from the inside is done by brushing or by acid cleaning. For mechanical cleaning, the heat exchanger should be opened. Replacement of gaskets is essential to avoid the leakage when open for cleaning. In case of acid cleaning, the dilute HCl is circulated through the heat exchanger for predetermined period then alkali for Neutralisation of the residual acid is circulated and finally the heat exchanger is flushed with fresh soft water.

Plate-type heat exchanger :- It consists of a series of rectangular, parallel plates held firmly together between substantial head frames. The plates have corner ports and are sealed and spaced by rubber gaskets around the ports and along the plate edges. The plates are having corrugated faces. These plates serve as the heat transfer surfaces and are frequently of stainless steel. In general, a gap between plates is 1.3 to 1.5 mm.

In this exchanger, a hot fluid passes between alternate pairs of plates, transferring heat to a cold fluid in the adjacent spaces. The plates can be readily separated for cleaning and the heat transfer area can be increased by simply adding more plates.

Advantage :- it being very compact requires very small floor space, low pressure drop, absence of inter leakage of fluids, ease in dismantling for inspection and cleaning, high heat transfer.

coefficients, and provide large heat transfer areas in a small volume.

Plate heat exchangers are competitive with shell-and-tube exchangers where corrosion resistant materials are required.

Thus for heat sensitive materials and where a close temp control is required.

Plate exchangers are relatively effective with viscous fluids with viscosities upto about 30 kg/(m·s) (300 poise). These can be employed upto temp of 423 K (150°C) and pressure of 900 KN/m^2. The weakness of these units is the necessity of long gaskets.

Flow arrangements in heat exchangers:-

There are three basic flow arrangements.

1. Parallel flow / Co-current flow
2. Counter current flow
3. Cross flow

1. Parallel flow / Co-current flow:-

When both fluids flow in the same direction from one end of a heat exchanger to other end through the heat exchanger, then the flow is called as co-current or parallel flow.

or

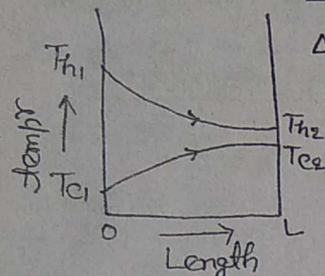
जब Heat exchanger मे दो तरल दो सिरे से एक ही दिशा प्रवाहित हो तो इस प्रकार के प्रवाह को parallel flow or co-current flow कहते हैं। इस प्रकार का प्रवाह सामान्यतः single phase exchanger मे प्रयुक्त करते हैं।

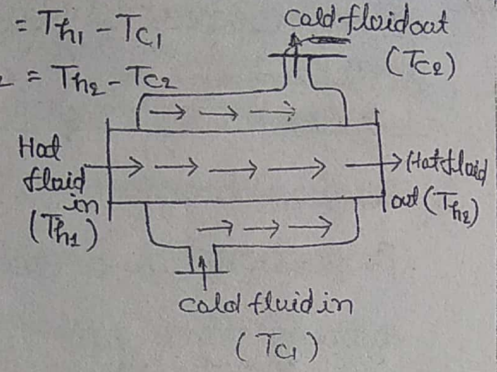
Ex:- Shell and tube heat exchanger, double pipe heat exchanger.

Scanned by CamScanner

$\Delta T_1 = T_{h_1} - T_{c_1}$

$\Delta T_2 = T_{h_2} - T_{c_2}$





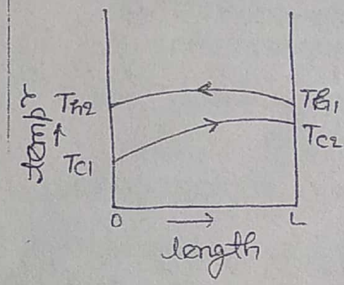
2009,
2. <u>Counter Current flow:-</u> When fluid are flowing through a heat exchanger in opposite directions with respect to each other (i.e., one fluid enters at one end of the heat exchanger and the other fluid enters at the opposite end of the heat exchanger) then the flow is termed as counter current flow.

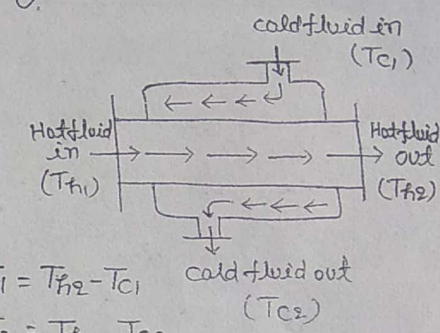
<u>or</u>

जब दो तरल विभिन्न सिरों पर exchanger के विपरीत दिशा मे प्रवाहित हो रहा है। तब इस प्रकार के प्रवाह को counter current flow कहते है।

63

<u>Ex:-</u> Double pipe and shell-and-tube heat exchanger.





$\Delta T_1 = T_{h_2} - T_{c_1}$

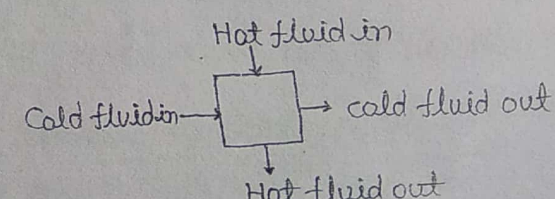
$\Delta T_2 = T_{h_1} - T_{c_2}$

2008,
3. <u>Cross flow:-</u> When fluids are directed at right angles to each other through a heat exchanger, then the flow arrangment is called cross-flow.

<u>or</u>

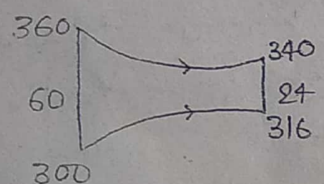
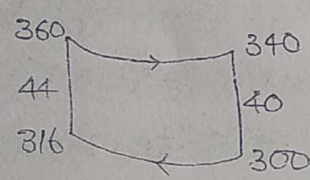
इसमे कोई fluid heat exchanger के द्वारा other fluid के flow path के right angle मे move होता है।

<u>Ex:-</u> Plate-fin heat exchanger.



Scanned by CamScanner

Difference between Co-current and Counter current flow :-

Co-current flow	Counter flow
1. Rate of heat transfer is less than counter current flow.	1. Rate of heat transfer is greater than Co-current flow.
2. Temp. difference will show more variation throughout the heat exchanger.	2. Temp. difference will show less variation throughout the heat exchanger.
	

Sensible Heat :- It is the heat that must be transferred to raise or lower the temperature of a substance or a mixture of substances.

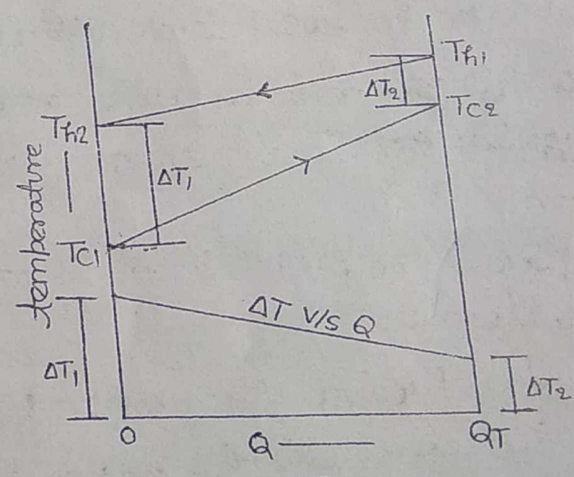
Heat flux :- It is defined as the rate of heat transfer per unit area. It can be based on the outside or inside heat transfer area. It has the units of W/m^2.

PED 2010, 2007, 2006, 2005,

Log mean temperature difference :-

The heat transfer flux is directly proportional to a driving force. The driving force for heat flow is taken as $T_h - T_c$, where T_h and T_c are the temperature of hot and cold fluids respectively.

As the term $\Delta T = T_h - T_c$ varies along the length of a heat exchanger, the flux also varies over the entire length.



(3.11)

Consider a differential element of area dA through which a differential amount of heat dQ flows under the driving force of ΔT. then

$$Q = U\Delta T$$

from differential

$$\frac{dQ}{dA} = U.\Delta T \quad \text{—} (1)$$

$$\boxed{\frac{dQ}{dA} = U.(T_h - T_c)}$$

Where U is the local overall heat transfer coefficient, dQ/dA is the local heat flux and ΔT is the local temp. difference.

Equation (1) needs to be integrated for its application to the entire area of a heat.

Assumptions (कल्पना) to be made for integration are –

1. Overall coefficient U is constant.
2. Specific heats of the hot and cold fluids are constant.
3. Heat flow to and from the ambient is negligible. and
4. Flow is steady and may be parallel or counter current type.

First assumption के लिए U ताप के अनुसार परिवर्तित होता है। लेकिन इसका परिवर्तन क्रमिक होता है। परन्तु सीमित temp range के लिए इसे constant मान लेते है।
second and fourth assumption के लिए हम देखते हैं कि T_c तथा T_h मे साथ laminar परिवर्तन होता है तथा straight line प्राप्त होती है। अत: ΔT v/s Q ग्राफ का slope नियत होता है।
चित्र: (3.11) से स्पष्ट है कि.

$$\text{Slope} = \frac{d(\Delta T)}{dQ} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{Q_T} \quad \text{—} (11)$$

where ΔT_1 & ΔT_2 = approaches

Q_T = Rate of heat transfer in the entire heat exchanger.

putting the value of dQ from eq^n (1) into eq^n (11) gives

$$\frac{d\Delta T}{U.\Delta T\, dA} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{Q_T}$$

$$\frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)U}{Q_T} \cdot dA$$

integrating the above eqn over the limits-
$A = 0, \Delta T = \Delta T_1$ and $A = A, \Delta T = \Delta T_2$, gives

$$\int_{\Delta T_1}^{\Delta T_2} \frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)U}{Q_T} \int_0^A dA$$

$$\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right) = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)U}{Q_T} \cdot A$$

$$Q_T = U.A. \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

The heat transfer rate in the entire heat exchanger can be denoted by the symbol Q.

$$\therefore \quad Q = U.A. \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\boxed{Q = U.A.\ \Delta T_{lm}}$$

where,

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2/\Delta T_1)}$$

ΔT_{lm} is referred to as the log mean temperature difference (LMTD).

$$Q = U.A.F_T(\Delta T_{lm})$$

where. F_T = correction factor of the LMTD and is usually taken as 0.85 – 0.90.

Scanned by CamScanner

CHAPTER - 6

Condenser

Condenser :- Heat transfer की वह युक्ति है, जिसमे vapour से उसकी latent heat को remove करके द्रवित करती है। condensing कहलाती है तथा जिस equipment द्वारा यह क्रिया सम्पन्न की जाती है उसे condenser कहते है।

Condenser वह युक्ति है जिसके द्वारा किसी द्रव की वाष्प को उसके द्रव मे परिवर्तित किया जा सकता है। हम जानते है कि द्रव को जब वाष्प मे बदला जाता है तो कुछ ऊष्मा द्रव की वाष्पन ऊर्जा के रूप मे देनी पड़ती है। जिसका प्रयोग करते हुए द्रव वाष्प मे बदल जाती है। ठीक इसके विपरित जब किसी द्रव की वाष्प को द्रव मे बदलते है तो वाष्प की वह ऊष्मा दूर करनी पड़ती है। जो कि उसे वाष्प परिवर्तन के समय दी जाती है।

Heat transfer की दर पर condensation दो विभिन्न mechanism द्वारा पूर्ण होता है।

① Dropwise condensation
② Film wise condensation

2010, 2006, 1. **Dropwise Condensation :-** When a saturated vapour comes into contact with a cold surface, it condenses and if condensate does not wet the surface, the droplets are formed on the surface. These droplets grow and ultimately fall from or fall down the surface under the influence of gravity leaving behind the bare metal surface on which further condensation takes place. The condensation occurring by this mechanism is known as dropwise condensation.

इसके प्रमुख गुण निम्न है.

① Heat transfer coefficient अधिक होता है।
② Heat transfer ~~condens~~ conduction द्वारा नही होता है।

Scanned by CamScanner

(3) यह stable नहीं होता है। अतः इसको achive करना कठिन होता है।

(4) Oily तथा griegy surface, dropwise condensation के लिए usefull है। Dropwise condensation के लिए film coefficient available नहीं होता है।

Univ. 2006.

2. Filmwise Condensation :- When a saturated vapour comes into contact with the cold surface, it condenses and if condensate wets the surface, it forms a continuous film of condensate through which heat must be transferred. The additional vapour is then required to condense into the liquid film rather than directly on the surface. The condensate ultimately flows down the surface under the influence of gravity. The condensation occurring by this mechanism is called as filmwise condensation.

इसके प्रमुख गुण निम्न हैं -

(1) Heat transfer coefficient relatively कम होती है।

(2) Heat transfer, conduction द्वारा film के through होता है।

(3) इसको easily obtain किया जा सकता है। यह stable है।

(4) Smooth व clear surface, filmwise condensation के लिए उपयुक्त है।

(5) Filmwise condensation के लिए film coefficient available है।

Condensing film, surface के nature पर depend करता है कि vertically और horizontally स्थित है। Horizontal coefficient, vertical coefficient से 3.07 गुना होता है।

Scanned by CamScanner

~~Classifati~~

Classification of condenser :-

① Surface Condenser

② Contact Condenser

1. Surface Condenser :- Surface condenser मे heat transfer किसी mediator के द्वारा होता है। इसमे mediator के रूप मे metal use होता है। जिसकी thermal conductivity अधिक होती है। इसमे vertical position मे ऊपर एक pipe लगा रहता है। जिसमे alternatly ठंडा व गर्म liquid भेजा जाता है। अर्थात सबसे ऊपरी pipe मे यदि cold water भेजा गया है तो उसके ठीक नीचे Hot water से भरा pipe होगा।

इस प्रकार liquid की heat hot pipe की surface द्वारा cold surface को प्राप्त होती है। इस प्रकार से heat hot liquid से cold fluid की तरफ transfer हो जाती है। इस प्रकार के condenser मे यह लाभ भी है कि विभिन्न प्रकार के गर्म fluid विभिन्न pipe मे भेजकर एक साथ ठंडे किया जाता है।

Or

इसमे condensable vapour को तथा cooling liquid को एक metal wall से seperate किया जाता है।

यह condenser shell and tube heat exchanger की भाँति ही होता है। जो कि एक sphere से घिरी रहती है। और vapour, tube के outside और shell मे बहती है। तथा जल tube के अन्दर बहता है। इसमे tube की संख्या इतनी अधिक होती है कि इसमे बहने वाले Hot fluid की velocity कम हो जाती है। समुचित Heat transfer प्राप्त हो जाता है।

Low H.T.C. की वजह से long tube तथा ज्यादा tube की आवश्यकता होती है। यदि long temp range पर vapour को ठंडा करना है तो इस प्रकार की long tube उपयुक्त नही होती है। क्योकि इस tube मे fluid की velocity तथा heat transfer coefficient का

मान अधिक वेग उच्च H.T.C. और छोटी tube प्राप्त करने के लिए multiphase condenser का use किया जाता है।

2. Contact Condenser :- यदि condense किये जाने वाले vapour को condensing process से इस प्रकार के condenser मे प्रयोग लाया जाता है। contact condenser मे vapour तथा cooling liquid dried mixed किया जाता है। Contact condenser, surface condenser की तुलना मे सस्ते व छोटे होते है।

or

✓ यह surface condenser की तुलना मे छोटी व सस्ते होते है। इसमे cold H_2O spray के रूप मे vapour steam के सम्पर्क मे आता है। यह direct through से discharge होता है। यह condenser एक vertical cylinder के समान होता है। यह लगभग 34 fit (10 meter bottom पर) तक लम्बा हो सकता है। जब इसमे H_2O spray करते है तो liquid और air direct contact मे आ जाते है। इसके नीचे गिरने वाला पानी समान कला मे नीचे गिरता है। Air liquid से latent heat लेकर ठण्डी रहती है।

इस प्रकार के condenser मे fluid केवल ऊपर से bottom की ओर flow कराया जाता है। यह दो प्रकार का होता है।

(i) Parallel Current Condenser :- इसमे Non-condensed gas को किसी temp पर cooling tower मे प्रवेश कराते है। Vapour को condense करने के लिए top से central high velocity water mixed करते है। और इनमे vaccum create कराते है। इस condenser मे vapour एवम liquid भी एक ही direction अर्थात top से bottom की ओर रहती है। इसलिए इसे parallel flow condenser कहते है।

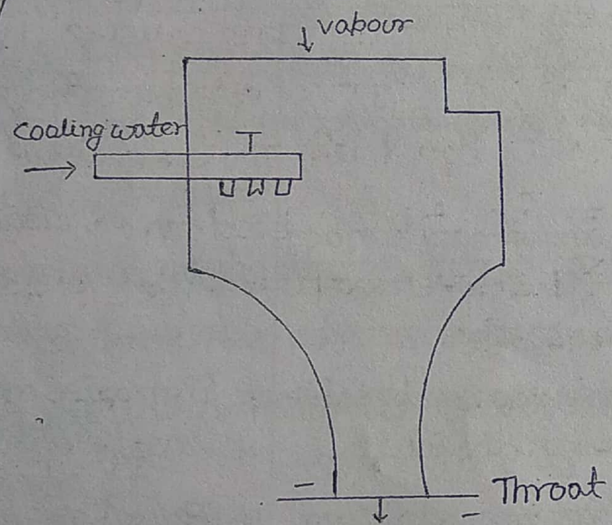
condenser के नीचे Throat होता है। ताकि Po पर्याप्त water use हो जाये तो इस point पर velocity head अधिक रहे ताकि static pressure का मान कम हो जाए।

74

फिर non-condense gas और cooling water साथ-2 discharge हो जाए।

कुछ case मे Parallel current condenser के through मे नही होता है। ऐसी स्थिति मे वे wet vaccum तथा air दोनो को remove करता है।

Note:- इस condenser का use counter current contact condenser की तुलना मे बहुत कम किया जाता है। फिर भी जहाँ पर water assumption expensive नही होता है। वहाँ पर ये लगाये जाते है।



36

(ii) **Counter Current Condenser:-** इस condenser मे non-condense gas को top पर से cooled H_2O के साथ feed करते है। जिसमे cross wall पर baffels लगी रहती है। Coolers के द्वारा water baffels मे गिरता है। जिससे इसकी wires एक निश्चित

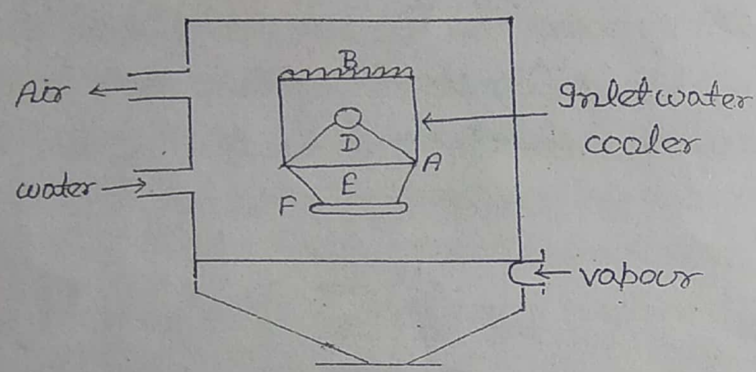
or

इसमे एक vertical cylinder होता है। इस cylinder के across मे Heavy baffels लगे होते है। चित्र मे column A के पीछे water rise करता है। फिर यह water B से over flow करता हुआ surface C, D, E तथा F पर गिरता है। जैसा कि चित्र मे doted line से दिखाया गया है।

Bottom के पास से vapour introduce कराया जाता है और यह vapour falling water मे mix होती है। और फिर vapour condense हो जाती है।

जो gas condense नही हो पाती है। उन्हे condenser के top से vaccum pump को भेज दिया जाता है। इसमे cooling तथा vapour liquid एक दूसरे के

विपरित flow करते है। इसलिए इसे counter current condenser कहते है।



Difference between parallel condenser and counter current condenser :-

Parallel current condenser	Counter current condenser
1. इसमे दोनो fluid की दिशा एक ही होती है।	1. इसमे दोनो fluid के प्रवाह की दिशा विपरीत होती है।
2. इसमे दोनो पदार्थ एक ही सिरे से प्रवेश कर दूसरे सिरे से निकल जाते है।	2. इसमे दोनो पदार्थ अलग-2 सिरे से जो प्रवेश करते है। इसमे एक सिरे से जो प्रवेश करता है वे उसी से बाहर निकलते है।
3. इसमे working fluid तथा vapour दोनो अलग-2 होती है।	3. इसमे दोनो एक ही संग रहते है।
4. इसकी capacity counter current की अपेक्षा 40% अधिक होती है।	4. इसकी capacity कम होती है।

72

Difference between drop-wise and film-wise condensation :-

Dropwise condensation	Filmwise condensation
1. In drop wise condensation the condensate (condensed liquid) does not wet the surface and collects in the form of droplets. These droplets grow for a while and then fall from the surface, leaving bare metal surface for further condensation.	1. In film wise condensation the condensed liquid wets the surface and forms a continuous film of condensate through which heat transfer takes place. This condensate flows down under the action of gravity.
2. Heat transfer coefficient are very high as the heat does not have to flow through film by conduction	2. Heat transfer coefficients are relatively very low since the heat does have to flow through a film by conduction.
3. Oily and greasy surfaces seem to tend towards drop wise condensation.	3. Smooth, clean surfaces seem to tend towards film wise condensation.
4. Drop wise condensation is very difficult.	4. Film wise condensation is easily obtainable.
5. Methods for predicting the film coefficient are not available.	5. Methods for predicting the film coefficients are available.

Evaporation

2005,
Evaporation is an operation that is carried out in the industry as a means of concentrating a week liquou/solution by vaporising a portion of the salvent.

The weak liquor/solution is composed of a non-volatile solute and a volatile salvent.

Common example of evaporation :-

Concentration of aqueous solution of sugar, NaCl, NaOH, glyceral, milk and fruit juices.

Performance of tubular evaporators :-

The performance of a steam heated tubular evaporator is evaluated in terms of

(i) Capacity
(ii) economy

1. **Capacity :-** Capacity of an evaporator is defined as the number of kilogram of water vaporised/evaporated per hour.

$$Q = U \cdot A \, \Delta T$$

2009, 2005,
2. **Evaporator economy :-** Economy of an evaporator is defined as the number of kilogram of water evaporated per kilogram of steam fed to the evaporator. It is also called as steam economy.

The methods of increasing the economy are :-

(i) Use of multiple effect evaporation system
(ii) Vapour recompression
- → Thermal recomp.
- → Mechanical recomp.

Scanned by CamScanner

In a multiple effect evaporation system. the vapour produced in first effect is fed to the steam chest of second - effect as a heating medium in which boiling takes place at low pressure and temp and so on.

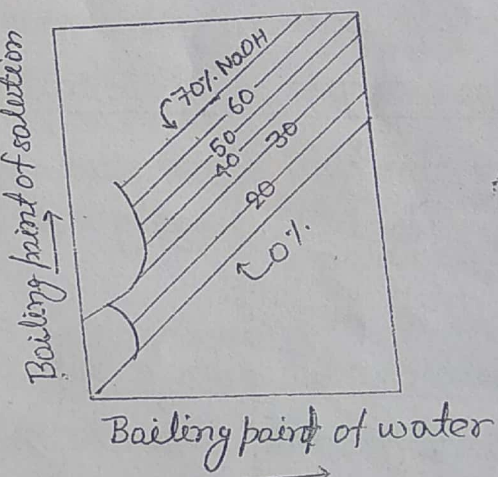
2009, 2007, 2005,
Boiling Point Rise / Elevation :-

The difference between the boiling point of a solution and that of pure water at any given pressure is known as the boiling point rise/elevation of the solution.

The boiling point rise is small for dilute solutions and large for concentrated solutions of inorganic salts.

Duhring's rule:- It states that the boiling point of a given solution is a linear function of the boiling point of pure water at the same pressure.

So, when the boiling point of a solution is plotted against the boiling point of water, we get a straight line.



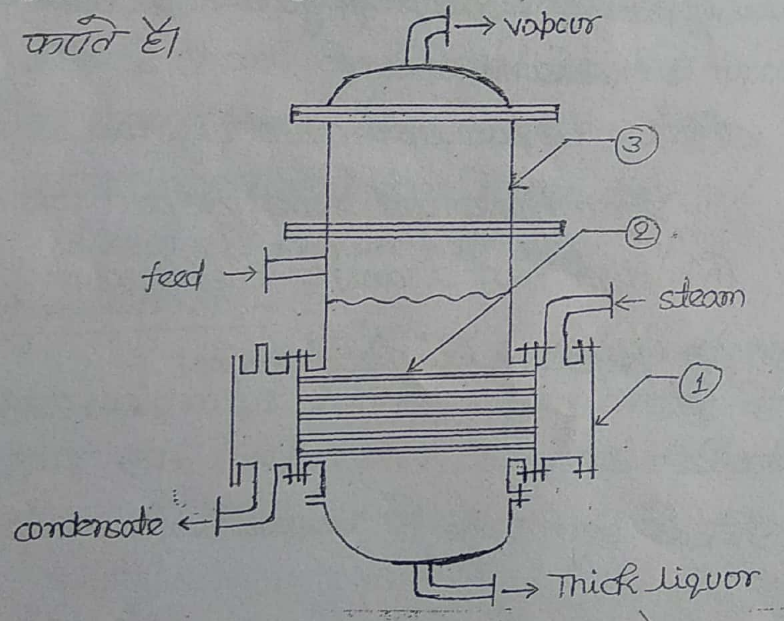
" Duhring's plot for aqueous solution of caustic soda (NaOH) of various concentrations "

Scanned by CamScanner

2012, 2008.

Horizontal Tube Type Evaporator :- यह सबसे पहले बनने वाला evaporator है / इसमे horizontal tube लगी रहती है / इसका जीवन काल कम है। इसलिए इसे vertical मे change कर दिया गया है।

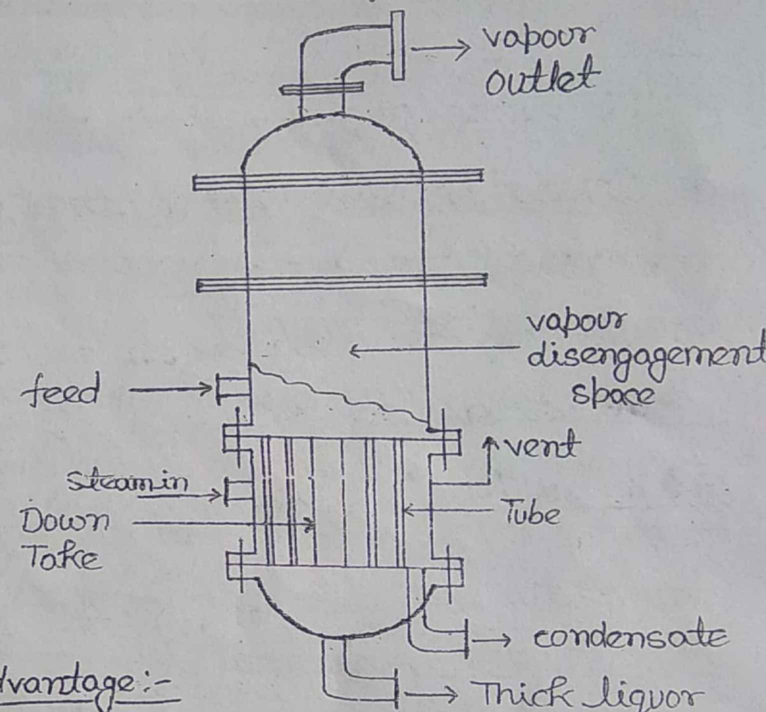
Construction:- इस case मे एक vertical cylinder होता है / जो कि liquid component कहलाता है / इसका ऊपरी भाग copper plate तथा निचला भाग tube cell के अन्दर बन्द रहता है / इसमे Horizontal tube लगी रहती है। इस tube मे steam एक तरफ से inlet करकर इसी side से ~~exit~~ outlet करते है।



और drip की सहायता से अलग-अलग कर ली जाती है। Exit steam को पुन: reboiler मे भेजकर use कर लेते है। Cylinder मे tube द्वारा liquid feed किया जाता है। Thick liquid का निकास नीचे से किया जाता है / operation को देखने के लिए कई स्थानो पर sight glass लगा दिया जाता है। Horizontal tube evaporator मे tube packing plate द्वारा decrease होती है। इसमे मोटी plate के बाहरी व्यास से थोड़ा बड़ा hole करते है / tube के अन्दर conical Rubber tacket लगाते है। यह pack plate अपने पर रोकने के लिए चारो tube के center मे hot screw पर लगी रहती है। जिसमे plate or tube अपने स्थान पर रुकी रहती है / इसमे एक advantage यह भी है कि इसमे tube को आसानी से बदला जा सकता है / इस evaporation की capacity कम होती है। ऐसे evaporator ज्यादातर sugar mills मे use किये जाते है।

Scanned by CamScanner

Standard vertical tube/ Short tube / Calendrical type evaporator :-



Construction and working :- यह एक छोटी tubes का बना होता है। इसमे tube steel को A से denote करते हैं जो आर-पार होता है। इसके center मे down comer B होता है। इसमे tube steel के बीच कसी होती है। तथा evaporator के बाहरी chamber मे steam melt की जाती है। tube मे पानी भेजा जाता है। boil होकर ऊपरी सतह पर एकत्र होता है। जो steam condense होती है। इसे drips 'e' द्वारा remove करते हैं। Non-condense gas vent से होकर निकल जाती है। यह section D से निकलती है। उपकरण मे feed point e से करते हैं। इसकी tube 1"-4" तक होती है। एवं कोण 30°-60° होती है। Vertical crystallization को rebent type के नाम से जाना जाता है। इसके tube मे पानी या solution भरा होता है। Flow out sides the tubes the steam chest.

Advantage :-

(i) Relatively inexpensive.
(ii) Provide moderately good heat transfer at reasonable cost.
(iii) Can be put into more rigorous services than horizontal tube evaporators.
(iv) High heat transfer coefficient.
(v) Requires low head room.

Disadvantage :-

(i) Floor space required is large.

(ii) Amount of liquid help up in the evaporator is large.

(iii) Since there is no circulation these are not suitable for viscous liquid.

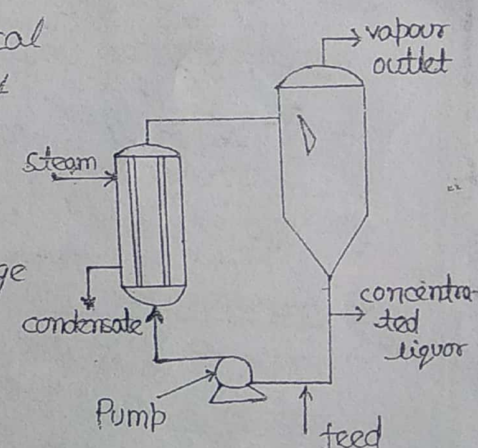
2009, 2007;

Natural and Forced Circulation type evaporator :-

Natural circulation evaporator मे liquid tube मे 1-4 fit/sec (0·3 से 1मी0/sec) के वेग से प्रवेश करता है। Leaner velocity tube मे increase होता है। इसमे Heat transfer होती है। यह viscous liquid के economically होता है। यह centrifugal pump के forced के साथ liquid tube के अन्दर प्रवेश कराया जाता है। इसकी velocity 6-16 fit/sec (2 से 6 m/sec) हो जाती है।

Construction :- इसमे एक circulation pump एक seperator top से vapour outlet के साथ एक evaporator body एक deflector plate, thick liquid के discharge के लिए एक outlet और एक external heating surface जुड़ा रहता है। एक horizontal shell and tube heat exchanger shell and tubes side से pass होता है।

Working :- एक centrifugal pump के force से liquid को high velocity से tube मे भेजा जाता है। और shell side पर condensing steam से heat transfer के द्वारा tube मे heat passes करते है। Vapour and liquid के mixture मे solution के superheated and flash seperator के entering के पहले करना चाहिए। क्योंकि जब seperator के exchanger से करते है तो static head मे reduction होता है। vertical heating element के case मे single pass shell and tube heat exchange use करते है।



Advantage :-

(I) Viscous material के साथ उच्च heat transfer co-efficients सम (even) होता है।

(II) Flow के positive circulation and close control.

(III) Tube के resistance time, liquid का बहुत कम होता है। (1-3 sec) क्योंकि इन units में high velocities होती है।

Main disadvantage lies in high pumping cost.

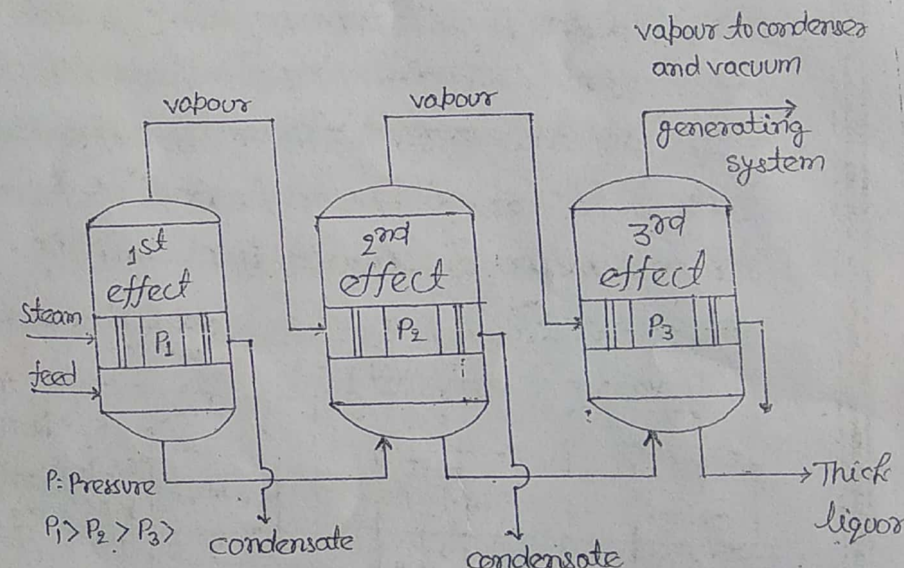
2012, 2010, 2008, 2005,

Method of feeding Evaporator :-

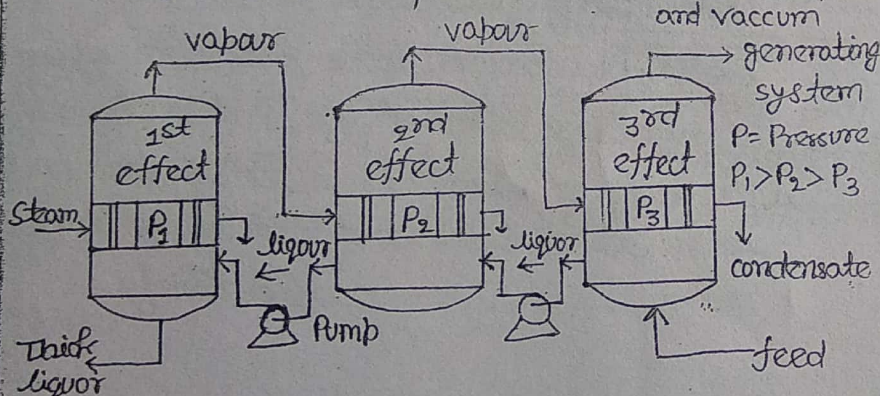
एक multievaporation system के feeding के लिए chemical industries में निम्न most common methods used होता है।

(I) Forward feed
(II) Backward feed
(III) Mixed feed

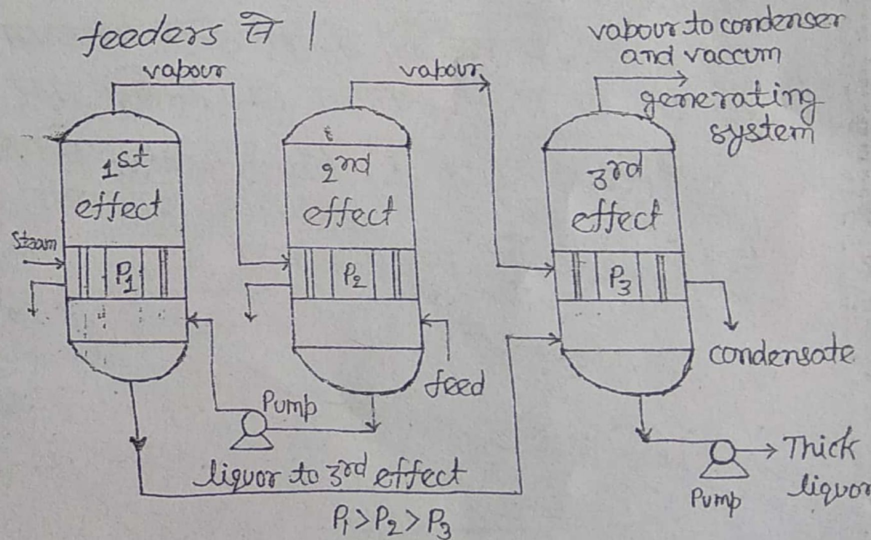
(*) Forward feed :- यह feeding की सबसे सरल विधि है। इसमें feed को सबसे पहले effect में प्रवेश कराते हैं। तथा पहले effect से जो vapour निकलती है। उसे दूसरे में vapour की तरह use करते हैं। इस प्रकार अन्तिम effect तक यह क्रिया चलती रहती है और अन्त में जो गाढ़ा द्रव प्राप्त होता है। वह अन्तिम सान्द्रित विलयन होता है। इस प्रकार के feeding system में द्रव का स्थानान्तरण बिना pump की सहायता से करते है। केवल पहला feed भेजने और अन्तिम feed निकालने के लिए ही दो pump की आवश्यकता होता है।



(ii) **Backward feed** :- इस arrangement मे feed solution और vapour flow की दिशा एक दूसरे के opposite होती है। last effect मे fresh feed (thick liquid) को admitted करते है और उसके बाद दूसरे effect मे pump कर देते है। First effect के steam chest मे steam को admitted करते है। और first effect मे vapour produce करके second effect के steam chest मे fed कर देते है। First evaporator मे pressure high होता है। और last effect मे low होता है। यदि liquid बहुत viscous वाला है। तब उसे first effect के temp से adopt back feed arrangment से liquid की viscosity less कर देते है।



(iii) **Mixed feed** :- इस arrangment मे first effect के steam chest मे steam को admit करते है। और vapour को first effect से leave कर देते है। और second effect के steam chest मे feed कर देते है। एक intermediate effect मे feed solution को admit करते है और final concentration के लिए last effect मे feed solution को first effect से flow करा देते है। यह arrangment forward and backward feed adopt के combination है। इसमे overall performance अच्छा होता है, बाकी के feeders से।

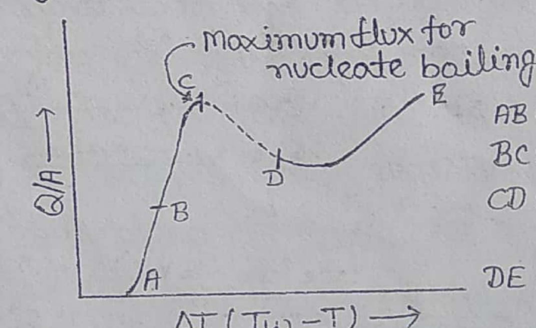


Multieffect evaporator :- Standard vertical 80 basket, Natural forced circulation type evaporator etc. को single effect evaporator कहते है। इस प्रणाली का modification ही multieffect evaporator कहलाता है।

Multieffect evaporator का large scale operation से बड़े पैमाने पर use किया जाता है। Single effect economy प्राप्त करने के लिए multieffect evaporator का use करते है। अर्थात उद्योगो की आर्थिक स्थिति को इसके द्वारा सुधारा जाता है। क्योंकि इसमे ईंधन का व्यय कम होता है। इसमे एक वाष्पक से प्राप्त वाष्प को दूसरे वाष्पक मे प्रयोग तापन माध्यम के रुप मे किया जाता है। जिससे भाप की बचत होती है। अत: इसका उपयोग रासायनिक उद्योगो मे आर्थिक व्यवस्था को सुधारने मे किया जाता है।

2006, 2005, **Nucleate Boiling :-** Nucleate boiling the most at the surface is in direct contact with the liquid and only small portion is occupied by the bubbles.

2004, **Transition Boiling :-** It is a point at which the rate of bubble production is so large that they tend to coalesce on the heating surface forming a layer of insulation vapour.



AB = Natural convection
BC = Nucleate boiling
CD = Transition boiling
DE = Film boiling

2005, **Film Boiling :-** It is a point at which the vaporisation take place through a blanketing film of gas/vapour. In film the rate of heat transfer is low for a large temp drop and the temp drop is not .... effectholy.

Multi Effect Evaporator :-

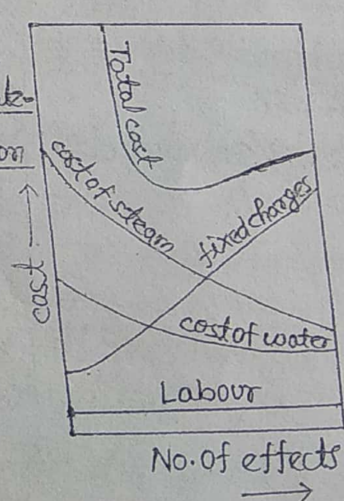
अधिकांश evaporation मे low pressure steam use किया जाता है। Evaporation मे condensing system द्वारा जो heat liquid solution को दी जाती है। उससे solution boil होता है। Vaporization से निकलने वाली vapour को condenser मे feed करके ठण्डा किया जाय तो vapour के साथ associated heat loss हो जाती है। जिससे heat का पूरा use नहीं हो पाता है। Evaporation से प्राप्त vapour को अगले evaporator मे heating media की तरह प्रयोग किया जा सकता है। जो पहले की अपेक्षा low pressure पर कार्य कर रहा है तथा heat transfer के लिए पर्याप्त temp gradient प्राप्त हो सके।

जब एक evaporator का use किया जा रहा हो तथा इससे प्राप्त vapour को condense कर discharge किया जा रहा है तो उसे single effect evaporator कहते है। इसकी economy सदैव 1 से कम होती है। साधारणतया 1 kg water vaporised करने के लिए 1 - 1.3 Kg steam की आवश्यकता पड़ती है।

(Steam supply तथा condenser के बीच evaporator की series apply कर per kg steam से evaporation को बढ़ाने के method को multieffect evaporation कहते है। Steam economy बढ़ाने के लिए इसका प्रयोग करते है।)

इस प्रकार के system मे evaporator को इस प्रकार व्यवस्थित किया जाता है कि evaporator से प्राप्त vapour को अगले evaporator मे heating media की तरह प्रयोग किया जाता है जो कि पहले की अपेक्षा lower pressure पर तथा अधिक temp पर operate हो रहा है। इस प्रकार series मे कार्य कर रही प्रत्येक unit को effect कहते है।

optimum No of effect in a multiple-effect evaporation system



Difference Between Natural and forced ~~convection~~ circulation evaporator :-

Natural Circulation	Forced Circulation
1. Pump की आवश्यकता नही पड़ती है।	1. Pump की आवश्यकता पड़ती है।
2. Difference के कारण ऊपर उठता है।	2. इसमे pump के pressure ~~कैसे~~ से liquid ऊपर flow होता है।
3. Viscous fluid के लिए overall H.T.C का मान low होता है।	3. Forced circulation के कारण मान घटता रहता है।
4. इसकी capacity कम होती है।	4. इसकी capacity अधिक होती है।
5. Thin fluid के लिए O.H.T.C अधिक होता है।	5. इसके लिए O.H.T.C कम होता है।
6. इसमे tube के अन्दर resistance time अधिक होता है।	6. Velocity के अधिक होने के कारण tube के अन्दर resistance time कम होता है।
7. Fluid flow velocity कम होती है।	7. Fluid flow velocity अधिक होती है।
8. यह low viscous एवं scale forming fluid के लिए उपर्युक्त होता है।	8. यह high viscous एवं forming fluid के लिए उपर्युक्त होता है।

Crystallisation :- Crystallisation process मे solute को उसके solution से अलग करके crystal form मे प्राप्त करते है। Crystallisation वह unit operation है जिसके अन्तर्गत homogeneous phase मे solid particle का निर्माण होता है। यह vapour मे भी solid particles तैयार करने के लिए लागू होता है। जैसे - Show liquid के melt करने से ठोस कण प्राप्त होता है।

2012, 2010, 2008,
Classification of Crystallisers :-

Crystallisers को operation के mode के आधार पर classified किया जाता है। ये Batchwise या continuously operate हो सकते है।

(a) Batch crystalliser or stiror (Agitated) tank crystalliser

(b) Continuous crystalliser or Swenson-walker crystalliser

Based on the method of achieving super saturation-

(1) Super saturation by cooling alone

(a) Batch - Stiror (Agitated) tank crystalliser

(b) Continuous - Swenson-walker crystalliser

Scanned by CamScanner

(2) Super saturation by adiabatic evaporation and cooling

(a) Vaccum crystallise with and without external classifying seed bed.

(3) Super saturation by evaporation

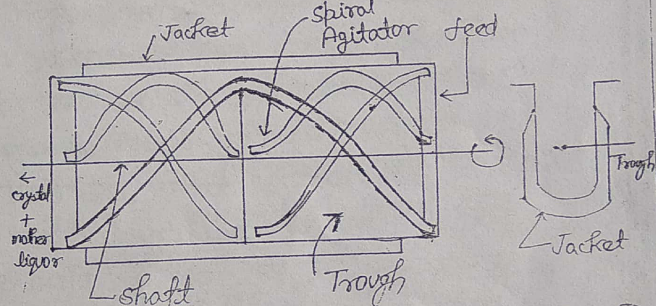
(a) Crystal crystalliser

(b) Draft tube crystalliser

2005. **Swenson-walker Crystalliser**

यह एक cooling type continuous crystalliser है। यह scrapped surface crystalliser का एक उदाहरण है।

Construction:- इसमे एक U-shaped rectangular ~~throw~~ trough होती है। जिसकी चौडाई 0.6m तथा लम्बाई 3 से 6 m तक होती है। Trough coolant के circulation के लिए बाहर से Jacketed होती है। Trough के bottom के समीप एक agitator set रहता है। जो लगभग 7 rpm की speed से घुमता है। यह साधारणतया 10 ft. लम्बे बनाये जाते है। इसकी capacity तथा efficiency बढ़ाने के लिए कई unit एक साथ जोड़ दी जाती है जो 40 ft. की max लम्बाई के द्वारा drive हो सकती है।



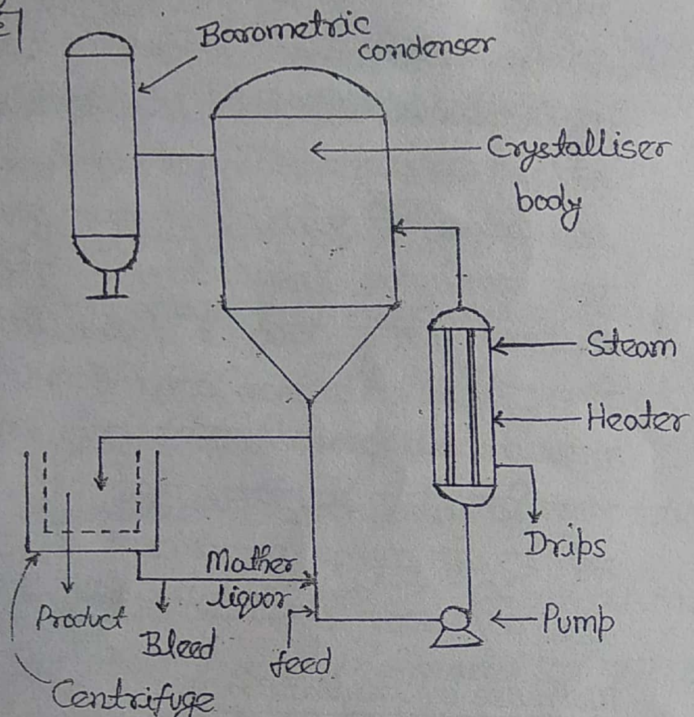
Operation:- Crystallisation किये जाने वाले गर्म conc. solution को trough के एक सिरे पर feed किया जाता है। Cooling water को jacket मे counter current flow कराया जाता है। Crystal के size को control करने के लिए कभी-2 निश्चित भागो मे पानी की अतिरिक्त मात्रा भी प्रवेश करायी जाती है। चलयाकार agitator का उपयोग crystals convey करने मे करते है। इसका पहला उपयोग

cooling surface पर crystal को नीचे खसोना होता है। इस प्रकार crystal आकार मे बढ़ते है। जबकि वे liquid मे freely suspended होता है तथा समान आकार के crystal प्राप्त किये जा सकते है। Crystalliser के end पर एक over flow end होता है। जहाँ पर कि crystal का mother liquor ~~drawing~~ drawing tube या drawing box पर एक साथ बहते है। यहाँ पर coal crystals को centrifugal मे पुन: feed कर लिया जाता है। कुछ crystalliser मे screw convey-er छोटा section crystal को उठाता है। तथा उन्हे centrifugal मे deliver कर दिया जाता है। mother liquor एक सुविधाजनक point पर निकलता है। इस crystalliser से flow गिरता है अर्थात यह बहुत कम स्थान घेरता है। इसका मुख्य लाभ यही है।

84 2009, 2008, 2007, 2006, **Vacuum Crystalliser:-** इस crystalliser मे super saturation को adiabatic evaporative cooling द्वारा प्राप्त किया जाता है। vaccum crystalliser प्राय: continuously प्रयोग किये जाते है। लेकिन इसका प्रयोग Batch wise भी किया जा सकता है। इसमे कोई moving part नही होता है।

Construction:- Vacuum crystalliser की संरचना बहुत आसान होती है। तथा यह mixing part से बना होता है। यह रबर तथा lead का भी बना होता है। इस crystalliser मे conical type का vessel A होता है। C वाष्प के जाने का रास्ता है। इसमे एक low head का centrifugal pump तथा shell के side मे एक vertical tubular heater होता है। जिसमे steam condense होती है। Vessel A मे condenser या steam jet ejector द्वारा low pressure maintain किया जाता है। इस vessel मे solution के लिए tangential inlet तथा ऊपर vapour बाहर करने के लिए vapour outlet होता है। Mother liquor तथा

crystal के लिए एक discharge pipe होती है। जो feed connection के ऊपर लगी होती है।



Operation:- इस उपकरण की capacity को इच्छानुसार घटाया या बढ़ाया जा सकता है। Steam jet ejector का प्रयोग कर low temp produce करते हैं। जिससे large मात्रा मे field प्राप्त होता है। इस process मे mother liquor की कम मात्रा vaporised होती है। Feed किसी सुविधाजनक point से प्रवेश करता है तथा vapour condensed होकर ejector or vacuum उत्पन्न करने वाले अन्य arrangment मे चली जाती है। अतः crystalliser मे उबाल उत्पन्न होता है। Crystal crystalliser body मे तब तक रोके जाते हैं। जब तक कि वे discharge pipe से गिरने के लिए पर्याप्त नहीं हो जाते। pump का discharge centrifugal or continuous vacuum filter के लिए किया जाता है। कभी-2 slurry को intermediate setting मे प्रवेश कराके या बिना प्रवेश कराये पतला किया जाता है। क्योंकि साधारण vapour phase मे low absolute pressure वहन होता है। इसलिए बहुत कम inch का hydro static head liquid को flashing से बचाने के लिए पर्याप्त होता है। कभी-2 feed flash बिना discharge pipe मे short circuit होने की प्रवृति रखता है। इसके लिए दो parallel stirred liquid को crystalliser मे ही रखने के लिए लगे होते हैं। Crystalliser मे liquid level को sight glass द्वारा indicate किया जाता है।

Continuous Vacuum Crystalliser or Circulation Magma Vacuum Crystalliser :- Crystal के suspension को centrifuge machine मे feed करते है और product के रूप मे crystal को अलग कर लिया जाता है। और mother liquor को down pipe के द्वारा recycle कर दिया जाता है।

Advantage:-
इसका use crystals के large production के लिए किया जाता है।

86

2009, Purpose of Insulation :- Insulation एक ऐसा material है जो प्रभावी ढंग से heat flow को कम कर सके। अधिकतर insulation कम conductivity की होती है, लेकिन यह आवश्यक नही है कि कम thermal conductivity का insulation ही प्रयोग मे लाया जाय। क्योंकि कई स्थानो पर insulation के लिए Aluminium coil का प्रयोग करते हैं। Insulation से होकर heat transfer conduction, convection तथा radiation तीनो के combination से संचालित होता है। ऐसा कोई भी insulation नही है जो temp gradient के अन्तर्गत heat flow को 100% रोकने मे प्रभावी हो।

Main use of insulation :-

1. Insulation का प्रयोग किसी system से surrounding को ऊष्मा प्रवाह की दर को रोकने या कम करने मे किया जाता है। ऐसे insulation steam, hot water और furnace के लिए किये जाते है।
2. कुछ insulation का प्रयोग surrounding से system मे होने वाले Heat flow को रोकने के लिए किया जाता है। ऐसे insulation

Scanned by CamScanner

brine pipe के लिए प्रयोग किये जाते है जो गर्मियो मे air conditioning के काम आते है।

Industries मे insulation निम्न उद्देश्य के लिए प्रयोग मे लाये जाते है।

1. Air conditioning system
2. Refrigerator & food processing system
3. pressing of fluid & gas
4. Boilers & steam pipe
5. Insulation bricks in all types of furnace.

Insulating material :- Chemical industry मे निम्न insulating material का प्रयोग किया जाता है।

1. Asbestous :- इसे $3MgO_2 \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$ से प्रदर्शित करते है। इसका प्रयोग कुण्डली की wire मे, circuit breaker मे, Transformer मे तथा motor को विभव हीन करने मे होता है।
2. Rubber :- इसका प्रयोग electric wire मे electric coil loss को रोकने के लिए किया जाता है।
3. Glass wool :- Glass wool का प्रयोग pipe tank तथा इतर apparatus से heat loss रोकने के लिए किया जाता है।
4. Fire Clay bricks :- यह अधिकतर steel furnace मे प्रयोग की जाती है। यह silica तथा ferrous के मिश्रण से बनती है।
5. Silica bricks :- यह भी furnace आदि मे लगायी जाती है। इसमे 95% S.C तथा शेष lime stone होता है।
6. Basic Refactories :- यह अधिकतर electrical furnace की दिवार तथा छत बनाने के लिए।
7. High Alumina Refactory :- यह अधिकतर glass industry मे प्रयोग किया जाता है।
8. Magnesia Refactories :- यह अधिकतर electrical furnace की छत तथा दिवारो मे लगाने के काम आता है।
9. Silica Carbide :- यह Silica carbide, crude cerium bound तथा clay की बनी हुई।
10. पोर्सलीन, mica, paper आदि industrial material है।

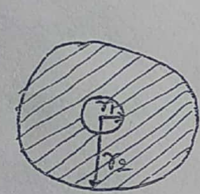
Scanned by CamScanner

2010, 2008, 2006

Critical Thickness of insulation :-

Insulation के द्वारा heat flow की दर कम की जाती है। कम व्यास के wire या tubes की मुख्य मात्रा मे insulation की छोटी मात्रा मिलाने पर tube से air तक heat flow rate बढ़ जाता है। इसको parallel practice show किया गया है। Asbestous sheet add करने से heat loss की दर बढ़ जाती है।

for Cylinder :-



चित्र में r_1 radius के pipe cylinder का cross section दिखाया गया है जो कि thermal conductivity K के material से insulated है। insulated material की thickness $(r_2 - r_1)$ है। यदि h_t combined radiation और convection co-efficient है तो surface मे Air से heat transfer को निम्न eqⁿ द्वारा ज्ञात कर सकते है।

~~$$Q = \frac{2\pi L K (T_1 - T_2)}{\log \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi r_2 h_t}}$$~~

$$Q = \frac{2\pi (T_1 - T_2) L}{\frac{\log r_2/r_1}{K} + \frac{1}{r_2 h_t}} \quad \text{—} (1)$$

समी० (1) मे Q तथा r_2 को छोड़कर शेष सभी राशियो के मान constant है। Assuming heat flow Q का मान r_2 के साथ परिवर्तित होता है) इस प्रकार r_2 का मान धीरे-2 बढ़ाने पर heat transfer rate कम होती है। तथा अपने minimum value पर पहुंच जाती है। ~~अत: insulation की वह मोटाई जिस पर rate of heat transfer minimum होता है~~ अत: insulation की वह मोटाई जिस पर rate of heat transfer minimum होता है, Critical thickness insulation ~~कहते~~ कहते है।

$$\frac{d\Sigma R}{dr_2} = \frac{d}{dr_2}\left[\frac{\log r_2/r_1}{K} + \frac{1}{r_2 h_t}\right] = 0$$

$$\Rightarrow \frac{d}{dr_2}\left[\frac{1}{K}(\log r_2 - \log r_1) + \frac{1}{r_2 h_t}\right] = 0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{K} \cdot \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_2^2 h_t} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{1}{K} = \frac{1}{r_2 h_t}$$

$$\Rightarrow \boxed{r_2 = \frac{K}{h_t}}$$

r_2 का मान heat insulation का max. rate होता है। तो इसे critical radius कहते हैं। इसे r_2 से व्यक्त करते हैं।

उपरोक्त समीकरण से -

$$r_2 - r_1 = \frac{K}{h_t} - r_1$$

$$\frac{r_2 - r_1}{r_1} = \frac{K}{r_1 h_t} - 1$$

where :- $r_2 - r_1$ = Thickness of insulation

$\frac{K}{r_1 h_t} < 1$ Then thickness insulation will increase.

Critical thickness for sphere :-

Sphere के लिए critical thickness ज्ञात करने के लिए निम्न eq^n का प्रयोग करते हैं।

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{\left[\frac{r_2 - r_1}{4\pi r_1 r_2 K} + \frac{1}{4\pi r_2^2 h_t}\right]} \quad \text{—(1)}$$

अत: Q के minimum value के लिए

$\frac{dQ}{dr_2}$ should be equal to zero.

$$\therefore \frac{d}{dr_2}\left[\frac{r_2 - r_1}{4\pi r_1 r_2 K} + \frac{1}{4\pi r_2^2 h_t}\right] = 0$$

$$\frac{d}{dr_2}\left[\frac{r_2 - r_1}{K_1 r_2 r_1} + \frac{1}{r_2^2 h_t}\right] = 0$$

$$\frac{d}{dr_2}\left[\frac{1}{r_1 K} - \frac{1}{r_2 K} + \frac{1}{r_2^2 h_t}\right] = 0$$

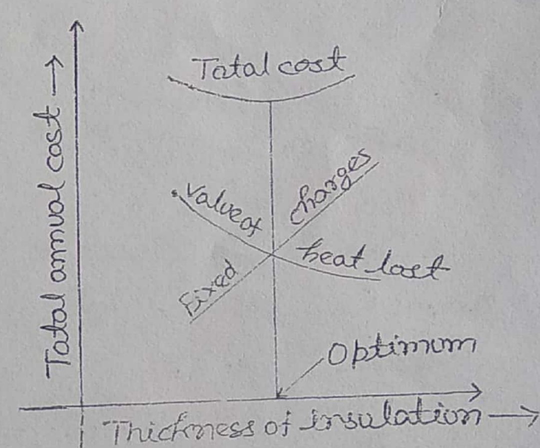
$$0 + \frac{1}{r_2^2 K} - \frac{2}{r_2^3 h_t} = 0$$

$$\frac{1}{K} = \frac{2}{r_2 h_t}$$

$$\boxed{r_2 = \frac{2K}{h_t}}$$

2012, 2009, 2007, 2006, 2005,

Optimum thickness of Insulation :-



Insulation की optimum thickness वह insulation thickness है जो कम से कम cost में अधिकतम heat loss रोक सके। किसी pipe का insulation इसलिए करते हैं कि pipe के outer surface से heat loss

कम हो जाय। इसके लिए पहले insulating material का चुनाव किया जाता है। फिर इसकी उचित मोटाई ज्ञात की जाती है। Insulation की thickness निम्न आधार को ध्यान मे रखकर ज्ञात करते हैं। कि insulation की thickness इतनी हो कि इसकी discription cost कम हो तथा ऊष्मा के लगभग पूर्ण क्षय को रोकने मे भी सक्षम हो।

$$\frac{d}{dr_2}\left[\frac{\log r_2/r_1}{2\pi K}+\frac{1}{2\pi r_2 h_t}\right]=0$$

$$\frac{d}{dr_2}\left[\frac{\log r_2-\log r_1}{2\pi K}+\frac{1}{2\pi r_2-1}\right]=0$$

Heat loss from a pipe:- किसी pipe को उसके वातावरण के साथ ऊष्मा अन्तरण चालन, संवहन या दोनो के द्वारा होता है। कम तापीय पतन के लिए संवहन अधिक होता है। संवहन हानि pipe के आधार आकृति तथा व्यवस्था के साथ बदलती है। ताप के बढ़ने के साथ combind H.T.C मे भी change होते है।

2003, 2007;

Thermal Resistance:- Heat transfer coefficient (h) is the quantity of heat transferred in a unit time through a unit area at ~~ede~~ a temperature difference of one degree between the surface and surrounding. h has the units of $W/(m^2 \cdot K)$ in the SI system. The term $1/h$ is called as the termal resistance.

Jitendra Kumar

Scanned by CamScanner