

Heat Transfer

NOTES:

SANKALP EDUCATION
+91 99744 60008

Introduction

- In thermodynamics, we deal with systems in equilibrium state i.e. To get a system from one equilibrium state to another equilibrium state, how much heat is required is the main criteria.
- In heat transfer, we evaluate at what rate the change of state occurs by calculating rate of heat transfer in Joule/second or Watt.

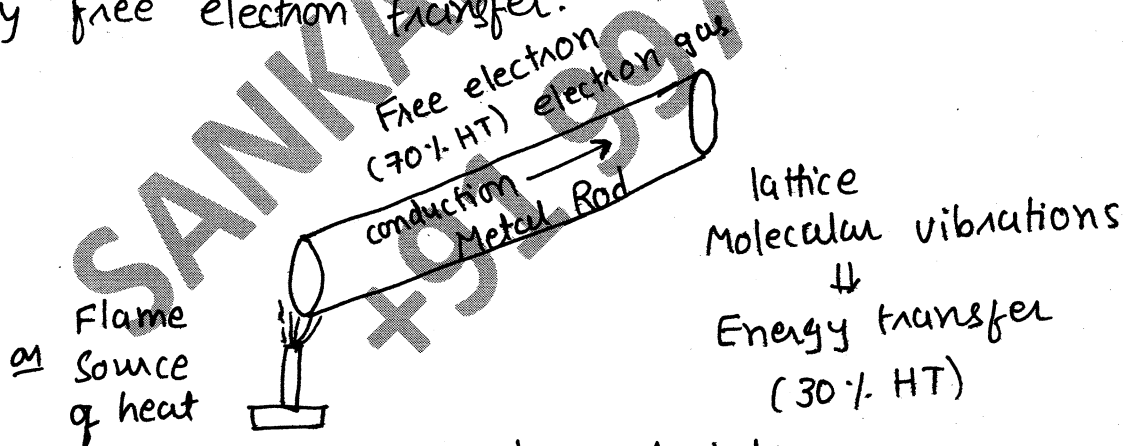
* Modes of heat transfer

- There are 3 modes of heat transfer

- ① Conduction
- ② Convection
- ③ Radiation

* Conduction

- Conduction is mode of heat transfer which generally occurs in solids due to temperature difference by molecular lattice vibrational energy transfer and also by free electron transfer.



Thermal conductivity of diff. materials

Silver $\rightarrow K = 410 \text{ W/mK}$
 Copper $\rightarrow K = 385 \text{ W/mK}$
 Gold $\rightarrow K = 319 \text{ W/mK}$
 Aluminium $\rightarrow K = 200 \text{ W/mK}$
 Steels $\rightarrow K = 17 \text{ to } 45 \text{ W/mK}$

Engineering material

NOTE:

$K_{\text{pure metal}} > K_{\text{its alloy}}$

$K_{\text{iron}} > K_{\text{steel}}$

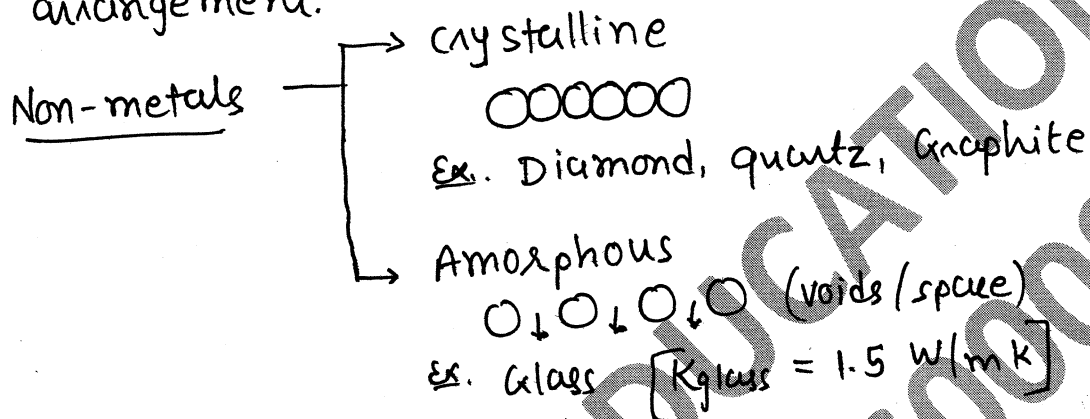
$K_{\text{Cu}} > K_{\text{brass}}$

- The reason behind all electrically good conductors are also in general, good conductors of heat is that the presence of abundant (plenty) free electrons.
Ex. All metals

NOTE: Exception to the above statement is Diamond.

(Thermal conductivity of diamond is 2300 W/mK).

The highest thermal conductivity of diamond is because of its perfect crystalline molecular lattice arrangement.

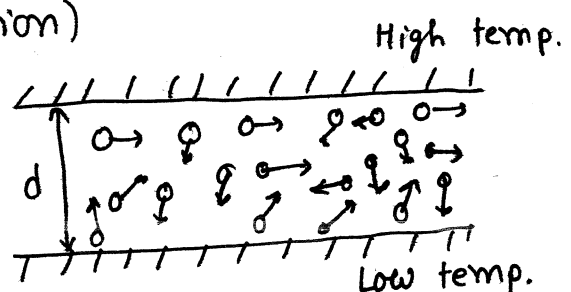


* Thermal Conductivity (K)

- It is a thermo-physical property of material which tells about the ability of the material to allow the heat energy to get conducted through the material more rapidly.
- Insulators have very low 'K' value hence prevent heat transfer rate.
 - ① Asbestos ($K = 0.2 \text{ W/mK}$)
 - ② Glasswool ($K = 0.75 \text{ W/mK}$)
 - ③ Refractory brick (Furnaces) ($K = 0.9 \text{ W/mK}$)
 - ④ Polyurethane foam (PUF) ($K = 0.02 \text{ W/mK}$)
(Used in refrigerator walls)

Heat transfer by air (gases) (Conduction)

- Conduction also occurs in gases, by momentum transfer, when high temperature, high velocity molecules collide with the low



velocity, low temperature molecules.

- But in general, gases are very bad conductors of heat.

Ex. $K_{\text{air}} = 0.026 \text{ W/mK}$ (at room conditions)

- As the temperature of gases increases, their thermal conductivity also increases because at higher temperature, greater molecular activity of gas molecules may result in more number of collisions per unit time and hence higher momentum transfer rate during collisions.
- Liquids are better heat conductors than gases.

Ex. $K_{\text{water}} = 0.63 \text{ W/mK}$

- Among all the liquids, Hg (Mercury) has highest thermal conductivity.

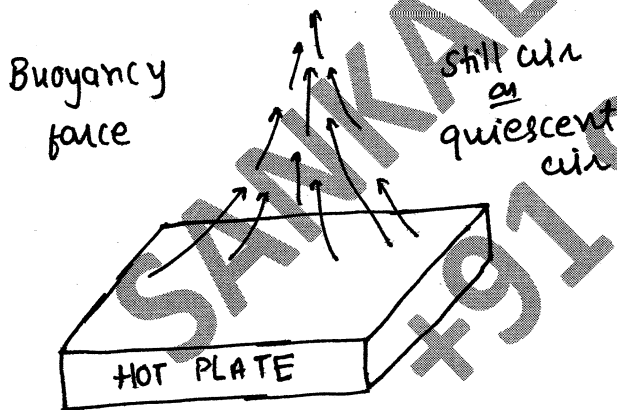
Ex. $K_{\text{Hg}} = 8.34 \text{ W/mK}$

NOTE: Hg $\rightarrow$ Liquid Metal

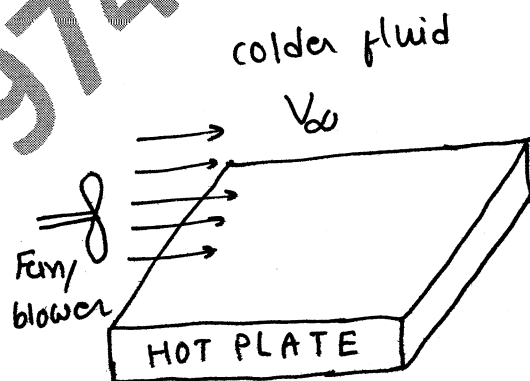
NOTE: Why Hg is used in thermometer?

- ① High thermal conductivity.
- ② High volume expansion.
- ③ Low vapour pressure.

* Convection



Free convection / Natural Convection



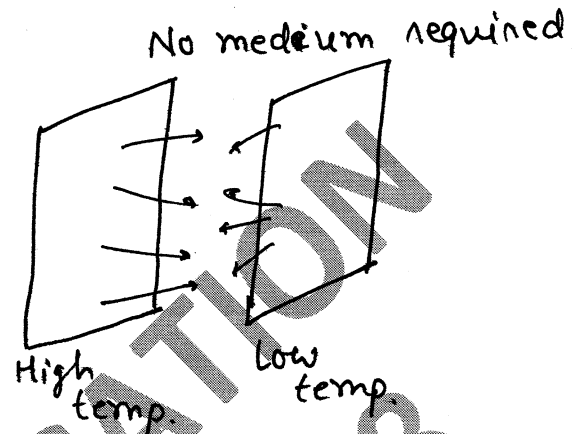
Forced convection

- Convection is the mode of heat transfer which generally occurs between a solid surface and the surrounding fluid associated with macroscopic bulk motion of fluid transporting thermal energy.
- In case of forced convection heat transfer, this motion of the fluid is provided by an external agency

like a fan or a blower or a pump, whereas in free convection heat transfer, the motion of the fluid occurs naturally due to buoyancy forces acting out of density changes of fluids because of its temperature change.

* Radiation

- All bodies at all temperatures emit thermal radiation except the body at 0 K.
- The rate of emission of the body is directly proportional to fourth power of absolute temperature of the body.
- Radiation is the mode of heat transfer which does not require any material medium for its propagation and hence occurs by electromagnetic wave propagation travelling with the speed of light.
- Radiation mode of heat transfer predominates over conduction and convection particularly when temperature difference is sufficiently large.



Practical examples

- Heat transfer between hot flue gases and refractory brick walls in boiler.
- Solar flat plate collector
- Heat transfer in combustion chamber of IC engine

* Governing laws of heat transfer

* Fourier's law of conduction

- The law states that the rate of heat transfer by conduction along a given direction is directly proportional to the temperature gradient along that direction and is also directly proportional to the area of heat transfer lying perpendicular to the direction of heat transfer.

Rate of heat transfer,

$$\left. \begin{array}{l} q_x \propto -\frac{dT}{dx} \\ \text{and } q_x \propto A \end{array} \right\} \boxed{q_x = -kA \frac{dT}{dx}} \quad \text{Unit: Watt}$$

Where, q_x = heat transfer rate

k = Thermal conductivity (Property of material)

A = Area through which heat is conducted

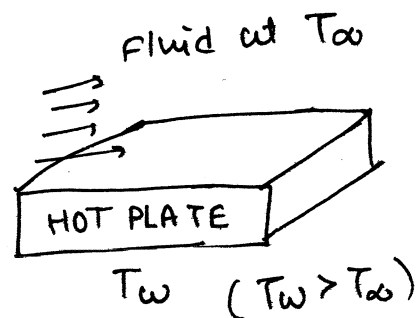
$\frac{dT}{dx}$ = Temperature gradient (-ve)

NOTE:

- Negative sign shows as x increases, temperature decreases.
- Heat always flows in direction of decreasing temperature. (2nd law of thermodynamics, Clausius statement).

* Newton's law of cooling.

- The law states that the rate of heat transfer by convection between a solid body and the surrounding fluid (moving) is directly proportional to the temperature difference between them and is also directly proportional to area of contact or area of exposure between them.



$$\text{and } \left. \begin{array}{l} q_{\text{conv.}} \propto (T_w - T_\infty) \\ q_{\text{conv.}} \propto A \end{array} \right\} q_{\text{conv.}} = hA (T_w - T_\infty)$$

Where, h = convection heat transfer co-efficient
 = film H.T. co-efficient in $\text{Watt/m}^2\text{K}$
 = Surface H.T. co-efficient

- Unlike thermal conductivity (k), h is not a property of a material but it depends upon sum of the thermophysical properties of fluid like ρ, μ, c_p, k .

Comparison of water and air.

$$\left. \begin{array}{l} \rho_w \approx 1000 \text{ kg/m}^3 \\ c_{pw} \approx 4.18 \text{ kJ/kgK} \\ k_w > k_{\text{air}} \\ \mu_w > \mu_{\text{air}} \end{array} \right\} \text{water can take away heat 25-30 times faster than air.}$$

- In forced convection H.T.

$$h = f(V, D, \rho, \mu, c_p, k)$$

where, v = velocity of fluid

D = characteristic dimension of body

- In free convection H.T.

$$h = f(g, \beta, \Delta T, L, \mu, \rho, c_p, k)$$

where, g = gravitational acceleration

β = Isobaric volume expansion co-efficient of fluid $= \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)$

$$\Delta T = (T_w - T_\infty)$$

L = characteristic dimension of body

* Ranges of h

- Free convection in gases & vapours [$h = 3$ to $25 \text{ W/m}^2\text{K}$]
- Forced convection in gases (air) [$h = 25$ to $400 \text{ W/m}^2\text{K}$]
- Free convection in liquids (water) [$h = 250$ to $650 \text{ W/m}^2\text{K}$]
- Forced convection in liquids [$h = 600$ to $4000 \text{ W/m}^2\text{K}$]
- Condensation heat transfer [$h = 3000$ to $25,000 \text{ W/m}^2\text{K}$]
- Boiling heat transfer [$h = 5000$ to $50,000 \text{ W/m}^2\text{K}$]

THEORY OF MACHINES

NOTES:

SANKALP EDUCATION
+91 99744 60008

THEORY OF MACHINES

→ Branch of Engineering science, which deals with the study of relative motion between the various parts of a machine and the forces which act on them.

→ Element or Kinematic link:-

"Each part of a machine which moves relative to some other part".

Condition for Element:- It must be Resistant body but Not Rigid body.

→ Resistant Body:- Body which allow negligible deformation.

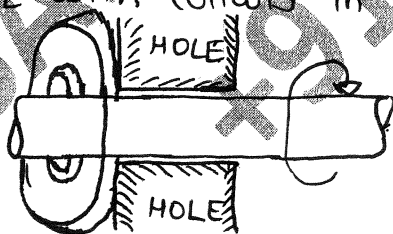
→ Rigid Body:- Body which not allow negligible deformation.

⇒ Kinematic Pair:- Two links or element which are in contact with each other said to be pair if relative motion between them is completely or successfully constrained.

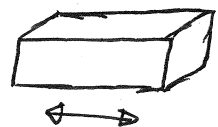
Types of Constrained Motion:-

1. Completely Constrained motion:- Motion between a pair is limited to a definite direction IRRESPECTIVE of the direction of force applied.

Ex. Piston and ^{Connecting Rod} Cylinder, Square bar in square hole
shaft with collars in circular hole.

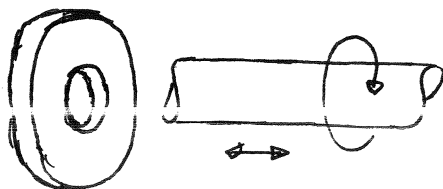


Not Possible.



2. Incompletely Constrained motion:- Motion between a pair can take place in more than one direction.

Ex. Circular bar or shaft in circular hole.



Both Rotary & Reciprocating Possible.

3. Successfully constrained motion:- Motion between a pair such that the completely constrained motion is NOT completed by itself, but by some other means
Ex. I.C. engine valve (with the help of spring)

Piston cylinder arrangement.

(For Non-Rotating piston, pin is used so it will reciprocating only.), shaft in foot step bearing, syringe

Classification of kinematic Pairs:-

1. According to the type of relative motion between the elements:-

(a) Sliding Pair:- slides relative to each other.

Ex. Piston & cylinder, Ram in shaper machine, Tail-stock in Lathe

(b) Turning Pair:- one can only turn or revolve about a fixed axis of another link.

Ex. shaft with collars, crankshaft in Journal bearing, lathe spindle, cycle wheels rotate about axles.

(c) Rolling Pair:- one rolls over another fixed links.

(Rotation + Sliding) Ex. Ball and Roller bearings, cycle wheels rolls on Road.

(d) Screw Pair:- Pair are connected in such a way that one element can turn about the other by screw threads.

Ex. Screw of a lathe with nut, Nut and bolt.

(e) Spherical Pair:- one element (with spherical shape) turns on swivels about other fixed element.

Ex. Ball and socket Joint, car mirror attachment, Pen Stand etc.

2. According to the type of contact between the elements:-

(a) Lower Pair:- Pairs have surface or area contact.

Ex. sliding Pair, Turning Pair, Screw Pair

(b) Higher Pairs:- Pairs have point or line contact.

Ex. Friction disc, Toothed gearing, belt & chain drives, ball & roller bearings, cam and Follower etc.

3. According to the type of closure:-

(a) Self-closed Pair:- Pairs are connected mechanically in such a way that only required kind of relative motion occurs.

Ex. All lower Pairs

(b) Force-closed Pair:- Pairs are not connected mechanically but are kept in contact by the action of external forces.

Ex. Cam & follower contact by use of spring

Kinematic chain:- Combination of kinematic Pairs, joined in such a way that each link forms a part of two Pairs and the relative motion between the links or elements is completely or successfully constrained.

Mechanism:- Bodies are assembled in such a way that the motion of one constrained and predictable motion of others. Ex. Type writer, watch, clocks, Toys etc.

Machines:- When a mechanism is required to transmit power or to do some particular type of work.

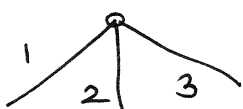
Inversion of Mechanism:- Obtaining different mechanism by fixing different links in a kinematic chain.

Different types of Pair/Joint:-

1. Binary Joint:- When two links are connected.



2. Ternary Joint:- When three links are connected.



$B(1,2)$ $B(1,3)$ $B(2,3)$ $\Rightarrow$ Two are independent and one is dependent.

so, one Ternary Joint = 2 Binary Joint

3. Quaternary Joint:- When four links are connected.



$B(1,2)$ $B(1,3)$ $B(1,4)$ Three links
 $B(2,3)$ $B(2,4)$ $\hookrightarrow$ independent
 $B(3,4)$ Three links
 $\hookrightarrow$ dependent

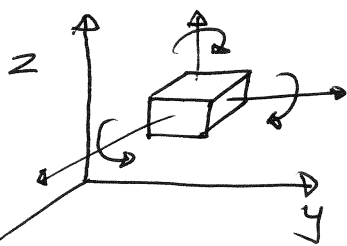
So, For Every column one part is necessary.

For 1 Quaternary Joint = 3 Binary Joint.

Note: For 5, Total Binary = 8, only 4 Pair used.
For 6, Total Binary = 10, only 5 Pair used.

Degree of Freedom :- (mobility):-

"The minimum number of independent variables required to define position and motion of the system is known as Degree of freedom of the system."



$$\Rightarrow \text{Maximum No. of motions} \\ = 3T + 3R \\ = 06.$$

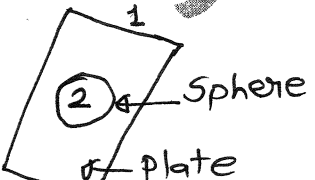
$$\text{So, } \boxed{\text{D.O.F} = 6 - \text{Restrains}}$$

Restrains:- No. of those motions which are not possible (it is always due to Pairs).

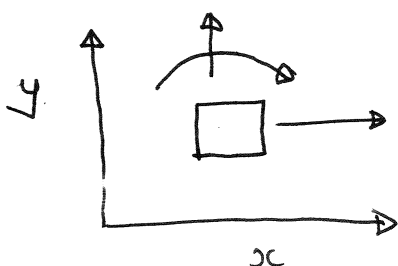
Note: For Lower Pair :- D.O.F = 1.

For Higher Pair :- D.O.F = 2.

But In spherical Pair, $\boxed{\text{D.O.F} = 3}$

Pair	Restrains	D.O.F.
	$3T + 2R = 05$	01.
	$1T = 01$	05

→ To Find out the D.O.F of (2D) Planer mechanism:-



$$\Rightarrow \text{Maximum No. of} \\ \text{motion} = \underline{\underline{3}}$$

Kutzbach's Equation:-

★

$$F = 3(l-1) - 2j - h$$

Because one link is fixed.

l = No. of links

j = No. of Binary Joints

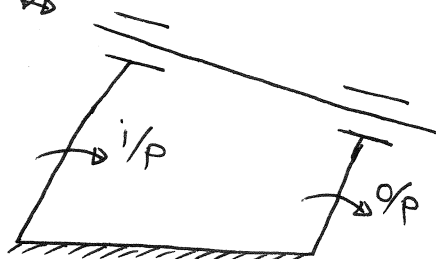
h = No. of Higher Pairs.

modified Equation

$$F = [3(l-1) - 2j - h] - F_n$$

F_n = No. of those motions which are not the part of mechanism.

Ex. 2D



$$l = 4, \text{ so, } F = [3(4-1) - 2(4) - 0] - 1$$

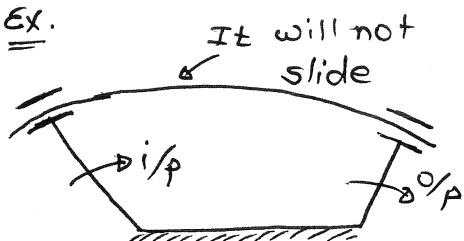
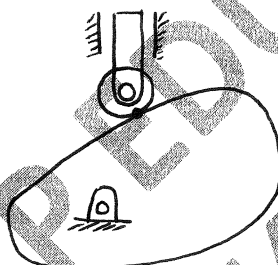
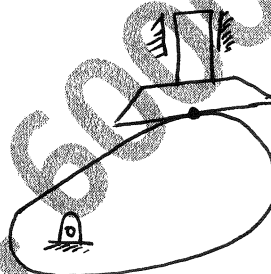
$$j = 4,$$

$$h = 0$$

$$F_n = 1.$$

$$F = 0$$

Ex.

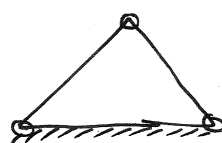


Note: All Cam-Follower are having a D.O.F = 1.

Reason for using D.O.F:-

If $F = 0 \Rightarrow$ No. Relative motion

$\Rightarrow$ It is Frame/structure



$$F = 0$$

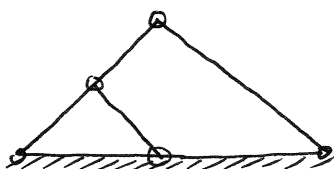
If $F < 0 \Rightarrow -1, -2, -3, \dots$

$\Rightarrow$ No Relative motions

$\Rightarrow$ Super structure

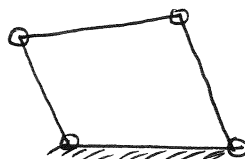
$\Rightarrow$ Indeterminate

$\Rightarrow$ Indeterminate structure



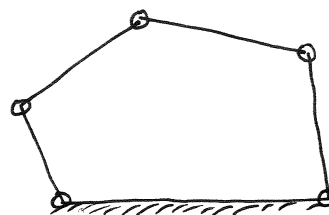
If $F = 1$.

$\Rightarrow$ Kinematic chain



If $F > 1 \Rightarrow 2, 3, 4, \dots$

Unconstrained chain



Other Cases :-

If $(j + \frac{h}{2}) = (\frac{3l}{2} - 2) \Rightarrow$ Kinematic chain.

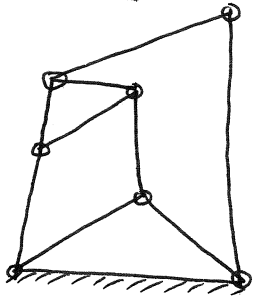
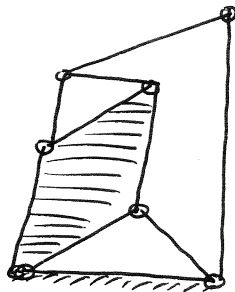
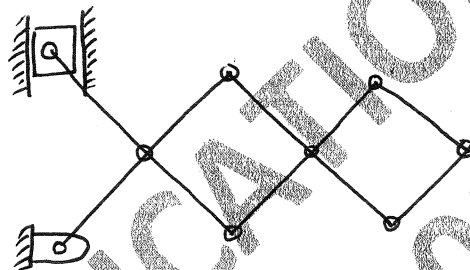
If $(j + \frac{h}{2}) > (\frac{3l}{2} - 2) \Rightarrow$ Frame/structure or Super Structure.

If L.H.S - R.H.S = 0.5 $\Rightarrow$ Frame /structure

If L.H.S - R.H.S > 0.5 $\Rightarrow$ Super structure.

If $(j + \frac{h}{2}) < (\frac{3l}{2} - 2) \Rightarrow$ Unconstrained chain.

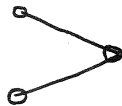
Ex.



Note: Spring as a link.



$\approx$



Grubler's Equation:- Let, take $F=1$ & $h=0$,

$$F = [3(l-1) - 2j - h]$$

$$\therefore [3l - 2j - 4 = 0] \rightarrow \text{Grubler's Equation.}$$

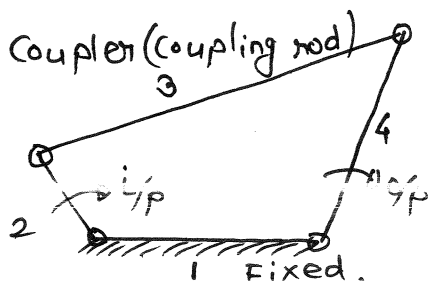
Here, $2j$ & 4 are even so, $3l$ to be even, l must be even.

So, $[l_{\min} = 4] \Rightarrow$ Condition to form mechanism.

$\Rightarrow$ In case of Higher Pair on structure, $[l_{\min} = 3]$ like cam & follower.

Simple mechanism:-

1. Four Bar mechanism:- (Quadric cycle mechanism)
 $\rightarrow$ 4 links & 4 links are turning pair.



$\rightarrow$ Best Position $\Rightarrow$ Fixed

worst Position $\Rightarrow$ coupler

Complete Rotation (360°) $\rightarrow$ crank

Partial Rotation ($< 360^\circ$) $\rightarrow$ Rocker / Lever.

SANKALP EDUCATION COACHING CENTER FOR GPSC

ગુજરાતી વ્યાકરણ

NOTES:

SANKALP EDUCATION
+91 99744 60008

શબ્દ સમૂહ માટે એક શબ્દ

- કહી શકાય નહીં તેવું – અકથ્ય
- અનુકરણ કરવા યોગ્ય – અનુકરણીય
- પેહલાં કદી ન બન્યું હોય તેવું – અભૂતપૂર્વ
- શબ્દ દ્વારા જે વ્યક્ત થઈ ન શકે – અનિર્વચનીય
- પહાડની તળેટીની સમભૂમિ – ઉપત્તકા
- સમુદ્રમાં ઊઠતું ઝંઝાવાતી તુફાન - હરિકેન
- દહીં વલોવવાની ક્રિયા - દધિમંથન
- પોતાની જાતની છેતરપિંડી - આત્મવંચના
- સાયવી રાખવા સોપેલી વસ્તુ – થાપણ
- સહન ન કરી શકાય તેવું – અસહ્ય
- વણ તૂટેલા ચોખા – અક્ષત
- તાકીદની સખત ઉઘરાણી – તકાજો
- પ્રણામ કરવાની વિધિ - પાયલાગણ
- અર્થ વગર નું - નિરર્થક
- જેનો કોઈ શત્રુ નથી તેવો – અજાતશત્રુ
- ખાસ મનીતો મૂખ્ય શિષ્ય – પટ્ટશિષ્ય
- જરાવાર માં નાશ પામે તેવું – ક્ષણભંગુર
- કોઈપણ વિજ્ઞાનની સાંકેતિક ભાષા – પરિભાષા
- મુખ પરંપરાથી ચાલતી આવતી વાર્તા- દંતકથા
- ઊંચે જવાની ક્રિયા – ઊર્ધ્વગમન
- બાળકથી માંડીને વૃદ્ધસુધી – આબાલવૃદ્ધ
- એક ની એક વાત વારંવાર કરવી – પિષ્ટપેષણ
- જેમથી વસ્તુ ખૂટે નહીં તેવું પાત્ર – અક્ષયપાત્ર
- અસ્ખલિત વહેતી વાણી – વાગ્ધારા
- પોતાની જાત પર આધારિત – આત્મનિર્ભર
- જીવ પર આવી ગયેલું – મરણિયું
- જન્મ અને મરણમાંથી છુટકારો – મોક્ષ
- લાભ કરી આપે તેવું – લાભદાયી
- ગુણ આપે તેવું - ગુણકારી
- આંખના ખૂણામાંથી જોવાની મોહક રીત – કટાક્ષ
- શરીરને ત્રણ સ્થળે વળાંક આપીને ઊભા રહેવાની રીત – ત્રિભંગ
- કવિઓનું સંમેલન – મુશાયરો
- લોકોના મત અને અભિપ્રાયથી ચાલતો વહીવટ – લોકશાહી
- રાજાની મદદથી ચાલતો વહીવટ – રાજશાહી
- અમીરોના અથવા સામંતોની મદદથી ચાલતો વહીવટ – અમીરશાહી, સામંતશાહી
- કેવળ એક જ સત્તાધીશ દ્વારા પોતાની ઈચ્છાનુસાર તથા પ્રજાના અભિપ્રાયની અવગણના કરી ચાલતો વહીવટ – સરમુખત્યારશાહી
- શ્રીમંતોની મદદથી ચાલતો વહીવટ – શ્રીમંતશાહી
- અમલદારો ના અભિપ્રાય અનુસાર અને તેમનો એકહથ્થું સત્તાનો વહીવટ – અમલદારશાહી
- કોઈનીય મદદ વિના આડેધડે ચાલતો વહીવટ – અરાજકતા
- શેર-કસબામાં ભરાતું બજાર – ગુજરી
- ખરાબ રીતે જાણીતો – નામચીન
- લોટને ચાળવાથી નીકળતો ભૂકો – થૂલું
- ઘઉં વગેરે ભરડેલા કકડા કે તેની વાની – થૂલી
- આખા દેશ માટેની ભાષા – રાષ્ટ્રભાષા
- પ્રજાની માલિકીનું કરવું તે – રાષ્ટ્રીયકરણ
- અણીના વખતે – તાકડે
- સવારનો નાસ્તો – શિરામણ
- બપોરનું ભોજન – રોઢો
- રાત્રીનું ભોજન – વાળુ
- પશુપંખીની ભાષા સમજવાની વિધા – કાગવિધા
- કોઈ પવિત્ર કે યાત્રાની જગા – તીર્થ
- લગ્ન કે એવા શુભપ્રસંગે સ્વજનોને સામે લેવા જવું તે – સામૈયું
- નદીની કંકરાવાળી જાડી રેતી – વેકરો
- મરણ પછાળ રોવું – ફૂટવું તે – કાણ
- સગાસંબંધીમાં જન્મ અને મરણ વગેરેથી પાળવામાં આવતી આભડછેટ – સૂતક
- જગતનું નિયંત્રણ કરનાર – જગતનિયંતા
- જ્ઞાનરૂપ નેત્રવાળી વ્યક્તિ – પ્રજ્ઞાયક્ષુ
- વિષ્ણુના પ્રતીક તરીકે પૂજતો કાળો લીસો ગોળ પથ્થર – શાલિગ્રામ
- કૂવામાંથી પાણી કાઢવાનું ચામડાનું સાધન – કોસ
- મરઘી નું બચ્ચું – પીવું
- વેપારીએ રાખેલ વાણોતર – ગુમાસ્તો
- કોઈને ગણકર્યા વગર જિંદગી પસાર કરનાર – મસ્ત
- હવા-અજવાળા વગરનું – બંધિયાર
- આગળ જણાવેલું – સદર, સદરહુ, પૂર્વોક્ત
- પોતાને જ ઉદ્દેશી ને બોલાયેલી ઉક્તિ – સ્વગતોક્તિ
- લાંબા સમય સુધી યાદ રહે તેવું – ચિરસ્મરણીય

- કોઈપણ સંપ્રદાયોના ભેદભાવ વિનાનું – બિનસાંપ્રદાયિક
- રૂઢિને યુસ્તપણે વળગી રહેનાર – રૂઢિયુસ્ત
- જાંધ સુધી જેના લાંબા હાથ હોય – આજાનબાહુ
- ચડતા લોહીનું – નવલોહિયું
- જે સ્પર્શ કરવાને લાયક ન હોય – અસ્પર્શ્ય
- બહુ ઓછું બોલનાર – મિતભાષી
- છપાઈને બહાર પડતું – મુદ્રિત
- સમયે સમયે પ્રગટ થતું પત્ર – સામયિક
- છમહિને પ્રગટ થતું પત્ર – અર્ધવાર્ષિક
- મહિને પ્રગટ થતું પત્ર – માસિક
- પંદર દિવસે પ્રગટ થતું પત્ર – પાક્ષિક
- દર અઠવાડિયે ફારગત થતું પત્ર – સાપ્તાહિક
- અઠવાડિયે બે વાર પ્રગટ થતું પત્ર – અર્ધસાપ્તાહિક
- દીવાવાળો બાંધેલો મિનારો – દીવાદાંડી
- જંગલમાં બળતી આગ – દવ
- નજર ચૂકવી પારકી વસ્તુ ઉઠાવનાર – ઉઠાવગીર
- આધાર વગરની તરંગી વાત – ઉટંગ
- જગતમાં ઈશ્વર છે જ નહીં એમ માનનાર – નાસ્તિક
- ઈશ્વરમાં અને પરલોકમાં માં માનનાર – આસ્તિક
- કાર્ય કરવાની દિશા ન સૂઝે તેવું – દીમ્મુઢ
- નવાઈથી મુગ્ધ થયેલું: આશ્ચર્યમુગ્ધ
- દરેક વસ્તુમાં ખીતું પરિણામ જોનાર: નિરાશાવાદી
- દરેક વસ્તુમાં સારું પરિણામ જોનાર: આશાવાદી
- બાપની કમાણી ઉપર આધાર રાખનારું: બાપકર્મી
- શસ્ત્રો રાખવાનું સ્થળ: શસ્ત્રાગાર
- હાથથી પકડીને મારવાનું હથિયાર: શસ્ત્ર
- છુટું ફેકવાનું હથિયાર: અસ્ત્ર
- કમરથી ઉપરના ભાગનું ચિત્ર: અરુણચિત્ર
- પથર પર કોતરેલો લેખ: શિલાલેખ
- કબર પર મૂકેલું લખાણ: મૃત્યુલેખ
- યાદગીરી માટે પ્રતિકાત્મક બાંધકામ: સ્મારક
- બનાવટી દેખાતું જળ: મૃગજળ
- પવન કે પવન સાથે પડતાં વરસાદનો સુસવાટ: ઝંઝા
- હૃદયનો કોમળ ભાગ: મર્મસ્થળ
- બાધા જેવું: જડભરત
- લગભગ મરી ગયેલું: મૃતપ્રાય
- અંદર – અંદર ની લડાઈ અને કતલ: યાદવાસ્થળી
- વાર્ષિક મરણતિથિ: સંવત્સરી
- આંખને છાવરી લેતું પડ: પડળ
- ચેતન અને જડ: યરાચર
- કરેલા ઉપકાર ને જાણનાર: કૃતજ્ઞ
- જેણે નિશ્ચય કર્યો છે તે: કૃતનિશ્ચયી
- જે રોગનો કોઈ ઈલાજ ના હોય: અસાધ્ય
- લોકો દ્વારા ચાલતી વાત: જનશ્રુતિ
- જોઈએ તે કરતાં ઓછું વાપરનાર: કંજૂસ
- એકબીજામાં ભળી ગયેલ: ઓતપ્રોત
- કહ્યા પ્રમાણે કરે તેવું: કહ્યાગરું
- મોહક તેજ ની ભૂરકી: કામણ, મોહિની
- જેનું આચરણ વ્યવહારમાં થઈ શકે તે: વાસ્તવિક
- ગરમી ઠંડી બતાવવા પૃથ્વીના પટ્ટા: કટિબંધ
- પાણીમાં ઘોળેલું અફીણ: કસુંબો
- જડમૂળ થી ઊખેડી નાખનાર: ઉચ્છેદક
- જોઈએ તેટલુંજ વાપરનાર: કરકસરિયું
- સૂર્ય ચંદ્ર હોઈ ત્યાં સુધી: યાવચ્ચંદ્રદિડવાકરૌ
- સો વર્ષ પૂરા થવા તે: શતાબ્દી
- સયોટ અસર ઉપજાવે તેવું: રામબાણ
- પાસે રહેનારું: અંતેવાસી
- મહાન વ્યક્તિ નો જન્મદિવસ: જયંતિ
- ભોજન પછી ડાબા પડખે સૂવું તે: વામકૂક્ષિ
- અસ્થિરતામાંથી નિવડો લાવે તેવું: નિર્ણયાત્મક
- જળ ઉપર થઈ ને થતો માર્ગ: ખુશકી
- હવામાં થઈ ને જતો માર્ગ: હવાઈ
- જોનાર માણસો: પ્રેક્ષકગણ
- ભાષણ આપનાર: વક્તા
- નાટક ભજવવા માટેનું સ્થાન: રંગમંચ
- નિયમિતપણે પ્રમાણસર ભોજન કરનારો: મિતાહારી
- જોવામાં પ્રિય લાગે તેવું: પ્રિયદર્શી
- પ્રાચીન ઇતિહાસનો જાણકાર: પુરાતત્વવેતા
- અધકચરા જ્ઞાન વાળો: અર્ધદગ્ધ
- જેનું ચિત અન્ય વિચારો માં રોકાયેલું હોય: અન્યમનસ્ક
- પોતાનિજ હત્યા કરનાર: આત્મઘાતી
- કોઈપણ કામના વગરનું: નિષ્કામ
- સહન ન કરી શકનાર: અસહિષ્ણુ
- એક વસ્તુ આપી બીજી વસ્તુ લેવી તે: વિનિમય
- સ્ત્રીઓ પ્રત્યેની માનવૃત્તિ: સ્ત્રીદાક્ષિણ્ય
- શરીરના રૂવાં ઊભાં થવાં તે: રોમાંચ
- સાથે અભ્યાસ કરનાર: સહાધ્યાયી
- પોતાની મેળે પતિ પસંદ કરવો તે: સ્વયંવર
- પોતાની મેળે પ્રગટ થનાર: સ્વયંભૂ

- આકાશી પદાર્થોનું નિરિક્ષણ કરનાર શાળા: વેદશાળા
- બધાની આગળ રહેનાર: અગ્રેસર
- જેની કલ્પના પણ ન કરી શકાય: કલ્પનાતીત
- ઊંચા કુળમાં જન્મેલો: કુલિન
- ઇસ્લામનો ઉપદેશ કરનાર: મૌલવી
- કાગળ વેચનાર: કાગદી
- ખ્રિસ્તી ધર્મનો ઉપદેશક: પાદરી
- જૈન ધર્મનો પ્રવર્તક: તીર્થંકાર
- દુનિયાનો ઉન્નતિનો નવો માર્ગ બતાવનાર મહાપુરુષ: યુગપુરુષ
- સ્મારક તરીકે ઊભો કરેલો પથ્થર: પાળિયો
- જે કલ્પનામાંજ અનુભવી શકાય તે: કાલ્પનિક
- બુદ્ધિનો ઉપયોગ કરી જીવનાર: બુદ્ધિજીવી
- ઉનાળુ પાક: જાયદ
- પચાસ વર્ષ પૂરા કરી એકવનમાં વર્ષમાં પ્રવેશવું તે: વનપ્રવેશ
- ઓજારની ધાર કાઢવા માટે વપરાતો પથ્થર: છીપર
- દરિયામાથી મોતી કાઢનાર: મરજીવા
- મહેનતમાં માની તે ઉપર આધાર રાખનાર: પુરુષાર્થવાદી
- નસીબ પર આધાર રાખનાર: પ્રારબ્ધવાદી
- આશરો આપનાર: આશ્રયદાતા
- જેણે વસવાટ ગુમાવેલ છે તે: નિર્વાસિ
- જાતિ ની ભેળસેળ: વર્ણસંકરતા
- જેની પ્રતિષ્ઠા જામેલી છે તેવું: લબ્ધપ્રતિષ્ઠ
- મહેનત કરી ને જીવનાર: શ્રમજીવી
- માપ બાંધીને કરાતી વ્યવસ્થા: માપબંધી
- મૂલ્ય આપ્યા વિના જોવા લીધેલો માલ: જાંગડ
- રણમાં આવેલો લીલોતરી વાળો પ્રદેશ: રણદ્વીપ
- રાજ્યની ખટપટોમાં રચ્યો પચ્યો રહેનાર: મુત્સદી
- ધર્મન કે દેશ ને ખાતર પોતાનું બલિદાન દેનાર: શહિદ
- કોઈ પણ વિષયનું વિશેષ જ્ઞાન ધરાવનાર: વિશેષજ્ઞ
- જેની નીચે લીટી દોરી હોય તેવું લખાણ: રેખાંકિત
- આ એજ વ્યક્તિ છે તેવું પ્રમાણપત્ર: ઓળખપત્ર
- સોપાયેલું કામ બરાબર ન કરનાર: કામચોર
- જેના હાથમાં માં વીણા છે તે: વીણાપાણિ
- દાઢી અને ગાલ ઉપર આવી રહે તેમ માથે કપડું બાધવું તે: બુકાની
- કોઈ કાર્ય નું વિગતવાર વર્ણન: એહવાલ
- બનાવની હકીકતનો યથાવત ખ્યાલ: વૃત્તાંત
- હાથે લખેલું જીવનનું વૃત્તાંત: જીવનકથા
- આખા વર્ષના હિસાબનું તારણ: સરવૈયું
- સરખે ભાગે ગરમ અને ઠંડુ: સમશીતોષ્ણ
- નિયમ તેમજ કાયદા અનુસાર: વિધિવત
- બીજાના કાર્યમાં દખલ કરવી: હસ્તક્ષેપ
- પાપ કે અન્યાય સામે ઉત્પન્ન થતો ક્રોધ – પુણ્યપ્રકોપ
- વળતો અવાજ – પ્રતિધ્વનિ
- ભરણપોષણ મેળવવા દેવ આગળ અનશન કરે ધરણું લઈને સૂવું તે – પ્રતિશયન
- એક એક અક્ષર – અક્ષરશ:
- ક્યારેય વૃધ્ધ ણ થનાર- અજર
- દેખીતી નિંદા મારફત સ્તુતિ કરવી તે – વ્યાજોક્તિ
- મરજી મુજબનું ફરવું તે – સ્વૈરવિહાર
- હવાઈકિલ્લા બાંધનાર – શેખયલ્લી
- જાતે રાંધિ ખાનાર – સ્વયંપાકી
- ગુનામાં મદદ કરનાર – સાગરીત
- વપરાશની ચીજોના સરકારે બાંધેલા ભાવ – ભાવ નિયમન
- વસ્તુ સાથે નિસ્ખત ધરાવે તેવું – સુસંગત
- શબ્દશ: નહીં પણ મૂળના ભાવવાળો અનુવાદ – ભાવાનુવાદ
- શબ્દોના વધુ પડતા ઉપયોગવાળું – શબ્દાળુ
- શું કરવું તે સૂઝે નહી તેવી અવસ્થા – કિંકર્તવ્યમૂઢ
- સમાન અર્થવાળો અન્ય ભાષાનો શબ્દ – પર્યાય
- સમુદ્રમાં રહેલો અગ્નિ – વડવાનલ, વડવાગ્નિ
- સરખી ઉંમરનું – સમવયસ્ક
- સારા- નસરાને પારખનારી શક્તિ – વિવેકબુદ્ધિ
- સાઠ વર્ષ પૂરાં થયે ઉજવવાનો ઉત્સવ – હીરક(મણિ) મોહત્સવ
- સાંભળતાંવેત જવાબ આપે તેવું – હાજરજવાબી
- સો વર્ષ પૂરાં થયે ઉજવાતો ઉત્સવ – શતાબ્ધિઉત્સવ
- હું ઊતરતો છું એવો મનોભાવ – લઘુતાગ્રંથિ
- હું ચડિયાતો છું એવો મનોભાવ – ગુરુતાગ્રંથિ
- ચોપડીઓમાં જ મસ્ત રહેનાર – વેદિયું
- માત્ર શબ્દ(અવાજ) ને આધારે ધાર્યું બાણ મારનાર – શબ્દવેધી
- દરવર્ષે આપતી રકમ – સલિયાણું
- પહેલા થઈ ગયેલું – પુરોગામી
- પગાર લીધા વિના સેવા ખાતર કરનાર: માનદ

- પચ્ચીસ વર્ષ પૂરા થયાને ઉજવાતો ઉત્સવ: રજત મહોત્સવ
- પચાસ વર્ષ પૂરા થયે ઉજવાતો ઉત્સવ: સુવર્ણમહોત્સવ
- પોતાની મેળે સેવા આપવા તત્પર: સ્વયંસેવક
- પોતાના તરફથી કામ કરવાની સત્તા આપનારો પત્ર: મુખત્યારનામુ
- બે મોટા સમુદ્રોને જોડનારી ખાડી: સામુદ્રધુની
- ભાંગી શકાય એવું: વિભાજ્ય
- મરણ વખતનું ખતપત્ર: વસિયતનામું
- સાવ અસંભવિત વાત: આકાશકુસુમવત
- જીવાત્મા અને પરમાત્મા જુદા છે એવો વાદ: દ્વૈતવાદ
- નિરાધાર બાળકોને રહેવાનું સ્થળ: અનાથાશ્રમ
- મટકું માર્યા વગર: અનિમેષ
- હૃદયને ચીરી નાખે તેવું: હૃદયવિદારક
- આરપાર જોઈ ના શકાય તેવું: અપારદર્શક
- છુપાવેશે ફરનાર રાજ્યનો કર્મચારી: ગુપ્તચર
- પૈસા લીધા સિવાય કામ કરનાર: અવૈતનિક
- ખૂબ સંકુચિત દ્રષ્ટિ વાળું: કૂપમુંડક
- મીઠું પકવવાની ક્યારી કે જમીન: અગર
- મીઠું પકવનારો: અગરિયો
- સમજ્યા વગર ખોટી આસ્થા હોવી તે: અંધશ્રદ્ધા
- ધીરધારનો ધંધો કરનાર: શરાફ
- મનને હરી લે તેવું: મનોહર
- કોઈ પણ પક્ષમાં ન ભળેલું: અપક્ષ
- એક કરતાં બીજા પક્ષની વધુ મતોની સંખ્યા: બહુમતી
- જેનો કોઈ છેડો કે અંત નથી તેવું: અનંત
- ધાર્મિક ક્રિયાને અંતે બ્રાહ્મણને અપાતું દાન: દક્ષિણા

MATERIAL SCIENCE

(ENGINEERING MATERIALS)

NOTES:

SANKALP EDUCATION
+91 99744 60008

Material Science

1

Plastic deformation

- Microscopically, it involves breaking atomic bonds, moving atoms, then restoration of bonds.
- Crystalline solids deform by processes – **slip and twinning** in particular directions.
- Because of the complexity involved, theory of plasticity neglects the following effects:
 - Anelastic strain, which is time dependent recoverable strain.
 - Hysteresis behavior resulting from loading and unloading of material.

3

Basic Concepts (Structure of Solids)

2

- Bauschinger effect – dependence of yield stress on loading path and direction.
- A true stress-strain curve is called *flow curve* as it gives the stress required to cause the material to flow plastically to certain strain.

$$\sigma = fn(\epsilon, \dot{\epsilon}, T, \text{microstructure})$$

$$\sigma = K\epsilon^n \quad \text{Strain hardening exponent, } n = 0.1 - 0.5$$

$$\sigma = K\dot{\epsilon}^m \quad \text{Strain - rate sensitivity, } m = 0.4 - 0.9$$

$$\sigma = K(\epsilon_0 + \epsilon)^n \quad \text{Strain from previous work - } \epsilon_0$$

$$\sigma = \sigma_0 + K\epsilon^n \quad \text{Yield strength - } \sigma_0$$

4

Slip

- Slip is the prominent mechanism of plastic deformation in metals.
- It involves sliding of blocks of crystal over one other along definite crystallographic planes, called slip planes.
- Slip occurs when shear stress applied exceeds a critical value.
- During slip each atom usually moves same integral number of atomic distances along the slip plane producing a step, but the orientation of the crystal remains the same.
- Steps observable under microscope as straight lines are called slip lines.

5

Atomic Structure

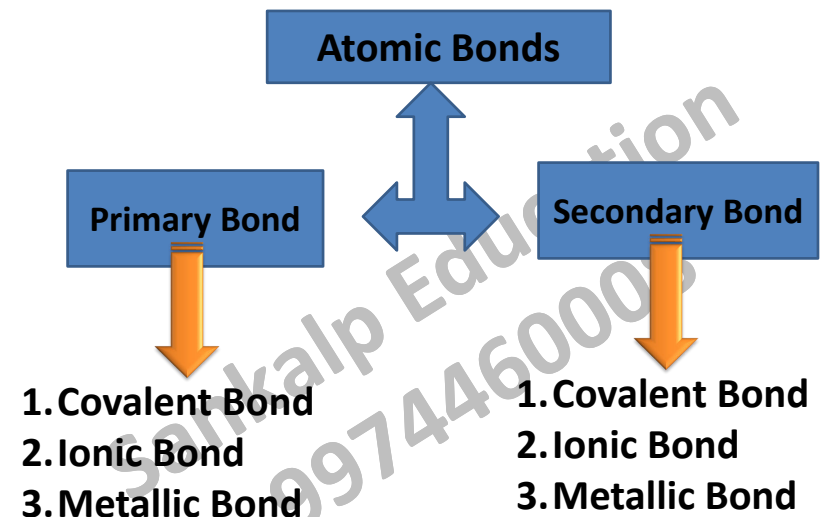
- Atoms consist of a relatively dense nucleus composed of positively charged protons and neutral particles of nearly identical mass, known as neutrons.
- Surrounding the nucleus are the negatively charged electrons, which have only $1/1839$ times the mass of a neutron and appear in numbers equal to the protons, to maintain a net charge balance.
- The light electrons that surround the nucleus play a far more significant role in determining material properties.
- The number of electrons surrounding the nucleus of a neutral atom is called the atomic number.

7

Twinning

- It results when a portion of crystal takes up an orientation that is related to the orientation of the rest of the untwined lattice in a definite, symmetrical way.
- The twinned portion of the crystal is a mirror image of the parent crystal. The plane of symmetry is called twinning lane.
- The important role of twinning in plastic deformation is that it causes changes in plane orientation so that further slip can occur.
- Twinning generally occurs when slip is restricted, because the stress necessary for twinning is usually higher than that for slip.

6



8

Development of a grain structure

- When a metal solidifies, a small particle of solid forms from the liquid with a lattice structure characteristic of the given material.
- This particle then acts like a *seed or nucleus* and grows as other atoms in the vicinity attach themselves.
- In actual solidification, many nuclei form independently at various locations throughout the liquid and have random orientations with respect to one another. Each then grows until it begins to interfere with its neighbours.
- Since adjacent lattice structures have different alignments or orientations, growth cannot produce a single continuous structure.

9

- Because the resulting grain structure will influence certain mechanical and physical properties, it is an important property for an engineer to both control and specify. One means of specification is through the ASTM (American Society for Testing and Materials) grain size number, defined as:

$$N = 2^{n-1}$$

where N is the number of grains per square inch visible in a prepared specimen at 100X and n is the ASTM grain-size number. Low ASTM numbers mean a few massive grains; high numbers refer to materials with many small grains.

11

- The small, continuous volumes of solid are known as crystals or grains, and the surfaces that divide them (i.e., the surfaces of crystalline discontinuity) are known as **grain boundaries**.
- Grains are the smallest of the structural units in a metal that are observable with ordinary light microscopy.
- The number and size of the grains in a metal vary with the rate of nucleation and the rate of growth.
- The greater the nucleation rate, the smaller the resulting grains. Conversely, the greater the rate of growth, the larger the grain.

10

Cold working, recrystallization and hot working

- During deformation, a portion of the deformation energy becomes stored within the material in the form of additional dislocations and increased grain boundary surface area.
- If a deformed polycrystalline metal is subsequently heated to a high-enough temperature, the material will seek to lower its energy.
- New, equi-axed (spherical-shaped) crystals will nucleate and grow out of the original structure.
- This process of reducing the internal energy through the formation of new crystals is known as **recrystallizations**.

12

- The temperature at which recrystallization takes place is different for each metal and also varies with the amount of prior deformation.
- The greater the amount of prior deformation, the more stored energy, and the lower the recrystallization temperature. However, there is a lower limit below which recrystallization will not take place in a reasonable amount of time.
- **This temperature can often be estimated by taking 0.4 times the melting point of the metal when the melting point is expressed in an absolute temperature scale.**

13

Crystalline Materials

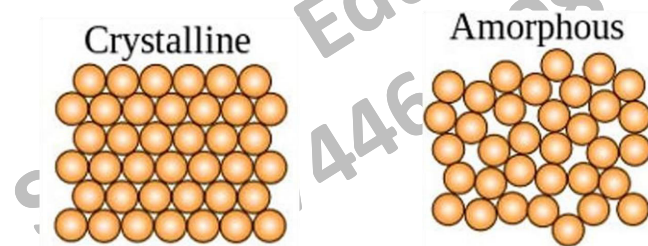
15

- When metals are plastically deformed below their recrystallization temperature, the process is called **cold working**.
- If metals are deformed at temperatures sufficiently above the recrystallization, the process is known as **hot working**.
- Deformation and recrystallization can take place simultaneously, and large deformations are possible.
- Since a recrystallized grain structure is constantly forming, the final product will not exhibit strain hardening.

14

Crystalline and non-crystalline solids

- All solid materials are made of atoms/molecules, which are arranged in specific order in some materials, called *crystalline solids*. Otherwise *non-crystalline* or *amorphous solids*.



- All metals, many ceramic materials, and certain polymers form crystalline structures

16

Crystalline Solids	Non-crystalline/ Amorphous solids
Basic structural unit is a crystal	Basic structural unit is a molecule.
Each crystal is made up of number of repetitive blocks called unit cells	Chain of molecules are random, irregular and lack symmetry
Have regular arrangement of particles/atom	Have completely random arrangement of particles/atom
Have sharp melting point	Do not have sharp melting point (e.g. glass)
Higher density	Lower density
Stable and stronger	Unstable and less stronger

17

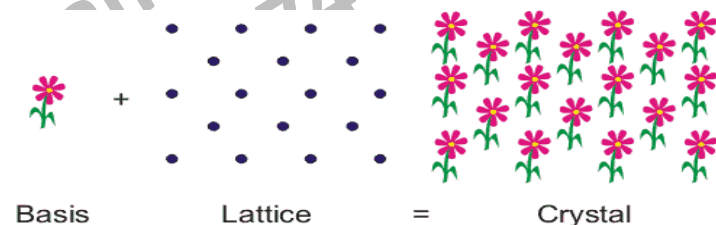
Unit cell is characterised by

- Type of atom and their radii, R
- Cell dimensions (Lattice spacing a , b and c) in terms of R and angle between the axis
- a^* , b^* , c^* - lattice distances in reciprocal lattice ,
- α^* , β^* , γ^* - angles in reciprocal lattice
- Number of atoms per unit cell, n
- Coordination number (CN)=closest neighbors to an atom.
- Atomic packing factor, APF= ratio of volume of Avg. No. Atom in one unit cell to the volume of unit cell itself.

19

Crystal Structures

- **Unit cell** – it is smallest repeatable entity that can be used to completely **represent a crystal structure**. It is the building block of crystal structure
- **Lattice** - it is used to **represent** a three-dimensional periodic array of **points** coinciding with atom positions.
- **Crystal** - it is the Groups of atoms/molecules specifically arranged.



18

Crystal Structure of materials

- **FCC:** Ni, Cu, Ag, Pt, Au, Pb, Al (soft-Ductile)
- **BCC:** V, Mo, Ta, W (hard material-Brittle)
- **HCP:** Mg, Zn
- Cobalt HCP < 420°C, FCC > 420°C
- Chromium HCP < 20°C , BCC > 20°C
- **Glass-** Amorphous
- **BCC-** Ferrite or α -iron & δ -ferrite or δ -iron
- **FCC-** Austenite or γ -iron

20

Formula for a lattice constant

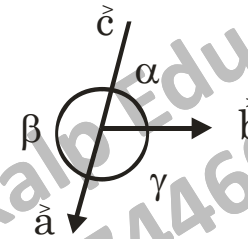
$$a = \left(\frac{nM}{\rho N} \right)^{1/3}$$

[Where n = no of atoms per cell,
M = Atomic weight,
N = Avogadro's number,
 ρ = Density of Metal]

21

Bravis Lattice and unit cell

- Total six lattice parameters $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ along the three crystal axes, and α, β, γ three, crystal angles.



- There are seven lattice systems

Note: Total 7 lattice system but total 14 Bravice lattice

22

Crystal Systems

Sr	Crystal structure	Dimensions	Angles	Cell Geometry
1	Cubic	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	
2	Tetragonal	$a=b \neq c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	
3	Hexagonal	$a=b \neq c$	$\alpha=\beta=90^\circ, \gamma=120^\circ$	

23

Sr	Crystal structure	Dimensions	Angles	
4	Rhombo-hedral	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ$	
5	Orthorhombic	$a \neq b \neq c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$	
6	Monoclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha=\gamma=90^\circ \neq \beta$	
7	Triclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	

24