



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई

(स्वायत्त) (ISO 9001:2015) (ISO/IEC 27001:2013)

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

**MECHANICAL ENGINEERING MATERIALS**

**(313317)**

यंत्र अभियांत्रिकी गट

मराठी – इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम

(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञान तिसरे आणि चौथे सत्र पदविका)



शिक्षण पुस्तिका  
Learning Material

मेकॅनिकल इंजिनीअरिंग मटेरिअल्स  
MECHANICAL ENGINEERING  
MATERIALS  
(313317)

मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यम  
(अभियांत्रिकी व तंत्राज्ञानातील तिसरे आणि चौथे सत्र पदविका)



महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई  
(स्वायत्त) (ISO 9001:2015) (ISO/IEC 27001:2013)

एम.एस. बी. टी. ई.  
मार्गदर्शक

श्री. एस. एस. हरीप  
निवड श्रेणी अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

संकलक

सौ. एस. एन. बोराडे

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. ए. टी. करंजकर

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. एस. के. पांगारकर

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. ए. आर. लांडे

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

श्री. एस. बी. रायजादे

अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

समीक्षक

श्री. व्ही. आर. सानप

कार्यशाळा अधीक्षक, यांत्रिकी अभियांत्रिकी

मुख्य समन्वयक

श्री. पी. टी. कडवे  
प्राचार्य

संस्था समन्वयक

श्री. एम. एस. दुकळे  
अधिव्याख्याता, यांत्रिकी अभियांत्रिकी



# महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ

(स्वायत्त) (ISO: ९००१:२०१५) (ISO/IES: २७००१-२०१३)

शासकीय तंत्रनिकेतन इमारत, चौथा मजला, ४९, खेरवाडी, बांद्रा (पूर्व), मुंबई - ४०० ०५१.

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१७०/१६१

Email : director@msbte.com

Web : www.msbte.org.in




## प्रास्ताविक

महाराष्ट्र राज्यातील पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षणामध्ये विद्यार्थ्यांचे रोजगार कौशल्य विकसित करून विद्यार्थ्यांचा सर्वांगीण विकास घडवून आणण्याकरिता महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ कटिबद्ध आहे. उद्योगधंद्यातील बदलत्या तंत्रज्ञानाशी संबंधित गरजा लक्षात घेऊन महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाकडून पदविका अभ्यासक्रम वेळोवेळी अद्यावत करण्यात येतो. अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रम शिकत असतांना संकल्पनात्मक ज्ञान, सुसंगत संदर्भ, प्रश्न विचारणे, विश्वसनिय पुरावे, कारणमीमांसा आणि सुस्पष्ट निकष यांचा वापर करून अर्थाची उकल करण्याची, विश्लेषण व मूल्यमापन करण्याची तसेच तर्काने अनुमान काढण्याची क्षमता म्हणजेच चिकित्सक विचार विद्यार्थ्यांमध्ये अधिक दृढ होतील असा मला विश्वास आहे. जेव्हा विद्यार्थी ज्ञान मिळवण्याच्या माध्यमाशी पूर्णपणे परिचित आणि सोयीस्कर असतात, तेव्हा त्यांच्यासाठी वर्गातील चर्चेत भाग घेणे सोपे होते, संकल्पनात्मक व सैद्धांतिक बाबींचे आकलन परिपूर्ण होते, संज्ञानात्मक क्षमता सुधारते आणि त्यांचा आत्मविश्वास देखील वाढतो या सर्व गोष्टींचा विचार करून मंडळाकडून शैक्षणिक सामुग्रीची निर्मिती करण्यात आलेली आहे. भारत देश हा खेड्यापाड्यातून विकसित झालेला देश असून ग्रामीण भागातील विद्यार्थ्यांना तांत्रिक शिक्षण घेतांना भाषेचा अडसर न येता तांत्रिक बाबींचा आशय समजून घेणे शक्य होईल या दृष्टिकोनातून महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळाने पदविका स्तरावरील तांत्रिक शिक्षणाकरीता विद्यार्थ्यांना मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय शैक्षणिक वर्ष २०२१-२२ पासून उपलब्ध करून दिलेला आहे.

राष्ट्रीय शैक्षणिक धोरण-२०२० प्रादेशिक भाषेतील शिक्षणास प्रोत्साहन देते, ज्यामुळे विद्यार्थ्यांना तांत्रिक अभ्यासक्रमांसाठी प्रादेशिक भाषांतुन शिक्षणाचे माध्यम निवडता येते. सदर धोरणामुळे प्रादेशिक भाषांमध्ये तांत्रिक सामग्री आणि अभ्यास सामग्रीचा विकास आणि भाषांतर निर्माण करण्याची आवश्यकता आहे. त्यास अनुसरून मंडळाने मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय द्वितीय व तृतीय वर्षाकरिताही उपलब्ध करून देण्यात आला आहे. तसेच त्याकरिताची शैक्षणिक सामग्रीही संबंधीत भागधारकरांना उपलब्ध करून देण्यात येत आहे.

पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षण अधिक दर्जेदार करण्यासाठी महाराष्ट्रातील अनुभवी व तज्ञ अध्यापकांनी व्यवहारिक मराठी भाषा व इंग्रजी भाषेतील तांत्रिक शब्दावली यांचा वापर करून मराठी - इंग्रजी भाषेचा सुवर्णमध्य साधण्याचा प्रयत्न केलेला आहे. मंडळाच्या स्तरावर गठीत सुकाणू समितीमार्फत सदर शैक्षणिक सामुग्रीचा दर्जा, तसेच इतर बाबींची तपासणी करण्यात आलेली आहे. त्यामुळे सदर शैक्षणिक सामुग्री अधिक सम्पन्न झालेली असून विद्यार्थी त्यांच्या व्यक्तिमत्त्वाचा सुसंवादी आणि सर्वांगीण विकास साधतील. परिणामतः विश्वस्तरीय मनुष्यबळाच्या गरजा पूर्ण करण्यात महाराष्ट्र राज्य अग्रेसर राहिल व पर्यायाने राष्ट्रनिर्मिती करीता निश्चितच हातभार लागेल, असा मला विश्वास आहे.

अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रमातील प्रमुख विषयांची मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक शैक्षणिक सामुग्री बनविण्यासाठी अध्यापक व सुकाणू समितीचे सदस्य यांनी दर्शविलेले समर्पण व वचनबद्धता कौतुकास पात्र आहे, या सर्वांचे मी मनःपूर्वक अभिनंदन करतो !

  
(प्रमोद नाईक)

संचालक

म. रा. तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई.

## अनुक्रमणिका

Sr.No	Name of Unit	Page Nos.
1	<b>Basics of Engineering Materials</b> बेसिक्स ऑफ इंजिनीअरिंग मटेरिअल्स	1
2	<b>Steel &amp; Cast Iron</b> स्टील आणि कास्ट आयर्न	19
3	<b>Non-Ferrous Materials &amp; Powder Metallurgy</b> नॉन-फेरस मटेरियल्स आणि पावडर मेटलर्जी	30
4	<b>Non-Metallic Materials &amp; Advanced Materials</b> नॉन-मेटॅलिक मटेरिअल्स आणि ऍडव्हान्स्ड मटेरिअल्स	45
5	<b>Heat Treatment Processes</b> हीट ट्रीटमेंट प्रोसेसेस	61



## Unit 1 Basics of Engineering Materials

### बेसिक्स ऑफ इंजिनीअरिंग मटेरिअल्स

**कोर्स परिणाम-1 (Course Outcomes):** अनुप्रयोगानुसार इच्छित गुणधर्मांवर आधारित योग्य सामग्रीची निवड करा. (Select suitable material(s) based on desired properties according to application)

**सिद्धांतिक शिक्षणाचे परिणाम (Theory Learning Outcomes):**

**TLO 1.1:** निर्दिष्ट सामग्रीच्या स्फटिक संरचनेचे विश्लेषण करा. (Interpret the crystal structure of specified materials)

**TLO 1.2:** दिलेल्या सामग्रीच्या सूक्ष्मसंरचनेची ओळख करून योग्य स्पष्टीकरण द्या. (Identify microstructure of the given material with justification.)

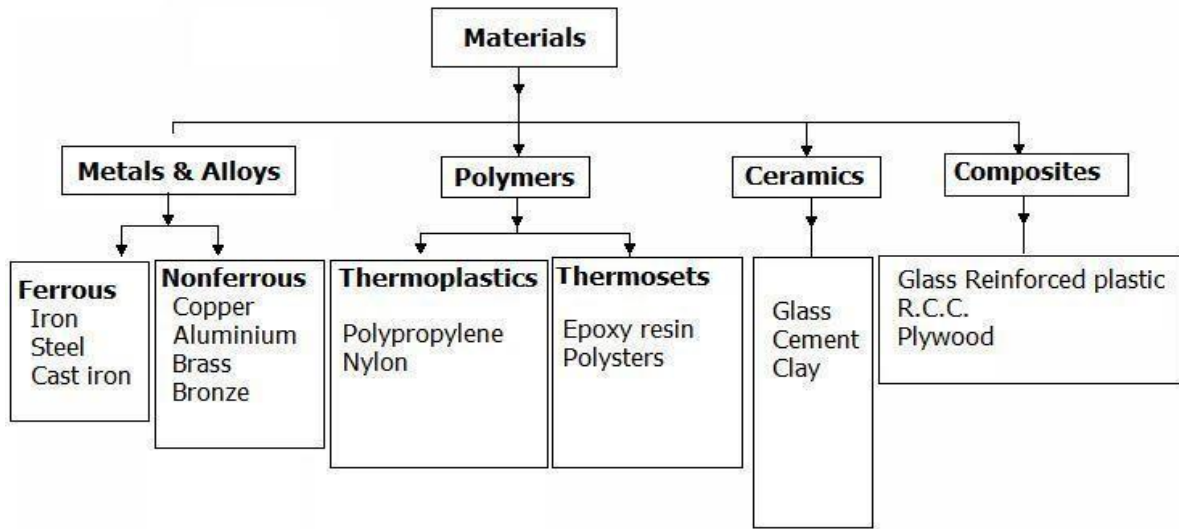
**TLO 1.3:** दिलेल्या नमुन्याची तयारी करण्याची प्रक्रिया रेखाचित्रांसह स्पष्ट करा. (Explain with sketches the procedure to prepare a given sample.)

**TLO 1.4:** दिलेल्या समतोल आलेख आणि अभिक्रिया ओळखा व विश्लेषण करा, तसेच योग्य स्पष्टीकरण द्या. (Identify & Interpret the given equilibrium diagram & reactions with justification.)

**TLO 1.5:** लोह-कार्बन आलेखावर स्टीलच्या दिलेल्या क्षेत्रांची ओळख करा आणि योग्य स्पष्टीकरण द्या. (Identify the given fields of steels on Iron carbon diagrams with justification.)

**TLO 1.6:** दिलेल्या परिस्थितीनुसार योग्य कठिणता परीक्षक निवडा आणि योग्य स्पष्टीकरण द्या. (Choose a relevant hardness tester based on the given situation with justification)

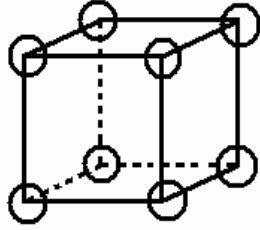
**Table 1.1**  
**इंजिनीअरिंग मटेरिअल्सचे वर्गीकरण**



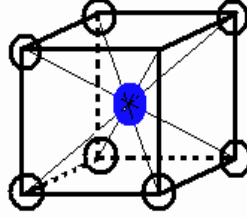
इंजिनीरिंग मटेरिअल्सची वर्गवारी खालीलप्रमाणे आहे:

- a) मेटल आणि अलॉय
  - i) फेरस मेटल
  - ii) नॉन-फेरस मेटल (अॅल्युमिनियम, मॅग्नेशियम, तांबे, निकेल, आणि टायटॅनियम)
- b) पॉलिमर (थर्मोप्लास्टिक्स, थर्मोसेट्स, रबर)
- c) सिरॅमिक्स
- d) कंपोजिट मटेरिअल

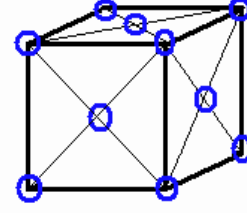
**1.2 क्रिस्टल संरचना, युनिट सेल, आणि स्पेस लॅटिस-** अनेक मेटल आणि इतर घन पदार्थांमध्ये युनिट सेल संरचना मुख्यतः बॉडी सेंटर क्यूबिक (BCC), फेस सेंटर क्यूबिक (FCC), किंवा हेक्सागोनल क्लोज पॅक्ड (HCP) प्रकारच्या असतात. कारण या संरचना सर्वात सामान्य आहेत, त्यांचा अधिक तपशीलवार अभ्यास केला जाईल.



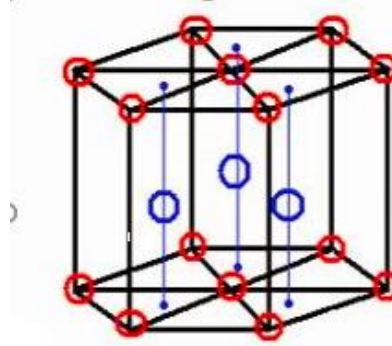
Simple Cubic



Body Centered Cubic



Face Centered Cubic



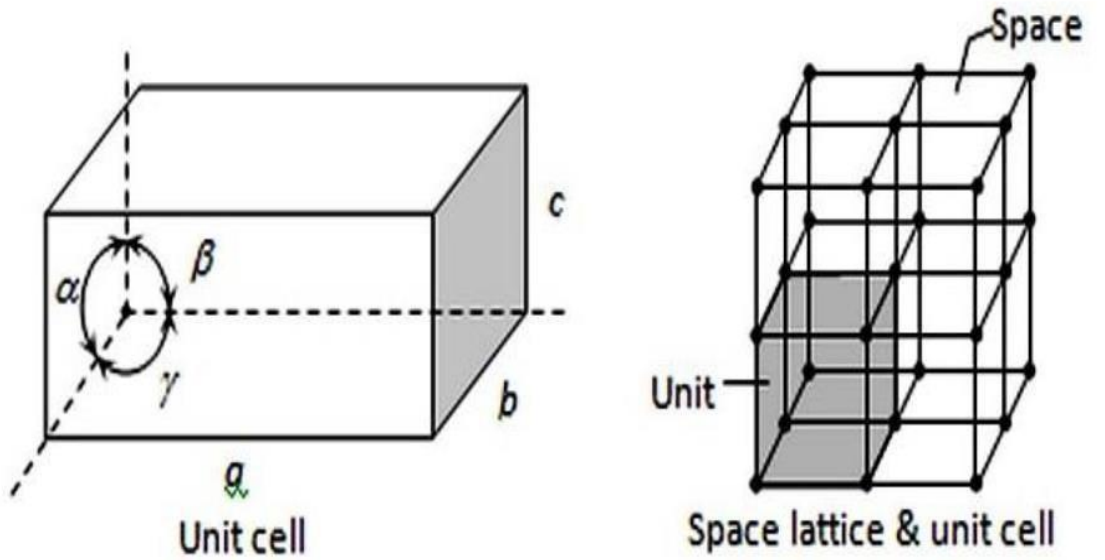
Hexagonal Close Packed

Fig 1.2.1

### सामान्य मेटल क्रिस्टल संरचना

- i) **बॉडी-सेंटरड क्यूबिक (BCC) संरचना** :- बॉडी-सेंटरड क्यूबिक युनिट सेलमध्ये क्यूबच्या प्रत्येक आठ कॉर्नरवर अणू असतात (क्यूबिक युनिट सेलप्रमाणे) आणि क्यूबच्या केंद्रस्थानी एक अणू असतो. प्रत्येक कॉर्नरवरील अणू हा दुसऱ्या क्यूबचा कॉर्नर असतो, त्यामुळे हे कॉर्नरवरील अणू आठ युनिट सेलमध्ये सामायिक केले जातात. याचा कोऑर्डिनेशन नंबर (Coordination Number) 8 असल्याचे मानले जाते. बीसीसी संरचना असलेली काही पदार्थ म्हणजे लिथियम, सोडियम, पोटॅशियम, क्रोमियम, बेरियम, व्हॅनेडियम, अल्फा- आयर्न आणि टंगस्टन. बीसीसी संरचना असलेले मेटल सामान्यतः हार्डर आणि लेस मॅलेबल असतात, आणि सोने यासारखी क्लोज्ड पॅक्ड रचनेतील (close-packed) धातू तुलनेने अधिक सॉफ्ट आणि मॅलेबल असतात.
- ii) **फेस सेंटरड क्यूबिक (FCC) संरचना**: फेस सेंटरड क्यूबिक (FCC) संरचनेत अणू क्यूबच्या प्रत्येक कॉर्नरला आणि सर्व फेसच्या मध्यभागी स्थित असतात. प्रत्येक कॉर्नरवरील अणू दुसऱ्या क्यूबच्या कॉर्नरचा भाग असतो, त्यामुळे हे कॉर्नरवरील अणू आठ युनिट सेलमध्ये सामायिक केले जातात. तसेच, सहा फेस सेंटरड अणू शेजारील युनिट सेलसोबत सामायिक केले जातात. कारण 12 अणू सामायिक केले जातात, त्यामुळे FCC संरचनेचा कोऑर्डिनेशन नंबर (Coordination Number) 12 असतो. FCC संरचना असलेली काही धातू म्हणजे अॅल्युमिनियम, कॉपर, गोल्ड, इरिडियम, लिड, निकेल, प्लॅटिनम आणि सिल्व्हर.

- iii) **हेक्सागोनल क्लोज्ड पॅकड (HCP) संरचना:** HCP संरचनेत तीन स्तर असतात. वरच्या आणि खालच्या स्तरामध्ये सहा अणू षटकोनी (hexagonal) स्वरूपात मांडले जातात आणि सातवा अणू त्या षटकोनाच्या मध्यभागी स्थित असतो. वरच्या आणि खालच्या स्तराच्या कॉर्नरला असलेल्या प्रत्येकी 12 अणूंमध्ये प्रत्येक अणू युनिट सेलसाठी  $1/6$  इतका योगदान देतो, तर दोन्ही स्तरांच्या षटकोनाच्या मध्यभागी असलेल्या प्रत्येकी एका अणूचे योगदान  $1/2$  इतके असते. तसेच मधल्या स्तरातील प्रत्येक तीन अणू पूर्णपणे योगदान देतात. HCP संरचनेचा कोऑर्डिनेशन नंबर (Coordination Number) 12 असतो. HCP संरचना मूलद्रव्य धातूसाठी अत्यंत सामान्य आहे आणि या संरचनेत आढळणाऱ्या काही धातूंचे उदाहरणे म्हणजे बेरिलियम (Be), कॅडमियम (Cd), मॅग्नेशियम (Mg), टायटॅनियम (Ti), झिंक (Zn) आणि झिरकोनियम (Zr).
- a. **क्रिस्टल स्ट्रक्चर (Crystal Structure):** क्रिस्टल स्ट्रक्चर ही घन अवस्था असलेल्या पदार्थांमधील अणूंच्या मांडणीशी संबंधित आहे. ही अणूंची स्पेस मधील नियमित थ्री डिमेंशनल रचना असते.
- b. **स्पेस लॅटिस (Space lattice):** हे स्पेस मधील बिंदूंच्या थ्री डिमेंशनल नमुन्याचे प्रतिनिधित्व करते. स्पेस लॅटिसमधील प्रत्येक बिंदूचे सभोवतालचे वातावरण इतर सर्व बिंदूंसारखेच असते.
- c. **युनिट सेल (Unit Cell):** स्पेस लॅटिसमधील सर्वात लहान पुनरावृत्ती होणारा घटक, जेव्हा वारंवार घटकाची पुनरावृत्ती केली जाते, तेव्हा संबंधित पदार्थाचा क्रिस्टल तयार होतो.



### स्पेस लॅटिस आणि युनिट सेल यांचे रिप्रेसेंटेशन

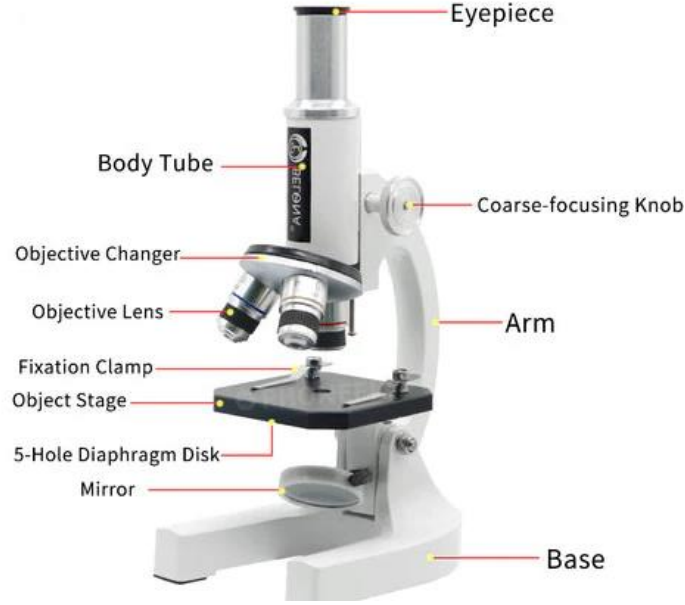
#### 1.3 मायक्रोस्ट्रक्चर, मायक्रोस्कोपचे प्रकार:

**मायक्रोस्ट्रक्चर:** मेटलमधील टप्पे आणि दोषांची मांडणी ही सूक्ष्मरचना मायक्रोस्ट्रक्चर म्हणून ओळखली जाते. मेटल आणि अलॉयचे मायक्रोस्ट्रक्चर हे उच्च शक्तीच्या प्रवर्धनाखाली पॉलिश आणि एचिंग केल्यानंतर ऑबझर्व केले जाते. साध्या भाषेत सांगायचे झाल्यास, मायक्रोस्ट्रक्चर म्हणजे धातूविज्ञानाच्या सूक्ष्मदर्शकाखाली दिसणारी संरचना होय. मायक्रोस्ट्रक्चर मेटल आणि अलॉयचे भौतिक, रासायनिक आणि यांत्रिक गुणधर्म निश्चित करते.

#### सूक्ष्मदर्शकाचे प्रकार:

- ऑप्टिकल मायक्रोस्कोप (Optical Microscope)
- इलेक्ट्रॉन मायक्रोस्कोप (Electron Microscope)
- स्कॅनिंग प्रोब मायक्रोस्कोप (Scanning probe microscope)

- (d) एक्स-रे मायक्रोस्कोप (X-ray microscope)  
 (e) इन्व्हर्टेड मायक्रोस्कोप (Inverted microscope)



**Fig 1.3.1**

ऑप्टिकल मायक्रोस्कोप (Optical Microscope)

**सॅम्पल प्रिपरेशन, ईचिंग प्रक्रिया, ईचंटचे प्रकार :**

सॅम्पल प्रिपरेशनमध्ये पुढील टप्पे समाविष्ट आहेत:

- 1. सेकॅशनिंग (Sectioning):** मोठ्या प्रमाणातील सॅम्पलमधून सोयीस्कर आकाराचा लहान भाग कापण्याच्या प्रक्रियेस सेकॅशनिंग म्हणतात. हे करताना मायक्रोस्ट्रक्चर खराब होऊ नये याची काळजी घ्यावी लागते. हॉट किंवा कोल्ड वर्क प्रोसेस दरम्यान स्ट्रक्चरल बदल होऊ शकतात. हॅक्सा वापरून मटेरिअल कटिंग करण्या ऐवजी बॉन्डेड अब्रासिव्ह व्हील (Bonded Abrasive Wheel) आणि कूलंटचा (Coolant) वापर करून मटेरिअल कट करणे हा सर्वात उत्तम पर्याय आहे, कारण त्यामुळे हीट आणि डिफॉर्मेशन (Deformation) कमी करता येते.
- 2. माउंटिंग (Mounting):** माउंटिंग म्हणजे सॅम्पलला एका लहान ब्लॉकमध्ये साधारण: (प्लास्टिक पासून बनविलेला) होल्ड करून ठेवण्याची प्रक्रिया, ज्यामुळे पुढील प्रक्रिया जसे की ग्राइंडिंग (Grinding), पॉलिशिंग इत्यादी करणे सोपे होते. माउंटिंग करण्याची दोन मुख्य उद्दिष्टे आहेत: (1) हाताळणी सुलभ होण्यासाठी. (2) ग्राइंडिंग आणि पॉलिशिंगच्या दरम्यान सॅम्पलच्या कडांना संरक्षण देण्यासाठी.

सॅम्पल माउंटिंग करण्यासाठी दोन पद्धती आहेत:

- (1) हॉट माउंटिंग (Hot Mounting)
- (2) कोल्ड माउंटिंग (Cold Mounting)

**मोल्डिंग मटेरिअल (Moulding Materials):** बॅकेलाइट (Bakelite), फिनोलिक (Phenolic), एपॉक्सी (Epoxy), अॅक्रेलिक (Acrylics) इत्यादी.

- 3. ग्राइंडिंग (Grinding):** या प्रक्रियेत सॅम्पलवरील स्क्रॅचेस (Scratches) काढले जातात. ग्राइंडिंगच्या प्रक्रियेत प्रत्येक टप्प्यावर फाइन ग्राइंडिंग पेपर वापरला जातो.

ग्राइंडिंगसाठी *एमरी पेपर (Emery Paper)* वापरला जातो. हा एक प्रकारचा पेपर असतो जो अब्रासिव्ह (Abrasive) एमरी कणांनी बनलेला असतो आणि त्याचा वापर सॅम्पल गुळगुळीत करण्यासाठी केला जातो.

4. **पॉलिशिंग (Polishing):** लिशिंगचा उद्देश म्हणजे **सेकॅशनिंग** आणि ग्राइंडिंग दरम्यान झालेल्या नुकसानीला दूर करणे आणि पूर्णपणे गुळगुळीत, आरसासारखा चमकदार पृष्ठभाग मिळवणे.

**पॉलिशिंग प्रकार:**

(a) रफ पॉलिशिंग (Rough Polishing)

(b) फाइन पॉलिशिंग (Fine Polishing)

5. **ईचिंग (Etching):** ईचिंग म्हणजे मायक्रोस्ट्रक्चरल तपशील उघड करण्यासाठी मेटलवर विशिष्ट ईचिंग रीएजन्टचा (Etching Reagent) उपयोग करून केलेली प्रक्रिया. यासाठी प्रामुख्याने डायल्युट ऍसिड (Dilute Acid) किंवा अल्कलीज (Alkalies) वापरले जातात, जे पाणी, अल्कोहोल किंवा इतर कोणत्याही द्रावणामध्ये मिसळले जातात.

ईचिंग सहसा दोन प्रकारे केली जाते:

(a) स्वॅबिंग (Swabbing)

(b) बुडवून ठेवणे (Immersion)

ईचिंग प्रक्रियेसाठी वापरल्या जाणाऱ्या ईचिंग रीएजन्टचा प्रकार हा सॅम्पलवर अवलंबून असतो.

**ईचंटचे प्रकार (Types of Etchant)**

1) **आयर्न व स्टीलसाठी (For Iron & Steel):**

(a) **ईचंटचे नाव:** नायटल (Nital)(अल्कोहोल + नाइट्रिक आम्ल)

नाइट्रिक ऍसिड (Nitric Acid) : 2 ते 5 मि.ली.

इथायल किंवा मिथायल अल्कोहोल(Ethyl or methyl Alcohol) : 100 मि.ली.

(b) **ईचंटचे नाव:** पिक्रल(Picral)(अल्कोहोल + पिक्रीक आम्ल)

पिक्रीक ऍसिड (Picric Acid) : 4 ग्रॅम

इथायल किंवा मिथायल अल्कोहोल(Ethyl or methyl Alcohol) : 100 मि.ली.

(c) **स्टेडस् रीएजन्ट (Stead's Reagent):**

क्युप्रिक क्लोराईड(Cupric Chloride) : 5 ग्रॅम

मॅग्नेशियम क्लोराईड(Magnesium Chloride) : 4 ग्रॅम

हायड्रोक्लोरिक ऍसिड (Hydrochloric Acid) : 1 मि.ली.

डिस्टिल्ड पाणी(Distilled Water) : 20 मि.ली.

इथायल अल्कोहोल(Ethyl Alcohol) : 100 मि.ली.

2) **स्टेनलेस स्टीलसाठी (For Stainless Steel):**

(a) **मुराकामीचे रीएजन्ट (Murakami's Reagent):**

पोटॅशियम फेरिसायनाईड (Potassium ferricyanide) : 10 ग्रॅम

पोटॅशियम हायड्रॉक्साईड(Potassium hydroxide) : 10 ग्रॅम

डिस्टिल्ड पाणी(Distilled Water) : 100 मि.ली.

(b) **मार्बल्स रीएजन्ट (Marbles reagent):**

कॉपर सल्फेट(Copper Sulphate) : 4 ग्रॅम

हायड्रोक्लोरिक ऍसिड (Hydrochloric acid) : 20 मि.ली.

डिस्टिल्ड पाणी (Distilled Water) : 20 मि.ली.

### 3) अॅल्युमिनियम व त्याच्या अलॉयसाठी (For Aluminium and its Alloy):

#### केलर्स रीएजन्ट (Kellersetch reagent):

- हायड्रोफ्लोरिक ऍसिड (Hydrofluoric Acid) :20 मि.ली.
- हायड्रोक्लोरिक ऍसिड (Hydrochloric Acid) :10 मि.ली.
- ग्लिसरीन(Glycerin) :30 मि.ली.

### 4) तांबे व त्याच्या अलॉयसाठी (For Copper and its alloy):

#### फेरिक क्लोराईड रीएजन्ट (Ferric Chloride reagent):

- फेरिक क्लोराईड(Ferric Chloride) :5 ग्रॅम
- हायड्रोक्लोरिक ऍसिड (Hydrochloric acid) :10 मि.ली.
- डिस्टिल्ड पाणी(Distilled Water) :100 मि.ली.

**1.4 मेटलचे भौतिक गुणधर्म आणि यांत्रिक गुणधर्म :** एखाद्या इंजिनीरिंग ॲप्लिकेशनसाठी योग्य मटेरिअल निवडण्यासाठी त्याचे भौतिक गुणधर्म जाणून घेणे आवश्यक असते. भौतिक गुणधर्म असे असतात जे मटेरिअलची ओळख न बदलता पाहता येतात. खाली काही प्रमुख भौतिक गुणधर्म दिले आहेत.

- i) **डेन्सिटी (Density):** एखाद्या मटेरिअलची डेन्सिटी म्हणजे मास(mass) पर युनिट वॉल्युम(volume). हे मास(mass) आणि वॉल्युम(volume) प्रमाणाने व्यक्त केले जाते.
- ii) **स्पेसिफिक ग्रॅविटी (Specific Gravity):** स्पेसिफिक ग्रॅविटी म्हणजे मटेरिअलच्या डेन्सिटीचे एका रेफरन्स मटेरिअलच्या डेन्सिटीशी असलेले प्रमाण.
- iii) **स्टेट चेंज टेम्परेचर (State Change Temperature):** स्थित्यंतर तापमान म्हणजे ज्या तापमानावर मटेरिअल हा एका स्थितीतून दुसऱ्या स्थितीत बदलतो.
- iv) **कॉइफिशिएंट ऑफ थर्मल एक्सपांशन (Coefficient of Thermal Expansion):** मटेरिअल तापवल्यावर त्याचे प्रसरण होते, त्यामुळे त्याचे आकारमान बदलते. मटेरिअलच्या तापमानवाढीनुसार त्याचा प्रसरण दर्शवणारा गुणांक म्हणजे कॉइफिशिएंट ऑफ थर्मल एक्सपांशन.
- v) **स्पेसिफिक हीट (Specific Heat):** कोणत्याही मटेरिअलच्या एकक वस्तुमानाचे तापमान  $1^{\circ}\text{C}$  ने वाढवण्यासाठी लागणाऱ्या उष्णतेचे प्रमाण म्हणजे स्पेसिफिक हीट.
- vi) **लॅटेन्ट हीट (Latent Heat):** मटेरिअलच्या एकक वस्तुमानाचे एका स्थितीतून दुसऱ्या स्थितीत (फेज बदल) बदल होण्यासाठी आवश्यक किंवा मुक्त होणाऱ्या हीटचे प्रमाण म्हणजे लॅटेन्ट हीट.
- vii) **फ्लूइडीटी (Fluidity):** मटेरिअल द्रव अवस्थेत किती सहजपणे वाहू शकतो हे दर्शवणारा गुणधर्म म्हणजे **फ्लूइडीटी**. द्रव पदार्थाच्या व्हिस्कोसिटीच्या (viscosity) व्यस्त प्रमाणात फ्लूइडीटी असते.
- viii) **वेल्डयबिलिटी (Weldability):** मटेरिअलच्या दोन भागांना उष्णता, दाब किंवा दोन्हींचा वापर करून एकत्र वेल्ड करता येण्याची क्षमता म्हणजे वेल्डयबिलिटी.
- ix) **थर्मल कंडक्टिव्हिटी (Thermal Conductivity):** मटेरिअलद्वारे उष्णता किती सहजपणे वाहून नेली जाते हे दर्शवणारा गुणधर्म म्हणजे **थर्मल कंडक्टिव्हिटी**.
- x) **इलेक्ट्रिकल कंडक्टिव्हिटी (Electrical Conductivity):** मटेरिअलद्वारे विद्युत प्रवाह किती सहज वाहून नेला जातो हे दर्शवणारा गुणधर्म म्हणजे **इलेक्ट्रिकल कंडक्टिव्हिटी**.

**यांत्रिक गुणधर्म :** एखाद्या इंजिनीरिंग ॲप्लिकेशनसाठी योग्य मटेरिअल निवडण्यासाठी, त्या मटेरिअलचे यांत्रिक गुणधर्म समजून घेणे आवश्यक आहे. यांत्रिक गुणधर्म म्हणजे असे गुणधर्म जे मटेरिअलच्या यांत्रिक शक्तीवर परिणाम करतात व तिला आवश्यक त्या आकारात घडविण्यास मदत करतात. खालीलप्रमाणे काही महत्त्वाचे यांत्रिक गुणधर्म दिले आहेत -

1. **स्ट्रेंथ (Strength):** कोणत्याही एक्सटर्नल फोर्स आणि लोड यांच्या उपस्थितीत एखाद्या मटेरिअलमध्ये होणारे डिफॉर्मेशन (Deformation) किंवा ब्रेकडाउन (breakdown) यांना प्रतिकार करण्याची क्षमता.
  2. **टफनेस (Toughness):** एखाद्या मटेरिअलची एनर्जी शोषून घेण्याची व प्लास्टिक स्वरूपात (plastically) डिफॉर्म (deform) होऊन न तुटण्याची क्षमता.
  3. **हार्डनेस (Hardness):** एक्सटर्नल स्ट्रेसमुळे कायमस्वरूपी आकार बदलण्यास विरोध करण्याची मटेरिअलची क्षमता.
  4. **हार्डनेबिलिटी (Hardenability):** हीट ट्रीटमेंट करून मटेरिअल कठोर बनविण्याची क्षमता.
  5. **ब्रिटलनेस (Brittleness):** मटेरिअलवर लागू केलेल्या फोर्समुळे तो किती सहजपणे तुटतो हे दर्शविणारा गुणधर्म.
  6. **मॅलॅबिलिटी (Malleability):** कॉम्प्रेसिव्ह स्ट्रेसमुळे सहजपणे डिफॉर्म (deform) होण्याची मटेरिअलची क्षमता. या गुणधर्मांमुळे मटेरिअलला ठोकून किंवा रोलिंगद्वारे पातळ पत्र्याच्या स्वरूपात तयार करता येते.
  7. **डक्टिलिटी (Ductility):** टेनसाईल स्ट्रेसखाली मटेरिअल किती सहजपणे डिफॉर्म होते हे दर्शविणारा गुणधर्म. या गुणधर्मांमुळे मटेरिअलला खेचून तार (wire) बनविता येते.
  8. **क्रिप व स्लिप**  
**क्रिप:** दीर्घकाळ उष्णतेच्या प्रभावाखाली असलेल्या मटेरिअलमध्ये एक्सटर्नल मेकॅनिकल स्ट्रेसमुळे होणारे संथ व कायमस्वरूपी बदल ही प्रवृत्ती.  
**स्लिप:** उच्च अणू घनतेच्या पृष्ठभागावर (high-density atomic plane) मटेरिअलमध्ये होणारे बदल.
  9. **रेसिलियन्स (Resilience):** मटेरिअलची इलॅस्टिक डिफॉर्मेशनच्या (elastic deformation) वेळी ऊर्जा शोषून घेण्याची व स्ट्रेस काढल्यावर तीच ऊर्जा परत सोडण्याची क्षमता.
  10. **फटीग (Fatigue):** वारंवार लोडिंगमुळे मटेरिअलच्या सामर्थ्यात येणारी हानी.
  11. **इलॅस्टिसिटी (Elasticity):** लोड किंवा फोर्स काढल्यानंतर मटेरिअल आपल्या मूळ स्वरूपात परत जाण्याची क्षमता.
  12. **प्लास्टिसिटी (Plasticity):** जर लोड इलॅस्टिक मर्यादपेक्षा (**elastic limit**) अधिक वाढवला, तर मटेरिअल आपले नवीन रूप कायम ठेवते. या गुणधर्माला प्लास्टिसिटी म्हणतात.
- 1.5 फेज, प्युअर मेटल, अलॉय आणि सॉलिड सोलुशनची संकल्पना:**

- 1) **फेज (Phase) :** फेज म्हणजे सिस्टीमचा एकसारखा भाग, ज्यामध्ये भौतिक आणि रासायनिक गुणधर्म एकसारखे असतात, म्हणजेच तो इतर टप्प्यांपासून भौतिकदृष्ट्या वेगळा, रासायनिकदृष्ट्या एकसारखा आणि यांत्रिकदृष्ट्या वेगळा असतो. **प्युअर मेटल** हा इक्विलिब्रियम कंडीशनमध्ये, तापमान आणि दाबाच्या स्थितीनुसार वायू, द्रव किंवा घन या कोणत्याही फेजमध्ये अस्तित्वात असू शकतो.
- 2) **प्युअर मेटल (Pure Metal):** हे ते घटक आहेत जे आवर्त सारणीच्या (periodic table) विशिष्ट क्षेत्रातून येतात. **प्युअर मेटल** म्हणजे 1, 2 किंवा 3 संयोजकता (valance) असलेला घटक. **प्युअर मेटल**मध्ये फक्त एकच घटक असतो. सामान्य **प्युअर मेटल**मध्ये ॲल्युमिनियम (aluminum), तांबे (copper), लोखंड (iron), शिसे (lead), जस्त (zinc), टिन, चांदी आणि सोने यांचा समावेश होतो.

3) **अलॉय (Alloy):** अलॉय म्हणजे दोन किंवा अधिक घटकांचे मिश्रण, ज्यामध्ये मुख्य घटक मेटल असतो. अनेक प्युअर मेटल प्रत्यक्ष वापरासाठी खूप सॉफ्ट, ब्रिटल किंवा रासायनिकदृष्ट्या प्रतिक्रियाशील असतात. अलॉय बनवून, त्यांच्या गुणधर्मांमध्ये सुधारणा केली जाऊ शकते.

**सॉलिड सोलुशन (Solid Solution):** सॉलिड सोलुशन ही एक फेज आहे, जिथे दोन किंवा अधिक घटक एकमेकांमध्ये पूर्णपणे विरघळतात. सॉलिड सोलुशनचे वर्गीकरण खालीलप्रमाणे आहे:

**A) सब्स्टिट्युशनल सॉलिड सोलुशन (Substitutional Solid Solutions):** जर सॉल्व्हंट(solvent) किंवा प्युअर मेटलच्या क्रिस्टल जाळ्यातील अणूंची जागा सॉल्युट(solute) धातूच्या अणूंनी घेतली, तर त्या घन द्रावणाला सब्स्टिट्युशनल सॉलिड सोलुशन म्हणतात. सब्स्टिट्युशनल सॉलिड सोलुशनमध्ये, सब्स्टिट्युशन अव्यवस्थित किंवा सुव्यवस्थित असू शकते.

a) **डिसऑर्डर सब्स्टिट्युशनल सॉलिड सोलुशन (Disordered Substitutional Solid Solution):** येथे सॉल्युट(solute) अणूंनी सॉल्व्हंट(solvent) अणूंच्या जाळ्यात अनियमितपणे जागा घेतली आहे.

b) **सुव्यवस्थित प्रतिस्थापन घन द्रावण ऑर्डर सब्स्टिट्युशनल सॉलिड सोलुशन (Ordered Substitutional Solid Solution):** येथे सॉल्युट(solute) अणूंनी सॉल्व्हंट(solvent) अणूंच्या जाळ्यात नियमितपणे जागा घेतली आहे.

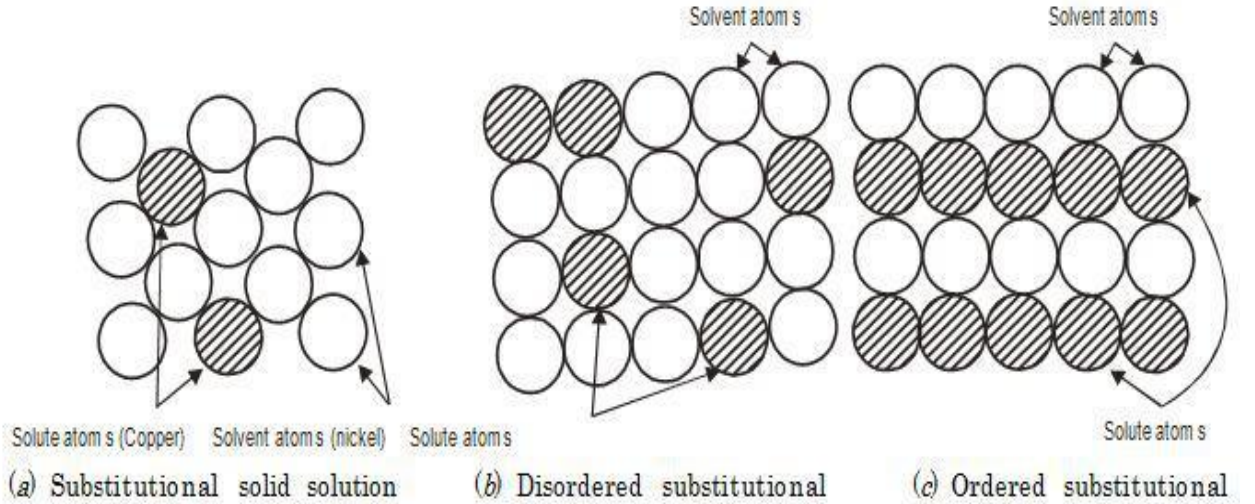


Fig 1.6.1

a) ऑर्डर सब्स्टिट्युशनल सॉलिड सोलुशन    b) डिसऑर्डर सब्स्टिट्युशनल सॉलिड सोलुशन

c) ऑर्डर सब्स्टिट्युशनल

**B) इंटरस्टिशियल सॉलिड सोलुशन (Interstitial Solid Solutions):** जर सॉल्युट(solute) अणूंचा आकार सॉल्व्हंट(solvent) अणूंपेक्षा खूप लहान असेल, तर ते सॉल्व्हंटच्या (solvent) क्रिस्टल जाळ्यातील रिक्त जागांमध्ये बसू शकतात, आणि अशा घन द्रावणाला इंटरस्टिशियल सॉलिड सोलुशन म्हणतात. उदाहरणार्थ, लोखंडातील कार्बनचे विरघळणे.

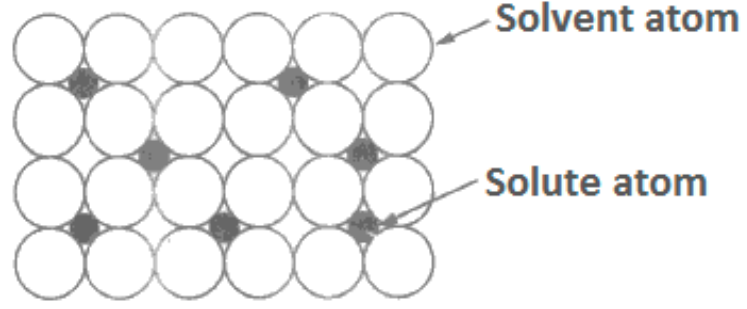


Fig 1.6.2

## इंटरस्टिशियल सॉलिड सोलुशन

1.6 आयरन-कार्बन इक्विलिब्रियम आकृती (Iron-Carbon Equilibrium Diagram). या आकृतीत विविध टप्पे, त्यांचे महत्त्वपूर्ण तापमान, आणि संबंधित अभिक्रिया दर्शविल्या जातात.

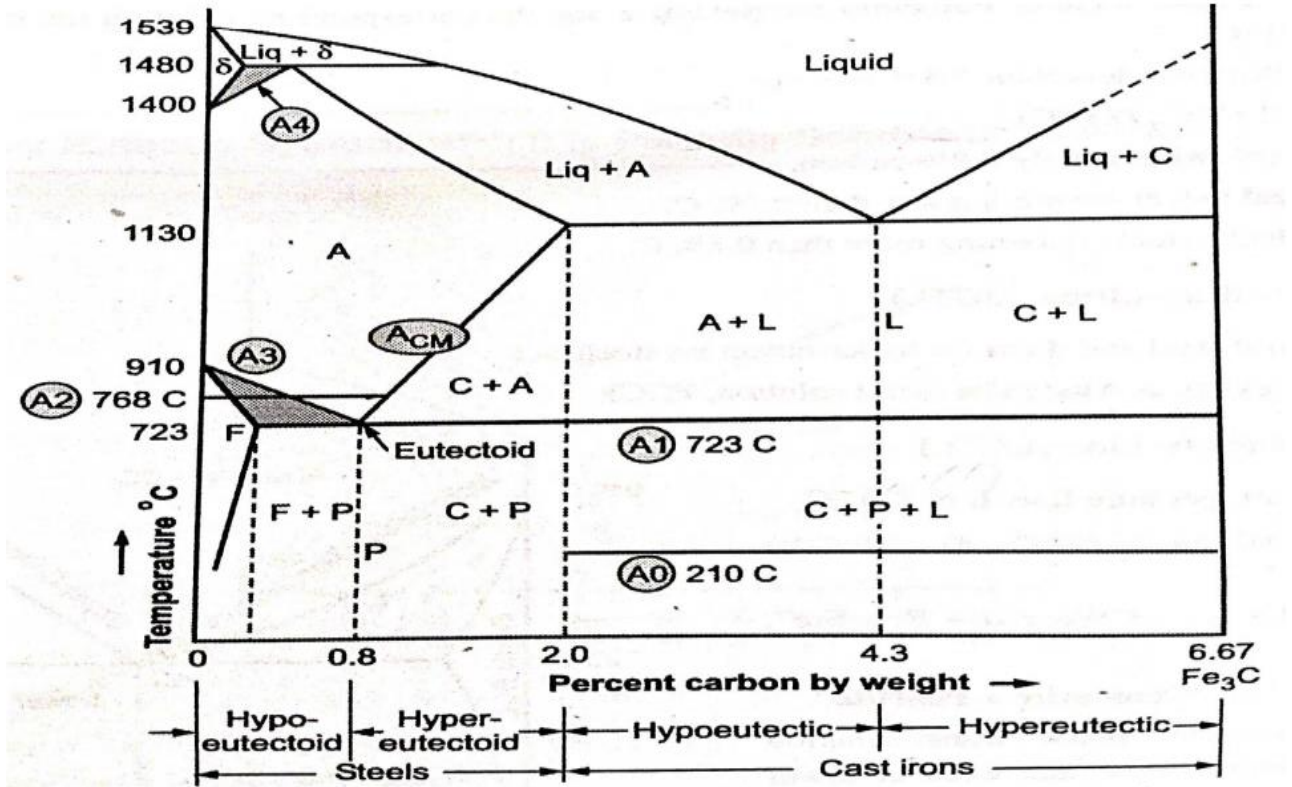


Fig 1.7.1

## आयरन-कार्बन इक्विलिब्रियम आकृती (Iron Carbon Equilibrium diagram)

विविध टप्पे:

- सिमेंटाइट Cementite (आयरन कार्बाइड, Fe<sub>3</sub>C):** हे एक इंटरमेटॅलिक स्थिर कार्बाइड संयुग (compound) आहे, ज्याला आयरन कार्बाइड (Fe<sub>3</sub>C) म्हणतात. सिमेंटाइटमध्ये वजनानुसार 6.67% कार्बन असतो. हे अत्यंत हार्ड आणि ब्रिटल इंटरस्टीशियल संयुग आहे. याची क्रिस्टल संरचना ऑर्थोरोम्बिक(orthorhombic) आहे.
- ऑस्टेनाइट Austenite (γ- आयरन):** हे γ (गॅमा) आयरनमध्ये विरघळलेले कार्बनचे इंटरस्टीशियल सॉलिड सोलुशन आहे. 723°C वर कार्बनची सोल्युबिलिटी(solubility) 0.8% आहे आणि 1140°C वर ही मर्यादा 2%

पर्यंत वाढते. याची क्रिस्टल संरचना FCC (फेस सेंटर्ड क्यूबिक) आहे.

iii) **फेराइट Ferrite ( $\alpha$ - आयर्न):** हे  $\alpha$ - आयर्नमध्ये विरघळलेले कार्बनचे इंटरस्टीशियल सॉलिड सोलुशन आहे. खोलीच्या तापमानावर कार्बनची कमाल सोल्युबिलिटी (solubility) 0.008% आहे आणि 723°C वर ही सोल्युबिलिटी (solubility) मर्यादा 0.025% पर्यंत वाढते. याची क्रिस्टल संरचना BCC (बॉडी सेंटर्ड क्यूबिक) आहे.

$\alpha$  **फेराइट (BCC):** BCC आयर्नमधील कार्बनचे इंटरस्टीशियल सॉलिड सोलुशन. कार्बनची कमाल सोल्युबिलिटी (solubility) 0.025% आहे. हे 273°C ते 910°C पर्यंत अस्तित्वात असते.

$\delta$  **फेराइट (BCC):** हे 1394°C ते 1539°C तापमान श्रेणीत अस्तित्वात असते. कार्बनची कमाल सोल्युबिलिटी (solubility) 0.09% आहे.

iv) **मार्टेनसाइट Martensite:** हे BCC  $\epsilon$ - आयर्नमध्ये अडकलेले कार्बनचे इंटरस्टीशियल सुपर सॅच्युरेटेड सोलुशन आहे. उच्च कूलिंग रेटमुळे, कार्बनला सोलुशनमधून बाहेर पडण्यासाठी पुरेसा वेळ मिळत नाही, परिणामी आयर्नच्या अणूंची काही हालचाल होते, परंतु संरचना BCC होऊ शकत नाही, कारण कार्बन सोलुशनमध्ये अडकलेले असते. परिणामी संरचनेला मार्टेनसाइट म्हणतात. याची क्रिस्टल संरचना BCT (बॉडी सेंटर्ड टेट्रागोनल) आहे.

v) **परलाईट (Pearlite):** हे फेराइट आणि सिमेंटाइटचे निकट मिश्रण आहे. याची विशिष्ट लॅमेलर(lamellar) संरचना आहे आणि हे फेराइट आणि सिमेंटाइटच्या पर्यायी थरांचे बनलेले असते.

Table 1.7.1

## तापमान आणि त्याचे महत्त्व

अनुक्रमांक	क्रिटिकल पॉईंट	तापमान	सिग्नॅफिकन्स झरिन्ग हिटिंग
1	A0 (सिमेंटाइटचे क्युरी तापमान)	210°C	सिमेंटाइट पॅरामॅग्नेटिक होते
2	A1(लोवर(Lower)क्रिटिकल तापमान)	727°C	पर्लाईटचे परिवर्तन सुरू होते
3	A2 (फेराइटचे क्युरी तापमान)	768°C	फेराइट पॅरामॅग्नेटिक होते
4	A3 (हायपोयूटेक्टॉइड स्टीलसाठी अप्पर क्रिटिकल तापमान)	727°C- 910°C	फेराइटचे ऑस्टेनाइटमध्ये परिवर्तन पूर्ण होते
5	ACM (हायपोयूटेक्टॉइड स्टीलसाठी अप्पर क्रिटिकल तापमान)	910°C - 1492°C	सिमेंटाइटचे ऑस्टेनाइटमध्ये परिवर्तन पूर्ण होते
6	A4	1400°C - 1492°C	ऑस्टेनाइटचे $\delta$ -फेराइटमध्ये परिवर्तन पूर्ण होते

### आयर्न-कार्बन आरेखावरील अभिक्रिया

**पेरीटेक्टिक अभिक्रिया (Peritectic Reaction):** ही उच्च तापमानाची अभिक्रिया 1495°C तापमानाला दिसून येते. ही अभिक्रिया 0.18% कार्बनयुक्त स्टीलमध्ये होते. अभिक्रिया पुढीलप्रमाणे आहे:



येथे,  $\delta$  = (डेल्टा आयर्न - फेराइट) : BCC संरचना

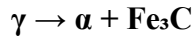
L = (द्रवरूप स्टील - वितळलेले स्टील)

$\gamma$  = (गॅमा आयर्न - ऑस्टेनाइट) : FCC संरचना

या घटकांमधील कार्बनचे प्रमाण:  $\delta = 0.08\%$ ,  $L = 0.55\%$ ,  $\gamma = 0.18\%$

सामान्यतः ही अभिक्रिया पुढीलप्रमाणे असते: **Solid<sub>1</sub> + Liquid → Solid<sub>2</sub>**

**युटेक्टॉइड अभिक्रिया (Eutectoid Reaction):** ही कमी तापमानाची अभिक्रिया 727°C तापमानाला दिसून येते ही अभिक्रिया 0.8% कार्बनयुक्त स्टीलमध्ये होते. अभिक्रिया पुढीलप्रमाणे आहे:



येथे,  $\gamma$  = (ऑस्टेनाइट)

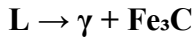
$\alpha$  = (अल्फा आयर्न - फेराइट)

$Fe_3C$  = (संयुक्त कार्बन - सिमेंटाइट)

या घटकांमधील कार्बनचे प्रमाण:  $\gamma = 0.8\%$ ,  $\alpha = 0.025\%$ ,  $Fe_3C = 6.67\%$

सामान्यतः ही अभिक्रिया पुढीलप्रमाणे असते: **Solid<sub>1</sub> → Solid<sub>3</sub> + Solid<sub>2</sub>**

**युटेक्टिक अभिक्रिया (Eutectic Reaction):** ही मध्यम तापमानाची अभिक्रिया 1148°C तापमानाला दिसून येते ही अभिक्रिया 4.3% कार्बनयुक्त मिश्रधातूमध्ये होते. अभिक्रिया पुढीलप्रमाणे आहे .



येथे, L = (द्रवरूप - वितळलेले कास्ट आयर्न)

$\gamma$  = (ऑस्टेनाइट)

$Fe_3C$  = (संयुक्त कार्बन - सिमेंटाइट)

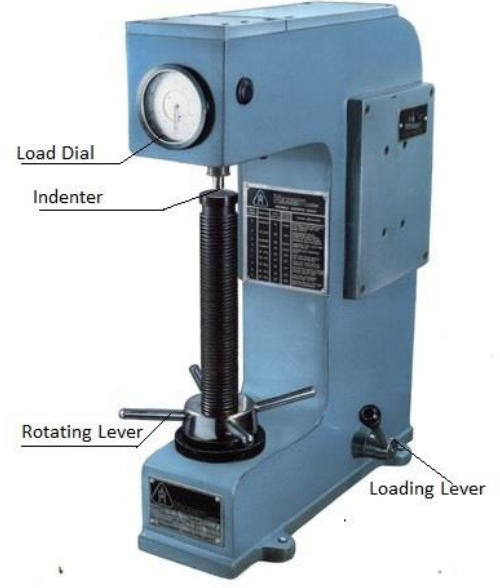
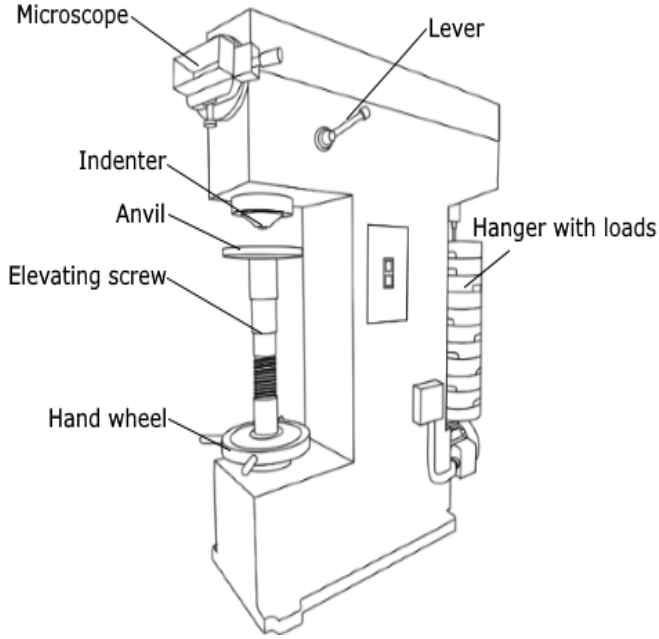
या घटकांमधील कार्बनचे प्रमाण:  $L = 4.3\%$ ,  $\gamma = 2.06\%$ ,  $Fe_3C = 6.67\%$

सामान्यतः, ही अभिक्रिया पुढीलप्रमाणे असते: **Liquid → Solid<sub>1</sub> + Solid<sub>2</sub>**

### ब्रिनेल आणि रॉकवेल टेस्टर वरती हार्डनेस तपासण्याची प्रक्रिया

हार्डनेस ठरवण्याची प्रक्रिया ही इंडेंटरच्या (indenter) प्रवेशाच्या खोलीचे मापन किंवा इंडेंटरमुळे तयार झालेल्या छापाच्या आकाराचे मापन करून केली जाते. हार्डनेस चाचणीचा उद्देश म्हणजे दिलेल्या ॲप्लिकेशनसाठी मटेरिअलची योग्यतता ठरवणे. हार्डनेस टेस्टिंगचे प्रकार

- 1) ब्रिनेल हार्डनेस टेस्ट
- 2) रॉकवेल हार्डनेस टेस्ट

**ब्रिनेल हार्डनेस टेस्टर:****Fig 1.7.1****ब्रिनेल हार्डनेस टेस्टर मशीन**

ब्रिनेल हार्डनेस टेस्टमध्ये एक हार्ड स्टील बॉल (5 किंवा 10 मिमी व्यासाचा) इंडेंटर वापरला जातो. इंडेंटर हा टेस्ट मटेरीअलवर 3000 किलो लोडखाली लागू केला जातो. सॉफ्ट मटेरीअलची टेस्ट करण्यासाठी आणि अत्याधिक इंडेंटेशन टाळण्यासाठी लोड 1500 किलो किंवा 500 किलोपर्यंत कमी केला जाऊ शकतो. लोड ठराविक कालावधीसाठी लागू केला जातो, सहसा 10 ते 30 सेकंदांपर्यंत. लोड लागू करण्याचा कालावधी असा असतो की त्यामुळे मेटलचे प्लास्टिक डिफॉर्मेशन थांबते.

प्रक्रिया:

1. या टेस्टमध्ये, स्टील बॉल इंडेंटर विशिष्ट कालावधीसाठी आणि अचूक नियंत्रित फोर्सने टेस्ट मटेरीअलवर दाबला जातो.
2. जेव्हा बॉल इंडेंटर काढला जातो, तेव्हा टेस्ट मटेरीअलवर गोल इंडेंट तयार होतो.
3. ब्रिनेल हार्डनेस टेस्टमध्ये फक्त एकाच प्रकारचा फोर्स लागू केला जातो.
4. इंडेंटचा पृष्ठभाग क्षेत्र हे टेस्ट मटेरीअलच्या हार्डनेसचे (HB) मापन करण्याचे निकष असते.
5. तयार झालेल्या गोल इंडेंटचे मापन कमी शक्तीच्या सूक्ष्मदर्शकाच्या साहाय्याने मिलिमीटर्समध्ये केले जाते.
6. हा गोल इंडेंट मोजून पुढील सूत्रानुसार मटेरीअलची हार्डनेस मोजली जाते.

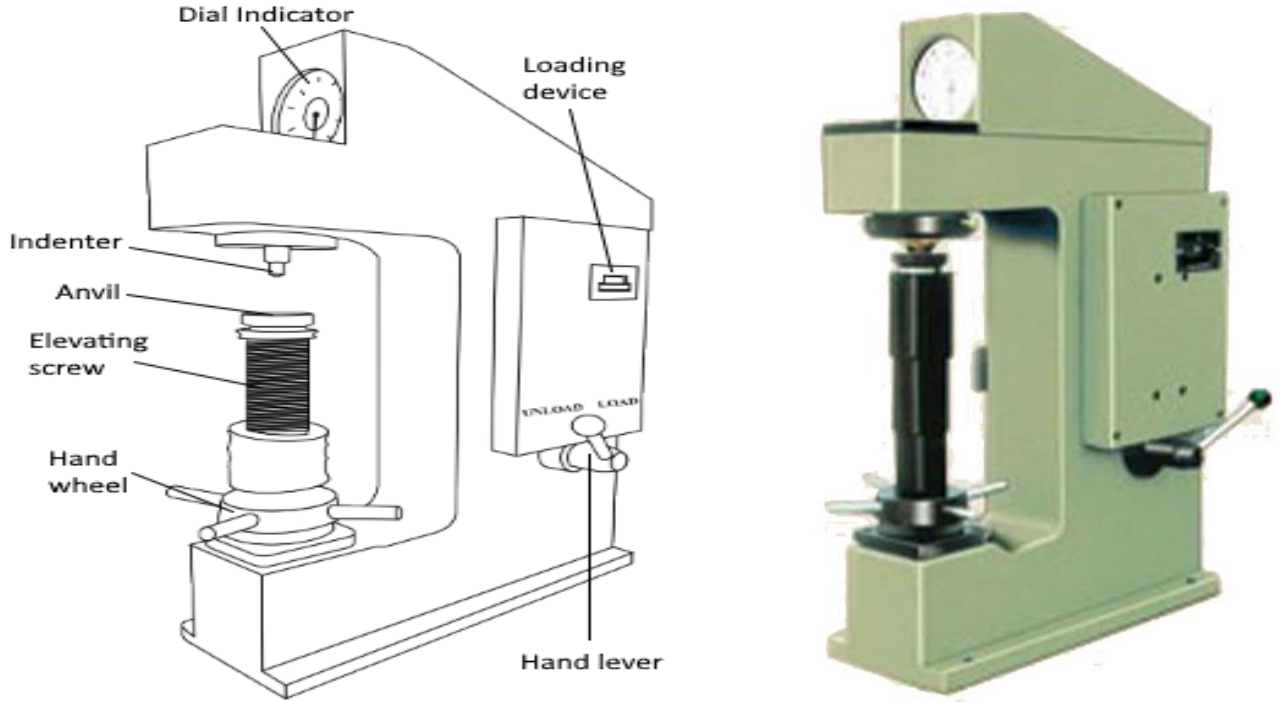
$$\text{BHN} = \frac{\text{लागू केलेले बल}}{\text{इंडेंटेशनचा एरिआ}}$$

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$$

येथे, BHN-ब्रिनेल हार्डनेस नंबर  
d- इंडेंटेशनचा व्यास (मिमीमध्ये)

D-स्टील बॉलचा व्यास (मिमीमध्ये)  
P-लागू केलेला फोर्स (किलोग्रॅमध्ये)

## रॉकवेल हार्डनेस टेस्टर



**Fig 1.7.2**  
रॉकवेल हार्डनेस टेस्टर मशीन

### प्रक्रिया:

#### 1. प्रीपरेशन:

1. टेस्ट मटेरीअल गुळगुळीत, समतल आणि कोणत्याही अशुद्धीपासून मुक्त असल्याची खात्री करा.
2. टेस्ट मटेरीअल हार्डनेस टेस्टरच्या अँव्हिलवर(anvil) ठेवा.

#### 2. लहान लोड लागू करणे:

1. इंडेंटरवरती लहान लोड (प्राथमिक चाचणी लोड ) लागू करा.
2. इंडेंटरची स्थिती स्थिर करण्यासाठी हा लोड ठराविक वेळेसाठी धरून ठेवा.

#### 3. मोठा लोड लागू करणे:

1. लोड वाढवून मोठा लोड लागू करा आणि ठराविक वेळेसाठी तो धरून ठेवा.
2. या टप्प्यात इंडेंटर टेस्ट मटेरीअलमध्ये प्रवेश करून इंडेंटेशन निर्माण करतो.

#### 4. मोठा लोड काढून टाकणे:

1. मोठा लोड काढून टाका, फक्त लहान लोड लागू राहू द्या.
2. लवचिक पुनर्प्राप्तीमुळे इंडेंटर किंचित रिबाउंड होऊ शकतो.

#### 5. मापन:

1. लहान लोडखाली टेस्ट मटेरीअल असताना इंडेंटेशनची खोली मोजा.
2. टेस्ट मटेरीअल वरती मोठा लोड लागू करण्यापूर्वी आणि त्यानंतरच्या इंडेंटेशन खोलीतील फरकाच्या आधारे रॉकवेल हार्डनेसची (Rockwell Hardness) मूल्य गणना केली जाते.

**Table1.7.1**  
**रॉकवेल स्टॅंडर्ड हार्डनेस स्केल**

स्केल	इंडेंटरचा प्रकार	लहान लोड (kg)	मोठा लोड (kg)	मटेरिअलचा प्रकार
A	कोन, 120 degree	10	50	हार्ड मटेरिअल जसे की कार्ब्युराइज्ड स्टील, सिमेंटेड कार्बाइड्स
B	बॉल, 1.58mm	10	100	सॉफ्ट स्टील, कॉपर, अॅल्युमिनियम, ब्रास, ग्रे कास्ट आयर्न
C	कोन, 120 degree	10	150	स्प्रिंग स्टील, टायटॅनियम(Ti), टंगस्टन(W), व्हॅनेडियम(Va) इत्यादी

**Exercise:**

**TLO 1.1** निर्दिष्ट सामग्रीच्या स्फटिक संरचनेचे विश्लेषण करा. (Interpret the crystal structure of specified materials.)

- The crystal structure of alpha iron is -----
  - Simple cubic
  - Face centered cubic
  - Body centered cubic
  - Closed Packed hexagonal

Answer: c) Body centered cubic

- Coordination number of FCC crystal is -----
  - 4
  - 8
  - 12
  - 16

Answer: c) 12

- Copper has following crystal structure -----
  - Body centered cubic
  - Face centered cubic
  - Hexagonal close packed
  - None of the above

Answer: b) Face centered cubic

- Crystalline solids have \_\_\_\_\_ arrangement of atoms.
  - Regular
  - Random
  - Both a & b
  - None of the above

Answer: a) Regular

5. Metal with hexagonal close packed structure is\_\_\_\_\_
- Silver
  - Iron
  - Magnesium
  - Aluminum

Answer: a) Silver

**TLO 1.2** दिलेल्या सामग्रीच्या सूक्ष्मसंरचनेची ओळख करा आणि योग्य स्पष्टीकरण द्या. (Identify microstructure of the given material with justification.)

1. The structure at a microscopic level is known as the\_\_\_\_\_
- Microstructure
  - Macrostructure
  - Both a & b
  - None of these

Answer: a) Microstructure

2. Microstructure of material is generally examined by\_\_\_\_\_
- Naked eye
  - Optical microscope
  - X-ray techniques
  - None of these

Answer: b) Optical microscope

3. ----- of the following microscope are not used for microscopy?
- Optical microscope
  - Ultrasonic microscope
  - Electron microscope
  - Scanning probe microscope

Answer: b) Ultrasonic microscope

4. Microstructure not determines following property of metal and alloy.
- Physical
  - Chemical
  - Mechanical
  - Thermal

Answer: d) Thermal

5. ----- of the following techniques is commonly used to reveal the microstructure of a metallic sample?
- X-ray
  - Etching
  - Ultrasonic
  - Magnetic resonance imaging

Answer: b) Etching

**TLO 1.3:** रेखाचित्रांसह दिलेल्या नमुन्याची तयारी करण्याची प्रक्रिया स्पष्ट करा. (Explain with sketches the procedure to prepare a given sample.)

1. ----- is the primary purpose of sectioning in material science?

- a. To cut materials into smaller pieces for disposal
- b. To prepare a specimen for microstructural analysis
- c. To test the mechanical properties of a material
- d. To change the chemical composition of a material

Answer: b) To prepare a specimen for microstructural analysis

2. ----- of the following is the most commonly used tool for sectioning metallic samples?

- a. Hacksaw
- b. Abrasive cutting wheel
- c. Milling machine
- d. Ultrasonic cutter

Answer: b) Abrasive cutting wheel

3. ----- is the primary purpose of mounting in metallographic sample preparation?

- a. To increase the hardness of the sample
- b. To make handling and polishing easier
- c. To change the microstructure of the sample
- d. To remove surface contaminants

Answer: b) To make handling and polishing easier

4. ----- tool is commonly used for grinding metallographic samples?

- a. Diamond saw
- b. Silicon carbide or alumina abrasive papers
- c. Plasma cutter
- d. Lathe machine

Answer: b) Silicon carbide or alumina abrasive papers

5. Etching is performed after ----- step in sample preparation?

- a. Sectioning
- b. Mounting
- c. Grinding and polishing
- d. Hardness testing

Answer : c) Grinding and polishing

**TLO 1.4:** दिलेल्या समतोल आलेख आणि अभिक्रियांची ओळख करा व विश्लेषण करा, तसेच योग्य स्पष्टीकरण द्या. (Identify & Interpret the given equilibrium diagram & reactions with justification.)

1. In an iron-carbon phase diagram, the eutectoid reaction occurs at \_\_\_\_\_
  - a. 910°C
  - b. 1147°C
  - c. 727°C
  - d. 1495°C

Answer:c) 727°C

2. ----- of the following phases is the hardest in the iron-carbon diagram?

- a. Ferrite
- b. Austenite
- c. Cementite
- d. Pearlite

Answer:c) Cementite

3. Pearlite is a mixture of \_\_\_\_\_

- Ferrite and Cementite
- Austenite and Ferrite
- Martensite and Cementite
- Austenite and Cementite

Answer: a) Ferrite and Cementite

4. Austenite has \_\_\_\_\_ crystal structure.

- FCC
- BCC
- HCP
- None of the above

Answer: a) FCC

5. ----- is  $Fe_3C$

- Pearlite
- Ferrite
- Cementite
- Austenite

Answer:c) Cementite

**TLO 1.5:** लोह-कार्बन आलेखावर स्टीलच्या दिलेल्या क्षेत्रांची ओळख करा आणि योग्य स्पष्टीकरण द्या.  
(Identify the given fields of steels on Iron carbon diagrams with justification.)

1. The region of cementite ( $Fe_3C$ ) in the Fe-C diagram is found at \_\_\_\_\_

- 0.22% C
- 2.14% C
- 4.3% C
- 6.67% C

Answer: d) 6.67% C

2. The percentage of carbon at eutectoid point in Fe-C phase diagram is?

- 2.1
- 4.7
- 0.8
- 0.02

Answer: c) 0.8

3. ----- of the following phase transformations is an example of a eutectoid reaction?

- $L \rightarrow \alpha + \beta$
- $\alpha \rightarrow \beta + \gamma$
- $\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$
- $L + \alpha \rightarrow \beta$

Answer: c)  $\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$

4. -----reaction type involves a single phase transforming into two different solid phases upon cooling?

- Eutectic
- Peritectic

- c. Eutectoid
- d. Monotectic

Answer: c) Eutectoid

5. ----- happens at the peritectic point in a phase diagram?

- a. A liquid phase transforms into two solid phases
- b. A solid and a liquid phase transform into another solid phase
- c. Two solids form a eutectoid structure
- d. A solid directly converts to a gas

Answer: b) A solid and a liquid phase transform into another solid phase

**TLO 1.6: Choose a relevant hardness tester based on the given situation with justification**

1. The Brinell hardness test uses which type of indenter?

- a. Diamond cone
- b. Steel or tungsten carbide ball
- c. Cylindrical rod
- d. Flat disc

Answer: b) Steel or tungsten carbide ball

2. The Rockwell test uses different scales based on \_\_\_\_\_

- a. The weight of the material
- b. The shape of the sample
- c. The type of indenter and load applied
- d. The chemical composition of the material

Answer: c) The type of indenter and load applied

3. The unit of hardness in the Brinell test is given as:

- a. HB
- b. HRB
- c. HV
- d. HRC

Answer: a) HB

4. The Rockwell hardness test measures hardness based on:

- a. Depth of penetration
- b. Surface roughness
- c. Resistance to scratching
- d. Material density

Answer: a) Depth of penetration

5. A minor load of \_\_\_\_\_ is applied to seat the specimen in the Rockwell test.

- a. 1 kg
- b. 5kg
- c. 10kg
- d. 150kg

Answer: c) 10kg

## Unit 2 Steel & Cast Iron

### स्टील आणि कास्ट आयर्न

**कोर्स परिणाम-2 (Course Outcomes-2):** यांत्रिक घटकांसाठी योग्य मिश्रधातू स्टील आणि कास्ट आयर्न निवडा. (Choose relevant alloy steel & Cast iron for Mechanical Components)

#### TLO:

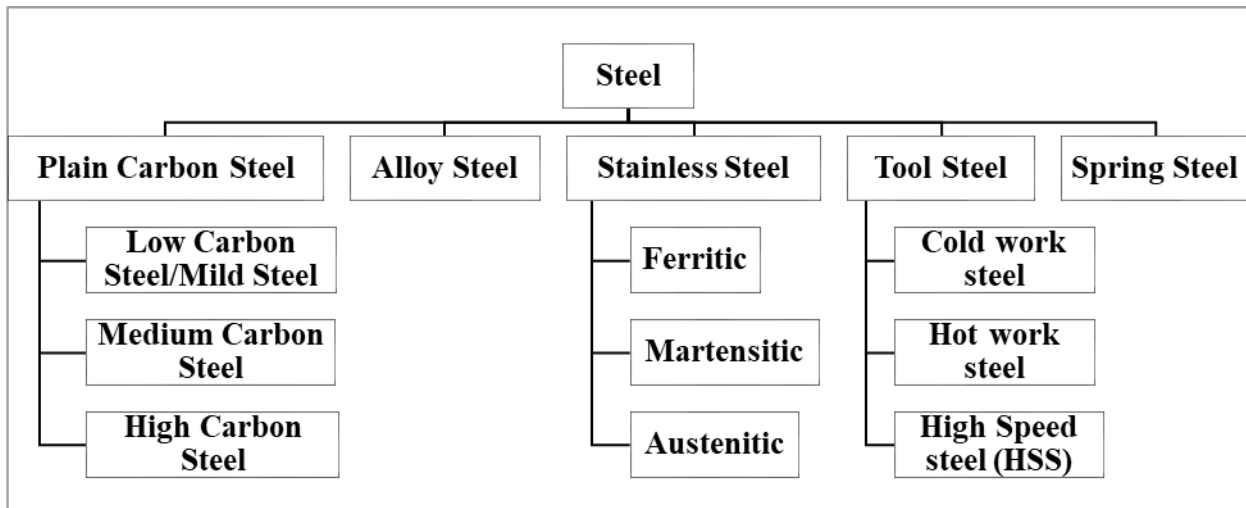
TLO 2.1 दिलेल्या अनुप्रयोगासाठी संबंधित पोलाद निवडा आणि त्याचे न्यायसंगत स्पष्टीकरण द्या. (Select relevant steel for the given application with justification.)

TLO 2.2 दिलेल्या कार्यासाठी संबंधित कास्ट लोह जसे की पांढरे किंवा राखाडी कास्ट लोह निवडा आणि त्याचे न्यायसंगत स्पष्टीकरण द्या. (Select the relevant cast irons as white, gray cast iron for the given job with justification.)

TLO 2.3 दिलेल्या सामग्री नामांकने विश्लेषित करा. (Interpret the given material designations)

TLO 2.4 दिलेल्या कास्ट लोहाच्या रचनेच्या गुणधर्मांची ओळख करा आणि त्याचे न्यायसंगत स्पष्टीकरण द्या. (Identify the properties of the given composition of cast iron with justification)

**Table 2.1**



### स्टीलचे विस्तृत वर्गीकरण

i. **प्लेन कार्बन स्टील:** हे लोह आणि कार्बनचे अलॉय आहे ज्यामध्ये वजनाने 2.1% पर्यंत कार्बन कन्टेन्ट आहे. या स्टील मध्ये कार्बन हा मुख्य अलॉय घटक आहे. आणि मॅंगनीज, सिलिकॉन, तांबे यासारखे इतर घटक कमी प्रमाणात वापरले जातात. प्लेन कार्बन स्टील्स हे अधिक कौमानली वापरले जाणारे स्टील आहे.

**Table 2.2**

### प्लेन कार्बन स्टीलचे प्रकार, गुणधर्म, रचना आणि ॲप्लिकेशन:

प्रकार	रचना	गुणधर्म	ॲप्लिकेशन
लो कार्बन स्टील	0.008 – 0.30% कार्बन	1. उत्कृष्ट लवचिकता आणि कडकपणा. 2. वेल्डेबल आणि मशीनिंग करण्यायोग्य. 3. मार्टेन्साइट परिवर्तन करण्यास सक्षम नाही.	कार बॉडी, पाइपलाइन, नट, बोल्ट, शीट्स इ.
मिडीयम कार्बन	0.30 – 0.60% कार्बन	1. कमी कठोरता. 2. या स्टील ग्रेडवर उष्णतेचा उपचार केला	रेल्वे ट्रॅक, गीअर्स, कनेक्टिंग रॉड, ऑटोमोबाईल्स

प्रकार	रचना	गुणधर्म	अॅप्लिकेशन
स्टील		जाऊ शकतो.	शेतीसाठी लागणारे पार्ट्स, इ.
हाय कार्बन स्टील	0.60 – 2.00% कार्बन	1. सर्वात कठीण, मजबूत आणि सर्वात कमी लवचिक	कटिंग टूल्स, चाकू, केबल, म्युझिकल वायर्स इ.

ii. **अलॉय स्टील:** "ह्या स्टील्समध्ये गुणधर्मात सुधारणा होण्यासाठी कार्बन व्यतिरिक्त इतर घटक पुरेशा प्रमाणात जोडले जातात" गुणधर्म वाढवण्यासाठी सिलिकॉन (Si), मॅंगनीज (Mn), निकेल (Ni), क्रोमियम (Cr), टायटॅनियम (Ti), मॉलिब्डेनम (Mo), टंगस्टन (W), व्हॅनेडियम (V) यांसारखे अलॉय असलेले हे स्टील्स आहे.

#### A. अलॉयचा उद्देश:

1. स्ट्रेंथ वाढवण्यासाठी
2. हार्डनेस, टफनेस, यंत्रक्षमता, लवचिकता, घर्षण आणि झीज यांना प्रतिकार यामध्ये सुधारणा
3. चांगले विद्युत आणि चुंबकीय गुणधर्म प्राप्त करण्यासाठी.

#### B. अलॉय घटकांचा अलॉय स्टील्सच्या गुणधर्मावर प्रभाव:

1. सिलिकॉन (Si):
  - i. फेराईट चे सॉलिड सोल्युशन आहे.
  - ii. लॉस कमी करते.
  - iii. टफनेस वाढवतो.
  - iv. स्ट्रेंथ आणि हार्डनेस वाढवतो.
2. मॅंगनीज (Mn):
  - i. मशीनिंग क्षमता सुधारतो.
  - ii. स्ट्रेंथ आणि टफनेस वाढवतो.
  - iii. ते फेराइटमध्ये विरघळते.
3. निकेल (Ni):
  - i. हे फेराईट चे सॉलिड सोल्युशन आहे.
  - ii. टेन्साइल सामर्थ्य आणि कठीणता वाढवतो.
  - iii. गंज प्रतिकारक्षमता वाढवतो.
  - iv. हे थर्मल विस्ताराचे गुणक कमी करते.
4. क्रोमियम (Cr):
  - i. हार्डनेबिलिटी वाढवतो.
  - ii. झीज प्रतिकार वाढवतो.
  - iii. हार्डनेस आणि गंज प्रतिकारक्षमता वाढवतो.
5. टायटॅनियम (Ti)
  - i. मजबूत कार्बाइड तयार करतो.
  - ii. हार्डनेबिलिटी वाढवतो.
6. मॉलिब्डेनम (Mo):
  - i. हार्डनेबिलिटी वाढवतो.
  - ii. ग्रेन्स ला बारीक करतो
  - iii. झीज प्रतिकार वाढवतो.
  - iv. उच्च तापमाना मधील हार्डनेस सुधारतो.

7. टंगस्टन (W):
  - i. हार्डनेबिलिटी वाढवतो.
  - ii. कार्बाइड तयार करतो.
  - iii. झीज प्रतिकार वाढवतो.
  - iv. हॉट हार्डनेस वाढवतो.
8. व्हॅनेडियम (V):
  - i. ग्रेन चे स्ट्रक्चर बारीक करतो
  - ii. हार्डनेबिलिटी वाढवतो.
  - iii. स्थिर कार्बाइड तयार करतो.
  - iv. झीज प्रतिकार वाढवतो.

iii. **टूल स्टील:** हे लोह आधारित अलॉय असून यामध्ये अलॉय घटक असल्याने त्यांचे गुणधर्म कार्बन स्टीलपेक्षा वेगळे असतात. हे स्टील्सच्या मोठ्या गटाशी संबंधित आहेत. इतर स्टील पेक्षा हिट ट्रीटमेंट केल्यावर ते स्ट्रेंथ, हार्डनेस आणि झीज प्रतिकार जास्त दाखवतात

1. **कोल्ड वर्क टूल स्टील:** जिथे ऑपरेटिंग तापमान  $200^{\circ}\text{C}$  ( $392^{\circ}\text{F}$ ) पेक्षा जास्त नसते अशा ठिकाणी वापरले जाते. त्यांच्या हाय हार्डनेस, झीज प्रतिकार आणि टफनेस मुळे ते कटिंग आणि फॉर्मिंग टूल तयार करण्यासाठी आदर्श बनतात. कटिंग आणि शेअरिंग साठी वापरले जाते.
2. **हॉट वर्क टूल स्टील:** जिथे ऑपरेटिंग तापमान सामान्यतः  $200^{\circ}\text{C}$  ( $392^{\circ}\text{F}$ ) पेक्षा जास्त असते, अशा ठिकाणी वापरले जाते. ते हिट सॉफ्टनिंग, थर्मल फटिंग आणि झीज यांना उत्कृष्ट प्रतिकार प्रदान करतात. हे उच्च-तापमानाच्या परिस्थितीत वापरले जाते.
3. **हाय स्पीड स्टील (HSS):** उच्च वेगात चालणाऱ्या, उच्च तापमानात ( $600^{\circ}\text{C}$  पेक्षा जास्त) देखील त्यांची हार्डनेस टिकवून ठेवणाऱ्या साधनांना कापण्यासाठी डिझाइन केलेले विशेष टूल स्टील्स. ड्रिल बिट्स, एंड मिल्स आणि मिलिंग कटरमध्ये वापरले जाते.

v. **स्टेनलेस स्टील:** हे लोह आधारित अलॉय आहेत ज्यात किमान 12% Cr असते, जे प्रदूषणरहित वातावरणात गंज तयार होण्यापासून रोखण्यासाठी आवश्यक असते. ते वातावरण आणि माध्यमांमध्ये गंज आणि ऑक्सिडेशनला अत्यंत प्रतिरोधक असतात. जेव्हा हे स्टील्स ऑक्सिडायझिंग वातावरणाच्या संपर्कात येतात तेव्हा क्रोमियमचे जलद ऑक्सिडायझेशन होते आणि हायड्रस क्रोमियम ऑक्साईडची पातळ फिल्म तयार होते, ही फिल्म निष्क्रिय असते, स्वतः रिपेअर करणारी असते आणि पुढील हानीला बळी पडत नाही.

Table 2.3

## प्रकार आणि ऑप्लिकेशन

अ. क्र.	स्टेनलेसचे स्टील प्रकार	ऑप्लिकेशन
1.	ऑस्टेनिटिक	स्वयंपाकघरातील उपकरणे, अन्न प्रक्रिया उद्योग, वैद्यकीय उपकरणे, हिट एक्सचेंजर्स, एअरोस्पेस, केमिकल टँक, पाईपिंग, मरीन इन्व्हरमेंट, एक्झॉस्ट सिस्टम, वैद्यकीय उपकरणे, हाय तापमान मध्ये उपयोग इ.
2.	फेरिटिक	सजावटीच्या वस्तू, ऑटोमोबाईल एक्झॉस्ट सिस्टम, हिट एक्सचेंजर्स, हाय तापमान मध्ये उपयोग, फर्नेस पार्ट्स.
3.	मार्टेन्सिटिक	कटलरी, सुरी, टर्बाईन ब्लेड, सर्जिकल उपकरणे, हाय वियर रेझिस्टन्स टूल्स, बॉल बेअरिंग, पंप, वाल्व, साचे.

v. स्प्रिंग स्टील: स्प्रिंग स्टील्स हे लवचिकता आणि लवचिकतेसाठी डिझाइन केलेले विशेष उच्च-शक्तीचे, उच्च-उत्पन्न देणारे स्टील्स आहेत. स्प्रिंग स्टील्स हे लवचिकता आणि लवचिकतेसाठी डिझाइन केलेले विशेष हाय स्ट्रेंथ आणि हाय यिल्ड देणारे स्टील्स आहेत. स्प्रिंग स्टीलचा वापर विविध प्रकारचे स्प्रिंग्ज आणि पार्ट तयार करण्यासाठी केला जातो.

**रचना:** C - 0.7 ते 1.0%, Mn - 0.2 ते 0.6%, Si - 0.1 ते 0.3%

### 1. स्प्रिंग स्टीलचे ऑप्लिकेशन

- 1) ऑटोमोबाईल व रेल्वे सस्पेंशन यंत्रणा
- 2) कॉइल स्प्रिंग्ज, स्टॅंबिलायझर बार आणि टॉर्शन बार.

vi. स्टील आणि त्यांच्या समतुल्य स्टीलची वैशिष्ट्ये

उत्पादकाची पद्धत, केमिकल रचना, हिट ट्रीटमेंट, यांत्रिक गुणधर्म, गुणवत्ता इत्यादी काही निकषांच्या आधारे स्टील्स स्पेसिफाय केले जातात. बहुतेक स्पेसिफिकेशन रासायनिक रचनेवर आधारित असतात कारण रासायनिक रचनेवरून कोणती हिट ट्रीटमेंट देणे योग्य आहे हे ठरवता येते. विशिष्ट सर्व्हिस आवश्यकतांसाठी बाजारात उपलब्ध असलेल्या स्टीलमधून योग्य प्रकारचे स्टील निवडण्यास स्पेसिफिकेशनचे ज्ञान देखील मदत करते.

A. इंडियन स्टॅण्डर्ड डेसिग्नेशन सिस्टिम:

ही सिस्टिम 1961 मध्ये इंडियन स्टॅण्डर्ड इन्स्टिट्यूशनने स्वीकारली. 1974 मध्ये हे स्टॅण्डर्ड दोन भागात सुधारित करण्यात आले. भाग 1 मध्ये स्टीलचे डेसिग्नेशन अक्षर चिन्हांवर आणि भाग 2 मध्ये अंकांवर आधारित स्टीलचे डेसिग्नेशन समाविष्ट आहे.

एक कोड सामान्यतः "Fe" किंवा "FeE" ने सुरू होतो आणि त्यानंतर कमीत कमी टेनसायील स्ट्रेंथ किंवा यिल्ड स्ट्रेंथ, नंतर अलॉय घटकांसाठी रासायनिक चिन्हे आणि शेवटी विशेष वैशिष्ट्ये दर्शविणारी चिन्हे येतात. कोड अक्षरे आणि संख्यांच्या कॉम्बिनेशनने स्टीलच्या गुणधर्मांचे वर्णन करतो.

1. प्रेफिक्स: "Fe" किंवा "FeE" - अनुक्रमे किमान टेंसाईल स्ट्रेंथ किंवा यील्ड स्ट्रेंथ आधारित स्टील स्पेसिफाय केले आहे की नाही हे सूचित करते
2. स्ट्रेंथ मूल्य: प्रेफिक्स नंतर असलेला अंक स्टीलचा किमान टेंसाईल स्ट्रेंथ किंवा यील्ड स्ट्रेस (N/mm<sup>2</sup>) दर्शवतो.
3. रासायनिक चिन्हे: स्टीलमध्ये उपस्थित अलॉय घटकांचे प्रतिनिधित्व करणारी अक्षरे.
4. विशेष वैशिष्ट्यपूर्ण चिन्हे: असे अतिरिक्त चिन्हे जे डीऑक्सिडेशन पद्धत (किल्ड स्टीलसाठी - K, रिमिंग स्टीलसाठी - R), वेल्डेबिलिटी, सरफेस फिनिश इत्यादी गुणधर्म दाखवतात.

**उदाहरणे:**

1. **Fe 400 K** – किमान 400 N/mm<sup>2</sup> टेंसाईल स्ट्रेंथ स्टील यालाच “किल्ड स्टील” असेही म्हणतात.
2. **FeE270** - किमान 270 N/mm<sup>2</sup> यील्ड स्ट्रेंथ असलेले स्टील
3. **35Ni1Cr60** - 0.30-0.40 C, 1.00-1.50 Ni, 0.60-0.90 Cr

**B. AISI/SAE डेसिग्नेशन सिस्टिम:**

अमेरिकन आयर्न अँड स्टील इन्स्टिट्यूट (AISI) आणि सोसायटी ऑफ ऑटोमोटिव्ह इंजिनिअर्स (SAE), लंडन यांच्याकडे स्टीलचे डेसिग्नेशन देण्याची जवळजवळ समान पद्धत आहे आणि ती स्टीलच्या रासायनिक रचनेवर आधारित आहे.

AISI/SAE स्टील डेसिग्नेशन सिस्टिम ही कार्बन आणि अलॉय स्टीलची रासायनिक रचना ओळखण्यासाठी चार-अंकी संख्या वापरते. ही प्रणाली उत्तर अमेरिकेत मोठ्या प्रमाणात वापरली जाते.

1. पहिले दोन अंक अलॉय घटक दर्शवतात.
2. शेवटचे दोन अंक किती कार्बन आहे हे दर्शवतात.
3. 1 म्हणजे कार्बन ग्रेड
4. 1 व्यतिरिक्त कोणतीही संख्या म्हणजे अलॉय स्टील

**1. AISI/SAE स्टील ग्रेडची उदाहरणे:**

1. **1010**: C-0.08 ते 0.13, Mn-0.30 ते 0.60 - प्लेन कार्बन स्टील
2. **1144**: C-0.40 ते 0.48, Mn-1.35 ते 1.65 - रिसल्फराइज्ड कार्बन (एखाद्या मटेरिअल वर सल्फरची ट्रीटमेंट केलेली आहे)
3. **4140**: C-0.38 ते 0.43, Mn- 0.75 ते 1.00, Cr- 0.80 ते 1.00, Mo-0.15 ते 0.25- क्रोमियम मॉलिब्डेनम स्टील

**C. ब्रिटिश स्टँडर्ड डेसिग्नेशन सिस्टिम :**

स्टीलच्या डेसिग्नेशनची ब्रिटिश सिस्टिम  $E_n$  सिरीज म्हणून ओळखली जाते ( $E_n$  म्हणजे ईमरजनसी क्रमांक, कारण ही प्रणाली दुसऱ्या महायुद्धाच्या ईमरजनसीच्या काळात विकसित करण्यात आली होती) स्टीलसाठी ब्रिटिश स्टँडर्ड डेसिग्नेशन सिस्टिममध्ये स्टील क्रमांक आणि स्टीलची नावे समाविष्ट आहेत.

**A. ब्रिटिश स्टँडर्ड डेसिग्नेशन सिस्टिमची उदाहरणे:**

1. EN 8 – हे एक मिडीयम कार्बन स्टील आहे ज्याला सामान्यतः अभियांत्रिकी ॲप्लिकेशन मध्ये वापरले जाते, जिथे माईल्ड स्टीलपेक्षा जास्त स्ट्रेंथ आणि टफनेस आवश्यक असतो. ते बहुतेकदा रोल केलेल्या, नॉर्मलाईझ किंवा हिट ट्रीटेड स्थितीत पुरवले जाते.  
(C-0.35 ते 0.45, Si-0.10 ते 0.40, Mn- 0.60 ते 1.00, P≤0.05, S≤0.05)

**TABLE 2.4****वेगवेगळ्या मेकॅनिकल कंपोनेंट साठीचे स्टील**

अ. क्र.	मेकॅनिकल कंपोनेंट	स्टीलचा प्रकार	अ. क्र.	मेकॅनिकल कंपोनेंट	स्टीलचा प्रकार
1.	शाफ्ट	माईल्ड स्टील, मीडियम कार्बन स्टील	8.	शेयर ब्लेड	हाय कार्बन स्टील, टूल स्टील.
2.	ॲक्सल	मालिइबल कास्ट आयर्न, मीडियम कार्बन स्टील	9.	शेतीची अवजारे	कास्ट आयर्न, स्टेनलेस स्टील, मालिइबल कास्ट आयर्न

अ. क्र.	मेकॅनिकल कंपोनंट	स्टीलचा प्रकार	अ. क्र.	मेकॅनिकल कंपोनंट	स्टीलचा प्रकार
3.	नट	निकेल, स्टेनलेस स्टील, मीडियम कार्बन स्टील	10.	घरातील भांडे	स्टेनलेस स्टील
4.	बोल्ट	स्टेनलेस स्टील्स, माईल्ड स्टील	11.	मशीन टूलचा बेड	ग्रे कास्ट आयर्न.
5.	लिव्हर	स्टेनलेस स्टील, टूल स्टील.	12.	कार बॉडी	स्टील, प्लास्टिक, फायबर ग्लास
6.	क्रॅकशाफ्ट	मालिइबल कास्ट आयर्न, माईल्ड स्टील	13.	अँटिफ्रिकशन बेअरींग	बॅबिटस, बेअरींग स्टील
7.	कॅमशाफ्ट	माईल्ड स्टील, लो आणि मेडीयम अलॉय स्टील	14.	गेअर	कार्बन स्टील, हार्डेण्ड स्टील अलॉय.

**2.3 कास्ट आयर्नचे प्रकार:** कास्ट आयर्न हे मुळात लोखंड आणि कार्बनचे अलॉय असतात ज्यामध्ये कार्बन 2.0 ते 6.67%. दरम्यान असतो. ते ठिसूळ असते परंतु कॉम्प्रेसिव्ह स्ट्रेंथमध्ये उत्कृष्ट असते.

- व्हाईट कास्ट आयर्न: हार्ड, झीज प्रतिकार करणारा, मिलच्या लायनिंग मध्ये वापरला जातो.
- ग्रे कास्ट आयर्न: चांगली मशीनिबिलिटी, इंजिन ब्लॉकमध्ये वापरला जातो.
- नोड्युलर (डक्टाइल) कास्ट आयर्न: हाय टफनेस, क्रॅकशाफ्टमध्ये वापरला जातो.
- मालिइबल कास्ट आयर्न: चांगला इम्पॅक्ट प्रतिकार करणारा, पाईप फिटिंगमध्ये वापरला जातो.

## 2.4 कास्ट आयर्नचे स्पेसिफिकेशन

ग्रे कास्ट आयर्न:

- FG200- ग्रे कास्ट आयर्न ज्याची टेंसाईल स्ट्रेंथ 200Mpa (N/mm<sup>2</sup>) आहे.
- FG300- ग्रे कास्ट आयर्न ज्याची टेंसाईल स्ट्रेंथ 300Mpa (N/mm<sup>2</sup>) आहे.

**Table 2.5**

### इंजिनीरिंग अँलिकेशनसाठी योग्य कास्ट आयर्नची निवड

अ. क्र.	कास्ट आयर्नचे प्रकार	अँलिकेशन
1.	ग्रे कास्ट आयर्न	इंजिन ब्लॉक्स, पाईप्स, मशीन च्या फ्रेम्स
2.	व्हाईट कास्ट आयर्न	रोल्स, क्रशरचे लायनर्स
3.	नोड्युलर (डक्टाइल) कास्ट आयर्न	ऑटोमोटिव्हचे भाग, पाईप्स आणि फिटिंग्स
4.	मालिइबल कास्ट आयर्न	शेतीच्या मशीन्स, ऑटोमोटिव्हचे भाग.
5.	कॉम्पॅक्टेड ग्रेफाइट आयर्न	डिझेल इंजिन ब्लॉक्स, हेवी-ड्युटी मशीनरी.

## 2.6 प्लेन व अलॉय स्टील यांची डेसिग्नेशन आणि कोडिंग (बीआयएस, एएसएमई, एन, डीआयएन, टीआयएस नुसार).

### a) कॉमन स्टॅंडर्ड्स:

- 1) BIS (ब्युरो ऑफ इंडियन स्टॅंडर्ड्स) - भारताचे राष्ट्रीय स्टॅंडर्ड .
- 2) ASME (अमेरिकन सोसायटी ऑफ मेकॅनिकल इंजिनिअर्स) - अमेरिकन इंडस्ट्री स्टॅंडर्ड
- 3) EN (युरोपियन नॉर्म्स) - युरोपातील मटेरियलचे स्टॅंडर्ड
- 4) DIN (जर्मन इन्स्टिट्यूट फॉर स्टॅंडर्डायझेशन)- यांत्रिक गुणधर्मासाठी जर्मन स्टॅंडर्ड .
- 5) TIS (थाई इंडस्ट्रियल स्टॅंडर्ड) - स्टील आणि आयर्न साहित्यासाठी थाई स्टॅंडर्ड .

### उदाहरणे:

1. BIS मध्ये, कार्बन स्टील ग्रेड IS: 2062 E250 म्हणून नियुक्त केले जातात, जेथे 'E' अभियांत्रिकी वापर दर्शवते आणि MPa मध्ये '250' हे मिनिमम यिल्ड स्ट्रेंथ आहे.
2. AISI/SAE सिस्टीम चार-अंकी कोड वापरते, जेथे पहिले दोन अंक अलॉयचे घटक दर्शवतात आणि शेवटचे दोन अंक कार्बन सामग्री दर्शवतात.  
उदाहरण: AISI 1045 (प्लेन कार्बन स्टील, 0.45% कार्बन).
3. युरोपियन नॉर्म (EN) स्टॅंडर्ड युरोपियन कमिटी फॉर स्टॅंडर्डायझेशन (CEN) द्वारे विकसित केली जातात आणि स्टील्स, नॉन-फेरस धातू आणि पॉलिमरसह साहित्य स्पेसिफाय करण्यासाठी संपूर्ण युरोपमध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरली जातात.  
उदाहरण: EN 10025 (स्ट्रक्चरल स्टील्स), EN 10084 (केस-हार्डनिंग स्टील)
4. DIN मानके जे अभियांत्रिकी आणि उत्पादनात वापरल्या जाणाऱ्या साहित्यांसाठी यांत्रिक गुणधर्म, रासायनिक रचना आणि चाचणी आवश्यकता डिफाइन करतात.  
उदाहरण: DIN 17100 (स्ट्रक्चरल स्टील्स), DIN 17210 (केस-हार्डनिंग स्टील)
5. थाई औद्योगिक स्टॅंडर्ड (TIS) थायलंडमधील उद्योग मंत्रालयाच्या अंतर्गत थाई औद्योगिक स्टॅंडर्ड संस्था (TISI) द्वारे जारी केली जातात. हे स्टॅंडर्ड स्टील, धातू, यंत्रसामग्री, विद्युत उपकरणे आणि बांधकाम साहित्यांचे रेग्युलेशन करतात, औद्योगिक ऑप्लिकेशन मध्ये गुणवत्ता आणि सुरक्षितता सुनिश्चित करतात.  
उदाहरण: TIS 50-2561 (स्ट्रक्चरल स्टील्स), TIS 51-2561 (रीइन्फोर्समेंट स्टील)

## 2.7 प्राचीन काळातील आयर्न आणि स्टीलचा उपयोग: (IKS)

### a) प्राचीन काळातील आयर्न आणि स्टील:

प्राचीन भारत त्याच्या प्रगत धातुकर्म तंत्रांसाठी ओळखला जात होता, ज्यामुळे औद्योगिकपूर्व काळात उच्च दर्जाचे आयर्न आणि स्टील तयार होत असे. दिल्ली लोखंडी स्तंभ: चौथ्या शतकातील गंज-प्रतिरोधक लोखंडी स्तंभ, जो गंज-प्रतिरोधक आयर्नचे प्रगत ज्ञान आहे.



Fig.2.1

Courtesy-[https://en.wikipedia.org/wiki/Iron\\_pillar\\_of\\_Delhi#/media/File:QutubIronPillar.JPG](https://en.wikipedia.org/wiki/Iron_pillar_of_Delhi#/media/File:QutubIronPillar.JPG)

### b) आयर्न आणि स्टील्सचे प्रकार (IKS)

1. मुंडा- हे कास्ट आयर्न आहे जे शेतीच्या साधनांसाठी वापरले जाते
2. तीक्ष्ण - हे कार्बन स्टील आहे जे शस्त्रांसाठी वापरले जाते
3. कांता - हे चुंबकीय आयर्न आहे जे विशिष्ट ॲप्लिकेशनसाठी वापरले जाते.

### Exercise

**TLO 2.1** दिलेल्या अनुप्रयोगासाठी संबंधित पोलाद निवडा आणि त्याचे न्यायसंगत स्पष्टीकरण द्या. (Select relevant steel for the given application with justification.)

1. ----- steel is best suited for making automobile axles?
  - a) Mild Steel
  - b) High Carbon Steel
  - c) Stainless Steel
  - d) Alloy Steel
 Answer: d) Alloy Steel
2. ----- element improves the corrosion resistance of steel?
  - a) Carbon
  - b) Chromium
  - c) Sulfur
  - d) Phosphorus
 Answer: b) Chromium
3. The main purpose of quenching steel is to:
  - a) Increase toughness
  - b) Increase hardness

c) Reduce weight

d) Improve machinability

Answer: b) Increase hardness

4. \_\_\_\_\_ steel is used in gear manufacturing

a) Mild Steel

b) High Carbon Steel

c) Stainless Steel

d) Spring Steel

Answer: b) High Carbon Steel

5. AISI 1020 steel is classified as:

a) Alloy Steel

b) Low Carbon Steel

c) Stainless Steel

d) Tool Steel

Answer: b) Low Carbon Steel

**TLO 2.2** दिलेल्या कार्यासाठी संबंधित कास्ट लोह जसे की पांढरे किंवा राखाडी कास्ट लोह निवडा आणि त्याचे न्यायसंगत स्पष्टीकरण द्या. (Select the relevant cast irons as white, gray cast iron for the given job with justification.)

6. \_\_\_\_\_ cast iron type is used in engine blocks

a) White Cast Iron

b) Grey Cast Iron

c) Malleable Cast Iron

d) Ductile Cast Iron

Answer: b) Grey Cast Iron

7. Cast iron with graphite flakes is called:

a) Grey Cast Iron

b) White Cast Iron

c) Malleable Cast Iron

d) Nodular Cast Iron

Answer: a) Grey Cast Iron

8. \_\_\_\_\_ property makes ductile iron suitable for automotive parts?

a) High hardness

b) High toughness

c) Low cost

d) High weight

Answer: b) High toughness

9. \_\_\_\_\_ is the carbon percentage in grey cast iron

a) 0.5-1.0%

b) 2.5-4.0%

c) 1.0-1.5%

d) 5.0-7.0%

Answer: b) 2.5-4.0%

10. ----- designation represents ductile iron in the BIS system?

a) FG 150

- b) SG 400/12
- c) AISI 1020
- d) EN8

Answer: b) SG 400/12

**TLO 2.3** दिलेल्या सामग्री नामांकने विश्लेषित करा. (Interpret the given material designations)

11. 'EN' stand for ----- in material designation?

- a) Engineering Number
- b) Equivalent Number
- c) European Norm
- d) Energy Norm

Answer: c) European Norm

12. In the AISI-SAE designation system, ----- first two digits represent in a four-digit steel code?

- a) Carbon content
- b) Alloying elements
- c) Heat treatment method
- d) Manufacturing process

Answer: b) Alloying elements

13. ----- is the purpose of material coding in steel selection?

- a) To reduce weight
- b) To standardize properties
- c) To increase cost
- d) To make manufacturing easier

Answer: b) To standardize properties

14. ----- standard is commonly used in India to designate steels?

- a) BIS
- b) ASME
- c) DIN
- d) EN

Answer: a) BIS

15. The designation IS 2062 E250 refers to:

- a) Cast iron grade
- b) Stainless steel type
- c) Structural steel with 250 MPa yield strength
- d) High-speed steel

Answer: c) Structural steel with 250 MPa yield strength

**TLO 2.4** दिलेल्या कास्ट लोहाच्या रचनेच्या गुणधर्मांची ओळख करा आणि त्याचे न्यायसंगत स्पष्टीकरण द्या.

(Identify the properties of the given composition of cast iron with justification)

16. ----- property of cast iron makes it suitable for engine blocks?

- a) High toughness
- b) High thermal conductivity
- c) High elasticity
- d) High electrical resistance

Answer: b) High thermal conductivity

17. ----- is the main difference between Gray and white cast iron?

- a) Carbon content
- b) Graphite structure
- c) Alloying elements
- d) Hardness

Answer: b) Graphite structure

18. Malleable cast iron is preferred for:

- a) Car bodies
- b) Pipe fittings
- c) Cutting tools
- d) Bearings

Answer: b) Pipe fittings

19. ----- property of nodular iron makes it superior to gray iron?

- a) Higher ductility
- b) Increased brittleness
- c) Lower cost
- d) Higher density

Answer: a) Higher ductility

20. The carbon in white cast iron is present as:

- a) Free graphite
- b) Cementite
- c) Ferrite
- d) Austenite

Answer: b) Cementite

### Unit 3 Non-Ferrous Materials and Powder Metallurgy

#### नॉन-फेरस मटेरियल्स आणि पावडर मेटलर्जी

**कोर्स परिणाम-3 (Course Outcomes-3)** - अभियांत्रिकी अनुप्रयोगासाठी संबंधित गैर-लोखंडी आणि पावडर सामग्री घटक निवडा. (Select relevant nonferrous & powder material components for the engineering application.)

**TLO 3.1-** दिलेल्या तांबे मिश्रधातू आणि अॅल्युमिनियम मिश्रधातूचे गुणधर्म आणि अनुप्रयोग वर्णन करा. (Describe the properties and applications of the given copper alloy & aluminium alloy.)

**TLO 3.2-** दिलेल्या बीयरिंग सामग्रीचे गुणधर्म आणि अनुप्रयोग वर्णन करा. (Describe the properties and applications of the given bearing material.)

**TLO 3.3-** निर्दिष्ट अनुप्रयोगासाठी संबंधित गैर-लोखंडी सामग्री निवडा आणि त्याचे न्यायसंगत स्पष्टीकरण द्या. (Select relevant non-ferrous material for the specified application with justification.)

**TLO 3.4-** विविध पावडर उत्पादन प्रक्रिया स्पष्ट करा. (Explain various powder manufacturing processes)

**3.1 नॉन-फेरस मटेरियल्स (धातू) चा परिचय** - नॉन-फेरस मटेरियल म्हणजे असे मटेरियल ज्यात आयर्न (Fe) हा मूळ घटक नसतो. नॉन-फेरस पदार्थांमध्ये आयर्न नसते. ते सामान्यतः हलके, गंज-प्रतिरोधक असून ते चुंबकीय (Magnetic) नसतात. ते वीज आणि उष्णतेचे चांगले वाहक असतात. उदाहरणे: अॅल्युमिनियम, कॉपर (तांबे), ब्रास (पितळ), ब्रॉन्झ (कांस्य), टायटॅनियम, झिंक (जस्त) आणि लीड (शिसे.) या प्रकरणात आपण फक्त कॉपर (Cu) आणि अॅल्युमिनियम (Al) हे दोन महत्वाच्या नॉन-फेरस पदार्थांचा अभ्यास करणार आहोत.

**कॉपर आणि त्याचे अलॉय** - कॉपर हा एक लालसर-तपकिरी, नॉन-फेरस मेटल आहे जो त्याच्या उच्च विद्युत आणि उष्णतेच्या वाहकतेसाठी ओळखला जातो.

कॉपर हा एक गंज-प्रतिरोधक, लवचिक, चुंबकीय नसलेला आणि पुनर्वापर करण्यायोग्य मेटल आहे. तसेच हा उत्कृष्ट विद्युत आणि उष्णतेचा वाहक असलेला मेटल आहे.

#### 3.1.2 कॉपर चे गुणधर्म

1. रंग: तांबूस-तपकिरी
2. मेलॉबिलिटी: सहज आकार देता येतो (न तुटता)
3. डक्टिलिटी: तारेच्या रूपात खेचता येतो
4. घनता: 8.96 g/cm<sup>3</sup>
5. मेल्टिंग पॉईंट (Melting Point): 1,085°C (1,984°F)
6. विद्युतवाहकता: उत्कृष्ट विद्युत वाहक
7. हीट कंडक्टिव्हिटी: उच्च हीट कंडक्टिव्हिटी
8. गंजरोधक क्षमता (Corrosion): संरक्षणात्मक हिरवट ऑक्साइड थर तयार होतो
9. रासायनिक प्रतिक्रिया : गंधक व ऑक्सिजनशी प्रतिक्रिया करतो, पण बहुतांश वातावरणात स्थिर राहतो
10. स्ट्रेंथ : सॉफ्ट आहे पण मिश्रधातू करून स्ट्रेंथ वाढवता येते.

#### 3.1.3 कॉपरचा उपयोग

1. इलेक्ट्रिकल वायरिंग: उत्कृष्ट विद्युतवाहक क्षमतेमुळे इलेक्ट्रिकल सर्किट आणि वायरिंगसाठी मोठ्या प्रमाणावर वापरला जातो.
2. प्लंबिंग (नळ प्रणाली): गंजरोधक क्षमतेमुळे पाणीपुरवठा व्यवस्थेमध्ये कॉपरच्या पाईपचा मोठ्या प्रमाणावर वापर केला जातो.

3. उष्णता विनिमायक (हीट एक्स्चेंजर): उच्च उष्णता वाहकतेमुळे हीट एक्स्चेंजर आणि रेडिएटर्समध्ये वापरला जातो.
4. नाणी: अनेक नाणी तांब्यापासून किंवा तांब्याच्या मिश्रधातूपासून बनवली जातात (उदा. पेनी).
5. दागदागिने: ब्रास किंवा ब्रॉन्झ यांसारख्या मिश्रधातूंमध्ये तांब्याचा उपयोग दागिन्यांच्या निर्मितीसाठी केला जातो.
6. इलेक्ट्रॉनिक्स: उत्कृष्ट वाहक गुणधर्मांमुळे कॉपरचा वापर मोबाईल फोन, संगणक, टेलिव्हिजन यांसारख्या इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांच्या निर्मितीत केला जातो.
7. बांधकाम: गंजरोधक आणि सौंदर्यदृष्ट्या आकर्षक असल्यामुळे छप्पर, गटार आणि पाईप यामध्ये कॉपरचा वापर केला जातो.
8. अलॉय: कॉपरला इतर मेटलसोबत मिसळून कांस्य (कॉपर + टीन) आणि पितळ (कॉपर + झिंक) यांसारख्या मिश्रधातू तयार केल्या जातात, ज्या यंत्रसामग्री आणि वाद्ये यांसारख्या विविध क्षेत्रांत वापरल्या जातात.
9. बॅटरी: रिचार्जेबल बॅटरी आणि इतर बॅटरी उत्पादनांमध्ये कॉपरचा वापर होतो.

### 3.1.4 कॉपरचे अलॉय (Alloys of Copper)

अलॉय म्हणजे कॉपरला एक किंवा अधिक मेटल किंवा घटकांसोबत मिसळून तयार केलेले नवीन मटेरियल. असे केल्यामुळे त्याच्या गुणधर्मांमध्ये सुधारणा किंवा बदल करता येतो. या मिश्रधातूंची निर्मिती मजबुती, गंजरोधक क्षमता, विद्युतवाहकता आणि इतर आवश्यक गुणधर्म वाढवण्यासाठी केली जाते. खाली कॉपरचे प्रमुख मिश्रधातू दिल्या आहेत

**3.1.5 ब्रास (पितळ) (Brass):** पितळ म्हणजे कॉपर आणि झिंक यांचे मिश्रण असलेला अलॉय आहे. काही वेळा त्यामध्ये शिसे (Lead) किंवा अन्य धातू थोड्या प्रमाणे मिसळले जातात. ब्रासमध्ये उत्तम गंजरोधक क्षमता असते आणि त्यामुळे ती प्लंबिंग, वाद्ये आणि सजावटीच्या वस्तूसाठी मोठ्या प्रमाणावर वापरली जाते.

#### A) मुंट्झ मेटल (Muntz Metal)

##### रासायनिक संरचना (Chemical Composition):

कॉपर (Cu): 60%

झिंक (Zn): 40%

##### गुणधर्म (Properties):

1. रंग: पिवळसर-सोनेरी, पितळासारखा दिसतो.
2. गंजरोधकता: विशेषतः समुद्री वातावरणात उत्कृष्ट गंजरोधक क्षमता असते.
3. मजबुती: शुद्ध कॉपरच्या तुलनेत अधिक मजबूत आणि उच्च तन्यबल (tensile strength) असते.
4. कार्यक्षमता: कोल्ड वर्किंग (Cold Working) प्रक्रिया करता येते आणि यंत्रांमध्येही सहज मशीनिंग करता येते, परंतु उच्च झिंक प्रमाणामुळे वेल्डिंग करणे कठीण असते.
5. डक्टिलिटी (Ductility): चांगली तन्यता असते, परंतु शुद्ध कॉपरच्या तुलनेत थोडी कमी असते.
6. वाहकता (Conductivity): शुद्ध कॉपरच्या तुलनेत मध्यम विद्युत आणि उष्णता वाहकता असते.
7. हार्डनेस (Hardness): शुद्ध कॉपरपेक्षा जास्त कठीण असल्यामुळे, घर्षण-प्रतिरोधक (wear-resistant) उपयोगासाठी चांगला आहे.

##### उपयोग (Applications):

1. जहाज बांधणी (Shipbuilding): जहाजांचे कवच (hulls), प्रोपेलर्स आणि समुद्री उपकरणे यासाठी वापरले जाते.

2. बांधकाम (Construction): दरवाजे, खिडक्या आणि छप्पर यासाठी उपयुक्त.
3. यंत्रसामग्री (Machinery): गीअर्स, बेअरिंग्स आणि औद्योगिक भागांमध्ये वापर केला जातो.
4. पाईप्स आणि फिटिंग्ज (Pipes and Fittings): प्लंबिंग आणि समुद्री वातावरणातील पाईप्ससाठी योग्य.
5. उष्णता विनिमायक (Heat Exchangers): उष्णता हस्तांतरण प्रणालींमध्ये (Heat Transfer Systems) वापरला जातो.

### B) ग्लायडिंग मेटल (Gliding Metal)

रासायनिक संरचना (Chemical Composition):

कॉपर (Cu): 95%

झिंक (Zn): 5%

#### गुणधर्म (Properties):

1. सॉफ्ट आणि लवचिक (Soft and malleable)
2. सोन्यासारखा दिसणारा सुवर्ण रंग (Golden appearance)
3. चांगली गंजरोधकता (Good corrosion resistance)
4. सुलभ प्रक्रिया (Easy to work with) – सहजपणे आकार देऊ शकतो.
5. मध्यम मजबूती आणि टिकाऊपणा (Moderate strength and durability)

#### उपयोग (Applications):

1. सजावटीचे काम (Ornamental Work): पुतळे आणि फ्रेम्सवर सजावटीच्या कोटिंगसाठी वापरले जाते.
2. दागिने (Jewellery): सोन्याचा मुलामा असलेल्या वस्तूंसाठी बेस मेटल म्हणून वापरले जाते.
3. नाणी आणि पदके (Coins and Medals): काही स्मारक नाणी आणि पदके तयार करण्यासाठी वापरले जाते.
4. वास्तुशिल्पीय सजावट (Architectural Decoration): दरवाजे, छत आणि भिंतींच्या पॅनेलसाठी वापरले जाते.

**3.1.6 ब्रॉन्झ (कांस्य):** कॉपर आणि टिन यांचा मिश्रधातू असून, त्यामध्ये काहीवेळा फॉस्फरस, अॅल्युमिनियम किंवा सिलिकॉन यांसारखी इतर घटक सुद्धा असतात. हे मजबूत, गंजरोधक असून नाणी, पुतळे आणि यंत्राच्या विविध भागांमध्ये वापरले जाते

### A) टिन ब्रॉन्झ (Tin Bronze)

रासायनिक संरचना (Chemical Composition):

• कॉपर (Cu): 80-90%

• टिन (Sn): 5-15%

• इतर घटक (जस्त, फॉस्फरस, शिसे इ.): विशिष्ट गुणधर्मासाठी कमी प्रमाणात टाकले जातात.

#### गुणधर्म (Properties):

1. मजबूत आणि गंजरोधक
2. चांगली वियर रेसिस्टंट आणि टफनेस
3. फटीग स्ट्रेंथ (Fatigue Strength)
4. मशीनवर काम करण्यासाठी उत्कृष्ट (विशेषतः शिसेयुक्त टिन ब्रॉन्झसाठी)
5. चांगली उष्णता आणि विद्युत वाहकता

#### उपयोग (Applications):

1. बेरिंग्स आणि बुशिंग्स: कमी घर्षण आणि उच्च झीज प्रतिरोधकतेमुळे यंत्रसामग्रीत वापरले जाते.

2. गिअर्स आणि वाल्व्ह: उच्च ताकद आणि गंजरोधक घटकांसाठी उपयुक्त.
3. समुद्री उपकरणे: जहाजाचे प्रॉपेलर, पंप आणि फिटिंग्जसाठी वापरले जाते.
4. शिल्प आणि पुतळे: ऐतिहासिक तसेच आधुनिक शिल्पांमध्ये टिकाऊपणा येण्यासाठी आणि सौंदर्यासाठी वापर.
5. विद्युत घटक: कनेक्टर्स आणि स्विचेसमध्ये चांगल्या विद्युतवाहकतेसाठी वापरले जाते.

### B) फॉस्फर ब्रॉन्झ (Phosphor Bronze)

#### रासायनिक संरचना (Chemical Composition):

- कॉपर (Cu): 85-95%
- टिन (Sn): 2-10%
- फॉस्फरस (P): 0.01-0.35%

#### गुणधर्म (Properties):

1. स्ट्रेंथ आणि टफनेस
2. उत्कृष्ट झीज प्रतिरोधकता आणि गंजरोधकता
3. कमी घर्षण आणि जास्त फटींग स्ट्रेंथ
4. चांगली विद्युत वाहकता
5. मशीनवर आकार देण्यास सोपे

#### उपयोग (Applications):

1. विद्युत स्प्रिंग्स (Electrical Springs): स्विच, रिले आणि कनेक्टर्समध्ये वापरले जाते.
2. बेरिंग्स आणि बुशिंग्स (Bearings & Bushings): जड भार सहन करणाऱ्या यंत्रांसाठी उत्तम.
3. गिअर्स आणि वाल्व्ह (Gears & Valves): औद्योगिक आणि सागरी यंत्रसामग्रीत वापरले जाते.
4. संगीत वाद्ये (Musical Instruments): गिटारच्या तारा आणि वाद्यांसाठी वापरले जाते.
5. वाहनाचे सुटे भाग (Automobile Parts): क्लच डिस्क आणि इंजिनच्या घटकांमध्ये वापरले जाते.

### C) गन मेटल (Gun Metal)

#### रासायनिक संरचना (Chemical Composition):

- कॉपर (Cu): 85-88%
- टिन (Sn): 8-10%
- झिंक (Zn): 2-5%
- लीड (Pb): थोड्या प्रमाणात (ऐच्छिक)

#### गुणधर्म (Properties):

1. मजबूत आणि कोरोजन रेसिस्टंट
2. उच्च वियर रेसिस्टंट
3. उत्कृष्ट कास्टिंग आणि मशीनवर काम करण्यासाठी चांगला
4. वाफ आणि पाण्यामुळे होणाऱ्या गंजापासून संरक्षण
5. टफ आणि टिकाऊ (Tough and Durable)

#### उपयोग (Applications):

1. गिअर्स आणि बेरिंग्स (Gears & Bearings): यंत्रसामग्रीत टिकाऊपणासाठी वापरले जाते.
2. पाईप्स आणि वाल्व्ह (Pipes & Valves): वाफ आणि हायड्रॉलिक प्रणालींसाठी वापरले जाते.
3. सागरी उपकरणे (Marine Equipment): प्रॉपेलर, पंप आणि जहाजातील उपकरणांसाठी योग्य.

4. शिल्पे आणि सजावटीच्या वस्तू (Statues & Ornaments): शिल्पकला आणि शोभेच्या वस्तूसाठी वापरले जाते.

#### D) क्युप्रो-निकेल (Cupro-Nickel - कॉपर -निकेल अलॉय)

रासायनिक संरचना (Chemical Composition):

- कॉपर (Cu): 70-90%
- निकेल (Ni): 10-30%
- इतर घटक (लोखंड, मॅंगनीज): कमी प्रमाणात, अधिक मजबुती व गंजरोधकतेसाठी

#### गुणधर्म (Properties):

1. विशेषतः समुद्री पाण्यात उत्कृष्ट गंजरोधकता
2. उच्च मजबुती व टिकाऊपणा
3. उत्तम उष्णता आणि विद्युतवाहकता
4. नॉन मॅग्नेटिक (Non-magnetic)
5. जैविक झीज आणि वियर रेसिस्टंट

#### उपयोग (Applications):

1. सागरी उद्योग (Marine Industry): जहाजांचे कवच, प्रोपेलर, आणि समुद्री पाण्याच्या पाइपिंगमध्ये वापरले जाते.
2. नाणी (Coinage): टिकाऊपणा आणि गंजरोधकतेमुळे नाणी बनवण्यासाठी वापरले जाते.
3. हिट एक्सचेंजर आणि कंडेन्सर (Heat Exchangers & Condensers): इंडस्ट्रियल कूलिंग सिस्टमसाठी वापरले जाते.
4. ऑटोमोबाईल उद्योग (Automobile Industry): ब्रेक ट्यूबिंग आणि इंधन वाहिन्यांसाठी (Fuel Lines) वापरले जाते.
5. वैद्यकीय उपकरणे (Medical Equipment): जैवसंगततेमुळे (Biocompatibility) इम्प्लांट्स आणि शस्त्रक्रियेसाठी आवश्यक उपकरणांमध्ये वापरले जाते.

### 3.2 प्राचीन भारतात कॉपरचा उपयोग आणि ऋग्वेदातील उल्लेख (भारतीय ज्ञान प्रणाली - IKS)

#### 3.2.1 प्राचीन भारतातील कॉपरचा उपयोग:

1. सर्वात प्राचीन वापरलेले धातू: कॉपर हे प्राचीन भारतात मानवी उपयोगासाठी वापरण्यात आलेल्या पहिल्या धातूमध्ये होते. त्याचा वापर Chalcolithic युग (तांबे- दगड युग) काळात, सुमारे 3000 BCE पासून केला जात होता.
2. हडप्पा संस्कृती (2500-1500 BCE): कॉपरचे हत्यारे, साधने आणि दागिने रोजच्या जीवनात मोठ्या प्रमाणावर वापरले जात होते.
3. वैद्यकीय उपयोग (आयुर्वेद): चरक संहिता सारख्या प्राचीन ग्रंथांमध्ये कॉपरच्या जंतूनाशक गुणधर्माचा उल्लेख आहे, विशेषतः पाणी साठवणे व शुद्ध करण्यासाठी.
4. धार्मिक व विधी उपयोग: कॉपर होम (यज्ञ), पूजाविधीतील भांडी आणि धार्मिक शिलालेखांमध्ये वापरले जात असे.
5. नाणी व व्यापार: प्राचीन भारतीय राजांनी व्यापार आणि आर्थिक व्यवहारासाठी कॉपरची नाणी वापरली.

#### 3.2.2 ऋग्वेदातील कॉपरचा उल्लेख: ऋग्वेद (1500-1000 BCE) हा भारतातील सर्वात प्राचीन ग्रंथ आहे. यात कॉपरला "आयस" (धातू) म्हणून संबोधले आहे. ऋग्वेद भिन्न धातूंची नावे वेगवेगळ्या प्रकारे नमूद करतो:

- a. "श्याम आयस" (काळी धातू) → लोह (Iron)

b. "रक्त आयस" (लाल धातू) → कॉपर (Copper)

काही ऋचांमध्ये तांब्याचा उपयोग हत्यारे, दागिने आणि हत्यारांसाठी केल्याचे वर्णन आहे.

काही संदर्भानुसार औषधोपचार आणि शुद्धिकरण विधींमध्ये तांब्याचा वापर केला जात असे.

### 3.3 अॅल्युमिनियम अलॉय (Aluminium Alloys)

#### A) Y अलॉय (Y Alloy)

##### रासायनिक संरचना:

- अॅल्युमिनियम (Al) – मूलभूत धातू
- कॉपर (Cu) – 4%
- निकेल (Ni) – 2%
- मॅग्नेशियम (Mg) – 1.5%
- फेरस (Fe) – अल्प प्रमाणात (अशुद्धी म्हणून)

##### उपयोग :

1. विमान उद्योग: उष्णतारोधक गुणधर्मांमुळे विमानाच्या इंजिन भागांमध्ये वापर केला जातो.
2. ऑटोमोबाईल उद्योग: पिस्टन हेड्स आणि सिलेंडर हेड्समध्ये वापर केला जातो.
3. लष्करी उपकरणे: उच्च कार्यक्षमतेसाठी आणि उष्णता प्रतिकारासाठी वापरला जातो.
4. उच्च तापमानात उपयोग : जिथे सामान्य अॅल्युमिनियम मिश्रधातू कमकुवत होतात, अशा ठिकाणी वापरला जातो.

#### B) हिंदॅलियम (Hindalium)

##### रासायनिक संरचना:

- अॅल्युमिनियम (Al): 96-98%
- मॅग्नेशियम (Mg): 0.3-0.7%
- मॅंगनीज (Mn): 0.2-0.5%
- सिलिकॉन (Si), फेरस (Fe), कॉपर (Cu): अल्प प्रमाणात

##### उपयोग:

1. स्वयंपाकघरातील भांडी: प्रेशर कुकर, भांडी आणि तवे
2. गृहउपयोगी वस्तू: ताटे, ट्रे आणि स्टोरेज कंटेनर्स
3. विद्युत उद्योग: वायर आणि कंडक्टर्स
4. ऑटोमोबाईल उद्योग: हलक्या वजनाच्या घटकांसाठी वापर

#### C) ड्युरालुमिन (Duralumin / Duralium)

##### रासायनिक संरचना:

- अॅल्युमिनियम (Al): 90-94%
- कॉपर (Cu): 3.5-5%
- मॅग्नेशियम (Mg): 0.5-1%
- मॅंगनीज (Mn): 0.3-1%

##### उपयोग:

1. विमान उद्योग: विमान संरचना आणि फ्रेम्स
2. ऑटोमोबाईल उद्योग: कारच्या बॉडी पॅनेल्स आणि इंजिन भाग
3. रेल्वे: उच्च-गती रेल्वेच्या घटकांमध्ये वापर

4. क्रीडा उपकरणे: सायकल फ्रेम आणि रेसिंग बोट्स
5. समुद्री उद्योग: बोट आणि जहाजांच्या संरचनेसाठी वापर

**3.4 बेअरिंग मटेरियल्स (Bearing Materials)** बेअरिंग हे फिरणाऱ्या किंवा घसरत्या भागांमधील फ्रिक्शन कमी करण्यासाठी आणि लोड ला सपोर्ट करण्यासाठी वापरले जातात. बेअरिंगसाठी वापरण्यात येणाऱ्या मेटलमध्ये उच्च स्ट्रेंथ, घर्षणरोधकता (Wear Resistance) आणि कमी फ्रिक्शन हे गुणधर्म असणे आवश्यक आहे.

#### A) व्हाइट मेटल्स (टिन-आधारित बाबिट मेटल)

रासायनिक संरचना:

- टिन (Sn): 80-90%
- अँटीमनी (Sb): 5-15%
- कॉपर (Cu): 3-7%
- लीड (Pb): काहीवेळा कमी प्रमाणात असते

#### गुणधर्म:

1. कमी घर्षण: बेअरिंगच्या घासण्यामुळे होणारे नुकसान कमी होते.
2. उच्च एम्बेडेबिलिटी (Embeddability): धूळ आणि लहान कण शोषून घेण्याची क्षमता.
3. उत्तम कॉन्फॉर्मिबिलिटी (Conformability): शाफ्टमध्ये काही चुकीची अलाइनमेंट असेल तरी ते ऍडजस्ट करते
4. उत्कृष्ट गंजरोधक: दमट वातावरणातही टिकाऊ.
5. सॉफ्ट पण मजबूत: लोड घेण्याची क्षमता व फ्रिक्शन यांच्यामध्ये बॅलन्स ठेवते

#### उपयोग:

1. स्टीम टर्बाईन आणि इंजिन बेअरिंग
2. ऑटोमोबाईल इंजिन बेअरिंग (क्रॅकशाफ्ट आणि कॅमशाफ्ट बेअरिंग)
3. औद्योगिक यंत्रसामग्रीतील बेअरिंग्स
4. रेल्वे लोकोमोटिव्ह बेअरिंग्स
5. समुद्री इंजिन बेअरिंग्स

**B) पोरस सेल्फ लुब्रिकेशन (Porous Self-Lubricating) बेअरिंग्स** - ही बेअरिंग्स पोरस (सच्छिद्र) (porous) मेटलनी बनवलेली असतात, ज्या आत स्वतः ल्यूब्रिकेंट साठवून ठेवतात आणि ऑपरेशन दरम्यान हळूहळू ते सोडतात. त्यामुळे त्यांना बाह्य लुब्रिकेशनची गरज लागत नाही.

#### वापरण्यात येणारी सामग्री:

1. सिंटरड ब्राँझ: पोरस रचना असलेली सर्वाधिक वापरली जाणारी सामग्री.
2. कॉपरचे अलॉय: सच्छिद्र बनवण्यासाठी वापरले जातात.
3. संमिश्र पदार्थ (PTFE-आधारित): मेटलच्या कणांशी मिसळलेले पॉलिमर, जे टिकाऊपणा आणि लुब्रिकेशन देतात.

#### गुणधर्म:

1. स्वतः लुब्रिकेशन करणारे: या बेअरिंगमध्ये स्वतःच्या पोरस रचनेतून लुब्रिकेशन सोडण्याची क्षमता असते.
2. कमी घर्षण: फिरणाऱ्या भागांमध्ये कमी घर्षण होते.
3. उच्च भार क्षमता: हे बेअरिंग जड भार सहन करू शकतात.

4. गंजरोधक: सहज गंजत नाहीत आणि दीर्घकाळ टिकतात.
5. वियर रेसिस्टंट: स्वतः लुब्रिकेशन केल्यामुळे अधिक टिकाऊ.

#### उपयोग:

1. ऑटोमोबाईल्स: क्रॅकशाफ्ट आणि कॅमशाफ्टसाठी जिथे सेल्फ लुब्रिकेशन कठीण असते.
2. हेवी (जड) मशिनस: खाणकाम आणि बांधकाम यंत्रांमध्ये वापर.
3. समुद्री उपकरणे: जहाजाच्या इंजिनमध्ये, जिथे पाणीच एकमेव लुब्रिकेशन असते.
4. विमान उद्योग: हलके, मजबूत आणि कमी देखभाल लागणारे भाग बनवण्यासाठी.
5. अन्न आणि वैद्यकीय उपकरणे: स्वच्छता आवश्यक असलेल्या ठिकाणी सुरक्षित वापर.

**3.5 पावडर मेटॅलर्जी (Powder Metallurgy)**- पावडर मेटॅलर्जी ही एक प्रक्रिया आहे, ज्यामध्ये मेटलच्या पावडरचा वापर करून धातूचे भाग तयार केले जातात. या प्रक्रियेत मेटलच्या पावडरला कॉम्प्रेस (compress) करून हवा तसा आकार दिला जातो आणि नंतर त्या भागांना तापवून (सिंटरिंग) (sintering) करून वस्तू बनविल्या जातात.

#### पावडर मेटॅलर्जीचे फायदे:

1. कॉम्प्लेक्स आकार तयार करणे (Complex Shapes): इतर पारंपरिक पद्धतींनी कठीण असणारे गुंतागुंतीचे आकार सहज तयार करता येतात.
2. कमी अपव्यय (Less Waste): आवश्यकते इतकाच कच्चा माल वापरला जातो, त्यामुळे सामग्रीचा अपव्यय कमी होतो.
3. उच्च अक्युरसि (High Accuracy): तयार झालेले भाग अत्यंत अचूक परिमाणांचे असतात, त्यामुळे अतिरिक्त फिनिशिंगची गरज कमी होते.
4. मोठ्या प्रमाणावर उत्पादनासाठी किफायतशीर (Cost-Effective for Mass Production): मोठ्या संख्येने भाग तयार करण्यासाठी ही प्रक्रिया किफायतशीर आहे.
5. विशेष गुणधर्मांची निवड (Tailored Properties): घटकांची स्ट्रेंथ, हार्डनेस आणि इतर गुणधर्म आवश्यकतेनुसार समायोजित करता येतात.
6. नियंत्रित पोरोसिटी (Controlled Porosity): अत्यंत बारीक छिद्र असलेले भाग तयार करता येतात, जे गाळण्याच्या (filters) किंवा लुब्रिकेशनच्या (self-lubricating) घटकांसाठी उपयुक्त असतात.
7. ऊर्जेची बचत (Energy Efficient): पारंपरिक उत्पादन प्रक्रियांपेक्षा कमी ऊर्जा वापरली जाते.
8. कमी यांत्रिक प्रक्रिया (Minimal Machining): तयार झालेले भाग अतिरिक्त फिनिशिंग करण्याची गरज पडत नाही.
9. विविध मेटल आणि अलॉय साठी उपयुक्त (Wide Material Range): विविध प्रकारच्या मेटल आणि अलॉय साठी ही प्रक्रिया वापरता येते.
10. पर्यावरणपूरक प्रक्रिया (Eco-Friendly): कचरा आणि ऊर्जा वापर कमी असल्यामुळे पर्यावरणास अनुकूल.

#### पावडर मेटॅलर्जी (Powder Metallurgy - PM) च्या मर्यादा:

1. फक्त लहान भागांसाठी उपयुक्त (Small Parts Only): मोठ्या आकाराच्या भागांसाठी योग्य नाही.
2. मटेरियलच्या मर्यादा (Material Restrictions): सर्व मेटल पावडर स्वरूपात सहज उपलब्ध होत नाहीत किंवा कार्यक्षम नसतात.

3. सुरुवातीचा अधिक खर्च (High Setup Cost): उपकरणे आणि साचे महाग असतात, त्यामुळे सुरुवातीचा खर्च जास्त असतो.
4. पोरोसिटी समस्या (Porosity Problems): तयार भागांमध्ये सूक्ष्म छिद्रे असू शकतात, जे त्यांची स्ट्रेंथ कमी करू शकतात.
5. कमी स्ट्रेंथ (Lower Strength): कास्टिंग किंवा फोर्जिंगसारख्या पद्धतींनी बनवलेल्या भागांइतकी ताकद नसते.
6. अतिरिक्त प्रक्रिया आवश्यक (Extra Processing Needed): काही भागांना अतिरिक्त प्रक्रिया, जसे की मशीनिंग, करावी लागू शकते.
7. क्वालिटी मधील चढ-उतार (Quality Variations): मेटलच्या पावडरच्या गुणवत्तेवर अंतिम उत्पादनाची गुणवत्ता अवलंबून असते.
8. अलॉयचे मिश्रण (Alloy Challenges): काही अलॉय पावडर स्वरूपात तयार करणे कठीण असते किंवा PM प्रक्रियेसाठी योग्य नसतात.

### पावडर मेटॅलर्जी (Powder Metallurgy - PM) चे उपयोग:

1. ऑटोमोबाईल उद्योग (Automotive Industry): इंजिनचे गिअर्स, बुशिंग्स, आणि पिस्टन तयार करण्यासाठी. घर्षण कमी करण्यासाठी वेगवेगळ्या वाहन भागांमध्ये वापरले जाणारे बिअरिंग्स.
2. एअरोस्पेस (Aerospace): हलके आणि उच्च-ताकदीचे भाग जसे की टर्बाइन ब्लेड्स, गिअर्स, आणि संरचनात्मक भाग.
3. इलेक्ट्रॉनिक्स (Electronics): ट्रान्सफॉर्मर्स, इंडक्टर्स, आणि सेन्सर्ससाठी वापरण्यात येणारी मॅग्नेटिक सामग्री.
4. औद्योगिक टूल्स (Industrial Tools): टिकाऊपणा आणि अचूकता आवश्यक असलेल्या कटिंग टूल्स, ड्रिल्स, आणि डायज तयार करण्यासाठी.
5. वैद्यकीय क्षेत्र (Medical): सांध्यांचे प्रत्यारोपण आणि दातांचे पार्ट यांसाठी टायटॅनियमसारख्या मेटलनी बनवलेले इम्प्लांट्स.
6. गृह उपकरणे (Home Appliances): मोटर शाफ्ट्स, गिअर्स, आणि घरगुती इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांमधील छोटे भाग.
7. हार्डवेअर (Hardware): फास्टनर्स, स्प्रिंग्स, आणि कुलूप यांसारखे छोटे भाग तयार करण्यासाठी.

### पावडर मेटॅलर्जी (PM) साठी मूलभूत प्रक्रिया

पावडर उत्पादन (Powder Production):

- 1) पावडर तयार करणे: मेटलला अतिसूक्ष्म कणांमध्ये रूपांतरित करण्यासाठी ऍटोमिझेशन (Atomization), ग्राइंडिंग (Grinding), किंवा केमिकल रिडक्शन (Chemical Reduction) यासारख्या पद्धती वापरल्या जातात. मेटलच्या ब्रिटल भागांना वेगवेगळ्या पद्धतींनी बारीक करून पावडर तयार केली जाते.
  - a) ऍटोमायझेशन (Atomization): वितळलेला मेटल उच्च प्रेशरने गॅस किंवा पाण्याचा वापर करून लहान थेंबांमध्ये फवारला जातो. हे थेंब गार होऊन ब्रिटल मेटलच्या पावडरमध्ये रूपांतरित होतात.

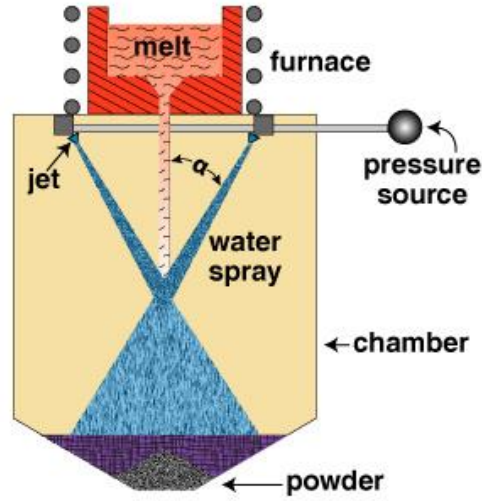


Fig. 3.1  
अॅटोमायझेशन

(Image Courtesy - The Metal Powder Industries Federation)

- b) मेकॅनिकल क्रशिंग (Mechanical Crushing): सॉलिड मेटल मेकॅनिकल पद्धतींनी जसे कि मिलिंग (Milling) किंवा ग्राइंडिंग (Grinding) करून बारीक पावडरमध्ये बदलला जातो.
- 2) मिक्सिंग किंवा ब्लेंडिंग (Mixing or Blending): मेटलची पावडर इतर पदार्थांसह (जसे की लुब्रीकंट, अलॉय) मिसळली जाते. यामुळे पावडरचा एकसंधपणा वाढतो आणि अंतिम प्रॉडक्टच्या गुणधर्मांमध्ये सुधारणा होते.
- 3) कॉम्पॅक्टिंग (Compacting): मिश्रित पावडर साच्यात (मोल्ड) भरली जाते आणि उच्च प्रेशर दिला जातो. त्यापासून एक पूर्णपणे सॉलिड नसलेला पण साच्याचा आकार असलेला पार्ट तयार होतो त्याला "ग्रीन पार्ट" असे म्हणतात.

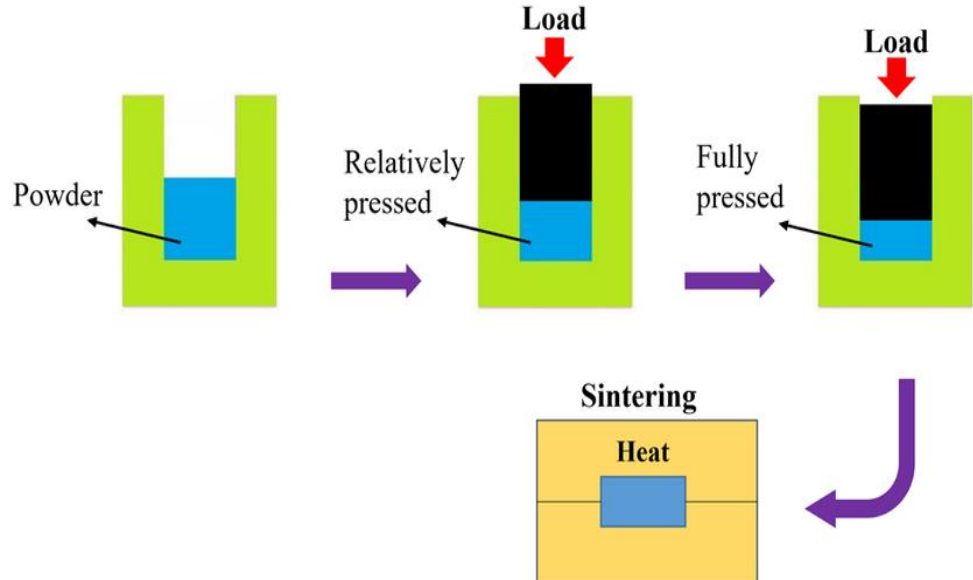


Fig. 3.2  
कॉम्पॅक्टिंग

4) **सिंटरिंग (Sintering):** "ग्रीन पार्ट" भट्टीत गरम केला जातो, पण मेटलच्या वितळण्याच्या (Melting Point) तापमानापेक्षा कमी तापमानावर गरम केला जातो. यामुळे पावडर कण एकमेकांना चिकटतात आणि एक मजबूत, घन पार्ट तयार होतो.

5) **सायझिंग किंवा इम्प्रेगेशन (Sizing or Impregnation):**

सायझिंग: जर आवश्यक असेल, तर सिंटरिंगनंतर भागाला पुन्हा प्रेशर दिला जातो जेणेकरून त्याच्यामध्ये अचूकता येईल .

इम्प्रेगेशन: ज्या पार्टना पोरोसिटी (Porosity) किंवा सेल्फ लुब्रिकेशन (Self-Lubrication) आवश्यक आहे, त्यामध्ये ऑइल किंवा रेझिन (Resin) भरण्यात येते, ज्यामुळे त्यांची कार्यक्षमता वाढते.

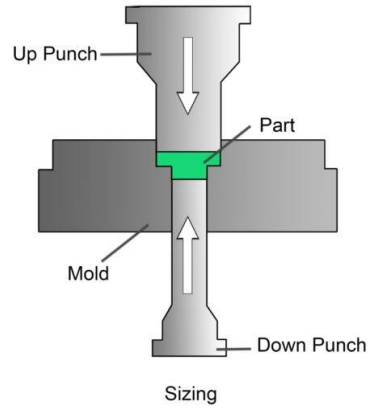


Fig. 3.3  
सायझिंग

(Courtesy - powdermetallurgy.com)

6) **चाचणी आणि तपासणी (Testing and Inspection):** अंतिम उत्पादनाची कठोर चाचणी आणि तपासणी केली जाते. त्याची स्ट्रेंथ (Strength), डेंसिटी (Density), आणि इतर गुणधर्म आवश्यक निकषांनुसार आहेत की नाही, हे तपासले जाते. यामध्ये डायमन्शन ची तपासणी (Dimensional Checks), मेकॅनिकल टेस्टिंग (Mechanical Testing), आणि सर्फेस अॅनालीसीस (Surface Analysis) यांचा समावेश असतो.

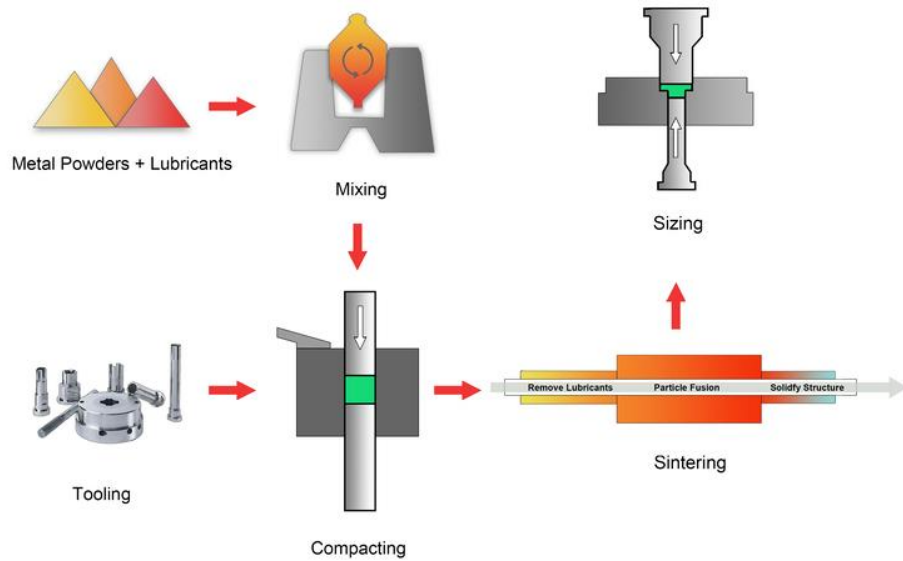


Fig. 3.4  
Powder Metallurgy Process

**Exercise:**

**TLO 3.1** दिलेल्या तांबे मिश्रधातू आणि अॅल्युमिनियम मिश्रधातूचे गुणधर्म आणि अनुप्रयोग वर्णन करा. (Describe the properties and applications of the given copper alloy & aluminium alloy.)

1. Following is NOT a characteristic of non-ferrous metals.

- A) Corrosion resistance
- B) High electrical conductivity
- C) Magnetic properties
- D) Lightweight

Answer: C) Magnetic properties

2. Copper widely used in electrical wiring because .....

- A) It has high density and strength
- B) It is non-magnetic and lightweight
- C) It has excellent electrical conductivity
- D) It reacts quickly with oxygen and sulfur

Answer: C) It has excellent electrical conductivity

3. .... is the primary element added to copper to form brass?

- A) Tin
- B) Zinc
- C) Nickel
- D) Phosphorus

Answer: B) Zinc

4. .... is improved in phosphor bronze due to the addition of phosphorus.

- A) Electrical conductivity
- B) Hardness and wear resistance
- C) Density
- D) Malleability

Answer: B) Hardness and wear resistance

5. .... is a typical composition of Gun Metal.

- A) 88% Copper, 10% Tin, 2% Zinc
- B) 70% Copper, 30% Zinc
- C) 80% Copper, 20% Aluminium
- D) 95% Copper, 5% Lead

Answer: A) 88% Copper, 10% Tin, 2% Zinc

**TLO 3.2** दिलेल्या बीयरिंग सामग्रीचे गुणधर्म आणि अनुप्रयोग वर्णन करा. (Describe the properties and applications of the given bearing material)

1. .... is a primary component in white metals (tin-based Babbitt metal).

- A) Copper (Cu)
- B) Tin (Sn)
- C) Lead (Pb)
- D) Zinc (Zn)

Answer: B) Tin (Sn)

2. Porous self-lubricating bearings are mainly characterized by.....

- A) Require external lubrication
- B) High friction
- C) Release their own lubrication from tiny pores
- D) Low load capacity

Answer : C) Release their own lubrication from tiny pores

3. .... is used for porous self-lubricating bearings.

- A) Sintered bronze
- B) Stainless steel
- C) Aluminium alloy
- D) Carbon fibre

Answer : C) Aluminium alloy

4. .... is the chemical composition range of tin (Sn) in white metals (tin-based Babbitt metal).

- A) 70-80%
- B) 80-90%
- C) 50-60%
- D) 90-100%

Answer: B) 80-90%

5. ----- makes porous self-lubricating bearings ideal for applications in harsh environments like marine engines?

- A) They are light in weight
- B) They require external lubrication
- C) They are corrosion-resistant and provide their own lubrication
- D) They have high electrical conductivity

Answer : C) They are corrosion-resistant and provide their own lubrication

**TLO 3.3** निर्दिष्ट अनुप्रयोगासाठी संबंधित गैर-लोखंडी सामग्री निवडा आणि त्याचे न्यायसंगत स्पष्टीकरण द्या.

(Select relevant non-ferrous material for the specified application with justification.)

1. .... is the main application of Muntz Metal?

- A) Shipbuilding
- B) Electrical Wiring
- C) Plumbing
- D) Jewellery

Answer : A) Shipbuilding

2. .... alloys is used in kitchen utensils such as pressure cookers and pans.

- A) Duralumin
- B) Hindalium
- C) Muntz Metal
- D) Gun Metal

Answer: B) Hindalium

3. White metals (Tin-based Babbitt Metal) are commonly used in .....

- A) Electrical wiring
- B) Bearings in steam turbines and engines

C) Coins and Medals

D) Jewellery

Answer : B) Bearings in steam turbines and engines

4. In ..... Duralumin most commonly used.

▪ A) Aerospace Industry

B) Electronics Industry

C) Medical Industry

D) Textile Industry

Answer : A) Aerospace Industry

5. .... is a non-ferrous metal most commonly used in aircraft construction due to its light weight and strength?

▪ A) Aluminium

B) Copper

C) Zinc

D) Lead

Answer: A) Aluminium

**TLO 3.4** विविध पावडर उत्पादन प्रक्रिया स्पष्ट करा. (Explain various powder manufacturing processes.)

1. The purpose of the sintering step in powder metallurgy is to .....

A) Produce the metal powder

B) Compress the powder into a mold

C) Bond the powder particles into a solid part

D) Inspect the final part for quality

Answer : C) Bond the powder particles into a solid part

2. The atomization process in Powder Metallurgy.....

A) Molten metal is sprayed into tiny droplets using high-pressure gas or water

B) Solid metal is ground into fine powder by mechanical means

C) Metal powder is mixed with other materials for better properties

D) The compacted powder is heated to solidify the part

Answer : A) Molten metal is sprayed into tiny droplets using high-pressure gas or water

3. The purpose of compacting in the Powder Metallurgy process is to

A) Heat the metal powder

B) Mix the powder with lubricants

C) Form the powder into a "green" part by compressing it

D) Impregnate the part with oil or resin

Answer: C) Form the powder into a "green" part by compressing it

4. Powder Metallurgy (PM) is particularly effective for ..... parts.

A) Large and heavy

B) Complex shapes

C) Only parts requiring extreme strength

D) Requiring high heat resistance

Answer : B) Complex shapes

5. .... methods is used for producing metal powder in Powder Metallurgy.

A) Atomization

B) Sand casting

C) Injection molding

D) Arc welding

Answer : A) Atomization

## Unit 4 Non-Metallic Materials & Advanced Materials

### नॉन-मेटॅलिक मटेरिअल्स आणि ऍडवॉन्सड मटेरिअल्स

**कोर्स परिणाम-4 (Course Outcomes-4):** अभियांत्रिकी अनुप्रयोगासाठी संबंधित गैर-धातू आणि प्रगत सामग्री निवडा. (Select relevant non-metallic & advanced material for the engineering application.)

**TLO 4.1** दिलेल्या रचना, गुणधर्म आणि अनुप्रयोगांच्या आधारे धातू आणि अर्ध-धातू नसलेल्या सामग्रीमधील फरक स्पष्ट करा. (Distinguish between metallic and non-metallic materials on the basis of given composition, properties and applications.)

**TLO 4.2** दिलेल्या कार्यासाठी संबंधित गैर-धातू सामग्री निवडा आणि त्याचे न्यायसंगत स्पष्टीकरण द्या. (Choose relevant non-metallic material for the given job with justification.)

**TLO 4.3** दिलेल्या कार्यासाठी संबंधित संमिश्र सामग्री निवडा आणि त्याचे न्यायसंगत स्पष्टीकरण द्या. (Select relevant composite material for the given job with justification.)

**TLO 4.4** दिलेल्या कार्यासाठी संबंधित पर्यायी सामग्री सुचवा आणि त्याचे न्यायसंगत स्पष्टीकरण द्या. (Suggest relevant alternative materials for the given job with justification.)

**4.1 पॉलिमरिक मटेरियल** - पॉलिमर हे मोठे रेणू असतात, जे रासायनिकरित्या पुनरावृत्ती होणाऱ्या संरचनात्मक घटकांपासून म्हणजेच मोनोमरपासून तयार होतात. "पॉलिमर" हा शब्द ग्रीक भाषेतील "पॉली" म्हणजे "अनेक" आणि "मेरोस" म्हणजे "भाग" या शब्दांपासून तयार झाला आहे. त्यांच्या बहुपर्यायी उपयोगितेमुळे, पॉलिमरचा वापर विविध उद्योगांमध्ये जसे की पॅकेजिंग, ऑटोमोटिव्ह, एरोस्पेस, इलेक्ट्रॉनिक्स आणि जैववैद्यकीय अनुप्रयोगांमोठ्या प्रमाणावर केला जातो.

**4.1.1 पॉलिमरचे वर्गीकरण**-पॉलिमरचे विविध निकषांवर आधारित मोठ्या प्रमाणावर वर्गीकरण केले जाऊ शकते:

1. **उत्पत्तीच्या आधारावर** (On the basis of Origin)

- नैसर्गिक पॉलिमर** (Natural Polymers): नैसर्गिक स्रोतांपासून मिळणारे पॉलिमर जसे की रबर, सेल्युलोज प्रथिने.
- कृत्रिम पॉलिमर** (Synthetic Polymers): मानवनिर्मित पॉलिमर जे पॉलिमरायझेशनद्वारे तयार केले जातात उदा. पॉलीएथिलीन, पॉलीप्रॉपिलीन, पॉलीस्टायरीन.

2. **संरचनेच्या आधारावर** (On the basis of Structure)

- लीनियर पॉलिमर** (Linear Polymers): मोनोमर सरळ साखळी संरचना तयार करतात.
- शाखायुक्त पॉलिमर** (Branched Polymers): मुख्य साखळीला जोडलेल्या बाजूच्या शाखा असतात.
- क्रॉस-लिंकड पॉलिमर** (Cross-linked Polymers): परस्पर जोडलेल्या पॉलिमर साखळ्यांनी तयार झालेला जाळ्यासारखा संरचना तयार करतो.

3. **उष्णतेच्या प्रभावानुसार** (On the basis of Behaviour Under Heat)

- थर्मोप्लास्टिक्स** (Thermoplastics): गरम केल्यावर मऊ होतात आणि थंड झाल्यावर पुन्हा कठीण होतात उदा. पॉलीव्हिनायल क्लोराईड, पॉलीस्टायरीन.
- थर्मोसेटिंग प्लास्टिक्स** (Thermosetting Plastics): एकदा गरम केल्यावर कायमस्वरूपी कठीण होतात आणि पुन्हा आकार बदलता येत नाही उदा. बॅकेलाइट, इपॉक्सी रेझिन.

**4.1.2 पॉलिमरच्या वैशिष्ट्ये**-पॉलिमरमध्ये काही विशिष्ट गुणधर्म असतात, ज्यामुळे ते विविध क्षेत्रांमध्ये उपयोगी ठरतात:

- हलके आणि उच्च ताकदीचे (Lightweight and High Strength).

2. गंजरोधक आणि रासायनिक प्रतिरोधक (Corrosion and Chemical Resistance).
3. विद्युत व उष्णता इन्सुलेशन गुणधर्म (Electrical and Thermal Insulation).
4. लवचिकता आणि टिकाऊपणा (Flexibility and Durability).

#### 4.1.3 थर्मोप्लास्टिक्स, थर्मोसेटिंग प्लास्टिक्स आणि रबरचे गुणधर्म आणि उपयोग

**1. थर्मोप्लास्टिक्स (Thermoplastics)** - थर्मोप्लास्टिक्स हे असे पदार्थ आहेत जे गरम केल्यावर मऊ होतात आणि थंड झाल्यावर कठीण होतात, त्यामुळे त्यांना पुन्हा पुन्हा आकार देता येतो.

##### गुणधर्म (Properties):

1. गरम केल्यावर मऊ होतात आणि थंड झाल्यावर पुन्हा कठीण होतात (ही प्रक्रिया उलट करता येते).
2. अनेक वेळा पुन्हा आकार देता येतो आणि रीमोल्ड करता येतो.
3. उत्कृष्ट विद्युत आणि उष्णता इन्सुलेशन गुणधर्म असतात.
4. टिकाऊ, हलके आणि प्रभाव-प्रतिरोधक (Impact-resistant) असतात.
5. काही सेंद्रिय सॉल्व्हेंट्समध्ये विद्राव्य (Soluble) असतात.
6. गरम करून वेल्ड किंवा बाँड करता येतात.

##### उपयोग (Uses):

1. प्लास्टिक पिशव्या, बाटल्या आणि कंटेनरमध्ये.
2. पाईप्स, विद्युत इन्सुलेशन आणि वैद्यकीय ट्यूबिंगमध्ये.
3. पॅकेजिंग साहित्य, डिस्पोजेबल कप आणि इन्सुलेशनमध्ये.
4. खिडक्या आणि डिस्प्ले पॅनल्समध्ये.
5. गिअर्स, बेअरिंग्स, दोरी आणि वस्त्रनिर्मितीमध्ये.

**2. थर्मोसेटिंग प्लास्टिक्स (Thermosetting Plastics)** - थर्मोसेटिंग प्लास्टिक्स हे असे पदार्थ आहेत जे एकदा गरम आणि मोल्ड केल्यावर कायमचे कठीण होतात आणि त्यांना पुन्हा आकार देता येत नाही.

##### गुणधर्म (Properties):

1. सुरुवातीच्या गरम करण्याच्या आणि मोल्डिंग प्रक्रियेनंतर कायम कठीण होतात.
2. पुन्हा वितळवता किंवा रीमोल्ड करता येत नाही.
3. उच्च उष्णता प्रतिरोधकता आणि परिमाणात्मक स्थिरता (Dimensional Stability) असते.
4. मजबूत, कठीण आणि रासायनिकदृष्ट्या प्रतिरोधक असतात.
5. थर्मोप्लास्टिक्सच्या तुलनेत ठिसूळ (Brittle) असतात.

##### उपयोग (Uses):

1. चिकट पदार्थ (Adhesives), कोटिंग्स आणि विद्युत इन्सुलेटर्समध्ये.
2. विद्युत स्विचेस, हँडल्स आणि स्वयंपाकघरातील भांड्यांमध्ये.
3. टेबलवेअर आणि अग्निरोधक लेमिनेट्समध्ये.
4. फायबरग्लास कंपोजिट्स आणि ऑटोमोबाईल भागांमध्ये.
5. लाकडी चिकट पदार्थ (Wood Adhesives) आणि विद्युत फिटिंगमध्ये.

#### 3. रबर (Rubbers)

रबर हे एक लवचिक पदार्थ आहे जे नैसर्गिक आणि कृत्रिम स्वरूपात आढळते. त्याच्या लवचिकता, टिकाऊपणा आणि पाणी व रासायनिक प्रतिकारक्षमतेमुळे ते ऑटोमोबाईल, ग्राहक वस्तू आणि विविध उद्योगांमध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाते.

**गुणधर्म (Properties):**

1. उच्च लवचिकता (Elasticity) आणि लवचिकता (Flexibility).
2. चांगला प्रभाव (Impact) आणि कंपन प्रतिकार (Vibration Resistance).
3. जलरोधक (Waterproof) आणि रासायनिकदृष्ट्या प्रतिरोधक (Chemical Resistant).
4. नैसर्गिक (Natural) किंवा कृत्रिम (Synthetic) असू शकतो.
5. मजबुती आणि टिकाऊपणा वाढवण्यासाठी वल्कनायझेशन (सल्फर प्रक्रिया) करता येते.

**उपयोग (Uses):**

1. टायर, ट्यूब, बूट आणि चिकट पदार्थांमध्ये.
2. सील, गॅस्केट, होसेस आणि वैद्यकीय ग्लोव्हसमध्ये.

**4.1.4 थर्मोप्लास्टिक्स आणि थर्मोसेटिंग प्लास्टिक्स****1. थर्मोप्लास्टिक्सचे प्रकार (Types of Thermoplastics):**

1. पॉलीथिलीन (Polyethylene)
2. पॉलीप्रॉपिलीन (Polypropylene)
3. पॉलीव्हिनाइल क्लोराईड (Polyvinyl Chloride - PVC)
4. पॉलिस्टायरीन (Polystyrene)
5. पॉलीकार्बोनेट (Polycarbonate)
6. अॅक्रिलिक (Acrylic)
7. नायलॉन (Nylon)
8. एबीएस (Acrylonitrile Butadiene Styrene - ABS)

**2. थर्मोसेटिंग प्लास्टिक्सचे प्रकार (Types of Thermosetting Plastics):**

1. इपॉक्सी रेजिन (Epoxy Resin)
2. फिनोलिक रेजिन (Phenolic Resin - Bakelite)
3. मेलामाइन फॉर्मल्डिहाइड (Melamine Formaldehyde)
4. युरिया फॉर्मल्डिहाइड (Urea Formaldehyde)
5. पॉलिएस्टर रेजिन (Polyester Resin)
6. सिलिकॉन रेजिन (Silicone Resin)
7. पॉलीयुरेथेन (Polyurethane)

**4.2 विविध प्रकारच्या प्लास्टिक्सचे गुणधर्म आणि उपयोग****4.2.1. एबीएस (Acrylonitrile Butadiene Styrene - ABS)****गुणधर्म (Characteristics):**

1. **मजबूत आणि प्रभाव-प्रतिरोधक** – उच्च प्रभाव प्रतिकारशक्ती असलेला आणि तणाव व आघात सहन करण्यास सक्षम.
2. **उत्तम रासायनिक प्रतिकारशक्ती** – आम्ल, अल्कली आणि अल्कोहोलसाठी प्रतिरोधक.
3. **साचा तयार करणे सोपे** – इंजेक्शन मोल्डिंगद्वारे सहज प्रक्रिया करता येते.
4. **उच्च चमक आणि उत्कृष्ट सरफेस रफनेस** – सौंदर्यात्मकदृष्ट्या आकर्षक अनुप्रयोगांसाठी योग्य.
5. **उत्तम विद्युत इन्सुलेशन गुणधर्म** – इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांमध्ये उपयुक्त.

**उपयोग (Uses):**

1. **ग्राहक उत्पादने** – सुरक्षात्मक हेल्मेट, खेळणी, आणि घरगुती उपकरणे.

2. ऑटोमोबाईल भाग – डॅशबोर्ड, बंपर.
3. इलेक्ट्रॉनिक उपकरणे – संगणक कव्हर, प्रिंटर आणि इलेक्ट्रिकल गृहनिर्माण.
4. वैद्यकीय उपकरणे – शस्त्रक्रिया साधने आणि मजबूत कव्हर असलेली उपकरणे.

#### 4.2.2. अॅक्रिलिक (Acrylic)

##### गुणधर्म (Characteristics):

1. पारदर्शक आणि तुटण्यास प्रतिरोधक – उच्च स्पष्टतेसह, काचेच्या पर्याय म्हणून वापरले जाते.
2. हवामान-प्रतिरोधक – यूव्ही स्थिर आणि वृद्धत्वास प्रतिरोधक, बाह्य वापरासाठी योग्य.
3. हलके (Lightweight) – काचेपेक्षा हलके असूनही, त्याचसारखे ऑप्टिकल गुणधर्म असतात.
4. सुलभ प्रक्रिया आणि मोल्डिंग – सहजपणे कट, आकार आणि पॉलिश करता येते.

##### उपयोग (Uses):

1. ऑप्टिकल अनुप्रयोग – लेंस, खिडक्या आणि स्कायलाईट.
2. जाहिरात आणि साईनबोर्ड – लाइट बॉक्स, प्रकाशित फलक, आणि डिस्प्ले पॅनल.
3. ऑटोमोबाईल्स – कार हेडलाईट्स, टेललाईट्स, आणि मागील खिडक्या.
4. सौंदर्यप्रसाधन उत्पादने – मत्स्यालय, फर्निचर आणि घरगुती सजावट.

#### 4.2.3. नायलॉन (Nylon)

##### गुणधर्म (Characteristics):

1. उच्च सामर्थ्य आणि टिकाऊपणा – घर्षण व झिज प्रतिरोधक, जड अनुप्रयोगांसाठी योग्य.
2. उच्च लवचिकता आणि कणखरपणा – सामर्थ्य व लवचिकतेमध्ये उत्तम संतुलन प्रदान करते.
3. रासायनिक आणि तेल प्रतिरोधक – ऑटोमोटिव्ह आणि औद्योगिक वातावरणात चांगले कार्य करते.
4. हायग्रोस्कोपिक – ओलावा शोषतो, ज्यामुळे त्याच्या गुणधर्मांवर किंचित परिणाम होऊ शकतो.
5. उत्तम उष्णता प्रतिकारशक्ती – मध्यम तापमान श्रेणीत चांगले कार्य करते.

##### उपयोग (Uses):

1. कापड उद्योग – कापड, होजरी आणि कार्पेट.
2. ऑटोमोटिव्ह – गिअर्स, बेअरिंग्ज, इंधन पाईप्स, आणि इंजिनखालील घटक.
3. यांत्रिक भाग – बुशिंग्ज, वॉशर्स, आणि विद्युत कनेक्टर्स.
4. औद्योगिक उत्पादने – कन्वेयर बेल्ट, दोरखंड, आणि जाळ्या.

#### 4.2.4. विनाइल (Polyvinyl Chloride - PVC)

##### गुणधर्म (Characteristics):

1. बहुउपयोगी आणि किफायतशीर – लवचिक आणि कठीण अशा दोन्ही स्वरूपात उपलब्ध.
2. रासायनिक आणि हवामान प्रतिरोधक – यांची करोजन, केमिकल्स आणि हवामान बदलासाठी चांगली प्रतिकारशक्ती असते.
3. उत्तम विद्युत इन्सुलेशन गुणधर्म – वायरींग आणि केबल कोटिंगमध्ये उपयोग.
4. मजबूत आणि टिकाऊ – घर्षण प्रतिरोधक, परंतु कमी तापमानात ठिसूळ होऊ शकतो.
5. कमी ज्वालाग्राही (Low Flammability) – ज्वाळेला संपर्क आल्यावर स्वतः विझतो.

##### उपयोग (Uses):

1. पाईप्स आणि फिटिंग्ज – पाणीपुरवठा, सिंचन प्रणाली, आणि विद्युत वाहिनी.

2. **फ्लोरिंग** – विनाइल टाईल्स, लिनोलियम, आणि लवचिक फ्लोरिंग.
3. **पॅकेजिंग** – बाटल्या, कंटेनर, आणि श्रिंकमोव्हिंग.
4. **कपडे आणि फर्निशिंग** – रेनकोट, अपहोल्स्ट्री, आणि पादत्राणे.

#### 4.2.5. एपॉक्साईड्स: एपॉक्सी रेझिन (Epoxy Resins)

##### गुणधर्म (Characteristics):

1. **मजबूत संयोग आणि बंधन क्षमता** – कठीण पदार्थांवर देखील उत्कृष्ट बंधन प्रदान करते.
2. **उच्च रासायनिक आणि उष्णता प्रतिरोधक** – उच्च तापमान आणि रसायनांच्या संपर्कातही कार्यक्षम.
3. **टिकाऊ आणि कणखर** – उत्कृष्ट घर्षण प्रतिरोधक आणि आघात प्रतिरोधक.
4. **उत्तम विद्युत इन्सुलेशन गुणधर्म** – विद्युत अनुप्रयोगांसाठी मोठ्या प्रमाणात वापरले जाते.
5. **बहुउपयोगी (Versatile)** – फिलर्स, हार्डनेर्स, आणि अँडिटिव्हससह आवश्यकतेनुसार सुधारित केले जाऊ शकते.

##### उपयोग (Uses):

1. **अँडहेसिव्ह आणि कोटिंग्ज** – बांधकाम आणि उत्पादनांसाठी मजबूत गोंद, धातू व काँक्रीटसाठी संरक्षणात्मक कोटिंग्ज.
2. **इलेक्ट्रॉनिक्स** – सर्किट बोर्ड, विद्युत पॉटिंग आणि एन्कॅप्सुलेशन.
3. **कंपोजिट्स** – एअरोस्पेस आणि ऑटोमोटिव्ह घटकांसाठी मजबूतीकरण सामग्री.
4. **वैद्यकीय उपकरणे** – डेंटल फिलिंग्ज, कृत्रिम अवयव आणि शस्त्रक्रियेसाठी उपकरणे.

#### 4.2.6. मेलामाईन फॉर्मल्डिहाइड (Melamine Formaldehyde)

##### गुणधर्म (Characteristics):

1. **कठीण आणि कडक (Hard and Rigid)** – अत्यंत टिकाऊ आणि स्क्रॅच प्रतिरोधक.
2. **उष्णता प्रतिरोधक** – उच्च तापमानातही स्वरूप व रचना टिकवून ठेवते.
3. **विषमुक्त (Non-toxic)** – अन्न-संबंधित अनुप्रयोगांसाठी सुरक्षित.
4. **उत्तम विद्युत इन्सुलेटर** – विद्युत पृथक् गुणधर्म असलेले.
5. **चांगले रासायनिक प्रतिरोधक** – डाग, घर्षण आणि गंज प्रतिरोधक.

##### उपयोग (Uses):

1. **टेबलवेअर** – मेलामाईन प्लेट्स, वाट्या, आणि कप.
2. **लॅमिनेट्स** – किचन काउंटरटॉप्स आणि फर्निचरसाठी उच्च-दाब डेकोरेटिव्ह लॅमिनेट्स.
3. **विद्युत घटक** – स्विचेस, सॉकेट्स, आणि इन्सुलेशन सामग्री.
4. **स्वयंपाकघरातील भांडी** – कटिंग बोर्ड, ट्रे, आणि इतर स्वयंपाकघरातील उपकरणे.

#### 4.2.7. बॅकेलाइट: फिनोलिक रेझिन (Bakelite: Phenolic Resin)

##### गुणधर्म (Characteristics):

1. **उच्च उष्णता प्रतिरोधकता** – उच्च तापमानात विकृत न होता टिकून राहते.
2. **उत्तम विद्युत इन्सुलेशन गुणधर्म** – मोठ्या प्रमाणावर विद्युत अनुप्रयोगांमध्ये वापरले जाते.
3. **कडक आणि मजबूत** – कठीण आणि टिकाऊ, परंतु काहीसे ठिसूळ असू शकते.
4. **रासायनिक प्रतिरोधकता** – आम्ल, अल्कली आणि सॉल्व्हेंट्ससाठी प्रतिरोधक.
5. **विद्युत प्रवाह न चालवणारे (Non-conductive)** – इन्सुलेशनसाठी अत्यंत उपयुक्त.

##### उपयोग (Uses):

1. **विद्युत घटक** – स्विचेस, प्लग्स, आणि सॉकेट्स.
2. **ऑटोमोटिव्ह भाग** – गिअर नॉक्स, डिस्ट्रीब्युटर कॅप्स, आणि हॅडल्स.
3. **घरगुती उत्पादने** – स्वयंपाकघरातील भांडी, हॅडल्स आणि उष्णता प्रतिरोधक उत्पादने.
4. **औद्योगिक अनुप्रयोग** – बेअरिंग्ज, बुशिंग्ज, आणि विद्युत इन्सुलेटर.

**4.3 रबर (Rubbers)**-रबर हे एक लवचिक (Elastic)-पॉलिमरिक साहित्य आहे जे त्याच्या लवचिकता आणि टिकाऊपणामुळे विविध उद्योगांमध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाते.

**रबरचे वेगवेगळे प्रकार:**

1. निओप्रिन (Neoprene)
2. ब्युटाडायन (Butadiene)
3. बुना (Buna)
4. सिलिकॉन (Silicone)

#### 4.3.1 निओप्रिन (Polychloroprene)

**गुणधर्म:**

1. **इलॉस्टिक आणि लवचिकता असलेले:** यांची इलॉस्टिसिटी आणि मजबुती चांगली असते.
2. **तेल आणि रासायनिक प्रतिकार:** तेल, इंधन आणि रसायनांसाठी अत्यंत प्रतिरोधक.
3. **उत्तम हवामान प्रतिकार:** ऑक्सिडेशन आणि हवामानामुळे होणाऱ्या परिणामांपासून संरक्षण.
4. **मध्यम उष्णता प्रतिकार:**  $-40^{\circ}\text{C}$  ते  $120^{\circ}\text{C}$  तापमानात चांगली कार्यक्षमता.
5. **विषारी नसलेले आणि जैव:** सुसंगत: वैद्यकीय आणि अन्न-संबंधित उपयोगांसाठी सुरक्षित.

**उपयोग:**

1. **वेटसूट आणि डायव्हिंग गियर:** पाण्यातील वापरासाठी योग्य.
2. **ऑटोमोटिव्ह सील:** गॅस्केट्स, ओ-रिंग्स आणि नळ्यांमध्ये वापरले जाते.
3. **चिकट पदार्थ आणि कोटिंग्स:** ज्वलारोधक आणि संरक्षक कोटिंग्जमध्ये वापरले जाते.
4. **विद्युत पृथक (इन्सुलेशन):** तारा आणि केबल इन्सुलेशनसाठी वापरले जाते.

#### 4.3.2 ब्युटाडायन रबर (Butadiene Rubber - BR)

**गुणधर्म:**

1. **उच्च लवचिकता:** कमी तापमानातही उत्कृष्ट लवचिकता प्रदान करते.
2. **अपघर्षण (Abrasion) प्रतिरोधक:** टिकाऊपणा आणि दीर्घायुषी रचना.
3. **कमी रोलिंग प्रतिरोध:** टायर उत्पादनासाठी उपयुक्त.
4. **सुलभ प्रक्रिया:** सहज वेगवेगळ्या प्रक्रियेत रूपांतरित करता येते.
5. **कमी उष्णता प्रतिकार:** उच्च तापमानात स्थिरता कमी असते.

**उपयोग:**

1. **टायर्स:** टायर उत्पादनामध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाते.
2. **पादत्राणे:** बूट, चप्पल, आणि सोलमध्ये वापरले जाते.
3. **सील आणि गॅस्केट्स:** ऑटोमोबाईल आणि औद्योगिक क्षेत्रात वापरले जाते.
4. **नळी आणि पट्टे:** वाहतूक पट्टे आणि औद्योगिक नळींसाठी उपयुक्त.

#### 4.3.3 बुना रबर (Nitrile Rubber - NBR)

**गुणधर्म:**

1. **तेल आणि इंधन प्रतिरोधक:** तेल, ग्रीस आणि इंधनासाठी उच्च प्रतिरोधक.

2. **उत्कृष्ट अपघर्षण प्रतिरोधक:** दीर्घकाळ टिकणारे आणि घर्षण सहन करणारे.
3. **उत्तम तापमान प्रतिकार:**  $-40^{\circ}\text{C}$  ते  $120^{\circ}\text{C}$  तापमानात कार्यक्षम.
4. **उत्तम अश्रू प्रतिकार (Tear Strength):** जड वापरासाठी टिकाऊ.
5. **मर्यादित हवामान आणि ओझोन प्रतिकार:** UV किरणे आणि ओझोनसाठी कमी प्रतिरोधक.

#### उपयोग:

1. **ऑटोमोटिव्ह भाग:** ओ-रिंग्स, गॅस्केट्स, इंधन नळ्या आणि सील.
2. **औद्योगिक सील:** हायड्रॉलिक आणि न्यूमॅटिक मशीनरीसाठी वापरले जाते.
3. **वैद्यकीय हातमोजे:** रसायन-प्रतिरोधक मेडिकल ग्लोव्हजमध्ये वापरले जाते.
4. **टायर्स आणि गॅस्केट्स:** ऑटोमोटिव्ह आणि औद्योगिक क्षेत्रात मोठ्या प्रमाणावर वापरले जाते.

#### 4.3.4 सिलिकॉन रबर (Silicone Rubber)

##### गुणधर्म:

1. **उच्च तापमान प्रतिकार:**  $-55^{\circ}\text{C}$  ते  $300^{\circ}\text{C}$  तापमानात कार्यक्षम.
2. **उत्कृष्ट लवचिकता आणि टिकाऊपणा:** अत्यंत लवचिक आणि दीर्घकालीन टिकाऊ.
3. **उत्तम विद्युत पृथक (इन्सुलेशन):** विद्युत घटकांसाठी सर्वोत्तम पर्याय.
4. **रासायनिक आणि UV प्रतिरोध:** ओझोन, UV किरणे, आणि रसायनांसाठी अत्यंत प्रतिरोधक.
5. **जैवसुसंगत (Biocompatibility):** वैद्यकीय आणि अन्न-संबंधित उपयोगांसाठी सुरक्षित.

##### उपयोग:

1. **वैद्यकीय उपकरणे:** वैद्यकीय उपकरणे, इम्प्लांट्स आणि ट्यूबिंगमध्ये वापरले जाते.
2. **स्वयंपाकघरातील उपकरणे:** बेकवेअर, स्पॅटुला आणि स्वयंपाकातील साहित्य.
3. **सील आणि गॅस्केट्स:** ऑटोमोटिव्ह, एरोस्पेस आणि औद्योगिक सील.
4. **विद्युत घटक:** केबल आणि इलेक्ट्रॉनिक घटकांसाठी इन्सुलेशन.
5. **खेळणी आणि बाळांसाठी उत्पादने:** सुरक्षितता आणि लवचिकतेमुळे पॅसिफायर आणि टीथिंग रिंगमध्ये वापरले जाते.

**4.4 सिरॅमिक्स (Ceramics)** - सिरॅमिक्स हे अजैविक (inorganic) आणि धातूविरहित (non-metallic) पदार्थ आहेत, जे माती, खनिजे आणि अन्य कच्च्या पदार्थांचे उच्च तापमानात भाजून तयार केले जातात. हे दोन प्रमुख प्रकारांमध्ये विभागले जातात: पारंपरिक सिरॅमिक्स आणि प्रगत सिरॅमिक्स.

**4.4.1 ट्रेडिशनल सिरॅमिक्स (Traditional Ceramics)** - हे नैसर्गिक माती आणि खनिजांपासून तयार केले जातात आणि प्रामुख्याने बांधकाम व सजावटीच्या वस्तूंमध्ये वापरले जातात.

1. **मातीच्या सिरॅमिक्स (Clay Ceramics):** नैसर्गिक मातीपासून बनवले जातात, मुख्यतः विटा आणि टाइल्ससाठी वापरले जातात.
2. **पोर्सेलिन (Porcelain):** उच्च तापमानावर भाजून तयार केलेले एक बारीक, अर्धपारदर्शक सिरॅमिक्स, जे टिकाऊपणा आणि सौंदर्यासाठी ओळखले जाते (उदा. भांडी, सजावटीच्या वस्तू).
3. **विटा आणि टाइल्स (Bricks and Tiles):** उष्णता सहन करण्याच्या क्षमतेमुळे आणि उत्तम इन्सुलेशन मुळे बांधकाम क्षेत्रात मोठ्या प्रमाणावर वापरले जातात.

**4.4.2 प्रगत सिरॅमिक्स (Advanced Ceramics)** - हे विशेष उद्देशांसाठी अभियांत्रिकी तत्त्वांवर आधारित विकसित केले जातात आणि पारंपरिक सिरॅमिक्सपेक्षा अधिक कार्यक्षम असतात.

1. **बायो-सिरॅमिक्स (Bio Ceramics):** वैद्यकीय उपकरणांमध्ये, जसे की हिप रिप्लेसमेंट, दंत रोपण (Dental Implants) यांसाठी वापरले जातात.

2. **पिझोइलेक्ट्रिक सिरेमिक्स (Piezoelectric Ceramics):** यांत्रिक दाब दिल्यास विद्युत ऊर्जा निर्माण करतात. सेन्सर, अॅक्ट्युएटर्स आणि अल्ट्रासॉनिक उपकरणांमध्ये वापरले जातात.
3. **सुपरकंडक्टिंग सिरेमिक्स (Superconducting Ceramics):** उच्च-तंत्रज्ञानाच्या क्षेत्रात जसे की MRI मशीन आणि कण प्रवेगकांमध्ये (Particle Accelerators) वापरले जातात.
4. **संयुक्त सिरेमिक्स (Composite Ceramics):** धातू किंवा पॉलिमरच्या संयोजनाने तयार केले जातात, ज्यामुळे त्यांची मजबुती आणि टिकाऊपणा वाढतो.

**सिरेमिक्सचे गुणधर्म (Properties of Ceramics):** कठीणपणा (Hardness): सिरेमिक्स हे अत्यंत कठीण आणि झिजप्रतिरोधक असतात.

1. **ब्रिटलनेस (Brittleness):** ते सहज तुटू शकतात, पण त्यांना विकृती येत नाही.
2. **उच्च वितळण्याचा बिंदू (High Melting Points):** उच्च तापमान सहन करू शकतात आणि त्यांची रचना टिकून राहते.
3. **विद्युत इन्सुलेशन (Electrical Insulation):** सिरेमिक्स हे विद्युत प्रवाह न वाहणारे असल्यामुळे इन्सुलेटर म्हणून उपयोगी ठरतात.
4. **रासायनिक स्थिरता (Chemical Inertness):** ते गंजरोधक असतात आणि बहुतेक रसायनांपासून सुरक्षित असतात.
5. **कमी उष्णता प्रसरण (Low Thermal Expansion):** उष्णता वाढल्यावर त्यामध्ये फारसा विस्तार होत नाही, त्यामुळे तापमानातील बदल झेलण्याची क्षमता असते.

**सिरेमिक्सचा उपयोग (Applications of Ceramics):**

1. **बांधकाम (Construction):** विटा, टाइल्स, सिमेंट, आणि सॅनिटरी वेअरमध्ये.
  2. **इलेक्ट्रॉनिक्स (Electronics):** विद्युत इन्सुलेटर, सेन्सर, आणि ट्रान्झिस्टरमध्ये.
  3. **वैद्यकीय क्षेत्र (Medical Field):** कृत्रिम हाडे, दंत रोपण, आणि बायोकंपॅटिबल उपकरणांमध्ये.
  4. **औद्योगिक वापर (Industrial Use):** उच्च-तापमान भट्या, कटिंग टूल्स, आणि इंजिन पार्ट्समध्ये.
- 4.4.3 काच (Glass)** -काच ही एक पारदर्शक सामग्री आहे जी प्रामुख्याने सिलिका (Silica) पासून बनवलेली असते. ती मुख्यतः खिडक्या, बाटल्या आणि ऑप्टिकल उपकरणांमध्ये वापरली जाते. काच भंगुर (brittle) असते आणि ती तडकू शकते.

**काचेचे गुणधर्म (Properties of Glasses):**

1. **पारदर्शकता (Transparency):** काच सामान्यतः पारदर्शक असते आणि प्रकाश सहजपणे तिच्यातून जाऊ शकतो.
2. **कठीण आणि भंगुर (Hard and Brittle):** काच कठीण असते, पण ती आघात झाल्यास सहज तडकू शकते.
3. **रासायनिक प्रतिकारशक्ती (Chemical Resistance):** अनेक रसायनांना प्रतिकार करणारी असल्यामुळे प्रयोगशाळेच्या उपकरणांमध्ये वापरली जाते.
4. **विद्युत इन्सुलेटर (Electrical Insulator):** काच उत्कृष्ट विद्युत इन्सुलेटर आहे, म्हणून ती विद्युत उपकरणांमध्ये वापरली जाते.
5. **उष्णता प्रतिकार (Thermal Resistance):** काच तुलनेने उष्णतेला सहनशील असते, परंतु जलद तापमान बदलामुळे (thermal shock) ती फुटू शकते.

**काचेचे उपयोग (Applications of Glasses):**

1. **खिडक्या आणि आरसे (Windows and Mirrors):** इमारती व वाहने यांमध्ये खिडक्यांसाठी आणि आरशांसाठी काच मोठ्या प्रमाणावर वापरली जाते.
2. **पॅकेजिंग (Packaging):** अन्नपदार्थ, पेये आणि रसायनांसाठी बाटल्या, बरण्या आणि कंटेनर बनवण्यासाठी वापरली जाते.
3. **ऑप्टिकल उपकरणे (Optical Devices):** भिंगे, चष्मे, मायक्रोस्कोप आणि कॅमेऱ्यांच्या निर्मितीसाठी उपयोग केला जातो.
4. **प्रयोगशाळा उपकरणे (Laboratory Equipment):** बीकर, टेस्ट ट्यूब आणि फ्लास्क यांसारखी उपकरणे रासायनिक प्रतिकारशक्तीमुळे काचेत बनवली जातात.
5. **स्मार्टफोन स्क्रीन आणि डिस्प्ले (Smartphone Screens and Displays):** टफन्ड काच (toughened glass) स्मार्टफोनच्या स्क्रीनसाठी वापरली जाते, जी टिकाऊ आणि स्क्रॅच-प्रतिरोधक असते.
6. **फायबरग्लास (Fiberglass):** ही इन्सुलेशन, मजबुतीकरण साहित्य आणि बांधकामासाठी वापरली जाते.

**4.4.4 अग्निरोधक पदार्थ (Refractories) -**अग्निरोधक पदार्थ हे उष्णतारोधक (heat-resistant) असतात आणि उच्च तापमान व उष्णताघात (thermal shocks) सहन करण्यासाठी डिझाइन केलेले असतात. ते विविध औद्योगिक प्रक्रियांसाठी वापरले जातात.

#### अग्निरोधक पदार्थाचे गुणधर्म (Properties of Refractories):

1. **उच्च वितळण्यांक (High Melting Point):** हे पदार्थ उच्च तापमान सहन करण्यासाठी बनवले जातात आणि धातू, रसायने किंवा इतर पदार्थ प्रक्रिया करताना वापरले जातात.
2. **उष्णतारोधन (Thermal Insulation):** हे उत्कृष्ट उष्णतारोधन प्रदान करतात आणि औद्योगिक प्रक्रियांमध्ये उष्णता टिकवून ठेवण्यास मदत करतात.
3. **रासायनिक प्रतिकारशक्ती (Chemical Resistance):** वितळलेल्या धातू, स्लॅग आणि इतर उच्च तापमान रसायनांपासून गंज (corrosion) होण्यास प्रतिकार करतात.
4. **यांत्रिक सामर्थ्य (Mechanical Strength):** उच्च तापमानात देखील त्यांचा आकार टिकून राहतो व ताण सहन करू शकतात.
5. **कमी उष्णता चालकता (Low Thermal Conductivity):** उष्णता कमी होण्यास मदत करते आणि उच्च तापमान प्रक्रियांमध्ये ऊर्जा कार्यक्षमता सुधारते.

#### अग्निरोधक पदार्थाचे उपयोग (Applications of Refractories):

1. **भट्टी आणि वाळूभट्टी (Furnaces and Kilns):** स्टील, सिमेंट आणि काच उत्पादन उद्योगांमध्ये भट्ट्यांच्या आतील भागात अस्तर (lining) म्हणून वापरले जातात.
2. **इन्सिनिरेटर (Incinerators):** कचरा व्यवस्थापनासाठी वापरल्या जाणाऱ्या इन्सिनिरेटरच्या बांधकामासाठी उपयोग केला जातो, जिथे उच्च तापमान आवश्यक असते.
3. **ब्लास्ट फर्नेस (Blast Furnaces):** लोह व स्टील उत्पादनात, वितळलेले लोखंड तयार करण्यासाठी भट्टीच्या आतील अस्तरासाठी वापरले जातात.
4. **सिरेमिक भट्ट्या (Ceramic Kilns):** मातीची भांडी, टाईल्स आणि सिरेमिक वस्तू तयार करताना उच्च तापमानात जळणाऱ्या भट्ट्यांमध्ये वापरले जातात.
5. **पेट्रोकेमिकल उद्योग (Petrochemical Industry):** रिफायनिंग आणि पेट्रोलियम उत्पादने प्रक्रियेसाठी उच्च तापमान उपकरणांमध्ये वापरले जातात.

6. **हीट एक्सचेंजर आणि बॉयलर (Heat Exchangers and Boilers):** उच्च तापमानात कार्य करणाऱ्या बॉयलर आणि उष्णता विनिमयकांच्या अस्तरासाठी वापरले जातात.

**4.5 कम्पोजाईट (Composite Materials)** -कम्पोजाईट म्हणजे दोन किंवा अधिक भिन्न पदार्थांचे संयोजन करून तयार केलेली सामग्री, जी स्वतंत्र घटकांमध्ये असू शकत नाही अशी उत्कृष्ट गुणधर्म प्राप्त करण्यासाठी डिझाइन केली जाते. अशा सामग्रीमध्ये लॅमिनेटेड आणि फायबर-प्रबलित संमिश्र पदार्थ (fiber-reinforced composites) प्रमुख आहेत.

**4.5.1 लॅमिनेटेड कम्पोजाईट (Laminated Materials)** -लॅमिनेटेड कम्पोजाईट पदार्थ हे अनेक थरांपासून तयार होतात, जे एकमेकांना जोडलेले असतात. या थरांच्या भिन्न दिशांमध्ये ठेवण्यामुळे त्यांची यांत्रिक वैशिष्ट्ये सुधारली जातात.

**गुणधर्म (Properties):**

1. **उच्च ताकद-ते-वजन गुणोत्तर (High Strength-to-Weight Ratio):** लॅमिनेटेड सामग्री मजबूत असूनही हलकी ठेवता येते.
2. **वाढलेली टिकाऊपणा (Enhanced Durability):** अनेक थर असल्यामुळे गंज, झीज आणि वातावरणीय घटकांना अधिक प्रतिकारक्षम असते.
3. **डिझाइन लवचिकता (Design Flexibility):** प्रत्येक थर वेगवेगळ्या सामग्री व दिशांमध्ये ठेवून आवश्यकतेनुसार वैशिष्ट्ये प्राप्त करता येतात.

**उपयोग (Applications):**

1. **विमान उद्योग (Aerospace):** विमानांचे पंख आणि मुख्य संरचनांसाठी वापरले जाते, जेणेकरून वजन कमी राहून ताकद टिकून राहिल.
  2. **वाहन उद्योग (Automotive):** कारच्या बॉडी पॅनल्स आणि अंतर्गत भागांमध्ये सुरक्षितता आणि इंधन कार्यक्षमता सुधारण्यासाठी वापरले जाते.
  3. **बांधकाम (Construction):** प्लायवुड, लॅमिनेटेड बीम्स आणि इतर संरचनात्मक भाग तयार करण्यासाठी वापरले जाते.
  4. **खेळ उपकरणे (Sports Equipment):** स्की, स्नोबोर्ड, टेनिस रॅकेट यांसारख्या खेळाच्या साहित्यांमध्ये ताकद आणि लवचिकता वाढवण्यासाठी वापरले जाते.
- 4.5.2 फायबर-प्रबलित सामग्री (Fiber-Reinforced Materials)** -फायबर-प्रबलित संमिश्र सामग्रीमध्ये काचेचे (glass), कार्बन (carbon), किंवा अरॅमिड (aramid) फायबर्स एखाद्या मॅट्रिक्स सामग्रीमध्ये (उदा. राळ - resin) अंतर्भूत केले जातात, ज्यामुळे त्यांची यांत्रिक वैशिष्ट्ये सुधारतात.

**गुणधर्म (Properties):**

1. **गंज प्रतिकार (Corrosion Resistance):** ही सामग्री रासायनिक विघटनास प्रतिरोधक असते, त्यामुळे कठीण वातावरणात उपयुक्त ठरते.
2. **उच्च विशिष्ट ताकद आणि कडकपणा (High Specific Strength and Stiffness):** वजनाच्या तुलनेत उत्कृष्ट ताकद आणि कडकपणा प्रदान करते.
3. **थकवा प्रतिकार (Fatigue Resistance):** सततच्या लोडिंगमुळे विकृती होत नाही, त्यामुळे दीर्घकाळ टिकते.
4. **डिझाइन लवचिकता (Design Versatility):** फायबरचे प्रकार व दिशा गरजेनुसार ठरवता येतात, त्यामुळे आवश्यक गुणधर्म साध्य करता येतात.

**उपयोग (Applications):**

1. **विमान उद्योग (Aerospace):** कार्बन फायबर-प्रबलित पॉलिमर (CFRP) हलक्या व उच्च-ताकदीच्या विमानाच्या भागांमध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापरले जातात.
2. **वाहन उद्योग (Automotive):** हलक्या व मजबूत बॉडी पॅनल्स आणि संरचनात्मक भाग तयार करण्यासाठी वापरले जाते, ज्यामुळे कार्यक्षमता आणि इंधन कार्यक्षमता सुधारते.
3. **नौका आणि समुद्री वाहतूक (Marine):** नौकांचे कवच आणि डेक तयार करण्यासाठी वापरले जाते, कारण हे गंज-प्रतिरोधक आणि उच्च-ताकदीचे असते.
4. **खेळ उपकरणे (Sports Equipment):** सायकली, गोल्फ क्लब, आणि फिशिंग रॉड यांसारख्या साहित्यांमध्ये फायबर-प्रबलित सामग्रीचा मोठ्या प्रमाणात उपयोग केला जातो, कारण ती हलकी आणि मजबूत असते.

**4.6 प्रगत अभियांत्रिकी मटेरियल्स (Advanced Engineering Materials)** - प्रगत अभियांत्रिकी मटेरियल्स म्हणजे नॅनोमटेरियल्स (Nanomaterials), स्मार्ट मटेरियल्स (Smart Materials), आणि बायोमेडिकल मटेरियल्स (Biomedical Materials), ज्यांनी विविध उद्योगांमध्ये क्रांती घडवून आणली आहे. या अत्याधुनिक सामग्रीमधील सततचा विकास विविध क्षेत्रांमध्ये नाविन्यपूर्ण उपाय प्रदान करून कार्यक्षमता, टिकाऊपणा आणि कार्यक्षमतेत सुधारणा करत आहे.

**4.6.1 नॅनोमटेरियल (Nanomaterials)** - नॅनोमटेरियल म्हणजे नॅनोस्केलवर (साधारणतः 1 ते 100 नॅनोमीटर) विकसित केलेली सामग्री, ज्यामुळे त्यांना त्यांच्या सूक्ष्म आकारामुळे विशेष भौतिक, रासायनिक आणि जैविक गुणधर्म प्राप्त होतात.

**गुणधर्म (Properties):**

1. **वाढलेली ताकद आणि टिकाऊपणा (Enhanced Strength and Durability):** नॅनोमटेरियल्समध्ये उच्च तन्य ताकद (tensile strength) आणि कडकपणा (hardness) असतो.
2. **सुधारित विद्युत व ऊष्मा चालकता (Improved Electrical and Thermal Conductivity):** नॅनोस्केलमध्ये सामग्री अधिक चांगली विद्युत व उष्णता वाहकता दर्शवते, ज्याचा उपयोग इलेक्ट्रॉनिक्स आणि ऊर्जा क्षेत्रात होतो.
3. **विशेष प्रकाशीय गुणधर्म (Unique Optical Properties):** नॅनोमटेरियल्स विशेष प्रकारचे प्रकाश शोषण किंवा उत्सर्जन करतात, जे इमेजिंग आणि सेन्सिंग तंत्रज्ञानात उपयुक्त ठरते.
4. **उत्कृष्ट उत्प्रेरक कार्यक्षमता (Catalytic Efficiency):** उच्च पृष्ठभाग-ते-आयतन गुणोत्तरामुळे (high surface area-to-volume ratio) नॅनोमटेरियल्स रासायनिक अभिक्रियांमध्ये प्रभावी उत्प्रेरक म्हणून कार्य करतात.

**उपयोग (Applications):**

1. **औषधोपचार (Medicine):** नॅनोमटेरियल्सचा उपयोग औषध वितरण प्रणालींमध्ये (drug delivery systems) केला जातो, ज्यामुळे लक्षित उपचार (targeted therapy) शक्य होतो आणि साइड इफेक्ट्स कमी होतात.
2. **इलेक्ट्रॉनिक्स (Electronics):** लहान व अधिक कार्यक्षम इलेक्ट्रॉनिक घटक (जसे ट्रान्झिस्टर आणि सेन्सर) विकसित करण्यासाठी वापरले जातात.
3. **ऊर्जा क्षेत्र (Energy):** नॅनोमटेरियल्स बॅटरी, सुपरकॅपेसिटर आणि सौर पेशींमध्ये (solar cells) वापरले जातात, ज्यामुळे ऊर्जा साठवण आणि रूपांतर अधिक कार्यक्षम होते.

4. **पर्यावरण शुद्धीकरण (Environmental Remediation):** नॅनोमटेरियल्स मोठ्या पृष्ठभाग क्षेत्रामुळे पाणी आणि हवेतून प्रदूषक काढण्यासाठी प्रभावी ठरतात.

**4.6.2 स्मार्ट मटेरियल्स (Smart Materials)** -स्मार्ट मटेरियल्स म्हणजे अशा अभियांत्रिकी सामग्री ज्या बाह्य उत्तेजनांस (external stimuli) – जसे तापमान, दाब, विद्युत किंवा चुंबकीय क्षेत्र, pH पातळी, किंवा आर्द्रता – प्रतिसाद देतात आणि नियंत्रित पद्धतीने आपले गुणधर्म बदलतात.

**गुणधर्म (Properties):**

1. **संवेदनशीलता (Responsiveness):** स्मार्ट मटेरियल्स विशिष्ट उत्तेजनांना प्रतिसाद देऊन त्यांचा आकार, रंग किंवा इतर गुणधर्म बदलू शकतात.
2. **स्वयं-निरोगीकरण (Self-Healing):** काही स्मार्ट मटेरियल्स स्वतःची दुरुस्ती करून त्यांच्या आयुष्यकालात आणि विश्वासाहतेत वाढ करतात.
3. **ऊर्जा रूपांतरण (Energy Conversion):** काही स्मार्ट मटेरियल्स एका स्वरूपातील ऊर्जा दुसऱ्या स्वरूपात रूपांतरित करू शकतात, जसे की पायझोइलेक्ट्रिक (piezoelectric) सामग्री यांत्रिक ताणातून वीज निर्माण करते.

**उपयोग (Applications):**

1. **अंतराळ आणि विमान क्षेत्र (Aerospace):** शेप मेमरी अलॉय (Shape Memory Alloys) हे विमानांच्या अॅक्च्युएटर्स आणि नियंत्रण प्रणालींमध्ये वापरले जातात, जे तापमानातील बदलांना प्रतिसाद देऊन स्वतःचा आकार बदलू शकतात.
  2. **बांधकाम क्षेत्र (Construction):** स्वयं-निरोगीकरण करणारे काँक्रीट (Self-Healing Concrete) हे स्मार्ट मटेरियल वापरून बनवले जाते, जे फुटलेल्या ठिकाणी स्वतःहून दुरुस्ती करून इमारतींचे आयुष्य वाढवते.
  3. **कापड उद्योग (Textiles):** स्मार्ट फॅब्रिक्स (Smart Fabrics) वातावरणानुसार रंग बदलू शकतात किंवा विशिष्ट परिस्थितींमध्ये प्रतिक्रिया देऊ शकतात, ज्याचा उपयोग फॅशन आणि संरक्षणात्मक वस्त्रांमध्ये केला जातो.
  4. **आरोग्य सेवा (Healthcare):** प्रतिसादक्षम सामग्री (Responsive Materials) वैद्यकीय उपकरणांमध्ये वापरली जाते, जी शरीराच्या स्थितीनुसार बदलून अधिक आरामदायक उपचार देतात.
- 4.6.3 बायोमेडिकल मटेरियल्स (Biomedical Materials)** -बायोमेडिकल मटेरियल्स ही अशी सामग्री आहे जी वैद्यकीय उपयोगांसाठी विकसित केली जाते. त्यांचा उपयोग इम्प्लांट्स (implants), कृत्रिम अवयव (prosthetics), आणि टिशू इंजिनियरिंग (tissue engineering) मध्ये केला जातो. हे मटेरियल्स जैविक प्रणालींसोबत सुसंगत असावेत म्हणून काळजीपूर्वक निवडले जातात.

**गुणधर्म (Properties):**

1. **जैवसुसंगतता (Biocompatibility):** हे मटेरियल्स शरीरात प्रत्यारोपित (implant) केल्यावर प्रतिकूल प्रतिक्रिया निर्माण करत नाहीत.
2. **यांत्रिक ताकद (Mechanical Strength):** नैसर्गिक ऊतींप्रमाणे (tissues) आवश्यक यांत्रिक गुणधर्म असलेले असावेत, जेणेकरून ते प्रभावीरीत्या कार्य करू शकतील.
3. **जैवक्रियाशीलता (Bioactivity):** काही बायोमेडिकल मटेरियल्स पेशींच्या वाढीस चालना देऊन ऊतक पुनरुत्पादनास (tissue regeneration) मदत करतात.

4. **अपघटनक्षमता (Degradability):** काही मटेरियल्स वेळेनुसार शरीरात हळूहळू विघटित होण्यासाठी तयार केली जातात, ज्यामुळे त्यांना शस्त्रक्रियेद्वारे काढण्याची गरज राहत नाही.

### उपयोग (Applications):

1. **अस्थिरोग (Orthopaedics):** टायटॅनियम (Titanium) आणि त्याचे मिश्रधातू (alloys) सांधेदुखीवरील प्रत्यारोपणासाठी (joint replacements) वापरले जातात, कारण त्यांना उष्णता आणि ताण सहन करण्याची ताकद असते आणि ते जैवसुसंगत असतात.
2. **हृदय व रक्तवाहिनीसंबंधी उपचार (Cardiovascular):** बायोडिग्रेडेबल स्टेंट्स (Biodegradable Stents) रक्तवाहिन्यांना आधार देतात आणि उपचार झाल्यावर हळूहळू विघटित होतात.
3. **दंत उपचार (Dental):** सिरेमिक (Ceramic) आणि कंपोजिट मटेरियल्स (Composite Materials) दंत प्रत्यारोपण (dental implants) आणि फिलिंग्सासाठी वापरले जातात, जे मजबूत तसेच सौंदर्यात्मक दृष्ट्या योग्य असतात.

### Exercise:

**TLO 4.1: Distinguish between metallic and non-metallic materials on the basis of given composition, properties and applications.**

1. \_\_\_\_\_ of the following is a key characteristic of metallic materials

- a. Poor electrical conductivity
- b. Low melting point
- c. High thermal and electrical conductivity
- d. Brittle and non-ductile nature

**Answer:** c) High thermal and electrical conductivity

2. \_\_\_\_\_ of the following materials is an example of a non-metallic material

- a. Copper
- b. Iron
- c. Aluminium
- d. Rubber

**Answer:** d) Rubber

3. \_\_\_\_\_ property makes non-metallic materials suitable for insulation applications

- a. High electrical conductivity
- b. High ductility
- c. Low thermal and electrical conductivity
- d. Malleability

**Answer:** c) Low thermal and electrical conductivity

4. \_\_\_\_\_ of the following is NOT a typical application of metallic materials?

- a. Thermal insulation
- b. Structural components in buildings
- c. Electrical wiring
- d. Automotive body parts

**Answer:** a) Thermal insulation

5. \_\_\_\_\_ of the following is a property of metallic materials?

- a. They are good conductors of electricity.

- b. They are brittle and break easily.
- c. They have low melting points.
- d. They do not reflect light.

**Answer:** a) They are good conductors of electricity.

**TLO 4.2: Choose relevant non-metallic material for the given job with justification.**

**1. Out of following non-metallic material \_\_\_\_\_ most suitable for making electrical insulators**

- a. Copper
- b. Rubber
- c. Aluminium
- d. Steel

**Answer: b) Rubber**

**2. \_\_\_\_\_ of the following non-metallic material is most suitable for electrical insulation in high-voltage equipment**

- a. PVC (Polyvinyl Chloride)
- b. Rubber
- c. Glass
- d. Teflon

**Answer: d) Teflon**

**3. For making a waterproof jacket, which non-metallic material would be the most appropriate?**

- a. Nylon
- b. Cotton
- c. Silk
- d. Wool

**Answer: a) Nylon**

**4. \_\_\_\_\_ non-metallic material is most appropriate for use in producing electrical components that need to resist high temperatures and electrical breakdown?**

- a. Ceramic
- b. Wood
- c. Cotton
- d. Glass

**Answer: a) Ceramic**

**5. Out of the following materials would be most suitable for making a lightweight, corrosion-resistant frame for a bicycle**

- a. Carbon fiber
- b. Steel
- c. Wood
- d. Glass

**Answer: a) Carbon fiber**

**TLO 4.3: Select relevant composite material for the given job with justification.**

**1. \_\_\_\_\_ composite material is most suitable for creating lightweight, high-strength parts in the aerospace industry**

- a. Concrete
- b. Carbon fiber reinforced polymer

- c. Wood
- d. Steel

**Answer:** b) Carbon fiber reinforced polymer

**2. Composite material would be most appropriate for manufacturing a boat hull due to its durability and resistance to water corrosion?**

- a. Fiberglass
- b. Aluminium
- c. Wood
- d. Concrete

**Answer:** a) Fiberglass

**3. Metamaterials that block sound and vibrations rely on...**

- a. Acoustic impedance mismatch
- b. High electrical conductivity
- c. Low tensile strength
- d. High density

**Answer:** a) Acoustic impedance mismatch

**4. Out of the following is a key factor in selecting a composite material for a given job?**

- a. Cost and availability
- b. Mechanical properties
- c. Environmental resistance
- d. All of the above

**Answer:** d) All of the above

**5. The main advantage of using fiberglass composites in automotive applications?**

- a. High density and weight
- b. Corrosion resistance and durability
- c. Poor impact resistance
- d. High thermal conductivity

**Answer:** b) Corrosion resistance and durability

**TLO 4.4: Suggest relevant alternative materials for the given job with justification**

1. \_\_\_\_\_ of the following plastics is best suited as an alternative for metal in lightweight automotive body panels.

- a. Polyvinyl chloride (PVC)
- polyethylene (PE)
- c. Polycarbonate (PC)
- acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

**Answer:** d) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

**2. Plastic material is commonly used as an alternative to copper for insulating electrical wires**

- a. Polypropylene (PP)
- b. Polyethylene (PE)
- c. Polyvinyl chloride (PVC)
- d. Nylon

**Answer:** c) Polyvinyl chloride (PVC)

3. Type of rubber is the best alternative to natural rubber for applications requiring high-temperature resistance, such as oven seals

- a. Butyl rubber
- b. Silicone rubber
- c. neoprene
- d. polyurethane rubber

Answer: b) Silicone rubber

4. \_\_\_\_\_rubber is a good alternative to traditional rubber for making fuel hoses due to its high resistance to oil and chemicals

- a. Styrene-butadiene rubber (SBR)
- b. Nitrile rubber (NBR)
- c. Silicone rubber
- d Butyl rubber

Answer: b) Nitrile rubber (NBR)

5. \_\_\_\_\_ceramic material is commonly used as an alternative to metal for making high-temperature furnace linings?

- a. Silicon carbide (SiC)
- b. Polyethylene (PE)
- styrene-butadiene rubber (SBR)
- d.ABS plastic

Answer: a) Silicon carbide (SiC)

## Unit 5 Heat Treatment Processes

### हीट ट्रीटमेंट प्रोसेसेस

**कोर्स परिणाम-5 (Course Outcomes-5):** दिलेल्या परिस्थितींमध्ये संबंधित उष्णता उपचार प्रक्रिया लागू करा. (Use relevant heat treatment processes in given situations.)

**TLO 5.1** निर्दिष्ट उष्णता उपचार प्रक्रिया रेखाचित्रांसह वर्णन करा. (Describe with sketches the specified heat treatment processes.)

**TLO 5.2** दिलेल्या सामग्रीसाठी संबंधित उष्णता उपचार प्रक्रिया निवडा आणि त्याचे न्यायसंगत स्पष्टीकरण द्या. (Select the relevant heat treatment processes for given material with justification.)

**TLO 5.3** दिलेल्या उष्णता उपचार भट्टीचे कार्य तत्त्व रेखाचित्रांसह स्पष्ट करा. (Explain with sketches the working principle of the given heat treatment furnace.)

**TLO 5.4** दिलेल्या परिस्थितीसाठी संबंधित उष्णता उपचार प्रक्रिया सुचवा आणि त्याचे न्यायसंगत स्पष्टीकरण द्या. (Suggest the relevant heat treatment process for the given situation with justification.)

**5.1 हीट ट्रीटमेंटचा आढावा (Overview of Heat Treatment)** -कोणत्याही पदार्थाच्या इंटरनल स्ट्रक्चर बदल घडवून आणण्यासाठी किंवा त्याच्या फिजिकल, केमिकल किंवा मेकॅनिकल प्रॉपर्टीज मध्ये बदल करण्यासाठी कोणतीही हीटिंग आणि कुलिंग प्रोसेस किंवा अशा दोन किंवा अधिक प्रक्रियांचा अनुक्रम लागू करणे, यास हीट ट्रीटमेंट म्हणतात. यामध्ये पदार्थाला विशिष्ट तापमानापर्यंत गरम करणे, त्या तापमानावर ठराविक कालावधीसाठी ठेवणे आणि नंतर विशिष्ट दराने कोल्ड करून रूमच्या तापमानाला आणणे यांचा समावेश होतो.

**5.1.1 हीट ट्रीटमेंटचा उद्देश (Purpose of Heat Treatment):** हीट ट्रीटमेंटचा मुख्य उद्देश म्हणजे मेटल आणि मिश्रधातूंच्या(alloys) फिजिकल, मेकॅनिकल आणि काही वेळा केमिकल गुणधर्मांमध्ये बदल करून विविध उपयोगांसाठी आवश्यक वैशिष्ट्ये प्राप्त करणे. हीट ट्रीटमेंटचे प्रमुख उद्दिष्टे पुढीलप्रमाणे आहेत:

1. **मेकॅनिकल प्रॉपर्टीज सुधारणे(Improving Mechanical Properties)** – हार्डनेस, टफनेस, स्ट्रेंथ, डक्टिलिटी (ductility) आणि वेअर रेझिस्टन्स वाढवणे.
2. **इंटरनल स्ट्रेस कमी करणे(Relieving Internal Stresses)** – कास्टिंग (casting), वेल्डिंग आणि मशिनिंग यांसारख्या उत्पादन प्रक्रियांमुळे निर्माण होणारे रेसिड्यूअल स्ट्रेस कमी करणे.
3. **ग्रेन रिफाइनमेंट(Grain Refinement)** – मायक्रो-स्ट्रक्चर सुधारणा करून यांत्रिक कार्यक्षमतेत वाढ करणे.
4. **माशिनाबिलिटी वाढवणे(Enhancing Machinability)** – मेटलला कापण्यासाठी, घडवण्यासाठी आणि प्रक्रियेस सोपे करणे.
5. **हार्डनेस वाढवणे(Increasing Hardness)** – वेअर रेझिस्टन्स साठी पृष्ठभागाची स्ट्रेंथ वाढवणे. (उदा. केस हार्डनिंग).
6. **टफनेस आणि डक्टिलिटी वाढवणे(Improving Toughness and Ductility)** – इम्पक्ट रेझिस्टन्स आणि लवचिकता(flexibility) सुधारणे.
7. **मटेरीअलचे गुणधर्म पुनर्संचयित करणे(Restoring Material Properties)** – वर्क हार्डनिंग किंवा कोल्ड वर्किंगमुळे होणारे परिणाम उलटवणे.

8. **करोजन आणि ऑक्सिडेशन रेझिस्टन्स वाढवणे**(Enhancing Corrosion and Oxidation Resistance)– कठीण वातावरणात टिकाव वाढवणे.

### 5.1.2 हीट ट्रीटमेंटची मूलभूत तत्त्वे (Fundamentals of Heat Treatment):

1. आयर्न -कार्बन(iron-carbon) प्रणालीमध्ये युटेक्टॉइड(eutectoid)अभिक्रियेमुळे स्टील हीट ट्रीटमेंट शक्य होतात.
2. स्टीलसाठी सर्व मूलभूत हीट ट्रीटमेंट प्रक्रियांमध्ये ऑस्टेनाइटचे(austenite) रूपांतर किंवा विघटन समाविष्ट असते.
3. अशा प्रकारे मिळवलेल्या ट्रान्सफोरमेशन प्रोडक्टचे नेचर(nature) आणि अपिअरन्स(appearance) स्टीलमध्ये विविध उपयुक्त फिझिकल आणि मेकॅनिकल प्रोपर्टीज विकसित करते.
4. ऑस्टेनाइटचे परलाइट किंवा मार्टेन्साइटमध्ये रूपांतर करण्यात कुलिंग रेट महत्त्वाची भूमिका बजावते.
5. हीट ट्रीटमेंट केवळ काही विशिष्ट अलोईज(alloy) सह प्रभावी आहे (उदा. Fe-C, अॅल्युमिनियम कांस्य इ.) कारण ते एका एलिमेंट्स वर अवलंबून असते, वेगवेगळ्या परिस्थितीत वेगवेगळ्या प्रमाणात सोलिड अवस्थेत दुसऱ्या एलिमेंट्स मध्ये विरघळते.
6. हीट ट्रीटमेंटचा सिद्धांत या तत्त्वावर आधारित आहे की विशिष्ट तापमानापेक्षा जास्त गरम केल्यावर मिश्रधातूच्या स्ट्रक्चरमध्ये बदल होतो. नंतर रूमच्या तापमानाला थंड केल्यावर त्याच्या स्ट्रक्चरमध्ये पुन्हा बदल होतो.
7. विविध (सोफ्ट/हार्ड) स्ट्रक्चर विकसित करण्यासाठी कुलिंग रेट हा एक महत्त्वाचा घटक आहे.
8. स्टीलमध्ये क्रिटिकल रेंजच्या वरून स्लो कूलिंग मुळे पेअरलीटिक (pearlitic)(सोफ्ट) स्ट्रक्चर निर्माण होईल तर फास्ट कूलिंग मुळे मार्टेन्सिटिक(martensitic) स्ट्रक्चर निर्माण होईल.

### 5.1.3 हीट ट्रीटमेंट प्रक्रियेचे वर्गीकरण (Classification of Heat Treatment Process):

- 1) **अॅनिलिंग प्रोसेस(Annealing Process)**-अॅनिलिंग ही मेटलला सोफ्ट करण्यासाठी, डक्टीलिटी सुधारण्यासाठी आणि इंटर्नल स्ट्रेस कमी करण्यासाठी वापरली जाणारी हीट ट्रीटमेंट प्रोसेस आहे.

- a) **पूर्ण अॅनिलिंग(Full Annealing)** – मेटलला त्याच्या क्रिटिकल तापमानापेक्षा जास्त गरम करते आणि भट्टीत हळूहळू थंड करते.
- b) **प्रोसेस अॅनिलिंग(Process Annealing)** – कोल्ड वर्किंग नंतर डक्टीलिटी रीस्टोर करण्यासाठी कमी तापमानात केले जाते.
- c) **स्ट्रेस रिलीफ अॅनिलिंग(Stress Relief Annealing)** - मेकॅनिकल प्रोपर्टीज मध्ये लक्षणीय बदल न करता इंटर्नल स्ट्रेस कमी करते.
- d) **स्फेरोइडायझिंग अॅनिलिंग(Spheroidizing Annealing)** - स्फेरोइडायझल कार्बाइड तयार करून हाय कार्बन स्टील्समध्ये मशीनीबिलिटी सुधारण्यासाठी वापरले जाते.

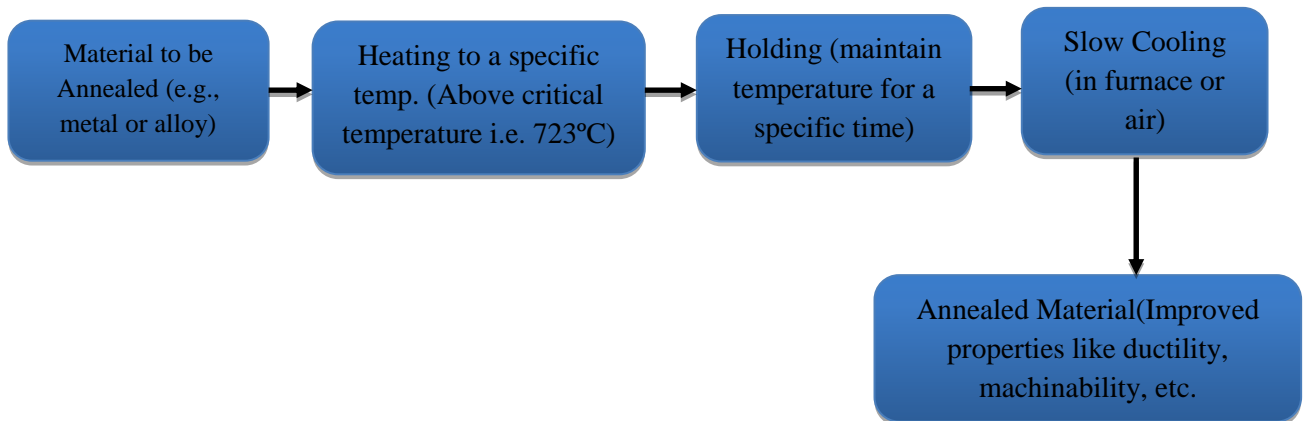
- 2) **हार्डनिंग प्रोसेस(Hardening Processes)**:या प्रोसेस मायक्रो-स्ट्रक्चर बदलून हार्डनेस आणि टफनेस वाढवतात.

- a) **क्वेंचिंग** - हार्डनेस वाढवण्यासाठी पाणी, ओईल किंवा हवेचा वापर करून उच्च तापमानापासून जलद थंड होणे.
- b) **फ्लेम हार्डनिंग** - ऑक्सि-फ्युल फ्लेम वापरून पृष्ठभाग हार्ड होणे आणि त्यानंतर फास्ट कुल होणे.
- c) **इंडक्शन हार्डनिंग-क्वेंचिंग** करण्यापूर्वी लोकलाईज्ड हीटिंगसाठी इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शन वापरते.

- d) **केस हार्डनिंग** – टफ कोर राखताना पृष्ठभागाची हार्डनेस वाढवते (उदा. कार्बरायझिंग, नायट्रायडिंग, सायनाइडिंग).
- 3) **टेम्परिंग(Tempering):** ब्रीटलनेस कमी करण्यासाठी आणि टफनेस सुधारण्यासाठी क्वेंचिंगनंतर केले जाते. मेटल कमी तापमानाला पुन्हा गरम केला जातो आणि नंतर कंट्रोल रेटने कुल केला जातो.
- 4) **नॉर्मलायझिंग(Normalizing):** अॅनिलिंगसारखेच परंतु हवेमध्ये फास्ट कुलिंग करणे समाविष्ट आहे. ग्रेन स्ट्रक्चर सुधारण्यासाठी आणि टफनेस, हार्डनेस आणि मशीनिबिलिटी सुधारण्यासाठी वापरले जाते.
- 5) **केस हार्डनिंग:** टफ कोर राखताना फक्त पृष्ठभाग हार्ड करून वेअर रेझिस्टन्स सुधारते.
- a) **कार्बरायझिंग** - पृष्ठभागावर कार्बनचे प्रमाण वाढवते.
- b) **नायट्रायडिंग** - हार्डनेससाठी पृष्ठभाग नायट्रोजनने समृद्ध करते.
- c) **सायनाइडिंग** - केस हार्ड करण्यासाठी कार्बन-नायट्रोजन कोम्बिनेशन वापरते.

#### 5.1.4 हीट ट्रीटमेंटचा वापर (Application of Heat Treatment):

- a) विमान इंडस्ट्री.(Aircraft Industry)
- b) ऑटोमोबाईल अभियांत्रिकी.
- c) संरक्षण क्षेत्र.
- d) फोर्जिंग.
- e) फाउंड्री.
- f) अवजड यंत्रसामग्री उत्पादन.
- g) पावडर मेटल इंडस्ट्री .(Powder metal industry)
- a. **अॅनिलिंग(Annealing):** ही एक अत्यंत महत्त्वाची हीट ट्रीटमेंट प्रोसेस आहे. मेटल जो मेटास्टेबल किंवा डीस्टोर्टेड स्ट्रक्चर(distorted structure) अवस्थेत आहे, त्यास अशा तापमानाला गरम करणे ज्यामुळे अस्थिरता किंवा डीस्टोरशन(distortion) दूर होते आणि त्यानंतर कुल करणे (सामान्यतः मंद गतीने) जेणेकरून रूमच्या तापमानाला स्थिर व स्ट्रेन फ्री (strain free) स्ट्रक्चर प्राप्त होईल, यास अॅनिलिंग म्हणतात.



**Fig.5.2**  
**Annealing Process**

#### 5.2.1 अॅनिलिंगचा उद्देश(Purpose of annealing):

- a) डक्टलिटी (ductility) आणि टफनेस वाढते – मेटल सोफ्ट करून त्याच्या कार्यक्षमतेत वाढ करते.
- b) इंटर्नल स्ट्रेस कमी करणे – वाकणे व तडे जाणे टाळते.

- ग्रेन स्ट्रक्चर सुधारणे – मेकॅनिकल प्रोपर्टीज सुधारते.
- मशिनाबिलिटी वाढवणे – मेटल कापणे आणि आकार देणे सुलभ करते.
- मेकॅनिकल प्रोपर्टीज पूर्ववत करणे – थंड कार्याने वाढलेली हार्डनेस कमी करते.
- विद्युत व चुंबकीय प्रोपर्टीज सुधारणे – विद्युत रेझिस्टन्स कमी करून चुंबकीय कार्यक्षमता वाढवते.

### 5.2.2 अॅनिलिंगचे प्रकार (Types of Annealing):

- फूल अॅनिलिंग (Full Annealing)
- स्ट्रेस रिलीफ अॅनिलिंग (Stress Relief Annealing)
- स्फेराइझिंग अॅनिलिंग (Spheroidizing Annealing)
- प्रोसेस अॅनिलिंग (Process Annealing)

**1) फूल अॅनिलिंग (Full Annealing):** फूल अॅनिलिंग म्हणजे फेरस मिश्रमेटलचे ऑस्टेनिटायझिंग करून त्याला ट्रान्सफोरमेशन रेंजमध्ये हळूहळू कुल करणे. हायपोयूटेक्टॉईड स्टीलसाठी ऑस्टेनिटायझिंग तापमान साधारणतः 723°C ते 910°C दरम्यान असते, तर हायपरयूटेक्टॉईड स्टीलसाठी हे तापमान 723°C ते 1130°C असते.

फूल अॅनिलिंग प्रक्रियेमध्ये स्टीलला ऑस्टेनितिक क्षेत्रात योग्य तापमानाला गरम केले जाते. त्यानंतर स्टीलच्या वस्तूला त्या तापमानावर विशिष्ट कालावधीसाठी (साधारणतः 2.5 ते 3 मिनिटे प्रति मिमी जाडीसाठी) ठेवले जाते, जेणेकरून ती संपूर्णतः ऑस्टेनितिक होईल. यानंतर, वस्तूला ट्रान्सफोरमेशन रेंजमधून अत्यंत संथ गतीने कुल केले जाते, शक्यतो भट्टीतच, जोपर्यंत ती कमी तापमान प्राप्त करत नाही.

संथ गतीने कुल केल्यामुळे ऑस्टेनाइट लो सुपरकूलिंग तापमानावर विघटित होऊन पुढील स्ट्रक्चर तयार करतो:

- हायपोयूटेक्टॉईड स्टीलमध्ये: पर्लाइट + फेराइट स्ट्रक्चर (pearlite + ferrite)
- हायपरयूटेक्टॉईड स्टीलमध्ये: पर्लाइट + सिमेंटाइट स्ट्रक्चर (pearlite + cementite)

### फूल अॅनिलिंगचे उपयोग (Applications of Full Annealing):

- मशिन्ड पार्ट्स (machined parts) – गीअर्स, शाफ्ट्स, अचूकता आवश्यक असलेल्या पार्ट्स साठी.
  - कोल्ड वर्किंग करण्याची तयारी – रोलिंग, फोर्जिंग, डीप ड्रॉइंग प्रक्रियेसाठी.
  - शिट मेटल इंडस्ट्री – स्टॅम्पिंग, बेंडिंग यांसाठी.
  - ऑटोमोबाईल इंडस्ट्री – इंजिन भाग, स्ट्रक्चरत्मक घटक तयार करण्यासाठी.
  - एरोस्पेस इंडस्ट्री – विमानांच्या भागांसाठी.
  - वेल्डेड स्ट्रक्चर – स्ट्रेस आणि हार्डनेस कमी करण्यासाठी.
  - टूल आणि डाय इंडस्ट्री – हाय-कार्बन स्टील सोफ्ट करण्यासाठी.
- 2) स्ट्रेस रिलीफ अॅनिलिंग (Stress Relief Annealing):**  
स्ट्रेस रिलीफ अॅनिलिंग ही एक हीट ट्रीटमेंट प्रोसेस आहे जी मेकॅनिकल प्रोपर्टीज वर मोठा परिणाम न करता मेटलमधील रेसीड्युअल स्ट्रेस (residual stress) कमी करण्यासाठी वापरली जाते. ही प्रोसेस फूल अॅनिलिंगच्या तुलनेत कमी तापमानावर केली जाते.
- प्रोसेस:**

मेटल 450°C – 650°C पर्यंत गरम केले जातात (स्टीलसाठी) किंवा इतर मटेरीअलसाठी योग्य तापमानापर्यंत. या तापमानावर विशिष्ट वेळेसाठी ठेवले जाते. भट्टीत संथ गतीने कुल केले जाते जेणेकरून स्ट्रेस पुन्हा निर्माण होऊ नये.

#### उपयोग:

1. मशिनड पार्ट्स (machined parts) – डीस्टोरशन(distortion) टाळण्यासाठी.
  2. वेल्डेड स्ट्रक्चर – वेल्डिंगमुळे निर्माण होणारे स्ट्रेस कमी करण्यासाठी.
  3. कास्टिंग आणि फोर्जिंग – स्थिरता(stability) सुधारण्यासाठी.
  4. कोल्ड वर्क केलेले मेटल – डक्टीलिटी रीस्टोर करण्यासाठी.
- 3) **स्फेरोइडायझिंग अॅनिलिंग (Spheroidizing Annealing):** स्फेरोइडायझिंग अॅनिलिंग प्रक्रियेमध्ये स्टीलला विशिष्ट तापमान चक्राला अधीन केले जाते, जो सहसा रूपांतरण श्रेणीत किंवा त्याच्या जवळ असतो, जेणेकरून स्टीलमधील कार्बाईड, स्फेरोइडल किंवा ग्लोब्युलर स्वरूपात रूपांतरित होईल.

#### फायदे:

- a. मशीनाबिलिटी सुधारते.
- b. पुढील कोल्ड वर्किंग प्रोसेस सुलभ होते.
- c. नंतरच्या हीट ट्रीटमेंटसाठी इच्छित स्ट्रक्चर प्राप्त होते.
- d. टूल स्टील सोफ्ट होते.
- e. यंत्रणेदरम्यान सरफेस फिनिश सुधारते.
- f. कोल्ड फोर्मिंग प्रक्रियेदरम्यान स्टीलला क्रॅकिंग येण्यास प्रतिबंध होतो.

स्टीलच्या नॉर्मल अॅनिलिंगच्या तुलनेमध्ये स्फेरोइडायझिंग प्रक्रियेमुळे स्टीलमध्ये कमी हार्डनेस व टेनसाईल स्ट्रेंथ प्राप्त होते, तसेच अधिक एलोनोशन आणि क्षेत्राचे कमी होणे याची नोंद होते. ही प्रोसेस हाय-कार्बन स्टीलसाठी मोठ्या प्रमाणावर वापरली जाते, ज्यामध्ये लेमेलर पर्लाइटिक(lamellar pearlitic) सिमेंटाइटला स्फेरोइडल प्रकारात रूपांतरित केले जाते. सिमेंटाइटचे स्फेरोइड, फेराइट मिश्रणात समाविष्ट असते.

स्फेरोइडायझिंग प्रोसेस करण्याच्या पद्धती:

- a. स्टील गरम करून त्यास 650°C ते 750°C या तापमानावर दीर्घकाळ ठेवणे.
- b. स्टीलला खालील क्रिटिकल लाइनच्या वर आणि खाली असलेल्या तापमानांमध्ये पर्यायाने गरम व थंड करणे.
- c. स्टीलला 730°C ते 770°C या तापमानावर गरम करणे आणि त्यानंतर हळूहळू 25°C ते 30°C प्रति तास वेगाने 600°C पर्यंत थंड करणे.

#### उपयोग:

- a. टूल आणि डाय उत्पादन.
  - b. कटिंग टूल्स, बेअरिंग आणि स्प्रिंग्ज.
  - c. गीअर्स आणि ऑटोमोबाईल पार्ट्स.
  - d. स्टील वायर उत्पादन.
- 4) **प्रोसेस अॅनिलिंग (Process Annealing):** प्रोसेस अॅनिलिंग प्रामुख्याने सबक्रिटीकल अॅनिलिंग असते आणि कोल्ड वर्किंगमुळे होणारे परिणाम दूर करण्यासाठी, मेटल सोफ्ट करण्यासाठी आणि पुढील कोल्ड वर्क सुलभ करण्यासाठी वापरले जाते. ही प्रोसेस मुख्यतः शिट आणि वायर इंडस्ट्री मध्ये आढळते.

फेरस मिश्रधातूंना रूपांतरण श्रेणीच्या खालच्या मर्यादेच्या जवळ, पण त्याच्या खाली (550°C ते 650°C) या तापमानापर्यंत गरम केले जाते. त्या तापमानावर काही वेळ ठेवले जाते आणि त्यानंतर हवेने कुल केले जाते, जेणेकरून मिश्रमेटल पुढील कोल्ड वर्कसाठी सोफ्ट होईल (उदा. वायर ड्रॉइंगमध्ये). प्रोसेस ऑनिलिंगमध्ये फक्त डीस्टोरेड फेराइटचे रिक्रिस्टलायझेशन होते आणि कारण माईल्ड स्टीलमध्ये स्ट्रेन्ड पर्लाइटचे प्रमाण कमी असते, त्यामुळे जास्त सोफ्टनेस प्राप्त होते. या प्रक्रियेत कोणताही टप्पा परिवर्तन होत नाही, त्यामुळे फेराइट आणि सिमेंटाइट संपूर्ण प्रक्रियेदरम्यान उपस्थित राहतात. प्रोसेस ऑनिलिंग प्रामुख्याने बॅच प्रकारच्या किंवा कन्टीन्युअस भट्ट्यांमध्ये (Continuous Furnaces) केली जाते. सामान्यतः जळालेल्या कोळसा वायूच्या निष्क्रिय वातावरणात ही प्रोसेस पार पडते. कधीकधी कास्ट आयर्न ऑनिलिंग पोट्स(pots) वापरली जातात, ज्यांचे झाकण चिकट मातीने लावले जाते.

#### उपयोग:

- शिट मेटल इंडस्ट्री.
- ऑटोमोबाईल इंडस्ट्री.
- वायर आणि पाईप उत्पादन.
- कोल्ड वर्क केलेले घटक.
- लो कार्बन स्टील प्रोसेस.

#### ऑनिलिंगचा स्टीलच्या गुणधर्मावर होणारा परिणाम:

- स्टील सोफ्ट होते.
- डक्टिलिटी (Ductility) सुधारते.
- माशिनाबिलिटी (Machinability) वाढते.
- इंटरनल स्ट्रेस कमी होतात.
- विद्युत आणि चुंबकीय गुणधर्म सुधारले जातात.
- ग्रेन स्ट्रक्चर रिफाइन होते.

#### 5.2.4 ऑनिलिंग तापमान श्रेणी (Annealing Temperature Range):

Table 5.1

#### ऑनिलिंग तापमान श्रेणी

अनुक्रमांक (Sr. No.)	कार्बन टक्केवारी (Percentage Carbon Content)	तापमान श्रेणी (Temperature Range (°C))
1	Less than 0.12 (Dead MS)	875 –924
2	0.12 to 0.45 (MS)	840 –970
3	0.45 to 0.80 (Medium Carbon Steel)	815 –840
4	0.5 to 0.8. (Medium Carbon Steel)	780 –810
5	0.8 to 1.50 (High Carbon Steel)	760 -780

#### 5.2.5 ऑनिलिंगचे उपयोग (Applications of Annealing):

- मशीन पार्ट्स (गिअर्स, शाफ्ट्स, अचूक भाग)
- कोल्ड वर्किंग तयारीसाठी (रोलिंग, फोर्जिंग, डीप ड्रॉइंग)
- शीट इंडस्ट्री (स्टॅम्पिंग, बेंडिंग)
- ऑटोमोबाईल इंडस्ट्री (इंजिन पार्ट्स, स्ट्रक्चरल पार्ट्स)
- एरोस्पेस इंडस्ट्री (विमानाचे पार्ट्स)

f) वेल्डेड स्ट्रक्चर (स्ट्रेस रिलीफ, हार्डनेस कमी करणे)

**5.3 नॉर्मलायझिंग (Normalizing):** नॉर्मलायझिंग किंवा एअर क्वेंचिंग यामध्ये स्टीलला त्याच्या वरच्या क्रिटीकल तापमानापेक्षा (Upper Critical Temperature) सुमारे 40°C ते 50°C जास्त तापमानाला (723°C) (म्हणजेच A<sub>3</sub> आणि A<sub>cm</sub> रेषा) गरम केले जाते आणि आवश्यक असल्यास, त्या तापमानावर काही वेळ धरले जाते. त्यानंतर, स्थिर हवेमध्ये (Still Air) रूमच्या तापमानाला थंड केले जाते. नॉर्मलायझिंग ही प्रोसेस प्रामुख्याने जास्त स्ट्रेस (high stress) सहन करणाऱ्या उत्पादनांवर अंतिम हीट ट्रीटमेंट (Final Heat Treatment Process) म्हणून लागू केली जाते.

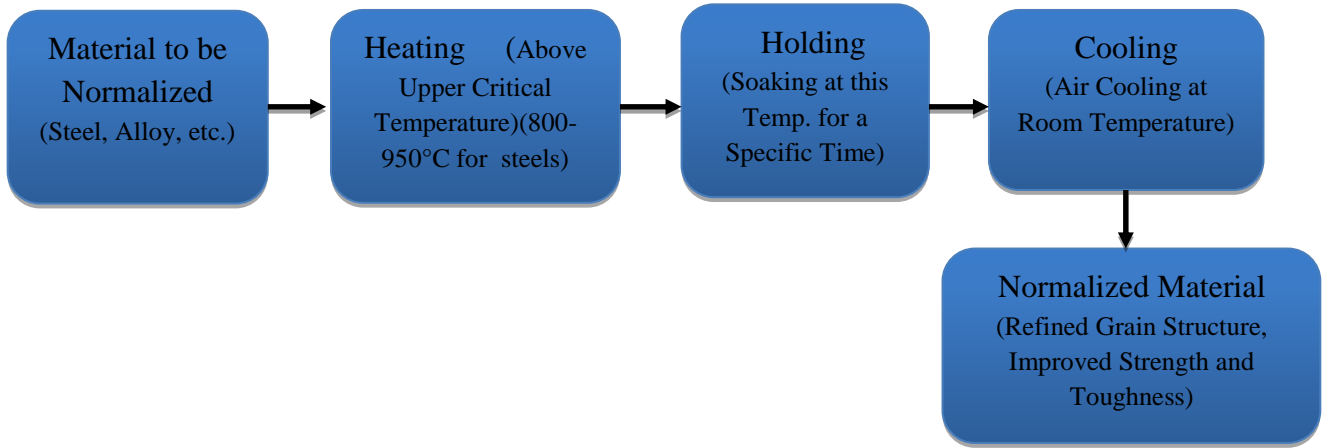


Fig. 5.3

नॉर्मलायझिंग प्रोसेस (Normalizing Process)

### 5.3.1 नॉर्मलायझिंगचा उद्देश (Purpose of Normalizing):

- युनिफॉर्म स्ट्रक्चर (Uniform Structure) निर्माण करते.
- स्टीलच्या ग्रेन स्ट्रक्चरचे रिफाईनमेंट (Grain Refinement) करते.
- जास्त सॉफ्ट आणि डकटाईल स्टीलला आवश्यक स्ट्रेंथ आणि डक्टीलीटी प्रदान करते, ज्यामुळे मशिनिंग सुधारते.
- इंटरनल स्ट्रेस कमी करते.
- वेल्डेड स्ट्रक्चरमध्ये सुधारणा करते.
- फूल ऑनिलिंगच्या तुलनेत अधिक स्ट्रेंथ आणि हार्ड स्टील निर्माण करते.
- हायपर युटेक्टॉइड स्टीलच्या ग्रेन सीमांवरील (Grain Boundaries) कार्बाइड नेटवर्क काढून टाकते.
- सर्वसाधारणपणे, स्टीलचे अभियांत्रिकी गुणधर्म (Engineering Properties) सुधारते.

### 5.3.2 तापमान श्रेणी (Temperature Range):

नॉर्मलायझिंग प्रक्रियेचे तापमान स्टीलमधील कार्बनच्या प्रमाणावर अवलंबून असते. त्याची श्रेणी खालीलप्रमाणे आहे:

- हायपोयुटेक्टॉइड स्टीलसाठी (Hypoeutectoid Steels) (C < 0.8%):** वरच्या क्रिटीकल तापमानाच्या (Upper Critical Temperature) 40°C ते 50°C अधिक, म्हणजेच A<sub>3</sub> line पेक्षा जास्त.
- हायपरयुटेक्टॉइड स्टीलसाठी (Hypereutectoid Steels) (C > 0.8%):** खालच्या क्रिटीकल तापमानाच्या (Lower critical temperature) 40°C ते 50°C अधिक. म्हणजेच A<sub>1</sub> line (723°C) पेक्षा जास्त.

### 5.3.3 नॉर्मलायझिंगचे उपयोग (Applications of Normalizing):

- स्टील उत्पादन (Steel Production) – टस्ट्रेंथ आणि टफनेस सुधारते.
- ऑटोमोबाईल इंडस्ट्री (Automobile Industry) – गिअर्स, अॅक्सल्स, कॅकशाफ्टसाठी वापरले जाते.
- मशीन पार्ट्स (Machine Components) – शाफ्ट्स, हाउसिंग्स, फ्लॅंजेस तयार करण्यासाठी.
- टूल उत्पादन (Tool Manufacturing) – वेअर रेझिस्टन्स (Wear Resistance) आणि टफनेस सुधारते.
- फोर्जिंग आणि कास्टिंग (Forgings and Castings) – मेकॅनिकल प्रोपर्टीज सुधारते.
- स्ट्रक्चरल स्टील (Structural Steel) – बीम्स, कॉलम्स, प्लेट्स यासाठी वापरले जाते.
- पाईप आणि ट्यूब उत्पादन (Pipe and Tube Manufacturing) – स्ट्रेंथ आणि डक्टीलिटी वाढवते.
- हीट ट्रीटेड पार्ट्स (Heat-Treated Parts) – पुढील हीट ट्रीटमेंट प्रक्रियेसाठी पूर्वतयारी म्हणून.

**5.4 हार्डनिंग (Hardening):** स्टीलला त्याच्या क्रिटीकल तापमानापेक्षा (Critical Temperature) जास्त तापमानाला गरम करणे, त्याला त्या तापमानावर ठरावीक वेळ धरून ठेवणे आणि अचानक कुल करणे, यास हार्डनिंग प्रोसेस (Hardening Process) म्हणतात. ही अचानक कुल करण्याची प्रोसेस क्वेंचिंग (Quenching) म्हणून ओळखली जाते. टूल्स आणि मशीनचे पार्ट्स, जे जड सेवा (Heavy Duty Service) पार पाडतात, त्यांना सहसा हार्ड केले जाते. क्वेंच हार्डनिंग (Quench Hardening) आणि टेम्परिंग (Tempering) फक्त हीट ट्रीटमेंट योग्य स्टील्स (Heat Treatable Steels), नोड्युलर ग्रॅफाइट आयर्न (Nodular Graphite Iron) आणि मिश्रमेटल कास्ट लोह (Alloy Cast Irons) यांच्यासाठी मर्यादित असते. स्टीलमध्ये जास्तीत जास्त हार्डनिंग करण्यासाठी, क्वेंचिंग करताना त्यामध्ये 0.35% ते 0.60% कार्बन असणे आवश्यक असते.

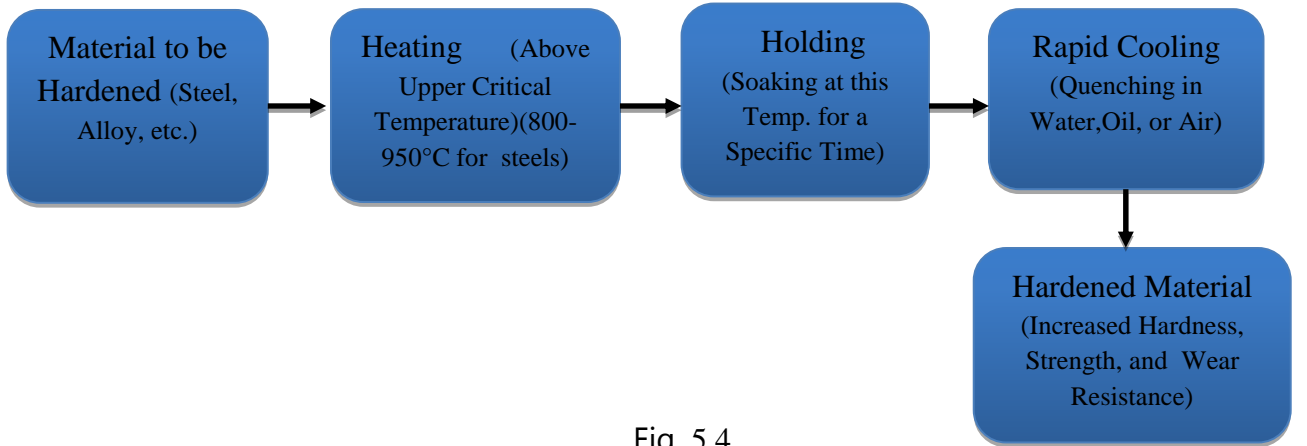


Fig. 5.4

हार्डनिंग प्रोसेस (Hardening Process)

#### 5.4.1 हार्डनिंगचा उद्देश व तापमान श्रेणी (Purpose of Hardening and Temperature Range):

हार्डनिंगचा उद्देश:

- स्टीलला वेअर रेझिस्टिव बनवण्यासाठी हार्ड करणे.
- स्टीलला इतर मेटल कट करण्यायोग्य (Cutting Ability) बनवणे.
- स्ट्रेंथ, टफनेस आणि डक्टीलिटी (Ductility) सुधारण्यासाठी.
- टफनेस व नॉच डक्टीलिटी (Notch Ductility) यांचा उत्तम समतोल साधण्यासाठी.

#### 5.4.2 हार्डनिंगचे तापमान श्रेणी (Hardening Temperature Range):

- a) हायपोयुटेक्टॉइड स्टीलसाठी (Hypoeutectoid Steels): वरच्या क्रिटीकल तापमानाच्या (Upper Critical Temperature) 30°C ते 40°C जास्त.
- b) हायपरयुटेक्टॉइड स्टीलसाठी (Hypereutectoid Steels): खालच्या क्रिटीकल तापमानाच्या (Lower Critical Temperature) 40°C ते 50°C जास्त.

#### 5.4.3 हार्डनिंगचे उपयोग (Applications of Hardening):

- कटिंग टूल्स (Cutting Tools): ड्रिल्स, मिल्स, लेथ टूल्स – मेटल कापण्याची क्षमता वाढवते.
- गिअर्स आणि शाफ्ट्स (Gears and Shafts): वेअर रेझिस्टन्स आणि स्ट्रेंथ सुधारते.
- बिअरिंग्स (Bearings): वाढीव हार्डनेसमुळे टिकाऊपणा वाढतो.
- स्प्रिंग्स (Springs): फटिंग रेझिस्टन्स वाढवते.
- ऑटोमोबाईल पार्ट्स (Automotive Components): इंजिन पार्ट्स, कॅमशाफ्ट्स यासाठी.
- मोल्ड्स आणि डायज (Molds and Dies): धातूच्या फॉर्मिंगसाठी वेअर रेझिस्टन्स सुधारते.
- कृषी अवजारे (Agricultural Tools): नांगर, जमीन मशागत साधने (Plows, Tillage Tools) यासाठी वापरले जाते.

**5.5 टेम्परिंग (Tempering):** टेम्परिंग ही एक महत्त्वपूर्ण हीट ट्रीटमेंट प्रोसेस आहे, जी विशेषतः हार्डनिंग केल्यावर (Hardening) स्टीलच्या मेकॅनिकल प्रोपर्टीजला सुधारण्यासाठी वापरली जाते. या प्रक्रियेमध्ये मेटलला त्याच्या क्रिटीकल तापमानाच्या (Critical Temperature) खाली गरम केले जाते आणि नियंत्रित गतीने कुल केले जाते.

#### टेम्परिंग करण्याचा उद्देश (Purpose of Tempering):

- ब्रीटलनेस कमी करते – हार्ड स्टील ब्रीटल असते; टेम्परिंग टफनेस वाढवते.
- इंटर्नल स्ट्रेस कमी करते (Relieve Internal Stresses) – क्वेंचिंगमुळे निर्माण झालेले स्ट्रेस कमी करून क्रॅकिंग किंवा डीस्टोरेशन टाळते.
- डक्टीलिटी आणि टफनेस सुधारते – मेटलला तुटण्यापासून वाचवते.
- ओप्टिमाईज हार्डनेस (Optimize Hardness) – विशिष्ट उपयोगांसाठी योग्य हार्डनेस मिळवते.
- वेअर रेझिस्टन्स सुधारते (Enhance Wear Resistance) – औद्योगिक उपकरणांसाठी टिकाऊपणा वाढवते.

#### 5.5.1 हीट ट्रीटमेंटमधील टेम्परिंग प्रकार (Types of Tempering in Heat Treatment):

टेम्परिंगचा प्रकार तापमान श्रेणी आणि परिणामी मेकॅनिकल प्रोपर्टीजवर अवलंबून असते.

##### 1. लो टेम्परेचर टेम्परिंग (Low-Temperature Tempering) (150°C – 250°C)

- इंटर्नल स्ट्रेस कमी करतो आणि उच्च हार्डनेस टिकवतो.
- क्रॅकिंगचा धोका कमी करतो आणि वेअर रेझिस्टन्स वाढवतो.
- टफनेस थोडीशी वाढवतो परंतु हार्डनेस जास्त प्रमाणात कमी होत नाही.

##### ➤ प्रोसेस (Process):

- मेटल (प्रामुख्याने हार्ड स्टील) 150°C ते 250°C तापमानाला गरम करतात.
- 1 तास प्रति 25 मिमी जाडी या प्रमाणात धरून ठेवतात.
- स्थिर हवे किंवा ओईलमध्ये हळूवार थंड करतात.

##### ➤ अनुप्रयोग (Applications):

- कटिंग टूल्स (Cutting Tools) – ड्रिल बिट्स, चिझेल्स, पंचेस, सुरी
- डाय आणि मोल्ड्स (Dies and Molds) – मेटल फॉर्मिंगसाठी

3. हाय-कार्बन स्टील्स (High-Carbon Steels) – जिथे हार्डनेस महत्त्वाचा असतो
2. **मिडीअम टेम्परेचर टेम्परिंग (Medium-Temperature Tempering) (250°C – 500°C)**
  - a) मध्यम हार्डनेस टिकवून टफनेस वाढवतो.
  - b) वेअर रेझिस्टन्स आणि प्रभाव टफनेस यांचा समतोल राखतो.
  - c) इंटरनल स्ट्रेस कमी करून ब्रीटलनेस कमी करतो.
  - **प्रोसेस (Process):** स्टील 250°C ते 500°C तापमानाला गरम करतात. ठरावीक वेळ धरून ठेवतात. हवा किंवा ओईल मध्ये हळूवार थंड करतात.
  - **अनुप्रयोग (Applications):**
    - a) स्प्रिंग्स (Springs) – लीफ स्प्रिंग्स, कॉइल स्प्रिंग्स (ऑटोमोबाईलमध्ये)
    - b) ऑटोमोबाईल भाग (Automotive Parts) – गिअर्स, क्रॅकशाफ्ट, कनेक्टिंग रॉड्स
    - c) रेल्वे घटक (Railway Components) – ट्रॅक्स, कपलिंग, एक्सल्स
3. **हाय टेम्परेचर टेम्परिंग (High-Temperature Tempering) (500°C – 700°C)**
  - a) कमाल टफनेस आणि डक्टिलीटी (Ductility) वाढवतो.
  - b) प्रभाव रेझिस्टन्स (Impact Resistance) वाढवतो आणि लवचिकता देते.
  - c) मशीनिंगसाठी स्टील सोफ्ट करते.
  - **प्रोसेस (Process):** स्टील 500°C ते 700°C तापमानाला गरम करतात. ठरावीक वेळ धरून ठेवतात. हवेने हळूहळू थंड करतात.
  - **अनुप्रयोग (Applications):**
    - a) स्ट्रक्चरल स्टील्स (Structural Steels) – बीम्स, रीइनफोर्समेंट बार्स
    - b) जड मशीन भाग (Heavy-duty Machine Parts) – शाफ्ट, एक्सल्स, प्रेशर वेसल्स
    - c) गिअर्स आणि बिअरिंग्स (Gears and Bearings) – जिथे शॉक रेझिस्टन्स आवश्यक असतो.
- 5.5.2 **टेम्परिंगचे उपयोग (Applications of Tempering):**
  - a) ऑटोमोबाईल इंडस्ट्री – गिअर्स, क्रॅकशाफ्ट, स्प्रिंग्स
  - b) एरोस्पेस इंडस्ट्री – टर्बाइन ब्लेड्स, विमान लँडिंग गिअर
  - c) मॅन्युफॅक्चरिंग टूल्स – डाय, चिझेल्स, ड्रिल बिट्स
  - d) बांधकाम (Construction) – रीइनफोर्समेंट बार्स, स्ट्रक्चरल पार्ट्स
  - e)
- 5.6 **केस हार्डनिंग पद्धती (Case Hardening Methods):** केस हार्डनिंग ही एक हीट ट्रीटमेंट प्रोसेस आहे, जी धातूच्या पृष्ठभागाला टफ बनवते, तर आतील भाग (core) टफ आणि डक्टाईल ठेवते. यामुळे वेअर रेझिस्टन्स (Wear Resistance), फटींग स्ट्रेंथ आणि इम्प्याक्ट रेझिस्टन्स सुधारतो, ज्यामुळे ही ट्रीटमेंट हाय स्ट्रेसच्या (High-Stress) उपयोगांसाठी योग्य ठरतो. सर्वात सामान्य केस हार्डनिंग पद्धती पुढीलप्रमाणे आहेत:
  - a) कार्बुरायझिंग (Carburizing)
  - b) नायट्रायडिंग (Nitriding)
  - c) सायनायडिंग (Cyaniding)
- 5.6.1 **कार्बुरायझिंग (Carburizing):** कार्बुरायझिंग ही केस हार्डनिंग प्रोसेस आहे, जी लो कार्बन स्टीलच्या पृष्ठभागात कार्बन प्रवेश करून त्याचा हार्डनेस वाढवते. ही प्रोसेस 900°C – 950°C तापमानाला कार्बन-

समृद्ध वातावरणात केली जाते. कार्बुरायझिंगनंतर स्टील क्वेंच (Quench) केले जाते, जेणेकरून बाह्य पृष्ठभागाचा हार्डनेस टिकून राहिल आणि टफ कोर तशीच राहिल.

➤ **उपयोग (Applications):**

- गिअर्स (Gears) – गिअर टीथचे वेअर रेझिस्टन्स सुधारतो.
- कॅमशाफ्ट आणि क्रॅकशाफ्ट (Camshafts and Crankshafts) – फटिग रेझिस्टन्स (Fatigue Resistance) वाढवतो.
- बिअरिंग्ज आणि टूल्स (Bearings and Tools) – टिकाऊपणा सुधारतो.

**5.6.2 नायट्रायडिंग (Nitriding):** नायट्रायडिंग ही प्रोसेस आहे, ज्यामध्ये स्टीलच्या पृष्ठभागात नायट्रोजन प्रवेश केला जातो, आणि ही प्रोसेस  $500^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$  मध्यम तापमानाला केली जाते. कार्बुरायझिंगच्या उलट, नायट्रायडिंगनंतर क्वेंचिंग आवश्यक नसते, कारण नायट्राइड्स (Nitrides) पृष्ठभागावर तयार होऊन त्याला अत्यंत टफ बनवतात.

➤ **उपयोग (Applications):**

- एरोस्पेस कम्पोनंट (Aerospace Components) – विमानाच्या पार्ट्ससाठी फटिग रेझिस्टन्स वाढवतो.
- इंजिन वाल्व आणि सिलेंडर लाइनर – हीट आणि वेअर रेझिस्टन्स सुधारतो.
- इंजेक्शन मोल्ड्स (Injection Moulds) – टूलची लाइफ वाढवतो.

**5.6.3 सायनायडिंग (Cyaniding):** सायनायडिंग ही एक जलद केस हार्डनिंग प्रोसेस आहे, जिथे स्टीलच्या पृष्ठभागात कार्बन आणि नायट्रोजन प्रवेश केला जातो. ही प्रोसेस  $750^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$  तापमानाला मोल्टन सायनाइड मीठाच्या बाथमध्ये (Molten Cyanide Salt Bath) केली जाते. सायनायडिंगनंतर, पार्ट क्वेंच (Quench) केला जातो, ज्यामुळे आवश्यक हार्डनेस मिळतो.

➤ **उपयोग (Applications):**

- लहान भाग (Small Parts) – विशेष प्रकारचे फास्टनर्स.
- लो कॉस्ट कम्पोनंट (Low-Cost Components) – छोटे गिअर्स, पिन्स, हँड टूल्स.

**5.6.4 केस हार्डनिंग पद्धतींची तुलना (Comparison of Case Hardening Methods):**

Table No. 5.2

**केस हार्डनिंग पद्धतींची तुलना**

पद्धत	तापमान श्रेणी (Temperature Range)	हार्डनिंग इलेमेंट (Hardening Element)	केस डेपथ (Case Depth)	क्वेंचिंगची गरज ? Quenching Required?	उपयोग
कार्बुरायझिंग (Carburizing)	$900^{\circ}\text{C} - 950^{\circ}\text{C}$	कार्बन (Carbon)	0.1 – 3 mm	हो	गिअर्स, क्रॅकशाफ्ट, बिअरिंग्ज
नायट्रायडिंग (Nitriding)	$500^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$	नायट्रोजन (Nitrogen)	0.1 – 0.6 mm	नाही	इंजिन भाग, एरोस्पेस घटक

पद्धत	तापमान श्रेणी (Temperature Range)	हार्डनिंग इलेमेंट (Hardening Element)	केस डेपथ (Case Depth)	क्वेन्चींगची गरज ? Quenching Required?	उपयोग
सायनायडिंग (Cyaniding)	750°C – 900°C	कार्बन +नायट्रोजन (Carbon + Nitrogen)	0.1 – 1 mm	हो	विशेष प्रकारचे फास्टनर्स, लहान गिअर्स

5.7 **हीट ट्रीटमेंट भट्टी: मफल आणि बॉक्स प्रकार-** हीट ट्रीटमेंट भट्ट्या विशेष प्रकारचे उपकरण असतात, ज्यांचा उपयोग धातूंना विशिष्ट तापमानाला गरम करण्यासाठी केला जातो, जेणेकरून त्यांच्या यांत्रिक गुणधर्मांमध्ये इच्छित बदल साधता येतील. हीट ट्रीटमेंटमध्ये प्रामुख्याने खालील दोन प्रकारच्या भट्ट्या वापरल्या जातात:

1. मफल भट्टी (Muffle Furnace)
2. बॉक्स प्रकार भट्टी (Box Type Furnace)

#### 5.7.1 मफल भट्टी (Muffle Furnace):

मफल भट्टी ही एक प्रकारची हीट ट्रीटमेंट भट्टी आहे, ज्यामध्ये हीटिंग एलिमेंट्स मुख्य चेंबरपासून वेगळे ठेवले जातात. गरम करण्यासाठी आवश्यक असलेले मेटलचे भाग चेंबरच्या आत ठेवले जातात, तर हीटिंग एलिमेंट्स बाहेर असतात. यामुळे थेट फ्लेम किंवा गॅसच्या संपर्कामुळे होणारे कोन्टामीनेशन (contamination) टाळले जाते.

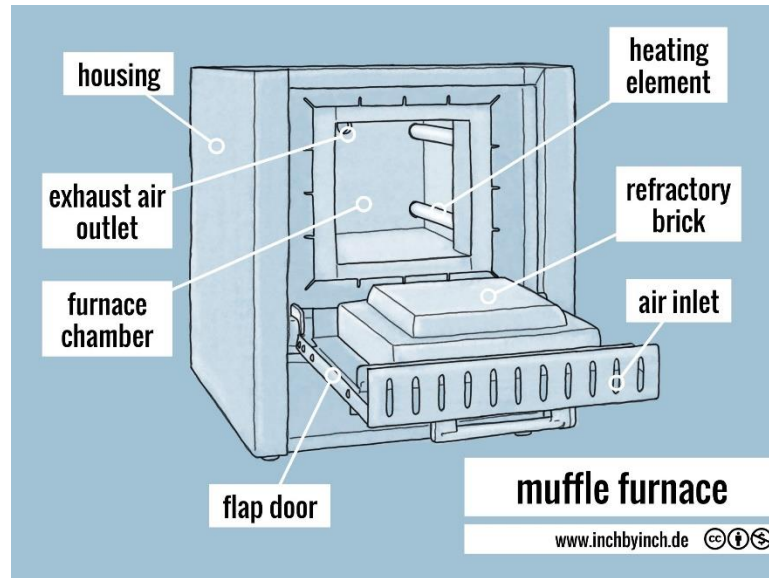


Fig.5.7.1

#### मफल भट्टी (Muffle Furnace)

##### रचना (construction):

- a) एक अग्निरोधक मफल (सिरेमिक किंवा मेटलचे) हीटिंग एलिमेंट्सला कार्यक्षेत्रापासून वेगळे करते.
- b) इलेक्ट्रिक रेझिस्टन्स कॉइल्स किंवा गॅस बर्नर्सद्वारे उष्णता प्रदान केली जाते.
- c) तापमान अचूक नियंत्रित करण्यासाठी थर्मोस्टॅट वापरला जातो.

**कार्यप्रणाली(working):** भट्टी इलेक्ट्रिक कॉइल्स किंवा गॅस बर्नर्सच्या मदतीने गरम केली जाते. रेडीएषण (Radiation) आणि कन्वेक्शन प्रक्रियेद्वारे चेंबरमध्ये हस्तांतरित केली जाते. चेंबरमधील वर्कपीसला कम्बशन गॅसेसशी थेट संपर्क न येता युनिफॉर्म हीट मिळते.

**उपयोग(Application):**

- लहान स्टील व अधातूंच्या घटकांचे अॅनिलींग.
- कटिंग टूल्स आणि डाईजचे टेम्परिंग.
- मटेरीअल संशोधनासाठी प्रयोगशाळा टेस्टिंग.
- सिरेमिक आणि पावडर मेटल भागांचे सिंटरिंग.

**5.6.2. बॉक्स टाईप भट्टी (Box Type Furnace) -** बॉक्स टाईप भट्टी ही एक मोठी हीट ट्रीटमेंट भट्टी आहे, जिथे वर्कपीस चौकोनी चेंबरमध्ये ठेवले जाते. हीटिंग एलिमेंट्स (Heating Elements) चेंबरभोवती असतात, त्यामुळे युनिफोर्म तापमान मिळते.



**Fig.5.6.2.**

### बॉक्स टाईप भट्टी

(Courtesy: <https://www.grievecorp.com/product-category/furnaces/heavy-duty-box-furnace/>)

**रचना :** आयताकृती बॉक्स-आकाराचा चेंबर, ज्यामध्ये इन्सुलेशन असते. इलेक्ट्रिक रेझिस्टन्स हीटिंग एलिमेंट्स किंवा गॅस बर्नर्स चेंबरभोवती असतात.तापमान नियंत्रणासाठी टेम्परेचर कंट्रोलर्स आणि थर्मोकपल्स असतात. मटेरीअल सहज लोड आणि अनलोड करण्यासाठी दरवाजा असतो.

**कार्यप्रणाली:** भट्टी गरजेनुसार निश्चित तापमानापर्यंत प्री-हीट केली जाते.मेटलचे भाग चेंबरमध्ये ठेवले जातात.रेडीएषण (Radiation) आणि कन्वेक्शन प्रक्रियेद्वारे हस्तांतरित केली जाते. वर्कपीस अॅनिलींग, नॉर्मलायझिंग, हार्डनिंग किंवा टेम्परिंग प्रक्रियेतून जाते.

**उपयोग :**

- गिअर्स, शाफ्ट आणि टूल्सचे हार्डनिंग आणि टेम्परिंग.
- मोठ्या स्टील पार्ट्सचे नॉर्मलायझिंग.

- c) ऑटोमोबाईल आणि एरोस्पेस भागांचे अॅनिलींग.  
d) मोठ्या प्रमाणात उत्पादन घटकांचे हीट ट्रीटमेंट प्रोसेस.

### Exercise

**TLO 5.1** निर्दिष्ट उष्णता उपचार प्रक्रिया रेखाचित्रांसह वर्णन करा. (Describe with sketches the specified heat treatment processes.)

- 1) The primary purpose of heat treatment is .....
- To change the chemical composition of metals
  - To enhance mechanical properties by controlled heating and cooling
  - To melt metals for casting
  - To increase electrical conductivity
- Answer: b) To enhance mechanical properties by controlled heating and cooling
- 2) The heat treatment process in which the steel is heated to above its upper critical temperature and then cooled slowly to refine grain structure is
- Normalizing
  - Hardening
  - Tempering
  - Carburizing

Answer: a) Normalizing

- 3) The hardening process which involves heating steel above its critical temperature followed by rapid cooling in water or oil is.....
- Annealing
  - Hardening
  - Tempering
  - Nitriding

Answer: b) Hardening

- 4) The main advantage of carburizing as a case hardening method is....
- It increases hardness only in the surface layer while keeping the core tough
  - It refines the grain structure of the entire metal
  - It enhances electrical conductivity
  - It prevents oxidation of the surface

Answer: a) It increases hardness only in the surface layer while keeping the core tough

- 5) The tempering is performed after hardening a metal component to.....
- To further increase hardness
  - To remove internal stresses and reduce brittleness
  - To introduce carbon into the surface
  - To refine grain structure completely

Answer: b) To remove internal stresses and reduce brittleness

**TLO 5.2** दिलेल्या सामग्रीसाठी संबंधित उष्णता उपचार प्रक्रिया निवडा आणि त्याचे न्यायसंगत स्पष्टीकरण द्या. (Select the relevant heat treatment processes for given material with justification.)

- 6) ..... type of annealing is used to reduce internal stresses in a metal without significantly altering its mechanical properties?
- Full Annealing
  - Stress Relief Annealing

c. Spheroidizing Annealing

d. Process Annealing

Answer: b) Stress Relief Annealing

7) The primary purpose of normalizing a steel component is.....

a. To increase ductility and toughness

b. To improve machinability by softening the metal

c. To refine grain structure and enhance mechanical properties

d. To introduce carbon into the surface for hardness

Answer: c) To refine grain structure and enhance mechanical properties

8) ..... heat treatment process involves heating steel above its critical temperature, followed by rapid cooling (quenching)

a. Annealing

b. Tempering

c. Hardening

d. Normalizing

Answer: c) Hardening

9) The case-hardening method in which nitrogen is diffused into the metal surface at moderate temperatures (500°C – 600°C), eliminating the need for quenching?

a. Carburizing

b. Cyaniding

c. Nitriding

d. Induction Hardening

Answer: c) Nitriding

10) The effect of tempering on a hardened steel component is to .....

a. Increases hardness and brittleness

b. Reduces internal stresses and improves toughness

c. Introduces carbon into the surface for case hardening

d. Softens steel for easier machining

Answer: b) Reduces internal stresses and improves toughness

**TLO 5.3** दिलेल्या उष्णता उपचार भट्टीचे कार्य तत्त्व रेखाचित्रांसह स्पष्ट करा. (Explain with sketches the working principle of the given heat treatment furnace.)

11) In a muffle furnace, the heat is transferred to the workpiece by

a. Direct flame contact

b. Radiation and convection

c. Conduction only

d. Chemical reaction

Answer: b) Radiation and convection

12) The main advantage of a muffle furnace is....

a. Faster heating due to direct flame contact

b. Isolation of heating elements from the chamber to prevent contamination

c. Large workspace for bulk processing

d. No need for temperature control

Answer: b) Isolation of heating elements from the chamber to prevent contamination

13) The component which is NOT part of a box-type furnace is .....

- a. Rectangular chamber with insulation
- b. Direct flame inside the chamber
- c. Temperature controllers and thermocouples
- d. Door for material loading and unloading

Answer: b) Direct flame inside the chamber

14) The heat treatment process which is commonly performed in a box-type furnace is....

- a. Case hardening of small tools
- b. Sintering of powdered metals
- c. Normalizing of large steel components
- d. Laboratory material testing

Answer: c) Normalizing of large steel components

15) The type of heating elements which can be used in both muffle and box-type furnaces is

- a. Only gas burners
- b. Only electric resistance coils
- c. Both gas burners and electric resistance coils
- d. Solar energy panels

Answer: c) Both gas burners and electric resistance coils

**TLO 5.4** दिलेल्या परिस्थितीसाठी संबंधित उष्णता उपचार प्रक्रिया सुचवा आणि त्याचे न्यायसंगत स्पष्टीकरण द्या. (Suggest the relevant heat treatment process for the given situation with justification.)

16) A steel gear needs to be hardened for improved wear resistance while maintaining a tough core. ----- heat treatment process is most suitable?

- a. Annealing
- b. Normalizing
- c. Case hardening
- d. Tempering

Answer: c) Case hardening

17) A cutting tool made of high-carbon steel has been hardened but is too brittle for practical use.

So, the additional heat treatment should be performed is .....

- a. Tempering
- b. Annealing
- c. Hardening
- d. Normalizing

Answer: a) Tempering

18) A forged crankshaft has uneven grain structure and internal stresses. The most appropriate heat treatment process is.....

- a. Case hardening
- b. Normalizing
- c. Quenching
- d. Tempering

Answer: b) Normalizing

19) A batch of copper electrical wires needs to be softened for better flexibility. The type of heat treatment process should be used is ....

- a. Annealing
- b. Hardening

- c. Quenching
- d. Case hardening

Answer: a) Annealing

20) A manufacturing plant wants to improve the toughness of hardened steel shafts without significantly reducing their hardness. Which process is best?

- a. Hardening
- b. Tempering
- c. Annealing
- d. Normalizing

Answer: a) Tempering

**Bibliography:**

<b>Sr. No</b>	<b>Author</b>	<b>Title</b>	<b>Publisher with ISBN Number</b>
1	Dieter, G.D	Mechanical Metallurgy	McGraw Hill Edu. New Delhi, 2017, ISBN. 978-1259064791
2	Avner,S.H	Introduction to Physical Metallurgy	McGraw Hill Edu. New Delhi, 2017, ISBN. 978-0074630068
3	Rajput, R.K S.	Engineering Materials And Metallurgy	Chand and Company New Delhi,2006, ISBN 978-8121927093
4	Balasubramaniam R	Callister's Materials Science and Engineering	Wiley, New Delhi, 2014, ISBN 978-8131518052
5	Parashivamurthy,K. I.	Material Science and Metallurgy	Pearson Education India, 2012, ISBN. 978- 8131761625
6	Fulay, P.P., Askeland D.R	Essentials of Materials Science and Engineering	Cengage India Private Limited, 2012 , ISBN 978-8131520703
7	Kodgire, V.D., Kodgire. S.V	Material Science and Metallurgy for Engineers	Everest Publishing House, 2017, ISBN. 978-8176314008