धातुविज्ञान पाठमाला

इस्पात

परिचय

डॉ0 गोकुलानंद मुखर्जी

वैज्ञानिक तथा तकनीकी शब्दावली आयोग
मानव संसाधन विकास मंत्रालय (माध्यमिक एवं उच्चतर शिक्षा विभाग)
भारत सरकार

इस्पात परिचय

लेखक
डॉ. गोकुलानंद मुखर्जी
पूर्व उपाध्यक्ष
भारतीय इस्पात प्राधिकरण
(स्टील अथारिटी ऑफ इंडिया)

वैज्ञानिक तथा तकनीकी शब्दावली आयोग
मानव संसाधन विकास मंत्रालय
(माध्यमिक एवं उच्चतर शिक्षा विभाग)
भारत सरकार
2004

© भारत सरकार, 2004
© Government of India, 2004

प्रकाशक :

वैज्ञानिक तथा तकनीकी शब्दावली आयोग,
मानव संसाधन विकास मंत्रालय,
(माध्यमिक एवं उच्चतर शिक्षा विभाग)
पश्चिमी खंड–7, रामकृष्णपुरम,
नई दिल्ली–110 066

मूल्य :

देश में : रु.
विदेश में : पौंड/डॉलर

बिक्री हेतु संपर्क सूत्र :

(1) **वैज्ञानिक अधिकारी (बिक्री)**
वैज्ञानिक तथा तकनीकी शब्दावली आयोग,
पश्चिमी खंड 7, रामकृष्णपुरम,
नई दिल्ली–110 066

(2) **प्रकाशन नियंत्रक**
प्रकाशन विभाग, भारत सरकार
सिविल लाईन्स
दिल्ली–110 054

आयोग के पूर्व अध्यक्ष

1.	डॉ. दौलत सिंह कोठारी	1961-1965
2.	डॉ. निहाल करण सेठी	1965-1966
3.	डॉ. विश्वनाथ प्रसाद	1966-1967
4.	डॉ. एस. बाल सुब्रह्मण्यम	1967-1968
5.	डॉ. बाबूराम सक्सेना	1968-1970
6.	श्री कृष्ण दयाल भार्गव	1970-1970
7.	श्री गंटि जोगि सोमयाजी	1970-1971
8.	डॉ. पी. गोपाल शर्मा	1971-1975
9.	प्रो. हरवंश लाल शर्मा	1975-1980
10.	प्रो. मलिक मोहम्मद	1983-1987
11.	प्रो. सूरजभान सिंह	1988-1994
12.	प्रो. प्रेमस्वरूप सकलानी	1994-1998
13.	डॉ. हरीश कुमार	1998-1998
14.	डॉ. राय अवधेश कुमार श्रीवास्तव	1998-2001
15.	डॉ. हरीश कुमार	2001-2003

वर्तमान अध्यक्ष

16.	डॉ. पुष्पलता तनेजा	2003-

पुनरीक्षण एवं संपादन

प्रधान संपादक
डॉ. पुष्पलता तनेजा

संपादक
दुर्गा प्रसाद मिश्र

पुनरीक्षक
श्री सतीश चंद्र सक्सेना

प्रकाशन

श्री राम बहादुर
उप निदेशक

डॉ0 पी0 एन0 शुक्ल
वैज्ञानिक अधिकारी

डॉ0 संतोष कुमार
सहायक वैज्ञानिक अधिकारी

श्री आलोक वाही
कलाकार

प्रस्तावना

भारत सरकार ने विश्वविद्यालय स्तर पर शिक्षा माध्यम के रूप में हिंदी तथा अन्य भारतीय भाषाओं के विकास के लिए तत्कालीन शिक्षा मंत्रालय (अब मानव संसाधन विकास मंत्रालय) के अधीन सन् 1961 में वैज्ञानिक तथा तकनीकी शब्दावली आयोग की स्थापना की थी। इस लक्ष्य की प्राप्ति के लिए आयोग ने अनेक शब्द-संग्रहों, परिभाषा-कोशों, चयनिकाओं, पत्रिकाओं, पाठमालाओं तथा विश्वविद्यालय स्तरीय हिंदी पुस्तकों का निर्माण एवं प्रकाशन किया है।

पाठमालाओं के निर्माण में इस बात का ध्यान रखा गया है कि उसकी विषय-सामग्री अद्यतन तथा उपयोगी हो और भाषा सरल, बोधगम्य एवं आकर्षक हो ताकि अध्यापक भी हिंदी माध्यम से अपने-अपने विषय को पढ़ाने में सक्षम हो सकें।

प्रस्तुत पाठमाला 'इस्पात परिचय' भारतीय इस्पात प्राधिकरण लिमिटेड के पूर्व अध्यक्ष डॉ. गोकुलानंद **मुखर्जी** ने बांग्ला भाषा में लिखी है। इसका हिंदी रूपांतरण करने में डॉ. **मुखर्जी** के निकट के सहयोगी श्री वीरेंद्र ग्रोवर ने और पुनरीक्षण आयोग के पूर्व उप-निदेशक श्री एस.सी. सक्सेना ने किया है। लेखक, अनुवादक और पुनरीक्षक के अथक प्रयास से यह कार्य संपन्न हुआ है जिसके लिए वे बधाई के पात्र हैं।

प्रस्तुत पाठमाला में वैज्ञानिक तथा तकनीकी शब्दावली आयोग द्वारा निर्मित पारिभाषिक शब्दावली के प्रयोग की पूरी कोशिश की गई है। अंत में परिशिष्टों के अंतर्गत शब्द-सूची, आयोग द्वारा निर्धारित शब्दावली निर्माण के सिद्धांत और आयोग के प्रकाशनों की सूचियाँ दी गई हैं।

मुझे विश्वास है कि यह पाठमाला पुस्तक छात्रों, अनुसंधानकर्ताओं और प्रयोगकर्ताओं के लिए बहुत उपयोगी सिद्ध होगी।

(डॉ. पुष्पलता तनेजा)
अध्यक्ष

दो शब्द

"इस्पात परिचय" नाम हमने ईश्वरचन्द्र विद्यासागर महोदय के 'वर्ण परिचय' ग्रन्थ से लिया है। इसका अनुकरण रविन्द्र नाथ ठाकुर के ग्रन्थ 'विश्व परिचय' से नहीं, क्योंकि उसकी पृष्ठभूमि कुछ अलग है।

वर्ण परिचय में वर्ण ज्ञान होने के बाद छोटे–छोटे वाक्य बनाने का तरीका बताया जाता है। इसको रोचक बनाने के लिए अक्सर सुर और ताल का सहारा भी लिया जाता है। उदाहरण के लिए – पानी पड़ता है, पत्ता हिलता है। इसमें भाषा की ताल और सुर हमारे कान में पड़ते हैं। इसके बाद हम सीखते हैं संयुक्त अक्षर और बड़े–बड़े वाक्य बनाना। कुल मिलाकर जितना अधिक हम प्रारंभिक शिक्षा को रोचक बनाते हैं, उसी से विद्यार्थी की आगे पढ़ने की रुचि बनती है।

इस्पात परिचय लिखते समय भी कुछ ऐसी ही धारणा थी और ऐसा ही प्रयास इस पुस्तक में किया गया है। लोह एवं इस्पात बनाने के तरीकों से लेकर इस्पात को इस्तेमाल करने की बात को हमने एक ऐसे सुर और ताल में प्रस्तुत करने की चेष्टा की है, जिसे हर कोई समझ सके। इस्पात उत्पादन और उसके विश्वव्यापी उपयोग का एक परिदृश्य प्रस्तुत करते समय यह प्रयास किया गया है कि इस्पात–कारखानों में काम करने वाला प्रत्येक श्रमिक अपने कार्य क्षेत्र से जुड़ी प्रौद्योगिकी का मूलभूत ज्ञान प्राप्त कर सके।

मुझे आशा है, पाठकों को यह प्रयास न केवल अच्छा लगेगा बल्कि उनमें और अधिक जानकारी प्राप्त करने की जिज्ञासा भी जगेगी।

डॉ. गोकुलानंद **मुखर्जी**

भूमिका

किसी भी ग्रंथ के मूल लेखन में जो विषय की स्पष्टता मिलती है वह उसके अनुवाद में संभव नहीं। डॉ. गोकुलानंद मुखर्जी की बांग्ला पुस्तक 'इस्पात परिचय' का हिंदी में रूपांतरण करते समय मेरे सामने भी कई बार ऐसी स्थिति आई जब मैंने उनके शब्दों और विचारों को व्यक्त करने में अपने आप को असमर्थ पाया।

फिर भी राजभाषा हिंदी के स्वर्ण जयंती वर्ष में मुझे धातुकर्मिकी की एक तकनीकी पुस्तक को अनुवादत करने का सौभाग्य मिला, इसके लिए मैं डॉ. मुखर्जी का आभारी हूँ।

भाषा हमारी अभिव्यक्ति का सिर्फ एक माध्यम है। धातुकर्मिकी और उद्योग के क्षेत्र में आज हमें ऐसे साहित्य के सृजन की बहुत आवश्यकता है जो उद्यमियों और उद्योकर्मियों को आवश्यक ज्ञान उनकी अपनी भाषा में उपलब्ध करा सके। इस कसौटी पर खरा उतरने का मैंने भरसक प्रयास किया है। विषय की सरलता को बनाए रखने के लिए जहाँ मैंने जरूरी समझा, वहाँ अंग्रेजी के प्रचलित शब्दों को यथावत स्वीकार किया है। साथ–साथ कहीं–कहीं हिंदी के शब्दों को समझाने का विशेष प्रयास भी किया गया है। इसमें मुख्य लक्ष्य भाषा न होकर विषय को सरल और स्पष्ट बनाए रखना था।

पाठकों को मेरे इस प्रयास में भाषा और विषय की स्पष्टता में कोई कमी नजर आए तो कृप्या मुझे सूचित करने का कष्ट करें, जिससे इस प्रकार के अन्य प्रयासों में उन कमियों को दूर किया जा सके।

वीरेंद्र ग्रोवर
प्रबंधक (त) NISST
एस डी 72, शास्त्री नगर, गाजियाबाद
प्रबंध संपादक (मा.)
E-mail: vngrover@yahoo.com
भारतीय धातु संदेश

कृतज्ञता ज्ञापन

अपने कार्यकाल में मैंने ऐसे बहुत-से उद्योगकर्मी देखे जो जीवन में अधिक लिख-पढ़ नहीं सके। किंतु इनमें से बहुत से लोग बहुत अच्छे मिस्त्री, कारीगर, आपरेटर साबित हुए। बहुत-से लोगों ने उद्योग जगत की प्रौद्योगिकी का आधारभूत ज्ञान न होते हुए भी बड़ा महत्त्वपूर्ण योगदान दिया। ऐसे काम करते हुए व्यक्ति को देखकर लगता था कि वह काम तो बहुत लगन से कर रहा है, परंतु एक अनजान पथिक की तरह। इस अनजान पथिक को यदि मार्ग का कुछ ज्ञान हो तो वह शायद यात्रा का अधिक आनंद ले सकेगा। इसी प्रकार फैक्टरी में काम करने वाले श्रमिक को अगर काम से जुड़े वैज्ञानिक पहलुओं की कुछ जानकारी हो तो निश्चय ही वह काम करने में अधिक आनंद लेगा और संभव है, काम की गुणता में भी कुछ सुधार आ जाए। ऐसा करके ही तो विदेशों में प्रौद्योगिकी में बहुत से सुधार किए गए क्योंकि वहाँ वर्कर या आपरेटर काम का जानकार और प्रौद्योगिकी के विकास में भागीदार भी था। इन सभी देशों में सामान्य श्रमिकों के लिए उपयुक्त तकनीकी पुस्तकें उनकी भाषा में उपलब्ध हैं। हमारे देश में जो हैं वह सब अंग्रेजी में। इसे अगर एक आपरेटर को पढ़ना पढ़ जाए तो थोड़ी बहुत अंग्रेजी जानने पर भी वह तकनीकी साहित्य पढ़ने में एक ऊब या थकावट-सी अनुभव करता है। इस चिंता ने मुझे बांग्ला भाषा में यह पुस्तक लिखने के लिए प्रेरित किया।

इस पुस्तक की रूप-रेखा की प्रेरणा मैंने बहुत-से विदेशी प्रकाशनों से ली है, जैसे कि— मेटल टू दी सर्विस ऑफ मैन, वास फस्तस्ताल, स्टील मैन्युअल, मेकिंग शेपिंग ट्रीटिंग ऑफ स्टील, ए एस एम हैन्डबुक तथा इस प्रकार की और बहुत-सी पुस्तकें, संदर्भ-ग्रंथ, मार्ग-दर्शिकाएँ आदि। इन सभी प्रकाशनों से जरूरत के मुताबिक मैंने चित्र, ग्राफ आदि अपनी इस पुस्तक में उदधृत किए हैं। इस संबंध में बहुत-सी धारणाओं को भी मैंने ग्रहण किया किंतु इन सभी को अंकित करके उनका आभार व्यक्त करना संभव नहीं है। मैं उन सब ग्रंथों और उनके प्रकाशकों का आभारी हूँ।

इस पुस्तक के लेखन में मुझे श्रद्धेय श्री हितेन भाया से बड़ी प्रेरणा, उत्साह और मार्गदर्शन मिला है। आप योजना आयोग के सदस्य, कलकत्ता स्थित इंडियन इन्स्टीच्यूट ऑफ मैनेजमेंट के डायरेक्टर तथा हिन्दुस्तान स्टील के अध्यक्ष रह चुके हैं। आज भी उद्योग जगत में आपका नाम बड़े आदर से लिया जाता है। इसी संदर्भ में एक और बन्धुवर एवं शुभाकांक्षी प्रोफेसर रमा रंजन मुखोपाध्याय का भी मैं आभार व्यक्त करना चाहूँगा। आप पूर्व में बर्धमान विश्वविद्यालय के उपकुलपति, जादवपुर विश्वविद्यालय के उपकुलपति तथा रवींद्र भारती के उपकुलपति पद पर रह चुके हैं।

इस पुस्तक के प्रकाशन में मेरे पूर्व सहकर्मी तथा SAIL के अध्यक्ष श्री अरविंद पांडे का भी मुझे पूर्ण सहयोग प्राप्त हुआ है। आपने प्रादेशिक भाषा (बांग्ला) में इस्पात से संबंधित पुस्तक देखकर बड़ी प्रसन्नता व्यक्त की और कहा कि इस पुस्तक का अन्य प्रादेशिक भाषाओं तथा हिंदी में अनुवाद होना चाहिए।

अंत में अपनी धर्मपत्नी श्रीमती शेफाली एवं परिवारजनों— पुत्र 'पार्थ', पुत्री 'विजया', जामाता 'अजय', का भी कई प्रकार से सहयोग पाने के लिए मैं अपनी कृतज्ञता व्यक्त करता हूँ।

लेखक

प्राक्कथन

भारत में स्वाधीनता प्राप्ति के बाद से ही आधुनिक कारखानों की स्थापना का काम बड़ी तेजी से प्रारंभ हुआ। पचास के दशक के दूसरे भाग में एक साथ दस लाख टन प्रति वर्ष क्षमता के तीन इस्पात कारखानों का निर्माण सरकारी उद्योग क्षेत्र में प्रारंभ किया गया। इनमें विभिन्न देशों से हमने प्रौद्योगिकी और आर्थिक सहयोग प्राप्त किया। इस विशाल प्रकल्प के प्रबंधन का दायित्व नवगठित सरकारी प्रतिष्ठान हिन्दुस्तान स्टील लिमिटेड को सौंपा गया। यह मेरा सौभाग्य है कि मैं उस समय से इस महायज्ञ के साथ जुड़कर सुदीर्घकाल से इस संसार के बहुत से कामों में आज भी व्यस्त हूँ। वर्ष 1968-69 में जब दुर्गापुर में मिश्रातु इस्पात संयंत्र (एलाय स्टील प्लांट) की स्थापना हुई तभी से इस पुस्तक के लेखक स्नेहास्पद डॉ. गोकुलानंद **मुखर्जी** के साथ मेरा घनिष्ठ संपर्क रहा है। बाद में इन्होंने स्टील अथारिटी ऑफ इंडिया के अनुसंधान और विकास विभाग, राँची की बागडोर संभाली।

यहाँ यह उल्लेख इसलिए जरूरी था क्योंकि स्वभाव से विनम्र और विषय के अच्छे जानकार होते हुए भी पुस्तक के लेखक ने कहीं इस बात का परिचय नहीं दिया। इस ज्ञान की गहरी जानकारी के बावजूद इन्होंने इस्पात के वैज्ञानिक और व्यवहारिक पक्ष को समय की माँग को देखते हुए बड़े सरल शब्दों में लिपिबद्ध किया है। इस कठिन काम को सुसंपन्न करने में इन्होंने जो उद्यम और साहस का परिचय दिया, इसके लिए वे बधाई के पात्र हैं।

इस्पात उद्योग हमारी आर्थिक प्रगति की आधार शिला है। आज विश्व के संपन्न देश इस्पात खपत की अपनी चरम सीमा तक पहुँच चुके हैं, क्योंकि वहाँ रहने के मकान, सड़क, बंदरगाह, परिवहन के साधन तथा अन्य ढाँचागत सुविधाओं का पूर्ण निर्माण हो चुका है। उनकी अब अगर कोई इस्पात खपत की जरूरत बची है तो वह है गृह-उपकरणों की तथा यान-वाहन आदि ढाँचागत क्षेत्रों की मरम्मत और उन्हें बनाए रखने की। इस्पात की कहीं अब भारी माँग हो सकती है तो वह केवल एशिया और अफ्रीका के अधिक जनसंख्या वाले विकासशील देशों में। इसके लिए हम बाजार की वर्तमान मंदी को कोई नकारात्मक संकेत न माने। आने वाले समय में अपने इन बाजाररों को बचाए रखने के लिए ही यूरोप और अमरीका का हमेशा यह प्रयास रहा है, विशेषकर भारतवर्ष में कि, यहाँ इस्पात उद्योग अधिक शक्तिशाली न बन सके। हाँ इनता जरूर हुआ कि द्वितीय विश्व युद्ध के बाद केवल व्यावसायिक कारणों से इन देशों ने भारत के सरकारी इस्पात उद्योग की कुछ सहायता जरूर की, लेकिन सिर्फ एक बड़े खरीदार और उसके विशाल बाजार को ध्यान में रखते हुए। इधर जब पूरे विश्व में मंदी का माहौल है, यह विकसित देश खुली बाजार व्यवस्था के प्रमुख वक्ता होकर भी आज प्रत्यक्ष या परोक्ष रूप से भारत के इस्पात निर्यात में रूकावट पैदा कर रहे हैं।

इधर अति आधुनिक पढ़े-लिखे भारतीयों के मुख से मुझे यह सुनकर आज बड़ा अचंभा होता है कि अब इस्पात युग समाप्त हो चुका है तथा आने वाली शताब्दि तो सिलिकर वैली का युग होगा। जो भी हो आज माइक्रोचिप से आप घर-मकान, सड़क-बंदरगाह, यान, वाहन आदि

सुविधाओं का निर्माण नहीं कर सकते। वस्तुतः हमारी इस्पात की बझती हुई माँग को पूरा करने में अभी शायद आधी शताब्दि का समय और चाहिए।

किंतु पिछले पाँच दशकों के दौरान विदेशों में इस्पात प्रौद्योगिकी के क्षेत्र में जो प्रगति हुई है, उसे देखते हुए हमारे बड़े इस्पात कारखाने भी आज प्रौद्योगिकी के क्षेत्र में काफी पिछड़े हुए हैं। हमारे प्रतिटन इस्पात उत्पादन में कच्चे माल की खपत तथा ताप शक्ति का उपयोग अंतर्राष्ट्रीय मानकों से बहुत नीचे है। इसीलिए इस्पात कारखानों में आधुनिकीकरण, उत्पादकता वृद्धि तथा उत्पादन व्यय में कटौती आज अपरिहार्य हो गई है। इस्पात उद्योग में स्वावलम्बन का हमारा मुख्य आधार कच्चे माल की प्रचुरता है। किंतु मात्रा पर्याप्त होने पर भी गुणता की दृष्टि से उसमें काफी कमियाँ हैं। अपनी सम्पदा की इन गुणता संबंधी कमियों का कुशल प्रबंधन करने के लिए हमें अपनी अनुसंधान एवं विकास सुविधाओं के विकास पर विशेष ध्यान देना होगा।

इन्हीं कारणों से इस्पात कारखानों में हमें अपने सामान्य श्रमिकों के प्रयास और समर्थन की भी नितांत आवश्यकता है। यह तभी संभव हो सकेगा जब भारतीय भाषाओं में साधारण श्रमिकों के लिए हम सरल और सटीक परिचय पुस्तकें उपलब्ध करा पाएंगे। इस दिशा में 'इस्पात परिचय' पहला साहसिक कदम है। आज हमारे देश में क्योंकि विज्ञान और प्रौद्योगिकी की एकमात्र भाषा अंग्रेजी ही है, ऐसी स्थिति में बंगाली के सही शब्दों का चयन और उन्हें व्यक्त कर पाना या उनका ठीक अनुवाद करना एक बहुत बड़ी समस्या है। इस हालत में शब्दों का प्रचलन बढ़ने से ही उनका सही भावार्थ धीरे-धीरे समझना संभव हो सकेगा।

इस्पात या फिर अन्य कोई शिल्प-विज्ञान भाषा से सीमित नहीं। यूरोप के देश, चीन, जापान, ब्राजील आदि ने इस्पात शिल्प में जो इतनी उन्नति की है — वह उनकी अपनी-अपनी भाषा के माध्यम से ही हुई है।

कामकाज में भारतीय भाषाओं के माध्यम से उद्योग की सर्वमुखी उन्नति की परिकल्पना अब सिर्फ संभव ही नहीं, अवश्यंभावी है। डॉ. मुखर्जी ने इस दिशा में प्रथम प्रयास किया और मैं आशा करता हूँ कि और बहुत-से लोग इस पथ का अनुसरण करते हुए भारत की अन्य भाषाओं में भी तकनीकी साहित्य का सृजन करनें के लिए आगे आएंगे।

हितेन भाया

विषय-सूची

		पृष्ठ
1.	भूमिका	1
2.	संज्ञा (परिभाषा)	2
3.	कार्बन की महत्ता	3
4.	लोहे की क्रिस्टल-संरचना	4
5.	इस्पात में कार्बन का वितरण	5
6.	लोह-कार्बन साम्य आरेख	7
7.	इस्पात का ऊष्मा उचार	11
8.	मिश्रातु इस्पात	18
9.	इस्पात का वर्गीकरण	20
10.	कार्बन इस्पात	21
11.	मिश्रातु इस्पात में कुछ धातुओं का प्रभाव	22
12.	दाग प्रतिरोधक और ताप प्रतिरोधक	31
13.	उच्च चाल इस्पात (हाई स्पीड स्टील)	33
14.	लोह-इस्पात उत्पादन में कच्चा माल	34
15.	धमन भट्टी की कार्य पद्धति	37
16.	धमन भट्टी की कार्यविधि	40
17.	धमन भट्टी के उत्पाद	41
18.	लोह उत्पादन की आखिरी बात	41
19.	सीधी अपचयन विधि	42
20.	प्रगलन अपचयन विधि	44
21.	इस्पात उत्पादन	46
22.	इस्पात उत्पादन की विभिन्न विधियां	47
23.	इस्पात की ढलाई (संचकन)	55
24.	इस्पात को आकार देना	58
25.	इस्पात का तैयार माल	59
26.	इस्पात के गुणधर्म परीक्षण	62
27.	सारांश	63
28.	परिशिष्ट (आखिरी बात)	67

1. भूमिका

लोहा आज के मानव समाज में शायद सबसे अधिक उपयोगी धातु है। लोहे से हमारा परिचय मानव सभ्यता के इतिहास से जुड़ा है, जो अनुमानतः लगभग 3000 वर्ष या अधिक पुराना होगा। इतिहासकारों ने इसे लोह युग का नाम दिया था। अब अगर महाभारत काल की बात करें तो कहतें हैं कि एक बलशाली दानव भीम को कुचल कर मार डालना चाहता था, परन्तु भीम ने अपना लोहे का पुतला वहाँ रखवा दिया। इस पुतले को जब उस दानव ने देखा तो आग-बबूला होकर उसे मसल देना चाहा, परंतु उसकी रगड़ से वह स्वयं नष्ट हो गया। अब इसे आप चाहे काल्पनिक कथा कहें – उस युग में लोग लोह शब्द और लोह शक्ति से परिचित जरूर रहें होंगे। ऐसा भी कहतें हैं कि दमिश्क की प्रसिद्ध तलवारें भारत में ही बनाकर निर्यात की जाती थीं। उसके कुछ समय बाद में स्थापित किया गया दिल्ली का लोह स्तम्भ आज भी अटल खड़ा है, जो अपने आप में एक आश्चर्य है।

सारी दुनिया में आज कुल मिलाकर 7500 लाख टन से अधिक इस्पात का उत्पादन और उपयोग किया जा रहा है। अब यह संयोग ही कहा जाएगा कि प्रकृति ने पृथ्वी की पर्पटी में कई जगह खनिज लोह के अपार भंडार इकट्ठे हैं। आम उपयोग के लिये इस लोह अयस्क की व्यवस्था करना कुछ मुश्किल नहीं। पिछले काफी समय से मानव इस लोह अयस्क को शुद्ध करके गलाकर, तपाकर, गढ़कर या ढालकर प्रचलित औजार और उपकरण बड़ी आसानी से बनाता रहा है। उदाहरण के लिए छैनी, हथौड़ी, चिमटा, छुरी, कटार, थाली, परात, कुदाल, भाला आदि, हम न जाने कब से इस्तेमाल करते आ रहें हैं। इन विभिन्न यंत्रों, औजारों या उपकरणों को बनाने वाले बनजारे आज भी गाँव-गाँव, नगर-नगर घूमकर सिर्फ अपनी हथौड़ी के कमाल से ऐसी बहुत सारी वस्तुएँ बनाते आ रहें हैं।

समय के साथ हमारे रहन-सहन और उपकरणों के क्षेत्र में अत्यधिक उन्नति हुई है तथा बदलाव आया है। लोह खनिज से लोहा प्राप्त करना, उसे शुद्ध करके इस्पात बनाना, उसके बाद उसे ढलाई या गढ़ाई द्वारा उचित आकार देना; इसमें अगर कोई बदलाव आया है तो केवल इतना कि अब इस्पात उत्पादन की क्षमता बहुत बढ़ गई है और इसके साथ ही बढ़ी है विधियों की जटिलता। इस सारी उन्नति का मूल आधार है रसायन और पदार्थ विज्ञान के क्षेत्र में होने वाली प्रगति अब हम पदार्थ के मौलिक गुणों को भली-भाँति समझकर जरूरत के मुताबिक लोह-इस्पात और उनके मिश्रातुओं (एलॉय) में तरह-तरह की संघटन पाने का प्रयास करते हैं। उत्पादन के विभिन्न तरीकों और ऊष्मा उपचार द्वारा इस्पात में नये-नये गुण मनचाहे तरीके से प्राप्त कर सकना अब कोई कठिन काम नहीं। साधारण बोलचाल की भाषा में लोहा कहने पर लगता है शायद लोहा और इस्पात अलग-अलग पदार्थ हैं। असल बात यह है कि लोहे का अन्य बहुत से पदार्थों के साथ मिश्रण सम्भव है; इसके परिणाम स्वरूप लोह और इस्पात के उपयोगी गुणों में बहुत से परिवर्तन किये जा सकते हैं।

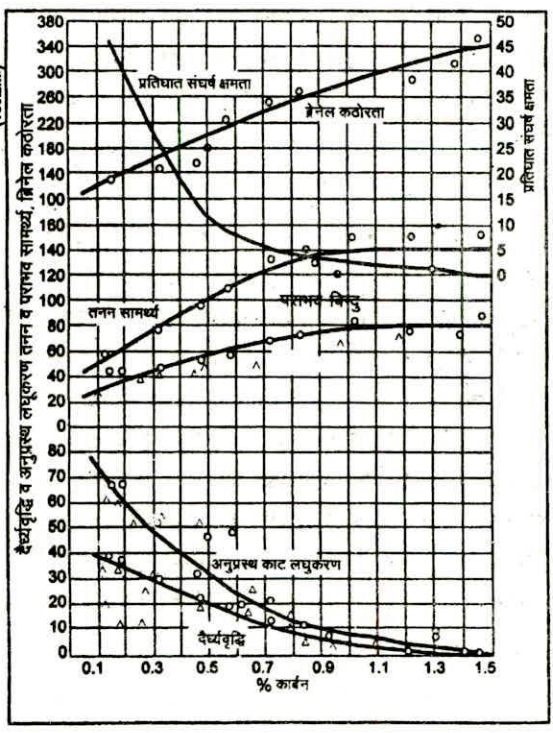
'इस्पात परिचय' में इस्पात के विभिन्न रूपों का परिचय प्रारम्भ करके हम लोहा गलाने तथा इस्पात उत्पादन के विभिन्न तौर-तरीकों का कुछ ज्ञान प्राप्त करेंगें। अन्त में लोह और इस्पात को किस प्रकार ढलाई

(कास्टिंग), गढ़ाई **(फोर्जिंग)** या बेल्लन करके **(रोलिंग)** हम उससे बहुत से मानव उपयोगी आकार प्राप्त करते हैं– इस संबंध में कुछ चर्चा करेंगे।

2. संज्ञा (परिभाषा)

लोह इस्पात उद्योग तथा लोह को रसायन में सारा संसार Fe चिह्न से व्यक्त करता है। यह संकेत लेटिन भाषा में लोहे के नाम फैरम (Ferrum) के प्रारम्भिक दो अक्षरों से बना है। अब तक ज्ञात विभिन्न रासायनिक तत्वों की संख्या एक सौ बारह है जिनका संक्षिप्त परिचय हम रसायन विज्ञान की आवर्त सारणी से पाते हैं। इन्हीं में लोह एक शुद्ध तत्व धातु है जिसकी एक निश्चित क्रिस्टल संरचना होती है। स्वाभाविक अवस्था में यह भूपर्पटी में बहुत से अन्य तत्वों और अशुद्वियों के साथ मिलकर यौगिक रूप में पाया जाता है। इसीलिए लोहे को निम्नकोटि की धातु कहते हैं।

इस्पात वास्तव में लोहे का अन्य पदार्थों के साथ मिश्रातु है। इसमें मिश्रित किए जाने वाले पदार्थ बहुत-सी धातुएँ, जैसे – मैंगनीज, क्रोमियम, निकैल आदि तथा कार्बन, सल्फर, फास्फोरस, सिलिकन आदि अधातुएं नियंत्रित मात्रा में होती हैं।



आकृति-1: इस्पात के यांत्रिक गुणों की कार्बन पर निर्भरता

इनमें सबसे अधिक उपयोगी तत्व कार्बन है। इन सब मिश्रणों के आधार पर ही इस्पात के लक्षण और गुण निर्धारित होते हैं, जो अलग-अलग परिस्थितियों में इस्पात की उपयोगिता का आधार हैं। इस्पात की कठोरता (**हार्डनेस**), प्रतिघात सहन करने की सामर्थ्य (**इम्पैक्ट स्ट्रैन्थ**), तनन सामर्थ्य (**टैन्साइल स्ट्रैन्थ**), पराभव सामर्थ्य (**यील्ड स्ट्रैन्थ**) तथा तन्यता (**डक्टीलिटी**) आदि यान्त्रिक गुणधर्म (**मेकेनिकल प्रोपर्टीज**), उसमें कार्बन की मात्रा से बहुत अधिक प्रभावित होते हैं। इनका प्रभाव आकृति-1 में दर्शाया गया है। इसी प्रकार इस्पात के भौतिक गुणधर्म (**फिजिकल प्रोपर्टीज**), अति सूक्ष्म धातुकर्मीय संरचना में विभिन्न प्रावस्थाओं (**फेज**) तथा उनके वितरण आदि पर एवं कार्बन तथा अन्य मिश्रित धातुओं और उनकी मात्रा से प्रभावित होते हैं। प्राचीन धारणा के आधार पर उन सभी लोह मिश्रातुओं को हम इस्पात कहते थे जिन्हें तपाकर विभिन्न आकार दिया जा सकता था या फिर ऊष्मा उपचार द्वारा एक निश्चित गहराई तक उनकी पृष्ठ कठोरता बढ़ाई जा सकती थी। आज अगर लोह मिश्रातु में कार्बन की मात्रा हम 2 प्रतिशत या अधिक रख लें तो उसको तपाकर आकार देना संभव नहीं। इन्हें केवल पिघला कर ढलाई द्वारा ही आकार दिया जा सकता है। इसलिए इन्हें इस्पात की श्रेणी में नहीं माना जाता। इन्हें हम ढलवाँ लोहा या कास्ट आयरन श्रेणी में रखते हैं। कास्ट आयरन परिवार में भी आज विविधता की कमी नहीं जहाँ ग्रे, व्हाईट, नोड्यूलर, आघातवर्ध्य या तन्य आयरन नाम से जरूरत के मुताबिक हम उनकी अनेक कोटियां बना सकते हैं।

3 कार्बन की महत्ता

इस्पात में मिलाए जाने वाले पदार्थों में से कार्बन एक अकेला ऐसा पदार्थ है जो इस्पात के गुण निर्धारण, उपयोगिता और विविधता बढ़ाने में सबसे महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। आम तौर पर फैक्टरियों में इस्तेमाल होने वाले साधारण इस्पात को हम मृदु, मध्यम और कठोर इस्पात की संज्ञा देते हैं, लेकिन सचाई यह है कि यह सब केवल इस्पात में कार्बन की मात्रा पर निर्भर करता है।

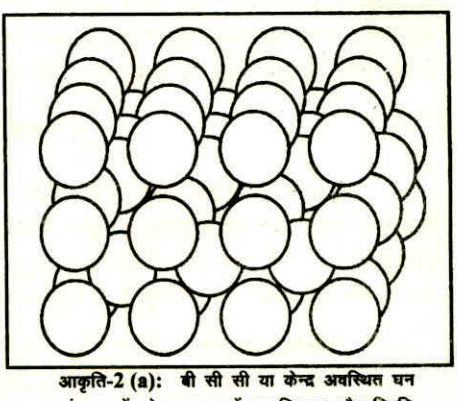
प्रतिशत कार्बन	**उपयोग**
0.65 –1.50	कार्बन इस्पात या कठोर इस्पात इसका उपयोग कृषि, विद्युत क्षेत्र के उपकरण, मशीनों व कर्तन औजारों के बनाने में होता है
0.25 - 0.45	मध्यम कार्बन इस्पात इसका अधिकतर प्रयोग साइकिल, रेल, पुल, मशीनों के पुरजे, घर और कारखानों के ढाँचे बनाने में किया जाता है
0.15 या कम	मृदु इस्पात इसका उपयोग मोटर वाहन उद्योग के कल-पुर्जे, अलमारी, वाशिंग मशीन, फर्नीचर उद्योग, तार कर्षण उद्योग आदि में अधिक होता है।

यहाँ कार्बन का प्रतिशत कम होने का सीधा-सा मतलब है मृदु इस्पात या माइल्ड स्टील। इसे मोड़ने और आवश्यक आकार देने में अधिक प्रयास नहीं करना पड़ता। दूसरी ओर उच्च कार्बन इस्पात अधिक कठोरता का प्रतीक है और इसे आकार देना अपेक्षाकृत काफी मेहनत और सूझबूझ का काम है। अधिक कार्बन होने से एक ओर जहाँ उसकी मजबूती बढ़ती है, वहीं वह अधिक भंगुर भी हो जाता है। भंगुर होने का एक बड़ा अच्छा उदाहरण है काँच, जो सख्त तो काफी है पर जब चोट पड़ती है तो चूर-चूर हो जाता है। दूसरी ओर नरम वस्तु काफी खिंचाव सहकर टूटती है।

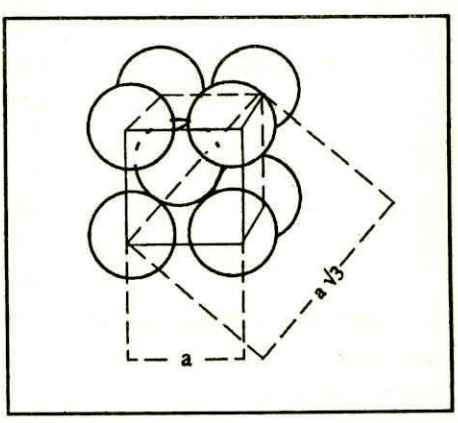
दो अलग-अलग तत्व विभिन्न परिस्थितियों में परस्पर संयोग से एक बिल्कुल नए पदार्थ को जन्म देते हैं। जिस प्रकार हाइड्रोजन व ऑक्सीजन के संयोग से जल की उत्पत्ति होती है, इसी प्रकार बहुत सी परिस्थितियों में कार्बन और लोहा मिलकर लोह-कार्बाइड (Fe_3C) या सीमेन्टाइट बनाते है जो लोहे के तीन तथा कार्बन के एक परमाणु के रासायनिक संयोग से बनता है। अब इस्पात में कितना सीमेन्टाइट बनेगा, यह उसमें कार्बन की मात्रा पर निर्भर करता है। जैसे-जैसे हम कार्बन की मात्रा बढ़ाते हैं, वैसे-वैसे उसमें कार्बाइड का अंश बढ़ता है। इसके साथ ही इस्पात की कठोरता तथा सामर्थ्य भी बढ़ती है।

4. लोहे की क्रिस्टल संरचना

हम इस बात से भली-भाँति परिचित है कि कोई भी पदार्थ ठोस, द्रव और गैसीय अवस्था में रह सकता है। ठोस अवस्था में अणु या परमाणु परस्पर आकर्षित होकर एक दूसरे से सटे रहते हैं तो गैस अवस्था में वे बिखरे रहते हैं। अधिकतर पदार्थों में, ठोस अवस्था में परमाणु बड़े अनुशासित होकर एक निश्चित विन्यास का निर्माण करते हैं, जिसे हम **'क्रिस्टल संरचना'** कहते हैं। परमाणुओं की स्थिति को हम कागज की सतह पर दो दिशाओं में दर्शा सकते हैं। इसी प्रकार उन्हें तीन दिशाओं में भी व्यक्त किया जा सकता है। इस प्रकार के त्रि-दिश (**थ्री डायमेन्शनल**) विन्यास को अगर हम बिंदुओं द्वारा दर्शाएं तो उसे **"क्रिस्टल जालक"** कहते हैं। व्यवहार में इसे समझाने के लिये हम टेबल टेनिस गेंदों की मदद ले सकते हैं। अगर हम चार गेंद एक समतल स्थान पर रखकर उसके ऊपर चार और गेंद टिका दें तो इन गेंदों के केन्द्र बिन्दु मिलाने पर एक साधारण घन की आकृति बन जाती है। इस घन में ठीक बीचों-बीच एक और गेंद रख दें तो इसे हम काय केंद्रित घन (**बॉडी सेन्टरड क्यूब**) कहते हैं। इस तरह लोह को हम एल्फा–आयरन कहते है। इस विन्यास को आकृति-2 में दर्शाया गया है। इसी प्रकार घन की हर बाहरी सतह के चार परमाणुओं के बीच अगर एक परमाणु बिठा दिया जाए तो इसे हम फलक-केन्द्रित घन या **'फेस सेन्टर्ड क्यूब'** कहते है। इस लोह को हम गामा-आयरन कहते है। इस विन्यास को आकृति-3 में दर्शाया गया है।



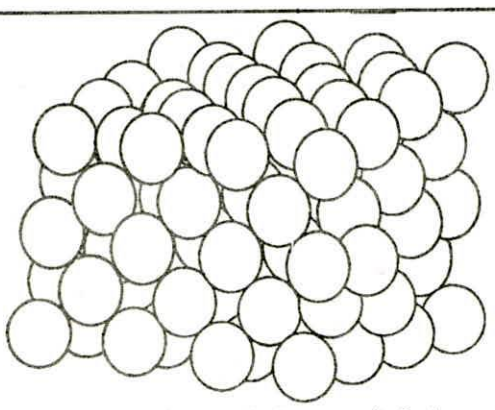
आकृति-2 (a): बी सी सी या केन्द्र अवस्थित घन संरचना में लोह परमाणुओं का विन्यास और स्थिति



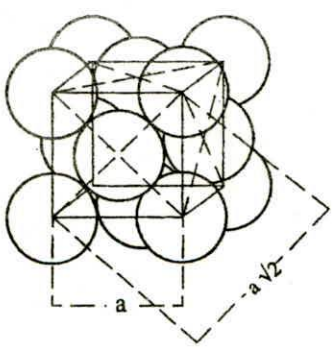
आकृति-2(b): बी सी सी क्रिस्ट्ल या ऐल्फा लोह का इकाई कोश (unit cell) और जालक परिधि

5. इस्पात में कार्बन का वितरण

हमने अब तक इतना जाना है कि लोहा और अन्य धातुओं का आधार सूक्ष्म संरचना है। धातुकर्मीय सूक्ष्मदर्शी **(मेटलर्जिकल माइक्रोस्कोप)** की मदद से हम इन्हें देख सकते हैं। बहुत अधिक बारीकी से अध्ययन करना हो तो इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी की सहायता से हम सूक्ष्म संरचना को बहुत गहराई तक जान और समझ सकते हैं। आकृति-4 में जो संरचना दिखाई गई है उसे फैराइट (एल्फा आयरन) कहते हैं। फैराइट वास्तव में शुद्ध लोहे का रूप है जिसमें विलीन कार्बन की मात्रा नगण्य होती है।

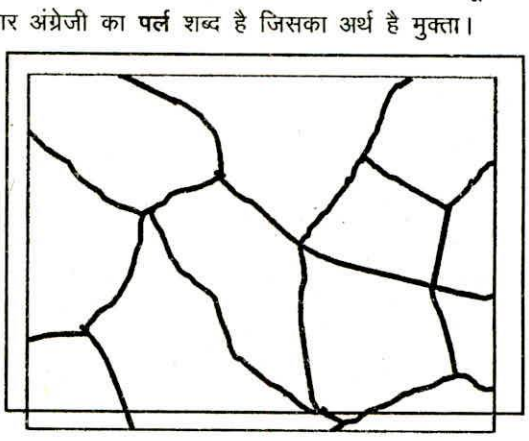


आकृति-3 (a): एफ सी सी क्रिस्टल में लोह परमाणुओं की संरचना और स्थिति

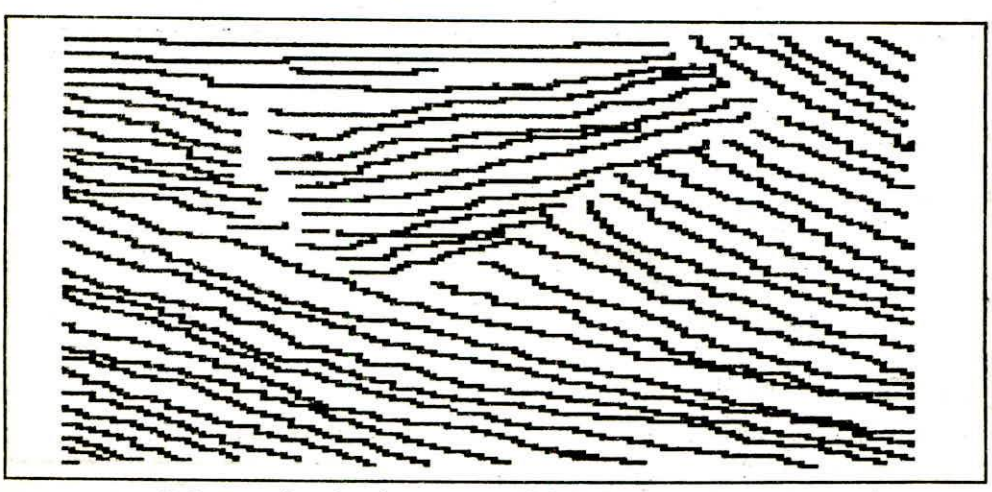


आकृति-3 (b): गामा लोह का इकाई कोश और जालक की परिधि

अभी ऊपर हमने चर्चा की थी कि लोहा और कार्बन मिलकर सीमेन्टाइट बनाते हैं, जिसकी मात्रा कार्बन के प्रतिशत पर निर्भर करती है। अब जितना सीमेन्टाइट बढ़ेगा उतना शुद्ध लोहे **(फैराइट)** की उपलब्धता घटेगी। सीमेन्टाइट सामान्य रूप से सूक्ष्म संरचना में पतली-पतली पट्टियों के रूप में दिखाई देता है। इसमें कार्बन प्रतिशत काफी अधिक होता है जबकि इनके बीच-बीच में शुद्ध लोह 'फैराइट' की पट्टिकाएँ **(स्ट्रिप्स)** बनती हैं। लगभग 0.90 प्रतिशत कार्बन वाले इस्पात की संरचना में शत-प्रतिशत सीमेन्टाइट और फैराइट की पट्टिकाएँ होती हैं तथा इस मिश्रित संरचना को हम पर्लाइट कहते है। इसका एक नमूना आकृति-5 में दर्शाया गया है। पर्लाइट शब्द का आधार अंग्रेजी का **पर्ल** शब्द है जिसका अर्थ है मुक्ता।



आकृति-4: शुद्ध लोह 'फैराइट' (कार्बन प्रतिशत 0.01) का सूक्ष्मदर्शी से दिखने वाला एक चित्र जिसमें लाइनें रेणु परिसीमा दर्शाती हैं



आकृति-5: इस्पात की पर्लाइट संरचना का सूक्ष्मदर्शी में दिखने वाला एक चित्र (कार्बन 0.9%)

अब अगर इस्पात में कार्बन प्रतिशत 0.90 से कम हो तो उसमें फैराइट तथा पर्लाइट के रेणु (ग्रेन) दिखते हैं और 0.90 प्रतिशत से अधिक कार्बन होने पर पर्लाइट और सीमेन्टाइट संरचना का मिश्रण दिखाई देता है। कार्बन बढ़ने के साथ-साथ सीमेन्टाइट का अनुपात बढ़ता जाता है, यह स्थिति लगभग एक प्रतिशत तक कार्बन वाले इस्पात में दिखाई पड़ती है। एक प्रतिशत से अधिक कार्बन वाले इस्पात को गर्म करके गढ़ाई करने से कोई आकार बनाना सम्भव नहीं हो पाता। तब वास्तव में यह स्थिति आ जाती है कि जैसे गधे को पीटने से हम उसे घोड़ा नहीं बना सकते। इसलिए यहाँ पहुँचकर इस्पात की सीमा समाप्त मान ली जाती है तथा इससे अधिक कार्बन वाले पदार्थ को अब हम सिर्फ लोहा कहेंगे या फिर ढलँवा लोहा।

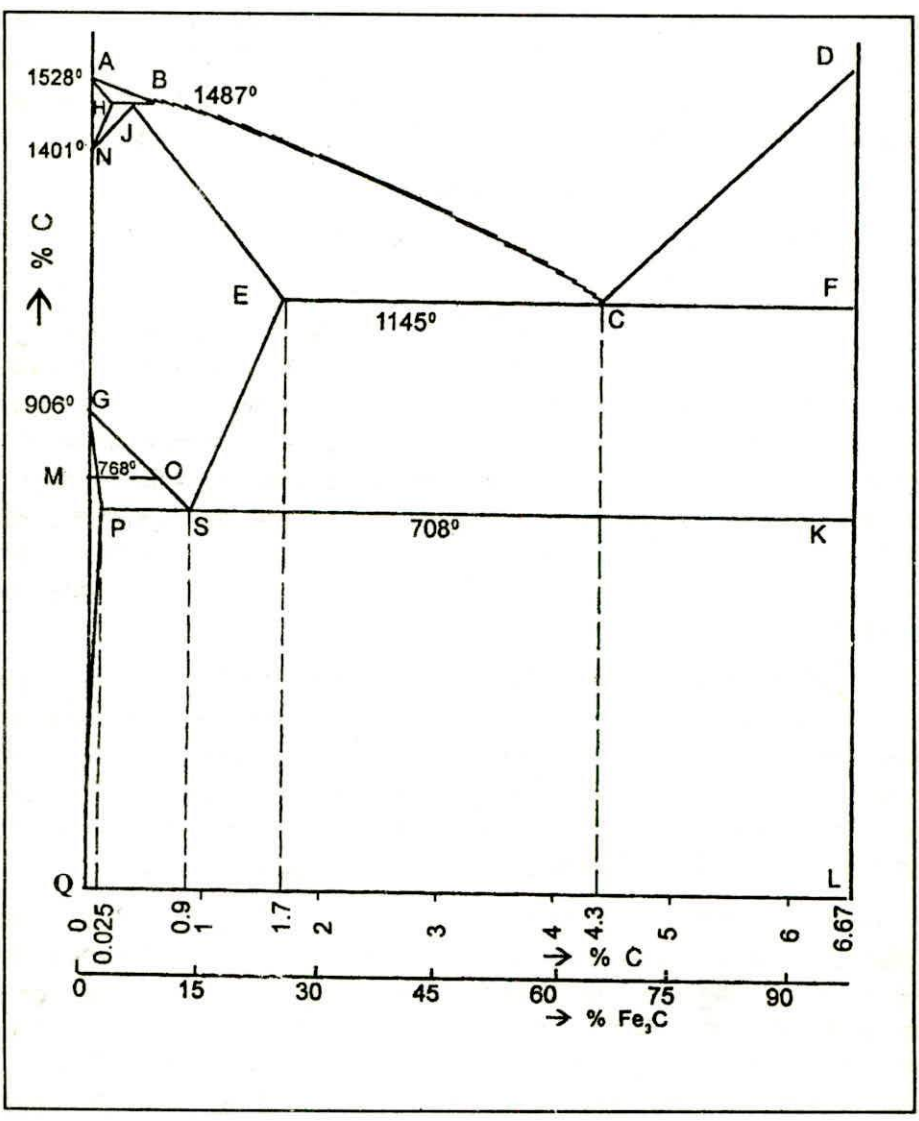
6. लोह-कार्बन साम्य आरेख

(Iron-Carbon Equilibrium Diagram)

लोहे और कार्बन की विभिन्न मात्राओं के साथ होने वाले संरचना-परिवर्तन तथा इससे जुड़ी शब्दावली का हमने ऊपर कुछ परिचय प्राप्त किया। अब कार्बन के साथ-साथ ताप भी लोह एवं इस्पात की संरचना को पर्याप्त प्रभावित करता है। इसलिए इस्पात की संरचना को भली-भाँति समझने के लिए लोह-क्रार्बन साम्य आरेख को अच्छी प्रकार समझना बहुत जरूरी है। इतना ही नहीं, ऊष्मा उपचार की प्रक्रिया का किसी इस्पात के लिए निर्धारण करना हो या इस्पात के यांत्रिक गुणधर्मो यथा कठोरता, तनन सामर्थ्य और पराभव सामर्थ्य नमनीयता का अनुमान लगाना हो तो इस **आरेख** से बहुत सहायता मिलती है। इसलिए आकृति-6 में ध्यान पूर्वक देखिए। इसमें एक तरफ **वाई अक्ष** पर ताप दिखाया गया है, तो **एक्स अक्ष** पर कार्बन या कार्बाइड का प्रतिशत दिखाया गया है। कार्बन या कार्बाइड वाले अक्ष पर शेष भाग शुद्ध लोह या फैराइट होगा। एक सरल सूत्र के अनुसार अगर हमें इस्पात में कार्बन प्रतिशत ज्ञात हो तो उसे 15 से गुणा करके कार्बाइड की मात्रा का अनुमान लगाया जा सकता है।

इस नक्शे के 'Q' बिन्दु पर लोहे में कार्बन की मात्रा बिल्कुल नहीं होगी। इसलिए इस बिन्दु के पास हमें पूर्ण रूप से शुद्ध लोह या फैराइट मिलेगा। अब अगर हम PSK लाइन पर ध्यान दें तो कार्बन की मात्रा धीरे-धीरे बढ़ती है तथा 'S' बिन्दु पर जहाँ कार्बन प्रतिशत 0.90 है, वहाँ फैराइट और सीमेन्टाइट एक साथ उपलब्ध होते हैं और इस प्रकार पलाईट तैयार होता है। आकृति में दायीं ओर आगे बढ़ने पर पलाईट घटता जाता है और सीमेन्टाइट कें अंश में क्रमिक रूप से वृद्धि होती है। एकदम दायीं तरफ पहुँचने पर अगर **सूक्ष्म संरचना** देखें तो सिर्फ बढ़े-बढ़े **सीमेन्टाइट** के रेणु मिलेंगे, जिसे **'लेडेबुराइट'** कहते हैं।

अब हमें देखना है कि ताप परिवर्तन के साथ 'क्रिस्टल संरचना' किस तरह बदलती है। धीरे-धीरे ताप में वृद्धि करने पर 'G' बिन्दु अर्थात् लगभग 900^0 से. तक हमें ऐल्फा-आयरन या बीसीसी संरचना मिलती है परन्तु इस बीच 'M' बिन्दु के बाद लोहे के चुंबकीय आकर्षण का गुण लुप्त हो जाता है अर्थात् इस ताप के ऊपर अब भी चुम्बक लोहे को आर्कषित नहीं कर पाता, चाहे अभी बीसीसी संरचना ही बनी हुई है। ताप जब 900^0 से. से ऊपर उठाया जाता है तो बीसीसी संरचना अब एफ.सी.सी संरचना में पलटने लगती है। इस एफ.सी.सी संरचना को हम **गामा-आयरन** या **आस्टेनाइट** नाम से जानते हैं। ताप में आगे और बढ़ोतरी करने पर 1400^0 से. या 'N' बिन्दु पर एक बार फिर हमें बीसीसी संरचना प्राप्त होती है। इसे **डेल्टा-फैराइट** कहते हैं। अब ताप को और अधिक बढ़ाने पर लोहा गलना प्रारम्भ कर देता है। यह ताप 1528^0 से. है, जिसे हम शुद्ध लोहे का गलनांक कहते हैं।



आकृति-6: लोह कार्बन आरेख

अब गले हुए शुद्ध लोहे को 1528^0 से. से धीरे-धीरे ठंडा किया जाय तो जैसे-जैसे संरचना में परिवर्तन होगा, उसको निम्न प्रकार व्यक्त कर सकते हैं –

1528^0 C	गलित लोहा
↓	(डेल्टा फैराइट तथा गलित लोहा)
1401^0C	'N' बिन्दु (A4)
↓	(गामा लोहा)
906^0C	'G' बिन्दु (A3)
↓	
708^0C	'S' बिन्दु (A1)
↓	
सामान्य ताप	फैराइट और सीमेन्टाइट की मिश्रित संरचना या पर्लाइट

यहाँ हमने देखा कि कार्बन के अभाव में लोहे की क्रिस्टलीय संरचना तथा उसके भौतिक गुणों (**चुम्बकत्व**) में ताप के साथ कैसे बदलाव होता है। दूसरा 0.90 प्रतिशत कार्बन वाले इस्पात को सामान्य तापमान पर हमने पर्लाइट नाम दिया है। धीरे-धीरे ताप बढ़ाने पर 700^0C तक इसमें कोई बदलाव नहीं आता। इस ताप तक गरम होकर भी लोहा न रगं बदलता है और न ही गलता है, किन्तु 700^0C से ठीक ऊपर उठते ही **फैराइट** या **एल्फा-आयरन** धीरे-धीरे **आस्टेनाइट** या **गामा-आयरन** में बदलने लगता है और Fe_3C या सीमेन्टाइट धीरे-धीरे टूटना प्रारम्भ करता है तथा घुलकर आस्टेनाइट में ही लुप्त होने लगता है। अब जो यह कार्बन ठोस अवस्था में ही घुलता है, इसे हम ठोस-विलयन (सोलिड सोल्युशन) कहते हैं। P बिन्दु (700^0C) से प्रारम्भ करके हम देखते हैं कि G बिन्दु (906^0C) तक लोहा फैराइट और आस्टेनाइट के मिश्रण के रूप में रहता है जबकि इसके ऊपर यह पूर्णतया आस्टेनाइट में बदल जाता है, अर्थात् यह परिवर्तन GS रेखा पर निर्भर करता है कि किस प्रकार इस दौरान लोहे की क्रिस्टलीय संरचना ताप के साथ बदलती है। अब PS रेखा पर ध्यान दें तो कार्बन जितना ज्यादा होगा, उतना ही फैराइट कम होता जाएगा तथा आस्टेनाइट में उतना अधिक कार्बन घुलता जाएगा या आस्टेनाइट में भी कार्बन की मात्रा उतनी अधिक पाई जाएगी। इस प्रकार P लाईन पर दाईं ओर बढ़ते हुए फैराइट का प्रतिशत क्रमशः घटता जाएगा और पर्लाइट में बढ़ोतरी होती जाएगी और आखिरकार 'S' बिन्दु पर जहाँ 0.90 प्रतिशत कार्बन है, वहाँ हमें शत प्रतिशत पर्लाइटी संरचना मिलती है।

यहाँ 'S' बिन्दु से आगे जितना कार्बन में बढ़ोतरी होती है, उसी अनुपात में सीमेन्टाइट बड़ता जाता है और अन्ततः 1.7 प्रतिशत कार्बन पर हमें सीमेन्टाइट के बड़े-बड़े खंडक मिलते हैं जो भंगुर होने के कारण चोट पड़ने पर टूट सकते हैं। इस कार्बाइड संरचना को **लेडेबुराइट** कहते हैं।

मोटे तौर पर लोहे में कार्बन की अधिकांश मात्रा कार्बाइड के (Fe_3C) रूप या ठोस विलयन के रूप

में रहती है। ठोस अवस्था में विलीन होने के दो उदाहरण हैं – एक तो है एल्फा-आयरन या फैराइट और दूसरा रूप है गामा-आयरन या आस्टेनाइट। अब आप आयरन-कार्बन आकृति में निम्न रेखाओं ओर चिह्नों को ध्यान से देखें –

अ) ABCD : इन रेखाओं के ऊपर हमें केवल गलित लोह मिलेगा तथा इन रेखाओं को हम 'लिक्विड्स' कहते हैं।

ब) AHJECF : इस रेखा के निचले भाग में हमें केवल ठोस अवस्था में लोह मिलेगा तथा इस रेखा को 'सोलिड्स' कहते हैं।

स) DFKL : यह सीमेन्टाइट की सीमा रेखा है

द) फैराइट : यह सामान्य रूप से लोहे का विशुद्ध रूप है या जिस लोह तत्व की हम बात करते हैं, वह यही है। इसे एल्फा-लोह भी कहते हैं तथा इसमें कार्बन की मात्रा लगभग नगण्य होती है। आकृति में यह GPQ तथा AHN बिन्दुओं द्वारा परिबद्ध क्षेत्र है।

प) आस्टेनाइट : यह क्षेत्र GSEJN बिन्दुओं से परिबद्ध है तथा यह कार्बन का लोह में ठोस विलयन है जिसे हम गामा-आयरन भी कहते हैं ।

फ) S बिन्दु : यह वह स्थान है जहाँ फैराइट तथा सीमेन्टाइट एक साथ बनना प्रारम्भ करते हैं। इसमें 0.90 प्रतिशत कार्बन होता है तथा इस बिन्दु को 'यूक्टेटायड' के नाम से पुकारते हैं। इस बिन्दु से बायीं ओर के मिश्रातु को हाइपो-यूटेक्टायड तथा दायीं ओर के मिश्रातु को हाइपर-यूक्टेक्टायड इस्पात कहते हैं।

गलित लोहा जब जमना शुरू करता है तो उसमें पहले शुद्ध लोहे या फैराइट के क्रिस्टल या रेणु बनना आरम्भ करतें हैं। इस प्रक्रिया में लोहा घुले हुए कार्बन को त्यागता है तथा इससे बचे हुए द्रव-लोह में कार्बन प्रतिशत बढ़ने लगता है। यह क्रिस्टलीय संरचना, विलयन में असंख्य स्थानों पर एक साथ बनना प्रारम्भ करती है तथा धीरे-धीरे यह अन्य परमाणुओं को अपने साथ जोड़ते हुए बढ़ने लगती हैं। इसकी प्रथम अवस्था को हम नाभिकीयन (**न्यूक्लिएशन**) और दूसरी अवस्था को वृद्धि कहते है। इस प्रकार बढ़ते हुए यह लाखों-करोड़ों क्रिस्टल जब आपस में मिलते हैं तो असंख्य रेणुओं की सीमा को रेणु-परिसीमा कहते हैं। इसको समझने के लिए मिश्री का एक बड़ा ढेला लीजिए जिसमें अलग-अलग आकार के मिश्री के दाने आड़े-तिरछे परस्पर चिपके रहतें हैं। अब इस सारे परिचय का सारांश यह है कि-

1) साधारण इस्पात, लोह और कार्बन का मिश्रातु है।

2) इस्पात में कार्बन कई अवस्थाओं और रूपों में बदला जा सकता है। ताप घटाने या बढ़ाने से हम इस्पात की विभिन्न संरचनाओं जैसे कि द्रव, आस्टेनाइट, फैराइट, पर्लाइट, सीमेन्टाइट आदि को कार्बन की विभिन्न मात्रा प्रयोग कर परस्पर बदल सकते हैं।

3) ताप घटाने या बढ़ाने की गति का बहुत महत्व है। अगर यह काम इतना धीरे-धीरे किया जाए ताकि विभिन्न संरचनाओं को परस्पर बदलने का समुचित समय मिल सके तो उसे हम साम्य परिवर्तन कहते हैं। अगर मान लीजिए 907^0C से इस्पात को तेजी से या बहुत अधिक तेजी से ठंडा करें, तो उसे साम्य पाने का समय नहीं मिल पाता। इस स्थिति में पर्लाइट की पट्टिकाएँ बहुत पतली प्राप्त होती हैं। यही काम अगर सामान्य अवस्था में धीरे-धीरे या बहुत धीरे होता है तो पर्लाइट की पट्टिकाएँ मोटी हो जाती है। एक कल्पना आप यह भी कर सकते हैं कि हमने आस्टेनाइट अवस्था में लोहे को द्रवीभूत हवा की उपस्थिति में अतिशीघ्र ठंडा कर दिया तो ठोस अवस्था में कार्बन को आस्टेनाइट से अलग होने का हमने मौका ही नहीं दिया। इस स्थिति में जो कुछ फैराइट बनता है वह विकृत फैराइट होता है-इसे हम **मार्टेन्साइट** भी कहते हैं। इसमें Fe_3C **(आयरन कार्बाइड)** बहुत सूक्ष्म कणों के रूप में छिटका रहता है। अगर सूक्ष्मदर्शी में अवलोकन करें तो इस संरचना में हमें सुइयों-जैसी संरचना नजर आती है।

अब वास्तविकता यह है कि इस्पात की आंतरिक संरचना पर ही उसके यांत्रिक गुणधर्म निर्भर करते हैं। उदाहरण के लिए पर्लाइट जितना ज्यादा पतला या महीन होगा, उतना ही इस्पात की कठोरता अधिक होगी और अगर पर्लाइट बने ही नहीं यानी उसकी जगह मार्टेन्साइट बन गया तो यह संरचना कठोरतम होगी। इस रहस्य को समझ कर ही तो इस्पात के संघटन (मिश्रित तत्वों के प्रतिशत), उत्पादन और परिष्करण की विधियों तथा ऊष्मा-उपचार द्वारा विविध प्रकार के इस्पात का निर्माण किया जाता हैं। इस्पात की विविधता और उसके सैकड़ों ऐसे इस्तेमाल जो परस्पर एक दूसरे से बहुत भिन्न होते है – धातुकर्म के इसी रहस्य पर आधारित हैं।

7. इस्पात का ऊष्मा उपचार

अब तक हम यह समझ चुके हैं कि विभिन्न ऊष्मा-उपचारों द्वारा इस्पात के यांत्रिक **(मेकेनिकल)** तथा भौतिक **(फिजिकल)** गुणधर्मो में फेर-बदल किया जा सकता है। इससे हम इस्पात को तरह-तरह से विभिन्न परिस्थितियों में उपयोग करने योग्य बना सकते हैं। इस्पात को तपाने तथा नियंत्रित ढंग से ठंडा करने की ऊष्मा उपचार विधियों का मुख्य लक्ष्य, इस्पात की धातुकर्मीय संरचना में आवश्यकतानुसार परिवर्तन करना है। इस प्रक्रिया से जुड़ी विभिन्न विधियों को समझने तथा उनका लक्ष्य निर्धारित करने में लोह-कार्बन आरेख का विशेष महत्व है।

इस्पात की आंतरिक संरचना तथा उसके विभिन्न उपयोगी कोटियां इस्पात में कार्बन प्रतिशत के साथ-

साथ कुछ अन्य धातु तत्वों के मिश्रित अनुपात पर भी निर्भर करते हैं। फिर भी इसको समझाने के लिये यहाँ हम केवल कार्बन के प्रभाव की ही चर्चा करेंगे। इस्पात के एक नमूने में संभावित संरचना परिवर्तन इस बात पर निर्भर करता है कि उसमें कार्बन का प्रतिशत कितना है, तथा इस इस्पात को कितने ताप तक गरम कर सकते हैं, या फिर उस ताप सीमा से कितनी तेजी से हम इस्पात का शीतलन करते हैं। ठंडा करने की चाल इस बात पर भी निर्भर करती है कि हम इस्पात को भट्टी के अन्दर या हवा में ठंडा करते हैं। अगर पानी या तेल में डुबाकर ठंडा करना है तो पानी भी पहले से गर्म होगा या बर्फ-सा ठंडा; इसी तरह तेल भी गरम हो सकता है या फिर ठंडा। इन सब तरीकों से हम शीतलन दर सुनिश्चित कर सकते हैं। अब ठंडा करने के माध्यम के बाद यह भी देखना पड़ेगा कि इस्पात या इस्पात निर्मित उत्पाद कितना हल्का या भारी है। ठंडा करने की गति का यहाँ मतलब है उसको गामा-आयरन के स्तर तक अच्छी प्रकार तपाकर फिर नियंत्रित गति से ऐल्फा-आयरन की प्रावस्था में लाना, जिसमें हमारे पास बहुत सी संभावनाएँ हैं :

(i) खूब धीरे-धीरे ठंडा होने पर क्रिस्टल रेणु बड़े-बड़े या मोटे होंगे तथा पर्लाइट में फैराइट और कार्बाइड की सीमाएं बड़ी स्पष्ट और पास-पास दिखेगीं। इसके परिणामस्वरूप इस्पात अपेक्षाकृत कम कठोर होगा।

(ii) शीतलन दर जितनी अधिक होगी, रेणु आमाप उतना ही छोटा होगा तथा पर्लाइट भी उतना ही पतला और महीन होगा। यहाँ कठोरता का स्तर अधिक होगा।

(iii) शीतलन दर और अधिक तेज होने से अति सूक्ष्म या महीन पर्लाइट बनेगा जिसे **ट्रयुस्टाइट** भी कहते हैं। इसकी क्रिस्टल संरचना को समझने के लिए शक्तिशाली सूक्ष्मदर्शी **(माइक्रोस्कोप)** चाहिए जो पर्लाइट की बारीकियों को दर्शा सके। साधारण सूक्ष्मदर्शी में यह सिर्फ गोल-गोल दिखाई देगा तथा इसकी कठोरता का स्तर काफी अधिक होगा।

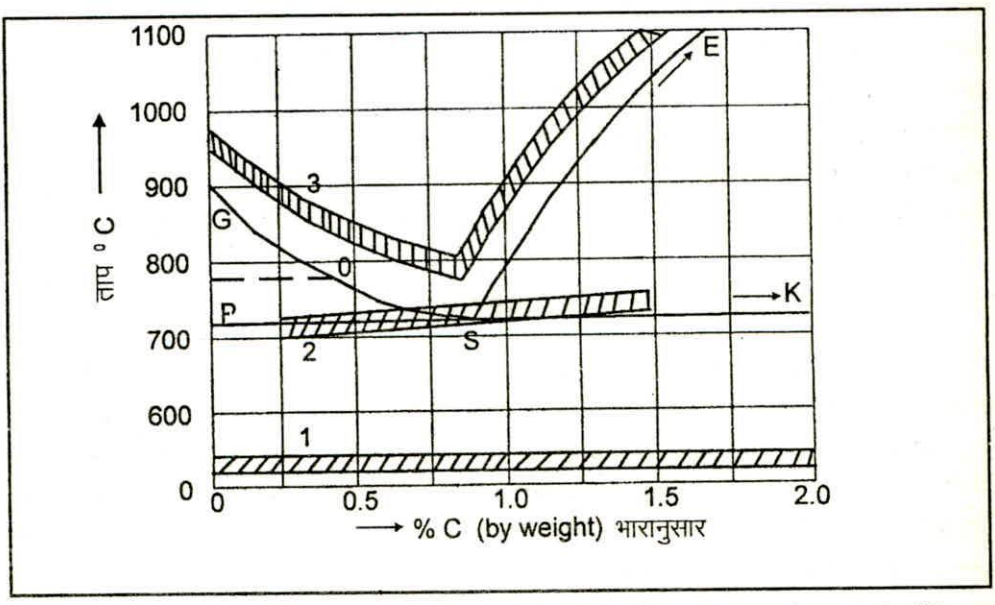
(iv) शीतलन दर और अधिक बढ़ाने से बेनाइट संरचना मिलती है जो साधारण सूक्ष्मदर्शी में अस्पष्ट दिखती है। इसकी स्पष्ट संरचना केवल इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी द्वारा देखी जा सकती है। इसकी कठोरता का स्तर-बहुत अधिक होगा, परन्तु यह भंगुर नहीं होगा।

(v) अगर तरल या द्रवीभूत ऑक्सीजन की मदद से हम इस्पात को इतनी तेजी से ठंडा करें कि पर्लाइट संरचना न बन सके तो हमें विकृत फैराइट मिलता है। इस फैराइट में कार्बन बहुत अधिक मात्रा में रहता है, जिसे हम **'अतिसंतृप्त'** भी कहते हैं। इसकी कठोरता बहुत अधिक, परंतु संरचना भंगुर होती है।

यहाँ हमने केवल ठंडा करने की दर नियंत्रित करके ही इस्पात की संरचना में बहुत प्रकार के भेद पाने का प्रयास किया। अब हमें देखना होगा कि इस विधि को हम काम में कैसे लाते हैं। इस संबंध में आगे ऊष्मा-उपचार की कुछ प्रचलित विधियों की चर्चा की गई है।

7.1) अनीलन

इस्पात संरचना में हमें कई बार समांगता नहीं मिल पाती। इसका मुख्य कारण यह है कि इस्पात का प्रक्रमण (प्रोसेसिंग) करते समय बहुत से भागों में अलग-अलग परिस्थितियाँ होती हैं। दूसरा कई बार इस्पात इतना अधिक **कठोर** हो जाता है कि उसे मशीन में कटाई करने या अन्य किसी विधि द्वारा आकार देने में बड़ी कठिनाई आती है। इस स्थिति में इस्पात का अनीलन बहुत आवश्यक हो जाता है। यहाँ अलग-अलग उद्देश्यों के लिये दो विधियां काम में लाई जाती हैं, जिन्हें आकृति 7 में क्रमांक (1) व (2) से दर्शाया गया



आकृति-7: अनीलन की विधियाँ a) तनाव विमोचन b) सामान्य अनीलन 3) सामान्यीकरण, नार्मलाइजिंग

है। जब इस्पात समांग नहीं होता तो इस स्थिति में अपनाई गई विधि को **'स्ट्रैस रिलीविंग'** अनीलन या तनाव विमोचन अनीलन कहते हैं। इसके लिए इस्पात को PS रेखा के नीचे 500 - 600 ^{0}C काफी समय तक रखने से, वह समांग हो जाता है।

दूसरी स्थिति में अगर इस्पात में कोई अपररूपी (**एलाट्रॉपिक**) परिवर्तन हुआ हो तो उसे PS रेखा से कुछ ऊपर 710 ± 10^0C तक कुछ समय तक रखकर फिर बहुत धीरे-धीरे ठंडा किया जाता है जिससे क्रिस्टलीय संरचना में बदलाव द्वारा उसका मशीनन सरल हो जाता है।

7.2 *सामान्यीकरण*

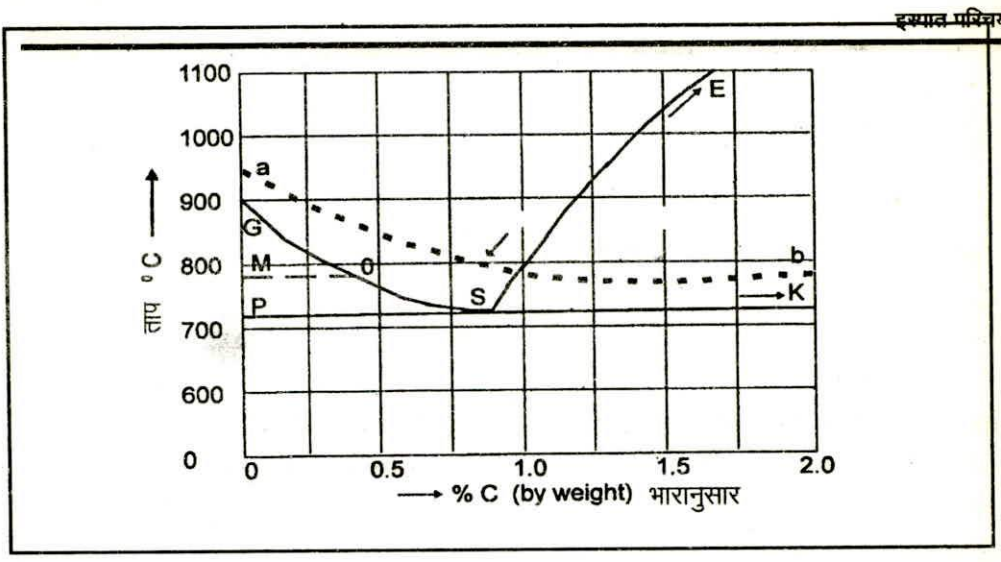
यहाँ हम विधि का नाम देखकर ही समझ सकते है कि इस्पात पर कुछ काम करने के बाद उसकी क्रिस्टलीय संरचना में जो विकृति आ जाती है, उसे दूर कर हम इस्पात की संरचना को स्वाभाविक परिस्थिति में लाना चाहते हैं (आकृति-7 में क्रमांक 3 देखें)। यहाँ हम जानते हैं कि इस्पात को आकार देने की प्रक्रिया में उसे गरम करना पड़ता है। इसके लिए कभी-कभी काफी समय तक इस्पात को उच्च ताप पर रखना पड़ता है जिससे इस्पात तप्त कर्मण योग्य हो जाए। इस ताप पर अक्सर इस्पात के रेणु रुक्ष अर्थात् बड़े हो जाते हैं। अब ठंडी अवस्था में लाने पर भी क्रिस्टल रेणु छोटे-बड़े मिश्रित रहते हैं। यह संरचना इस्पात को कमजोर करती है तथा उसके टूटने की भी सम्भावना रहती है। इसलिए यहाँ जरूरी है कि इस्पात को हम उसकी स्वाभाविक संरचना की स्थिति में ले आएं जिससे सभी क्रिस्टलीय रेणु एक आकार के हो जाएं। इस ताप प्रक्रम को **नार्मलाइजिंग** कहते हैं। इस पद्धति में इस्पात को A3 या GOS रेखा के ठीक ऊपर तक गरम करके आस्टेनाइट संरचना में ले आतें हैं और फिर कुछ समय तक गर्म कर उसे हवा में ठंडा करते हैं। इससे आस्टेनाइट संरचना, फैराइट और पर्लाइट में बदल जाती है। बड़े-बड़े रेणु या क्रिस्टल प्रायः एकसमान आकार के छोटे क्रिस्टलों में बदल जाते हैं। इस स्थिति में इस्पात के गुणधर्मो में एकरूपता आ जाती है।

7.3 *कठोरण*

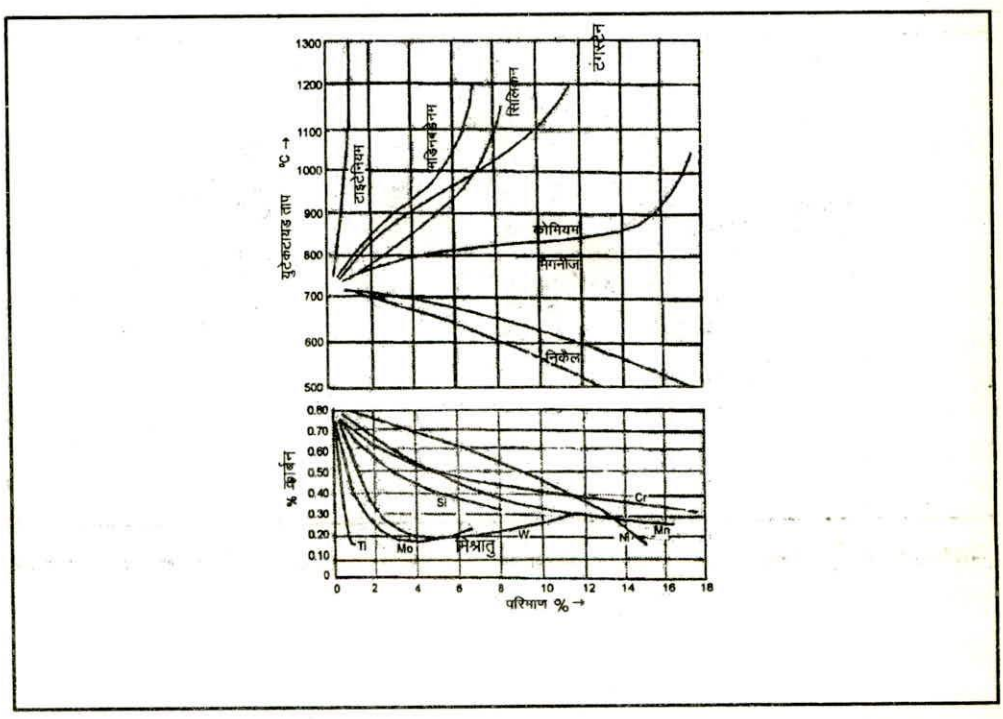
इस्पात के अणु और परमाणु एक नियम अनुसार व्यवस्थित अवस्था में रहते हैं। इसके ऊपर दबाव देने से एक परत दूसरी परत पर फिसल कर इस्पात को आकृति देने में मदद करती है। इसको सर्पण कहते हैं। इस प्रक्रिया में परत के आगे किसी अवरोध के आने से यह फिसलन आसान नहीं होती। परन्तु इस स्थिति में इस्पात की कठोरता बढ़ जाती है। इस बाधा का मूल कारण **क्रिस्टल** निर्माण के समय किसी विरूपण (डिस्टोरशन) की उपस्थिति है। साधारण रूप से कार्बन इस्पात में यह विरूपण तब पैदा होता है जब उसे उच्च ताप से हम बहुत तेजी से ठंडा करते हैं। इससे पहले हम ट्रयूसटाइट , बेनाइट और मार्टेन्साइट संरचना कैसे बनती है, इसका उल्लेख कर चुके हैं। (आकृति-8 एंव 9) में कठोरण की तापसीमा तथा मिश्रित धातुओं के प्रभाव को दर्शाया गया है।

मिश्रातु इस्पात (**एलॉय स्टील**) में कार्बन के अलावा अन्य बहुत सी मूल धातुएं रहती हैं। इसलिये जालक (**लैटिस**) के बीच कार्बन के अलावा किसी दूसरी धातु का परमाणु भी **सर्पण** के लिये अवरोध बन सकता है। जालक संरचना के बीच निम्न प्रकार से यह मिश्रण बन सकता है :-

अ) जहाँ किसी धातु के परमाणु का व्यास, लोह परमाणु के व्यास के आस-पास होता है, वहाँ इस धातु के परमाणु लोह परमाणु को विस्थापित कर अपनी जगह बना लेते हैं। आकृति-10 में इसे निकैल एंव क्रोमियम धातुओं के संबंध में दर्शाया गया है। इसको प्रतिस्थापी ठोस विलयन कहते हैं। ये धातुएँ लोहे की तरह कार्बाइड भी बना सकती हैं, उदाहरण के लिये क्रोमियम टंग्स्टेन और वेनेडियम।

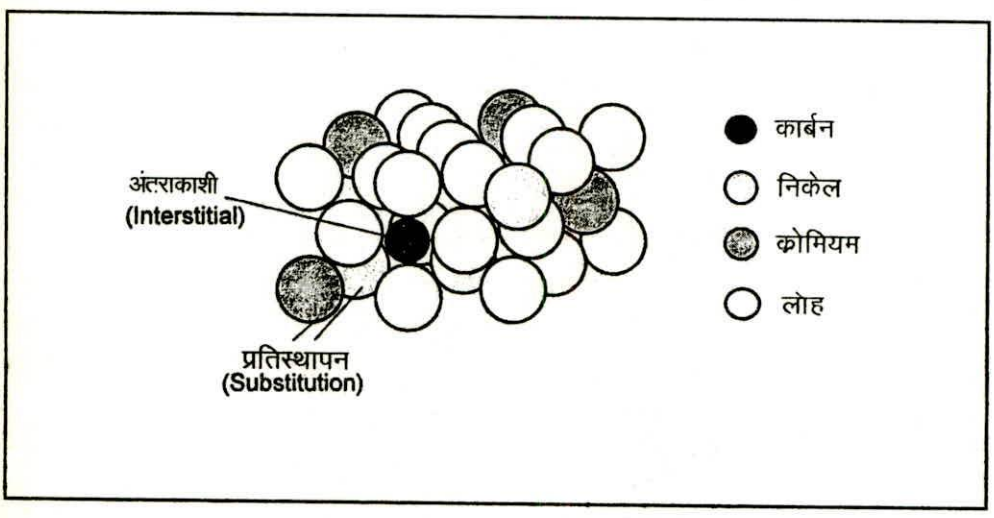


आकृति-8: कठोरण के लिए कार्बन की मात्रा के आधार पर ताप का चयन



आकृति-9: मिश्रातु में विभिन्न धातुओं की प्रतिशत मात्रा का 'यूटेक्टायड ताप' तथा 'यूटेक्टायड कार्बन प्रतिशत' पर प्रभाव

ब) जिन धातुओं का परमाणु-व्यास लोहे से कम होता है, वे परमाणु लोहे की जालक संरचना में बीच-बीच की खाली जगहों में प्रवेश कर जाते हैं। इन्हें **अंतराकाशी ठोस विलयन** कहते हैं।



आकृति-10: मिश्रातु में गामा-लोह (आस्टेनाइट) के जालक का एक नमूना जो निकैल-क्रोम स्टेनलेस स्टील को व्यक्त करता है

स) अनेक धातुएँ यौगिक बनाती हैं, तथा उनकी उपस्थिति लोह जालक संरचना को प्रभावित करती है। इसके फलस्वरूप एल्फा-गामा परिवर्तनों तथा यूटेक्टिक बिंदु या गामा आयरन के प्रभाव क्षेत्र में भी भारी बदलाव आता है।

उदाहरण के लिए जहाँ हमें कार्बन इस्पात को कठोर बनाने के लिए शीघ्रता से ठंडा करना पड़ता हो वहाँ एक मिश्रातु बनाकर हम हवा में सामान्य रूप से ठंडा करके भी उसमें उतनी ही या अधिक कठोरता प्राप्त कर सकते हैं। परंतु इस स्थिति में हमें ऊष्मा-उपचार की जरूरत नहीं रहती। हम कभी-कभी कुछ कठोरता ऊष्मा-उपचार कठोरण से प्राप्त करना चाहेंगें या मिश्रातु बनाकर, यह हमारे उपयोग की आवश्यकताओं और आर्थिक आंकलन पर निर्भर करता है। जहाँ तक ऊष्मा-उपचार द्वारा कठोरण की बात है, इसमें होने वाले प्रमुख परिवर्तन निम्न प्रकार है :

(i) पर्लाइट -> आस्टेनाइट

यह परिवर्तन इस्पात के कठोरण के लिये धीरे-धीरे गर्म करने पर सम्भव होता है जब हम इस्पात को PS रेखा से थोड़ा ऊपर लाकर गर्म करते हैं।

(ii) आस्टेनाइट -> पर्लाइट

साम्य की अवस्था में इस्पात का शीतलन करने से हमें पर्लाइट मिलता है। पर्लाइट की गुणता निश्चित रूप से शीतलन दर पर निर्भर करती है तथा उसी के अनुसार हमें कठोरता, तन्य शक्ति आदि गुण प्राप्त होते हैं।

(iii) आस्टेनाइट -> मार्टेन्साइट

गामा लोह (कार्बन युक्त) -> ऐल्फा लोह (कार्बन युक्त)

इस परिवर्तन में बनने वाला फैराइट दोहरे साम्य में एक अस्थिरता को छुपाए रहता है। इसको थोड़ा-सा भी ताप मिले तो मार्टेन्साइट में परिवर्तित होने लगता है तथा कुछ मात्रा में फैराइट और आयरन कार्बाइड बनने लगता है।

(iv) मार्टेन्साइट -> पर्लाइट

गामा लोह (कार्बन युक्त) -> एल्फा लोह + कार्बाइड

मार्टेन्साइट को हल्के ताप द्वारा आंशिक रूप से विखंडित करने से संरचना में कुछ नरमी आ जाती है जबकि उसकी कठोरता यथावत् बनी रहती है। इस प्रक्रिया को पायन, **(टेम्परिंग)** कहते हैं तथा इस तरह प्राप्त संरचना को **'टेम्पर्ड मार्टेन्साइट'** कहते हैं। वास्तव में **मार्टेन्साइट** अपने आप में भंगुर होने के कारण अधिक उपयोगी नहीं, परन्तु यांत्रिक गुणधर्मो में कठोरता के साथ-साथ आवश्यक नरमी का संतुलन पाना भी जरूरी है। इसलिए हर बार जब हम कठोरण करते हैं तो उसके साथ-साथ पायन भी जुड़ा रहता है। यहाँ हम **टैम्परन कठोरण** को उष्मा उपचार की ही एक विधि मानते हैं।

7.4 *कठोरता*

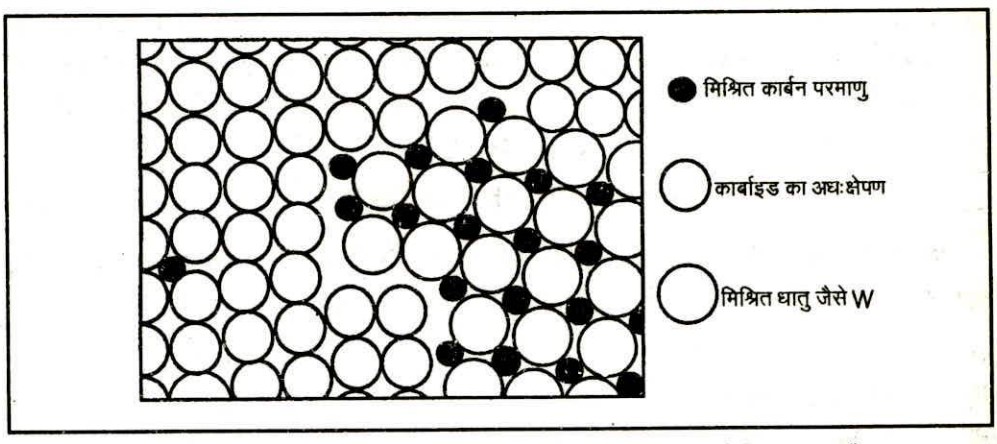
किसी इस्पात को कठोरण ताप से एक नियत दर से ठंडा करने से उसकी बाहरी सतह में कितनी गहराई तक एक निश्चित कठोरता मिलेगी-इस गुण को इस्पात की कठोरण क्षमता से व्यक्त करते हैं। साधारण रूप से इस्पात का पृष्ठ, उसके केन्द्रीय भाग से अधिक कठोर होता है। फिर भी नाना प्रकार के मिश्रातु बनाकर हम कठोरता के इस अंतर को कम करने का प्रयास करते हैं। हमारा यह प्रयास रहता है कि पृष्ठ कठोरता तथा केन्द्र की कठोरता में कम से कम अंतर रहे। इस्पात की रासायनिक तथा क्रिस्टलीय संरचना पर यह निर्भर करता है कि कठोरण द्वारा हम उसे किस गहराई तक तथा कितना कठोर बना सकते हैं। इस्पात की इस क्षमता को हम उसकी **कठोरता** कहते हैं।

8 मिश्रातु इस्पात

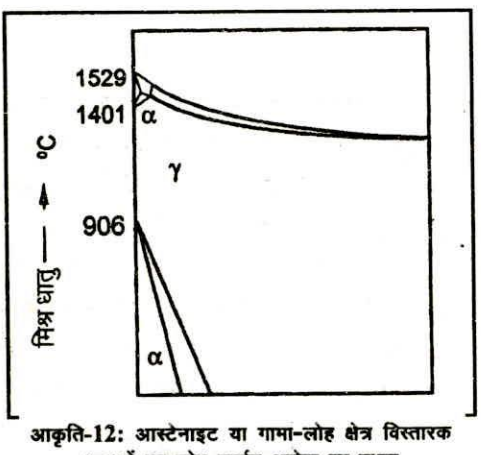
किसी भी अनुप्रयोग में इस्पात का इस्तेमाल एक लम्बे समय के लिए किया जाता है। इसलिए आवश्यकतानुसार उसके भौतिकीय तथा यांत्रिक गुणधर्मो को बदलने का प्रयास करना पड़ता है। इस काम के लिए अब हम न केवल इस्पात में कार्बन की मात्रा बदलते हैं, परन्तु भिन्न-भिन्न परिस्थितियों में उपयोग के लिए अन्य कई धातुओं को मिश्रित करते हैं। इन मिश्रित लोह संरचनाओं को हम मिश्रातु इस्पात **(एलाय स्टील)** कहते हैं।

लोह-कार्बन साम्य चित्र का अध्ययन करते समय हमने देखा कि किस तरह कार्बन इस्पात को ऊष्मा उपचार द्वारा हम अधिक उपयोगी बना सकते हैं। इसका मूल आधार इस्पात में कार्बन की मात्रा और उससे जुड़ी इस्पात की क्रिस्टल संरचना है जिसे उष्मा उपचार द्वारा परिवर्तन करने से इस्पात के यांत्रिक गुणधर्मो में पर्याप्त परिवर्तन हो जाता है। जब हम अन्य बहुत-सी धातुओं का इस्पात में मिलाते हैं तो कई बार वे इस्पात में कार्बन की स्थिति को भी प्रभावित कर आस्टेनाइट से पर्लाइट के परिवर्तन की गति को धीमा कर देते हैं। अब इस परिवर्तन को हम जितना अधिक धीमा करेंगे, उतना ही मार्टेन्साइट बनने को अधिक अवसर मिल जाता है। इस स्थिति में न केवल मार्टेन्साइट जल्दी बनता है, बल्कि अधिक मात्रा में भी बनता है।

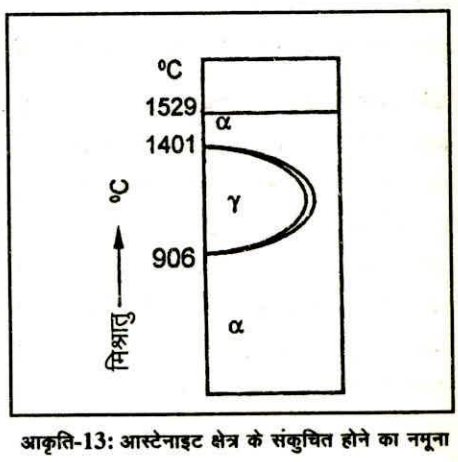
आकृति-9 से पता चलता है कि किस प्रकार मिश्रित तत्व (एलायिंग एलिमेन्ट) A1, A3 बिन्दु को प्रभावित करते हैं। अब इस्पात में कार्बन के साथ अगर अन्य कोई धातु हो तो बड़ी आसानी से हम इस्पात को ठंडा करते समय A1 व A3 बिन्दुओं को नीचे ला सकते हैं। इसके परिणामस्वरूप लोह-कार्बन आरेख में कुछ आमूल परिवर्तन नजर आते हैं। फलतः मिश्रातु इस्पात के व्यवहार तथा यांत्रिक गुणों में अत्यधिक परिवर्तन हो सकता है। क्रिस्टल संरचना का उल्लेख करते समय हमने यह भी बताया था कि लोह संरचना में अन्य तत्व उसके जालक में किस-किस तरह से प्रवेश करते हैं । इसको आकृति 10 व 11 में दर्शाया गया है। इस विधि से अलग-अलग धातुएँ अलग-अलग ढंग से लोह-कार्बन आरेख तथा उसके जालक को प्रभावित करती हैं।



आकृति-11: मिश्रातु में कार्बाइड का अधःक्षेपण जहाँ शुद्ध टंग्स्टेन इस्पात में मिलाया गया हैं



आकृति-12: आस्टेनाइट या गामा-लोह क्षेत्र विस्तारक धातुओं का लोह-कार्बन आरेख पर प्रभाव



आकृति-13: आस्टेनाइट क्षेत्र के संकुचित होने का नमूना

मोटे तौर पर इन परिवर्तनो को हम दो श्रेणियों में बाँट सकते हैं–

(i) वे धातुएँ जो धातु गामा-लोह के क्षेत्र को बढ़ाते हैं जैसा कि आकृति-12 में दर्शाया गया है (गलनांक :1529°C, A4 : 1401 °C, A3 : 906 °C) उनकी मात्रा बढ़ने से A3 रेखा नीचे की ओर दबती जाती है; अर्थात् **गामा लोह** का ऐल्फा लोह (**फैराइट**) में परिवर्तन रुक जाता है। यहाँ एक स्थिति ऐसी भी आती है जब हम मिश्रातु इस्पात में सामान्य ताप पर भी आस्टेनाइट (**गामा लोह**) संरचना पा सकते हैं। जो तत्व गामा क्षेत्र के विस्तार में सहायक होते हैं वे हैं निकैल, मैंगनीज, नाइट्रोजन इत्यादि। आस्टेनाइटी स्टेनलेस स्टील 302 या 304 डिग्री इसका सबसे अच्छा उदाहरण है।

(ii) दूसरी श्रेणी में वे तत्व हैं, जो गामा लोह के क्षेत्र को संकुचित करते या घटाते हैं। इस स्थिति में गलनांक (1529°C), A4 (1401 °C), A3(906°C) यह सब बिन्दु, मिश्रातु प्रतिशत बढ़ने पर नजदीक आने लगते हैं (आकृति-13)। इस वर्ग के उदाहरण हैं सिलिकन, क्रोमियम इत्यादि। अब इनका प्रतिशत जितना अधिक बढ़ेगा उतना ही गामा-लोह का क्षेत्र घटता जाएगा।

9. इस्पात का वर्गीकरण

यह समझना अब कठिन नहीं रहा कि इस्पात की बहुत-सी किस्में क्यों हैं। इनको हम सुविधा कि लिए बहुत से वर्गों में बाँट सकते हैं। इनके चार विशेष वर्ग इस प्रकार हैं -

(i) फैराइटी-पर्लाइटी इस्पात
(ii) मार्टेन्साइटी इस्पात
(iii) आस्टेनाइटी इस्पात
(iv) फैराइटी इस्पात

इनको विस्तार से हम निम्न प्रकार समझ सकते हैं :

9.1 *फैराइटी-पर्लाइटी इस्पातः* यह ऊष्मा उपचार से बहुत अच्छी तरह प्रभावित होता है। इसका कठोरण, पायन, नार्मलाइजिंग या अनीलन हो सकता है। इस इस्पात से हम मनचाहे भौतिक और यांत्रिक गुणधर्म प्राप्त कर सकते हैं। इसलिए इनका उपयोग भी कई प्रकार से तथा भिन्न-भिन्न तरीकों और परिस्थितियों में संभव है। इस वर्ग का उपयोग क्षेत्र बड़ा व्यापक है। आवश्यकता के अनुसार इस वर्ग के इस्पात में हम मैंगनीज (Mn), क्रोमियम (Cr), मॉलिब्डेनम (Mo), वेनेडियम (v) इत्यादि को भिन्न-भिन्न अनुपात में मिलाते हैं तथा तरह-तरह के ऊष्मोपचार द्वारा हम इन्हें अलग-अलग परिस्थितियों के अनुकूल बना लेते हैं। यांत्रिक गुणधर्मो में-कठोरण क्षमता या सतह से कठोरता की गहराई बहुत महत्वपूर्ण है। इस वर्ग के विभिन्न इस्पातों में यह सम्भव है कि पूरे सेक्शन में समानता मिल जाए। यहाँ सेक्शन का मतलब है इस्पात उत्पाद के समकोणीय कटाव में समान कठोरता का होना।

9.2 *मार्टेन्साइटी इस्पातः* यह बड़ा कोमल इस्पात है तथा एक चोट से ही टूट सकता है। सामान्य रूप से ऐसे इस्पात को काम में लाना बड़ा कठिन है तथा इसका उपयोग भी बहुत कम होता है। इसकी उपयोगिता पायन अथवा प्रतिबल अनीलन द्वारा बढ़ाई जा सकती है।

9.3 *आस्टेनाइटी इस्पातः* क्रिस्टलीय संरचना को देखते हुए इसमें ऊष्मा उपचार का कोई उपयोग नहीं क्योंकि इसकी क्रिस्टलीय संरचना को हम एल्फा-लोह (**फैराइटी**) या मार्टॅन्साइटी अवस्था में कभी नहीं बदल सकते। सदा गामा-लोह या आस्टेनाइट संरचना को बनाए रखने वाला यह इस्पात, चुम्बकीय गुणों से रहित होता है तथा अच्छी तन्यता के कारण इसको आकार देने में बड़ी सुविधा रहती है। विशेषकर ऐसी परिस्थिति में जहाँ अधिक कर्षण या गभीर कर्षण (**डीप ड्राईग**) आवश्यक हो। स्टेनलेस स्टील इसका एक अच्छा उदाहरण है।

जंग न लगने के कारण जहाजों, रासायनिक उद्योगों, औषधि उद्योग तथा रसोईघर में इसकी विशेष उपयोगिता है। दूसरी ओर अ-चुम्बकीय होने से विद्युत उपकरण उद्योग में भी यह उपयोगी रहता है तथा **'हीटिंग एलिमेन्ट'** के रूप में भी इसका इस्तेमाल किया जाता है।

9.4 ***फेराइटी इस्पात:*** इस इस्पात में भी गामा ><-ऐल्फा संरचना या प्रावस्था का परस्पर बदलना संभव नहीं। इसलिए इनके लिए भी ऊष्मा उपचार की उपयोगिता नहीं। अब क्योंकि फेराइटी संरचना या ऐल्फा-आयरन अपेक्षाकृत काफी मृदु होता है, इसलिए इसकी व्यावहारिक उपयोगिता सीमित है। इसको हम मृदु लोह **(साफ्ट आयरन)** भी कहते हैं। इसकी विशेष उपयोगिता मापन यंत्रों तथा विद्युतीय उपकरणों में रहती है।

10 कार्बन इस्पात

कार्बन इस्पात के बारे में हम पहले ही काफी चर्चा कर चुके हैं और अब हम इनके उपयोग की कुछ और चर्चा करेंगे। इस्पात में कार्बन की मात्रा के आधार पर हम ऊपर बता चुके हैं कि कार्बन इस्पात मोटे तौर पर तीन तरह के होते हैं, यथा -

10.1 ***अल्प कार्बन इस्पात (लो-कार्बन-स्टील):*** इसमें कार्बन की मात्रा 0.10 से 0.20 के लगभग रहती है तथा यह अपेक्षाकृत मृदु इस्पात है। सामान्य ताप पर इसका उपयोग सबसे अधिक पाया जाता है। अधिकतर चादर इसी से बनती है। यहाँ नरम होने का मतलब है आकार देने में सुगमता तथा गहरे और अति गहरे कर्षण के लिए उपयुक्तता। जहाँ कल-पुर्जों में पृष्ठ कठोरता जरूरी हो, वहाँ इस अल्प-कार्बन इस्पात से उत्पाद बन जाने के बाद उनका हम पृष्ठ कार्बुरण **(केस कार्बुराइजिंग)** कर सकते हैं।

10.2 ***मध्यम कार्बन इस्पात (मीडियम कार्बन स्टील):*** इसमें साधारणतया कार्बन प्रतिशत 0.25 से 0.60 तक रहता है। इसका अधिकतर उपयोग विभिन्न कल-पुर्जो, मेकेनिकल, इलेक्ट्रिकल मशीनों, रेल इंजनों, मोटर वाहन उद्योगों, ट्रेक्टर आदि बनाने में किया जाता है। यह ऊष्मा उपचार की विधियों के लिए बहुत अनुकूल रहता है, इसलिए नाना प्रकार से इस्पात के यांत्रिक गुणधर्मों में आवश्यकतानुसार परिवर्तन किया जा सकता है। वास्तव में इस इस्पात का उपयोग लम्बी अवधि तक प्रभावकारी रहता है तथा ऊँचे भवनों,पुलों, जहाजों तथा निर्माण यंत्रों में इस इस्पात का काफी उपयोग होता है।

10.3 ***उच्च कार्बन इस्पात (हाई कार्बन स्टील):*** इस श्रेणी को हम फिर तीन वर्गों में बाँट सकते हैं। आम तौर पर इस उच्च कार्बन इस्पात को औजारी इस्पात कहते हैं, क्योंकि इसी इस्पात से काटने वाले विभिन्न हथियार, कर्तन ब्लेड, आरी आदि भी तैयार किए जाते हैं –

(क)	सामान्य औजारी इस्पात ;	कार्बन 0.70 से 0.90 :
(ख)	मध्यम चाल औजारी इस्पात ;	कार्बन 0.95 से 1.20 :
(ग)	उच्च चाल औजारी इस्पात ;	कार्बन 1.25 से 1.35 :

3-413/HRD/03

इन सब इस्पातों का यथा संभव कठोरण किया जाता है। उसके बाद टेम्परन या पायन कर उसे उपयोगी बनाया जाता है, क्योंकि केवल कठोरण करके छोड़ देने से उनकी भंगुरता बढ़ जाती है और वे काँच के समान चटककर टूट सकते हैं। पायन से उसके टूटने का खतरा टल जाता है।

'क' वर्ग के इस्पात से हैन्ड टूल, यथा – हथौड़ी, प्लास, लकड़ी काटने के औजार, खेती के औजार आदि बनाए जाते हैं। 'ख' वर्ग के इस्पात ऐसे काम आते हैं जहाँ अधिक सामर्थ्य जरूरी हो, जैसे कटर, ड्रिलबिट, इत्यादि। 'ग' वर्ग के इस्पात वहाँ काम आते हैं जहाँ बहुत अधिक सामर्थ्य आवश्यक हो।

11. मिश्रातु इस्पात में कुछ धातुओं का प्रभाव

मैंगनीज इस्पात

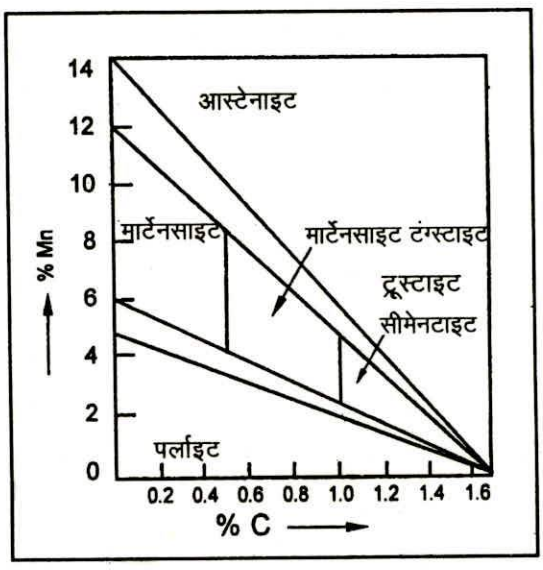
लोह और इस्पात उत्पादन के समय कच्चे तैयार लोहे में मैगनीज की कुछ मात्रा अवश्य रहती है तथा लगभग हर वर्ग के इस्पात में कुछ न कुछ मात्रा में मैंगनीज रहता है। अब इसे अगर मैंगनीज इस्पात की श्रेणी में रखना हो तो इसमें कम से कम 0.80 प्रतिशत मैंगनीज होना जरूरी है। इसकी मात्रा इस्पात में बढ़ाने से लोह-कार्बन आरेख में आस्टेनाइटी क्षेत्र में बढ़ोतरी होती है (आकृति-12)। आकृति 14 और 15 के अनुसार कार्बन मैंगनीज इस्पात में प्रधानतः आस्टेनाइटी, पर्लाइटी या मार्टेनसाइटी संरचना मिल सकती है। मैंगनीज मार्टेन्साइटी इस्पात बहुत अधिक कठोर और भंगुर होता है, इसलिए इसका उपयोग बहुत सीमित है। जिन वर्ग का इस्तेमाल अधिक होता है, वे **है** :

i) मैंगनीज पलाईटी इस्पात

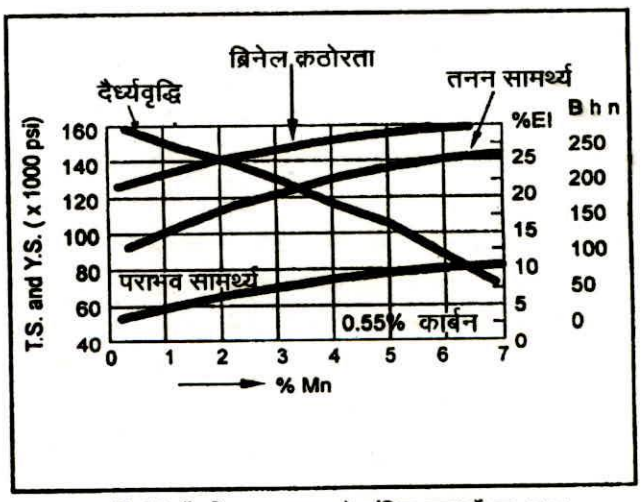
इसमें कार्बन 0.25 से 1.0 प्रतिशत तक तथा मैंगनीज 0.80 से 2.00 प्रतिशत तक रखा जाता है। यह ऊष्मा उपचार द्वारा गुणधर्म बदलने में बड़ा उपयुक्त है। कठोरण क्षमता और टेम्पर के मामले में यहाँ हम अलग-अलग स्तर की कठोरता पाने में तथा अन्य यांत्रिक गुणधर्मों को प्रभावित करने में बहुत सफल रहते हैं। मशीनों के निर्माण में इस इस्पात की बहुत महत्वपूर्ण भूमिका है। उदाहरण के लिए निर्माण उपकरण, मशीनों के कैल-पुर्जे, स्प्रिंग आदि। कठोरण क्षमता की दृष्टि से इस्पात छड़ के मध्य तक हम एक समान कठोरता तथा क्रिस्टल संरचना पा सकते हैं। मैगनीज इस्पात में अगर सल्फर अधिक हो तो उच्च ताप पर उसमें दरार पड़ने का डर रहता है जिसे हम तप्त भंगुरता (हाट-शार्टनेस) कहते हैं।

ii) आस्टेनाइटी मैंगनीज इस्पात

इसका उपयोग आमतौर पर संचक (कास्टिंग) बनाने में किया जाता है। इसकी विशेषता घर्षण प्रतिरोध क्षमता है अर्थात् बार-बार रगड़ लगने पर भी यह जल्दी घिसता नहीं, जैसे कि - रेल क्रासिंग, पेषण माध्यम या पेषण गोलिकाएं जो सीमेंट पीसने के काम आती है। इस वर्ग का एक बहुत विख्यात इस्पात है जिसे हम उसके आविष्कारक प्रो. हेडफील्ड के नाम से जानते है।



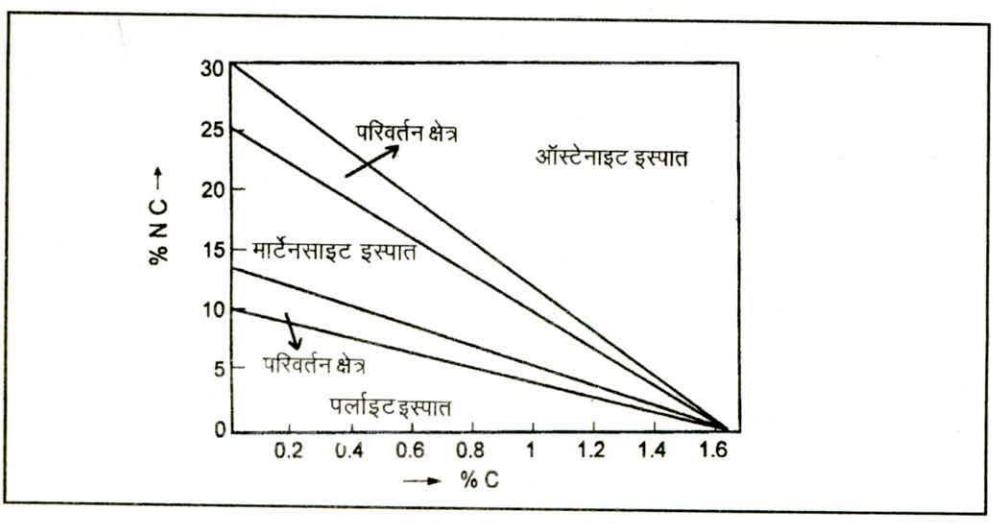
आकृति-14: मैगनीज इस्पात का वर्गीकरण



आकृति-15: मैंगनीज का इस्पात के यांत्रिक गुणधर्मों पर प्रभाव

11.2 निकैल इस्पात

वे सभी धातु जो इस्पात में आस्टेनाइट की मात्रा को बढ़ाते हैं तथा लोह-कार्बन आरेख में इसके क्षेत्र में विस्तार करते हैं, उनमें निकैल सबसे प्रमुख है। निकैल की उपस्थिति से लोहे के भौतिक और यांत्रिक गुणधर्मों में जो परिवर्तन आते हैं, उनमें इसकी उपयोगिता में बहुत वृद्धि हुई है। निकैल की उपस्थिति से जहाँ एक ओर इस्पात के फैलाव या शीट बनाने के गुणधर्म में वृद्धि होती है वहां साथ ही इस्पात की मजबूती भी बढ़ती है।



आकृति-16: निकैल इस्पात के भेद

मैंगनीज इस्पात की तरह ही पर्लाइटी निकैल इस्पात का सबसे अधिक उपयोग होता है। निकैल इस्पात का पर्लाइट वैसे भी बहुत महीन किस्म का होता है। क्रिस्टल संरचना की दृष्टि से यह बेनिटिक और ट्रयूस्ट्रोटिक जालक बनाता है जिसके परिणाम स्वरूप इस इस्पात की सामर्थ्य काफी अधिक होती है। अब क्योंकि निकैल कार्बन के साथ मिलकर कार्बाइड नहीं बनाता, इसलिये निकैल इस्पात का उष्मा उपचार करते समय उसे बहुत तेजी से ठंडा करने की जरूरत नहीं पड़ती। सामान्य शीतलन से ही इसमें बेनिटिक और ट्रयूस्ट्रोटिक संरचना मिल जाती है। इस इस्पात के ऊष्मा उपचार में इस सुविधा और सरलता के कारण निकैल इस्पात का उपयोग जटिल से जटिल यंत्रों के कल-पुर्जे को बनाने में किया जाता है। आम तौर पर काम आने वाले निकैल इस्पात में 1.5 से 5.0 प्रतिशत निकैल रहता है। पृष्ठ कठोरण क्षमता के लिये इसमें कार्बन की मात्रा 0.25 से 0.45 प्रतिशत तक रहती है, परन्तु अन्य वर्ग में हम कार्बन 0.10 प्रतिशत या इससे कम तथा निकैल 3 से 5 प्रतिशत के बीच रखते है।

औजारी इस्पात में निकैल का प्रयोग नहीं किया जाता। निकैल के आस्टेनाइटी इस्पात के बारे में हम

आगे विस्तार से समझेगें क्योंकि **स्टेनलेस स्टील** तथा ताप प्रतिरोधी इस्पात का क्षेत्र अपने आप में काफी बड़ा है। फिर भी निकैल इस्पात के कुछ विशेष उदाहरणों की हम यहाँ चर्चा करेंगे। यथा –

(i) 25 प्रतिशत निकैल युक्त इस्पात अ-चुम्बकीय इस्पात होता है। पानी के जहाज और पनडुब्बियों के बहुत से यंत्र-उपकरण-कलपुर्जे आदि इसी इस्पात से बनाए जाते हैं।

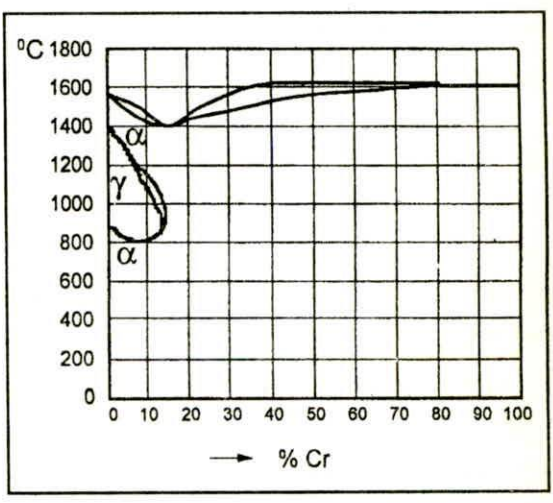
(ii) 36 प्रतिशत निकैलयुक्त इस्पात को **'इनवार'** कहते हैं। इस इस्पात का आयतन और आमाप (साइज) ताप बढ़ने और घटने से नहीं घटता-बढ़ता। इसलिए विभिन्न मापन यंत्रों में इसका उपयोग होता है।

(iii) 9 प्रतिशत निकैल युक्त इस्पात बहुत कम ताप पर भी नष्ट नहीं होता। इसलिए इसका उपयोग ऑक्सीजन, नाइट्रोजन आदि गैसों के तरल या द्रव अवस्था में भंडारण करने के लिए टैंकर बनाने में किया जाता है।

अन्त में आकृति - 14 व 16 से यह देखा जा सकता है कि मैगनीज इस्पात और निकैल इस्पात, दोनों में काफी समानता है। यह दोनों इस्पात उपयोग में एक जैसा व्यवहार करते हैं। इसलिये कई बार हम इन धातुओं को एक दूसरे के विकल्प के रूप में भी इस्तेमाल कर सकते हैं।

11.3 क्रोमियम इस्पात

सबसे पहले हम देखते हैं कि क्रोम इस्पात आस्टेनाइट क्षेत्र को संकुचित करता है। यह गुण मैंगनीज और निकैल के प्रभाव के एकदम विपरीत है। क्रोम इस्पात में 13 प्रतिशत क्रोमियम की अधिकतम सीमा है जहाँ से आगे क्रोमियम की मात्रा बढ़ाई जाए तो फिर गामा-लोह युक्त प्रावस्था, कार्बन-लोह आरेख में पूरी तरह लुप्त हो जाएगी अर्थात् लोहे के गलनांक से लेकर सामान्य ताप तक केवल फैराइट प्रावस्था ही रहेगी (आकृति 17)।



आकृति-17: क्रोमियम इस्पात में लोह-कार्बन आरेख का स्वरूप (गामा-लोह क्षेत्र)

क्रोम इस्पात को हम तीन वर्गों में बाँट सकते हैं

(i) पर्लाइटी-मोर्टेन्साइटी वर्ग

(ii) फैराइटी वर्ग

(iii) अर्द्ध फैराइटी वर्ग

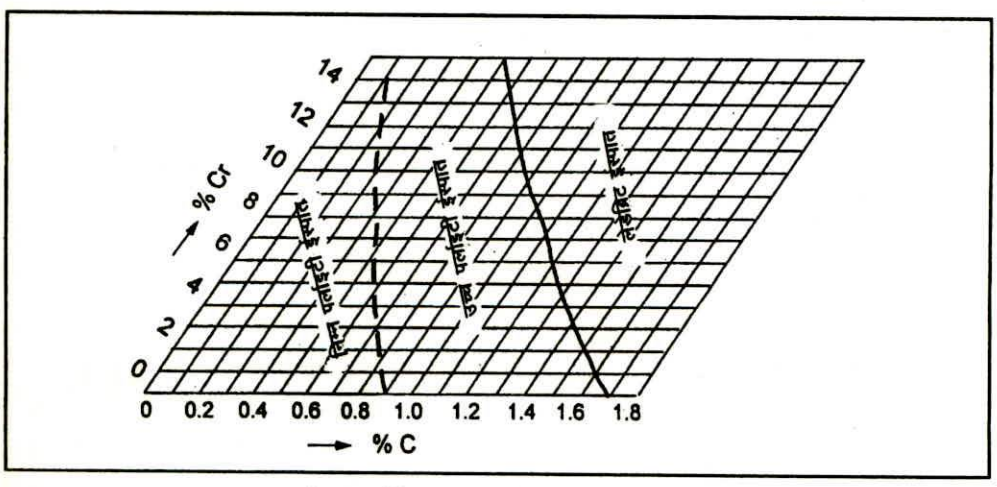
यहाँ पहली तरह के इस्पात में क्रिस्टल संरचना का स्वरूप कार्बन की मात्रा पर निर्भर करता है। अब 'S' बिंदु के आस-पास भी क्रिस्टल संरचना तीन प्रकार की हो सकती है –

क) 'S' बिन्दु के पास अल्प कार्बन होने से बहुत कम पर्लाइट का बनना **(हाइपो यूटेक्टिक इस्पात)**

ख) 'S' बिन्दु के पास अधिक कार्बन होने से बहुत अधिक पर्लाइट का बनना **(हाइपर यूक्टायड इस्पात)**

ग) 'S' बिन्दु के पास बहुत अधिक कार्बन होने से मोटे-मोटे कार्बाइड पिण्डों का बनना।

आकृति 18 से स्पष्ट है कि सिर्फ 0.2 प्रतिशत कार्बन और 12% क्रोमियम इस्पात में बहुत बढ़िया पर्लाइट बनता है। अब इसी इस्पात में अगर कार्बन 0.8 प्रतिशत हो तो बड़े-बड़े कार्बाइड पिण्ड बन जाते



आकृति-18: क्रोमियम इस्पात में कार्बन मात्रा से प्रकार भेद

हैं। क्रोमियम का कार्बन के प्रति आर्कषण काफी अधिक है, इसलिए यह आसानी से कार्बाइड बनाता है। इसी कारण क्रोम इस्पात खूब सख्त होता है और घर्षण द्वारा सतह को घिसने से रोकता है।

क्रोमियम धातु इस्पात के गुणों को और भी कई प्रकार से प्रभावित करती है तथा उनमें सुधार करती है। इसमें आसानी से दाग या जंक नहीं पकड़ती और इसका घर्षण प्रतिरोध बहुत अच्छा होता है, इसलिए इसका मशीन और उपकरण निर्माण में काफी उपयोग होता है। 13% क्रोम इस्पात में दाग **(गरिचा)** प्रतिरोधक क्षमता की शुरुआत होती है। फिर भी दाग या जंक नहीं लगे, इसके लिए सबसे अच्छी प्रतिरोधक क्षमता 18% क्रोमियम पर मिलती है। इस इस्पात को सामान्य वायुमंडल तो क्या, समुद्र का पानी भी नुकसान नहीं करता।

अब 30% क्रोम इस्पात में आप नाइट्रिक अम्ल भी रख सकते हैं और भाप टर्बाइन के ब्लेड 12% क्रोमियम से बनाए जाते हैं। क्रोमियम इस्पात उपयोग के कुछ विशेष उदाहरण इस प्रकार है :-

1) बेयरिंग इस्पात जिसमें 2% कार्बन और 12% क्रोमियम होता है।
2) हैवीड्यूटी प्रवेधन (ड्रिलिंग) के लिए 2 से 2.2% कार्बन तथा 11-12% क्रोमियम इस्पात होता है।
3) 4% क्रोमियम इस्पात से स्थायी चुम्बक तैयार किए जाते हैं।

क्रोमियम इस्पात में अच्छी कठोरण क्षमता के साथ-साथ अच्छी ताप प्रतिरोधक क्षमता भी होती है। इसके अलावा दाग-प्रतिरोधक (**स्टेनलेस**), संक्षारणरोधक, होने से यह भारी कटाई के लिए छुरे, कटर इत्यादि बनाने के काम आता है।

11.4 सिलिकन इस्पात

लोह और इस्पात उत्पादन की प्रक्रिया में सिलिकन की कुछ मात्रा इसमें स्वतः आ जाती है। फिर भी जब इसकी मात्रा 0.4% या अधिक होती है तो उसे हम सिलिकन इस्पात की संज्ञा देते हैं। सिलिकन वास्तव में धातु नहीं फिर भी धातु की तरह है। यही स्थिति सल्फर और फास्फोरस की भी है, परन्तु इस्पात में सिलिकन का व्यवहार एक धातु-जैसा ही पाया जाता है।

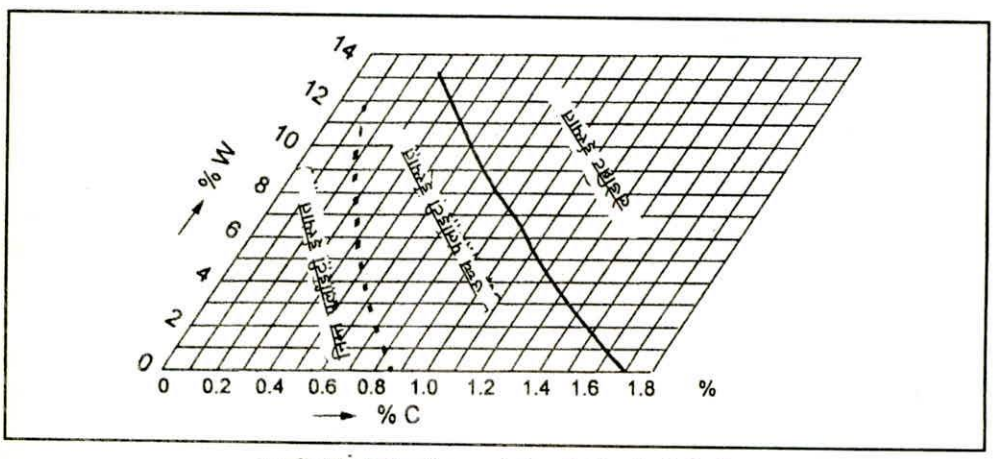
क्रोमियम की तरह सिलिकन भी प्रावस्था आरेख में आस्टेनाइट क्षेत्र को कम करती है, तथा फैराइट के क्षेत्र को बढ़ाती है। इसके आकार में कोई परिवर्तन नहीं होता। सिलिकन इस्पात का इस्तेमाल तरह-तरह के स्प्रिंग बनाने में होता हैं। साधारण स्प्रिंग इस्पात में 1.0 से 2.0% सिलिकन, 0.4 से 0.7% कार्बन और 1.0% मैंगनीज होता है। इसका एक नाम सिलिको-मैंगनीज स्प्रिंग इस्पात भी है। भारी कामों के लिए स्प्रिंग बनाने में कार्बन 0.40 से 0.55, सिलिकन 0.5 से 1.5 क्रोमियम 0.6 से 1.5 और वेनेडियम 0.1% युक्त रासायनिक संघटन अनुकूल रहता है। इस इस्पात का उपयोग स्प्रिंग के अलावा अन्य कामों के लिए भी किया जाता है। इसमें से कुछ उदाहरण हैं कटर के ब्लेड, संपीडित वायु की हथौड़ी (**कम्प्रेस्ड एयर हैमर**) वगैरह।

बिजली उद्योग में ट्रांसफार्मर इस्पात की जरूरत होती है। इसमें कार्बन बहुत कम तथा सिलिकन लगभग 0.4% होता है। इस इस्पात की चादरों, शीट, पत्तियों का इस्तेमाल विद्युत उद्योग उपकरणों में अनेक जगह होता है। इसका एक विशेष गुण है कि इसके द्वारा विद्युत शक्ति का अधिक ह्रास नहीं होता तथा दूसरा चुम्बक का शैथिल्य (**हिस्टेरिसिस**) नष्ट नहीं होता।

कहीं-कहीं तो सिलिकन इस्पात में 14 प्रतिशत तक सिलिकन डाला जाता है। इस इस्पात तथा इसके साथ ऐलुमिनियम का संयोग कराकर हम रासायनिक संक्षारण रोधक और ताप प्रतिरोधक इस्पात भी तैयार कर सकते हैं, जिनके विविध औद्योगिक उपयोग होते हैं।

11.5 टंग्स्टेन इस्पात

यहाँ सबसे पहले यह बता देना उचित होगा कि टंग्स्टेन कार्बन को बहुत आकर्षित करता है तथा कार्बाइड बनाता है। परिणामस्वरूप टंग्स्टेन इस्पात खूब सख्त होता है। इस्पात के साथ टंग्स्टेन कई तरह के कार्बाइड बनाता है। इनमें सबसे अधिक स्थायी और आवश्यक कार्बाइड है- Fe_3W_3C। इस कार्बाइड से छुरी की धार बहुत तेज और अधिक ताप पर भी स्थायी होती है। यह ऐसी चीज है जो काटते समय छुरी गरम भी हो जाए तो भी उसकी कठोरता और धार पर कोई असर नहीं होता। 12% टंग्स्टेन औजार इस्पात का उपयोग सन् 1898 ई. से होता आ रहा है।



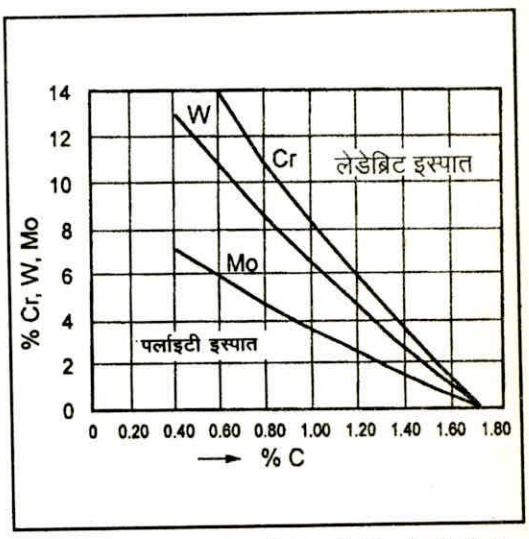
आकृति-19: टंग्स्टेन के प्रभाव से S व E बिन्दुओं की स्थिति

लोह-कार्बन आरेख में टंग्स्टेन की उपस्थिति 'S' व 'E' बिन्दु की स्थिति को कैसे प्रभावित करती है, यह आकृति-19 में दर्शाया गया है। ऐसा देखा गया है कि टंग्स्टेन की मात्रा जितनी बढ़ती है, पर्लाइट में कार्बन उतना ही कम हो जाता है और E बिन्दु उतना ही नीचे सरकता जाता है। मोटी बात यह है कि टंग्स्टेन लोहे के साथ बड़ी अच्छी तरह घुल जाता है। इसीलिए वह तरह-तरह के कार्बाइड बनाने में योगदान करता है और इस प्रकार इस्पात में काफी कठोरता एवं घर्षण प्रतिरोध क्षमता विकसित हो जाती है। इन दो गुणों के कारण ही उच्च चाल इस्पात (**हाई स्पीड स्टील**) में इसकी विशेष उपयोगिता है। भारी कटिंग के लिए तथा उच्च ताप पर भी जो इस्पात मिश्रातु कटाई कर सकते हैं, उन सब में टंग्स्टेन का मिश्रण अवश्य होता है। उच्च चाल इस्पात (HSS) में लगभग 18 प्रतिशत टंग्स्टेन होता है। इनमें मॉलिब्डेनम धातु का भी इस्तेमाल होता है। यूरोप में निकैल, क्रोमियम, मॉलिब्डेनम और वेनेडियम धातु युक्त उच्च चाल इस्पात का प्रयोग होता है।

कटाई के ब्लेड अलावा तप्त फोर्जिंग में तथा संवेधी मेन्ड्रल बनाने में भी टंग्स्टेनयुक्त इस्पात काम आता है, जहाँ उच्च ताप पर भी वह इस्पात की कठोरता को कम नहीं होने देता।

11.6 मॉलिब्डेनम इस्पात

मॉलिब्डेनम को भी टंग्स्टेन का एक विकल्प कहें तो बड़ी बात नहीं। फिर भी टंग्स्टेन इस्पात का शायद इतना विविध इस्तेमाल नहीं जितना मॉलिब्डेनम इस्पात का है। लोह-कार्बन चित्र में 'S' तथा 'E' बिन्दु की स्थिति पर मॉलिब्डेनम के प्रभाव को आकृति-20 में दर्शाया गया है।



आकृति-20: लोह कार्बन चित्र में S व E बिन्दुओं की स्थिति पर मालिब्डेनम का प्रभाव

तुलना की दृष्टि से टंग्स्टेन अगर इस्पात को कठोर करता हे तो उसमें भंगुरता भी लाता है। परन्तु मॉलिब्डेनम से इस्पात के किसी भी गुण में कमी नहीं आती, बल्कि उसमें वृद्धि ही होती है। मॉलिब्डेनम से इस्पात की केवल सामर्थ्य ही नहीं बढ़ती; वह अधिक मजबूत भी होता है। इसलिए इसके बहुत उपयोग हैं।

मॉलिब्डेनम इस्पात को टेम्पर करते समय नरम होकर भी वह अपनी कठोरता को कम नहीं होने देता जिससे उच्च ताप पर इसका उपयोग काफी लाभकारी रहता है। इस्पात में अक्सर मॉलिब्डेनम का अकेले इस्तेमाल बहुत कम होता है। इसका कारण यह है कि यह बहुत महंगी धातु है और बहुत जल्दी कार्बाइड बना लेती है, इसलिए इसका अन्य धातुओं के साथ ही प्रयोग करते हैं, जैसे कि क्रोमियम कटिंग टूल इस्पात हो या कोई और ग्रेड जो भारी द्रुत-चलित मशीन में इस्तेमाल होता है। उदाहरण के लिये C 0.4-0.5, Cr 1.3-1.5, Mo 0.6-0.75, V 0.25-0.30

निकैल क्रोम-मॉलिब्डेनम इस्पात का उपयोग टर्बाइन ब्लेड बनाने तथा वायुयान के **लैंडिंग गियर** बनाने में भी होता है। इसका उपयोग स्टेनलेस स्टील तथा विसर्पण रोधी इस्पात में भी किया जाता है।

11.7 वैनेडियम इस्पात

टंग्स्टेन धातु अगर कार्बाइड बनाता है तो वैनेडियम की कार्बाइड बनाने की क्षमता उससे कई गुनी है। इस्पात में वैनेडियम दो तरह से काम करता है। पहला तो यह इस्पात के रेणुओं को सूक्ष्म बनाता है और दूसरा कार्बाइड बनाता है। फलस्वरूप उच्च ताप पर टंग्स्टेन और मॉलिब्डेनम की तरह यह भी इस्पात की क्रिस्टल संरचना को बनाए रखने में मदद करता है। वैनेडियम धातु के फैराइट में मिश्रित हो जाने पर भी इसकी कार्बाइड बनाने की क्षमता बनी रहती है और यह शक्ति इतनी अधिक है कि कई बार फैराइट में कार्बन का पूर्ण अभाव देखने को मिलता है।

परिणामस्वरूप साधारण रूप में यह इस्पात के यांत्रिक गुण धर्मों में वृद्धि करता है और यह इस्पात के ऊष्मा-उपचार में अच्छा योगदान देता है। बहुत अच्छी गुणता की स्प्रिंग बनाने में इसका उपयोग होता है, जिसे हम क्रोम वेनेडियम स्प्रिंग इस्पात कहते हैं। इस इस्पात का उपयोग बहुत-से मशीन, उपकरणों आदि के घटकों के बनानें में भी होता है। उच्च ताप पर उपयोग तथा घर्षण प्रतिरोध के लिए टंग्स्टेन-क्रोम-वैनेडियम इस्पात का उपयोग किया जाता है, यथा - W : 4-9, Cr 2-5 , V 0.5- 0.6%,

स्प्रिंग स्टील C 0.5, Mn 0.85-0.90, Cr 1.1 , V 0.15 %

11.8 ऐलुमिनियम इस्पात

इस्पात में ऐलुमिनियम धातु बहुत कुछ सिलिकन की तरह व्यवहार करती है। लोह-कार्बन आरेख में ऐलुमिनियम भी सिलिकन की भॉति आस्टेनाइट क्षेत्र को कम करती है। क्रिस्टल के रेणुओं को ऐलुमिनियम स्थूल करता है। यह लोह क्रिस्टल से कार्बन को अलग करता है, जिससे मुक्त ग्रेफाइट अधिक बनने लगता है। ऑक्सीजन से विशेष लगाव होने के कारण इस्पात बनाने में इसकी विशेष उपयोगिता है जहाँ यह इस्पात को ऑक्सीजन से मुक्त करने में उपयोगी भूमिका निभाता है।

इस्पात में अगर नाइट्रोजन उपस्थित हो तो उससे संयोग कर यह ऐलुमिनियम नाइट्राइड बनाता है। इसके अलावा नाइट्राइड, इस्पात को भंगुर बनाता है। आजकल ऐलुमिनियम और सिलिकन के संयोग से उच्चताप प्रतिरोधी तथा स्टेनलेस इस्पात बनाने का भी सफल प्रयास हो रहा है।

11.9 इस्पात में सल्फर

सल्फर इस्पात को भंगुर करती है। चाहे किसी भी ढंग से इस्पात तैयार किया गया हो, उच्च ताप पर इस्पात में सल्फर की मात्रा अधिक होने पर उसके टूटने की संभावना रहती है। इसलिए हमारी कोशिश रहती है कि इस्पात में सल्फर जितना कम हो उतना अच्छा। आमतौर पर सल्फर की मात्रा 0.025% या इससे कम रखी जाती है, परन्तु कई बार इस्पात की मशीनन में सुविधा के लिए हम विशेष रूप से सल्फर की मात्रा 0.30 तक रखते हैं जिसे **'सुकर्तनीय इस्पात'** कहते हैं।

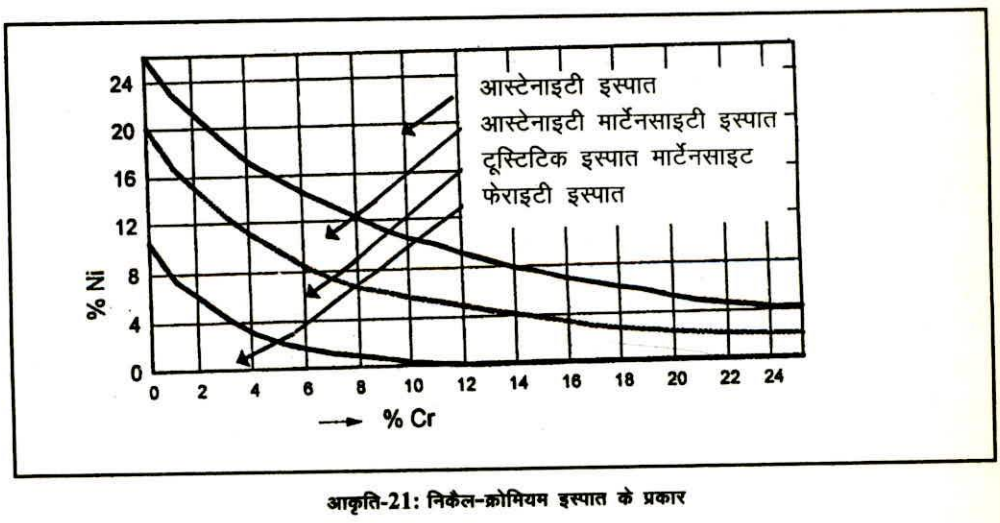
11.10 इस्पात में तांबा

तांबा इस्पात में अच्छी तरह मिश्रित नहीं हो पाता तथा इसका इस्पात में अधिक प्रयोग भी नहीं है। तांबा और सल्फर मिलकर उच्च ताप पर इस्पात के फटने में मदद करते हैं। इसे तप्त भंगुरता (हॉट शार्टनेस) कहते हैं। सकारात्मक उपयोग की दृष्टि से कभी-कभी तांबे की कुछ मात्रा मिलाकर उसकी स्टेनलेस स्टील क्वालिटी बनाने का प्रयास अवश्य किया जाता है, परन्तु यह अधिक प्रचलित नहीं।

12 दाग प्रतिरोधक और ताप प्रतिरोधक इस्पात

स्टेनलेस शब्द से आज हम सभी भलीभाँति परिचित हैं। बाजार में स्टेनलेस स्टील के बर्तन हर व्यक्ति खरीदता है और उसका उल्लेख भी करता है। स्टेनलेस का हम हिन्दी में अनुवाद न भी करें तो चलेगा परंतु वास्तविकता यह है कि एक साधारण इस्पात से बनी वस्तु को कुछ समय तक छोड़ दें तो पहले तो उस पर लाल-भूरे रंग का दाग-सा बन जाता है, जो सतह पर लोह-ऑक्सीजन के संयोग से तथा नमी मिलने पर बनता है। अब अगर उसे पनपने दें तो यह परत बढ़कर जंक का रूप धारण कर लेती है जो स्टील की सतह पर चिपकी भी रह सकती है और कभी-कभी भुरभुरी होकर झड़ने भी लगती है। अब वायुमंडल में सिर्फ ऑक्सीजन और नमी ही नहीं और भी बहुत-से रसायन हो सकते हैं जो धातु की बाहरी परत को प्रभावित करते हैं। इस्पात में अगर हम कुछ ऐसा प्रभाव उत्पन्न कर दें कि उस पर वायुमंडल की ऑक्सीजन, नमी तथा अन्य बहुत-से रसायनों का असर ही न हो तो इसको हम दाग-रहित या दाग प्रतिरोधी इस्पात या **स्टेनलेस स्टील** कह सकते हैं।

इस्पात में दाग न लगने का कारण उसकी सतह पर बनने वाली एक पतली परत होती है जो वायुमंडल की ऑक्सीजन के सहयोग से बनती है तथा एक बार यह परत तैयार हो जाए तो फिर आगे लोहे का ऑक्सीकरण नहीं हो पाता। लोहे में कुछ अन्य धातुओं के मिश्रण से यह गुण विकसित होता है। इनमें क्रोमियम एक ऐसी धातु है जो क्रोमियम ऑक्साइड की बड़ी कठोर परत बनाकर इस्पात में जंक या दाग नहीं लगने देती। स्टेनलेस स्टील मुख्यतः तीन प्रकार के होते हैं जो स्टील में क्रोमियम की मात्रा पर निर्भर करते हैं। उदाहरण के लिए 13%, 17% तथा 27% क्रोमियम युक्त इस्पात। इनमें कार्बन की मात्रा घटा-बड़ा कर हम बहुत से ग्रेड तैयार कर सकते हैं जिनका अलग-अलग परिस्थितियों में विशेष उपयोग है। इस इस्पात में हम निकैल मिलाकर इसके यांत्रिक गुणधर्मों में भी कुछ बदलाव ला सकते हैं तथा फिर इसको उच्च ताप पर उपयोग के योग्य भी बना सकते हैं।



आकृति-21: निकैल-क्रोमियम इस्पात के प्रकार

क्रोमियम तथा निकैल के सहयोग से हम इस्पात की क्रिस्टल संरचना में बहुत से परिवर्तन ला सकते हैं। हम जानते हैं कि कुछ तत्व इस्पात की आस्टेनाइट संरचना को स्थायी बनाने में योगदान करते हैं तो कुछ फैराइट संरचना बनाते हैं। कार्बन, निकैल, मैंगनीज और आस्टेनाइटी संरचना को स्थिरता देते हैं। दूसरी ओर क्रोम, मॉलिब्डेनम और टंग्स्टेन फैराइट संरचना को स्थायित्व प्रदान करते हैं। अब जिस इस्पात में कार्बन, निकैल तथा क्रोमियम हों तो उसमें क्या संरचना मिलेगी, यह इन तत्वों की मात्रा पर निर्भर करता है। इनका प्रभाव आकृति-21 में दर्शाया गया है। स्टेनलेस स्टील की जो तीन श्रेणियाँ हैं, उनका संक्षिप्त परिचय इस प्रकार है–

12.1 आस्टेनाइटी स्टेनलेस स्टील

इस इस्पात की संरचना में कोई परिवर्तन नहीं किया जा सकता तथा इस पर ऊष्मा उपचार का कोई प्रभाव नहीं होता। इसका सबसे अधिक इस्तेमाल घर के बर्तनों से लेकर बहुत-से उपकरण और कलपुर्जे बनाने में होता है। इस **'स्टेनलेस'** इस्पात को उष्मा उपचार के दायरे में लाने का एक ही प्रयास किया जाता है। इसके लिए 1050 से 1100° से. तक तपाने से इसमें यदि कुछ क्रोमियम कार्बाइड होता है तो वह अपघटित हो जाता है। क्रोमियम कार्बाइड यहाँ जितना अधिक होगा उतना ही स्टील में 'दाग' पड़ने की अधिक संभावना रहती है क्योंकि कार्बाइड अधिक होने से वह 'स्टेनलेस' होने में सहायक नहीं हो पाता। इसलिए यह ध्यान देना जरूरी है कि इस श्रेणी के इस्पात में **क्रोमियम मुक्त धातु रूप में रहे।** इसके लिये हमारे पास दो विधियां हैं, जैसे कि –

(1) इस्पात में कार्बन प्रतिशत पर्याप्त कम रखा जाए। इसको ECC ग्रेड या अत्यल्प कार्बन ग्रेड कहते हैं।

(2) अन्य कोई तत्व डालकर हम कार्बन को उसके साथ बाँधकर रखें, जैसे कि टाइटेनियम धातु आदि। इस प्रकार कार्बाइड न बनकर क्रोमियम मुक्त अवस्था में रहेगा और इस्पात में दाग न लगने वाला गुण बना रहेगा।

इस इस्पात को तप्त अथवा अतप्त बेल्लन के द्वारा हम आसानी से चादर रूप में तैयार कर सकते हैं तथा काफी गहराई तक हम इसका कर्षण भी कर सकते हैं जिसे डीप ड्राइंग कहते हैं। इसी गुण के कारण हम तरह-तरह के स्टेनलेस स्टील के बर्तन बड़ी आसानी से बना लेते हैं। इसे पुनः विद्युत आर्क वेल्डिंग से जोड़ा भी जा सकता है।

कई बार सांद्र सल्फ्यूरिक, हाइड्रोक्लोरिक और नाइट्रिक अम्लों को रखने के लिए तथा अन्य प्रयोगों के लिए विशेष प्रकार के स्टेनलेस स्टील का इस्तेमाल किया जाता है। इसके लिए क्रोमियम और निकैल के साथ-साथ मॅलिब्डेनम या मॉलिब्डेनम और टाइटेनियम मिलाकर उच्च श्रेणी के स्टेनलेस स्टील ग्रेड तैयार किए जाते हैं। इसमें **हेस्टएलाय** प्रमुख है जिसमें अधिकतम 80 प्रतिशत तक निकैल 20 प्रतिशत तक मॉलिब्डेनम तथा कुछ मात्रा क्रोमियम, टंग्स्टेन वगैरह की रहती है। इसमें लोह सिर्फ चार प्रतिशत ही रहता है।

ताप प्रतिरोधक स्टेनलेस स्टील में 18-20 % Cr, 12-13% Ni तथा अति अल्प मात्रा में Ti, Nb आदि

रहते है। इसकी ताप प्रतिरोधक शक्ति 600-700 ^{0}C तक रहती है। मोटर गाड़ी के इंजन वाल्व तथा टर्बाइन ब्लेड बनाने के लिए 24% Cr, 21% Ni तथा 0.5% नाइट्रोजन संघटनयुक्त इस्पात काम में लाया जाता है।

12.2 मार्टेनसाइटी स्टेनलेस स्टीलः इस इस्पात में गामा $\rightleftharpoons$ ऐल्फा परिवर्तन सम्भव हैं तथा इसमें ऊष्मा उपचार द्वारा **हार्डनिंग-टेम्परिंग** करके आवश्यक यांत्रिक गुण धर्म प्राप्त किए जा सकते हैं। इसका उपयोग अधिकतर रासायनिक संयंत्र व उपकरण बनाने में किया जाता है।

12.3 फैराइटी स्टेनलेस स्टीलः इसमें गामा-ऐल्फा परिवर्तन नहीं हो पाता। इसका रेणु आमाप काफी बड़ा और कमजोर होता है। इसलिए यह किसी प्रकार का भार सहन नहीं कर सकता। इस इस्पात का व्यवहार बहुत कम होता है। इसका उपयोग भट्ठी के कुछ भाग या फिर घर के बर्तन आदि बनाने में ही किया जा सकता है।

13 उच्च चाल इस्पात

कार्बन औजारी इस्पात के बारे में हम पहले भी कुछ चर्चा कर चुके हैं। लकड़ी काटने के आरों आदि में हम साधारण कार्बन इस्पात का इस्तेमाल कर सकते हैं परन्तु विद्युतचालित कर्तन उपकरणों में अगर हमें उच्च चाल से इस्पात काटना हो कार्बन इस्पात का इस्तेमाल सम्भव नहीं क्योंकि अधिक गरम होने पर इसकी धार नष्ट हो जाती है।

क्षिप्र चाल से धातु की कटाई करने के लिए पहले यह जानना जरूरी है कि कटाई करते समय औजार की क्या चाल होगी। फिर उस अवस्था के अनुकूल बनाने के लिए हम औजारी इस्पात में आवश्यक तत्वों का मिश्रण करके उपयुक्त इस्पात मिश्रातु तैयार करते हैं। पहले तो जो पदार्थ हम काटना चाहते हैं उसके टुकड़े कटकर कटिंग टूल से चिपकेंगे और फिर नीचे गिरेंगे।

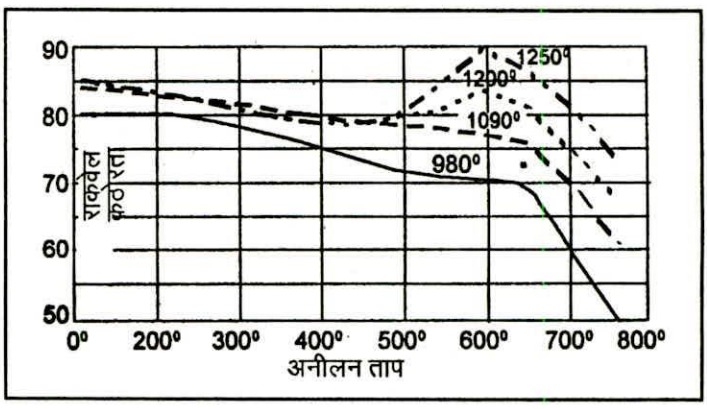
द्रुत घर्षण से कटर की धार गरम हो जाती है और वह नष्ट भी हो जाती है। जितना तेजी से कटाई होती है तथा जितना ज्यादा गहरा कट लगाया जाता है, उतना ही कटर की धार ज्यादा गरम और जल्दी नष्ट होती है। अब इसके लिए हमारी दो खास जरूरतें हैं। पहला तो उच्च ताप पर कटर की कठोरता बनी रहे और दूसरा उसकी धार का क्षरण न हो। द्रुत गति पर कटर का ताप 600 ^{0}C-700 ^{0}C तक पहुँच जाता है। इस ताप पर अगर मेटिरियल नरम हो जाएगा तो वह कटाई नहीं कर पाएगा।

सामान्य कार्बन औजारी इस्पात की कठोरता 200 ^{0}C तक चलं जाती है जबकि उच्च चाल इस्पात में यह 800^{0}C तक भी बनी रहती है। इस अवस्था में कठोरता बनाए रखने के गुण को रक्त तप्त कठोरण (रेड हार्डनेस) कहते हैं। इसे पाने के लिये हमें कार्बाइड बनाने वाले तत्वों का प्रयोग करना होगा, जिनमें खास

हैं टंग्स्टेन, मॉलिब्डेनम, क्रोम, वैनेडियम इत्यादि। इनके कार्बाइड उच्च ताप पर भी पुंजित नहीं होते। इस श्रेणी के इस्पात के दो मुख्य ग्रेड हैं जिनका संघटन निम्न प्रकार है -

1) 0.7% C, 18% W, 4% Cr, 1% V
2) 0.9% C, 6% W, 6% Mo, 4% Cr, 2% V

इन का ऊष्मा उपचार कठोरण 1000 ^{0}C से 1250 ^{0}C पर तेल में ठंडा करके किया जाता है। इसमें इस्पात पूर्णतः मार्टेन्साइट में नहीं बदलता, बल्कि कुछ मात्रा आस्टेनाइट की भी रह जाती है जिसे हम अवशिष्ट आस्टेनाइट कहते हैं। इसको जब हम 500 ^{0}C-600 ^{0}C के बीच टेम्पर करते हैं तब इस आस्टेनाइट से कार्बाइड का अवक्षेपण होता है। इस परिवर्तन से उसकी कठोरता और अधिक बढ़ जाती है। इस प्रकार इस इस्पात को दो-तीन बार टेम्पर किया जाता है जब तक पूरा आस्टेनाइट, मार्टेन्साइट में बदल नहीं जाता तथा पूर्ण कठोरता प्राप्त नहीं होती। इस कठोरता को द्वितीयक कठोरता कहते हैं तथा इसमें कठोरता का स्तर 65 Rc तक रहता है।



आकृति-22: हाई स्पीड की अनीलिंग से कठोरता में परिवर्तन

14. लोह-इस्पात उत्पादन में कच्चा माल

लोह तथा इस्पात उत्पादन में हमें तीन प्रमुख पदार्थ चाहिए –

1) लोह युक्त पदार्थ जो प्राकृतिक लोह अयस्क या स्क्रैप लोह-इस्पात हो सकता है।
2) जलाने, लोह को गलाने तथा उसे ऑक्सीजन से मुक्त कराने के लिए कोक, कोयला, फर्नेस आयल या फिर गैसीय ईंधन आदि।
3) गालक जो गले हुए अशुद्ध लोहे से अपद्रव्यों या गंदगी को दूर करने में हमारी सहायता करे। उदाहरण के लिए चूना, चूने का पत्थर, डोलोमाइट वगैरह।

इनमें सबसे महत्वपूर्ण है लोह-अयस्क तथा उसे गलाने और अपचित करने के लिये उच्च ताप। कोकिंग कोल हमें सिर्फ उच्च ताप ही नहीं देता बल्कि इसका कार्बन लोह-ऑक्साइड से ऑक्सीजन को हटाने में भी बड़ा उपयोमी रहता है। इस प्रक्रम को सम्पन्न कराने के लिये उचित आमाप और डिजाइन का एक विशेष पात्र भी चाहिए, जिसे हम धमन भट्टी (ब्लास्ट फर्नेस) कहते हैं।

साधारण रूप में पृथ्वी में पाए जाने वाला लोहा ऑक्सीजन से संयुक्त रहता है तथा कई रूपों, यथा– हैमेटाइट (Fe_2O_3), मैग्नेटाइट (Fe_3O_4) तथा लोहे के कार्बोनेट या सल्फाइड आदि यौगिक के रूप में पाया जाता है। इन आक्साइडों तथा अन्य यौगिकों के साथ अनेक अवाँछित पदार्थ जुड़े रहते हैं, जैसे ऐल्युमिना (Al_2O_3), सिलिका, सिलिकेट,फास्फेट वगैरह। यदि लोह अयस्क में चूने की प्रधानता हो तो उसे **क्षारक ग्रेड अयस्क** कहते हैं और अगर सिलिका (SiO_2) अधिक हो तो उसे **अम्ल ग्रेड** अयस्क कहते हैं। अब लोह अयस्क में एक तो वह भाग है जिसकी हमें जरूरत है - इसे अयस्क मूलांश (वेल्यु) कहते हैं तो दूसरा वह अवाँछित अंश है, जिसकी हमें जरूरत नहीं तथा अयस्क को गलाने पर यह धातुमल के रूप में अलग कर लिया जाता है। इसे "गैन्ग" कहते हैं।

(क) *हैमेटाइट* (Fe_2O_3) लाल रंग का लोह पत्थर है जो हमारे देश में काफी मात्रा में तथा अच्छी गुणता का पाया जाता है। इसमें मिश्रित प्रमुख अशुद्धियों फास्फोरस, सल्फर आदि की मात्रा बहुत अधिक नहीं होती तथा 'गेन्ग' या अवाँछित अंश के रूप में मिट्टी, बालू **(सिलिका)** तथा एल्युमिना वर्ग के कुछ रासायनिक यौगिक प्रमुख हैं। इसमें लोह व ऑक्सीजन का बंधन बहुत मजबूत नहीं है इसलिए इससे शुद्ध लोह पाने में विशष कठिनाई नहीं होती। भारत में यह लाल हैमेटाइट प्रचुरता से मिलता है, जो न केवल हमारे अपने लोह-इस्पात उद्योग की पूर्ति करता है, बल्कि हम काफी मात्रा में हैमेटाइट अयस्क का निर्यात भी करते हैं।

(ख) *मैग्नेटाइट* की रासायनिक संरचना Fe_3O_4 होती है। यथा नाम तथा गुण की दृष्टि से यह चुंबकीय होता है अर्थात् चुम्बक इसे आकर्षित कर सकती है। इस संरचना में ऑक्सीजन और लोहे का बन्धन बहुत मजबूत होता है। इसलिए इससे लोह उत्पादन हैमेटाइट जितना आसान नहीं। हमारे देश के दक्षिणी प्रान्तों में यह काफी मात्रा में पाया जाता है तथा आशा है आने वाले समय में हम इसकी उपयोगिता बढ़ाने में सफल हो सकेंगे।

लोह अयस्क की दो और किस्में हैं जो अधिक प्रचलित नहीं। उदाहरण के लिए लिमोनाइट ($Fe_2O_3.H_2O$) एवं सिडेराइट ($Fe.CO_3$)। अब कौन सा अयस्क हमारे लिए आर्थिक दृष्टि से उपयोगी है, यह निश्चय होने के बाद ही किसी अयस्क को इस्तेमाल करने की बात सोची जा सकती है। इस संबंध में निम्नलिखित बातों पर विचार किया जाता है –

(i) अयस्क में लोह तत्व की मात्रा (प्रतिशत में); इस दृष्टि से हम लोह अयस्क को उच्च, मध्यम तथा निम्न गुणताओं में बाँटते हैं।
(ii) 'गैन्ग' में क्या-क्या यौगिक कितनी मात्रा में हैं तथा यह मिश्रण किस प्रकार का है।
(iii) अयस्क का आमाप तथा विविध आकार के टुकड़ों का पूरी मात्रा में बँटवारा (डिस्ट्रीब्यूशन)।
(iv) जमीन से अयस्क को प्राप्त करने में होने वाला खर्च।
(v) अयस्क से ऑक्सीजन को अलग करने में संभावित आसानी या कठिनाई।

14.1 लोह अयस्क की निर्मिति : धमन भट्टी को अच्छी तरह चलाने के लिए लोह-अयस्क का आमाप और गुणता महत्वपूर्ण है। अगर अयस्क में 'गेन्ग' ज्यादा होंगे तो उन्हें गलाने में अधिक ईंधन की आवश्यकता होगी। अब लोह अयस्क को धमन भट्टी में इस्तेमाल करने से पहले यह सुनिश्चित कर लेना चाहिए कि अयस्क का रासायनिक संघटन एक समान है तथा अयस्क के टुकड़ों का आमाप एक पूर्व निर्धारत सीमा के अन्दर हैं। इसके लिए अयस्क की आवश्यक तैयारी करना जरूरी है। अयस्क की तैयारी के लिए बहुत बड़े लोह

अयस्क ढेलों को तोड़ना पड़ता है और छानने के बाद अधिक महीन चूरे को अलग कर देते हैं। अब इसमें अगर कुछ मिट्टी का अंश हो तो उसे पानी से धोकर हटा सकते हैं। कहीं-कहीं चुम्बक की सहायता से भी हम अयस्क के लोह-युक्त अंश और 'गेन्ग' को अलग छाँटने का प्रयास करते हैं। इसे अयस्क सांद्रण या अयस्क समृद्धिकरण कहते हैं।

धमन भट्टी में गलाने के लिए केवल एक नियत आमाप का लोह अयस्क ही उपयोगी है। उससे छोटे-टुकड़े सीधी अपचयन – **(डायरेक्ट रिडक्शन)** विधि द्वारा स्पंज लोह बनाने के काम आते हैं या फिर इनकी हम गुटिका (पैलेट) बना सकते हैं। इस्पात संयंत्र में लोह चूर्ण के साथ कोयले और चूने के पत्थर का चूरा या फिर चूना एक निश्चित अनुपात में मिलाकर उच्च ताप तक गर्म करने से उसका खंजड़ बन जाता है जिसे हम **"सिन्टर"** कहते हैं तथा इस विधि को **सिन्टरण** कहते हैं। खंजड़ देखने में केक जैसा लगता है और वैसे ही उसमें अन्दर असंख्य छिद्र होते हैं जिनमें हवा और गैस सरलता से प्रवेश कर सकती है। इसलिए धमन भट्टी में सिन्टर जितना अधिक होगा, भट्टी के अन्दर होने वाली रासायनिक अभिक्रियाएँ उतनी तेजी से सम्पन्न होंगी क्योंकि इस प्रकार लोह अयस्क कणों से CO, CO_2, H_2 आदि गैसों का संयोग बड़ा आसान हो जाता है और उसे ऑक्सीजन-मुक्त या अपचित करने में सरलता होती है। **गुटिकायन-(पेलेटाइजिंग)** विधि में हम लोह-अयस्क के धूल-कणों में जल तथा कोई आसंजक मिलाकर उसे मैदे की तरह गूँथ लेते हैं। इससे गोल-गोल लड्डू बनाकर उन्हें लगभग 1,000° से. ताप पर सुखा लेते हैं। इस प्रकार ये गुटिकाएं भी सिन्टर की तरह ही काम करती हैं।

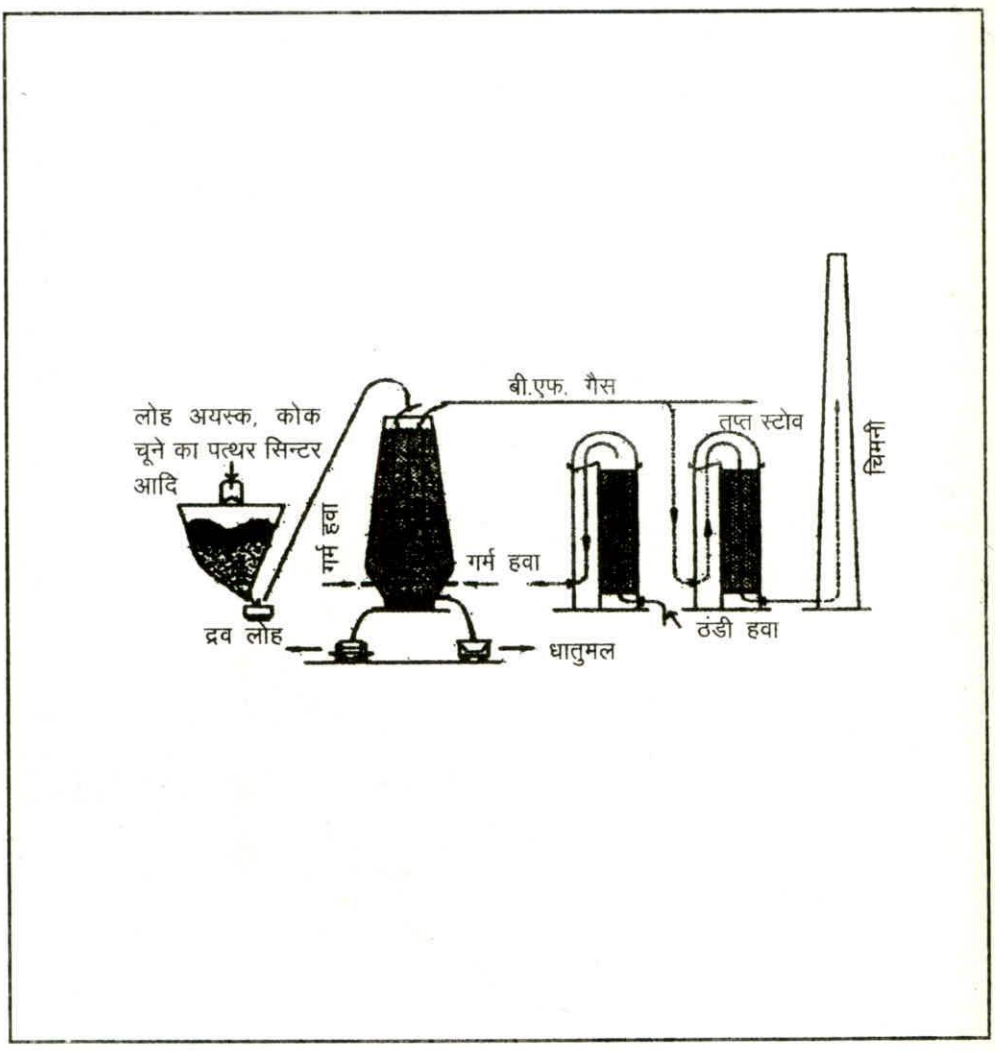
आजकल धमन भट्टी में गुटिका तथा सिन्टर का उपयोग-प्रतिशत काफी अधिक होता है तथा यह देखा गया है कि इनके उपयोग से ईंधन की काफी बचत होती है अर्थात् धमन भट्टी की दक्षता बढ़ जाती है, और कोक खपत दर में कमी आ जाती है। कहीं-कहीं तो 40 प्रतिशत या अधिक गुटिकाओं का इस्तेमाल किया जाता है।

14.2 लोह-अयस्क का ऑक्सीजन-विमोचन

धमन भट्टी के घान-भार **(बर्डन)** में लोह-अयस्क, सिन्टर, गुटिका या अन्य कुछ लोह युक्त पदार्थ होते हैं। यह सब वास्तव में लोहे का ऑक्साइड होता है। धमन भट्टी का काम है लोह को ऑक्सीजन से मुक्त करना तथा उससे पिघला या गलित हुआ लोह तैयार करना। धमन भट्टी वास्तव में एक खास तरह की भट्ठी है जिसमें लोहा बनाने के लिए हम कई तरह का कच्चा माल एक विशेष अनुपात में डालते हैं। ईंधन और अपचायक के रूप में इसमें मुख्य पदार्थ कोक या कोककारी कोयला है। कोयला जलकर कार्बन डाईआक्साइड तथा कार्बन मोनो-आक्साइड गैस बनाता है। यह गैस लोह-ऑक्साइड से ऑक्सीजन को अलग करती है तथा ज्यों-ज्यों ताप बढ़ता है लोहा गलने लगता है। गलते समय लोहे के साथ जो अवाँछित (गेन्ग) पदार्थ हैं वे सब चूनापत्थर और डोलोमाइट के साथ मिलकर धातुमल (स्लैग) बनाते हैं जो लोहे से हल्का होने के कारण पिघले लोहे के ऊपर तैरता है। धमन भट्टी केवल एक 'शाफ्ट-भट्ठी' ही नहीं परन्तु इसमें बहुत से यंत्र और उपकरण जुड़े रहते हैं जो आकृति 23,24 में देखे जा सकते हैं। इसकी कार्य प्रणाली और प्रौद्योगिकी में पिछले 20-25 वर्ष में काफी सुधार हुआ है परन्तु आज भी दुनिया में धमन भट्टी का कोई विकल्प नहीं तथा विश्व का 94 प्रतिशत से अधिक लोह-उत्पादन इसी भट्ठी द्वारा होता है।

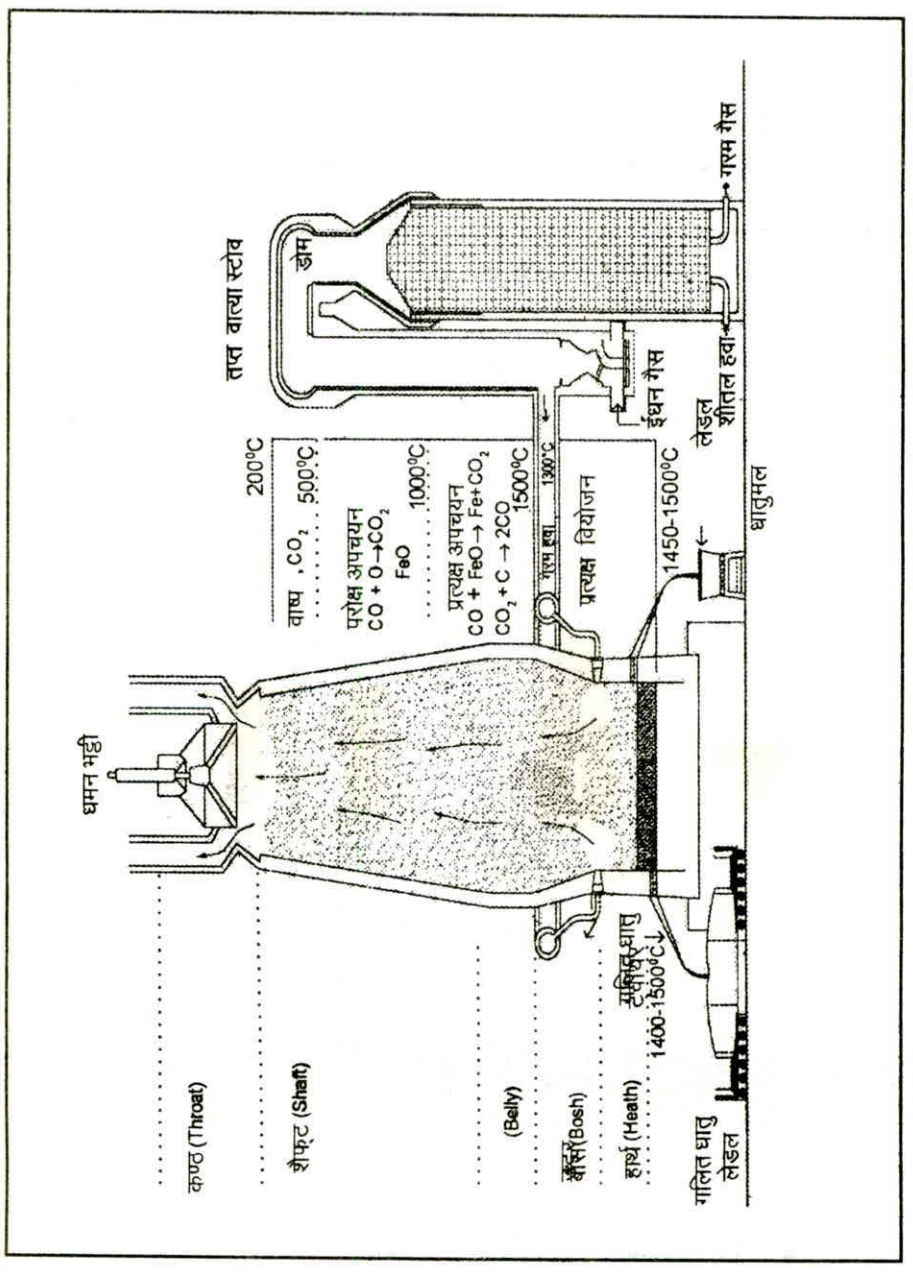
15. धमन भट्टी की कार्य पद्धति

धमन भट्टी (ब्लास्ट फर्नेस) एक गोलाकार स्तम्भ जैसी भट्ठी है, जिसे एक बार प्रारम्भ करने के बाद लगातार चलाते रहते हैं। इसे इस्पात की मोटी प्लेट से बनाते हैं तथा इसमें अन्दर की ओर उच्चतापसह ईंटें लगी रहती हैं। प्लेट के बाहरी भाग को ठंडा रखने के लिए पानी के पाइप लगे रहते हैं जिसे शीतलन तंत्र (**कूलिंग सिस्टम**) कहते हैं। केवल भट्ठी की ऊँचाई लगभग 35 मीटर तक होती है। इसके ऊपर से कच्चा



आकृति-23: धमन भट्टी में द्रव लोहे का उत्पादन प्रवाह

4-413/HRD/03



आकृति-24: धमन भट्ठी व तप्त वात्या स्टोव की कार्य विधि

माल भट्ठी में गिराने की व्यवस्था रहती है तथा साथ ही भट्ठी की गैस की निकासी के लिये पाइप होते हैं। आजकल की भट्ठियों में इन सब व्यवस्थाओं को मिलाकर धमन भट्टी की ऊँचाई सौ मीटर से भी अधिक हो सकती है। भट्ठी के आंतरिक भाग को हम चार हिस्सों में बाँट सकते हैं। सबसे ऊपरी भाग को कंठ या गला कहते हैं, इसके निचले भाग को स्तम्भ या 'शाफ्ट' कहते हैं, फिर आता है उदर या पेट और इसके नीचे के भाग को तला (हार्थ) कहते हैं।

गले में ऊपर से हम लोह अयस्क, कोक, चूने का पत्थर आदि डालते हैं। गले के ऊपरी भाग में दो घंटाकार उपकरण इस तरह लगे रहते हैं कि इनको बारी-बारी से खोलकर जब हम कच्चा माल भट्ठी में गिराते हैं तो भट्ठी की गैस इस रास्ते से बाहर नहीं आनी चाहिए। गैस को बाहर ले जाने की अलग पाइप-व्यवस्था रहती है। इस मार्ग से गैस को साफ करने की व्यवस्था भी रहती है जिससे गैस के साथ भट्ठी से बाहर जाने वाले धूल-कण गैस से अलग किए जा सकें। इस गैस को धमन भट्टी गैस कहते हैं तथा इसको इस्पात कारखाने में अन्यत्र ईंधन के रूप में इस्तेमाल किया जाता है। भट्ठी के निचले अंचल में विशेष आकृति के कई पाइप लगे होते हैं, जिन्हें **'ट्वीयर'** कहते हैं। इस पाइप संरचना के माध्यम से लगभग 1300°C तक गरम हवा को हम उच्च-दाब पर भट्ठी में प्रवेश कराते हैं, इसे **'ब्लास्ट'** या झोंका कहते हैं। यह गरम हवा ही भट्ठी में प्रवेश करके दहन प्रक्रिया को प्रारम्भ करती है। हवा के इन प्रवेश द्वारों से नीचे धातुमल निकालने का रास्ता होता है तथा इससे कुछ नीचे पिघली धातु को जमा करने की व्यवस्था रहती है। आवश्यकता अनुसार हम धमन भट्टी से लोह-धातु और धातुमल को समय-समय पर बाहर निकालते रहते हैं। हर बार धातुमल या लोहे को निकालने के बाद उनके द्वार को बन्द कर दिया जाता है।

15.1 हाट-स्टोव

ऑक्सीजन के संयोग से ही ईंधन का प्रज्ज्वलन होता है, इसलिए बहुत अधिक मात्रा में **'ट्वीयर'** के माध्यम से हम धमन भट्टी में वायु प्रवेश करवाते हैं। अब अगर यह हवा वायुमंडल के सामान्य ताप पर होगी तो यह भट्ठी के भीतरी ताप को नीचे गिराएगी, इसलिए इसे 1300°C या अधिक ताप पर पहले गरम कर लेते हैं। इस गरम वायु को उच्च दाब पर प्रवेश कराने से यह भट्ठी में ऊपर से गिरने वाले कच्चे माल को बीच में संतुलित करने का प्रयास करती है, जिससे कच्चा माल बहुत धीरे-धीरे ऊपर से नीचे गिरता है। इस दौरान नीचे से ऊपर उठती हुई वायु की ऑक्सीजन, कोक कोयले को जलाकर भट्ठी का ताप बढ़ाने में सहयोग देती है और इससे उत्पन्न होने वाली गैसें, लोह अयस्क के ऑक्साइड को ऑक्सीजन से मुक्त कराने का काम करती हैं।

हॉट-स्टोव में लोहे की चादर से बने लम्बे चैम्बर होते हैं, जिनके भीतर उच्चतापसह ईंट लगी रहती हैं। हवा को तपाने की यह भट्ठी पुनर्जनन विधि **(रिजनरेटिव)** पर काम करती है। धमन भट्टी में उच्च दाब पर प्रवेश करने वाला हवा का झोंका जितना ज्यादा गर्म होगा उतना ही कोक-कोयले की खपत कम होगी।

16 धमन भट्टी की कार्यविधि

ऊपर हम बता चुके हैं कि लोह अयस्क, गुटिका, सिन्टर, कोक, चूने के पत्थर आदि को हम भट्टी के ऊपर से डालते हैं। इन सबको हम इस तरह गिराते हैं कि भट्ठी के अन्दर इनका फैलाव रासायनिक अभिक्रियाओं को शीघ्र आगे बढ़ाने में मदद करे तथा नीचे से ऊपर उठती हुई गैस के प्रवाह में कोई अवरोध ा न हो। नीचे हार्थ क्षेत्र से **'टुवीयर'** द्वारा हम गरम हवा का प्रवेश कराते हैं। यह हवा कोक कोयले के सम्पर्क से अपचायक गैस तैयार करती है। इस दृष्टि से कोक की दोहरी उपयोगिता है। पहली तो यह ईंधन का काम करके ताप बढ़ाती है जिससे लोह-ऑक्साइड ऑक्सीजन से छुटकारा पाने के बाद गलित अवस्था में पहुँच जाता है। दूसरा यह ऑक्सीजन के अपचायक का काम करता है। अब यह कोयला इतना सख्त मजबूत होता है जो ऊपर से गिरते हुए घान भार को अपने ऊपर साधे रहता है तथा गैस के नीचे से ऊपर होने वाले प्रवाह में बाधक नहीं होता। इस कोक-कोयले का ही कुछ अंश, लोह-अयस्क से बनने वाले कच्चे लोहे में घुलकर उसके गलनांक को नीचे ले आता है, जिसे हम धातु का कार्बुरण कहते हैं।

धमन भट्टी वास्तव में प्रतिप्रवाह सिद्धांत पर काम करती है। इसका मतलब है गरम हवा नीचे से प्रवेश करके अपना काम पूरा करते हुए ऊपर की ओर उठती है तो कच्चे माल का बोझा ऊपर से नीचे की ओर आहिस्ता-आहिस्ता अपना रास्ता तय करता है और नीचे पहुँचते-पहुँचते गलित लोह तैयार हो जाता है। इस प्रतिप्रवाह विधि का धातु उद्योग और धातुकर्मिकी में बहुत महत्व है। अब अगर हम धमन भट्टी के स्तम्भ में ऊपर से नीचे की ओर उतरें तो इस यात्रा के तीन मुख्य चरण हैं (आकृति-24)।

प्रथम चरण : कच्चे माल का घानभार गरम होता है तथा उसमें से जल का अंश अलग हो जाता है। इस भाग में ताप 400 °C-500 °C तक रहता है। यहाँ परोक्ष रूप से धीरे-धीरे अयस्क के लोह ऑक्साइड से ऑक्सीजन अलग होने की प्रक्रिया प्रारम्भ हो जाती है।

द्वितीय चरण : ताप बढ़ता है और ऑक्सीजन-विमोचन दर कुछ तेज हो जाती है।

तृतीय चरण : सारा कच्चा माल मिलकर स्पंज रूप में आ जाता है। यहाँ लोह-अयस्क, कोक, चूने के पत्थर और धातुमल की अलग पहचान नहीं हो पाती। ताप जब 1200 °C होता है तो अयस्क से ऑक्सीजन के प्रत्यक्ष विमोचन की प्रक्रिया आरम्भ हो जाती है। इस स्थिति में CO_2 टूटकर C और CO बनाती है इसके बाद ऑक्सीजन मुक्त लोहे के साथ, कार्बन घुलना प्रारम्भ कर देता है, तथा तरल लोह लाल कोयले के ढेर से नीचे गिरने लगता है। इस गलित लोहे में लगभग 4% कार्बन का अंश रहता है।

1500 °C-1600 °C ताप पर धातुमल गलित अवस्था में अलग होकर धातु के ऊपर तैरने लगती है जिसमें विभिन्न ऑक्साइड, सिलिकेट आदि अवाँछनीय पदार्थ चूने की मदद से एक अलग परत बना कर धातु पर तैरते हैं। इधर लोह धातु में कार्बन के साथ-साथ कुछ अंश ऐलुमिनियम, सिलिकन, मैंगनीज, सल्फर, फास्फोरस आदि भी विलीन रहते है।

17 धमन भट्टी के उत्पाद

धमन भट्टी का सबसे प्रमुख उत्पाद है गलित लोहा। इसके साथ धातुमल बाहर निकलने वाली गैस, गैस की सफाई से प्राप्त महीन धूल कण इत्यादि प्राप्त होते हैं। गलित धातु में 4% कार्बन के अलावा सल्फर, फास्फोरस, सिलिकन, मैंगनीज आदि तत्व रहते हैं जिन्हें हम विपाशित तत्व (ट्रैप एलीमेन्ट) कहते हैं। लोहे में यह तत्व जितने कम होंगे, उतना ही हमें कच्चे लोह से परिष्कृत करके इस्पात बनाना आसान होगा।

गलित कच्चा लोह मुख्यतः दो प्रकार का होता है। इस्पात बनाने के लिए इसमें सल्फर कम होना चाहिए। जो लोहा ढलाई के काम आता है, उसमें सिलिकन और फास्फोरस कम होना चाहिए। ढलाई के लिए जब हमें लोहा इस्तेमाल करना होता है तो उसे हम गोबर के उपलों-जैसे ढेलों की शक्ल में जमा लेते हैं, जिसे **'पिग आंयरन'** कहते हैं।

लोह अयस्क में उपस्थित गैंग, चूने के साथ मिलकर धातुमल बनाता है। धमन भट्टी में जब हम 1000 किलोग्राम लोह तैयार करते हैं तो लगभग 300 किलोग्राम धातुमल बनती है। इस धातुमल में 92-95 प्रतिशत तक कैल्सियम ऑक्साइड और कुछ मात्रा में MnO, MgO, Al_2O_3, SiO_2 वगैरह रहते हैं। इसके लगभग साठ प्रतिशत का प्रयोग सड़क निर्माण में रोड़ी के रूप में तथा लगभग बीस प्रतिशत का उपयोग सीमेन्ट उत्पादन में होता है। बाकी धातुमल से स्लैग वूल, स्लैग ईंटा, फोम स्लैग इत्यादि पदार्थ बनाए जाते हैं।

18 लोह उत्पादन की आखिरी बात

अभी तक लोह-उत्पादन की प्रमुख विधि होने पर भी धमन भट्टी विधि की कुछ दिक्कतें हैं जिनके कारण लोह उत्पादन के नये तरीकों की खोज जारी है। धमन भट्टी की कुछ अपनी सीमाएँ हैं–

i) इसके कच्चे माल के घान में केवल बड़े आकार का लोह-अयस्क ही इस्तेमाल किया जा सकता है और वह भी काफी सख्त होना जरूरी है।

ii) कच्चे माल की तैयारी के लिये जहाँ एक ओर हमें गुटिका और सिन्टर बनाने की व्यवस्था करनी पड़ती है, वहीं कोकिंग कोयले को कोक अवन में तपाकर कोक तैयार करना भी जरूरी है। इस कोक का आकार भी लोह अयस्क की तरह बड़े ढेलों के रूप में होना चाहिए तथा घान के साथ रगड़ खाकर या धमन भट्टी में गिराते समय यह टूटना नहीं चाहिए।

(iii) उपरोक्त सारी व्यवस्थाओं का मतलब है धमन भट्टी के साथ अन्य बहुत सारे संयंत्रों की स्थापना। इन सबके लिए काफी धन जुटाना पड़ता है।

(iv) इस विधि में ऊर्जा का व्यय काफी अधिक है जिससे उत्पादन लागत बढ़ती है।

(v) धमन भट्टी तथा इससे जुड़े अन्य बहुत-से संयंत्रों विशेषकर 'कोक अवन' और सिन्टर संयंत्र से वातावरण प्रदूषण की समस्या बढ़ती है।

19 सीधी अपचयन विधि

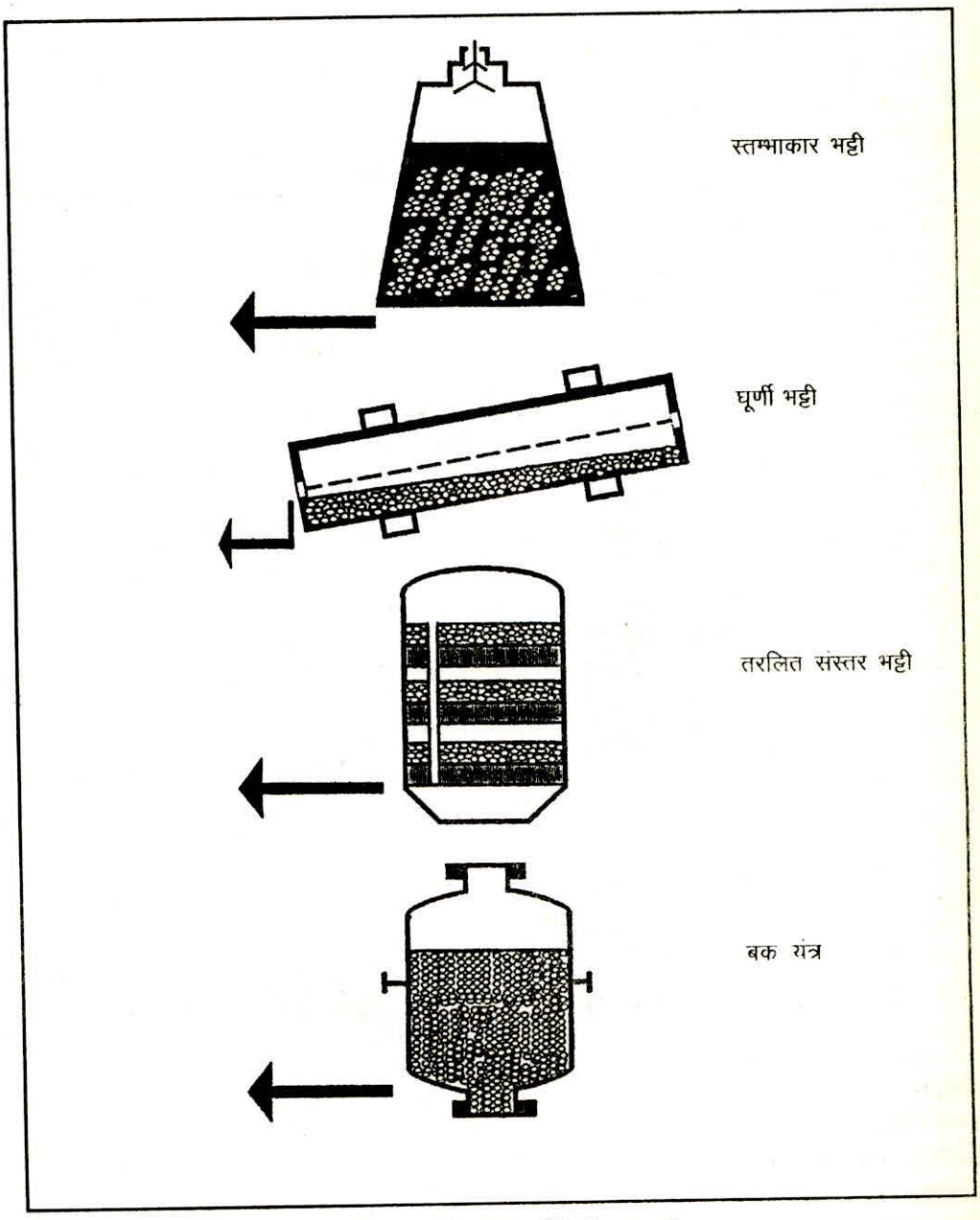
लोह अयस्क के चूरे तथा छोटी गुटिकाओं को बिना गलाए, ठोस अवस्था में ही कार्बन के संयोग से जब हम अपचित या ऑक्सीजन मुक्त कराने का काम करते हैं तो इसे सीधी अपचयन विधि कहते हैं। इस विधि से बनने वाले ठोस लोह में 85 से 90 प्रतिशत तक शुद्ध लोह का अंश होता है तथा शेष मात्रा आयरन ऑक्साइड रहता है। इसे स्पंज आयरन या डी आर आई **(डायरेक्ट रिडयूस्ड आयरन)** कहते हैं। यह छोटी-छोटी गोलियों के रूप में रहता है या फिर इस अपचित चूर्ण को हम उच्च ताप पर दबा कर कुछ बड़ी इष्टिकाएं **(ब्रिकेट)** तैयार कर लेते हैं, जिसे तप्त इष्टिकायित लोह (HBI) कहते हैं।

अपचित करने में प्रयुक्त साधन के आधार पर इसे हम गैस आधारित या कोयला आधारित स्पंज आयरन कहते हैं। इसके संयत्र का रेखाचित्र आकृति 25 में दर्शाया गया है। गैस आधारित विधि से लगभग 90 प्रतिशत स्पंज आयरन तैयार होता है। इस विधि में हम कई प्रकार के पात्रों को उपयोग में ला सकते हैं।

उदाहरण के लिए - स्तम्भाकार भट्ठी (शाफ्ट फर्नेस)
घूघी भट्ठी (रोटरी किल्न फर्नेस)
तरलित संस्तर भट्ठी (फ्लूडाइज्ड बेड फर्नेस)
बक यंत्र (रिटार्ट)

गैस आधारित भट्ठी में मुख्य रूप से प्राकृतिक गैस का उपयोग किया जाता है। इसमें कार्बन मोनो-आक्साइड तथा हाइड्रोजन गैस का मिश्रण ही मुख्य रूप से लोह अयस्क से ऑक्सीजन मुक्त करने का काम करता है। दूसरी ओर कोयले पर आधारित विधि में साधारण कोयला इस्तेमाल किया जाता है। यहाँ महँगा कोकिंग कोयला आवश्यक नहीं, जो अच्छी गुणता का सब जगह मिलता भी नहीं।

गैस पर आधारित भट्ठियाँ सामान्य रूप से लगातार काम करती हैं जैसा कि मिड्रेक्स और Hyl II प्रौद्योगिकी में सम्भव है। दूसरी ओर HYL I विधि जो 'रिटार्ट' इस्तेमाल करती है, यह लगातार काम नहीं कर सकती। कोयले का उपयोग SL/RN, क्रपकाडियर आदि विधियों में किया जाता है। इस दिशा में अभी भी भिन्न-भिन्न नाम से कई और विधियाँ विकसित हो चुकी हैं या हो रही हैं। प्रयुक्त विधि कोई भी हो उसके लिए उपयुक्त अयस्क का चुनाव जरूरी है। अयस्क में लोह तत्व (Fe) का प्रतिशत जितना अधिक होगा, उतना अच्छा है और यह 65 प्रतिशत या अधिक बेहतर रहता है। लोह तत्व कम होने से इस उत्पाद के अच्छे परिणाम नहीं मिलते। अयस्क उच्च ताप पर टूट कर टुकड़े-टुकड़े नहीं होना चाहिए। इसलिए कई बार गुठली गुटिका बनाकर तथा उन्हें पकाकर स्पंज लोह बनाने के लिए इस्तेमाल करते हैं। अब स्पंज लोह में जब काफी अधिक लोह होता है तो खुली हवा में उसमें बहुत शीघ्र आग पकड़ने की संभावना रहती है। इससे बचाव के लिए स्पंज आयरन में चूना मिलाकर उसकी इष्टिकाएं (ब्रिकेट) बना लेते हैं।



आकृति-25: सीधी अपचयन विधि (चार प्रकार)

20 : प्रगलन अपचयन विधि

यह विधि मुख्यतः दो चरणों में पुरी होती है। इसके प्रथम चरण में अयस्क आंशिक रूप से ऑक्सीजन मुक्त और दूसरे चरण में पूर्ण ऑक्सीजन मुक्त होता है। दूसरे चरण में ही लोह-धातु पिघल कर तैयार होती है। जर्मनी में सर्वप्रथम इस विषय पर काफी अनुसंधान हुआ और **'कोरेक्स'** विधि इन्हीं में से एक का परिणाम थी। आकृति-26 में दो चरणों वाली इस प्रौद्योगिकी की रूपरेखा दर्शाई गई है।

कोरेक्स विधि में भी केवल ढ़ेले वाला कच्चा माल ही काम आ सकता है जबकि कुछ अन्य विधियों में पेलेट तथा महीन चूरा आदि भी इस्तेमाल हो सकते हैं। इस विधि का भविष्य काफी उज्ज्वल है तथा पृथ्वी की पर्पटी में उपलब्ध अनेक किस्म के कच्चे माल को काम में लाने के लिए अलग-अलग देशों में इस तरह के कई अनुसंधान चल रहे हैं। उदाहरण के लिए रोमेल्ट, हिस्मेल्ट, डायोस प्लाज्मा मेल्ट आदि। इनमें से रोमेल्ट का जन्म रूस में हुआ था। इस विधि पर आधारित भारत में पहला संयंत्र मध्य प्रदेश के दान्तेवाडा जिले में लगाया जा रहा है। नेशनल मिनरल डेवलपमेन्ट कार्पोरेशन द्वारा स्थापित इस संयंत्र के प्रथम चरण में 3,00,000 टन प्रतिवर्ष की उत्पादन क्षमता होगी। इसकी सफलता के बाद 6,00,000 टन प्रतिवर्ष क्षमता की दो और इकाइयाँ इस परियोजना के दूसरे चरण में स्थापित की जाएंगी। इस विधि के मुख्य आकर्षण इस प्रकार हैं–

(i) इनमें बड़े ढेलों के अलावा चूरा तथा अयस्क की धूल भी इस्तेमाल की जा सकती है।

(ii) इनमें कोकिंग कोयले की आवश्यकता नहीं।

(iii) लोह-उत्पादन के लिए इन विधियों में छोटी क्षमता के संयंत्र भी सफलता पूर्वक लगाए और चलाए जा सकते हैं, जिनमें कम प्रारम्भिक पूँजी से काम चल सकता है। दूसरा इन विधियों को आज की "मिनी मिल" परम्परा में आसानी से जोड़ा जा सकता है।

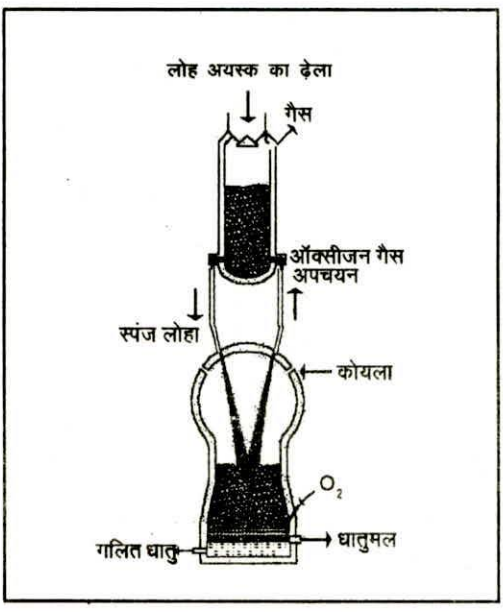
(iv) इन विधियों में ऑक्सीजन की खपत काफी अधिक होती है, जिसकी उत्पादन क्षमता स्थापित करने में काफी अधिक पूँजी निवेश चाहिए।

(v) इन विधियों में प्रोसेस-गैस के उपयोग से बिजली उत्पादन की व्यवस्था भी की जा सकती है तथा इस बिजली का उपयोग हम ऑक्सीजन गैस उत्पादन के लिए कर सकते हैं।

(vi) कुल मिलाकर ये नवीन विधियां, वर्तमान धमन भट्टी विधि से आर्थिक स्तर पर मुकाबला करने की पूरा सामर्थ्य रखती हैं।

21 : इस्पात बनाने के लिए गलित लोहे का पूर्व उपचार

धमन भट्टी से मिलने वाले कच्चे लोह को इस्पात में परिणत करने के लिए बेसिक ऑक्सीजन फर्नेस (BOF) में पिघली अवस्था में ही चार्ज कर दिया जाता है। परन्तु इस प्रक्रिया में इस्पात की अच्छी गुणता तथा अधिक उत्पादकता प्राप्त करने के लिए अक्सर हम गलित लोह में गन्धक, सिलिकन या फास्फोरस-जैसे अवाँछित तत्वों की मात्रा को नियंत्रित करनी होती हैं। इसके लिए विशेष प्रकार की बाल्टियों **(लेडलो)** को इस्तेमाल किया जाता है, जहाँ चूना, मैग्नीशियम, कैल्सियम सिलिसाइड आदि यौगिक पिघले लोहे में उच्च दाब पर फूँके जाते हैं। इसे लोह का पूर्वोपचार उपचारग्नी या प्रारम्भिक उपचार कहते हैं।



आकृति-26: कोरेक्स विधि

22. इस्पात उत्पादन

अब तक हमने लोह और इस्पात की विविधता का कुछ परिचय प्राप्त किया। इनके विभिन्न उपयोगों की भी हमने कुछ जानकारी पाई। लोह अयस्क से लोहा कैसे मिलता है तथा धमन भट्टी कैसे काम करती है, यह सब जानने के बाद अब हम चर्चा करेंगे कि अशुद्ध या कच्चे लोहे से इस्पात कैसे बनता है।

हमारी अपनी क्षेत्रीय भाषाओं में लोह शब्द तो मिलता है परंतु इस्पात का कहीं उल्लेख नहीं मिलता। हमारे लिए सब लोहा ही है। लोहे की हथौड़ी, लोहे की खूँटी, लोहे की कड़ी या जंजीर, लोहे की रेल और लोहे की मशीन। आम बोल-चाल की भाषा में हम अभी लोह और इस्पात को अलग नहीं मानते। हिन्दी, बाँग्ला या अन्य भारतीय भाषाओं में इस्पात की व्युत्पत्ति शायद पुर्तगाली भाषा के शब्द एस्पाद **(E spade)** से हुई है।

इस्पात उत्पादन विधि का मूल मंत्र

धमन भट्टी से मिलने वाले पिघले लोहे में कार्बन की काफी मात्रा होती है। इसके अलावा इसमें और बहुत से उपयोगी या अनुपयोगी धातु, अधातु मिले रहते हैं, यथा – सल्फर, फास्फोरस, मैंगनीज, सिलिकन वगैरह। हमारा पहला प्रयास होता है इन अशुद्धियों को कम से कम स्तर पर लाना। इसके बाद कहीं-कहीं जरूरत के अनुसार कुछ धातु तत्वों का नियंत्रित मात्रा में मिश्रण करना हमारा दूसरा मुख्य उद्देश्य है।

अब इस्पात उत्पादन का मूल मंत्र है सभी अवाँछित अशुद्धियों का निराकरण करना। इसे इस्पात संयंत्र में परिष्करण कहते हैं। इस शोधन प्रक्रिया को हम ऑक्सीजन की मदद से पूरा करते हैं। जैसे कि लोहे में घुली कार्बन ऑक्सीजन के साथ मिलकर 'कार्बन डाइ-आक्साइड' गैस बनाती है जो पिघले लोहे से निकल कर बाहर हो जाती है। अब कुछ अशुद्धियाँ हैं जो कार्बन की तरह गैस नहीं बनाती, जैसे कि सिलिकन और मैंगनीज। इसी तरह कुछ अवाँछित पदार्थ रासायनिक संयोग से दूसरे रसायनों के साथ मिलकर नये पदार्थ बना लेते हैं जो आसानी से इस्पात के बाहर आकर अलग हो जाते हैं। इसके लिए कुछ गालक **(फ्लक्स)** इस्तेमाल किए जाते हैं, उदाहरण के लिए चूना सिलिकन ऑक्साइड के साथ मिलकर कैल्सियम सिलिकेट बनाता है, जो धातुमल के रूप में हल्का होने के कारण तैरकर पिघली धातु की सतह पर आ जाता है। चूने की मदद से ही हम इसी तरह सल्फर और फास्फोरस को भी धातुमल के रूप में अलग कर लेते हैं।

$$[Si] + O_2 + CaO \rightarrow (CaO.\ SiO_2)$$
$$[P] + O_2 + CaO \rightarrow (CaO.P_2O_5)$$
$$[S] + CaO \rightarrow (Cas) + O_2 \text{ गैस}$$

यहाँ [ ] ब्रैकट धातु को दर्शाती है तथा छोटी ब्रैकट ( ) धातुमल को।

इस प्रकार ऑक्सीजन और गालक की मदद से हम इस्पात में वाँछित और अवाँछित पदार्थों की मात्रा को नियंत्रित कर सकते हैं। अब धातु में अतिरिक्त ऑक्सीजन की मात्रा को हटाने के लिए हम ऐलुमिनियम या फैरो-सिलिकन की मदद लेते हैं जो इस्पात में घुली ऑक्सीजन की बची हुई मात्रा को नष्ट कर देती है तथा इस प्रक्रिया से तैयार इस्पात को हम हत इस्पात (**किल्ड स्टील**) कहते हैं।

पहले हम चर्चा कर चुके हैं कि विभिन्न परिस्थितियों में उपयोग के लिए भिन्न-भिन्न धातुओं को अलग-अलग मात्राओं में मिलाकर बहुत से इस्पात मिश्रातु तैयार किए जा सकते हैं। ये सब धातुएँ इस्पात बनाते समय पिघली अवस्था में ही मिलाई जाती हैं तथा इनको मिलाने का काम ऑक्सीजन को नियंत्रित करने के बाद ही करना उचित है नहीं तो मिलाई जाने वाली धातुओं की इस्पात में पूरी '**रिकवरी**' नहीं मिल पाती। इन धातुओं को मिलाने के लिए इनके '**मास्टर मिश्रातु**' (लोह व धातु के मिश्रण) बना लिए जाते हैं जो अपेक्षाकृत कम ताप पर शीघ्रता से इस्पात में घुल जाते हैं। इनके कुछ उदाहरण हैं – फैरोक्रोम, फैरोवेनेडियम, फैरो टंग्स्टेन इत्यादि। इस तरह हम अपनी जरूरत के अनुसार इस्पात का रासायनिक संघटन पा सकते हैं। संक्षेप में इस्पात तैयार करने का अर्थ है –

(i) लोहे में उपलब्ध अशुद्धियों को कम करना।

(ii) कार्बन की मात्रा को पहले कम करना और फिर इच्छानुसार नियंत्रित करना।

(iii) ऑक्सीजन की मात्रा को नियंत्रित करना तथा जरूरत के अनुसार अन्य धातुएँ मिलाकर आवश्यक रासायनिक संघटन प्राप्त करना।

23 : इस्पात उत्पादन की विभिन्न विधियाँ

इस्पात का शोधन कई प्रकार से किया जा सकता है परन्तु यह मुख्यतः इस बात पर निर्भर करता है कि कच्चा माल किस प्रकार का है; हमारे पास ऊर्जा के क्या साधन हैं तथा हम उनको किस प्रकार इस्तेमाल करते हैं। आजकल इस्पात बनाने की दो विधियाँ आम इस्तेमाल होती हैं–

1) ऑक्सीजन के उपयोग से इस्पात बनाना।
2) बिजली के उपयोग से इस्पात बनाना।

दो पुराने तरीके और भी हैं जिनका हमें ज्ञान होना चाहिए। इनमें से एक है '**ओपन हार्थ विधि**' और दूसरी है '**थामस विधि**'। हमारे देश में अभी भी ओपन हार्थ विधि का इस्तेमाल किया जा रहा है तथा कहीं-कहीं थामस कनवर्टर भी मिल जाएंगे परन्तु अब आगे नई इस्पात परियोजनाओं में इनका उपयोग नहीं हो रहा। जो पुरानी भट्ठियाँ इन विधियों पर आज चल भी रही हैं – वे भी आने वाले पाँच-दस वर्षों में सम्भवतः बंद हो जाएंगी। आज सम्पूर्ण विश्व में लगभग 65 से 70 प्रतिशत इस्पात ऑक्सीजन के उपयोग से बनाया जाता है तथा शेष 30-35 प्रतिशत बिजली की भट्ठियों से बनता है।

ऑक्सीजन विधि की क्षमता अधिक होने के साथ-साथ इस विधि से इस्पात बनाने में कम समय लगता है। इसमें ऊर्जा की खपत भी कम होती है तथा कुल मिलाकर इस विधि में उत्पादन लागत कम आती है। इसकी तुलना में विद्युत् चालित भट्ठियों (इलेक्ट्रिक आर्क फर्नेस) में हम स्पंज लोह और ठोस अवस्था में इस्तेमाल किए हुए इस्पात स्क्रैप भी इस्तेमाल कर सकते हैं जबकि ऑक्सीजन विधि में केवल पिघला लोहा ही काम आता है। विद्युत भट्ठी पर आधारित इस्पात संयंत्र क्षमता में छोटे होते हैं तथा यहाँ अच्छी गुणता का इस्पात कम मात्रा में भी तैयार कर सकने की सुविधा रहती है। इन दोनों तरीकों का हम आगे संक्षिप्त परिचय देंगे।

23.1 ऑक्सीजन विधि से इस्पात उत्पादन

केवल ऑक्सीजन के इस्तेमाल से इस्पात बनाने की विधि का बड़ा महत्व है। आज विश्व में कुल इस्पात का 70 प्रतिशत उत्पादन इसी विधि से होता है। इतिहास पर एक नजर डालें तो लगभग 100 वर्ष पूर्व इंग्लैंड में हेनरी बेसेमर ने पहली बार कच्चे लोहे में केवल वायु के इस्तेमाल से उसे शुद्ध करने की विधि विकसित की थी। इसमें वायु के ऑक्सीजन अंश द्वारा कच्चे लोहे की अशुद्धियों को जलाने का काम किया जाता था। उस समय आजकल की तरह ऑक्सीजन का व्यावसायिक स्तर पर उत्पादन नहीं होता था और आसानी से ऑक्सीजन मिलती भी नहीं थी। लेकिन हेनरी ने उसी समय कहा था कि लोहे के परिष्करण के लिए वायु की तुलना में शुद्ध ऑक्सीजन गैस अधिक उपयुक्त रहेगी।

ऑक्सीजन से परिष्करण तो अच्छा होता है परन्तु जिस पात्र में हम परिष्करण करते हैं, उसमें उच्च तापसह पदार्थ का बढ़िया आस्तर जरूरी है, नहीं तो इतने अधिक ताप पर उस पात्र को बचाना बड़ा मुश्किल काम है। जिस पात्र में हम यह प्रक्रिया सम्पन्न कराते हैं, उसे '**कन्वर्टर**' कहते हैं। दूसरे विश्व युद्ध तक सारे विश्व में, विशेषकर यूरोप में लगभग पचास प्रतिशत इस्पात इसी विधि से बनाया जाता था। शेष पचास प्रतिशत के लिए '**ओपन हार्थ फर्नेस**' और '**इलेक्ट्रिक आर्क फर्नेस**' का उपयोग होता था। विश्व युद्ध समाप्त होने के बाद इस्पात उत्पादन विधि पर काफी अनुसंधान किया गया ताकि बेसेमर प्रक्रम में सुधार किया जा सके। जिन तीन विषयों पर विशेष प्रयास किया गया, वे इस प्रकार हैं–

(i) वायु में अधिक हिस्सा नाइट्रोजन का होता है जिसकी इस्पात को शुद्ध करने में कोई भूमिका नहीं होती। इसके अलावा यह पिघली धातु में प्रवेश करके उसकी गर्मी को कम कर देती है। इससे ऊर्जा की हानि होती है। अगर इसका कुछ अंश उच्च ताप पर इस्पात में घुला रहता है तो वह इस्पात की भंगुरता बढ़ाती है। इसलिए उत्तम तो यह होगा कि बेसेमेर कन्वर्टर में फूँकी जाने वाली वायु को नाइट्रोजन मुक्त कर लिया जाए।

(ii) अब विशुद्ध ऑक्सीजन कम खर्च में कैसे तैयार की जाए, इस जरूरत ने बड़ी क्षमता के ऑक्सीजन संयंत्रों को जन्म दिया जिन्हें हम '**टनेज प्लांट**' कहते हैं।

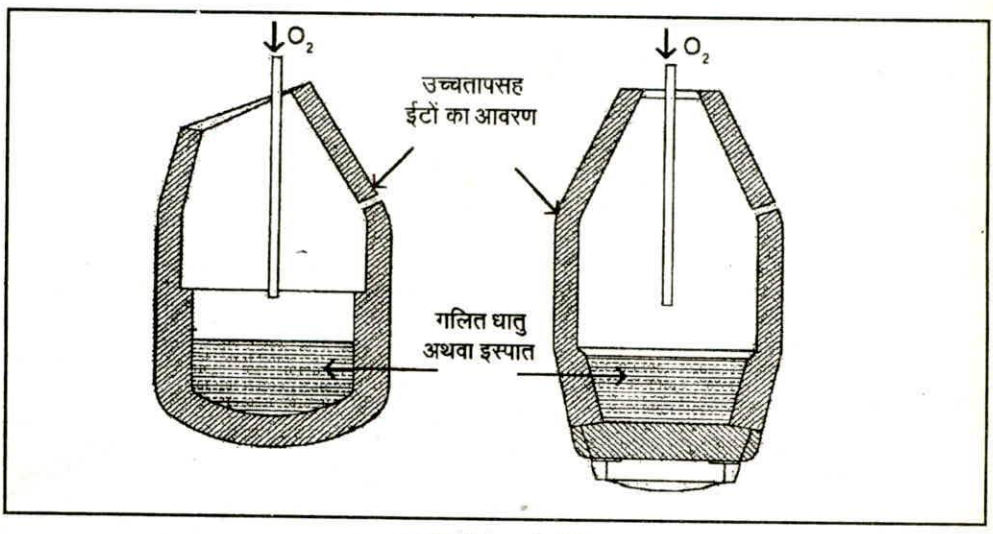
(iii) उच्च ताप की जरूरतों को देखते हुए अच्छी गुणता की रिफ्रेक्टरी भी जरूरी थी क्योंकि वायु की जगह ऑक्सीजन इस्तेमाल करने से अभिक्रिया की तीव्रता बढ़ जाती है तथा उससे अधिक उच्च ताप प्राप्त होता है।

पूर्णतः ऑक्सीजन पर आधारित कन्वर्टर की शुरुआत 1949 में आस्ट्रिया में हुई। इसे अब हम '**बेसिक ऑक्सीजन फर्नेस**' या **BOF** कहते हैं। इस विधि के कई रूप विकसित हुए जिनमें कहीं तो पात्र के तले से ऑक्सीजन का प्रवेश कराया जाता था तो कहीं ऊपर से पाइप लांसिग द्वारा। इसमें प्रयास यह रहता है

कि ऊर्जा की अधिक से अधिक बचत की जाये, कन्वर्टर लाइनिंग अधिक समय तक चले तथा इस्पात की उत्पादन लागत कम से कम रहे। पूरे प्रक्रम के कम्प्यूटरीकरण तथा अधिक क्षमता के कन्वर्टर को प्रयोग से साधारण इस्पात की तुलना में अब कम से कम खर्च मे अच्छी गुणता और कोटि के इस्पात का अधिक से अधिक उत्पादन संभव है। इस दिशा में BOF विधि का लगातार प्रयोग हो रहा है।

इस उत्पादन प्रक्रम का मूल मंत्र यह है कि हम जितनी अधिक तेजी और दबाव पर ऑक्सीजन प्रवेश कराएगे, उतना ही गलित इस्पात के कण विखंडित होकर इस्पात का सतही क्षेत्रफल बढ़ाएंगे। ये इस्पात कण जितने अधिक सूक्ष्म होंगे, उतना ही वे ऑक्सीजन के सम्पर्क में आसानी से आएंगे और ऑक्सीजन के साथ अवाँछित तत्वों की रासायनिक अभिक्रिया तेजी से संपन्न हो सकेगी। अब यह प्रक्रिया जितनी तेजी से पूरी होगी उतना ही लोहे के परिष्करण में समय कम लगेगा; फलस्वरूप उत्पादन बढ़ेगा और इस्पात की गुणता अच्छी होगी। आकृति-27 में कन्वर्टर के दो चित्र दिखाए गए हैं, इनमें ऑक्सीजन प्रवेश कराने वाले पाइप की दो अलग-अलग अवस्थाएं दिखाई गई हैं।

गलित लोह का छोटे-छोटे कणों में टूटना इस बात पर निर्भर करता है कि पात्र में ऑक्सीजन ऊपर से दी जाती है या तले से। पात्र में ऊपर से ऑक्सीजन तथा नीचे से नाइट्रोजन गैस का एक साथ प्रवाह भी

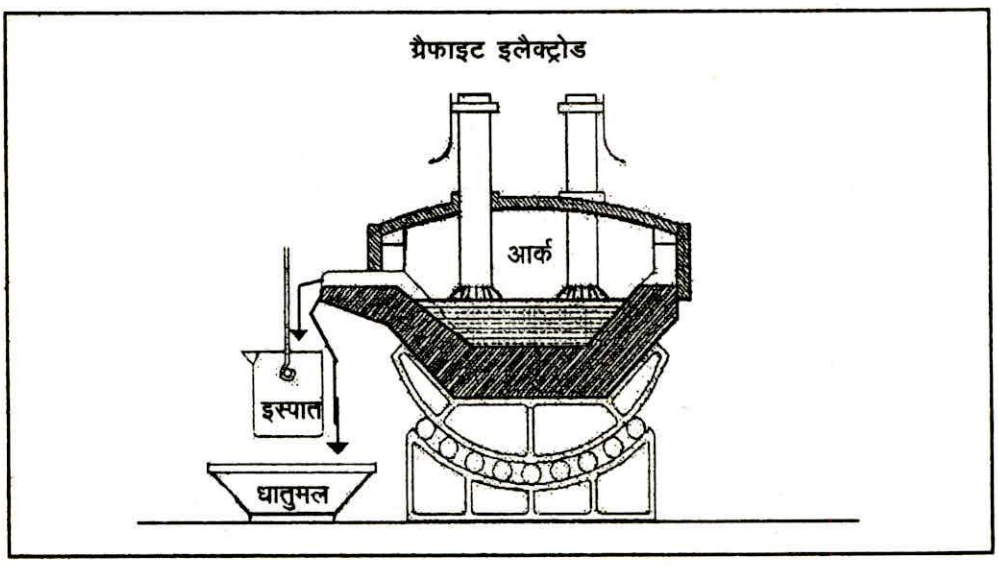


आकृति-27: कन्वर्टर विधि

संभव है। इसके अलावा ऑक्सीजन और नाइट्रोजन पाइप द्वारा हम गैस के साथ-साथ चूना या अन्य कोई गालक या इस्पात में मिलाए जाने वाला पदार्थ भी पहुंचा सकते हैं। इस तरह कन्वर्टर पात्र से हम कई विधियों द्वारा इस्पात बना सकते हैं। उदाहरण के लिये OBM, K-OBM, KMS, Q-BOB इत्यादि कुछ नई किस्म की कन्वर्टर विधियाँ हैं।

23.2 विद्युत् आर्क फर्नेस द्वारा इस्पात उत्पादन

अभी ऊपर हमने वर्णन किया कि किस प्रकार कच्चे या अशुद्ध लोहे में उच्च दाब पर ऑक्सीजन फूंकने से वह कार्बन आदि अशुद्धियों के साथ रासायनिक अभिक्रिया करती है। इस अभिक्रिया के दौरान काफी ऊष्मा निकलती है जो पिघली अवस्था में उसका ताप बनाए रखती है। इस तरह हम अशुद्ध लोहे से इस्पात बना लेते हैं। लेकिन यहाँ प्रारम्भिक पदार्थ पिघला हुआ कच्चा लोहा है। अब हम अगर ठंडे माल से इस्पात तैयार करना चाहें तो टूटे-फटे पुराने उपकरणों से मिलने वाले स्क्रैप, किसी मशीन शॉप की छीलन, अथवा कबाड़ी का टीन-टप्पर लेते हैं। उसके साथ हम ठोस पिग आयरन, तथा स्पंज आयरन के पेलेट, गोलियाँ या चिप्स भी इस्तेमाल कर सकते हैं। इन्हें गलाने के लिए हम विद्युत् आर्क भट्ठी इस्तेमाल करते हैं। आकृति-28 में इसका स्वरूप दर्शाया गया है।



आकृति-28: विद्युत् आर्क फर्नेस

इसमें ग्रैफाइट के तीन इलैक्ट्रोड होते हैं जिनके माध्यम से बिजली प्रवाहित की जाती है तथा भट्टी के पेंदे में न्यूट्रल होता है। इस भट्ठी में स्क्रैप आदि भरने के बाद ग्रैफाइट इलैक्ट्रोड को पहले लोहे के घान से स्पर्श कराते हैं जिससे विद्युत धारा प्रवाहित होती है। अब इलैक्ट्रोड को धीरे से ऊपर उठाने पर जब यह स्पर्श समाप्त होता है तो हवा में स्फुलिंग निकलता है जिसे हम **'आर्क'** कहते हैं। इस आर्क का ताप लगभग 3500^0 से. होता है तथा इसकी गर्मी से इस्पात पिघलने लगता है। इस व्यवस्था का उपयोग इस्पात मिश्रातु गलाने में भी काफी लाभप्रद रहता है। इस विधि में अधिक धातुमल नहीं बनती। इसमें इस्पात बनाना तो काफी सरल है परन्तु कभी-कभी स्क्रैप में ऐसे धातु अंश आ जाते हैं जिन्हें हम नहीं चाहते। इन्हें **'बिपाशित तत्व'** कहते हैं। कभी-कभी इनकी बहुत अल्प मात्रा में उपस्थिति भी इस्पात की गुणता और कीमत को बहुत नीचे गिरा देती है। उदाहरण के लिए अल्प-कार्बन वायर राड में ऐसे अधिक तत्व होने पर उसकी तन्यता पर विपरीत

प्रभाव पड़ता है तथा ऐसे इस्पात का उपयोग महीन तार के कर्षण में नहीं किया जा सकता। जहाँ इस्पात की शुद्धता का ज्यादा महत्व हो वहाँ अच्छा तो यह रहता है कि हम स्पंज आयरन का इस्तेमाल अधिक करें।

विद्युत् आर्क भट्ठी में इस्पात तैयार करने के कुछ खास फायदे हैं, जैसे कि –

(i) सभी तरह का मिश्रातु इस्पात (एलाय स्टील) तैयार किया जा सकता है।

(ii) इसका घान तैयार करने के लिए सिन्टर या कोक बनाने की कोई जरूरत नहीं।

(iii) इस विधि में कम क्षमता के छोटे संयंत्र भी लगाए जा सकते हैं जिनमें प्रारम्भिक पूँजी कम लगती है।

धातु गलने के बाद इसमें परिष्करण (रिफाइनिंग) की प्रक्रिया मनचाही गति से पूरी की जा सकती है। इसके साथ ही तरह-तरह के माप यंत्रों के इस्तेमाल के साथ हम पूरी प्रक्रिया का स्वचालन (**आटोमेशन**) भी कर सकते हैं।

विद्युत् इस्पात उत्पादन में भी प्रारम्भिक घान की तैयारी पर ध्यान देना जरूरी है। इसमें सबसे नीचे कुछ छीलन (टर्निंग-बोरिंग) दी जाती है जो भट्ठी के पेंदे को चोट से बचाती है; फिर उस पर कुछ भारी स्क्रैप, स्पंज आयरन, चूने का पत्थर और लोह अयस्क डाला दिया जाता है। एक बार चार्ज हो जाने पर इलैक्ट्रोड नीचे लाकर आर्क शुरू किया जाता है। घान को जल्दी गलाने के लिये ऑक्सीजन लांसिग की मदद भी ली जाती है। गलाने के इस प्रक्रम में कुछ ऑक्सीजन हमें लोह अयस्क से भी मिलती है परन्तु अधिकांश भाग बाहर से फूँका जाता है।

विद्युत भट्ठी द्वारा इस्पात उत्पादन में स्क्रैप गलाने के बाद पहला कदम है कार्बन क्वथन (carbon boil)। इसके अन्तर्गत पिघली धातु में कार्बन का अंश ऑक्सीजन से मिलकर कार्बन-डाइऑक्साइड बनाता है जो तेजी से बुलबुलों के रूप में ऊपर उठती है। इससे पूरी धातु में अच्छी तरह मिश्रित (**मिक्सिंग**) हो जाती है तथा धातुमल तैरकर ऊपरी सतह पर आ जाता है। इस स्थिति में धातुमल हटाकर हम चूना तथा कैल्सियम फ्लुओराइड डालकर अपचायक-धातुमल बनाकर इस्पात का परिष्करण सम्पन्न करते हैं।

बेसिक ऑक्सीजन फर्नेस की तरह ही इलेक्ट्रिक आर्क फर्नेस विधि में भी बहुत प्रगति हुई है। जहाँ एक ओर इसमें उत्पादन क्षमता तथा उत्पादकता बढ़ाने में तरक्की की गई है, वहीं ताप और विद्युत् शक्ति कम लगे तथा नष्ट न हो, इस पर लगातार प्रयास जारी है। दूसरी तरफ इस विधि द्वारा इस्पात की विशिष्ट कोटियों में गुणता के नये मानक पाने की कोशिश भी बड़ी सफल रही है। इस दिशा में जो विभिन्न प्रयास अब तक किए गए हैं उनका संक्षिप्त विवरण यहाँ प्रस्तुत है–

(i) अति उच्च शक्ति की विद्युत् आर्क भट्ठी (अल्ट्रा हाइ पावर या भट्ठी)

(ii) इस्पात को जल्दी गलाने के लिए ऑक्सीजन तथा ऊर्जा के अन्य साधनों का उपयोग यथा फर्नेस आयल या गैस बर्नरों का इस्तेमाल

(iii) बाटम टैपिंग तथा एक्सेन्ट्रिक बाटम टैपिंग

(iv) भट्ठी की दीवारों में जल शीतलित पैनल का प्रयोग जिससे रिफ्रेक्टरी की खपत घटे तथा भट्ठी को अधिक आयतन मिले

(v) भट्ठी में पहले से तपाई गई स्क्रैप का इस्तेमाल

(vi) फेन धातुमल प्रक्रम

(vii) विद्युत् भट्ठी अभी तक AC सप्लाई पर आधारित थी परन्तु अब DC सप्लाई को इसके लिए अधिक उपयुक्त पाया गया है। इसके प्रयोग से रिफ्रेक्टरी खपत तथा बिजली खपत, दोनों में कमी मिलती है।

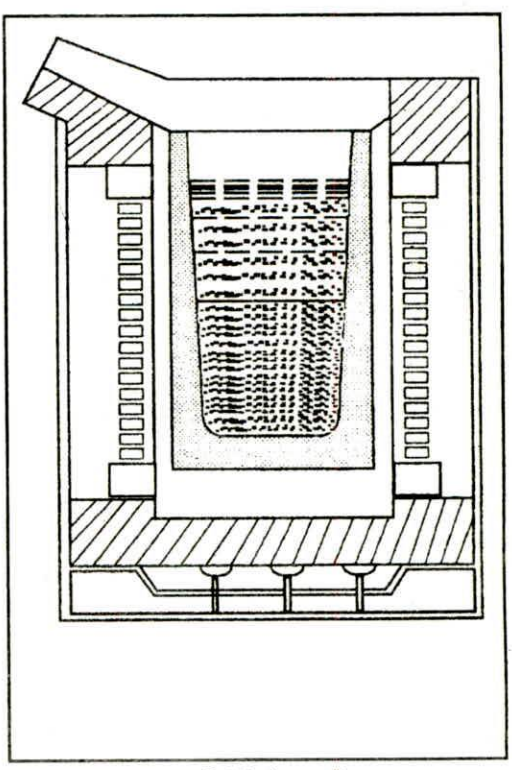
(viii) आर्क फर्नेस में स्क्रैप गलाने और ऑक्सीजन/ईंधन उपयोग के बाद गलित धातु को एक कम शक्ति की लेडल फर्नेस में परिष्कृत करने के तरीके को **सेकेण्डरी मेटलर्जी** या **सेकेण्डरी स्टीलमेकिंग** नाम दिया गया है। इससे संयंत्र की उत्पादन क्षमता में वृद्धि, आर्क फर्नेस की क्षमता का अच्छा इस्तेमाल तथा इस्पात की गुणता में बहुत सुधार होता है।

(ix) मिनी धमन भट्टी या किसी अन्य साधन से पिघला कच्चा लोह विद्युत् आर्क फर्नेस में इस्तेमाल करके अब स्क्रैप गलाने में बिजली की खपत को कम करने में भारी सफलता मिल चुकी है।

23.3 प्रेरण भट्ठी (इन्डक्शन फर्नेस)

बिजली पर आधारित एक अन्य प्रकार की प्रेरण भट्टी का इस्पात उद्योग में काफी प्रचलन है इसे आकृति-29 में दर्शाया गया है। इसमें गलाए जाने वाली स्क्रैप से बिजली की धारा से सीधा सम्पर्क नहीं होता परन्तु परोक्ष रूप से वह स्क्रैप में ताप उत्पन्न करती है। इसमें एक बेलनाकार क्रूसिबल होती है जिसके चारों ओर तांबे की ट्यूब जुड़ी होती है। इसको ठंडा रखने के लिए तांबे की ट्यूब के अन्दर लगातार जल प्रवाहित किया जाता है। जब इस ट्यूब में विद्युत् धारा प्रवाहित की जाती है तो उसके प्रभाव से **'क्रूसिबल'** में भरे लोह स्क्रैप में प्रेरित विद्युत धारा बहने लगती है और परिणाम-स्वरूप वह गलना प्रारम्भ कर देता है।

आमतौर पर यह भट्टी सिर्फ कुछ किलोग्राम क्षमता की होती है, लेकिन बड़ी भट्ठियों में 20-25 टन तक माल गलाया जा सकता है। अभी हाल में ही जर्मनी में 80 टन क्षमता की प्रेरण भट्ठी स्थापित हुई है जो दुनिया में सबसे बड़ी भट्ठी का रिकार्ड है। भारत में इस्पात उद्योग में इस्तेमाल हो रही अधिकांश प्रेरण भट्ठियों की क्षमता 3 से 5 टन तक ही है।



आकृति-29: प्रेरण भट्ठी

23.4 इस्पात का द्वितीयक परिष्करण

यहाँ द्वितीयक परिष्करण का मतलब है इस्पात का प्राथमिक परिष्करण पहले इलेक्ट्रिक आर्क फर्नेस में हो चुका है। पहले जहाँ आर्क भट्ठी में ही परिष्कृत इस्पात से ढलाई करके उसके विविध उपयोग सम्भव थे वहाँ अब गुणता के मानकों में सुधार होने से यह परम्परा बदल रही है। अब हम इस पूर्व परिष्कृत इस्पात को दूसरे पात्र में डालकर उसका विशेष विधियों से और अधिक परिष्करण करते हैं जिससे उसको विशेष परिस्थितियों में इस्तेमाल योग्य बनाया जा सके। इससे इस्पात की गुणता के स्तर को काफी ऊँचा उठाने में मदद मिली है तथा अब आवश्यकता अनुसार इस्पात के गुणता स्तर को निर्धारित करना और प्राप्त करना कोई मुश्किल काम नहीं रहा। सेकेण्डरी मेटलर्जी के कुछ खास फायदे हैं, जैसे कि –

(i) इस्पात में मिश्रातु का मिश्रण आवश्यकता अनुसार होता है।
(ii) इस्पात में मिश्रातु का मिश्रण एकसमान होता है तथा पूरे इस्पात का ताप एक-सा मिलता है।
(iii) कार्बन का निष्कासन लगभग पूरी तरह हो जाता है।
(iv) सल्फर और फास्फोरस का निष्कासन भी लगभग पूर्णरूप से होता है।
(v) इस्पात में घुली हुई गैसों से पूर्ण मुक्ति हो जाती है।
(vi) स्वच्छ इस्पात के नये मापदण्ड पाना सम्भव हो सका है।

इन सबका प्रधान उद्देश्य है इस्पात के अपद्रव्यों को अलग करके धातुमल रूप में लाना। इस बीच हम गले हुए इस्पात को मुख्य भट्ठी से लेडल फर्नेस में डालकर उसका परिष्करण करने हैं, तो मुख्य भट्ठी स्क्रैप की अगली खेप को गलाने का काम शुरू कर देती है। परिणामस्वरूप हमारी उत्पादन क्षमता बढ़ जाती है। इस्पात की इस सेकेण्डेरी रिफाइनिंग के कुछ तौर-तरीकों का वर्णन यहाँ प्रस्तुत है-

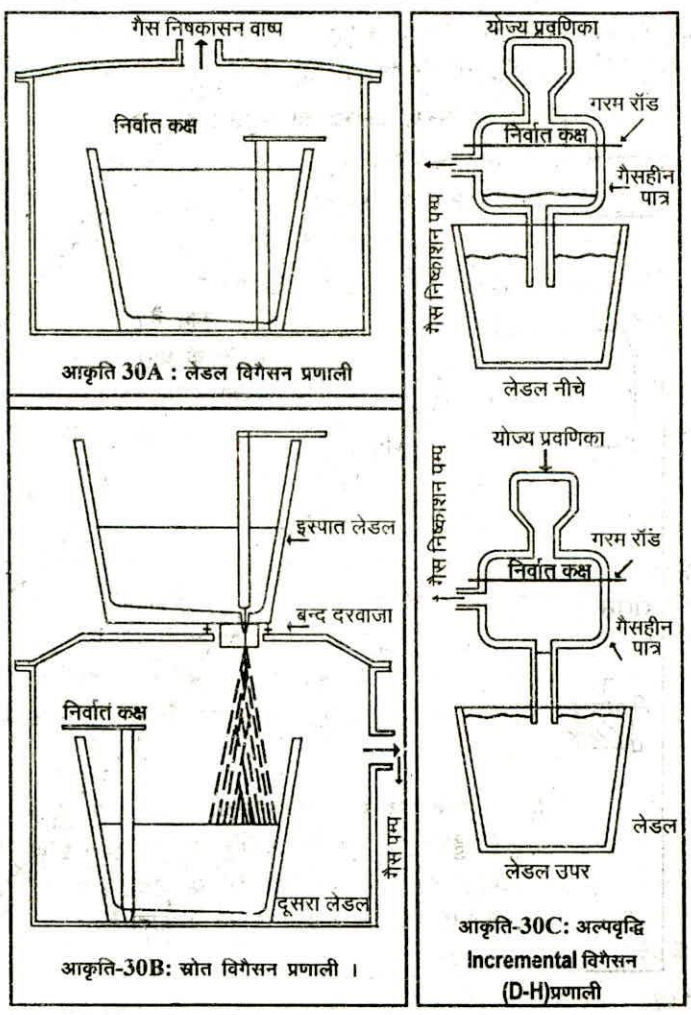
(i) ***वि-ऑक्सीकरण*** : इस्पात परिष्करण में जब हम ऑक्सीजन का उपयोग करते हैं तो इस्पात तैयार हो जाने पर उसमें ऑक्सीजन की कुछ मात्रा बच रहती है जिसे अगर दूर न किया जाए तो वह इस्पात के गुणों को प्रभावित करती है तथा उसके गुणता-स्तर को नीचे गिराती है। इसलिए घुले हुए ऑक्सीजन अंश से मुक्ति पाना बहुत जरूरी है। इसके लिए हम फैरो-सिलिकन या एलुमिनियम आदि का उपयोग करते हैं जो ऑक्सीजन बटोर कर धातुमल में जा मिलते हैं। इस मिश्रण को अगर सामान्य लेडल के स्थान पर द्वितीयक परिष्करण प्रक्रम के दौरान डाला जाए तो उसका परिणाम ज्यादा अच्छा मिलता है और बची हुई ऑक्सीजन का अंश बहुत कम रह जाता है।

(ii) ***विगंधकन :*** गन्धक आम तौर पर कच्चे लोहे से ही आती है तथा इसका अंश अधिक होने पर यह इस्पात बनाते समय कन्चर्टर को भी नुकसान पहुँचाती है। इसलिये कोशिश यह की जाती है कि ऐसे लोहे को पहले ही सल्फर मुक्त कर लिया जाय। इसके बाद भी कुछ गंधक अंश रह जाता है तो इसे और कम करने के लिये सोडा या मैग्नीशियम या ऐसा ही कोई अन्स पदार्थ इस्तेमाल किया जाता है। इनमें कैल्सियम सिलिसाइड अत्यंत प्रभावकारी है।

(iii) विफॉस्फोरसन : साधारणतया बेसिक आक्सीजन फर्नेस में फास्फोरस दूर करना काफी आसान रहता है। किसी कारणवश फास्फोरस के अधिक रह जाने पर द्वितीयक परिष्करण जरूरी हो जाता है। इसके लिए अधिक मात्रा में चूना और ऑक्सीजन मिलाया जाता है।

5-413/HRD/03

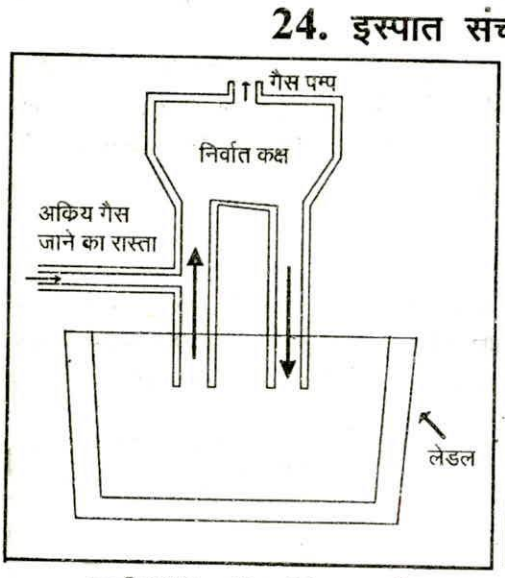
(iv) विगैसन : इस्पात में से हाइड्रोजन (H_2) और नाइट्रोजन (N_2) को निकालने के लिए किसी रासायनिक प्रक्रिया की जरूरत नहीं। इसके लिए यांत्रिक उपाय अधिक सक्षम हैं। इस्पात में आर्गन-जैसी निष्क्रिय गैस के बलबुले प्रवाहित करने से वे हाइड्रोजन तथा नाइट्रोजन को समेटकर अपने साथ बाहर ले जाते हैं। इसमें भी उत्तम है अगर हम निर्वात विधि से इस्पात में घुली हुई गैस को बाहर निकाल दें। निर्वात गैस विमोचन से हमें सभी गैसों के साथ-साथ अन्य हल्की अशुद्धियों को भी दूर करने में मदद मिलती है। तरह-तरह की



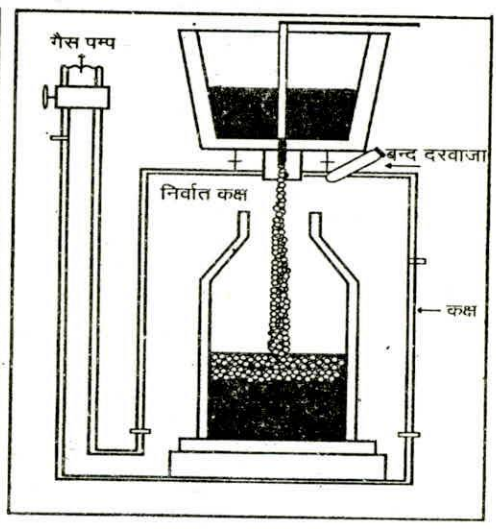
आकृति-30: निर्वात विधियां

निर्वातन विधियों को आकृति 30 A,B,C,D में दिखाया गया है।

24. इस्पात संचकन (कास्टिंग)



आकृति 30 D : अविराम विगैसन प्रणाली



आकृति 30 E : निर्वात कक्ष में इस्पात ढलाई

इस्पात का उपयोग बहुत से आकारों में होता है जैसे कि बार, वायर रॉड, तार, चादर, रेल, एंगल, गर्डर वगैरह। यह सब आकार पाने के लिए पहले इस्पात को जमे हुए इस्पात पिण्ड में परिवर्तित किया जाता है। इसके लिए या तो इस्पात के पिंड जमाए जाते है या फिर सतत संचकन (कन्टीन्यूअस कास्टिंग) से हम बिलेट, स्लैब आदि बनाते हैं।

प्रारम्भ में केवल पिंड ढलाई ही प्रचलित थी । बाद में आज से कोई सौ वर्ष पूर्व जर्मनी में पहली बार सतत संचकन का तरीका शुरू हुआ। फिर दूसरे विश्व युद्ध के बाद सतत विधि का अधिक प्रचलन प्रारम्भ हुआ और आज पूरे विश्व में 60 प्रतिशत से अधिक इस्पात ढलाई, इसी विधि से ही होती है। जहाँ तक पश्चिम के उन्नत देशों की बात है, वहाँ तो 90 प्रतिशत तक इस्पात ढलाई इसी तरीके से होती है। इस्पात की कुछ प्रकारों में जहाँ सतत ढलाई सम्भव नहीं, वहाँ अभी भी पिंड संचकन करना पड़ता है। उदाहरण के लिये द्रुत कर्तन इस्पात (हाइ स्पीड स्टील)।

पिंड संचकन में लगभग 5-10 प्रतिशत इस्पात स्क्रैप रूप में नष्ट होता है, जिसका लाभ हमें सतत् ढलाई में मिलता है। सतत् ढलाई द्वारा हमें गलित इस्पात से ढलाई की अधिक लब्धि मिलती है। पिंड संचकन में हम गलित इस्पात को साधारण ज्यामितिक आकार के साँचों में जमाते हैं जिनका आधार चौकोर, आयताकार या गोल होता है। इन्गट मोल्ड में लम्बाई की दिशा में नीचे से ऊपर की ओर तिरछा टेपर होता है, जिससे जमकर सिकुड़ने के बाद इन्गट को संच से निकालना सुलभ रहता है।

संच में कभी-कभी ऊपर से पिघली धातु उड़ेली जाती है तो कभी नीचे से गलित धातु को प्रवेश कराया जाता हैं। इन सांचों में जब इस्पात जमता है तो पहले संच से सटे भाग में एक बाहरी परत बनती है और

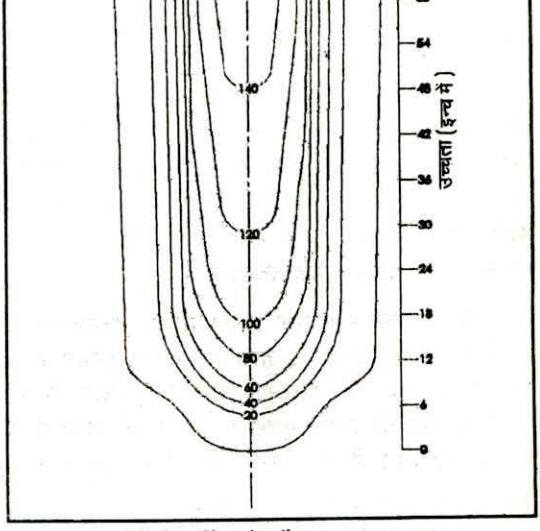
फिर मोल्ड की सतह से लम्ब की दिशा में क्रिस्टल जमने शुरू होते हैं। यह सब इस्पात की जमने की गति पर निर्भर करता है जो मोल्ड की मोटाई, उसके बाहरी पृष्ठ के ताप, संच के आकार, इस्पात के ताप और उसके रासायनिक संघटन आदि पर निर्भर करता है।

इन्गट मोल्ड में इस्पात जमने की गति को आकृति-31 में दिखाया गया है। इसमें यह भी स्पष्ट है कि ज्यों-ज्यों इस्पात जमता है, इस्पात के संकुचन से ऊपर का कुछ भाग खाली रह जाता है जिसका हम प्रयोग नहीं कर सकते। इस तरह इस्पात जब पूरी तरह जम जाता है तो उसे मोल्ड से बाहर निकालकर रोलिंग मिल में भेज दिया जाता है।

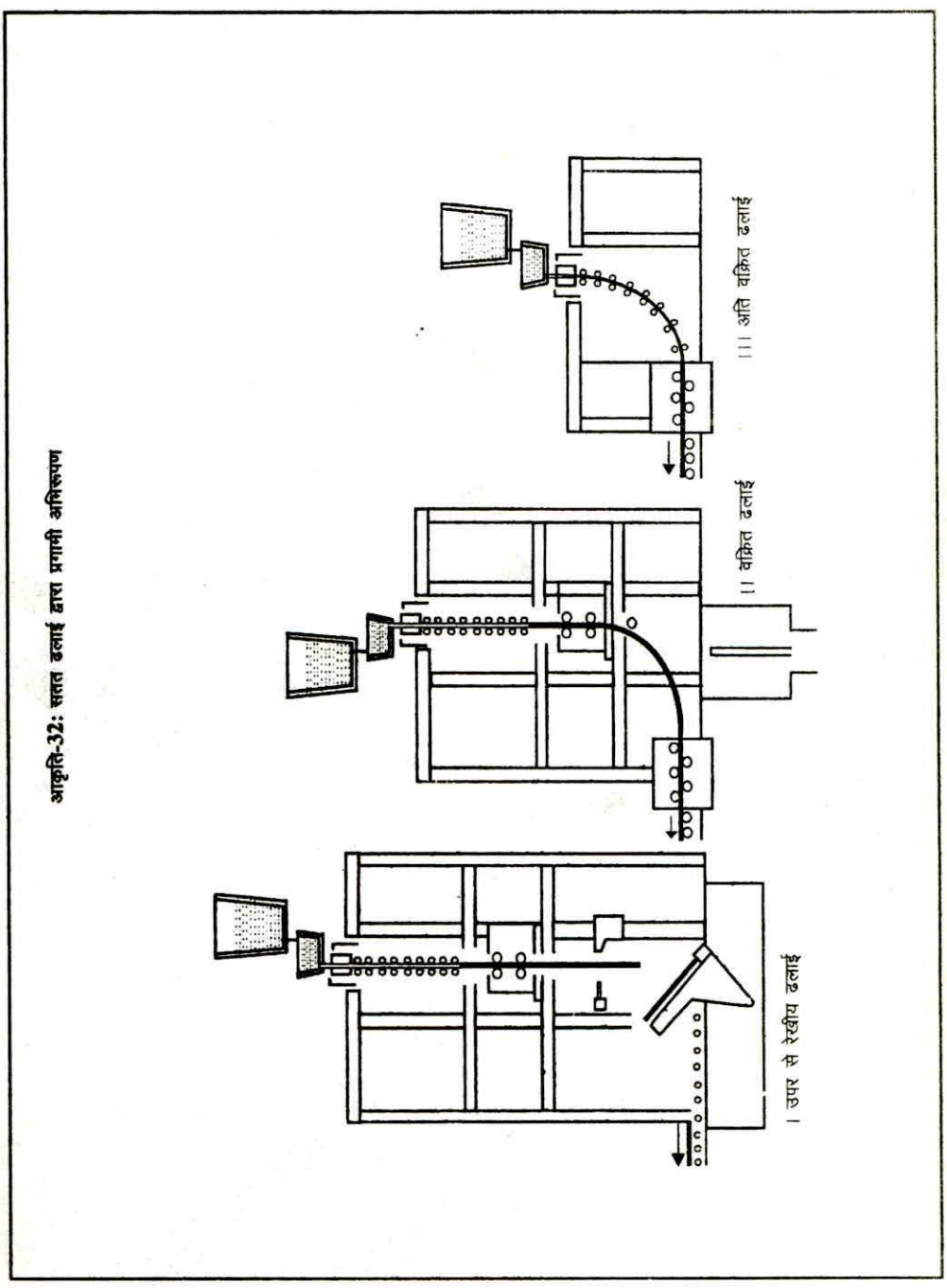
24.1 सतत् संघकन (ढलाई)

आज जब इस्पात उत्पादन के तरीकों में उन्नति हो रही है तो उसके साथ-साथ बाद के तरीकों में भी उन्नति की जरूरत है। इस्पात की उत्पादन क्षमता और उत्पादन दर बढ़ने के साथ-साथ उसकी सम्भाल कुशलता भी अच्छे स्तर की होना जरूरी है। इस स्थिति में पिंड संचकन द्वारा हम इस्पात उत्पादन की गति से ताल-मेल नहीं बिठा सकते। पिंड संचकन में हमें अधिक जगह और अधिक काम करने वाले चाहिए और फिर इसके साथ अनेक छोटे-छोटे काम जुड़े हैं जिनमें काफी समय लगता है। परिणामस्वरूप उत्पादन का खर्च बढ़ता है और उत्पादन लब्धि कम मिलती है। अब ढलाई करने पर यह सब समस्या तो हल हो जाती है, उत्पादन भी बढ़ जाता है। इस प्रक्रम में हम एक पूर्व निर्धारित गति पर इस्पात को बिलेट-ब्लूम-या स्लैब के आकार में जमाने की प्रक्रिया निश्चित कर देते हैं। इस विधि का क्रमिक विकास आकृति-32 में दर्शाया गया है।

इस प्रकार की ढलाई के लिए सबसे पहले बनाई गई मशीन में ढलाई का उत्पाद सीधा ऊपर से नीचे की ओर आता था। बाद में धनुषाकार ढलाई पथ वाली मशीन का निर्माण हुआ। सहज भाव से ढलाई पाने के लिए धीरे-धीरे समतल ढलाई मशीन बनाने का प्रयास चल रहा है। इसके साथ ही यह भी कोशिश रहती है कि सतत ढलाई से प्राप्त उत्पाद को आगे रोलिंग या फोर्जिंग द्वारा आकार देने का काम भी कर लिया जाए। इसके लिए बिलेट की री-



आकृति-31: पिंड संच में इस्पात का जमना



आकृति-32: सतत ढलाई द्वारा प्रगामी अभिरूपण

हीटिंग फर्नेस में **हॉट चार्जिंग** विधि का उपयोग कई जगह प्रारम्भ हो चुका है। इस ढलाई विधि में यह भी प्रयास जारी है कि जो आकार हमें आखिर में पाना है उसके अनुकूल आकार की सीधी ढलाई पाई जाए। उदाहरण के लिए अगर हमें गर्डर बनाना है तो उसके नजदीकी आकार की ढलाई प्राप्त की जाए जिसे **"नियर नेट शेप कास्टिंग"** कहते हैं। इसी दिशा में पतली शीट पाने के लिए हम पतली स्लैब ढलाई जो 40 से 60 मिमी तक होती है सफलता पूर्वक पा चुके हैं। इसके आगे 15 से 25 मिमी की स्ट्रिप ढलाई तथा 1 से 10 मिमी तक की खूब पतली ढलाई प्राप्त करने का प्रयास जारी है। सम्भव है हम ढलाई और रोलिंग प्रक्रम को धीरे-धीरे मिलाकर एक संयुक्त प्रक्रम में बदल दें जिसे हम ढलाई-रोलिंग कहेंगें।

कुल मिलाकर पिघले लोहे से सीधे उपयोगी आकार की निकटतम ढलाई पाने की दिशा में एक युगान्तकारी चेष्टा चल रही है। अब पतली चादर हो या रेल की पटरी, बहुत सम्भव है इन्हें हम उनके बहुत नजदीकी आकार में ढालकर गरम अवस्था में सीधे तैयार माल प्राप्त कर सकेंगे। इन सब तरीकों से बाजार में अच्छे माल के साथ-साथ उनकी कीमतों में भी गिरावट की सम्भावना है।

25. इस्पात को आकार देना

इस्पात को प्रयोग में लाने के लिये उसे उचित आकार में पाना बहुत जरूरी है। मनुष्य के बहुत-से कामों में इस्पात का उपयोग होता है। इसके लिए उचित आकार के साथ-साथ इस्पात के विभिन्न गुणों में भी तालमेल बिठाना होता है। जैसे कि मकान बनाने के लिए हमें कड़ी (चैनल) तथा सरिये की जरूरत होती है तो अलमारी आदि साधनों के लिए चादर चाहिए। इस्पात को आकार देने के लिए सबसे पहले हम इस्पात के पिंड को सतत ढलाई द्वारा ब्लूम-बिलेट-स्लैब आकार में प्राप्त करते हैं। आकार देने का अधिकतर काम तप्त अवस्था में किया जाता है परन्तु कभी-कभी अतप्त अवस्था में भी आकार दिया जाता है।

इस पुस्तक के प्रारम्भ में हम देख चुके हैं कि उच्च ताप पर गरम अवस्था में इस्पात आस्टेनाइट क्षेत्र में रहता है तथा जब हम इस स्थिति में उसको दबाकर आकार देने का प्रयास करते हैं तो उसके क्रिस्टल दबने के बाद फिर नये क्रिस्टल बनाकर सामान्य स्थिति में आने का प्रयास करते हैं, जिसे हम **'पुनः क्रिस्टलन'** कहते हैं। इस सीमा में उच्च ताप पर काम करने को तप्त कर्मण **(हार्ट वर्किंग)** कहते हैं तथा इस सीमा से नीचे जब 'पुनः क्रिस्टलन' सम्भव न हो तो आकार देने की प्रक्रिया को अतप्त कर्मण **(कोल्ड वर्किंग)** कहते हैं।

हम पहले चर्चा कर चुके हैं कि इस्पात की क्रिस्टल संरचना का एक सुनिश्चित जालक होता है जिसमें परमाणु एक पर दूसरी ईंट के समान तरकीब से सजे होते हैं। अब बाहरी बल से इसे ठोकर लगे या दबाव पड़े तो यह परमाणु फिसल जाते हैं और इस प्रक्रिया को **"सर्पण"** कहते हैं। जिस तल पर यह होती है उसे **'सर्पण समतल'** कहते हैं। गरम अवस्था में यह सर्पण काफी आसान हो जाती है, अर्थात् क्रिस्टल परिवर्तन के ऊपर के ताप पर आकार देने के लिए कम बल लगाना पड़ता है। दूसरी तरफ क्रिस्टल परिवर्तन से नीचे के ताप पर काम करने से इस्पात के गुणों में भारी परिवर्तन होता है। इसलिए क्रिस्टल टूटकर छोटे हो जाते हैं तथा कई बार कार्बाइड, इस्पात क्रिस्टल के बाहर आ जाता है। साधारण भाषा में बात करें तो इसके फलस्वरूप इस्पात सख्त हो जाता है। इसको कर्म कठोरित इस्पात या **"वर्क हार्डनन्ड स्टील"** कहते हैं। विभिन्न प्रकार की तप्त कर्मण विधियों का यहाँ संक्षिप्त उल्लेख किया गया है। उदाहरणार्थ –

25.1 घन फोर्जिंग मानव को शायद हथौड़ी से गरम या ठंडी अवस्था में इस्पात को कूटकर आकार देने की कला का ज्ञान सबसे पहले हुआ था। यह विधि आज भी प्रचलित है। इतना जरूर है कि अब इस काम के लिए विविध यंत्र काम में लाए जाते हैं और इस्पात को तपाने के लिए तरह-तरह की भट्टियाँ काम में लाई जाती हैं। भाप, संपीडित वायुचालित या फिर विद्युत आधारित हथौड़े अब मशीनों द्वारा संचालित होते हैं। ये हथौड़ियाँ एक या दोनों तरफ काम करती हैं (single acting or double acting hammer)। हथौड़ी की चोट कुछ किलोग्राम से लेकर कुछ टन तक हो सकती है। इस विधि से उत्पादन बहुत धीरे-धीरे होता है।

25.2 प्रेस फोर्जिंग: द्रवीय प्रेस का आविष्कार वर्ष 1861 में इग्लैंड में हुआ था। इसके बाद से इस आयल हाइड्रोलिक प्रेस का कई क्षेत्रों में उपयोग बढ़ा है। उदाहरण के लिए रेल के भारी पहिए हों या बिजली उत्पादन के लिए जेनरेटरों के भारी कल-पुर्जे इत्यादि, इस्पात फोर्जिंग के काम आने वाली प्रेस जो पहले सिर्फ कुछ सौ किलोग्राम तक क्षमता की होती थी, अब हजारों टन क्षमता में बनती है।

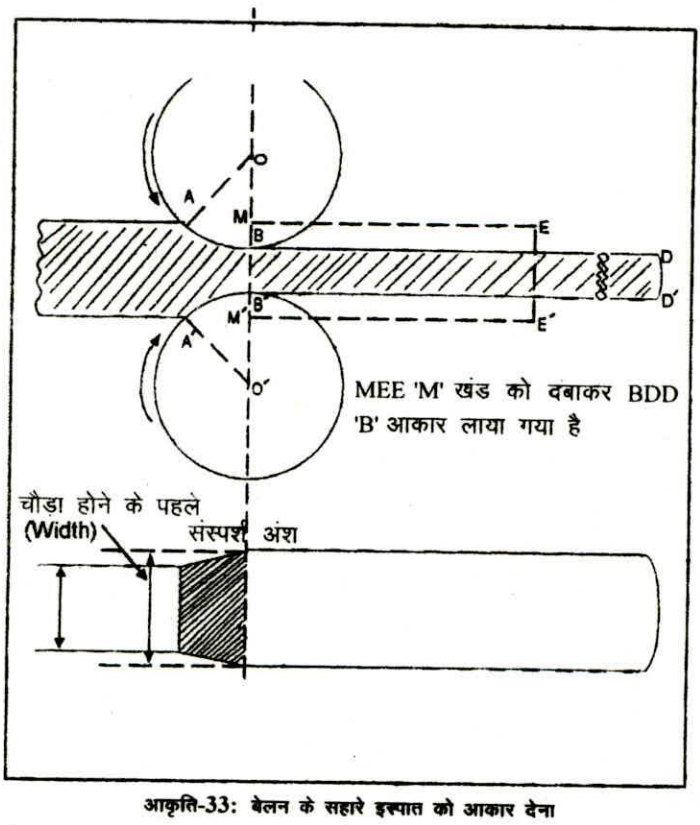
25.3 उत्सारण विधि: आजकल इस्पात निर्मित दरवाजों और खिड़कियों के फ्रेम उत्सारण विधि से बनाने का काफी प्रचलन है। इस विधि में इस्पात को तप्तकर्मण ताप तक तपाकर एक पात्र में रख देते हैं। फिर उस पर एक तरफ से दबाव डालते हैं। पात्र का ऊपर की ओर मुख खुला रहता है, जहाँ से इस्पात बाहर निकलना प्रारम्भ करता है तथा वह वही आकार ले लेता है जैसा कि पात्र के मुख का होता है। इसमें पात्र का मुख एक रूपदा (**डाई**) का काम करता है। तुलना के लिए हम टुथपेस्ट की ट्यूब का उदाहरण ले सकते हैं। ट्यूब में पेस्ट के स्थान पर अगर तपाया हुआ इस्पात हो तो ट्यूब को दबाने पर उसमें से इस्पात वही आकार ग्रहण कर लेगा जो ट्यूब के मुख का होगा। यही उत्सारण विधि का सिद्धांत है।

25.4 बेल्लन (रोलिंग): अब तक तपाकर गरम इस्पात को आकार देने के जो विभिन्न तरीके अपनाए गए हैं, उनमें सबसे अधिक प्रचलित तथा मुख्य विधि रोलिंग है। वर्ष 1783 में प्रथम बार हेनरी फोर्ट ने इग्लैंड में इस विधि का आविष्कार किया था। आकृति-33 में दर्शाया गया है, कि किस प्रकार दो घुमते हुए बेलनों के बीच हम इस्पात को दबाकर आमाप कम कर लेते हैं। आकृति-34 में बेलनों के एक सेट में विभिन्न आकृतियाँ काटकर यह दिखाया गया है कि किस प्रकार बेलनों में तरह-तरह की आकृति के गड्डे बनाकर हम रोलिंग द्वारा विविध स्टील सेक्शन बना सकते हैं। इन खाचों के बीच जब तपाया हुआ स्टील का टुकड़ा डालकर बेलनो को दाब दी जाती है तो निर्धारित आकृति और आकार प्राप्त होता है।

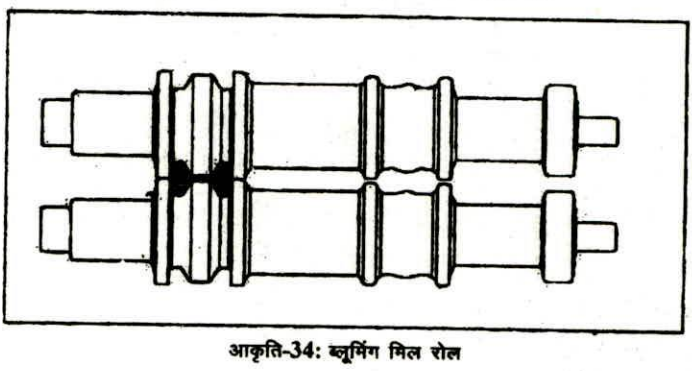
इसके लिए बेलनों के कई सेट क्रमिक रूप से एक के बाद एक इस्तेमाल किए जाते हैं। जिन बेलनों में कोई कटाव नहीं होता उनका उपयोग स्लैब से प्लेट, शीट, स्ट्रिप, पत्ती आदि चपटे पदार्थ बनाने में किया जाता है।

26. इस्पात का तैयार माल

इस्पात के तैयार माल का मतलब है वे उत्पाद जो एक इस्पात संयंत्र से बिक्री कि लिए बाजार में आते हैं, वह ग्राहकों की जरूरत को देख कर ही बनाए जाते हैं। कभी-कभी विशेष इस्पात उत्पाद, ग्राहक की माँग

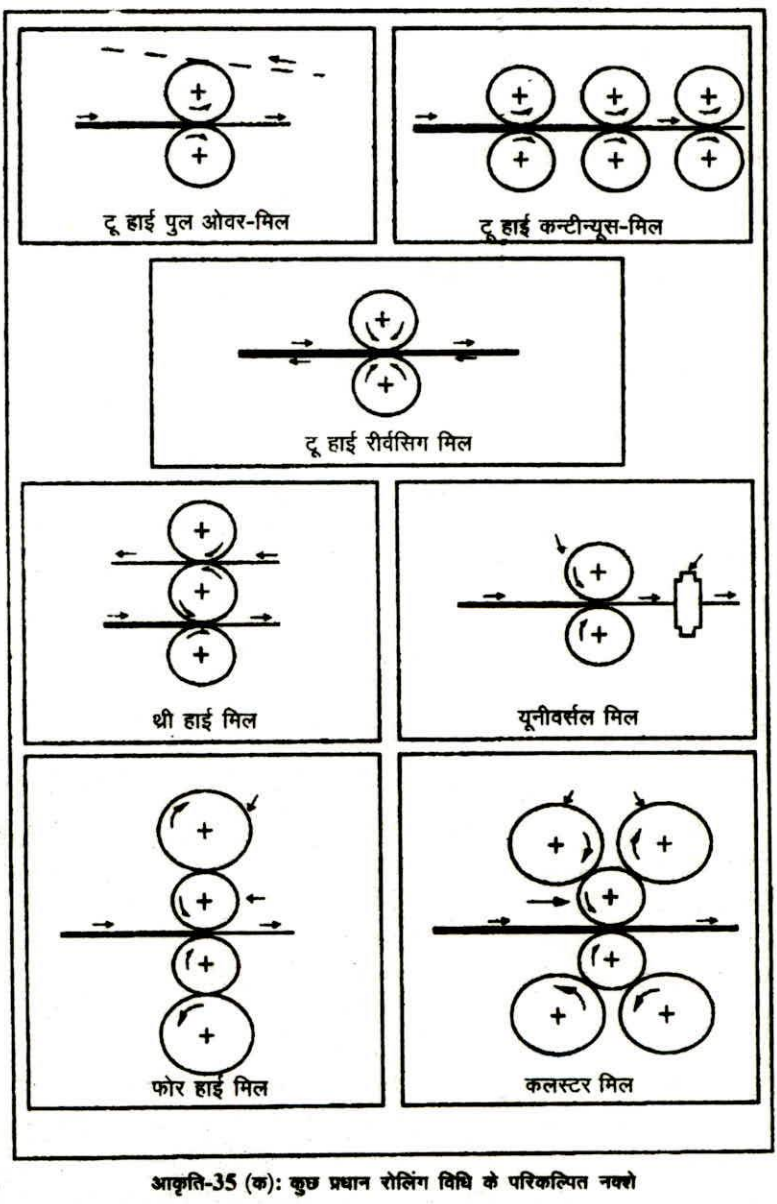


आकृति-33: बेलन के सहारे इस्पात को आकार देना



आकृति-34: ब्लूमिंग मिल रोल

आकृति-35 : में विभिन्न प्रकार के रोलिंग मिल प्रक्रम



आकृति-35 (क): कुछ प्रधान रोलिंग विधि के परिकल्पित नक्शे

के अनुसार भी तैयार किए जाते हैं। मुख्यतः हम इस्पात-उत्पादों को दो भागों में बाँटते हैं –

(i) लम्बा माल / लम्बे उत्पाद
(ii) चपटे माल / चपटे उत्पाद

इनके अलावा पाइप, व्हील टायर तथा बहुत-सी फोर्जिंग भी इस्पात संयंत्रों में बनती है परन्तु अधिकांश उत्पाद (95%) उपरोक्त दो वर्गों में ही आते हैं।

27 : इस्पात के गुणधर्म परीक्षण

इस्पात तैयार होने के बाद यह जाँच करना जरूरी है कि जिस काम के लिए इस इस्पात का इस्तेमाल होना है, वह उसके उपयुक्त है भी कि नहीं। इसके लिए इस्पात के बहुत-से परीक्षण किए जाते हैं, जिसके लिए बहुत-से उपकरण तथा मानक विधियों का अनुसरण करना पड़ता है। ये विधियां और मानक अधिकतर राष्ट्रीय एवं अंतर्राष्ट्रीय मानक संस्थाओं द्वारा निर्धारित हैं।

इस्पात के इस्तेमाल में सबसे पहले यह जानना जरूरी है कि वह कितना भार सह सकता है। भार सहनशीलता के साथ-साथ इस्पात की पृष्ठ कठोरता, तन्यता आदि यांत्रिक गुणधर्मों की विधिवत जाँच की जाती है। यह इसलिए जरूरी है क्योंकि पुल, घर-मकान, रेल लाइन, रेल के अन्य उपकरण, विद्युत् उत्पादन के विभिन्न उपकरण आदि में इन गुणों की जरूरत अलग-अलग रहती है । यदि जरूरत के मुताबिक इस्पात में आवश्यक गुण न हुए या उपकरण डिजाइन में कोई भूल रह जाए तो कोई भी उपकरण या व्यवस्था चरमरा सकती है। विभिन्न आवश्यक परीक्षणों को हम निम्न वर्गों में बाँट सकते हैं :

27.1 *रासायनिक परीक्षण*

इस्पात का एक मुख्य वर्गीकरण उसके रासायनिक संघटन के आधार पर होता है तथा प्रत्येक इस्तेमाल के लिए जब इस्पात का चयन किया जाता है तो हम सबसे पहले उसका रासायनिक संघटन निर्धारित करते हैं। हालाँकि इसका चयन इस्पात को धातुकर्मीय संरचना तथा यांत्रिक गुण-धर्मों की जरूरत को ध्यान में रखकर किया जाता है। इस जाँच में हम यह सुनिश्चित करते हैं कि इस्पात में उपस्थित आवश्यक तत्व, यथा – कार्बन, मैंगनीज, सल्फर, फास्फोरस, सिलिकन तथा मिश्रातु-तत्व क्रोम, निकैल आदि अपनी निर्धारित सीमा में हैं तथा जो अवाँछित तत्व हैं उनकी उपस्थिति भी न्यूनतम सीमा का उल्लंघन तो नहीं करती ।

27.2 *सूक्ष्म संरचना*

इसमें इस्पात की उपयुक्तता से जुड़े कुछ लक्षण परखे जाते हैं। जैसे कि रेणु आमाप, फैराइट, पर्लाइट, सीमेन्टाइट आदि का आकार, प्ररूप और बिखराव आदि आवश्यक मापदण्डों के अनुरूप हैं कि नहीं। इस्पात के परिष्करण के संदर्भ में अंतर्वेश (इन्क्लुजन) का प्ररूप, आमाप और बिखराव भी महत्वपूर्ण है क्योंकि रासायनिक संघटन उचित होने के बाद भी धातुकर्मीय या सूक्ष्म संरचना संबधित कोई भी कमी इस्तेमाल के दौरान इस्पात के विफल होने का कारण बन सकती है।

27.3 यांत्रिक परीक्षा

इनमें महत्वपूर्ण है इस्पात का पराभव बिंदु (यील्ड प्वाइंट), सह्यता, दैर्ध्यवृद्धि, चर्मलता तथा पृष्ठ कठोरता वगैरह। इस काम में उपयोगी प्रमुख उपकरण है तनन परीक्षण (टेन्साइल टेस्टिंग). मशीन। यह बहु उपयोगी यंत्र है। इससे इस्पात का तनन सामर्थ्य दैर्ध्यवृद्धि के अलावा हम संपीडन सामर्थ्य तथा बंकन परीक्षण (बेन्ड टेस्ट) की जानकारी भी ले सकते हैं। किसी इस्पात में अचानक चोट सहने की कितनी शक्ति है या किन परिस्थितियों में कितने भारी आघात को वह सह सकता है, इसकी जाँच के लिए इम्पेक्ट परीक्षण मशीन का इस्तेमाल किया जाता है। टाइटेनिक जहाज टूटने के बाद यह परीक्षण अब ताप से प्रभावित होने वाले इस्पात की क्षमता का परिचय देता है। इसकी और भी कई प्रकार से उपयोगिता है।

पृष्ठ कठोरण परखने के लिए कई उपकरण आते हैं जिन्हें हम ब्रिनेल, रॉकवेल, विकर्स और शॉर उपकरण नाम से जानते हैं। इनसे यह पता चलता है कि इस्पात की कठोरता का स्तर क्या है? कठोरता वास्तव में इस्पात के कार्बन प्रतिशत पर निर्भर करती है। इसी प्रकार इस्पात की तनन सामर्थ्य भी कार्बन पर बहुत कुछ निर्भर करती है। कठोरण परीक्षण के काम आने वाले विभिन्न उपकरणों का संक्षिप्त परिचय इस प्रकार है-

(अ) ब्रिनेल कठोरतामापी : इसका अविष्कार डा॰ जे ए ब्रिनेल ने वर्ष 1900 में किया था। इसमें इस्पात की एक गोली का इस्तेमाल किया जाता है जो बहुत सख्त होती है। इस गोली को एक निर्धारित दाब पर उस इस्पात की सतह पर दबाते हैं जिसकी पृष्ठ कठोरता जाँचनी हो। इसके बाद इस दाब को हटा लेते हैं। गोली को इस्पात की सतह पर दबाने से एक निशान पड़ जाता है। इस निशान वाले क्षेत्र की परिधि और आयतन नाप कर उससे हम पृष्ठ कठोरता का अनुमान लगाते हैं। गोली के दबाव द्वारा बने आयतन और इस्पात की कठोरता का मानक चार्ट बना होता है। इस चार्ट से हम पृष्ठ कठोरता का निर्धारण करते हैं। इस्पात की गोली के स्थान पर कार्बन की गोली का भी इस्तेमाल किया जा सकता है लेकिन अभी भी मानदण्ड के हिसाब से इस्पात की गोली ही इस्तेमाल की जाती है।

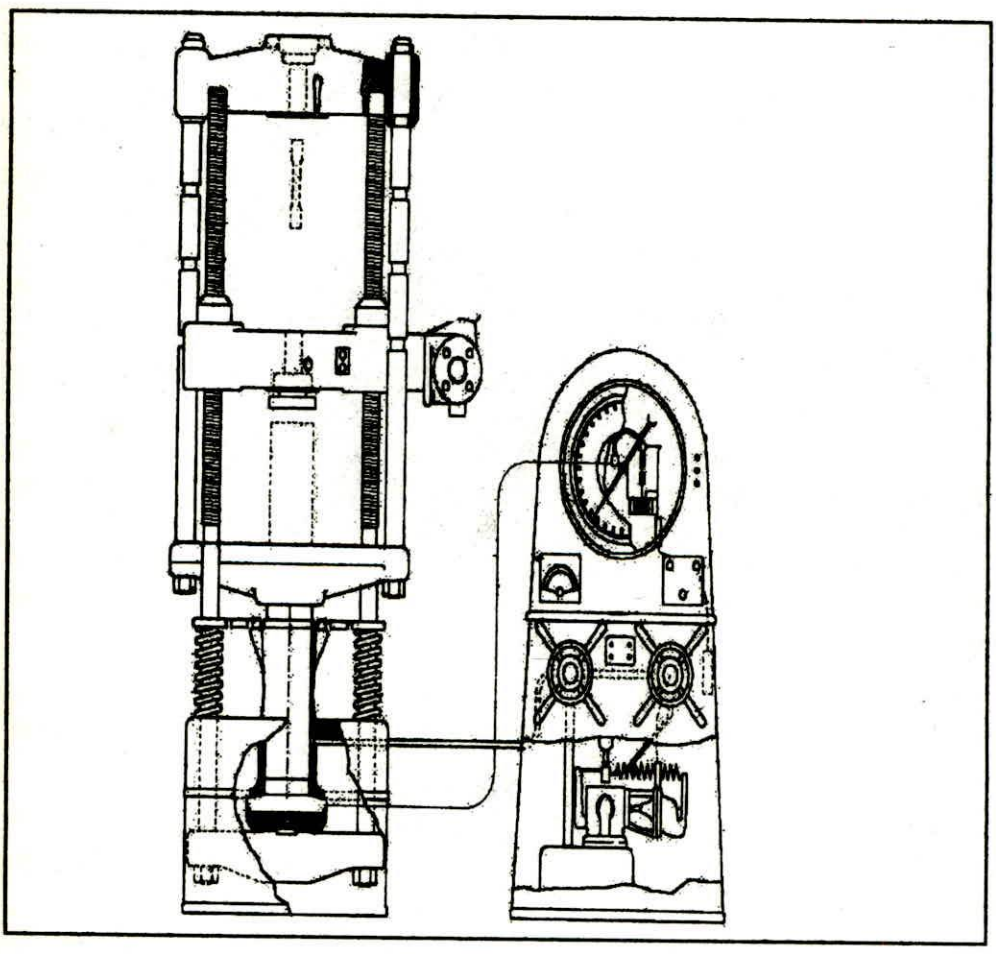
(ब) राकवेल परीक्षण : इसमें भी ब्रिनेल टेस्ट की तरह इस्पात की गोली का इस्तेमाल किया जाता है परन्तु इस विधि में दाग की परिधि और आयतन नापने के स्थान पर हम उसकी गहराई को मापते हैं। कठोर पदार्थों की पृष्ठ कठोरता आँकने के लिए इस तरीके का अधिक इस्तेमाल होता है।

(स) विकर्स परीक्षण : इसमें भी सिद्धांत तो ब्रिनेल और राकवेल-जैसा ही है परन्तु इस्पात की गोली के स्थान पर पिरौमिड आकार के हीरे का पत्थर इस्तेमाल किया जाता है। इसमें हम यह परखते हैं कि हीरे का टुकड़ा इस्पात में कितनी गहराई तक प्रवेश करता है।

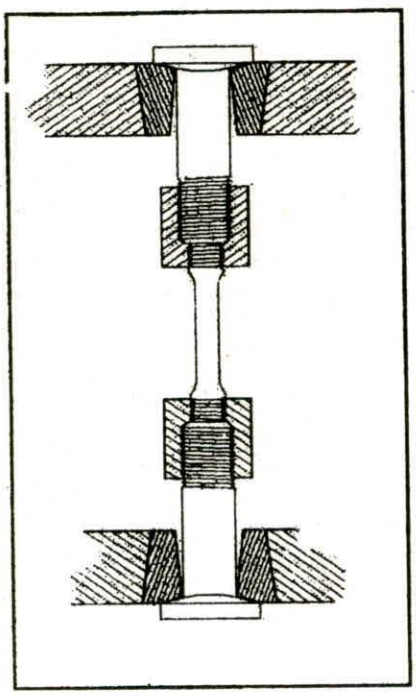
(द) इन प्रमुख और प्रचलित विधियों को छोड़कर और भी बहुत से इस तरह के यंत्र विकसित किए जा चुके हैं। इनमें से एक विधि है शोर कठोरता परीक्षित्र। यह एक पोर्टेबल उपकरण है जिसका उपयोग बहुत भारी और विशाल इस्पात उपकरणों या वस्तुओं की पृष्ठ कठोता नापने कि लिए किया जाता है।

28. सारांश

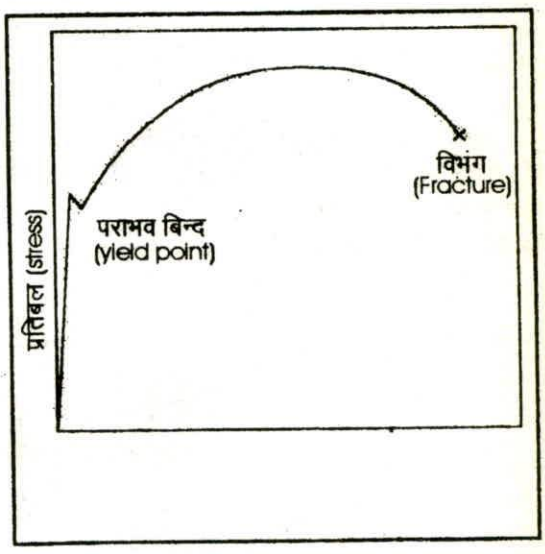
आज 3000 वर्ष से भी अधिक समय से लोह एवं इस्पात ने मानव समाज की प्रगति के लिए बहुमूल्य योगदान दिया है। आधुनिक समय में रेल का इंजन हो या यातायात का कोई भी साधन, दूर संचार प्रणाली



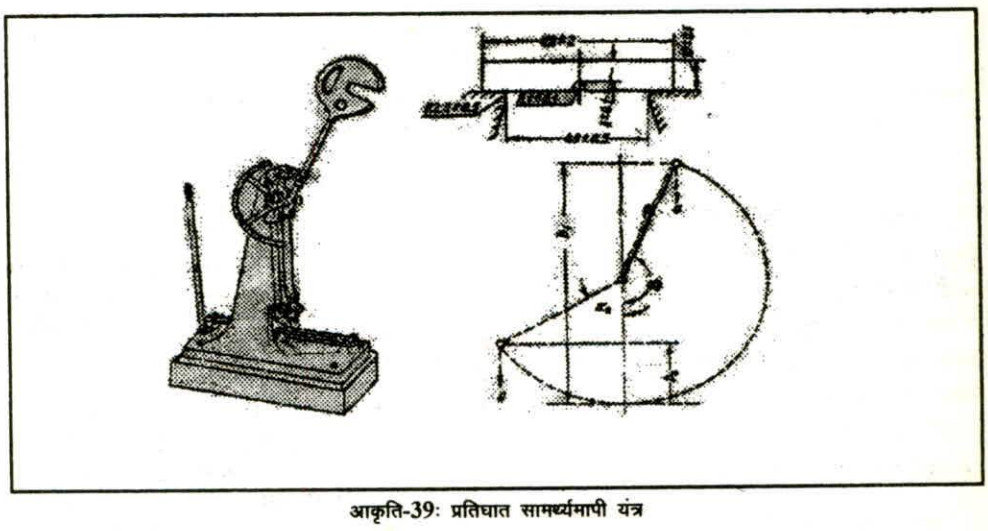
आकृति-36: तनन सामर्थ्यमापी यंत्र



आकृति-37: नमूने को दोनों तरफ से पकड़ने की व्यवस्था



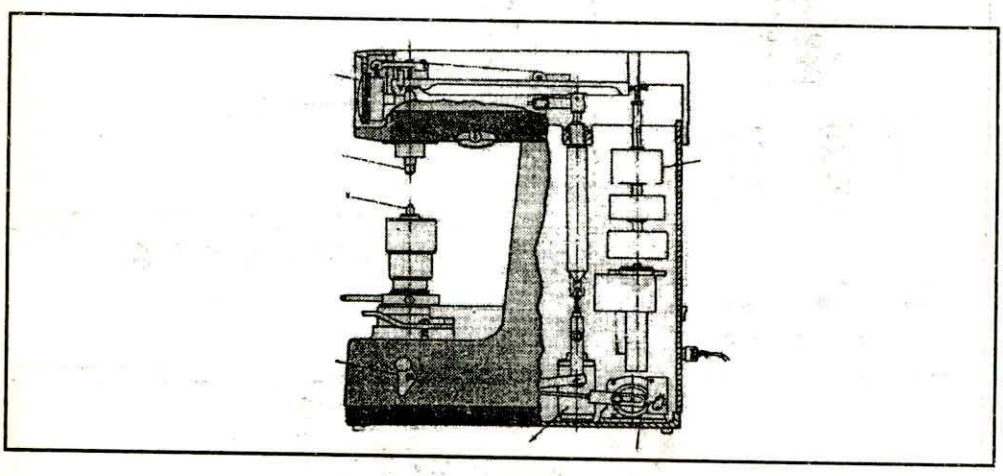
आकृति-38: प्रतिबल व विकृति का रेखाचित्र



आकृति-39: प्रतिघात सामर्थ्यमापी यंत्र

हो या अंतरिक्ष विज्ञान, गृह निर्माण हो या कल-कारखानों की भारी भरकम मशीनें – सर्वत्र इस्पात का उपयोग होता है। बिजली घरों के उपकरणों में लगाने के लिए हमें वह इस्पात चाहिए जो 400°C से 600°C तक का ताप सह सके तो कहीं हमें शून्य या उससे नीचे के ताप पर इस्तेमाल करने के लिए उपकरण चाहिए होते हैं। इन चरम परिस्थितियों के लिए हमने अलग-अलग गुणता और कोटि के इस्पात विकसित किए तथा आज भी इस दिशा में काम जारी है। ऐसा लगता है कि शायद इस्पात का कोई विकल्प नहीं और है भी तो एक उत्तम कोटि और गुणता का ही इस्पात।

दूसरी ओर अनेक धातुओं और अधातु तत्वों के मिश्रण से आज हमें मिश्रातुओं की विविध श्रेणियां ज्ञात हैं। इसके बाद विभिन्न उत्पादन विधियों तथा ऊष्मा उपचार की विधियों द्वारा हम किसी भी जरूरत के लिये एक उचित इस्पात की कोटि ढूँढ निकालते हैं। हम शायद प्लास्टिक, सीमेन्ट, ऐलुमिनियम और सिरामिक आदि पदार्थों के विशाल संयत्रं स्थापित न कर पाते अगर लोह और इस्पात न होता।



आकृति-40: रॉकवेल कठोरतामापी यंत्र

इस्पात उत्पादन के आज हमारे सामने दो रास्ते हैं। पहला धमन भट्टी तथा ऑक्सीजन कन्वर्टर तथा दूसरा स्क्रैप और स्पंज लोह पर आधारित विद्युत् आर्क भट्टी का रास्ता। दूसरे महायुद्ध के अन्त तक धमन भट्टी के साथ बैसमर कन्वर्टर, ओपन हार्थ भट्टी तथा इन्गट ढलाई, इस्पात उद्योग के मूल स्तम्भ थे। मुश्किल से एक प्रतिशत विशेष कोटि का इस्पात इलेक्ट्रिक फर्नेस द्वारा बनाया जाता था। महायुद्ध के बाद जर्मनी में इस्पात प्रौद्योगिकी में भारी बदलाव आया। जर्मनी का लक्ष्य था कैसे एक पराजित राष्ट्र दुबारा प्रगतिशील बन सकता है। इस संकल्प ने जर्मनी में ऐसी विधाओं का विकास किया जिनके द्वारा इस्पात उत्पादन के खर्च में कमी के साथ-साथ उत्पाद की गुणता में भी आशातीत प्रगति हुई। पचास के दशक में और उसके बाद बहुत-सी नई विधाओं का जन्म हुआ यथा–L D कन्वर्टर, लेडल रिफाइनिंग, निर्वात विधि, सतत् ढलाई वगैरह।

धमन भट्टी प्रौद्योगिकी में भी कच्चे माल की निर्मिति में बहुत से नये विकास किए गए जैसे सिन्टर

उत्पादन, सल्फर और फास्फोरस घटाने के तरीके वगैरह-वगैरह। यह सब विकास जर्मनी के साथ-साथ अमेरिका, रूस और जापान आदि अन्य देशों में भी जोर पकड़ते गए साठ के दशक में उत्पादकता बढ़ाने के लिए बहुत बड़ी क्षमता की धमन भट्टी का विकास हुआ तथा साथ ही L D कन्वर्टर और आर्क फर्नेस प्रौद्योगिकी में अनेक परिवर्तन हुए। इसी दौरान सीधा अपचित लोह या स्पंज आयरन बनाने की विभिन्न प्रौद्योगिकी विकसित हुई। सत्तर के दशक में पेट्रोलियम पदार्थों के संकट ने ऊर्जा बचत को प्रोत्साहन दिया। धमन भट्टी में कोयले की धूल और ऑक्सीजन अंतःक्षेपण के सफल प्रयास हुए। कोक बनाने की प्रौद्योगिकी में भी बहुत से परिवर्तन किए गए। इस बीच 60 व 70 के दशक में मिनी और मिडी मिलों की कल्पना की गई। इनमें शत-प्रतिशत कच्चा माल स्क्रैप तथा स्पंज लोह था तथा इस्पात उत्पादन का मुख्य आधार विद्युत् आर्क फर्नेस थी। आर्क भट्ठियों का आकार 120 से 200 या 250 टन तक इस दौरान सामान्य हो गया तथा इनमें 60 से 80 प्रतिशत तक स्पंज लोह को लगातार चार्ज करने की व्यवस्था थी।

सत्तर के दशक में ही सतत् ढलाई का बोल बाला रहा तथा मिनी मिलों के स्थान पर कम्पेक्ट इस्पात मिलों की कल्पना की गई जहाँ स्पंज आयरन से इस्पात बनाने के बाद सतत् कास्टिंग और फिर स्ट्रिप उत्पादन एक श्रृंखला में सम्पन्न होने लगे। इसी का अगला चरण **"नियर नेटशेप कास्टिंग"** है। परन्तु लक्ष्य एक ही रहता है कि उत्पादन लागत को कैसे कम किया जाए और इस्पात की गुणता को कैसे सुधारा जाए।

धमन भट्टी प्रौद्योगिकी के क्षेत्र में चीन ने मिनी धमन भट्टी का लक्ष्य सफलता पूर्वक प्राप्त किया तो उसका प्रभाव 90 के दशक में भारत में भी आया। एक ओर कुछ भट्ठियों ने केवल पिग आयरन उत्पादन पर जोर दिया तो कुछ ने इसका इस्तेमाल फाउन्ड्री के रूप में किया। जमशेदपुर स्थित ऊषा एलायज ने इस मिनी ब्लास्ट फर्नेस के लोहे का इस्तेमाल आर्क फर्नेस द्वारा इस्पात बनाने में कर डाला।

29. परिशिष्ट (आखिरी बात)

देश की औद्योगिक प्रगति में लोह एवं इस्पात उद्योग का एक प्रमुख स्थान है। इस क्षेत्र में अगर हम और देशों से अपनी तुलना करें तो प्रश्न उठता है कि हमारा विश्व इस्पात उत्पादन में कौन सा स्थान है और हम कुल कितना इस्पात बनाते हैं। हमारे इस्पात की कीमत विश्व के अन्य देशों की तुलना में कहाँ टिकती है तथा उनकी तुलना में हमारी उत्पादकता का स्तर कैसा है ?

अपने देश में लोह उत्पादन का इतिहास तो बहुत पुराना है परन्तु आधुनिक लोह-इस्पात युग का सूत्रपात सर्वप्रथम बंगाल के बीरभूमि जिले के मुहम्मद बाजार स्थान से हुआ। यह अधिक दिन चल नहीं सका। इसके बाद आसनसोल के निकट कुलटी में 1880 में पहली धमन भट्टी लगाई गई। वर्ष 1907 में जमशेदजी टाटा ने जमशेदपुर में भारत के प्रथम एकीकृत इस्पात संयत्र की नींव रखी। इसी दौरान दक्षिण के मैसूर राज्य में भद्रावती का इस्पात संयत्र स्थापित हुआ। कुल मिलाकर हमारे इस्पात उद्योग का इतिहास सौ-सवा सौ साल पुराना है। स्वतंत्रता प्राप्ति के बाद 50 और 60 के दशकों में भारत सरकार ने हिन्दुस्तान स्टील लिमिटेड के नाम से भिलाई, राउरकेला और दुर्गापुर में 10-10 लाख टन क्षमता के इस्पात संयंत्र स्थापित किए। वहीं से विश्व मानचित्र में भारत का नाम एक इस्पात उत्पादक देश के रूप में जुड़ा। हिन्दुस्तान स्टील लिमिटेड बाद में स्टील अथारिटी आफ इंडिया बन गया जो आज दुनिया के बड़े इस्पात उत्पादकों में से एक है।

अब यदि तुलना करे तो वे देश जो पचास वर्ष पहले हमारे बराबर थे या हमसे पीछे थे, वे आज हमसे बहुत आगे बढ़ गये हैं। उदाहरण के लिए चीन 1000 लाख टन इस्पात उत्पादन करता है तथा दक्षिण कोरिया भी 300 लाख टन से अधिक इस्पात बनाता है वहीं भारत पिछले पचास वर्ष में सिर्फ 240 लाख टन तक

पहुँच पाया है और उसमें भी लगभग एक तिहाई से अधिक उत्पादन का योगदान सेकेण्डरी क्षेत्र का है।

स्वाधीनता के बाद हमारे देश में केवल सरकारी क्षेत्र में ही इस्पात संयंत्र लगाया जा सकता था। इस स्थिति को 1990 के दशक में बदला गया और निजी क्षेत्र में नये इस्पात संयत्रों की लगता है एक बाढ़-सी आ गई। पर दुर्भाग्यवश इनमें से अधिकांश संयंत्र अभी सुबह का सूरज नहीं देख पाए और बीच भवँर में फसे हुए हैं।

अपने देश में इस्पात उद्योग की कुछ तकनीकी समस्याएं भी रहीं। उदाहरण के लिए हमारे यहाँ लोह अयस्क तो काफी है परन्तु उसमें एल्युमिना (Al_2O_3) की अशुद्धि आड़े आती है। चूने के पत्थर में सिलिका का अंश अधिक है और कोकिंग कोयले में राख की मात्रा बहुत ज्यादा है। विदेशी कोक में जहाँ 8 से 9 प्रतिशत राख होती है वहीं हमारे कोकिंग कोयले में यह 25 प्रतिशत तक होती है। कोक की इस कमी को कुछ हद तक पूरा करने के लिए भारत सरकार ने इस्पात उद्योग को कोकिंग कोयला आयात करने की छूट दी है जिससे हम अब आयातित और स्वदेशी कोकिंग कोयले को मिलाकर इस्तेमाल कर रहे हैं।

कच्चे माल की कमियों के साथ-साथ हमारी धमन भट्ठियों की उत्पादकता भी काफी कम है। अन्य देशों में जहाँ प्रतिटन लोह उत्पादन पर मात्र 400 किलोग्राम कोयले की खपत है वहाँ हमारे देश में 700 से 900 किलोग्राम तक कोयला लगता है। उत्पादन के नाम पर जहाँ हम 1 टन प्रति घन मीटर प्रतिदिन उत्पादन पाते हैं वहीं दुनिया के कुछ देश 2.25 टन प्रति घन मीटर प्रतिदिन लोह उत्पादन करते हैं। और फिर हमें एक टन कच्चा लोहा पाने के लिए अधिक अयस्क, अधिक कोयला, अधिक चूना पत्थर और अधिक समय खर्च करना पड़ता है।

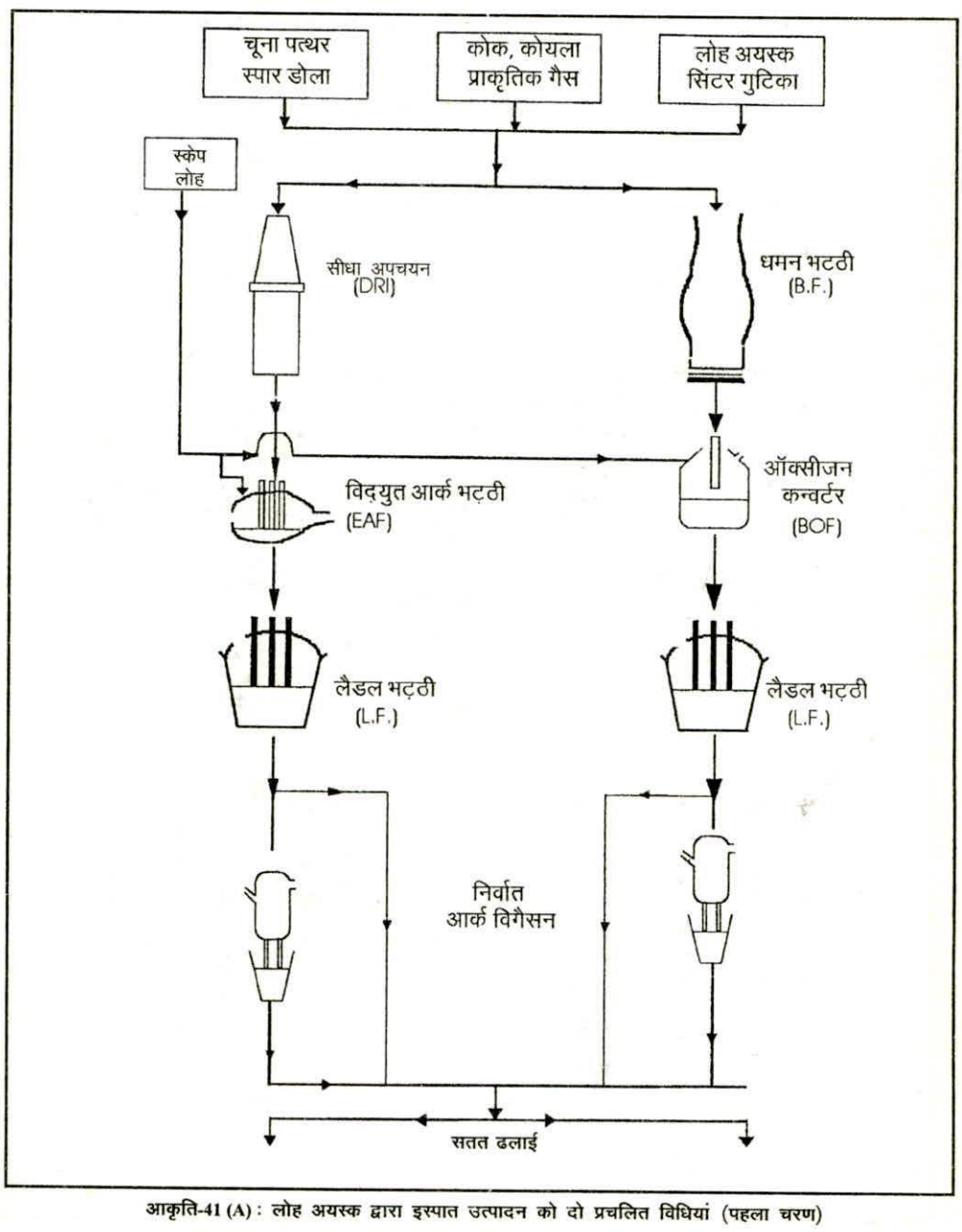
इन सब कारणों से हमारे गरम लोहे की गुणता भी निम्न स्तर की रहती है। हमारे कच्चे लोहे में सिलिकन और सल्फर अशुद्धियाँ अधिक रहती हैं। लोहे का ताप भी कम रहने तथा अशुद्धि अधिक होने से हमें बेसिक ऑक्सीजन फर्नेस (BOF) में इस्पात बनाने में अधिक समय खर्च करना पड़ता है। हम जहाँ एक घंटे में एक "हीट" तैयार करते हैं वहीं उन्नत देशों में एक घंटे में दो "हीट" तैयार होती हैं। इस तरह कुल मिलाकर हमारे देश में इस्पात उत्पादन पर लगभग दुगुना समय और ऊर्जा खर्च होती है। संक्षेप में हमारी समस्याएँ हैं –

(i) लोह अयस्क, कोयला और चूना पत्थर की निम्न कोटि।
(ii) अच्छे कोकिंग कोयले का देश में अभाव।
(iii) प्रत्येक काम में दुगुना समय और दुगुनी ऊर्जा का व्यय।

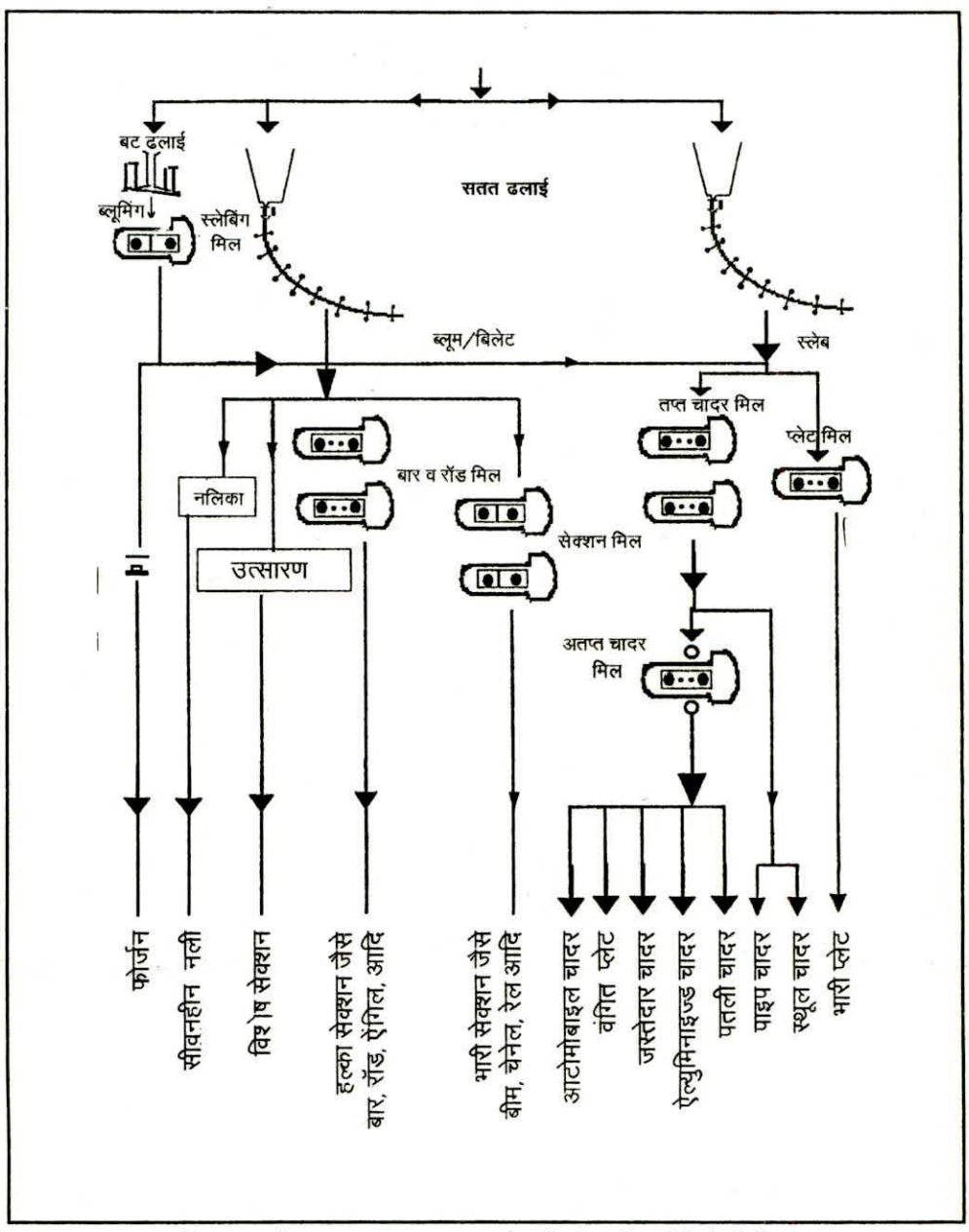
इन सबको मिलाकर हमारा उत्पादन खर्च अधिक रहता है। फलस्वरूप इस्पात उद्योग में लाभ की गुंजाइश कम हो जाती है। एक ओर जहाँ हमारे देश में पूँजी का अभाव है तथा महँगी पूँजी है वहीं प्रौद्योगिकी के क्षेत्र में भी हम अपेक्षाकृत दुर्बल हैं।

राष्ट्र के विकास हेतु मूलभूत सुविधाओं की स्थापना के लिए आज हमारी लोह व इस्पात की माँग कम नहीं, परन्तु यहाँ इस्पात की उपलब्धि भी अगर सस्ती हो तो विकास कार्यों को अधिक बल मिलेगा। आज हमारी जरूरत है -

(i) प्रौद्योगिकी में अनुसंधान द्वारा लोह-इस्पात उत्पादन व्यय में कमी लाने का प्रयास किया जाए।
(ii) नई प्रौद्योगिकी को आत्मसात करके उत्पादकता बढ़ाने पर बल दिया जाए।
(iii) मानव संसाधन विकास पर समुचित ध्यान दिया जाए क्योंकि इस्पात केवल कच्चे माल और मशीनों से नहीं बनता। सजग उद्योग कर्मी इस दिशा में महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकते हैं। इसके लिए जरूरत है अच्छे प्रबंधकों के साथ-साथ निष्ठा वाले इस्पात कर्मियों की भी।



आकृति-41 (A) : लोह अयस्क द्वारा इस्पात उत्पादन की दो प्रचलित विधियां (पहला चरण)



आकृति-41 (B) : लोह अयस्क द्वारा इस्पात उत्पादन की दो प्रचलित विधियां (द्वितीय चरण)

परिशिष्ट—एक

World's Largest Steel Producing Companies, 1998
(First 50 Companies)

Crude Steel Output (Million Metric Tons)

Capicity	Plant	Country	Capicity	Plant	Country
1. 25.6	POSCO	ROK	26. 6.6	Novolipetsk	RUS
2. 25.1	Nippon Steel	JAP	27. 6.4	Kobe Steel	JAP
3. 20.1	Arbed	LUX	28. 6.2	Hoogovens	NLD
4. 18.9	Uslnor	FRA	29. 6.1	WISCO	PRC
5. 17.1	LNM	GBR	30. 6.0	Shanghei MH	PRC
6. 16.3	British Steel	GBR	31. 5.6	NISCO	IRA
7. 14.8	Thyssen Krupp(1)	GER	32. 5.5	National Steel	USA
8. 13.3	Riva (2)	ITA	33. 5.4	ISCOR	RSA
9. 11.5	NKK	JAP	34. 4.8	Voest Alpine	AUT
10. 11.0	USX	USA	35. 4.8	Stelco	CAN
11. 10.4	SAIL	IND	36. 4.7	Saltzgitter	GER
12. 10.4	Kawasaki	JAP	37. 4.7	Sidex	ROM
13. 9.9	Baoshan	PRC	38. 4.7	CSN	BRA
14. 9.8	China Steel	TAI	39. 4.7	Krivoy Rog	UKR
15. 9.6	Bethlehem Steel	USA	40. 4.7	HKM	GER
16. 9.6	Sumitomo	JAP	41. 4.3	Marrupol (Ilylch)	UKR
17. 9.2	BHP	AUS	42. 4.3	Rautaruuki	FIN
18. 8.8	Nucor	USA	43. 4.3	AK Steel	USA
19. 8.5	Cheropovets	RUS	44. 4.2	Techint	ARG
20. 8.5	Anshan	PRC	45. 4.1	Huto Karowice	POL
21. 8.0	Shougang	PRC	46. 4.1	Techint	ARG
22. 8.0	ILVA LP	ITA	47. 4.0	USIMINAS	BRA
23. 7.7	Magnitogorsk	RUS	48. 4.0	Tokyo Steel	JAP
24. 7.1	LTV	USA	49. 3.8	CST	BRA
25. 6.7	Cockerill Sambre	BEL	50. 3.8	Baulou	PRC

7-413/HRD/03

The Major Steel Producing Countries
1997 and 1998

Crude Steel Output (Million Metric Tons)

Country	1998		1997	
	Rank	Mt	Rank	Mt
PR China	1	114.3	1	108.9
United States	2	97.7	3	98.5
Japan	3	93.5	2	104.5
FR Germany	4	44.0	5	45.0
Russia	5	43.8	4	48.5
Republic of Korea	6	39.9	6	42.6
Brazil	7	25.8	7	26.2
Italy	8	25.7	8	25.8
Ukraine	9	24.4	9	25.6
India	10	23.5	10	24.4
France	11	20.1	11	19.8
United Kingdom	12	17.3	12	18.5
Taiwan	13	16.9	13	16.0
Canada	14	15.9	14	15.6
Spain	15	14.8	17	13.7
Mexico	16	14.2	15	14.3
Turkey	17	14.1	16	14.2
Belgium	18	11.4	19	10.7
Poland	19	9.9	18	11.6
Australia	20	8.8	20	8.8
South Africa	21	7.5	21	8.3
Czech Republic	22	6.5	22	6.8

The Major Steel Producing Countries 1997 and 1998

Crude Steel Output (Million Metric Tons)

Country	1998		1997	
	Rank	Mt	Rank	Mt
Romania	23	6.4	23	6.7
Netherlands	24	6.4	24	6.6
Iran	25	5.6	25	6.3
Austria	26	5.3	26	5.2
Sweden	27	5.2	27	5.1
Argentina	28	4.2	28	4.2
Finland	29	4.0	33	3.7
Venezuela	30	3.7	29	4.0
Indonesia (E.1998)	31	3.5	32	3.8
Slovak Republic	32	3.4	31	3.8
Kazakhstan	33	3.1	30	3.9
Egypt	34	2.9	35	2.7
Luxembourg	35	2.5	37	2.6
Saudi Arabia	36	2.4	38	2.5
Bulgaria	37	2.2	36	2.6
Malaysia (E.1998)	38	1.9	34	3.0
Hungary	39	1.8	40	1.7
Thailand (E.1998)	40	1.7	39	2.1
Others	–	19.6	–	19.6
World Total		**775.9**		**798.8**

Apparent Consumption of Finished Steel Per Capita (kg) 1997

European Union		342.8
Other Europe		165.1
Former USSR		86.0
of which	Russia	108.5
North America		307.8
of which	USA	422.4
	Canada	502.0
South America		85.4
of which	Argentina	112.5
	Brazil	95.9
	Venezuela	97.3
Africa		18.6
of which	South Africa	103.2
Middle East		89.5
of which	Iran	107.3
	Jordan	244.3
	Qatar	105.3
	Saudi Arabia	158.8
Asia		97.6
of which	PR China	87.2
	Hongkong	215.4
	India	24.0
	Indonesia	30.2
	Japan	635.8
	DPR Korea	829.0
	RO Korea	457.8
	Singapore	1198.9
	Taiwan	970.9
	Thailand	159.2
Australia		373.2
New Zealand		154.0
Oceania		294.7
World (Average)		**122.7**

Techno Economic Performance of Indian Steel Plants (1998)

(A) Iron Making

Plant	Carbon Rate	Energy Consump.	BF Productivity	Labour Productivity
Bhilai	482	7.33	1.55	131
Bokaro	474	8.48	1.65	108
Durgapur	502	8.35	1.11	72
Rourkela	533	10.97	0.96	51
IISCO	628	12.68	0.85	30
TISCO	499	8.36	1.56	134
Vizag	440	7.80	1.58	184
International	390-410	5.00to5.50	2.00to2.50	500to1500

(B) Steel Making

	Indian Average	International Average
LD Steel Making		
Tap to Tap Time (mins)	100	48
Metallic Yield (%)	87	90
Caster Production (m/min)	0.8 - 1.4	1.2 - 2.5
Refractory Consumption (Kg/TCS)	16.4	13.0
Energy in Hot Strip		
Power (KWH/T)	80	40
Fuel (Mcal/T)	500 - 600	250 - 300

परिशिष्ट—दो

शब्द-सूची

Agglomerate	संपिंड	Deoxidiser	विऑक्सीकारक
Allotropy	बहुरूपता	Designed Property	अभिकल्पित गुणधर्म
Approximate	सन्निकट, प्राय	Diffusion	विसरण
Architecture	वास्तुकला	Dimension	विमा
Atomic Iron	लोह परमाणु	Direct Reduction	प्रत्यक्ष अपचयन
Atomic Radius	परमाणविक त्रिज्या	Dissociation	वियोजन
Auxillary	सहायक	Distortion	विरूपण
Axis	अक्ष	Distribution	वितरण
Burden	घान भार	Dominant	प्रधान
Casting	संचकन, ढलाई	Eddy Current	भंवर धारा
Case Carburising	पृष्ठ कार्बरण	Effect	प्रभाव
Case Hardening	पृष्ठ कठोरण	Efficiency	दक्षता
Cell	कोष	Elasticity	प्रत्यास्थता
Charge	घान	Element	तत्व
Chemical Composition	रासायनिक संघटन	Elongation	दैर्ध्यवृद्धि
Column	स्तम्भ	Empirical	आनुभाविक
Combustion	दहन	Endurance	सहयता
Complex Compound	संकुल – यौगिक	Energy	ऊर्जा
Component	घटक	Equilibrium	साम्य
Composition	संघटन	Equivalence	तुल्यता
Compound	यौगिक	Extract	निष्कर्षण
Concept	संकल्पना	Extrusion	उत्सारण
Standard	मानक	Factor	कारक
Constraint	व्यवरोध	Ferrite	फैराइट
Constructional Steel	निर्माणी इस्पात	Fine Grain	सूक्ष्म रेणु
Consumer Goods	उपभोक्ता वस्तुएं	Flexible Bed	नम्य संस्तर
Consumption	खपत	Fluidised Bed	तरलित संस्तर
Continuous Casting	सतत संचकन	Flue	चिमनी गैस
Converter	कन्वर्टर	Flux	गालक
Correction	संशोधन	Forging	गढाई
Counter Flow	प्रति प्रवाह	Friction	घर्षण
Critical Cooling Velocity	क्रांतिक शीतलन वेग	Fuel	ईंधन
Critical Temperature	क्रांतिक ताप	Gangue	गैन्ग
Cross Section	अनुप्रस्थ काट	Gaseous	गैसीय
Crystal	क्रिस्टल	Grain	रेणु
Crystallography	क्रिस्टल विज्ञान	Grain Refinement	रेणु परिरष्करण
Defnition	परिभाषा	Graph	ग्राफ
Density	घनत्व	Grid	जाल, ग्रिड
Deoxidation	विऑक्सीकरण	Group	समूह

Hammer	घन, हथौड़ा
Hardening	कठोरण
Hearth	हार्थ
Heat Treatment	उष्मा उपचार
Heat of Decomposition	अपघटन उष्मा
Heat of Reaction	अभिक्रिया उष्मा
Hetrogenous	विषमांग
High Speed Steel	उच्च चाल इस्पात
Homogenous	समांग
Hot Metal	तप्त धातु
Hot Stove	तप्त स्टोव
Hydraullic Press	द्रवचालित दाबित्र
Hysteresis	शैथिल्य
Inclusion	धातुमैलककण
Indirect Reduction	अपरोक्ष अवकरण
Inert Gas	अक्रिय गैस
Intensity	तीव्रता
Interpretation	व्याख्या
Interstital	अतंराकाशी
Iron Ore	लोह अयस्क
Latent Energy	गुप्त उर्जा
Latent Heat	गुप्त उष्मा
Lattice	जालक
Lining	आस्तर
Liquid	द्रव
Lump	ढेला
Magnetic	चुम्बकीय
Manufacture	निर्माण
Matrix	मेट्रिक्स
Mechanics	यांत्रिकी
Mechanical Engineering	यांत्रिक अभियांत्रिकी
Mechanical Work	यांत्रिक कर्म
Melting Point	गलनांक
Metallisation	धातु लेपन
Metallurgical	धातुकर्मीय
Metastable	मितस्थायी
Metastable Equilibrium	मितस्थायी साम्य
Miscible Liquid	मिश्रणीय द्रव
Net Shape	तैयार आकृति
Objective	उद्देश्य
Operation	१) संक्रिया २) प्रचालन
Order	क्रम
Original	मूल
Parameter	प्राचल
Permeability	पारगम्यता
Phase	प्रावस्था
Post Treatment	पश्चोपचार
Potential	विभव
Precipitation	अवक्षेपण
Preparation	निर्मित
Press	दाबित्र
Pretreatment	पूर्व उपचार
Process	प्रक्रम
Process Gas	प्रक्रम गैस
Property	गुणधर्म
Pure	विशुद्ध
Pure Iron	विशुद्ध लोह
Pyrometer	उन्तापमापी
Qualitative	गुणात्मक
Quantitative	मात्रात्मक
Reaction	अभिक्रिया
Refractory Material	उच्चतापसह सामग्री
Regeneration	पुनर्जनन
Resistance	प्रतिरोध
Retort	रिटार्ट
Reversible Process	उत्क्रमणीय प्रक्रम
Rotary Kiln Furnace	घूर्णी आपाक भ्राष्ट्र
Rotational Change	घूर्णी परिवर्तन
Saturated	संतृप्त
Scrap	स्क्रेप
Screen	चालनी
Secondary Metallurgy	गौण धातुकर्मिकी
Shaft Furnace	शैफ्ट भट्टी
Size	आमाप
Slag	धातुमल

Slip	सर्पण
Slip Plane	सर्पण तल
Smelting	प्रगलन
Solid	ठोस
Soluble	विलेय
Solution	विलयन
Specific Heat	आपेक्षिक ताप
Specific Volume	आपेक्षिक आयतन
Spontaneous	स्वतः
Stable	स्थायी
Stage	चरण
Standard	मानक
Standardized	मानकीकृत
Statistics	सांख्यिकी
Strain	विकृति
Solvent	विलायक
Solute	विलेय
Stress	प्रतिबल
Stress Release	प्रतिबल विमोचन
Structure	संरचना
Substitution	प्रतिस्थापन
Super cool	अति शीतल
Super Heat	अति तापित
Super Saturated	अति संतृप्त
Symbol	प्रतीक
System	तंत्र
Technology	प्रौद्योगिकी
Tempering	पायन, टैम्परन
Tensile Property	तनन गुणधर्म
Tensile Strength	तनन सामर्थ्य
Tool Steel	औजारी इस्पात
Toughness	चर्मलता
Transformation	रुपान्तरण
Uniformly	एकसमान रूप से
Wear Resistance	घिसाव प्रतिरोध
Weld	वेल्ड
Welding	वेल्डिंग
Work Hardening	कर्म कठोरण
Yield	1) लब्धि 2) पराभव

वैज्ञानिक तथा तकनीकी शब्दावली आयोग द्वारा स्वीकृत शब्दावली-निर्माण के सिद्धांत

1. अंतर्राष्ट्रीय शब्दों को यथासंभव उनके प्रचलित अंग्रेजी रूपों में ही अपनाना चाहिए और हिंदी व अन्य भारतीय भाषाओं की प्रकृति के अनुसार ही उनका लिप्यंतरण करना चाहिए। अंतर्राष्ट्रीय शब्दावली के अंतर्गत निम्नलिखित उदाहरण दिए जा सकते हैं:

   (क) तत्त्वों और यौगिकों के नाम, जैसे हाइड्रोजन, कार्बन डाइऑक्साइड आदि;

   (ख) तौल और माप की इकाइयाँ तथा भौतिक परिमाण की इकाइयाँ, जैसे डाइन, कैलॉरी, ऐम्पियर आदि;

   (ग) ऐसे शब्द जो व्यक्तियों के नाम पर बनाए गए हैं, जैसे मार्क्सवाद (कार्ल मार्क्स), ब्रेल (ब्रेल), बॉयकाट (कैप्टन बॉयकाट), गिलोटिन (डॉ. गिलोटिन), गेरीमैंडर (मि. गेरी), एम्पियर (मि. एम्पियर), फ़ारेनहाइट तापक्रम (मि. फारेनहाइट) आदि;

   (घ) वनस्पति-विज्ञान, प्राणि-विज्ञान, भूविज्ञान आदि की द्विपदी नामावली;

   (ड.) स्थिरांक, जैसे π, g आदि;

   (च) ऐसे अन्य शब्द जिनका आमतौर पर सारे संसार में व्यवहार हो रहा है, जैसे रेडियो, पेट्रोल, रेडार, इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन, न्यूट्रॉन आदि;

   (छ) गणित और विज्ञान की अन्य शाखाओं के संख्यांक, प्रतीक, चिह्न और सूत्र, जैसे साइन, कोसाइन, टेन्जेन्ट, लॉग आदि (गणितीय संक्रियाओं में प्रयुक्त अक्षर रोमन या ग्रीक वर्णमाला के होने चाहिए)।

2. प्रतीक, रोमन लिपि में अंतर्राष्ट्रीय रूप में ही रखे जाएँगे परंतु संक्षिप्त रूप देवनागरी और मानक रूपों से भी, विशेषतः साधारण तौल और माप में लिखे जा सकते हैं, जैसे सेन्टीमीटर का प्रतीक cm हिंदी में भी ऐसे ही प्रयुक्त होगा परंतु देवनागरी में संक्षिप्त रूप से.मी. भी हो सकता है। यह सिद्धांत बाल-साहित्य और लोकप्रिय पुस्तकों में अपनाया जाएगा, परंतु **विज्ञान और प्रौद्योगिकी की मानक पुस्तकों** में केवल अंतर्राष्ट्रीय प्रतीक, जैसे cm ही प्रयुक्त करना चाहिए।

3. ज्यामितीय आकृतियों में भारतीय लिपियों के अक्षर प्रयुक्त किए जा सकते हैं, जैसे क, ख, ग, या अ, ब, स परंतु त्रिकोणमितीय संबंधों में केवल रोमन अथवा ग्रीक अक्षर ही प्रयुक्त करने चाहिए, जैसे साइन A, कॉस B आदि।

4. संकल्पनाओं को व्यक्त करने वाले शब्दों का सामान्यतः अनुवाद किया जाना चाहिए।

5. हिंदी पर्यायों का चुनाव करते समय सरलता, अर्थ की परिशुद्धता और सुबोधता का विशेष ध्यान रखना चाहिए। सुधार-विरोधी प्रवृत्तियों से बचना चाहिए।

6. सभी भारतीय भाषाओं के शब्दों में यथासंभव अधिकाधिक एकरूपता लाना ही इसका उद्देश्य होना चाहिए और इसके लिए ऐसे शब्द अपनाने चाहिए जो:-

   (क) अधिक से अधिक प्रादेशिक भाषाओं में प्रयुक्त होते हों, और

   (ख) संस्कृत धातुओं पर आधारित हों।

7. ऐसे देशी शब्द जो सामान्य प्रयोग के पारिभाषिक शब्दों के स्थान पर हमारी भाषाओं में प्रचलित हो गए हैं, जैसे telegraph/telegram के लिए तार, continent के लिए महाद्वीप, post के लिए डाक आदि इसी रूप में व्यवहार में लाए जाने चाहिए।

8. अंग्रेजी, पुर्तगाली, फ्रांसीसी आदि भाषाओं के ऐसे विदेशी शब्द जो भारतीय भाषाओं में प्रचलित हो गए हैं, जैसे टिकट, सिगनल, पेंशन, पुलिस, ब्यूरो, रेस्तरां, डीलक्स, आदि इसी रूप में अपनाए जाने चाहिए।

9. **अतर्राष्ट्रीय शब्दों का देवनागरी लिपि में लिप्यंतरण :** अंग्रेजी शब्दों का लिप्यंतरण इतना जटिल नहीं होना चाहिए कि उसके कारण वर्तमान देवनागरी वर्णों में नए चिह्न व प्रतीक शामिल करनें की आवश्यकता पड़े। शब्दों का देवनागरी लिपि में लिप्यंतरण अंग्रेजी उच्चारण के अधिकाधिक अनुरूप होना चाहिएं और उनमें ऐसे परिवर्तन किए जाएं जो भारत के शिक्षित वर्ग में प्रचलित हों।

10. **लिंग** - हिंदी में अपनाए गए अंतर्राष्ट्रीय शब्दों को, अन्यथा कारण न होने पर, पुल्लिंग रूप में ही प्रयुक्त करना चाहिए।

11. **संकर शब्द :** पारिभाषिक शब्दावली में संकर शब्द, जैसे guaranteed के लिए 'गारंटित', classical के लिए 'क्लासिकी', codifier के लिए 'कोडकार' आदि, के रूप सामान्य और प्राकृतिक भाषाशास्त्रीय प्रक्रिया के अनुसार बनाए गए हैं और ऐसे शब्दरूपों को पारिभाषिक शब्दावली की आवश्यकताओं, यथा सुबोधता, उपयोगिता और संक्षिप्तता का ध्यान रखते हुए व्यवहार में लाना चाहिए।

12. **पारिभाषिक शब्दों में संधि और समास :** कठिन संधियों का यथासंभव कम से कम प्रयोग करना चाहिए और संयुक्त शब्दों के लिए दो शब्दों के बीच हाइफन लगा देना चाहिए। इससे नई शब्द-रचनाओं को सरलता और शीघ्रता से समझने में सहायता मिलेगी। जहाँ तक संस्कृत पर आधारित 'आदिवृद्धि' का संबंध है, 'व्यावहारिक', 'लाक्षणिक' आदि प्रचलित संस्कृत तत्सम शब्दों में आदिवृद्धि का प्रयोग ही अपेक्षित है। परंतु नवनिर्मित शब्दों में इससे बचा जा सकता है।

13. **हलंत** - नए अपनाए हुए शब्दों में आवश्यकतानुसार हलंत का प्रयोग करके उन्हें सही रूप में लिखना चाहिए।

14. **पंचम वर्ण का प्रयोग :** पंचम वर्ण के स्थान पर अनुस्वार का प्रयोग करना चाहिए परंतु lens, patent आदि शब्दों का लिप्यंतरण लेंस, पेटेंट या पेटेण्ट न करके लेन्स, पेटेन्ट ही करना चाहिए।

आयोग द्वारा प्रकाशित परिभाषा-कोशों की सूची

क्र.सं.	परिभाषा-कोश	मूल्य
1.	भूविज्ञान परिभाषा-कोश (पृ. 284)	10.00
2.	भूविज्ञान परिभाषा-कोश-2 (सामान्य भूविज्ञान) (पृ. 196)	13.50
3.	शैलविज्ञान परिभाषा-कोश (पृ. 195)	-
4.	प्रारंभिक पारिभाषिक रसायन कोश (पृ. 242)	3.25
5.	उच्चतर रसायन परिभाषा-कोश	17.00
6.	रसायन (कार्बनिक) परिभाषा-कोश-3 (पृ. 280)	25.00
7.	पेट्रोलियम प्रौद्योगिकी परिभाषा-कोश (पृ. 188)	173.00
8.	प्रारंभिक पारिभाषिक कोश—गणित (पृ. 298)	18.75
9.	गणित परिभाषा-कोश (पृ. 253)	11.00
10.	आधुनिक बीजगणित परिभाषा-कोश (पृ. 159)	11.00
11.	सांख्यिकी परिभाषा-कोश (पृ. 432)	18.00
12.	भौतिकी परिभाषा-कोश (पृ. 212)	3.15
13.	आधुनिक भौतिकी परिभाषा-कोश (पृ. 290)	13.00
14.	प्राणिविज्ञान परिभाषा-कोश (पृ. 220)	10.00
15.	वनस्पतिविज्ञान परिभाषा-कोश (1,2,3,4)	-
16.	वनस्पतिविज्ञान परिभाषा-कोश-5 (आकारिकी तथा वर्गिकी)	-
17.	पुरावनस्पतिविज्ञान परिभाषा-कोश (पृ. 161)	80.50
18.	भूगोल परिभाषा-कोश	10.00
19.	मानव-भूगोल परिभाषा-कोश (पृ. 228)	18.00
20.	मानचित्र-विज्ञान परिभाषा-कोश (पृ. 361)	231.00
21.	गृहविज्ञान परिभाषा-कोश	-
22.	गृहविज्ञान परिभाषा-कोश-2 (पृ. 64)	9.00
23.	इलेक्ट्रॉनिकी परिभाषा-कोश (पृ. 215)	22.00
24.	तरल यांत्रिकी परिभाषा-कोश (पृ. 76)	10.00
25.	यांत्रिक इंजीनियरी परिभाषा-कोश (पृ. 135)	84.00
26.	सिविल इंजीनियरी परिभाषा-कोश (पृ. 112)	61.00
27.	आयुर्विज्ञान पारिभाषिक कोश (शल्यविज्ञान)	48.05
28.	इतिहास परिभाषा-कोश (पृ. 297)	20.50
29.	शिक्षा परिभाषा-कोश (पृ. 197)	13.50

30.	शिक्षा परिभाषा-कोश-2 (पृ. 205)	99.00
31.	मनोविज्ञान परिभाषा-कोश (पृ. 142)	9.50
32.	दर्शन परिभाषा-कोश (पृ. 432)	9.75
33.	अर्थशास्त्र परिभाषा-कोश (पृ. 232)	117.00
34.	अर्थमिति परिभाषा-कोश (पृ. 245)	17.65
35.	वाणिज्य परिभाषा-कोश (पृ. 173)	24.70
36.	समाजकार्य परिभाषा-कोश (पृ. 183)	-
37.	समाजशास्त्र परिभाषा-कोश (पृ. 212)	71.40
38.	सांस्कृतिक नृविज्ञान परिभाषा-कोश (पृ. 287)	24.00
39.	पुस्तकालय विज्ञान परिभाषा-कोश (पृ. 196)	49.00
40.	पत्रकारिता परिभाषा-कोश (पृ. 164)	87.50
41.	पुरातत्व परिभाषा-कोश (पृ. 391)	76.50
42.	पुरातत्व परिभाषा-कोश-2 (पृ. 453)	509.00
43.	पाश्चात्य संगीत परिभाषा-कोश (पृ. 104)	28.55
44.	भाषाविज्ञान परिभाषा-कोश खंड-1 (पृ. 212)	89.00
45.	कंप्यूटर-विज्ञान परिभाषा-कोश (पृ. 144)	102.00
46.	राजनीतिविज्ञान परिभाषा-कोश (पृ. 356)	343.00
47.	प्रबंधविज्ञान परिभाषा-कोश (पृ. 191)	170.00
48.	अंतर्राष्ट्रीय विधि परिभाषा-कोश (पृ. 293)	344.00
49.	कृषि-कीटविज्ञान परिभाषा-कोश (पृ. 213)	75.00
50.	वनस्पतिविज्ञान परिभाषा-कोश (पृ. 204)	75.00
51.	पादप आनुवंशिकी परिभाषा-कोश (पृ. 185)	75.00
52.	पादपरोगविज्ञान परिभाषा-कोश (पृ. 138)	75.00
53.	मृदा विज्ञान परिभाषा-कोश (पृ. 149)	77.00
54.	सूक्ष्मजैविकी परिभाषा-कोश (पृ. 193)	45.00
55.	भाषाविज्ञान परिभाषा-कोश खंड-2 (पृ. 259)	59.00
56.	धातुकर्म परिभाषा-कोश (पृ. 441)	278.00
57.	भारतीय दर्शन परिभाषा-कोश खंड-1 (पृ. 171)	151.00
58.	सूत्रकृमि विज्ञान परिभाषा कोश (पृ. 263)	125.00
59.	विद्युत इंजीनियरी परिभाषा कोश	81.00
मुद्रणाधीन		
60.	संरचनात्मक भूविज्ञान परिभाषा-कोश	-

आयोग द्वारा प्रकाशित शब्द-संग्रहों की सूची

क्र.सं.	शब्द-संग्रह	मूल्य
1.	बृहत् पारिभाषिक शब्द-संग्रह : विज्ञान, खंड-1,2 (पृ. 2058)	174.00
2.	बृहत् पारिभाषिक शब्द-संग्रह : विज्ञान (हिंदी-अंग्रेजी) (पृ. 819)	38.50
3.	बृहत् पारिभाषिक शब्द-संग्रह : मानविकी और सामाजिक विज्ञान, खंड-1,2 (पृ. 1297)	292.00
4.	बृहत् पारिभाषिक शब्द-संग्रह : मानविकी और सामाजिक विज्ञान (हिंदी-अंग्रेजी) (पृ. 700)	132.00
5.	बृहत् पारिभाषिक शब्द-संग्रह : कृषि विज्ञान (पृ. 223)	278.00
6.	बृहत् पारिभाषिक शब्द-संग्रह : आयुर्विज्ञान, भेषजविज्ञान, नृविज्ञान	239.40
7.	बृहत् पारिभाषिक शब्द-संग्रह : आयुर्विज्ञान, कृषि एवं इंजीनियरी (हिंदी-अंग्रेजी) (पृ. 240)	48.50
8.	बृहत् पारिभाषिक शब्द-संग्रह : मुद्रण इंजीनियरी (पृ. 104)	48.00
9.	बृहत् पारिभाषिक शब्द-संग्रह : इंजीनियरी (सिविल, विद्युत्, यांत्रिक) (पृ. 566)	57.00
10.	बृहत् पारिभाषिक शब्द-संग्रह : इंजीनियरी-2 (पृ. 186)	84.00
विषयवार शब्दावलियाँ		
1.	मानविकी शब्दावली - (नृविज्ञान) (पृ. 179)	10.00
2.	कंप्यूटर विज्ञान शब्दावली (पृ. 337)	87.00
3.	इस्पात एवं अलोह धातुकर्म शब्दावली (पृ. 378)	55.00
4.	वाणिज्य शब्दावली (पृ. 172)	259.00
5.	समेकित रक्षा शब्दावली	284.00
6.	अंतरिक्ष विज्ञान शब्दावली	30.00
7.	भाषाविज्ञान शब्दावली (अंग्रेजी-हिंदी तथा हिंदी-अंग्रेजी) (पृ. 249)	113.00

8.	बृहत् प्रशासन शब्दावली (अंग्रेजी-हिंदी)	निःशुल्क
9.	बृहत् प्रशासन शब्दावली (हिंदी-अंग्रेजी)	निःशुल्क
10.	पशुचिकित्सा विज्ञान शब्दावली (पृ. 174)	82.00
11.	लोक-प्रशासन शब्दावली (पृ. 98)	52.00
12.	अर्थशास्त्र शब्दावली (मानविकी शब्दावली-9) (पृ. 96)	4.40
13.	नृविज्ञान शब्दावली (पृ. 198)	10.00
14.	वानिकी शब्दावली (पृ. 62)	8.50
15.	खेलकूद शब्दावली (पृ. 103)	10.25
16.	डाकतार शब्दावली (पृ. 126)	11.60
17.	रेलवे शब्दावली (पृ. 56)	2.00
18.	गुणता-नियंत्रण शब्दावली (पृ. 67)	38.00
19.	रेशम विज्ञान शब्दावली (पृ. 85)	50.00
20.	गणित की मूलभूत शब्दावली (पृ. 135)	निःशुल्क
21.	कंप्यूटर विज्ञान की मूलभूत शब्दावली (पृ. 115)	निःशुल्क
22.	भूगोल की मूलभूत शब्दावली (पृ. 156)	निःशुल्क
23.	भूविज्ञान की मूलभूत शब्दावली (पृ. 141)	निःशुल्क
24.	वनस्पति विज्ञान की मूलभूत शब्दावली (पृ. 207)	निःशुल्क
25.	पशु चिकित्सा विज्ञान की मूलभूत शब्दावली (पृ. 179)	निःशुल्क
शब्द-संग्रह		
1.	कोशिका-जैविकी शब्द-संग्रह (पृ. 197)	62.00
2.	गणित शब्द-संग्रह (पृ. 357)	143.00
3.	भौतिकी शब्द-संग्रह (पृ. 536)	119.00
4.	गृहविज्ञान शब्द-संग्रह (पृ. 144)	60.00
5.	रासायनिक इंजीनियरी शब्द-संग्रह (पृ. 167)	-
6.	भूगोल शब्द-संग्रह (पृ. 369)	200.00
7.	खनन एवं भूविज्ञान शब्द-संग्रह	-
8.	भूविज्ञान शब्द-संग्रह (पृ. 328)	88.00
9.	संरचनात्मक भूविज्ञान एवं विवर्तनिकी शब्द-संग्रह (पृ. 48)	15.00
10.	पत्रकारिता एवं मुद्रण शब्दावली (पृ. 184)	12.25

आयोग द्वारा प्रकाशित पाठमालाएँ/मोनोग्राफ

क्र.सं.		मूल्य
1.	ऐतिहासिक नगर	195.00
2.	प्राकृतिक एवं सांस्कृतिक नगर	109.00
3.	समुद्री यात्राएँ	79.00
4.	विश्व दर्शन	53.00
5.	अपशिष्ट प्रबंधन	17.00
6.	कोयला : एक परिचय	294.00
7.	वाहित मल एवं आपंक : उपयोग एवं प्रबंधन	40.00
8.	पर्यावरणी प्रदूषण : नियंत्रण तथा प्रबंधन	23.50
9.	रत्न-विज्ञान – एक परिचय	115.00
10.	2-दूरीक एवं 2-मानकित समष्टियों में संपात एवं स्थिर बिंदु समीकरणों के साधन	68.00
11.	पराज्यामितीय फलन	90.00

प्रकाशनाधीन

12. इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी
13. मैग्नेसाइट – एक भूवैज्ञानिक अध्ययन
14. स्वतंत्रता प्राप्ति पूर्व हिंदी में विज्ञान लेखन
15. स्वास्थ्य दीपिका
16. समकालीन भारतीय दर्शन के मानववादी चिंतक
17. भारत में कृषि का विकास
18. मृदा एवं पादप पोषण
19. हिंद महासागर – भविष्य की आशा
20. जैव-प्रौद्योगिकी – उद्भव एवं विकास

MGIPF-413/HRD/03 - 600 Copies

PED. 853 (अंग्रेजी-बोड़ो)
600-2003 (DSK-II)

मूल्य: देश में: रु॰ 146.00
विदेश में: £ 1.98 और $ 3.17

प्रबन्धक, भारत सरकार मुद्रणालय, फरीदाबाद द्वारा मुद्रित,
एवं प्रकाशन नियंत्रक, दिल्ली द्वारा प्रकाशित.
PRINTED BY THE MANAGER, GOVERNMENT OF INDIA PRESS, FARIDABAD
AND PUBLISHED BY THE CONTROLLER OF PUBLICATIONS, DELHI.