

शैक्षणिक संदर्भ अंक १२१ डिसेंबर २०१९ – जानेवारी २०२०

कसे मिळवले प्रभुत्व स्टीलच्या गुणधर्मांवर?

लेखक: सब्यसाची चटर्जी

अनुवाद: संजीवनी आफळे

कसे मिळवले प्रभुत्व स्टीलच्या गुणधर्मांवर?

लेखक: सब्यसाची चटर्जी

अनुवाद: संजीवनी आफळे

निसर्गाने आपल्याला ९२ मूलद्रव्ये बहाल केली आहेत, त्यातील अनेक उपयुक्त आहेत. काही आपल्या रोजच्या जीवनात वापरली जातात.

इतिहास आपल्याला सांगतो की अश्मयुग, ताम्रयुग, कांस्ययुग आणि लोहयुग अशी युगे होऊन गेली. दगड (अश्म) हा नैसर्गिकरित्या उपलब्ध असतो, पण ताम्र (कॉपर), कांस्य (ब्रॉझ) आणि लोह (आयर्न) हे धातू आहेत. ताम्र निसर्गात शुद्ध स्वरूपात सापडते, त्यामुळे पाषाणासोबत त्याचाही वापर साहजिक होता.

लोह हा शुद्ध धातू असला तरी त्याच्या खनिज धातुकापासून वेगळा काढावा लागतो.

कांस्य किंवा कासे हे ८८% तांबे (कॉपर) आणि १२% कथील (टिन) या प्रमाणात असलेले मिश्रण आहे. अशा मिश्रणांना मिश्रधातू (अलॉय) असे म्हणतात. धातू कठीण असतात, त्यांचा पत्रा तयार करता येतो, ओढून तारा तयार करता येतात. ते वीज आणि उष्णतेचे वाहक असतात. ख्रिस्तपूर्व ४००० पासून सुमारे ख्रिस्तपूर्व १३०० पर्यंत कांस्ययुग होते. काशाचा वापर वेगवेगळ्या कालखंडात, जगाच्या वेगवेगळ्या भागात सुरू झाला. ते अजूनही कलाकृती, शिल्पकृतींमध्ये वापरले जाते.

भारतामध्ये, चोला काळामधील (इसवी सन ८५० – १२५०) काशाच्या कलाकृती प्रसिद्ध असून त्या तामिळनाडूतील तंजावूर या कावेरी नदीच्या त्रिभुज प्रदेशात तयार केल्या



काशाची नटराजाची मूर्ती

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=39372931>

गेल्या होत्या. यांतील नृत्य करणाऱ्या नटराजाची मूर्ती सगळ्यात प्रसिद्ध आहे. यातील काही कलाकृती आपल्याला तंजावूर येथील मराठा संग्रहालय किंवा एगमोर, चेन्नई येथील सरकारी कला संग्रहालयामध्ये पाहता येतात.

या मूर्ती व्हॅनिशिंग वॅक्स किंवा लॉस्ट वॅक्स या तंत्राने बनवल्या आहेत. हे तंत्रज्ञान तामिळनाडूतील कारागीर अजूनही वापरतात.

प्रथम मेणाची प्रतिमा तयार केली जाते,

त्याभोवती वाळूचा साचा तयार केला जातो आणि नंतर त्यात वितळलेले कासे (काशाचा द्रवणांक = ९५० अंश सेल्सियस) ओतले जाते. धातू मेणाच्या प्रतिमेचा आकार घेतो आणि साच्यामध्ये घनरूप होतो. हे होताना मेण वितळून निघून/ जळून जाते, आणि म्हणूनच हे व्हॅनिशिंग वॅक्स किंवा लॉस्ट वॅक्स तंत्र. या कलाकृती आतून पोकळ असतात. त्यामुळे आकार मोठा असला तरी त्या हलक्या असतात.

पितळ (ब्रास) हा धातूही सामान्यपणे वापरला जातो. पितळ हा तांबे (४०-६५%) आणि जस्त (झिंक) (६०-३५%) यांचा मिश्रधातू आहे आणि या दोन घटकांचे प्रमाण कोणत्या प्रकारचे पितळ तयार करायचे आहे त्यानुसार बदलते. पितळाचा द्रवणांक साधारण

१००-१४० अंश सेल्सियस इतका आहे. काशाप्रमाणेच पितळाचा द्रवणांक कमी आहे आणि त्यामुळे त्याला वेगवेगळे आकार देणे, घडवणे सोपे जाते.

अत्यंत कमी तापमानाला वितळू शकत असल्यामुळे कथील (द्रवणांक: २३१.९ अंश सेल्सियस), जस्त (द्रवणांक: ४१९.५ अंश सेल्सियस) आणि तांबे (द्रवणांक: १०८५ अंश सेल्सियस) सगळ्यात आधी वापरले जाऊ लागले. याच कारणामुळे त्यांचे मिश्रधातू असलेले पितळ आणि कासे काही सहस्रके वेगवेगळ्या प्रकारे व्यवहारात उपयोगात आणले गेले. त्यांची जागा नंतर लोह किंवा लोखंडाने घेतली. नंतर इतर धातूसुद्धा उपयोगात आले, पण लोखंडाची जागा कोणीच घेऊ शकले नाही.

लोखंड हा एक अष्टपैलू धातू आहे. पृथ्वीच्या वरच्या कवचात ५ टक्के इतके लोह असते आणि ते ऑक्सिजन, सिलिकॉन आणि अल्युमिनियम नंतर सर्वात जास्त आढळणारे मूलद्रव्य आहे. सर्व मूलद्रव्ये ताऱ्यांमध्ये त्यांच्या निरनिराळ्या विकासाच्या टप्प्यांवर होणाऱ्या अणुकेंद्रकीय अभिक्रियांमुळे तयार होतात. अणुभौतिकी असे सांगते की लोखंड हे सगळ्यात स्थिर मूलद्रव्य आहे आणि ताऱ्यांतील अणुकेंद्रकीय प्रक्रियांच्या अनेक टप्प्यांनंतर ते तयार होते. (अधिक माहितीसाठी पहा, महा इतिहास भाग ३ पृथ्वीचा जन्म, शैक्षणिक संदर्भ अंक १२०, ऑक्टो-नोव्हें २०१९)

परंतु लोखंड हे क्रियाशील असते. ऑक्सिजनबरोबर संयोग पावून ते गंज (FeO) आणि हिमेटाईट (Fe_2O_3) आणि मॅग्नेटाईट (Fe_3O_4) ही ऑक्साईड तयार करते. हिमेटाईट आणि मॅग्नेटाईट या दोन स्वरूपात लोखंडाचे धातुक (ore) सापडते. यांपासून लोखंड मिळवण्यासाठी हे कार्बनबरोबर म्हणजेच कोळशाबरोबर तापवले जाते. यामुळे धातुकातील ऑक्सिजन कार्बनशी संयोग पावून कार्बन-डायॉक्साइडच्या रूपात निघून जातो, आणि शुध्द

लोह मागे शिल्लक रहाते. म्हणजेच लोखंड मिळवण्यासाठी आपल्याला त्याचे धातुक आणि शिवाय कोळसाही लागतो. या प्रक्रियेसाठी लागणारी उष्णताही कोळसा जाळून मिळवावी लागते, कारण ही प्रक्रिया होण्यासाठी साधारण ९००-१३०० अंश सेल्सियस इतके उच्च तापमान लागते. यामुळे आपले बहुतेक सर्व स्टीलचे कारखाने - जमशेदपूर, भिलाई, दुर्गापूर, रूरकेला, बोकारो - हे कोळसा खाणींच्या पट्ट्यात वसलेले आहेत. अशा प्रकारे लोखंडाचे शुद्धतेप्रमाणे वेगवेगळे प्रकार, क्रूड लोखंड (पिग आयर्न), घडीव लोखंड (रॉट आयर्न), इत्यादी तयार केले जातात.

स्टील तयार करण्यासाठी लोहामध्ये कार्बनसारखे निरनिराळे पदार्थ ठरावीक प्रमाणात घालावे लागतात. स्टेनलेस स्टील साठी ११% क्रोमियम आणि १.२% पेक्षा कमी कार्बन मिसळावे लागतात. या सर्व घटकांचे प्रमाण वजनाच्या टक्केवारीत असते.

कासे जरी खूप काळ वापरले जात होते, तरी ते ठिसूळ आहे. त्यामुळे कठीण तरीही वेगवेगळ्या आकारात घडवले जाऊ शकणाऱ्या, निरनिराळ्या परिस्थितीत टिकून राहणाऱ्या आणि वेगवेगळ्या गुणधर्मांच्या मिश्रधातूंमध्ये रूपांतरित करता येणाऱ्या अशा लोखंडाने त्याची जागा घेतली. शिवाय, लोखंड हे चुंबकीय आहे आणि त्यामुळे विद्युत जनित्र, विजेची मोटर, ट्रान्सफॉर्मर अशा विद्युतचुंबकीय यंत्रांमध्ये मोठ्या प्रमाणात वापरले जाते. पण सर्वात प्रथम लोखंडाने काशाला शस्त्रास्त्रांच्या कारखान्यातून विस्थापित केले, उदाहरणार्थ तलवारी आणि वेगवेगळ्या प्रकारच्या ढाली. वूट्झ (wootz) हे एक विशेष प्रकारचे कोरीव काम आणि दमास्कस तलवारी बनवण्यासाठी प्रसिद्ध असे स्टील आहे. वूट्झ लोखंड दक्षिण भारतात, विशेषतः कर्नाटकातील बेळ्ळारी जिल्ह्यात तयार केले जाई आणि पश्चिम किनाऱ्यावरील भटकळ सारख्या बंदरांतून अरब देशांमध्ये पाठवले जाई.



वूट्झ स्टीलपासून बनवलेली कट्यार.
संपूर्ण पृष्ठभागाचा वलयांकित पोत नैसर्गिक आहे.

(<https://www.ancient-origins.net/artifacts-ancient-technology/wootz-steel-damascus-blades-0010148>)

बेळ्ळारीत सापडणाऱ्या धातुकामध्ये लोखंडाचे प्रमाण जवळजवळ ६३% इतके असते. नजिकच्या इतिहासात या धातुकाची तस्करीही झाली आणि राजकीय आणीबाणीचेही ते एक कारण बनले.

मात्र बेळ्ळारी कोळशाच्या खाणींपासून खूप लांब आहे. मग ऑक्साईडचे लोखंडात रूपांतर कोण करत होते? कार्बन कुठून येत होता? तर तो येत होता लाकडी कोळशापासून. जळाऊ लाकडे कोळसा बनवण्यासाठी आणि लोखंडाचे धातुक आणि लाकडी कोळसा यांचे मिश्रण भट्टीत गरम करण्यासाठी वापरली जात असत. पण या साध्या क्रियेतून विस्मयजनक परिणाम झाला - एक खास पोत असलेला पृष्ठभाग आणि रंग असलेले स्टील, म्हणजेच वूट्झ स्टील तयार झाले.

वूट्झ स्टील तयार झाल्यावर त्यावर टेंपरिंग ही एक विशिष्ट प्रक्रिया केली की त्याचे गुणधर्म आणखी सुधारतात. या प्रक्रियेत धातू त्याच्या द्रवणांकापेक्षा कमी एका विशिष्ट तापमानापर्यंत तापवला जातो, आणि मग हवेत गार केला जातो. या प्रक्रियेमुळे स्टीलचा टणकपणा कमी होऊन ते लवचीक बनते. अशा रितीने स्टीलला पाहिजे तितका टणकपणा किंवा लवचीकपणा बहाल करता येतो, त्याच्या गुणधर्मांवर नियंत्रण मिळवता येते.

वूट्झ स्टीलचे गुणधर्म इतके वैशिष्ट्यपूर्ण आहेत, की आधुनिक काळात १९२३ मध्ये स्थापन झालेल्या भद्रावती येथील मैसूर आयरन अँड स्टील लिमिटेड यांनीसुद्धा धातुकाचे लोखंडात आणि नंतर स्टीलमध्ये रूपांतर करण्यासाठी लाकडी कोळसाच वापरला.

वूट्झ स्टीलमध्ये विशेष गुणधर्म आहेत. ते मोठा आघात सोसू शकते. तलवारीचे वूट्झ स्टीलचे पाते सैनिकाचे शिरस्त्राण कापून काढू शकते आणि तरीही त्याची धार कमी होत नाही. मुद्दा युद्धाचे गौरवीकरण करण्याचा नाही, तर इतकाच आहे की वूट्झ स्टीलची खास संरचना दमास्कस तलवारीला सौंदर्य बहाल करते, आणि तेच तलवारीच्या विशेष मजबूतपणाचेही कारण आहे.

अठराव्या आणि एकोणिसाव्या शतकामध्ये जसजसा युरोपमध्ये शस्त्रास्त्रांचा उद्योग वाढू लागला, तसतसा तोफ उत्पादकांना तोफांच्या नळ्या बनवण्यासाठी दमास्कस स्टील किंवा वूट्झ स्टीलमध्ये स्वारस्य वाटू लागले. वैज्ञानिकांनी वूट्झ स्टीलच्या गुणधर्मांचा अभ्यास केला पण रासायनिक संरचनेतून त्यांचे स्पष्टीकरण मिळाले नाही. हे कळण्यासाठी रसायनशास्त्र नव्हे तर पदार्थविज्ञान महत्त्वाचे आहे. यासाठी आपल्याला स्टीलमध्ये अणूंची एकमेकांशी जुळणी कशी आहे ते माहित हवे. जेव्हा आपल्याला विसाव्या शतकातल्या वैज्ञानिक प्रगतीमुळे अणू व इलेक्ट्रॉन यांची माहिती झाली, स्फटिकाची रचना समजू लागली

आणि क्ष किरणांच्या साहाय्याने स्फटिकांचा अभ्यास करता यायला लागला, तेव्हा वूट्झ स्टील मागचे विज्ञान समजणे शक्य झाले.

पूर्वीच्या काळी लोकांना धातूपासून मिश्रधातू बनतात हे माहित होते आणि त्यांना वाटत होते की वूट्झ हा पदार्थ असाच मिश्रधातू आहे. पण वूट्झ हा फक्त धातूंचा संयोग नसून एक धातू म्हणजे लोखंड आणि एक अधातू म्हणजे कार्बन यांचा संयोग होता. अशा संयुगांना फेरो-कार्बन किंवा कार्बन स्टील म्हणतात. वूट्झ हे वैशिष्ट्यपूर्ण प्रमाण असलेले फेरो-कार्बन असते. धातुकापासून परिवर्तन होण्याच्या क्रियेमध्ये, लाकडी कोळशामधला कार्बन लोखंडामध्ये अगदी योग्य प्रमाणात सामावला जातो! कार्बनच्या अशा लोखंडाच्या आत झिरपण्याने सूक्ष्म संरचना तयार होतात. यामुळेच धातूच्या पृष्ठभागावर वैशिष्ट्यपूर्ण आकृतीबंध तयार होतात. या सूक्ष्म संरचनाच त्याला मजबुतीही देतात.

वूट्झ स्टीलच्या या गुणधर्माची माहिती ते ज्यांनी सर्वप्रथम तयार केले त्यांना होती. हे अनुभवजन्य ज्ञान होते आणि पुन्हा पुन्हा स्टील बनवण्याची प्रक्रिया करताना वूट्झ स्टीलसाठी योग्य प्रक्रिया सापडली असावी. परंतु तंत्रज्ञान अवगत असले तरी पूर्वीच्या काळच्या स्टील उत्पादकांना या खास स्टील तयार करण्यामागचे विज्ञान माहित असण्याची कोणतीही शक्यता नाही.

लोखंड आणि स्टील यांचा अभ्यास शतकानुशतके चालू आहे आणि त्याला लोह-धातुशास्त्र (फेरस मेटलर्जी) असे म्हणतात. दिल्ली येथील गंजरोधक लोखंडी खांब १६०० वर्षे जुना आहे. त्यामध्ये ९८% लोह आहे आणि त्याला गंजरोधक गुणधर्म देणारे फॉस्फरस जास्त प्रमाणात आहे. हाही या लोह-धातुशास्त्राचाच एक टप्पा होता. हे शास्त्र अनेक शतकानंतर आता प्रगत झाले आहे.

अशाच प्रकारे कार्बनही शतकानुशतके वापरले जाते आहे, पण कार्बनचे जग अजूनही काहीसे गूढ आहे. असामान्य तन्यता आणि इतर वैशिष्ट्यपूर्ण गुणधर्म असलेल्या कार्बन नॅनोट्यूबवर गेली तीन दशके संशोधन सुरू आहे. हिरा कठीण असतो तर ग्राफाईट मऊ. हिरा चमकतो तर कोळसा आणि काजळी काळे असतात! हे सगळे शुद्ध रूपातले कार्बनच आहे! पुढच्या लेखाद्वारे आपण या कार्बनच्या जगात शिरूया.

§§§

लेखक : सव्यसाची चटर्जी, ऑल इंडिया पीपल्स सायन्स नेटवर्कचे अध्यक्ष.

इ-मेल : chatsab99@gmail.com

अनुवाद : संजीवनी आफळे, शैक्षणिक संदर्भ गटात सहभागी.

इ-मेल : saaphale@rediffmail.com

शैक्षणिक संदर्भ अंक ११२ जून-जुलै २०१८, अंक ११३ ऑगस्ट-सप्टेंबर २०१८

तसेच अंक ११९ ऑगस्ट-सप्टेंबर २०१९ हे वैज्ञानिक दृष्टिकोन विशेषांक होते.

हे आणि संदर्भचे इतरही अंक संदर्भ सोसायटीच्या वेबसाईटवर उपलब्ध आहेत.

जरूर वाचा.

www.sandarbhociety.org