

## सुधारित सुपरअलॉय मिळवण्याच्या उद्देशाने बोरॉनच्या सूक्ष्म वर्तनाचा अभ्यास

मिश्रधातूंची उच्च तपमानाखाली चांगल्याप्रकारे टिकाव धरण्याची क्षमता त्यातील बोराइडमुळे वाढत असल्याविषयी संशोधकांनी नवी माहिती दिली.



प्रातिनिधिक प्रतिमा (श्रेय: [Freepik](#) वरून Scientifickly द्वारे रूपांतरण)

[प्रतिमेवरील शब्द: लाल:बोराइड निळे: कार्बाइड]

सुपरअलॉय म्हणजे अतिउच्च तापमान आणि दाबाच्या स्थितींमध्ये दीर्घकाळ टिकून राहण्यासाठी तयार केलेले मिश्रधातू. अशा सुपरअलॉईजचा वापर विमान व अंतराळयान निर्मिती क्षेत्रामध्ये मोठ्या प्रमाणात केला जातो. जेट इंजिनांमधील उच्च-कार्यभार असलेल्या भागांसाठी नेहमी वापरल्या जाणाऱ्या निकेलच्या मिश्रधातूंना आणखी बळकटी देण्यामध्ये बोरॉन या मूलद्रव्याची नेमकी भूमिका समजून घेण्यामध्ये भारतीय तंत्रज्ञान संस्था मुंबई (आयआयटी मुंबई) येथील संशोधकांनी महत्वाची प्रगती केली आहे. या सुपरअलॉईजची कार्यक्षमता त्यांच्यामधील रासायनिक घटकांवर आणि त्यांच्या सूक्ष्मसंरचनेच्या स्थिरतेवर आधारित असते. आणि याचसाठी बोरॉन महत्वाची भूमिका बजावते. बोरॉनमुळे जेट इंजिनातील भागांचा टिकाऊपणा वाढण्यास मदत होते असे लक्षात आले आहे.

या विषयाची पार्श्वभूमी थोडक्यात समजून घेऊया. धातू आणि मिश्रधातू यांच्यामध्ये बहुस्फटिक संरचना असते. म्हणजेच ते बारीक 'कणांचे' बनलेले असतात. या कणांच्या मध्ये असणाऱ्या, एकमेकांना चिकटलेल्या पृष्ठभागांना 'कणसीमा' म्हणतात. या कणसीमांवर बोरॉन काम करते. परंतु, ते मिश्रधातूची कार्यक्षमता नेमकी कशी वाढवते यावर बराच काळ चर्चा सुरू होत्या.

आयआयटी मुंबईच्या धातू अभियांत्रिकी व पदार्थविज्ञान विभागातील ऋचा गुप्ता सांगतात, “अतिउच्च तापमानाखाली कणसीमांमध्ये क्रॅक न्यूक्लियेशन सुरू होऊन त्यामुळे प्रचंड मोठे नुकसान होऊ शकते. बोरॉन या कणसीमांना बळकट करण्यात काय भूमिका बजावते हे समजून घेणे आवश्यक आहे, विशेषतः जिथे सुपरअलॉय वापरले जातात त्या सर्व उद्योगांसाठी.” ऋचा गुप्ता या सदर शोधनिबंधाच्या प्रमुख लेखिका आहेत.

[याआधीच्या एका अभ्यासात](#), आयआयटी मुंबईच्या ऋचा गुप्ता, प्रा. प्रीता पंत आणि प्रा. एम.जे.एन.व्ही. प्रसाद तसेच आयआयटी मद्रास येथील प्रा. के. सी. एच. कुमार यांनी असे सिद्ध केले होते की बोरॉन आणि धातू यांची जी संयुगे असतात, ज्यांना बोराइड म्हणतात, ती कणसीमांमध्ये साधारणपणे गोलाकार, नॅनोकणांच्या स्वरूपात जमा होतात. त्यांच्यामुळे कणसीमांवरील सूक्ष्म-रासायनिक संरचना बदलते व परिणामतः मिश्रधातूचे यांत्रिक वर्तन सुधारलेले दिसते. संशोधकांना असे दिसले की बोराइडमुळे कणसीमांमध्ये कार्बाइडच्या गुठळ्या होणे रोखले जाते आणि परिणामतः मिश्रधातूचे यांत्रिक गुणधर्म जास्त चांगले बनतात. अशा प्रकारे सुपरअलॉयच्या वर्तनामध्ये बोरॉन काय काम करते याविषयीच्या काही महत्वाच्या प्रश्नांची उत्तरे या अभ्यासामार्फत मिळाली.

विशेष म्हणजे, बोराइडच्या या नॅनोकणांच्या रासायनिक संरचनेमध्ये हळूहळू बदल होत जातो असे देखील या अभ्यासामध्ये दिसून आले. दीर्घकाळ उच्च उष्णता मिळत राहिल्याने कालांतराने नॅनोकणांची रासायनिक संरचना बदलत जाते. मिश्रधातूच्या सूक्ष्मसंरचनेचे विश्लेषण करण्यासाठी फील्ड एमिशन गन स्कॅनिंग इलेक्ट्रॉन मायक्रोस्कोप (एफईजी-एसईएम) सारखी उच्च-रिझोल्यूशन असलेली मायक्रोस्कोपी साधने वापरली गेली. तसेच ट्रान्समिशन इलेक्ट्रॉन मायक्रोस्कोप (टीईएम) चा वापर इमेजिंगसाठी व एनर्जी डिस्पर्सिव्ह स्पेक्ट्रोस्कोपी (ईडीएस) चा वापर मूलद्रव्यांच्या विश्लेषणसाठी केला गेला.

[अलीकडील एका अभ्यासामध्ये](#), जनरल इलेक्ट्रिकल (जीई) द्वारे विकसित, GTD444 या नावाने ओळखल्या जाणाऱ्या व बोरॉन वापरून बदल केलेल्या निकेल-आधारित सुपरअलॉयवर उच्च तापमानातील एजिंग ट्रीटमेंटचा काय प्रभाव दिसतो याबाबत संशोधकांना अधिक सखोल माहिती मिळाली. या अभ्यासाचा मुख्य विषय होता कणसीमांमध्ये जमा होणारे सूक्ष्म कणांच्या स्वरूपातील अवक्षेप (प्रिसिपिटेट्स). या अवक्षेपांमुळे उच्च तापमानाच्या स्थितीमध्ये यंत्राच्या भागाच्या आयुर्मर्यादेवर मोठ्या प्रमाणात प्रभाव पडतो.

जेट इंजिनांमधील टर्बाइन ब्लेड साधारणपणे ९०० डिग्री सेल्सियस इतक्या उच्च तापमानाखाली काम करत असतात. जेट इंजिनांसारखी स्थिती प्रयोगशाळेत तयार करून, उच्च तापमानाखाली हे सूक्ष्मकण कसे बदलतात हे तपासण्यासाठी संशोधकांनी अणू प्रोब टोमोग्राफीसह हाय-रिझोल्यूशन कॅरॅक्टरायझेशन केले. या प्रयोगातून काही विशिष्टपूर्ण निरीक्षणे समोर आली. संशोधकांना असे दिसले की बोरॉन वापरून बदल केलेल्या GTD444 चे ९०० °C खाली एजिंग केले असता ८० तास बोराइड स्थिर राहिले. यानंतर बोराइड कणांचे कार्बाइड या आणखी एका प्रकारच्या कणांमध्ये रूपांतरण झाले. या प्रयोगामध्ये सापडलेल्या दोन प्रकारच्या कार्बाइडना  $M_{23}C_6$  आणि  $M_6C$  अशी नावे देण्यात आली.  $M_6C$  मध्ये क्रोमियम, टंगस्टन, मॉलेब्डेनम, आणि कोबाल्ट व निकेलचे अणू २:१ या प्रमाणात असून  $M_{23}C_6$  हे जास्त प्रमाणात क्रोमियम व कमी प्रमाणात टंगस्टन आणि मॉलेब्डेनम असलेले कार्बाइड आहे. पुढे संशोधकांना असे लक्षात आले की,

कणसीमांच्या आजूबाजूला क्रोमियमचे प्रमाण किती आहे यावर बोराइडची कार्बाइडमध्ये रूपांतर होण्याची प्रक्रिया अवलंबून असते. क्रोमियमचे प्रमाण साधारणपणे ८.६ टक्के इतपत कमी होईपर्यंत बोराइड स्थिर राहतात.

संशोधकांना पुढे असे लक्षात आले की बोराइडचे कार्बाइडमध्ये रूपांतरण झाल्यानंतर धातूचे सामर्थ्य (स्ट्रेन्थ) कमी झाले परंतु, तन्यता (डक्टिलिटी) वाढली. तन्यता म्हणजे पदार्थाची भंग न पावता ताणले जाण्याची क्षमता. यावरून असा अंदाज बांधता येतो की बोराइड असो किंवा कार्बाइड, पदार्थाच्या कणसीमांमध्ये जर वेगवेगळे कण उपस्थित असतील तर पदार्थ कणसीमांवर भंग पावण्याची प्रक्रिया रोखली जाते.

ऋचा गुप्ता सांगतात, “ धातूमध्ये बोरॉन अतिशय कमी प्रमाणात मिसळले जाते, शिवाय हे अतिशय हलके मूलद्रव्य आहे. त्यामुळे त्याचे संख्यात्मक आणि गुणात्मक निर्धारण करणे हे एक आव्हान असते. इलेक्ट्रॉन मायक्रोस्कोपमध्ये उच्च-तापमानाखाली स्वस्थानी विरूपण प्रयोग (इन-सीच्यू डिफॉर्मेशन) करून बोरॉनच्या वर्तनाचा अभ्यास केला जाऊ शकतो.” त्या पुढे म्हणतात, “बोरॉनचे प्रमाण वेगवेगळे असलेल्या नमुन्यांवर असे प्रयोग करून त्यांचा अभ्यास देखील केला गेला पाहिजे. यातून कणसीमा अधिक सामर्थ्यशाली बनवण्यात आणखी कोणकोणत्या घटकांचे योगदान असते हे शोधता येईल, जसे की घटकांचे पृथक्करण, अवक्षेपण आणि चुकीचे दिशाभिमुखन (मिसओरिएंटेशन).”

प्रा. प्रीता पंत शेवटी सांगतात, “आमच्या संशोधनाद्वारे बोराइड काळानुसार कसे विकसित आणि रूपांतरित होत जाते तसेच पदार्थाच्या यांत्रिक गुणधर्मांवर त्याचा कसा परिणाम होतो याविषयी महत्वाची माहिती मिळाली. निकेलच्या मिश्रधातूंचे विरूपण (डीफॉर्मेशन) रोखण्यासाठी किंवा भंग न पावता टिकून राहण्याची त्यांची क्षमता वाढवण्याच्या दृष्टीने त्यांच्यात बोराइड विकसित होण्याच्या प्रक्रियेचा अभ्यास महत्वाचा आहे. मिश्रधातूंची सूक्ष्मसंरचना अनुकूल करणे आणि त्यांची उच्च तापमानाखाली टिकून राहण्याची क्षमता वाढवणे यासाठी ही माहिती अतिशय मोलाची ठरेल.”

अंतराळयान व विमान निर्मिती तसेच ऊर्जा निर्मितीसारख्या उद्योग क्षेत्रांसाठी हे संशोधन विशेष महत्वाचे आहे कारण या क्षेत्रांमध्ये उच्च-दाब व उच्च-तापमान स्थितींमध्ये काम करणाऱ्या भागांसाठी मिश्रधातू म्हणजेच सुपरअलॉईजचा वापर मोठ्या प्रमाणात केला जातो.

<b>VETTED / UNVETTED</b>	Vetted
<b>Title of Research Paper</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Compositionally graded nano-sized borides in a directionally solidified nickel-base superalloy</li> <li>2. Transformation of borides in directionally solidified nickel base superalloy and its mechanical response</li> </ol>

<b>DOI of the Research Paper as a link</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135964622100261X">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135964622100261X</a></li> <li>2. <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925838823012999">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925838823012999</a></li> </ol>
<b>List of all researchers with affiliations</b>	<p>Richa Gupta<sup>a</sup>, Sanjit Bhowmick<sup>b</sup>, K.C. Hari Kumar<sup>c</sup>, M.J.N.V. Prasad<sup>a</sup>, Prita Pant<sup>a</sup></p> <p>a Department of Metallurgical Engineering and Materials Science, Indian Institute of Technology Bombay, Powai, Mumbai 400076, India</p> <p>b Bruker Nano, Inc., Minneapolis, MN 55344, USA</p> <p>c Department of Metallurgical and Materials Engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai, Tamil Nadu 600036, India</p> <p>ऋचा गुप्ता<sup>a</sup>, संजित भौमिक<sup>b</sup>, के. सी. हरी कुमार<sup>c</sup>, एम. जे. एन. व्ही. प्रसाद<sup>a</sup>, प्रीता पंत<sup>a</sup></p> <p>a धातू अभियांत्रिकी व पदार्थविज्ञान विभाग, भारतीय तंत्रज्ञान संस्था, पवई, मुंबई ४०००७६, भारत</p> <p>b ब्रूकर नॅनो, इंक., मिनेपोलिस, एमएन ५५३४४, यूएसए</p> <p>c धातू अभियांत्रिकी व पदार्थविज्ञान विभाग, भारतीय तंत्रज्ञान संस्था मद्रास, चेन्नई, तामिळनाडू ६०००३६, भारत</p>
<b>Email of researcher/s</b>	Prita Pant <pratapant@iitb.ac.in> , Richa Gupta < <a href="mailto:g.richa@iitb.ac.in">g.richa@iitb.ac.in</a> >
<b>Writer name</b>	<a href="#">Sudhira HS</a> सुधीरा एच एस
<b>Transcreator name</b>	Shweta Bhide श्वेता भिडे
<b>Credits to Graphic:</b>	<a href="#">Freepik</a> and modified by Scientifickly
<b>Subject [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED (Multiple allowed)</b>	<b>Science/Technology/Engineering</b> /Ecology/Health/Society
<b>Article to be Sectioned Under [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED</b>	<b>Deep Dive</b> /Friday Features/Fiction Friday/Joy of Science/News+Views/News/Scitoons/Catching up/OpEd/Featured/Sci-Qs/Infographics/Events
<b>Social Media TAGS separated by Comma</b>	

<p><b>Social Media Posts Suggestions/ Links to interesting relevant content [optional] [writer]</b></p>	<p>1. Facebook/ LinkedIn Post: Researchers have cracked a long standing mystery about boron's role in Ni-base superalloys! The game-changer element boron is present in the form of nearly spherical nano-sized borides, paving the way for enhanced high temperature properties of superalloys. This opens up new horizons in material science and industrial applications that use these superalloys. Read all about it here! #MaterialScience #BoronSuperMystery #SuperAlloys #NanoBorides #Research</p> <p>2. Tweet: Breakthrough: Boron shines in its nano-roles in Ni-base superalloys! It's not just present, it's transforming and enhancing the game for high-temperature performance. Discover all about it - #Boron #SuperAlloys #MaterialScience #ResearchBreakthrough.</p>
<p><b>Social Media Handles to be added</b></p>	<p>@iitbombay</p>
<p><b>Social Media handles of writer</b></p>	<p>@Sudhira</p>
<p><b>Social Media handles of researchers</b></p>	
<p><b>Location:</b></p>	<p>Mumbai</p>