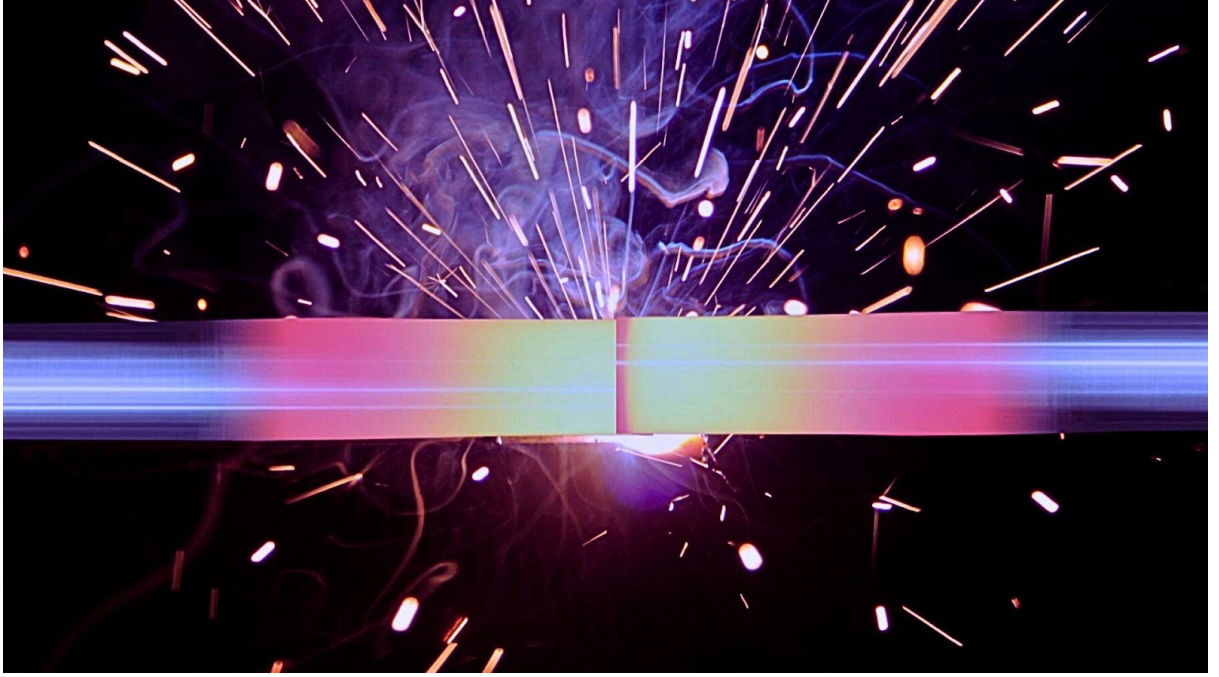


फ्रिक्शन वेल्डिंग वरील नवीन संशोधन: फक्त आकारात बदल करून वेल्डमध्ये लक्षणीय सुधारणा

संशोधकांनी विकसित केले फ्रिक्शन वेल्डिंग पद्धतीमधील जोड मजबूत करण्याचे साधे आणि नावीन्यपूर्ण तंत्र. दोनपैकी एका पृष्ठभागावर निमुळते टोक तयार करून साधली किमया.



प्रतिमा श्रेय: गुब्बी लॅब्स

हजारो वर्षांपासून जेव्हा मध्ययुगीन लोहार तापून लाल झालेला धातू ठोकून काढत, तेंव्हापासून मानवजातीने वेगवेगळे धातू एकत्र सांधण्याचे किंवा जोडायचे, म्हणजेच 'वेल्डिंग' चे तंत्र आत्मसात केले आणि पुढे अवजारे, वेगवेळ्या संरचना आणि अखेरीस गुंतागुंतीच्या यंत्रांचे शोध लावले. आधुनिक वेल्डिंग मध्ये साधे आगीवर तापवून ठोकणे या पलीकडील अनेक प्रकारच्या तंत्रांचा समावेश आहे. उदाहरणार्थ, रोटरी फ्रिक्शन वेल्डिंग (घर्षण-आधारित फिरते वेल्डिंग) ही 'घन अवस्थेतील' एक आधुनिक प्रक्रिया आहे. यामध्ये धातू विलयबिंदू पर्यंत न तापवता धातूचा एक उच्च वेगाने फिरणारा रॉड किंवा गज दुसऱ्या स्थिर रॉड वर दाबला जातो. त्यांच्यातील घर्षणाने उष्णता निर्माण होते. परंतु ही उष्णता धातू वितळण्याएवढी नसते तर धातूचा पृष्ठभाग मऊ करण्यासाठी पुरेशी असते. पुरेसे बल लावले असता मऊ झालेले धातू एकत्र चिकटतात, आणि घन अवस्थेतील जोड, म्हणजेच सॉलिड-स्टेट वेल्ड (solid-state weld) तयार होतो.

रोटरी वेल्डिंग मधील त्रुटींचे निराकरण करण्यासाठी आणि जोड सुधारण्यासाठी संशोधक सतत काम करत आहेत. नवीन [अभ्यासानुसार](#), भारतीय तंत्रज्ञान संस्था (आयआयटी) मुंबई, इस्रो प्रॉपल्शन कॉम्प्लेक्स, भारतीय अंतराळ संशोधन संस्था (IPRC-ISRO), आणि डिफेन्स मेटलर्जिकल रिसर्च लॅबोरेटरी (DMRL) च्या संशोधकांनी रोटरी फ्रिक्शन वेल्डच्या जोडाला सुधारण्यासाठी साधी आणि अनोखी पद्धत विकसित केली आहे. विशेषतः वायूअवकाश (एरोस्पेस), संरक्षण आणि इतर औद्योगिक अनुप्रयोगांमध्ये सामान्यपणे वापरले जाणारे धातू स्टेनलेस स्टील (SS321) आणि टायटॅनियम मिश्रधातू (Ti6Al4V) यांचा जोड सुधारण्यासाठी त्यांनी काम केले आहे.

स्टील आणि टायटॅनियम सारखे दोन भिन्न धातू जोडण्यामुळे बऱ्याचदा वेल्डच्या आंतरपृष्ठावर धातुशास्त्रीय विसंगती (मेटालर्जिकल इनकम्पॅटिबिलिटी) निर्माण होते. वेल्डिंग प्रक्रियांच्या उष्णतेमुळे आणि दाबामुळे दोन्ही धातूंचे अणू वेल्डची सीमा ओलांडून विखुरतात आणि त्यांच्यात अभिक्रिया होऊन आंतरधातवीय संयुगे (इंटरमेटॅलिक कंपाऊंड्स; IMCs) तयार होतात. त्यामुळे तयार होणारा पदार्थ औद्योगिक वापरासाठी अनुरूप नसतो. उदाहरणार्थ, स्टील आणि टायटॅनियमच्या बाबतीत तयार होणारे आयर्न-टायटॅनियम (Fe-Ti) IMC ठिसूळ असतात आणि त्यात सहजपणे सूक्ष्म भेगा पडू शकतात. त्यामुळे वेल्डिंगचा जोड कमकुवत होतो. ही समस्या सोडवण्यासाठी स्टील आणि टायटॅनियमच्या मध्ये निकेलचा एक पातळ थर घातला जातो.

“निकेल (Ni) ठिसूळ Fe-Ti IMC ला तयार होण्यापासून रोखतो. एवढेच नव्हे तर Ni मुळे अधिक लवचिक Ni-Ti IMCs तयार होण्यासाठी देखील चालना मिळते आणि जोडाची मजबूती सुधारते,” असे या अभ्यासाचे नेतृत्व करणारे डॉ. नीरज कुमार मिश्रा यांनी स्पष्ट केले. त्यांनी आयआयटी मुंबईच्या यांत्रिकी अभियांत्रिकी विभागातील प्रा. अंबर श्रीवास्तव यांच्या मार्गदर्शनाखाली पीएचडीचे संशोधन कार्य केले.

आंतरथरासाठी (इंटरलेयर) निकेलचा वापर करणे मात्र एक मोठे आव्हान आहे. फ्रिक्शन वेल्डिंग प्रक्रियेमध्ये स्वाभाविकपणे बऱ्याच प्रमाणात प्लास्टीसाईझ्ड पदार्थाचा फ्लॅश तयार होतो (वेल्डिंग करताना तयार झालेला पदार्थ). त्यात सांध्यामधून दबून बाहेर आलेल्या निकेलच्या आंतरथराचाही समावेश असतो. सामान्यपणे फ्लॅश टाकाऊ पदार्थ असतो आणि मशीनने काढून टाकला जातो. यासाठी अतिरिक्त प्रक्रिया करावी लागते, शिवाय धातू वाया जातो. अशा प्रकारे आत घालण्यात येणारा थर गुंतागुंत आणि प्रक्रियेचा खर्च वाढवतो. तीव्र विरूपण (डिफॉर्मेशन) होताना आणि वेल्डिंग सायकलच्या वेळी तापताना पुरेशी जाडी राखण्यावर आणि वेल्डच्या एकसंधतेवर त्याची कार्यक्षमता मोठ्या प्रमाणात अवलंबून असते.

नवीन अभ्यासात संशोधकांनी फ्लॅश तयार झाल्याने धातू वाया जाण्यावर आणि निकेलच्या आतील थराची जाडी राखण्यावर एक साधा उपाय शोधला. त्यांनी दोन रॉड्स जेथे एकत्र येतात त्या पृष्ठभागाचा आकार बदलला जेणेकरून फ्लॅश बाहेर ढकललाच जाणार नाही. त्यांनी दोन पैकी एका पृष्ठभागावर निमुळते टोक तयार केले, या ठिकाणी टायटॅनियम वर. या आकारामुळे जेव्हा रॉड्स एकमेकांवर दाबले जातात तेव्हा बाहेरच्या कडांपाशी पोकळी निर्माण झाली.

निमुळते टोक टायटॅनियमच्या बाजूला करण्याविषयी प्रा. श्रीवास्तव म्हणाले, “या अभ्यासात Ti6Al4V ची बाजू निमुळती केली कारण स्टेनलेस स्टील पेक्षा Ti मऊ आहे आणि जास्त सहजपणे विरूपित किंवा वाकडे होते. यामुळे अखंड आणि एकसारखा आंतरपृष्ठीय जोड खात्रीशीरपणे मिळतो.”

प्रा. श्रीवास्तव यांच्या म्हणण्यानुसार, “धातूंच्या पृष्ठभागाचा भूमितीय आकार उष्णतेच्या निर्मितीमध्ये, सामग्रीच्या प्रवाहामध्ये (मटेरियल फ्लो) आणि फ्लॅश साठवून ठेवण्यात निर्णायक भूमिका बजावतो. सपाट आणि निमुळत्या पृष्ठभागाच्या जोडीमुळे जोड सुधारतो. यामध्ये पोकळी तयार होते ज्यात उच्च विरूपित धातू (ज्याच्यापासून फ्लॅश पदार्थ तयार होतो) अडकतो आणि पुढे त्याचे स्थायी विरूपण (प्लास्टिक डिफॉर्मेशन) होते आणि तो सांध्यातच राहतो. त्यामुळे जोडावर जास्त चांगल्या प्रतीचे कण (ग्रेन) तयार होतात आणि अधिक चांगले यांत्रिक गुणधर्म मिळतात.”

संशोधकांनी त्यांच्या पद्धतीची कार्यक्षमता तपासून पाहण्यासाठी रोटरी फ्रिक्शन वेल्डिंग मशीन वापरून स्टेनलेस स्टील (SS321) आणि टायटॅनियम मिश्रधातू (Ti6Al4V) यांच्या रॉड्सच्या रोटरी वेल्डिंगचे प्रयोग केले. त्यांनी दोन परिस्थितींची तुलना केली: पहिली, दोन्ही धातूंचे सपाट पृष्ठभाग, म्हणजे नेहमीप्रमाणे टोकाला सपाट पृष्ठभाग असलेले रॉड्स वापरले. दुसरी, एक सपाट-एक निमुळता पृष्ठभाग

ज्यात टायटॅनियम रॉडला निमुळते टोक होते. दोन्ही ठिकाणी निकेलचा एक पातळ थर SS321 आणि Ti64 रॉड्सच्या मध्ये देण्यात आला.

वेल्डिंग झाल्यावर, सर्वात जास्त तापणाऱ्या आणि विरूपित होणाऱ्या भागाजवळ म्हणजेच सांध्याच्या परिघाजवळ नमुने घेण्यात आले आणि इलेक्ट्रॉन बॅक स्कॅटेड डिफ्रॅक्शन (EBSD) पद्धत वापरून त्यांचे परीक्षण करण्यात आले. EBSD ने पदार्थाच्या वेगवेगळ्या अवस्था, स्फटिकमय कणांचा (ग्रेन) आकार व अभिमुखता (ओरिएंटेशन) व आंतरिक ताणाचे प्रमाण बघता येते. संशोधकांनी सांध्याची मजबूती मोजण्यासाठी वेल्ड केलेल्या रॉड्सवर ते तुटेपर्यंत ताण वाढवत नेऊन तन्यता चाचण्या केल्या. तसेच त्यांनी भंगलेल्या पृष्ठभागाचे एनर्जी डिस्पर्सिव्ह स्पेक्ट्रोस्कोपी (EDS) ने सुसज्ज असलेल्या स्कॅनिंग इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शकाखाली (SEM) परीक्षण केले. ही पद्धत पृष्ठभागाची रचना आणि धातूचा जोड तयार होताना तयार होणाऱ्या छोट्या रासायनिक अवस्था दाखवते.

संशोधकांच्या गटाने निमुळत्या भागाची लांबी आणि कोन यासारखी विविध परिमाणे बदलून सर्वोत्तम परिणाम मिळतील याची खात्री केली. विशेषतः त्यांना फ्लॅश एकसारखा व दोषरहित पद्धतीने अडकेल याची खात्री करायची होती. तसेच आंतरथराची इष्टतम जाडी ठरवणे, आंतरपृष्ठावर प्रमाणाबाहेर उष्णता तयार होण्यापासून रोखणे, निमुळत्या भागाची लांबी आणि जोडल्या जाणाऱ्या पृष्ठभागाचा कमीतकमी व्यास (मिनिमम मेटिंग डायमीटर) ठरवणे या बाबी त्यांना सुनिश्चित करायच्या होत्या. दोन धातूंमध्ये मजबूत वेल्ड तयार होण्यासाठी या परिमाणांचे त्यांनी काळजीपूर्वक इष्टतमीकरण (ऑप्टिमायझेशन) केले.



प्रतिमा: a) SS321-Ni आंतरथर; b) सुधारित मेटिंग आंतरपृष्ठ; c) निमुळती-सपाट जोडी: सुधारित आंतरपृष्ठाची रचना; d) सपाट-सपाट जोडी: आंतरपृष्ठ रचना; स्रोत: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2024.12.010>

याचे परिणाम लक्षणीय होते. सपाट-निमुळत्या जोडाची रचना फक्त फ्लॅश जमा करण्यातच नव्हे तर पारंपरिक सपाट-सपाट जोडाच्या तुलनेत पाचपट जाड निकेलचा आंतरथर राखण्यात सुद्धा सर्वात जास्त प्रभावी ठरली. सपाट-निमुळत्या जोडाच्या EBSD आणि EDS विश्लेषणातून दिसले की टिकून राहिलेल्या निकेलच्या आंतरथराची जास्त असलेली जाडी आयर्न (लोह) आणि टायटॅनियमना एकमेकात मिसळण्यापासून रोखण्यात यशस्वी झाली. यामुळे इतर परिस्थितींमध्ये त्रासदायक ठरणाऱ्या ठिसूळ Fe-Ti IMCs च्या निर्मितीला इथे प्रतिबंध झाला.

सपाट-निमुळत्या आंतरपृष्ठ असलेल्या सांध्यांच्या ताण सहन करण्याच्या शक्तीमध्ये सुद्धा लक्षणीय सुधारणा दिसली. सरासरी बघता ती ३३४.७ मेगापास्कल (MPa) होती. पारंपरिक सपाट-सपाट

आंतरपृष्ठाच्या (१६३.३ MPa) तुलनेत उल्लेखनीय म्हणजे १०५% सुधारणा झाली. भंगपरीक्षणानुसार (फ्रॅक्टोग्राफी: भेगा पडलेल्या पृष्ठभागाचा अभ्यास), सपाट-सपाट जोडामध्ये धातू एकमेकात मिसळल्यामुळे Fe-Ti IMC च्या खुणा आढळल्या. त्यामुळे ते जोड ठिसूळपणे तुटले. याउलट सपाट-निमुळता जोड प्रामुख्याने Ni-Ti आंतरपृष्ठाजवळ तुटला. तेथे फारसे आयर्न न आढळल्यामुळे, आंतरथराची पकड भक्कम असल्याचे सिद्ध झाले.

रचनेच्या सूक्ष्मसंरचनात्मक विश्लेषणाने (मायक्रोस्ट्रक्चरल ॲनालिसिस) दाखवून दिले की पोकळीत जमा झालेल्या फ्लॅशवर डायनॅमिक रिक्रिस्टलिझेशन नावाची घटना घडते. अतिउच्च तापमान आणि दाबामुळे धातूचे डायनॅमिक रिक्रिस्टलिझेशन होते. यामध्ये गरम आणि विरूपित झाले असतानाच त्यांच्या ग्रेन (कण) संरचनेची बारीक आणि अनियमित आकृतिबंधात पुनर्रचना किंवा पुनःस्फटन होते. नेहमीच्या जोडाशी तुलना केल्यास, नवीन पद्धतीने, विशेषतः टायटॅनियमच्या बाजूस, बारीक ग्रेन मिळाले. बारीक ग्रेन वेल्डची ताण सहन करण्याची शक्ती वाढवतात. तरीसुद्धा, “विरूपण ताण (डिफॉर्मेशन स्ट्रेन), ताणाचा दर (स्ट्रेन रेट) आणि प्रक्रियेतील प्राचलांचे (पॅरामीटर्स) इष्टतमीकरण यांचा अभ्यास केल्यास पुनःस्फटनावर अधिक नियंत्रण मिळेल आणि जोडाची कार्यक्षमता आणखी वाढेल,” डॉ. मिश्रांनी नमूद केले.

या अभ्यासातून असे दिसून येते की काहीवेळा मजबूत जोड किंवा सांधण मिळवण्याचा उपाय फक्त पदार्थामध्येच नाही तर त्यांच्यातील जागेचा आकार चतुरपणे बदलण्यात देखील असू शकतो. जरी या अभ्यासाने विशिष्ट स्टील-टायटॅनियम-निकेल धातूंच्या एकत्रित वापरावर आणि त्यांच्या परिधीय गुणधर्मांवर लक्ष केंद्रित केले असले तरी आंतरपृष्ठाची रचना किंवा आकार बदलून फ्लॅशला नियंत्रित करण्याचे मुख्य तत्त्व आणि आंतरथराचे वर्तन हा विविध पदार्थांच्या प्रणालींमधील फ्रिक्शन वेल्डसाठी आशादायक मार्ग आहे.

“या तंत्राचा इतर भिन्न भिन्न पदार्थांच्या जोड्यांसाठी विस्तार केला पाहिजे. तसेच, निमुळत्या भागाचा कोन, आंतरथराची जाडी, आणि प्रक्रियेतील प्राचलांचा जोडाच्या कार्यक्षमतेवरील प्रभाव अभ्यासण्यासाठी प्रतिरूपे (मॉडेल्स) विकसित करण्याची गरज आहे,” प्रा. श्रीवास्तव यांनी संशोधन अधिक चांगले करण्यासाठी पुढील मार्ग सांगितला.

VETTED / UNVETTED	Vetted
Title of Research Paper	Interface geometry modification to trap plasticized flash for improved joint strength of dissimilar rotary friction welds
DOI of the Research Paper as a link	https://doi.org/10.1016/j.dt.2024.12.010
List of all researchers with affiliations	Neeraj Kumar Mishra - Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Bombay S.G.K. Manikandan - ISRO Propulsion Complex Suresh Meshram - Defence Metallurgical Research Laboratory Amber Shrivastava - Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Bombay

VETTED / UNVETTED	Vetted
Email of researcher/s	Amber Shrivastava <ashrivastava.me@iitb.ac.in>
Writer name	Dennis Joy
Transcreator name	Deepti Phatak
Credits to Graphic:	Lead image: Gubbi Labs Source of Inline image: study
Subject [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED (Multiple allowed)	Science/ Technology/Engineering /Ecology/Health/Society
Article to be Sectioned Under [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED	Deep Dive /Friday Features/Fiction Friday/Joy of Science/News+Views/News/Scitoons/Catching up/OpEd/Featured/Sci-Qs/Infographics/Events
Social Media TAGS separated by Comma	#Welding, #RotaryFrictionWelding, #SteelTitanium, #IntermetallicCompounds
Social Media Posts Suggestions/ Links to interesting relevant content [optional] [writer]	1. Researchers develop a simple and innovative technique to improve the bonding in friction welding method by creating a tapered end on one of the surfaces. Read details at <link> 2. The solution to a stronger weld can lie in the smarter shaping of the space between the materials and not just the choice of materials. Researchers focus on a specific steel-titanium-nickel combination in rotary friction welding and can be expanded for other materials. More at <link>
Social Media Handles to be added	@iitbombay
Social Media handles of writer	
Social Media handles of researchers	https://www.linkedin.com/in/amber-shrivastava-6752322b/
Funding information (Source: Research paper)	Received financial and material support from the ISRO Propulsion Complex (IPRC).
Conflict of Interest/Competing	The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

VETTED / UNVETTED	Vetted
Interest information (Source: Research paper)	
Co-PI information (Source: Research paper)	
Location:	Mumbai