

लोखंडावरील संरक्षणात्मक कोटिंग्ज झिजण्याचा दर मोजण्यासाठी आयआयटी मुंबईचे नवे तंत्रज्ञान

दोन भिन्न विद्युतरासायनिक तंत्रांचा एकत्रित उपयोग करून संशोधकांनी औद्योगिक दृष्ट्या महत्वाच्या धातूवरील कोटिंग्जचा न्हास किती वेगाने होतो याचे प्रभावीपणे मूल्यांकन केले.



प्रातिनिधिक प्रतिमा: श्रेय [Pixabay](#) वरून [peter731](#)

धातूंचे कालांतराने क्षरण किंवा झीज (करोजन) होते. काही धातूंची झीज इतरांपेक्षा अधिक होते. उदाहरणार्थ, लोखंड काही दिवसांतच गंजते, तर सोने आणि चांदी खराब होण्यासाठी दशक किंवा शतकं लागतात. अशा झिजेपासून धातूंचे संरक्षण करण्यासाठी बऱ्याचदा त्यांच्यावर एक संरक्षणात्मक लेपन (कोटिंग) दिले जाते, उदाहरणार्थ आपल्या गाड्यांवरील रंग. ऑर्गॅनिक किंवा कार्बनी कोटिंग वापरणे हा धातूंचे संरक्षण करण्याचा एक आणखी प्रभावी मार्ग आहे. कार्बनी कोटिंग्स म्हणजे कार्बन-आधारित पॉलिमरिक पदार्थांचे लेप, जे नैसर्गिक किंवा कृत्रिम असू शकतात. हे लेप रंग किंवा वार्निशच्या स्वरूपात धातूवर चढवले जातात. [गूँड व्ह्यू रिसर्च](#)च्या अलीकडील एका विश्लेषण अहवालानुसार, या प्रकारच्या क्षरण प्रतिबंधक उत्पादनांचा बाजार 8.93 अब्ज अमेरिकन डॉलरचा आहे आणि त्यात 2025 ते 2030 या कालावधीत वार्षिक 3.6% वाढ होण्याचा अंदाज आहे.

कार्बनी कोटिंग्सची कार्यक्षमता काळानुसार कमी होते ज्यामुळे धातूला हानी पोहोचते. कोटिंगमध्ये छिद्रे आणि दोष असल्याने असे होते. कोटिंग जुने होते तसे हळू हळू त्यातून पाणी आणि ऑक्सिजन झिरपून लेपनाखालील धातूच्या पृष्ठभागापर्यंत पोहोचते आणि धातूचे क्षरण करते. 'ऑक्सिजन क्षपण अभिक्रिये'मुळे (ऑक्सिजन रिडक्शन रिअॅक्शन; ORR) कोटिंग हळू हळू झिजत जाते. या मूलभूत

अभिक्रियेमध्ये ऑक्सिजनच्या अणूपासून पाणी, हायड्रोजन पेरॉक्साइड किंवा हायड्रॉक्सिल आयन्स बनतात. फ्युएल सेल किंवा मेटल-एअर बॅटरी सारख्या विविध विद्युतरासायनिक (इलेक्ट्रोकेमिकल) उपकरणांमध्ये ही प्रक्रिया घडत असते. कोटिंग खराब होऊन किती लवकर धातूचे क्षरण होईल याचा अंदाज येण्यासाठी ऑक्सिजन क्षपण अभिक्रिया किती वेगाने होते हे समजणे महत्वाचे आहे. हे ज्ञान अनेक औद्योगिक अनुप्रयोगांमध्ये अत्यंत गरजेचे आहे.

लीनियर स्वीप वोल्टामेटी आणि पोटॅन्शियोडायनॅमिक पोलरायझेशन सारखी विद्युतरासायनिक पद्धतीची पारंपरिक तंत्रे ऑक्सिजन क्षपण अभिक्रियेचा दर मोजण्यासाठी वापरली जातात. यांत रासायनिक अभिक्रियांमधून विद्युत ऊर्जा निर्माण होते किंवा वापरली जाते. लीनियर स्वीप वोल्टामेटीमध्ये, धातूवर सतत बदलणारा विद्युत दाब (व्होल्टेज) दिला जातो, आणि त्याला प्रतिसाद म्हणून निर्माण झालेली विद्युत धारा मोजली जाते. परिणामी विद्युत धारा आणि विद्युत दाब यांचा परस्पर संबंध दर्शवणारा आलेख तयार केला जातो ज्यावरून धातूवर ऑक्सिजन क्षपण अभिक्रिया किती वेगाने होऊ शकते याबाबत माहिती मिळू शकते. कोटिंग (लेपन) केलेल्या धातूमध्ये मात्र विद्युत धारा निर्माण करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या आयनांना कार्बनी कोटिंगज रोखतात. त्यामुळे कोटिंग किती वेगाने खराब होईल याचा अंदाज केवळ कोटिंग्स मध्ये आधी पासून असलेल्या अगदी बारीक छिद्रांमध्ये निर्माण झालेल्या विद्युत धारेच्या आधारावर बांधला जातो. प्रत्यक्षात धातू आणि कोटिंगच्या मध्ये स्थित अंतरपृष्ठावर (इंटरफेस) होणारे क्षरण यातून नेमके लक्षात येत नाही.

साधारण दोन वर्षांपूर्वी, भारतीय तंत्रज्ञान संस्थान मुंबई (आयआयटी मुंबई) च्या धातूकर्म अभियांत्रिकी आणि पदार्थविज्ञान विभागातील प्राध्यापक विजयशंकर दंडपाणी यांच्या नेतृत्वाखाली संशोधकांनी क्षरणापासून संरक्षणासाठी वापरल्या जाणाऱ्या कार्बनी कोटिंगजच्या कार्यक्षमतेचे विश्लेषण करण्यासाठी एक सुधारित परिमाणात्मक पद्धत तयार केली.

आयआयटी मुंबईच्या या नाविन्यपूर्ण पद्धतीमध्ये संशोधकांनी हायड्रोजन परमिएशन-आधारित पोटॅन्शियोमेट्री (HPP) आणि इलेक्ट्रोकेमिकल इम्पीडन्स स्पेक्ट्रोस्कोपी (EIS) तंत्र एकत्रित वापरले. HPP सेटअपमध्ये, संशोधक धातूच्या एका बाजूवर विद्युत धारा देतात ज्यामुळे हायड्रोजन निर्माण होतो. नंतर हायड्रोजन अणू धातूमधून पार होतात आणि ऑक्सिजन असलेल्या दुसऱ्या बाजूवर मोजल्या जाणाऱ्या इलेक्ट्रोकेमिकल विभवात बदल घडवतात. अशाप्रकारे, धातूमधून पार झालेल्या हायड्रोजनचे प्रमाण ऑक्सिजन क्षपण अभिक्रियेचा दर मोजण्यासाठी सेन्सर म्हणून वापरले जाते.

EIS एक असे तंत्र आहे ज्यात एखादा पदार्थ विद्युत संकेतांना कसा प्रतिसाद देतो याचे विश्लेषण करता येते. पदार्थावर एसी (प्रत्यावर्ती) विद्युत दाब दिला जातो आणि त्यामुळे निर्माण होणारी विद्युत धारा मोजली जाते. विद्युत दाब आणि धारा यावरून पदार्थाचा संरोध (इम्पीडन्स) काढता येतो. धातूच्या पृष्ठभागावर घडणाऱ्या विविध प्रक्रियांशी संबंधित संरोध मूल्यांचे एसी सिग्नलच्या विशिष्ट वारंवारतेवर निरीक्षण केले जाऊ शकते आणि यात हायड्रोजन प्रेरित ऑक्सिजन क्षपण अभिक्रियेची प्रगती समाविष्ट असते.

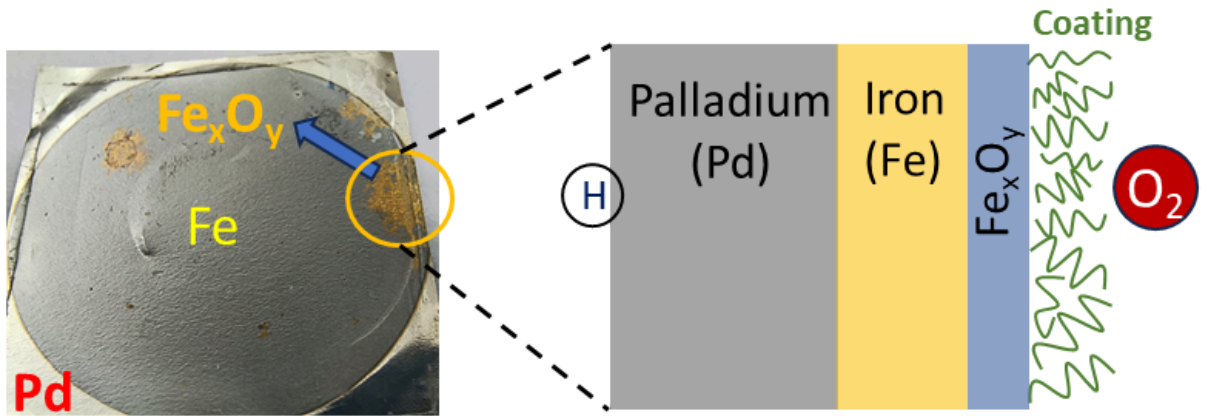
HPP आणि EIS तंत्रज्ञानाचे संयुक्त वापर करून संशोधक कार्बनी कोटिंग आणि धातूच्या मधील अंतरपृष्ठावरील क्षरण दरांचे मापन करू शकले. HPP मध्ये हायड्रोजन किती प्रमाणात पारगमन (परमिएशन) किंवा शिरकाव करतो ते मोजता येते, तर हायड्रोजनच्या पारगमनामुळे लेपन केलेल्या धातूचा कसा क्षय होतो याबद्दल माहिती EIS तंत्र वापरून मिळते.

“हायड्रोजन पर्मियेशन-आधारित पोटेन्शियोमेट्री पद्धतीचे निष्कर्ष मजबूत करण्यासाठी इलेक्ट्रोकेमिकल इम्पीडन्स स्पेक्ट्रोस्कोपी सारखे पूरक तंत्र वापरता येईल का ते शोधणे हा यामागील विचार होता,” प्रा. विजयशंकर म्हणाले.

या आधीच्या [अभ्यासात](#), संशोधकांनी एक प्रमाण (मॉडेल) पॉलिमर कोटिंग आणि पॅलॅडियम धातूच्या अंतरपृष्ठावर HPP आणि EIS चा एकत्रित वापर करून ऑक्सिजन क्षपण अभिक्रिया मोजून आपली संकल्पना सिद्ध केली (प्रूफ-ऑफ-कन्सेप्ट). या [नवीन अभ्यासात](#), आयआयटी मुंबईच्या गटाने फ्रान्सच्या ब्रेस्ट विद्यापीठातील संशोधकांबरोबर हा मापन प्रयोग लोखंड या महत्त्वाच्या औद्योगिक धातूवर केला.

सदर संशोधनाला इंडो-फ्रेंच सेंटर फॉर प्रमोशन ऑफ अॅडव्हान्स्ड रिसर्च (CEFIPRA) आणि भारताच्या विज्ञान व अभियांत्रिकी संशोधन मंडळ (SERB) कडून निधी प्राप्त झाला.

संशोधकांनी पॅलॅडियमच्या पटलावर (मेम्ब्रेन) लोखंडाचा एक पातळ थर दिला आणि त्या लोखंडावर पॉलिमिथाइल मिथाक्रिलेट (PMMA) नावाच्या पॉलिमरचा लेप दिला. HPP-EIS पद्धतीचा वापर करून त्यांनी पॉलिमिथाइल मिथाक्रिलेट आणि लोखंड यांच्या मधील अंतरपृष्ठावर ऑक्सिजन क्षपण अभिक्रिया किती गतीने होत आहे हे मोजले. त्यांनी विद्युत धारा-विद्युत दाब यांचा आलेख काढला आणि संबंधित संरोध (इम्पीडन्स) मूल्ये मोजली. ही मूल्ये लेपन नसलेल्या लोखंडाच्या पृष्ठभागाच्या तुलनेत जास्त होती. उच्च संरोध मूल्ये क्षरणाचा दर कमी असणे दर्शवतात आणि संरोध मूल्ये कमी असणे क्षरणाचा उच्च दर दर्शवतात. वरील प्रयोगांमुळे HPP-EIS तंत्राचा वापर पदार्थांमधील अंतरपृष्ठांवर होणाऱ्या ऑक्सिजन क्षपण अभिक्रियेच्या मूल्यांकनासाठी सिद्ध झाला. संरक्षणात्मक कोटिंग्स आणि धातू या दरम्यान असलेले अंतरपृष्ठ बऱ्याचदा खोलवर असतात आणि सहज त्यांच्यापर्यंत पोहचता येत नाही. अशा ठिकाणी पारंपरिक पद्धती सहजपणे वापरता येत नाही, परंतु HPP-EIS पद्धत तिथे उपयोगी पडू शकते.



(डावीकडे) ऑक्सिजन क्षपण अभिक्रियेच्या सहाय्याने झालेला पॉलिमर कोटिंगचा क्षय. त्यामुळे पॅलॅडियम मेम्ब्रेनवर लावलेला लोखंडाचा थर गंजू लागतो. (उजवीकडे) गंजण्यापूर्वी ऑक्सिजन क्षपण अभिक्रियेचा दर शोधण्यासाठी वापरलेले HPP-EIS चे तंत्र दर्शवणारे चित्र

HPP-EIS पद्धत किफायती आहे कारण यासाठी फक्त दोन 'पोटॅंशिओस्टॅट्स'ची आवश्यकता असते. पोटॅंशिओस्टॅट्स दोन इलेक्ट्रोड्स मधील विद्युत दाब नियंत्रित करू शकणारी आणि मोजू शकणारी साधी इलेक्ट्रॉनिक उपकरणे आहेत.

प्रा. विजयशंकर यांच्या मते, HPP-EIS पद्धतीचा उपयोग करून कार्बनी कोटिंग किती लवकर खराब होऊन लोखंडाला गंजू देईल यावर लक्ष ठेवता येईल. ही पद्धत केवळ पोलाद (स्टील) उद्योगासाठीच नव्हे, तर फ्युएल-सेल आणि संवेदकांच्या क्षेत्रातही उपयुक्त ठरेल.

हल्ली नैसर्गिक गॅसचे उत्सर्जन कमी करण्यासाठी त्यात हायड्रोजन मिसळणे प्रचलित होत आहे (हायड्रोजन ब्लेंडींग). आपल्या तंत्राचे आणखी संभाव्य अनुप्रयोग अधोरेखित करताना प्रा. विजयशंकर म्हणाले, "HPP-EIS तंत्राचा उपयोग हायड्रोजन-मिश्रित नैसर्गिक गॅस वाहून नेणाऱ्या पाईपलाइनवरील रंगाचा थर किती लवकर खराब होईल हे तपासण्यासाठी देखील केला जाऊ शकतो."

VETTED / UNVETTED	VETTED
Title of Research Paper	Cathodic oxygen reduction kinetics at an organic coating/iron interface using a combined hydrogen permeation based potentiometry and electrochemical impedance spectroscopy technique
DOI of the Research Paper as a link	https://doi.org/10.1016/j.corsci.2024.112621
List of all researchers with affiliations	Rasmi Ranjan Tripathy, Dandapani Vijayshankar Electrochemistry at Interface Lab, Department of Metallurgical Engineering and Materials Science, Indian Institute of Technology (IIT), Bombay, Mumbai - 400076, India Stephane Rioual, Benoit Lescop, Univ Brest, Lab-STICC, CNRS, UMR 6285, Brest F - 29200, France
Email of researcher/s	v.dandapani@iitb.ac.in
Writer name	Joel P Joseph
Transcreator name	Shilpa Inamdar-Joshi

VETTED / UNVETTED	VETTED
Credits to Graphic:	Image by peter731 from Pixabay
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	#OrganicCoatings, #OxygenReductionReaction, #HydrogenPermeationBasedPotentiometry, #ElectrochemicalImpedanceSpectroscopy, #InterfacialReactions
Social Media Posts Suggestions/ Links to interesting relevant content [optional] [writer]	<ol style="list-style-type: none"> 1. IIT Bombay researchers combine hydrogen permeation-based potentiometry (HPP) and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) techniques to efficiently measure the coating degradation rates on iron. Read more <link> 2. HPP-EIS technique can help monitor how fast an organic coating will allow the underlying iron to rust. This is of significant interest to the steel industry and the field of fuel cells and sensors. Read details at <link> 3. IIT Bombay researchers combine hydrogen permeation-based potentiometry (HPP) and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) techniques to efficiently measure the coating degradation rates on industrially relevant metal, iron. This method enables monitoring corrosion even at inaccessible interfaces. Read on for details at <link>
Social Media Handles to be added	@IFCPAR, @anrfindia, @iitbombay
Social Media handles of writer	
Social Media handles of researchers	http://www.linkedin.com/in/vijayshankar-dandapani-6bab49317
Funding information (Source: Research paper)	Funded by Indo-French Centre for Promotion of Advanced Research -CEFIPRA अज्ञ Science and Engineering Research

VETTED / UNVETTED	VETTED
	Board (SERB), India
Conflict of Interest/Competing Interest information (Source: Research paper)	None
Co-PI information (Source: Research paper)	None
Location:	Mumbai