

# योगात्मक निर्मित मिश्र धातुओं का उच्च तापमान संक्षारण व्यवहार : एक समीक्षा High-Temperature Corrosion Behaviour of Additive Manufactured Alloys : A Review

बिनु कुमार भगरिया<sup>1</sup>, राजन वर्मा<sup>2</sup>, संजय सिंह राठौड़<sup>3</sup> एवं मणि कंवर सिंह<sup>4</sup>

Binu Kumar Bhagria<sup>1</sup>, Rajan Verma<sup>2</sup>, Sanjay Singh Rathore<sup>3</sup> and Mani Kanwar Singh<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Central Workshop, Thapar Institute of Engineering and Technology, Patiala, Punjab

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Thapar Polytechnic College, Patiala, Punjab

<sup>3,4</sup>Skill Department of Automotive Studies, Shri Vishwakarma Skill University, Haryana

<sup>1</sup>bk.bhagria@thapar.edu, <sup>2</sup>rajan.verma@gmail.com, <sup>3</sup>sanjay.singh@svsu.ac.in, <sup>4</sup>mani.singh@svsu.ac.in

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18518631>

## सारांश

यह शोध पत्र योगात्मक विनिर्माण प्रक्रियाओं की एक व्यापक समीक्षा प्रस्तुत करता है, जो विभिन्न धातुओं और मिश्र धातुओं को बनाने में उपयोग की जाती हैं। इस शोध पत्र में योगात्मक विनिर्माण विधियों के कई प्रकार बताए गए हैं। यह अध्ययन विशेष रूप से विभिन्न लवणों के संक्षारक वातावरणों में उच्च तापमान अनुप्रयोगों में कई मिश्र धातुओं के उच्च तापमान संक्षारण व्यवहार पर चर्चा करता है।

## Abstract

This paper presents a thorough literature review on additive manufacturing processes used to develop the different metals and alloys. This paper contains information about types of additive manufacturing methods. This study focuses exclusively on the review of relevant research works presenting the high-temperature corrosion behavior of several alloys used in high-temperature applications in the corrosive environments of different salts.

**मुख्य शब्द:** योगात्मक विनिर्माण, मिश्र धातु, गर्म संक्षारण।

**Key Words:** Additive Manufacturing, Alloys, Hot Corrosion.

## परिचय

योगात्मक विनिर्माण को परत-दर-परत सामग्री बनाने के लिए आधुनिक विनिर्माण प्रक्रियाओं में अक्सर तीव्र प्रोटोटाइपिंग या 3 डी प्रिंटिंग कहा जाता है।<sup>[1]</sup> सीएडी मॉडल का उपयोग करके जटिल भागों को बनाने में कम समय लगता है, इसलिए योगात्मक विनिर्माण तरीकों ने पारंपरिक विनिर्माण तरीकों की जगह ले ली है।<sup>[2, 3]</sup> तीव्र प्रोटोटाइप प्रक्रियाओं में खर्च की न्यूनतम

पीढ़ी भी इस प्रक्रिया को पहले से बेहतर बनाती है।<sup>[4]</sup> योगात्मक विनिर्माण धातु-आधारित प्रणालियों के साथ उच्च स्तर की ज्यामितीय जटिलता के साथ धातु भागों को बना सकता है। यह समय, खर्च और ऊर्जा खपत को बहुत कम करता है।<sup>[5]</sup>

टाइटेनियम, स्टील और कई अन्य मिश्र धातुओं के साथ घने धातु भागों का निर्माण आजकल संभव है। ये सामग्री उच्च तापमान के संरचनात्मक पदार्थ हैं, जो

एयरो इंजनों और गैस टरबाइनों सहित उच्च तापमान वाले वातावरणों में काम करने वाले अन्य उपकरणों में बहुत उपयोगी हैं।<sup>[6]</sup> योगात्मक विनिर्माण प्रणाली के इस बदलाव के लिए, प्रोटोटाइप से तीव्र प्रोटोटाइप निर्माण अनुप्रयोगों तक पहुंचने के लिए, प्रक्रिया मापदंडों और निर्मित भागों के परिणामी गुणों के साथ-साथ प्रक्रियाओं का व्यापक ज्ञान भी आवश्यक है।<sup>[7,8]</sup> यह शोध पत्र योग्य निर्मित धातुओं और मिश्र धातुओं के गर्म संक्षारण व्यवहार को विभिन्न संक्षारक वातावरणों में अध्ययन करता है।

## योगात्मक विनिर्माण विधियाँ

फीडस्टॉक और प्रकृति, साथ ही बंधन तंत्र, योगात्मक विनिर्माण विधियों को वर्गीकृत करता है। तार फीडस्टॉक्स या पाउडर को लेजर या इलेक्ट्रॉन बीम की ऊर्जा से पिघलाकर ठोस भाग बनाने के लिए परत दर परत जमाव किया जाता है।<sup>[9]</sup> इस प्रक्रिया को योगात्मक रूप से बनाने के लिए इस्तेमाल किया जाता है।

धातुओं और मिश्रधातुओं के योगात्मक विनिर्माण के लिए सबसे प्रचलित तरीकों में लेजर बीम पिघलना, इलेक्ट्रॉन बीम पिघलना और लेजर जमाव पिघलना शामिल हैं।<sup>[10]</sup> सभी तरीके 3 डी सीएडी मॉडल को कंप्यूटर पर इमेजिंग या अभियांत्रिकीकरण विधि से बनाते हैं, फिर मॉडल को योगात्मक विनिर्माण प्रक्रिया का उपयोग करके माइक्रोन में एक निश्चित मोटाई में काटा जाता है। इस सीएडी मॉडल में, पिघली हुई धातु या मिश्र धातु को परतों के दोहराव जमाव द्वारा बनाया जाता है, जो कुछ स्थानीय ताप स्रोतों के साथ होता है।<sup>[11]</sup> निम्नलिखित विधियों में विभिन्न योगात्मक विनिर्माण प्रक्रियाओं का विवरण दिया गया है, साथ ही उनकी विशेषताओं और लाभों को भी बताया गया है।

## लेजर बीम गलन की विधि

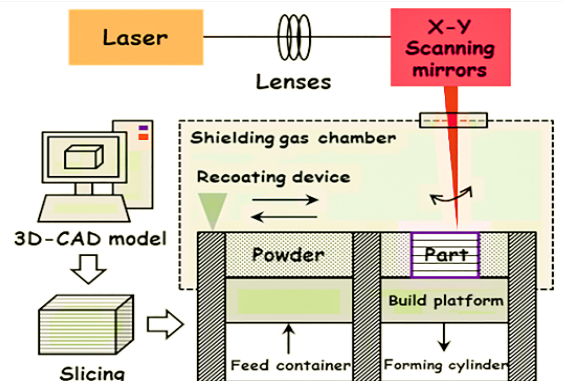
चयनात्मक लेजर गलन, प्रत्यक्ष धातु लेजर सेंटरिंग, लेजर कुशिंग, लेजर धातु संलयन और औद्योगिक 3 डी प्रिंटिंग भी लेजर बीम गलन के नाम हैं।<sup>[12]</sup> चित्र 1 में लेजर बीम गलन विधि के लिए सेटअप का योजनाबद्ध चित्रण किया गया है। यह पद्धति पाउडर बेड पर आधारित है। इस प्रक्रिया में, धातु पाउडर को डीएस के साथ 20 से 100 माइक्रोन की महत्वपूर्ण मोटाई की पतली परतों में लगाया जाता है।<sup>[13]</sup> इस प्रक्रिया का इस्तेमाल करते समय निम्नलिखित चरणों का पालन किया जाता है।<sup>[14]</sup>

**चरण I (पाउडर जमाव)**- इस चरण में, धातु पाउडर को हॉपर से डाला जाता है या कार्य क्षेत्र के पास जलाशय के माध्यम से प्रदान किया जाता है।

**चरण II (लेजर अनावरण)**- इस चरण में, गैल्वेनोमीटर स्कैनर की मदद से लेजर बीम को पीएल की शक्ति और स्कैन गति के साथ पाउडर की जमा परत पर निर्देशित किया जाता है। भाग के क्रॉस-सेक्शन के अनुसार, xy विमान में जमा पाउडर को लेजर बीम के साथ दिखाया जाता है। जब पिघलने का तापमान बढ़ता है, पाउडर पूरी तरह से पिघल जाता है और भरना शुरू करता है। पिघलने के लिए पाउडर परत और पिघले हुए पूलों के निकटवर्ती क्षेत्रों को आपूर्ति की जाने वाली ऊर्जा  $Ev = PL/(vs * hs * Ds)$  संबंध द्वारा दी जाती है, जहां  $hs$  धातु ट्रेक ओवरलैप में हैच दूरी है।<sup>[15]</sup>

**चरण III (निम्न बिल्ड प्लेट)**- जमने की प्रक्रिया के दौरान, अलग-अलग पिघले ट्रेक और नीचे पहले से जमी हुई परत आपस में जुड़ जाती है। उसके बाद, भागों का निर्माण हो जाता है और इस बिल्ड-अप प्लेट को नीचे कर दिया जाता है।

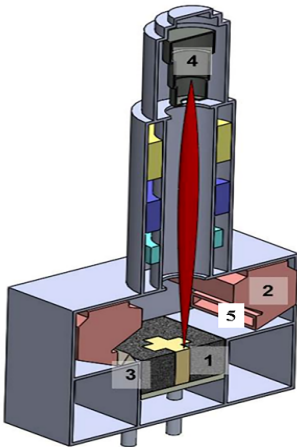
भाग पूरा होने तक उपरोक्त तीनों चरणों को दोहराया जाता है। भाग को गर्मी अपव्यय में मदद करने वाली सहायक संरचनाओं का उपयोग करके प्लेट बनाने के लिए निर्धारित किया गया है। समर्थन प्रणाली बाद में हटा दी जाती है।<sup>[16]</sup> बिल्डिंग प्लेट की प्री-हीटिंग भी की जाती है ताकि तापीय प्रवणता को कम करके अवशिष्ट तनाव को कम किया जा सके।<sup>[17]</sup> धातु पाउडर पर पर्यावरणीय प्रभावों से बचने और वेल्ड धुएं और वेल्ड स्पैटर जैसे माध्यमिक उप-उत्पादों को हटाने के लिए इस प्रक्रिया में अंदर अक्रिय गैस प्रवाह होना आवश्यक है।<sup>[18]</sup>



चित्र 1. लेजर बीम गलन की विधि<sup>[18]</sup>

## इलेक्ट्रॉन बीम गलन की विधि

इस प्रक्रिया में भी लेजर बीम गलन की तरह पाउडर बेड बनाया जाता है। धातु पाउडर को हॉपर से खिलाकर बिल्ड प्लेट पर एक रेक से फैलाया जाता है। 50 से 200 माइक्रोन मोटाई की परत होती है। 3 डी सीएडी इनपुट के अनुसार, इस प्रक्रिया में पाउडर को पिघलाने के लिए इलेक्ट्रॉन गन से निर्मित इलेक्ट्रॉन बीम का उपयोग किया जाता है। धातु पाउडर पिघलने और जमने के बाद, बिल्डिंग प्लेट को लेजर बीम पिघलने की तरह नीचे उतारा जाता है। पाउडर वितरण, इलेक्ट्रॉन बीम के साथ स्कैनिंग और बिल्ड प्लेट को नीचे करने के चरण तब तक दोहराए जाते हैं जब तक कि भाग पूरा नहीं हो जाता। इलेक्ट्रॉन बीम गलन की विधि निर्वात कक्ष में कार्य क्षेत्र में एक अक्रिय गैस (हीलियम) मिलाकर की जाती है।<sup>[6]</sup>

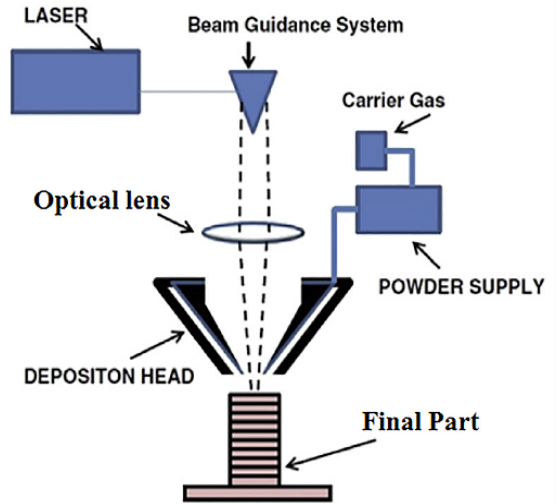


चित्र 2. इलेक्ट्रॉन बीम गलन की विधि<sup>[19]</sup>

## लेजर धातु जमाव

लेजर धातु जमाव में एक भाग सतह को पिघलाकर और एक ही समय में पाउडर की आपूर्ति करके उत्पन्न किया जाता है। पाउडर को समाक्षीय या मल्टी-जेट नोजल द्वारा मिलाया जाता है। नोजल-आधारित सेटअप को धातु पाउडर के बजाय फीडस्टॉक के रूप में तार के साथ संशोधित किया जा सकता है। Nd: YAG, डायोड और CO<sub>2</sub> से उत्पन्न लेजर बीम का उपयोग ताप इनपुट के रूप में किया जाता है। सेटअप के चारों ओर अक्रिय गैस वातावरण उच्च तापमान पर धातु के आगे ऑक्सीकरण से बचाता है। पाउडर बेड-आधारित तकनीकों की तुलना में इस विधि का एक फायदा यह है कि यह विधि उच्च निर्माण दर प्रदान करती है और उच्च निर्माण मात्रा

उत्पन्न करती है।<sup>[20] [21]</sup> चित्र 3 लेजर धातु जमाव विधि के लिए सेटअप का योजनाबद्ध प्रतिनिधित्व दर्शाता है। फीडस्टॉक के रूप में तार के दौरान, स्रोत को इलेक्ट्रॉन बीम प्रकार के सेटअप से बदला जा सकता है।



चित्र 3. लेजर धातु जमाव<sup>[21]</sup>

## योगात्मक निर्मित भागों को विकसित करने के लिए प्रक्रिया प्राचल

उपर्युक्त विधियों का उपयोग करके योगात्मक निर्मित भागों को विकसित करने के लिए उपयोग किए जाने वाले अनुकूलित प्रक्रिया प्राचल तालिका 1 में दिए गए हैं।

## योगात्मक विनिर्मित मिश्र धातु भागों का गर्म संक्षारण प्रदर्शन

उच्च तापमान और गंभीर प्रतिक्रियाशील और त्वरित वातावरण में काम करने वाली सामग्रियों के संक्षारण को गर्म संक्षारण कहा जाता है। सामग्री के चारों ओर एक गंभीर वातावरण की उपस्थिति धातु पर जुड़े नमक की एक पतली परत के जमाव का कारण बनती है जिसके परिणामस्वरूप सामग्री की सतह पर एक गैर-सुरक्षात्मक और छिद्रपूर्ण ऑक्साइड स्केल का निर्माण होता है। पर्यावरण में Na, K, S और V तत्वों की कई अशुद्धियाँ और लवण मौजूद हैं, जो कम तापमान पर पिघलने वाले यौगिकों का उत्पादन करते हैं। ये यौगिक उच्च तापमान पर धातु की सतह पर सुरक्षात्मक ऑक्साइड परत पर हमला करते हैं जिसके परिणामस्वरूप सामग्री का क्षरण होता है। गर्म संक्षारण दो प्रकार का हो सकता है। प्रकार I गर्म संक्षारण 850°C से ऊपर होता है और

प्रकार II गर्म संक्षारण 800°C से नीचे होता है।<sup>[22,23]</sup> साहित्य में योगात्मक रूप से निर्मित मिश्र धातुओं के कुछ गर्म संक्षारण अध्ययनों की समीक्षा इस प्रकार की गई है।

तालिका 1. योगात्मक विनिर्माण के साथ सामग्री विकसित करने के लिए उपयोग किए जाने वाले प्रक्रिया प्राचल

तरीका	वाम <sup>[27]</sup>	तरीका	एसएलएम <sup>[24]</sup>	एलबीएम <sup>[25, 30]</sup>		तरीका	एलएमडी <sup>[28, 29]</sup>	
सामग्री	एटीआई 718 प्लस	सामग्री	थका देना	Ti6Al4V	कंथाल	सामग्री	IN718	IN718
आर्क करंट (ए)	100	ऊर्जा घनत्व	80 जे/मिमी <sup>3</sup>	—	2-2.5 जे/मिमी <sup>2</sup>	फीड दर	10 ग्राम/मिनट	15 ली/घंटा
यात्रा गति (एम/मिनट)	0.1	हैच दूरी (माइक्रोन)	100	180	78	वाहक गैस प्रवाह दर	15	—
तार फीड दर (एम/मिनट)	0.4	लेजर स्पॉट व्यास (माइक्रोन)	—	100	50	लेजर पावर (डब्ल्यू)	900	900
औसत चाप लंबाई (मिमी)	4	परत की मोटाई (माइक्रोन)	50	30	—	स्कैनिंग वेग	10 मिमी/सेकेंड	360 मिमी/मिनट
परिरक्षण गैस प्रवाह दर (एल/मिनट)	15	लेजर पावर (डब्ल्यू)	400	280	—	ओवरलैपिंग अनुपात (%)	40	40
		स्कैनिंग गति (मिमी/सेकेंड)	1000	1200	—			

### टाइटेनियम और टाइटेनियम मिश्र धातु

टाइटेनियम और टाइटेनियम मिश्र धातुओं का व्यापक रूप से विमान उद्योग, गैस टर्बाइन, दहन कक्षों में उपयोग किया जाता है।<sup>[24,25]</sup> वर्तमान में, कई शोधकर्ता अपने संबंधित अनुप्रयोगों में इन सामग्रियों के वजन को कम करना चाहते हैं। पारंपरिक तरीकों की तुलना में योगात्मक विनिर्माण विधियों के फायदे टाइटेनियम और टाइटेनियम मिश्र धातुओं के हिस्सों के निर्माण को अधिक बेहतर बनाते हैं।

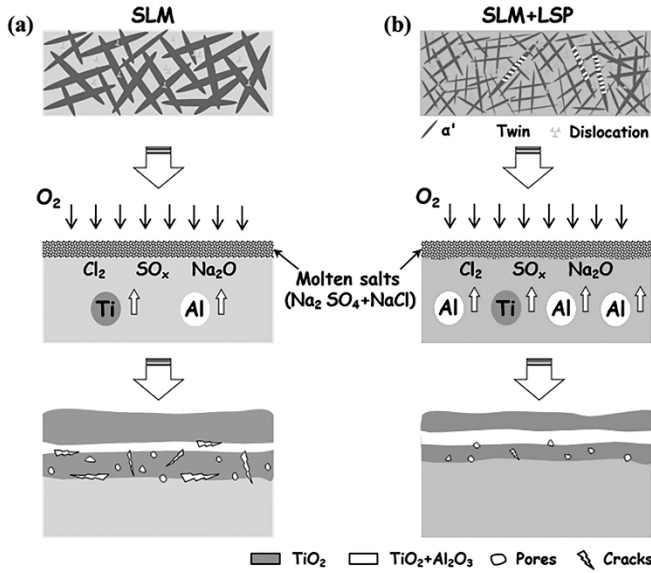
मैजक्रोविकज़ के. व अन्य ने योगात्मक विनिर्माण की चयनित लेजर गलन प्रक्रिया का उपयोग करके 2%, 4% और 6% वजन संरचनाओं के साथ रेनियम पाउडर को जोड़ने पर टाइटेनियम और उसके मिश्र धातु का विकास किया। परीक्षण नमूनों को विकसित करने के लिए SLM रियलाइज़र II (MCP-HEK) मशीन का उपयोग किया गया था। विकसित माइक्रोस्ट्रक्चर ने SLM-Ti नमूनों के मामले में मार्टेंसिटिक प्रकार का खुलासा किया, जबकि टीआई-रे मिश्र धातुओं के मामले में स्तंभ अनाज का गठन किया गया था, जिन्हें ठीक मार्टेंसिटिक के रूप में देखा गया था। गर्म संक्षारण परीक्षण संक्षारक वातावरण 75 wt.% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 25 wt.% NaCl लवण वातावरण में किए गए, जो कई उच्च तापमान वाले कामकाजी अनुप्रयोगों में सामान्य वातावरण है। प्रत्येक नमूने के लिए 5, 15, 25, 50 और 100 घंटों के अनावरण समय के लिए 600°C के तापमान रेंज पर काम करने वाले क्वार्ट्ज क्रूसिबल को गर्म संक्षारण अध्ययन करने के लिए चुना गया था। एसईएम विश्लेषण के दौरान उन्हें सतह पर सुई के आकार

का एक महीन क्रिस्टल मिला। 100 घंटे के अध्ययन के बाद, नमूनों पर 50 माइक्रोन ऑक्साइड परत देखी गई। ईडीएस विश्लेषण से ऑक्साइड स्केल में Ti, O, Na और S की उपस्थिति का पता चला। एक्सआरडी विश्लेषण से पता चला कि रेनियम के अलग-अलग प्रतिशत के साथ टाइटेनियम मिश्र धातुओं में  $TiO_2$ ,  $Na_2Ti_5O_{12}$  और  $Ti_{0.625}S$  जैसे संक्षारण उत्पादों में कोई बदलाव नहीं हुआ है। लेकिन चरम तीव्रता में संक्षारण उत्पादों के मात्रा अंश अलग-अलग थे। SLM-Ti ने -Ti चरण दिखाया। 100 घंटे के एक्सपोजर के बाद, पूरा ऑक्साइड स्केल टूट गया, जो  $TiO_2$  के कमजोर आसंजन का संकेत देता है। एसएलएम प्रक्रिया द्वारा रेनियम विघटन की डिग्री जानने के लिए टोमोग्राफी माप किए गए।  $Ti_2Re$  में Re समूहों का क्षेत्रफल अंश सबसे अधिक था। संक्षारण परीक्षण के बाद Ti-Re मिश्रधातु में रेनियम सामग्री बढ़ने के साथ रेनियम क्लस्टर कम हो गए। इसे अघुलनशील रेनियम कणों के सबसे बड़े अंश की उपस्थिति के तथ्य के कारण समझाया गया था। रेनियम की उच्च सांद्रता ऑक्साइड पैमाने की रासायनिक असमानता को जन्म देती है जो गड्ढे के निर्माण का कारण बनती है। अंत में, उन्होंने निष्कर्ष निकाला कि  $Ti_6Re$  मिश्र धातु की संक्षारित सतहों पर रेनियम समूहों की अनुपस्थिति के परिणामस्वरूप शुद्ध टाइटेनियम की तुलना में गर्म संक्षारण प्रतिरोध बढ़ जाता है। Ti-Re मिश्रधातुओं का गर्म संक्षारण प्रतिरोध  $Ti_2Re < Ti_4Re < SLM-Ti < Ti_6Re$  के क्रम में बढ़ गया।

लू एच. व अन्य ने चयनात्मक लेजर गलानशील टाइटेनियम मिश्र धातु  $Ti_6Al_4V$  के गर्म संक्षारण व्यवहार पर लेजर शॉक पीनिंग के प्रभाव का अध्ययन किया। योगात्मक रूप से RC M250 SLM उपकरण का उपयोग करके  $Ti_6Al_4V$  का निर्माण किया गया। फिर 1064 एनएम की तरंग दैर्ध्य और 10 एनएस की पल्स चौड़ाई के साथ क्यू-स्विच एनडी: वाईएजी लेजर सिस्टम का उपयोग करके लेजर शॉक पीनिंग प्रयोग किए गए। एलएसपी उपचार एसएलएमईडी नमूनों की सतह खुरदरापन को बढ़ाता है। गर्म संक्षारण परीक्षण एल्यूमिना क्रूसिबल में 400°C, 500°C, 600°C, और 700°C पर 75 wt.%  $Na_2SO_4$  + 25 wt.% NaCl के साथ नमक मिश्रण के वातावरण में आयोजित किए गए थे। परीक्षण 10 घंटे के प्रत्येक चक्र के साथ 50 घंटे की अवधि के लिए आयोजित किए गए थे। प्रत्येक नमूने का वजन प्रत्येक चक्र से पहले और बाद में मापा गया था। एलएसपी-उपचारित नमूनों ने संक्षारण परीक्षण के बाद कम द्रव्यमान लाभ दर दिखाई। एक्सआरडी विश्लेषण के तहत उन्होंने पाया कि संक्षारक वातावरण में 500°C और उससे ऊपर के तापमान पर उपचारित नमूनों पर  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $NaTiO_3$  और  $NaAlO_2$  के पैमाने बने।  $TiO_2$  सबसे पहले SLMed नमूनों की सतह पर कम Al की उपस्थिति और Ti की उच्च प्रसार दर के कारण बना। एसएलएम टाइटेनियम मिश्र धातु के एलएसपी उपचारित नमूनों के गर्म संक्षारण अध्ययन के बाद, उत्पादों की रॉड जैसी संरचनाओं को दानेदार उत्पादों द्वारा प्रतिस्थापित किया गया था। टीईएम विश्लेषण के दौरान कोर संरचनाओं में  $TiO_2$  की उपस्थिति पाई गई, जिससे उन्होंने एलएसपी उपचारित एसएलएमईडी नमूनों के अधिक गर्म संक्षारण प्रतिरोध की संभावना के बारे में निष्कर्ष निकाला। क्रॉस-सेक्शनल आकारिकी से, उन्होंने व्याख्या की कि एलएसपी उपचार एल्यूमीनियम के प्रसार को भी बढ़ावा देता है, जो कोर संरचनाओं के आसंजन में सुधार करता है। चित्र 4 में एलएसपी उपचार से पहले और बाद में टाइटेनियम मिश्र धातुओं के लिए गर्म संक्षारण तंत्र का योजनाबद्ध प्रतिनिधित्व दिखाया गया है।

भासले जी.डी. व अन्य ने 700°C और 900°C तापमान पर इसके गर्म संक्षारण व्यवहार के साथ-साथ इनकॉनेल 625 निर्मित एडिटिव में संरंधता के प्रभाव पर प्रकाश डाला। उन्होंने 1,3,5,8, 24 और 48 घंटे के लिए मफल भट्टी में  $Na_2SO_4$ ,  $K_2SO_4$ , NaCl और  $V_2O_5$  के संक्षारक वातावरण में प्रयोग किए। उन्होंने व्याख्या की कि एक्सपोजर का समय बढ़ने के साथ-साथ वजन में बदलाव भी बढ़ता है। 700°C पर उपचारित नमूनों के लिए SEM विश्लेषण से स्तंभीय डेंड्राइटिक अनाज और अंतर-डेंड्राइटिक क्षेत्र में अवक्षेपों की उपस्थिति देखी गई। मैट्रिक्स और अवक्षेपण चरण में ईडीएस विश्लेषण के दौरान, 700°C और 900°C पर उपचारित नमूनों के लिए, C की उपस्थिति Ni, Cr, Nb और Mo के कार्बाइड की उपस्थिति को साबित करती है। अधिक एक्सपोजर समय के साथ उच्च तापमान के कारण Inconel 625 नमूने बेहतर थे। जैसा कि चर्चा की गई है, यह  $\mu$  की उपस्थिति के कारण हो सकता है, जो अवक्षेप और मैट्रिक्स चरणों में घनत्व के अंतर को कम करके संरंधता स्तर को प्रभावित करता है। 900°C पर उपचारित नमूनों के लिए उन्होंने

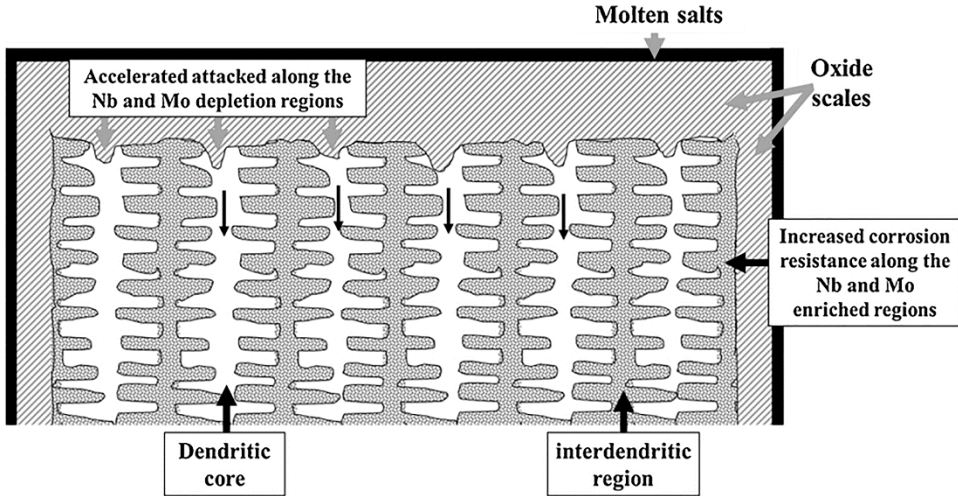
ऑक्साइड की मोटी परत बनने के कारण नमूनों के वजन में वृद्धि देखी।



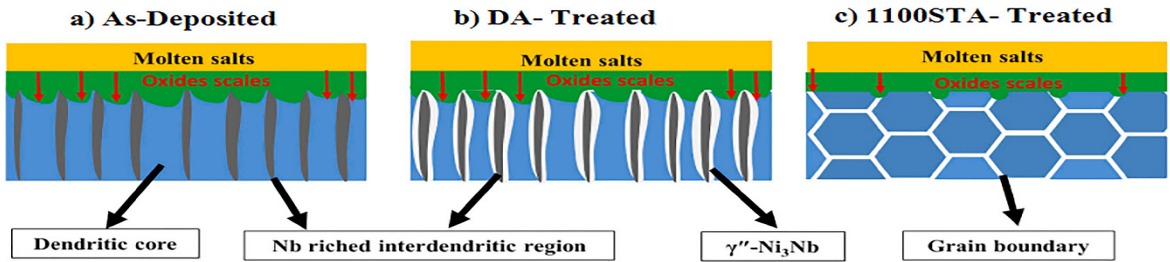
चित्र 4. (a) SLM (b)  $Ti_6Al_4V$  के SLM+LSP नमूनों के लिए गर्म संक्षारण तंत्र का योजनाबद्ध प्रतिनिधित्व<sup>[24]</sup>

असला जी. व अन्य ने वायर आर्क योगात्मक विनिर्माण के गर्म संक्षारण व्यवहार का अध्ययन किया और एटीआई 718 प्लस सामग्री को 650°C और 705°C पर  $Na_2SO_4$  और  $V_2O_5$  के संक्षारक वातावरण में 0.5, 1 के लिए 40:60 के अनुपात के साथ तैयार किया। 2, 4, 10, 20, 40, 60, 80 और 100 घंटे नमूना तैयार करने के बाद, उन्होंने समरूपीकरण किया और तालिका 2 में दिए गए विरूपण के बाद गर्मी उपचार की सिफारिश की। गर्म संक्षारण परीक्षण के बाद, 650°C और 705°C पर WAAMed 718Plus नमूनों के लिए परवलयिक दर स्थिरांक का मान अधिक पाया गया। उन्होंने पाया कि WAAMed नमूनों में गढ़े हुए नमूनों की तुलना में गर्म संक्षारण के प्रति कम प्रतिरोध था। एसईएम और ईडीएस विश्लेषण से, डेंड्राइटिक कोर में सीआर और फ़े और नी के साथ देखा गया, जबकि इंटरडेंड्राइटिक क्षेत्रों में एनबी की उच्च सामग्री देखी गई। डेंड्राइटिक क्षेत्रों में एनबी और एमओ की कमी से संक्षारण प्रतिरोध कम हो जाता है और परिणामस्वरूप संक्षारण हमले होते हैं। यह भी निर्दिष्ट किया गया था कि WAAMed ATI 718Plus के नमूनों को मानक अनुशंसित ताप उपचार की तुलना में होमोजेनाइजेशन उपचार के साथ इलाज करने पर अधिक संक्षारण प्रतिरोध प्रदर्शित हुआ।

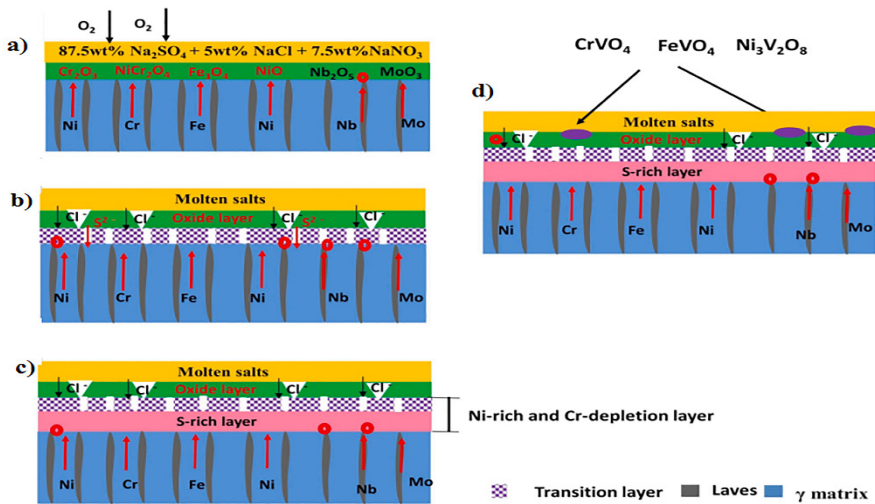
झांग जे. व अन्य ने गढ़े हुए 718 सबस्ट्रेट्स पर इनकोनेल 718 के लेजर जमा पाउडर के गर्म संक्षारण व्यवहार की व्याख्या की, जिसके बाद कुछ ताप उपचार किए गए। उन्होंने  $Na_2SO_4$  (87.5 wt.%) +  $NaCl$  (5 wt.%) +  $NaVO_3$  (7.5 wt.%) और 10 चक्रों के लिए प्रयोगशाला मफल भट्टी में 650°C पर प्रयोग किए। प्रत्येक चक्र में 2 घंटे हीटिंग, 10 घंटे होल्डिंग और कमरे का तापमान प्राप्त होने तक ठंडा करना शामिल है। एसईएम विश्लेषण से पता चला कि एक क्रम में डीए-उपचारित और 1100STA-उपचारित नमूनों की तुलना में जमा किए गए नमूनों में अधिक दरारें थीं। एक्सआरडी विश्लेषण से पता चला कि 100 एसटीए-उपचारित नमूनों के ऑक्साइड स्केल अधिक कॉम्पैक्ट थे। उन्होंने पाया कि इंकोनेल 718 के समाधान और उम्र बढ़ने के इलाज वाले नमूनों का गर्म संक्षारण प्रदर्शन प्रत्यक्ष वृद्ध नमूनों की तुलना में बेहतर था, और उत्तराद्ध गर्म संक्षारण प्रतिरोध में जमा नमूने से बेहतर है। नमूनों के क्रॉस-सेक्शनल विश्लेषण से, चर्चा करते हुए, उन्होंने निष्कर्ष निकाला कि संक्षारण उत्पाद दो परतों में मौजूद थे। सबसे बाहरी परत में  $Ni_2CrO_4$ ,  $Cr_2O_3$  और  $Fe_3O_4$  होते हैं, जबकि भीतरी परत में  $Ni_3S$  होता है।



चित्र 5. ऑक्साइड जमा WAAMed नमूनों पर डेंड्राइटिक कोर क्षेत्रों पर हमला<sup>[26]</sup>



चित्र 6. इनकोनेल 718 की विभिन्न अनाज संरचनाओं पर पिघले हुए नमक का हमला<sup>[27]</sup>



चित्र 7. IN718 में  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (87.5 wt.%) +  $\text{NaCl}$  (5 wt.%) +  $\text{NaVO}_3$  (7.5 wt.%) में  $650^\circ\text{C}$  पर संक्षारण तंत्र<sup>[27]</sup>

झांग क्यू व अन्य ने 650 °C पर 87.5 wt.% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 5 wt.% NaCl + 7.5 wt.% NaNO<sub>3</sub> के वातावरण में लेजर योगात्मक विनिर्माण के साथ मरम्मत किए गए Inconel 718 घटकों के गर्म संक्षारण प्रदर्शन का भी अध्ययन किया। मरम्मत किए गए हिस्से की सतह ऑक्साइड के फैलाव के कारण बहुत खुरदरी और छिद्रपूर्ण लग रही थी। अनावरण के समय के साथ गिरावट और अधिक गंभीर हो जाती है। अनुप्रस्थ काट अध्ययनों ने सभी नमूनों पर Ni-समृद्ध क्षेत्र की उपस्थिति दिखाई। इस क्षेत्र में गंभीर क्लोरीन हमलों के कारण गह्वे थे और मोटी ऑक्साइड परतें थीं। इस क्षेत्र में सल्फर की उपस्थिति गर्म संक्षारण प्रक्रिया के दौरान आवक प्रवाह और प्रसार के कारण होती है जो Ni<sub>3</sub>S<sub>2</sub> का निर्माण कर सकती है। इस कार्य में प्रस्तुत सूक्ष्म संरचनात्मक परिवर्तनों से पता चला कि  $\gamma$  चरण अवक्षेपित हुआ और अवशिष्ट चरण के आसपास धीरे-धीरे बढ़ता है।

गुंडुज ए.ओ. व अन्य ने 900°C और 1100°C पर 168 घंटों के लिए एक ट्यूब भट्टी में द्वि-दिशात्मक लेजर बीम गलन का उपयोग करके, योगात्मक रूप से निर्मित कंथाल के गर्म संक्षारण व्यवहार की जांच की। उन्होंने पाया कि मुख्य लाभ मान LBMed नमूनों के लिए समान थे एवं समानांतर और लंबवत अभिविन्यास 900°C और 1100°C तापमान पर समान था। उन्होंने बताया कि अंतर्निहित धातु सूक्ष्म संरचना के कारण ऑक्साइड स्केल की मोटाई में भिन्नता होती है। 900°C तापमान पर उपचारित नमूनों में अभिविन्यास में अधिक अंतर होता है, लेकिन कुल मिलाकर ऑक्साइड की अधिक मोटाई के कारण 1100°C पर उपचारित नमूनों में यह अनुपस्थित होता है। XRD के दौरान देखे गए ऑक्साइड के चरण -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> और TiO<sub>2</sub> थे।

## निष्कर्ष

इस शोध पत्र में, योगात्मक रूप से निर्मित मिश्र धातुओं के उच्च तापमान क्षरण पर उपलब्ध साहित्य पर गहन अध्ययन किया गया है। विभिन्न योगात्मक विनिर्माण प्रक्रियाओं के लिए प्रक्रिया मापदंडों का अध्ययन किया गया है। साहित्य के गहन अध्ययन के बाद कुछ निष्कर्ष इस प्रकार निकाले गए हैं:

1. सुपरअलॉय भागों को सफलतापूर्वक

विकसित करने के लिए पाउडर और वायर फीडस्टॉक-आधारित सिस्टम का उपयोग किया जा सकता है। सामग्री विकसित करने के लिए महीन पाउडर के उपयोग को प्राथमिकता दी जानी चाहिए।

2. एडिटिव निर्मित नमूनों का ताप उपचार भी उनके उच्च तापमान संक्षारण प्रदर्शन को बढ़ाता है।
3. चयनात्मक लेजर पिघलने की विधि उनके अंतर-डेंड्रिटिक स्थानों में आंतरिक सूक्ष्म-पृथक्करण के साथ-साथ अधिक महीन स्तंभ डेंड्राइट संरचना के साथ IN718 भागों का उत्पादन कर सकती है।
4. इष्टतम प्रक्रिया मापदंडों का उपयोग करके संरंध्रता और घनत्व के स्तर को अनुकूलित किया जा सकता है।
5. दो प्रकार के गर्म संक्षारण में से, उच्च तापमान अनुप्रयोगों में सुपरअलॉय के उपयोग के कारण टाइप-I गर्म संक्षारण पर विचार करना बेहतर है। इस प्रकार के गर्म संक्षारण के दौरान, सुरक्षात्मक ऑक्साइड परत का नुकसान होता है।

## संदर्भ

1. Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T., and Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196.
2. Gardan, J. (2016). Additive manufacturing technologies: state of the art and trends. *International Journal of Production Research*, 54(10), 3118-3132.
3. Prakash, K. S., Nancharaih, T., and Rao, V. S. (2018). Additive manufacturing techniques in manufacturing-an overview. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3873-3882.
4. Chua, C. K., Chou, S. M., and Wong, T. S. (1998). A study of the state-of-the-art rapid

- prototyping technologies. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 14(2), 146-152.
5. Oliveira, J. P., LaLonde, A. D., and Ma, J. (2020). Processing parameters in laser powder bed fusion metal additive manufacturing. *Materials and Design*, 193, 108762.
  6. Herzog, D., Seyda, V., Wycisk, E., and Emmelmann, C. (2016). Additive manufacturing of metals. *Acta Materialia*, 117, 371-392.
  7. Gisario, A., Kazarian, M., Martina, F., and Mehrpouya, M. (2019). Metal additive manufacturing in the commercial aviation industry: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 53, 124-149.
  8. Yang, L., Hsu, K., Baughman, B., Godfrey, D., Medina, F., Menon, M., and Wiener, S. (2017). Additive manufacturing of metals: the technology, materials, design and production (pp. 45-61). Cham: Springer.
  9. Zhang, Y., Wu, L., Guo, X., Kane, S., Deng, Y., Jung, Y. G. and Zhang, J. (2018). Additive manufacturing of metallic materials: a review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 27(1), 1-13.
  10. Gokuldoss, P. K., Kolla, S., and Eckert, J. (2017). Additive manufacturing processes: Selective laser melting, electron beam melting and binder jetting—Selection guidelines. *Materials*, 10(6), 672.
  11. Eragubi, M. (2013). Slicing 3D CAD model in STL format and laser path generation. *International journal of innovation, management and technology*, 4(4), 410.
  12. Yap, C. Y., Chua, C. K., Dong, Z. L., Liu, Z. H., Zhang, D. Q., Loh, L. E., and Sing, S. L. (2015). Review of selective laser melting: Materials and applications. *Applied physics reviews*, 2(4), 041101.
  13. Chen, H., Wei, Q., Zhang, Y., Chen, F., Shi, Y., and Yan, W. (2019). Powder-spreading mechanisms in powder-bed-based additive manufacturing: Experiments and computational modeling. *Acta Materialia*, 179, 158-171.
  14. Aboulkhair, N. T., Simonelli, M., Parry, L., Ashcroft, I., Tuck, C. and Hague, R. (2019). 3D printing of Aluminium alloys: Additive Manufacturing of Aluminium alloys using selective laser melting. *Progress in materials science*, 106, 100578.
  15. Mohammed, M. T., Semelov, V. G., and Sotov, A. V. (2020). SLM-built titanium materials: great potential of developing microstructure and properties for biomedical applications: a review. *Materials Research Express*, 6(12), 122006.
  16. Jiang, J., Xu, X., and Stringer, J. (2018). Support structures for additive manufacturing: a review. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 2(4), 64.
  17. Kempen, K., Vrancken, B., Thijs, L., Buls, S., Van Humbeeck, J. and Kruth, J. P. (2013). Lowering thermal gradients in Selective Laser melting by pre-heating the baseplate. In *Solid Freeform Fabrication Symposium Proceedings*.
  18. Anwar, A. B. (2019). Large scale selective laser melting: study of the effects and removal of spatter by the inert gas flow (Doctoral dissertation, Dissertation Nanyang Technological University).
  19. Wysocki, B., Maj, P., Sitek, R., Buhagiar, J., Kurzydłowski, K. J., and Świążkowski, W. (2017). Laser and electron beam additive manufacturing methods of fabricating titanium bone implants. *Applied Sciences*, 7(7), 657.

20. Adekanye, S. A., Mahamood, R. M., Akinlabi, E. T., and Owolabi, M. G. (2017). Additive manufacturing: the future of manufacturing. *ADDITIVE MANUFACTURING*, 709, 715.
21. W.E. Frazier (2014). Metal additive manufacturing: a review, *J. Mater. Eng. Perform.* 23 (6) 1917-1928.
22. Bhagria, B. K., Mudgal, D., Sidhu, S. S., and Verma, R. (2021, May). Present scenario of hot corrosion studies performed with ferritic steel. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2341, No. 1, p. 040034). AIP Publishing LLC.
23. Singh, H. (2007). "Use of plasma spray technology for deposition of high temperature oxidation/corrosion resistant coatings—a review." *Materials and Corrosion* 58(2), pp. 92-102.
24. Majchrowicz, K., Pakieła, Z., Moszczyńska, D., Kurzynowski, T., and Chlebus, E. (2018). Hot Corrosion of Ti–Re alloys fabricated by selective laser melting. *Oxidation of Metals*, 90(1), 83-96.
25. Lu, H., Wang, Z., Cai, J., Xu, X., Luo, K., Wu, L., and Lu, J. (2021). Effects of laser shock peening on the hot corrosion behaviour of the selective laser melted Ti6Al4V titanium alloy. *Corrosion Science*, 188, 109558.
26. Bhasale, G. D., Sood, A., Singh, S. R., Pandey, A., and Shrivastava, A. (2020). High Temperature Corrosion of Additively Manufactured Inconel 625. In *TMS 2020 149th Annual Meeting and Exhibition Supplemental Proceedings* (pp. 1329-1338). Springer, Cham.
27. Asala, G., Andersson, J., and Ojo, O. A. (2019). Hot corrosion behaviour of wire-arc additive manufactured Ni-based superalloy ATI 718Plus®. *Corrosion Science*, 158, 108086.
28. Zhang, J., Zhang, Q., Zhuang, Y., Kovalenko, V., and Yao, J. (2021). Microstructures and cyclic hot corrosion behavior of laser deposited Inconel 718 alloy under different heat treatment conditions. *Optics and Laser Technology*, 135, 106659.
29. Zhang, Q., Zhang, J., Zhuang, Y., Lu, J., and Yao, J. (2020). Hot Corrosion and Mechanical Performance of Repaired Inconel 718 Components via Laser Additive Manufacturing. *Materials*, 13(9), 2128.
30. Gunduz, K. O., Visibile, A., Sattari, M., Fedorova, I., Saleem, S., Stiller, K. and Froitzheim, J. (2021). The effect of additive manufacturing on the initial High temperature oxidation properties of RE-containing FeCrAl alloys. *Corrosion Science*, 188, 109553.

□