

रासायनिक सहायता प्राप्त एम.ए.एफ का उपयोग करके इनकॉनेल 625 पर जांच Investigation on Inconel 625 using Chemical Assisted M.A.F.

गुरप्रीत सिंह

Gurpreet Singh

Department of Mechanical Engineering, Chandigarh University, Mohali

garry.dhiman85@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18518609>

सारांश

उद्योगों की तकनीकी मांगों को पूरा करने के लिए वर्षों में कई नई मिश्र धातुएँ और सामग्री बनाई गईं। इनकॉनेल 625 को औद्योगिक क्षेत्रों जैसे सौर ऊर्जा संयंत्रों, पेट्रोकेमिकल उत्पादों, समुद्री और एयरोस्पेस क्षेत्रों में इसके अद्भुत भौतिकवादी गुणों के कारण उपयोग किया जाता है। इनकॉनेल 625 मिश्र धातु को विशेष गुणों के कारण मशीन और पॉलिश करना मुश्किल है। इस वर्तमान कार्य में इनकॉनेल 625 ट्यूबों की आंतरिक सतह को चमकाने के लिए वर्तमान में रासायनिक सहायता प्राप्त एम.ए.एफ. का उपयोग किया गया है। प्रयोगों का डिजाइन प्रतिक्रिया सतह पद्धति से किया गया है। अपघर्षक का वजन प्रतिशत, सतह घूमने की गति और प्रक्रिया समय सामग्री निष्कासन (एमआर) बहुत प्रभावी हैं। प्रसंस्करण अवधि (75 मिनट) एमआर में वृद्धि का मुख्य कारक है। साथ ही, अपघर्षक वजन का 35% और 270 आरपीएम की घूर्णी गति बेहतर एमआर के लिए अनुशंसित हैं। जांच से पता चला कि सीएमएफ प्रक्रिया में सबसे अच्छा एमआर 1.6 ग्राम था। एसईएम भी तैयार ट्यूबों की सतह बनावट का विश्लेषण करने के लिए प्रयोग किया गया है।

Abstract

To meet the technical requirements of industries, various new alloys and materials were developed over the years. Inconel 625 has exceptional materialistic properties and is used in various industrial applications including solar power plants, petrochemical, marine, aerospace. Due to its exceptional characteristics, Inconel 625 alloy is difficult to machine and polish by using conventional methods. In the present work, Chemical assisted MAF (CMAF) is used for polishing the inner surface of Inconel 625 tubes. The experiments have been designed using RSM (Response Surface Methodology). The weights of the abrasive and the surface rotation speed and process time have significant effects on material removal (MR). Processing time (75 minutes) is the major contributing factor to the increase in MR. Rotational speed 270 rpm and 35% of abrasive weight is also recommended for better MR. Investigations revealed that improved MR of 1.6 g was achieved in the CMAF process. The surface texture has also been analyzed using SEM.

मुख्य शब्द: रासायनिक सहायता प्राप्त एम.ए.एफ., इनकॉनेल 625, आरएसएम, सामग्री निष्कासन।

Key Words: Chemical Assisted M.A.F, Inconel 625, RSM, Material Removal.

परिचय

उद्योगों में हुई तकनीकी प्रगति को पूरा करने के लिए नए मिश्र धातुओं का उत्पादन किया जा रहा है। इनकॉनेल 625 मिश्र धातु को विशिष्ट गुणों के कारण अक्सर सौर ऊर्जा स्टेशनों, परमाणु ऊर्जा संयंत्रों, समुद्री अनुप्रयोगों और हीट एक्सचेंजर ट्यूबिंग में प्रयोग किया जाता है।^[1,2] इनकॉनेल 625 अधिक कठोर है, इसलिए पारंपरिक तरीकों से पूर्ण करना बहुत मुश्किल है।^[3,4] कठोर मिश्र धातुओं को खत्म करने के लिए बहुत से शोधकर्ताओं ने गैर-पारंपरिक परिष्करण विधि विकसित की है। एमएफ तकनीक व्यापक रूप से औद्योगिक क्षेत्रों में इस्तेमाल की जाती है क्योंकि यह कम से कम सतह दोषों के साथ सटीक सतह पूर्णतः प्राप्त करने में सक्षम है।^[5] यह अक्सर पीतल, एल्यूमीनियम और स्टेनलेस स्टील की गोल सतहों को पूर्ण करने के लिए प्रयोग किया जाता था। एमएफ की मदद से एसयूएस 304 स्टेनलेस स्टील ट्यूब की आंतरिक सतह का खुरदरापन 0.7 से 0.2 मिमी तक कम होता है।^[6] यामागुची और शिनमुरा^[7] ने एमएफ में पोल रोटेशन प्रक्रिया का उपयोग करके आंतरिक सतह को चमकाया। साथ ही, मुलिक और पांडे^[8] ने सतह को बेहतर बनाने के लिए अल्ट्रासोनिक कंपन और एमएफ को मिलाया। एमएफ इस्तेमाल करके जंगरहित स्टील सुई की आंतरिक और बाहरी सतहों को पूर्ण किया गया, जिसकी सतह लगभग 0.01 μm थी।^[9] झांग व अन्य^[10] ने एसएस 316 ट्यूब की आंतरिक सतह को चमकाने के लिए एमएफ में एक नए चुंबकीय रूप से संचालित उपकरण का उपयोग किया गया। हांग व अन्य^[11] ने Al_2O_3 / लौह-आधारित अपघर्षक का उपयोग करके एसयूएस-316 एल ट्यूब (अंडाकार आकार) को खत्म किया। जिससे सतह की फिनिश लगभग 0.04 μm सुधारी गई। यान व अन्य^[12] ने एमएफ का उपयोग करके 4.1 माइक्रोन से 10 एनएम तक की सतह खुरदरापन वाली पतली दीवार वाली ट्यूब बनाई। मजीद व अन्य^[28] ने एए1100 मिश्र धातु पर एमएफ का उपयोग किया और 1.5 एम्पियर के साथ 270 आरपीएम गति पर अधिकतम एमआर प्राप्त किया। इसलिए, सरल एमएफ कई फायदों के बजाय कठोर सामग्रियों के लिए कम उत्पादक है।

रासायनिक सहायता प्राप्त एमएफ (सीएमएफ) ने कठोर और भंगुर सामग्रियों में एमएफ के प्रदर्शन को

बढ़ाया। जब काम की सतह को रासायनिक प्रतिक्रियाओं के दौरान बढ़े हुए तापमान पर खोदते हैं तब एमएफ प्रक्रिया वर्कपीस की सतह परत को कमजोर करती है।^[13] सिंह व अन्य^[14] ने मल्टी-पोल चुंबकीय उपकरण की घूर्णन गति को एमआर के लिए सबसे महत्वपूर्ण चर बताया और इनकॉनेल 625 ट्यूब को एमएफ प्रक्रिया से पूरा किया। अपघर्षक वजन प्रतिशत (35%) और प्रसंस्करण समय (75 मिनट) भी उच्च एमआर में योगदान देते थे। टंगस्टन सपाट सतहों को खत्म करने के लिए सीएमएफ का उपयोग किया गया, जिससे सतह खत्म को लगभग 79.52% बढ़ाया गया था, जो सबसे अच्छे मानकों पर निर्भर था।^[13,15] साथ ही, इनकॉनेल 718 फ्लैट सतहों को चमकाने के लिए सीएमएफ भी प्रयोग किया गया था। 35% अपघर्षक का मध्यवर्ती वजन (%) और 75 मिनट का अधिकतम समापन समय अधिकतम एमआर के लिए जिम्मेदार थे।^[16] साथ ही, इनकॉनेल 625 ट्यूबों की आंतरिक और बाहरी सतहों की पॉलिशिंग के दौरान सीएमएफ के प्रभाव को भी देखा गया।^[17] इसके अलावा, सीएमएफ इनपुट घटकों का इनकॉनेल 625 ट्यूबों की आंतरिक और बाहरी गोलाई पर प्रभाव भी देखा गया।^[18, 19] साथ ही, अनुवांशिक एल्गोरिथम का उपयोग करके सीएमएफ प्रक्रिया मापदंडों को एमआर और सतह पूर्ण के लिए बदलने की कोशिश की गई।^[20-27]

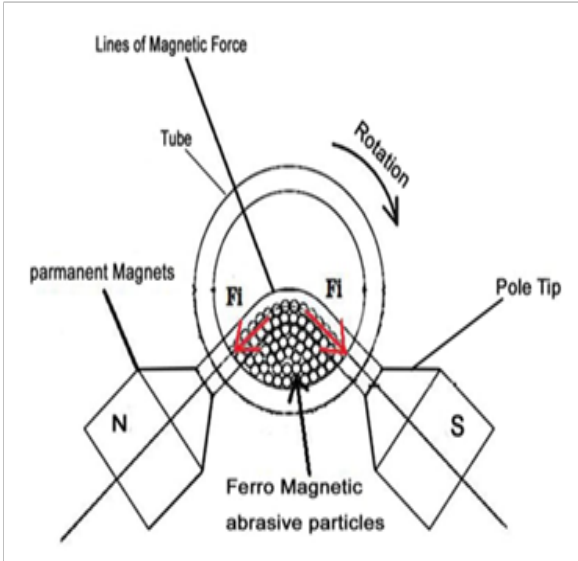
पिछले अध्ययनों में एमएफ और सीएमएफ को पीतल, टंगस्टन, स्टेनलेस स्टील, निकल मिश्र धातु और कई अन्य पदार्थों से निकालने के लिए प्रयोग किया गया है। वर्तमान अध्ययन में सीएमएफ प्रक्रिया को इनकॉनेल 625 ट्यूबों की आंतरिक सतह को समाप्त करने की जांच की गई है। सीएमएफ में एमआर पर इनपुट प्रतिक्रियाओं का विश्लेषण किया गया है।

सामग्री और विधि

सीएमएफ का मूल सिद्धांत चित्र 1 में दिखाया गया है। CMC प्रक्रिया में इथेनॉल और फेरिक क्लोराइड (FeCl_3) का सही मिश्रण काम की सतह पर लगाया जाता है और फिर 50°C से अधिक तापमान पर मफल भट्टी में रखा जाता है। आधे घंटे तक 65°C तक इस दौरान, रासायनिक कार्य की सतह के साथ प्रतिक्रिया करता है, इससे कार्य के टुकड़े की भीतरी सतह नरम हो जाती है। रासायनिक नक्काशी के बाद, एक साधारण एमएफ

का उपयोग करके कार्य सतह की नरम आणविक परत को हटाया जाता है।

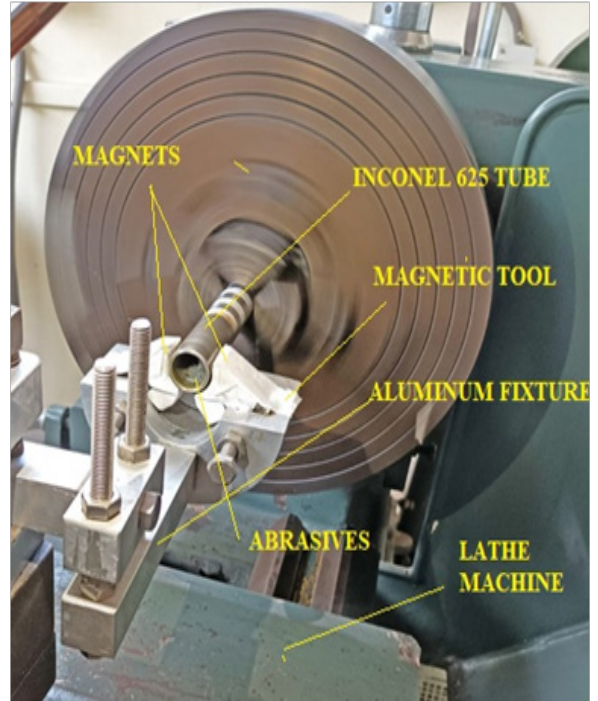
चुंबकीय उपकरण का उद्देश्य इनकॉनेल 625 ट्यूबिंग ($\text{Ø } 25 \times 2 \times 150$) मिमी का अंदरूनी भाग चमकाना था। Nd-Fe-B मैग्नेट ($35 \times 35 \times 25$) मिमी दो स्क्रू से एल्यूमीनियम फिक्स्चर से जुड़ा हुआ है। स्थायी चुंबकों का उपयोग स्थिर चुंबकीय प्रवाह घनत्व को बनाए रखने के लिए किया गया था जो कि 0.5 टेस्ला हो गया था। एल्यूमीनियम आंतरिक योक (Internal Yoke) जो एसएस-400 स्टील से बना है, चुंबक के निचले (NS) ध्रुव से जुड़ा हुआ है। ऊपरी चुंबक ध्रुवों से ट्यूब की बाहरी सतह मिलती है। बहु-गति सटीक खराद पर इसका उपयोग किया गया था। पीटीएफई टेप चुंबक ध्रुवों को चुंबक ध्रुवों और ट्यूब की सतह के बीच एक चिकनी रोटरी गति प्रदान करता है। यह प्रयोग खराद मशीन पर फिट किए गए निर्मित चुंबकीय उपकरण का उपयोग करके किए गए थे।



चित्र 1. एमएफ का सिद्धांत

तालिका 1 में निविष्ट प्रतिक्रियाओं को सीमा के साथ दिखाया गया है। पुस्तकों की समीक्षा और मशीन की क्षमताओं के आधार पर प्रक्रिया कारक और उनकी सीमा निर्धारित की गई हैं। सीएमएफ प्रक्रिया में सबसे महत्वपूर्ण इनपुट कारक प्रसंस्करण समय, अपघर्षक का वजन प्रतिशत और सतह रोटेशन गति हैं। तालिका 2 में रासायनिक नक्काशी और अन्य स्थिर कारक दिखाए गए हैं। सीएमएफ प्रक्रिया की शुरुआत में, काम की सतह को

रासायनिक समाधान से रासायनिक उपचार दिया गया था।



चित्र 2. प्रायोगिक सेटअप

इथेनॉल और फेरिक क्लोराइड युक्त रासायनिक घोल, वांछित रासायनिक सांद्रता के अनुसार बनाया गया। इलेक्ट्रिक मफल को भट्टी में डालने से पहले, ट्यूब को रासायनिक मिश्रण में डुबोया गया। तीस मिनट के लिए रासायनिक उपचार में तापमान 65°C था। यह रासायनिक घटना इनकॉनेल 625 ट्यूब की ऊपरी नरम सतह को विसरित करती है। एमएफ भी ट्यूब की आंतरिक विसरित सतह को हटाता है। बाद में, चुंबक ध्रुवों के बीच उपचारित ट्यूब को रखा गया और अपघर्षक कण (3जी) ट्यूब में डाले गए। चुंबकीय अपघर्षक ट्यूब के अंदरूनी हिस्से में चुंबकीय क्षेत्र से आकर्षित होते हैं। ट्यूब घूमते हुए अपनी आंतरिक सतह को पॉलिश करता है।

तालिका 1. सीएमएफ प्रक्रिया निविष्ट प्रतिक्रियाएं

प्रक्रिया निविष्ट कारक	प्रतीक	स्तर 1	स्तर 2	स्तर 3
		-1	0	1
प्रसंस्करण समय	A	25	50	75
सतह की गति	B	110	190	270
अपघर्षक के वजन (%)	C	25%	35%	45%

तालिका 2. अन्य प्राचल

कार्य वस्तु की सामग्री और आकार	इनकॉनेल 625 और (Ø 25×150×2) मिमी में एनडी-एफई-बी मैग्नेट
चुंबक प्रकार	योक (yoke) के लिए एसएस-400 स्टील
अपघर्षक प्रकार और आकार	सिलिकॉन कार्बाइड, आकार-60 माइक्रोमीटर
लोहे के कण का आकार	300 माइक्रोमीटर
नक्काशी तापमान	65°C
एचेंट	FeCl ₃
रासायनिक सांद्रण	600 ग्राम/लीटर
नक्काशी का समय	30 माइक्रोमीटर

तालिका 3 में दिखाए गए प्रयोगों की योजना बनाने और उन्हें पूरा करने के लिए आरएसएम का उपयोग किया गया था। आरएसएम लंबे समय की आवश्यकता को कम करता है और इनपुट और आउटपुट प्रतिक्रियाओं के बीच बेहतर सहसंबंध बनाता है। हटाई गई सामग्री को इस कार्य में आउटपुट प्रतिक्रिया कहते हैं। ट्यूब का वजन फिनिशिंग से पहले और फिनिशिंग के बाद स्काई टेक्नोलॉजी इंडिया (एसएफ-400सी) की डिजिटल वजन मशीन से जांचा गया था। ट्यूब को मशीन के पैर पर लंबवत रखा गया था और ट्यूब का वजन मशीन के डिजिटल डिस्प्ले पर दिखाया गया था। प्रारंभिक और अंतिम वजन के आधार पर एमआर की गणना निम्नलिखित संबंध का उपयोग करके की गई थी। तालिका 3 में प्रायोगिक स्थितियों के साथ एमआर परिणाम दिखाए गए हैं।

एमआर = परिष्करण से पहले ट्यूब का वजन - परिष्करण के बाद ट्यूब का वजन

तालिका 3. निर्गम प्रतिक्रियाओं के साथ प्रायोगिक स्थिति

पगडंडी	A. प्रसंस्करण समय	B. सतह की गति	C. अपघर्षक के वजन (%)	सीएमएफ में एम आर (जी)
1	1	1	-1	1.6
2	0	-1	0	0.9
3	-1	-1	-1	0.6
4	0	0	-1	0.9
5	0	0	1	1.1
6	0	0	0	1.2
7	1	-1	1	1.3
8	-1	1	1	0.7
9	0	0	0	1.1
10	1	0	0	1.5
11	-1	0	0	0.6
12	0	0	0	1.2
13	0	0	0	1.2
14	0	1	0	1.3
15	0	0	0	1.2

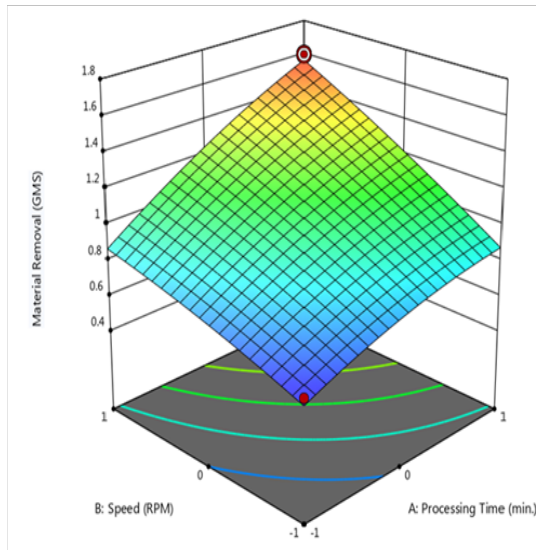
परिणाम एवं चर्चा

सीएमएफ प्रक्रिया में एमआर परिणामों का विश्लेषण विचरण (एनोवा) विश्लेषण से किया गया था। एमआर ने महत्वपूर्ण उदाहरण बनाए। एमआर पर इनपुट कारकों के प्रभाव का विश्लेषण करने के लिए एक इंटरैक्शन प्लॉट बनाया गया था। तालिका 4 में एमआर के लिए सरल एमएएफ में एनोवा परिणाम दिखाए गए हैं। 0.0026 पी-मान और 18.26 एफ-मान मॉडल का महत्व प्रदर्शित करते हैं।

तालिका 4. सीएमएफ में एमआर के लिए एनोवा

स्रोत	एसएस	डीएफ	एमएस	F-मान	P-मान	टिप्पणियाँ
नमूना	1.26	9	0.1395	48.90	0.0002	महत्वपूर्ण
A-प्रसंस्करण समय	0.4050	1	0.4050	142.01	0.0001	
B-सतह की गति	0.0800	1	0.0800	28.05	0.0032	
C-अपघर्षक के वजन (%)	0.0200	1	0.0200	7.01	0.0455	
AB	0.0291	1	0.0291	10.22	0.0241	
AC	0.0034	1	0.0034	1.20	0.3227	
BC	0.0134	1	0.0134	4.69	0.0825	
A ²	0.0179	1	0.0179	6.27	0.0542	
B ²	0.0041	1	0.0041	1.45	0.2825	
C ²	0.0413	1	0.0413	14.47	0.0126	
फिट की कमी	0.0063	1	0.0063	3.13	0.1516	महत्वपूर्ण नहीं है
शुद्ध त्रुटि	0.0080	4	0.0020			
कुल	1.27	14				

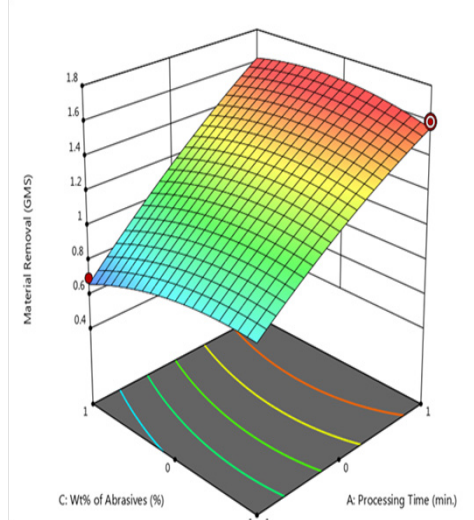
सीएमएफ में एमआर पर सतह की गति और प्रसंस्करण समय का प्रभाव : चित्र 3 में दिखाया गया है कि एमआर सतह की गति और प्रक्रिया की अवधि के साथ बढ़ता जाता है। सीएमएफ में 270 आरपीएम की गति पर और 75 मिनट की प्रसंस्करण अवधि पर अधिकतम एमआर 1.6 ग्राम है। जिसका कारण अपघर्षक आंतरिक सतहों को लंबे समय तक खत्म किया जाना है। इसके विपरीत गति बढ़ने से घर्षण दर बढ़ती है, जिससे एमआर बढ़ता है।



चित्र 3. सीएमएफ में एमआर पर सतह की गति और प्रसंस्करण समय का प्रभाव

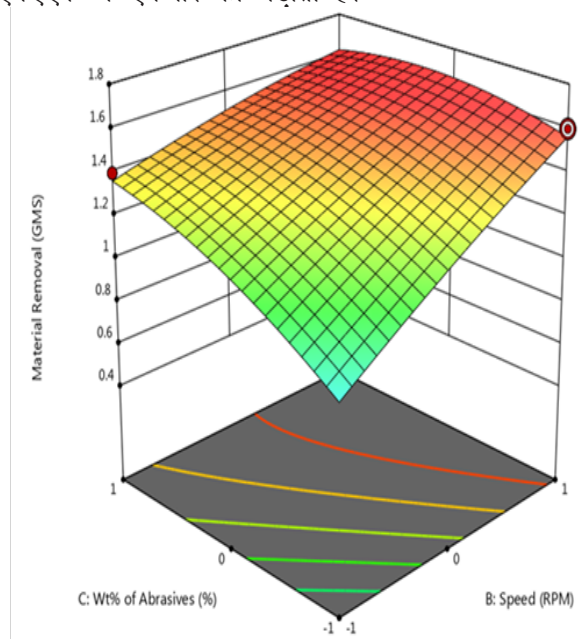
सीएमएफ में एमआर पर अपघर्षक के वजन (%) और प्रसंस्करण समय का प्रभाव : चित्र 4 से पता

चलता है कि प्रक्रिया की अवधि में वृद्धि के साथ एमआर लगातार बढ़ रहा है। अपघर्षक के वजन (%) के साथ, एमआर को 30% तक बढ़ाया जाता है और फिर धीरे-धीरे कम होना शुरू हो जाता है। जब अपघर्षक का वजन 35% होता है और प्रक्रिया अवधि 75 मिनट होती है, तो अधिकतम एमआर सीएमएएफ मिलता है। माना जाता है कि प्रसंस्करण के दौरान समय सबसे महत्वपूर्ण है। इसके विपरीत, कुशल चुंबकीय अपघर्षक ब्रश अपघर्षक के वजन (%) 35 पर उत्पन्न होता है, जो अधिकतम एमआर का कारण है।



चित्र 4. सीएमएएफ में एमआर पर प्रसंस्करण समय और अपघर्षक के वजन (%) का प्रभाव

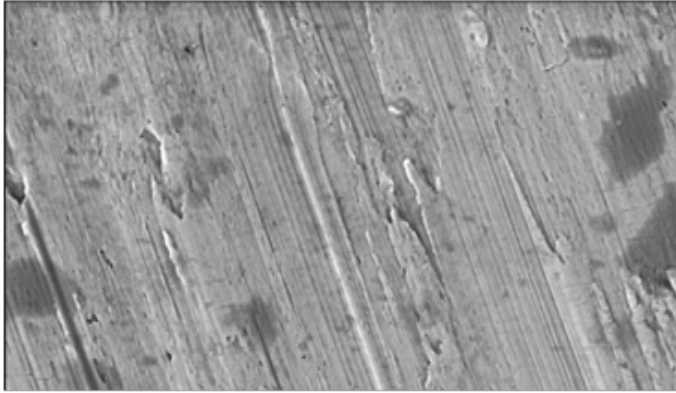
सीएमएएफ में एमआर पर सतह की गति और अपघर्षक के वजन (%) का प्रभाव : चित्र 5 में दिखाया गया है कि सीएमएएफ में मध्य सीमा तक अपघर्षक गति और भार में वृद्धि के साथ एमआर में सुधार हो रहा है। अपघर्षक की घूर्णी गति 270 आरपीएम होती है और इसके वजन का अधिकतम 35% होता है। ऐसा ट्यूब की सतह पर कण प्रहार दर में वृद्धि और अपघर्षक कणों की प्रभावी मात्रा से हुआ। अध्ययन बताता है कि ट्यूब सतह की रासायनिक नक्काशी सीएमएएफ में एमआर को बढ़ाती है।



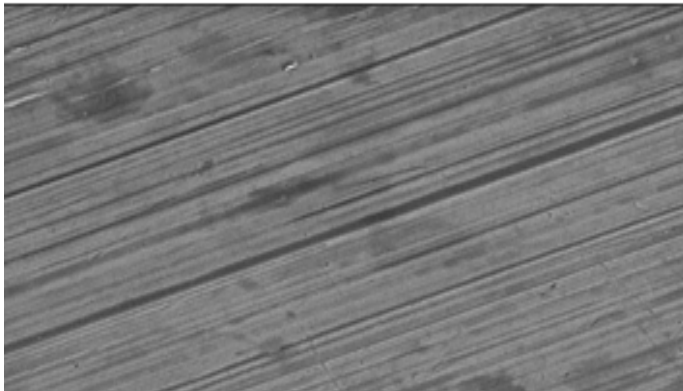
चित्र 5. सीएमएएफ में एमआर पर सतह की गति और अपघर्षक के डब्ल्यूटी (%) का प्रभाव

सतही स्थलाकृति

तैयार सतह की बनावट की जांच, सीएमएएफ के साथ खुरदरी सतह पर इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी स्कैनिंग का उपयोग करके की गई है। चित्र 6(a) खुरदरी सतह की SEM चित्र है। खुरदरी सतह पर खरोच, लहरदारपन और उपकरण के निशान जैसी अनियमितताएं हैं। चित्र 6(b) सतह की एसईएम छवि को सीएमएएफ प्रक्रिया से तैयार करता है। सीएमएएफ द्वारा निर्मित सतह में कम अनियमितताएं स्पष्ट रूप से दिखाई देती हैं। इसलिए, सीएमएएफ बेहतर सतह बनावट और एमआर प्रदान करता है, जो उचित है।



(a)



(b)

चित्र 6. एसईएम छवियां (a) खुरदरी सतह; (b) सीएमएएफ के साथ पॉलिश किया गया

निष्कर्ष

इनकॉनेल 625 ट्यूब की आंतरिक सतह को सीएमएएफ प्रक्रिया के साथ कुशलतापूर्वक समाप्त किया गया है और निम्नलिखित निष्कर्ष निकाले गए हैं:

1. सतह घूर्णी गति, प्रसंस्करण समय, अपघर्षक आकार और अपघर्षक का वजन (%) एमआर पर काफी प्रभाव डालते हैं।
2. सीएमएएफ में, एमआर में सुधार के लिए प्रसंस्करण समय सबसे महत्वपूर्ण कारक है, बाद में घूर्णी गति और अपघर्षक का वजन (%) आते हैं।
3. सीएमएएफ प्रक्रिया में अधिकतम एमआर प्राप्त करने के लिए 75 मिनट की प्रक्रिया और 270 आरपीएम की घूर्णी गति की सिफारिश की जाती है।
4. सीएमएएफ में अपघर्षक के 35 प्रतिशत वजन (%) पर सर्वाधिक एमआर मिलता है।
5. सीएमएएफ प्रक्रिया में सबसे अधिक एमआर 1.6 ग्राम प्राप्त हुआ।

संदर्भ

1. Fusova L, Rokicki P, Spotz Z, Saxl K, C. Siemers C, "Tool wear mechanisms during machining of alloy 625", *Adv Mater Res* (2011); 275:204-207.
2. Nath C, Brooks Z, Kurfess TR, "Machinability studies and process optimization in face milling of some super alloys with indexable copy face mill inserts", *J Manuf Process*, (2015), 20:88-97.
3. Dhanabalan S, Sivakumar K, Narayanan CS, "Analysis of form tolerance in electrical discharge machining process for Inconel 718 and 625", *Mater Manuf Process*, (2014), 29:253-259.
4. Thakur A, Gangopadhyay S, "State of the art in surface integrity in machining of nickel-based super alloys", *Int J Mach Tools Manuf* (2016); 100:25-54.
5. Kala P, Pandey PM, "Comparison of finishing characteristics of two paramagnetic materials using double disk magnetic abrasive finishing", *J Manuf Process*, (2015), 17:63-77.
6. Shinmura T, Yamaguchi H, "Study on a new internal finishing process by application of magnetic abrasive machining: internal finishing of stainless steel tubes and clean gas bombs", *JSME Int J Ser C Dyn Control Robot Des Manuf*, (1995), 38:798-804.
7. Yamaguchi H, Shinmura T, "Study of internal magnetic abrasive finishing using pole rotation system", Discussion of typical abrasive behavior. *Precise Eng*, (2000), 24:237-244.
8. Mullick RS, Pandey PM, "Experimental investigation and optimization of ultrasonic assisted magnetic abrasive finishing process", *Proc Inst Mech Eng Part B J Eng Manuf*, (2011), 225:1347-1362.
9. Natejiaremia V, Wang Y, Li W, Shihab A. Yamaguchi H, "Surface finishing of needles for high performance biopsy", *Procedia CIRP*, (2014), 14:48-53.
10. Zhang J, Wang H, Kumar AS, Jin M, "Experimental and theoretical study of internal finishing by a novel magnetically driven polishing tool", *Int J Mach Tools Manuf*, (2020), 1534:103552.
11. Heng L, Kim JS, Song JH, Mun SD, "MAF process or application of Al₂O₃/iron-based composite abrasive on inner surface finishing of oval shaped tube: Predicting the results of MAF process using artificial neural network mode", *J Mater Res Technol*, (2021), 15:3268-3282.
12. Yang Y, Zhu Y, Li B, Fu Y, Jiang Y, Chen R, Hang W, Sun X, "A magnetic abrasive finishing process with an auxiliary magnetic machining tool for finishing the inner surface of a thick-walled tube", *Machines* (2022), 10:529.
13. Sihag N, Kala NP, Pandey PM, "Chemo assisted magnetic abrasive finishing: experimental investigation", *Procedia CIRP*, (2015), 26:539-543.
14. Singh G, Kumar H, Kumar A, "Investigation of machining of Inconel 625 flat surfaces with multipole magnetic tool", *Indian J Sci Technol*, (2018), 11:1-9.
15. Sihag N, Kala P, Pandey PM, "Analysis of surface finish improvement during ultrasonic assisted magnetic abrasive finishing on chemically treated tungsten substrates", *Procedia Manuf*, (2017), 10:136-146.
16. Singh G, Kumar H, Kumar A, "Machining of Inconel 718 flat surfaces with chemical assisted magnetic abrasive finishing process", *Indian J Sci Technol*, (2018), 11:1-6.
17. Singh G, Kumar H, Kansal HK, Srivastava A, "Effect of chemically assisted magnetic abrasive finishing process parameters on material removal of Inconel 625 tubes", *Procedia Manuf*, (2020), 48:466-473.
18. Singh G, Kumar H, Kansal HK, "Investigation of internal roundness of Inconel 625 tubes with chemically assisted magnetic abrasive finishing", *Mater Today Proc*, (2019), 19:1579-1585.
19. Singh G, Kumar H, "Influence of chemically assisted magnetic abrasive finishing process parameters on external roundness of Inhaler 625 tubes", *Mater Today Proc*, (2020), 37:3283-3288.
20. Singh et al, "Multi-objective optimization of chemically assisted magnetic abrasive finishing (MAF) on Inconel 625 tubes using genetic algorithm: modeling and microstructural analysis", *Micromachines*, (2022), 13 (8):1168.
21. Arya V, Sethi D, Paul J, "Does digital footprint act as a digital asset? - Enhancing brand experience through remarketing", *Int. J. Inf.*, (2019), 49:142-156.
22. Ravinder K, Kaur K, Mor S, "System analysis of municipal solid waste management in Chandigarh and minimization practices for clean emissions", *J Clean Prod*, (2015), 89:251-256.
23. Singh U, Salgotra R, "Synthesis of linear antenna array using flower pollination algorithm", *Neural Comput* (2018), 29 (2):435-445.
24. Kumar et al, "Microbial lipolytic enzymes - promising energy-efficient biocatalysts in bioremediation", *Energy*, (2020), 192:116674.
25. Ramteke DD, Balakrishna A, Kumar V, Swart HC, "Investigation of luminescence dynamics and Judd-Offelt intensity parameters of glasses containing Sm³⁺ ions", *Opt Mater (AMST)* (2017), 64:171-178.
26. Gupta A, Singh D, Kaur M, "An efficient image encryption using non-dominated sorting genetic algorithm-III based 4-D chaotic maps", *J Ambient Intell Humaniz Comput*, (2020), 1309-1324.
27. Kumar R, Chauhan JS, Goyal R, Chauhan P, "Effect of process parameters of resistance spot welding on mechanical properties and microhardness of stainless steel 304 weldments", *Int J Struct Integr*, (2021), 12:366-377.
28. Majeed M, Khadum AH, Zubaidi SA, "Study of the effect of magnetic abrasive finishing on material removal of AA1100 aluminum alloy", *Al-Khwarizmi Eng J*, (2023), 19:14-23.

□