

डोकरा ढलाई की शुद्धता का माप

Accuracy Measurement of Dokra Casting

सौम्यजीत रॉय¹, सुभाशीष सरकार², अक्षय कुमार प्रमाणिक³, प्रशांत कुमार दत्ता⁴

Soumyajit Roy¹, Subhasish Sarkar², Akshay Kumar Pramanick³, Prasanta Kumar Datta⁴

¹ Ph.D. Scholar, Dept. of Metallurgical and Material Engineering,

² Research Scholar, Dept. of Mechanical Engineering,

^{3,4} Professor, Dept. of Metallurgical and Material Engineering, Jadavpur University, Kolkata-700032

soumyajit.roy009@gmail.com, subha.jumechanical@gmail.com,

akshay99.ju@gmail.com, dokra_pkd52@yahoo.co.in

<https://doie.org/10.0524/VP.2024207667>

सारांश

'डोकरा' या 'डोकरा' ढलाई भारत की एक प्राचीन कला है। डोकरा एक महान कला के रूप में विश्व भर में प्रसिद्ध है। लेकिन इस बात की चर्चा नहीं है कि यह बहुत विकसित प्रौद्योगिकी भी है। यह तकनीक ताम्र युग यानि सिंधु घाटी सभ्यता के समय से चली आ रही है। आम तौर पर, खोये हुये मोम निवेश ढलाई तकनीक का उपयोग करके पतली दीवार वाले खोखले बर्तन और मूर्तियाँ तैयार किए जाते हैं। डोकरा पूरी दुनिया भर में बहुत लोकप्रिय हैं। हाथ से बनाने वाला सामान होने के नाते इसका आकार या माप, शुद्धता पर कोई उतना ध्यान नहीं दिया जाता। मगर आजकल वैश्विक बाजार में किसी उत्पाद को बेचने के लिए शुद्धता जानने की जरूरत है। लेकिन इस क्षेत्र में इस मुद्दे से संबंधित आंकड़ों की कमी है। यहाँ किसी विशेष डोकरा उत्पाद को समूह उत्पादन की शुद्धता को निर्धारित करने का प्रयास किया गया है। शुद्धता दर को समझने के लिए बारंबारता बंटन और सिक्स सिग्मा विधि जैसे विभिन्न उपकरणों का उपयोग किया गया है।

ABSTRACT

'Dhokra' or 'Dokra' casting is an ancient art of India. But it is not been discussed that it is also a very developed technology. The technique has been carried out by generations from the time of the Copper age, i.e. Indus valley civilization. Generally, thin-walled hollow utensils and models are produced using the lost wax investment casting technique. The Dokra products are so popular worldwide. The accuracy of any product is essential now a day especially for selling a product in the international market but in this field, there is lack of data related to this issue. The accuracy for batch production was tried to determine for making a particular product by the artisans. Different tools like Frequency Distribution and Six Sigma (6σ) methods were used to understand the accuracy rate.

मुख्य शब्द: डोकरा, सिंधु घाटी सभ्यता, मोम आधारित निवेश ढलाई प्रक्रिया, समूह उत्पादन।

Key words: Dokra, Indus valley civilization, Lost Wax investment Casting Process, Batch Production.

1. परिचय

'डोकरा' या 'डोकरा' ('Dhokra' or 'Dokra') ढलाई एक पारंपरिक भारतीय धातु ढलाई या कास्टिंग

(Casting) तकनीक है [1–2]। इसका पहला निदर्शन सिंधु घाटी सभ्यता में मिलता है [3]। आदिवासी कारीगर आज भी इस परंपरा को बनाकर रखे हुए हैं। छत्तीसगढ़, झारखंड, उड़ीसा और बंगाल के कुछ हिस्से में डोकरा कारीगरों का निवास है [4]। इस खूबसूरत कला के पीछे कई प्रौद्योगिकी [5–7] छिपी हैं। खोई हुई मोम निवेश ढलाई तकनीक का उपयोग करके पतली दीवार वाले खोखले बर्तन, खोखले एवं टोस कलाकृतियां और मूर्तियों का उत्पादन किया जाता है।

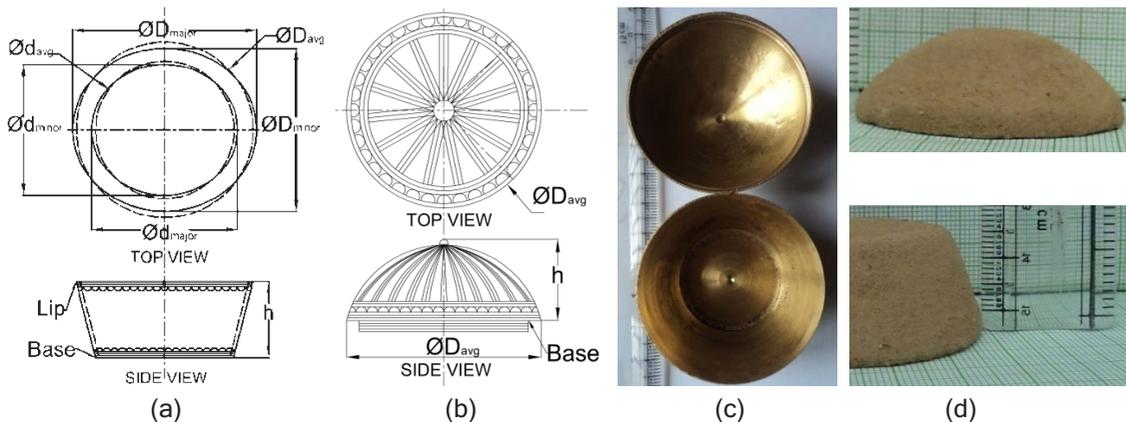
डोकरा कला सम्पूर्ण विश्व में प्रसिद्ध है। हालांकि यह एक हस्तनिर्मित कलाकृति है, विशेष रूप से वैश्विक बाजार में बेचने के लिए डोकरा उत्पादों की शुद्धता आजकल महत्वपूर्ण है। डोकरा कारीगरों द्वारा बनाए गए उत्पादों की शुद्धता मापने के लिए यहाँ एक योजना बनाई गई है। इस योजना को, विशेषकर समूह उत्पादन के लिए तैयार किया गया है। समूह उत्पादन के लिए इसे विशेष कर किया गया। सटीकता को समझने के लिए 'Frequency Distribution' (आवृत्ति वितरण/ बारंबारता वितरण) [8] और 'Six Sigma (6σ) method' जैसे विभिन्न परंपरागत तकनीकी उपकरणों का उपयोग किया गया।

2. प्रयोग की प्रक्रिया

डोकरा कारीगरों की सटीकता की जांच के लिए एक प्रयोग तैयार किया गया। एक ही आकार और रूप के कई सिंदूर पात्र और उनके ढक्कन (चित्र –1.a,b) बनाने की परिकल्पना की गयी। एक साँचे (चित्र–1.c) में मिट्टी डालकर सबसे पहले मिट्टी का अन्तःसार (core) (चित्र–1.d) बनाया गया। सूख जाने के बाद उसके ऊपर मोम से कलाकृति बनायी गयी (चित्र–1.f,g)। मोम की संरचना के ऊपर मिट्टी की कई परतें लगाते हैं (चित्र–1.h,i)। तरल धातु डालने के लिए थोड़ी-सी जगह खाली रखी जाती है। मिट्टी के साँचे के पूरी तरह सूख जाने के बाद इसे भट्टी में डालकर लाल होने तक उसमें रखा जाता है। तरल धातु लाल गर्म स्थिति में मिट्टी के साँचे में डाली जाती है (चित्र–1.j)। ठंडा हो जाने के बाद ढाँचे को तोड़कर उत्पादक वस्तु को निकाला जाता है (चित्र–1.k)। अंत में थोड़ा पोलिश करके अंतिम उत्पाद प्रस्तुत किया जाता है (चित्र–1.l)।

मिट्टी का अन्तःसार, मोम का ढाँचा और मिट्टी का साँचे (मिट्टी के साँचे) के लिए प्रयुक्त सामग्री तालिका –1, 2 में सारणीबद्ध है।

चित्र.1: सिंदूर पात्र के ढलाई के चरण: (a,b) सिंदूर पात्र तथा ढक्कन का योजनाबद्ध आरेख, (c) साँचे, (d) मिट्टी का अन्तःसार, (e) काम करने वाले कारीगर, (f,g)– मोम का ढाँचा, (h) प्राथमिक मिट्टी की परत,





(i) मिट्टी के सम्पूर्ण सांचे, (j) निकालने के बाद गरम लाल मिट्टी के सांचे – तरल धातु डाला जा रहा है, (k) गेटिंग सिस्टम के साथ अधूरा उत्पाद, (l)– तैयार सिंदूर का बर्तन

तालिका -1: मिट्टी का अन्तःसार और मिट्टी के सांचे के लिए प्रयुक्त सामग्री

	मिट्टी और रेत का प्रकार	अवयव
1.	मिट्टी का अन्तःसार (Clay core)	काओलाइट मिट्टी (Kaolinite clay) + चावल की भूसी (rice husk) + गाय का गोबर (Cow Dung)
2.	मिट्टी के सांचे (Clay Mold)	काओलाइट मिट्टी (Kaolinite clay) + चावल की भूसी (rice husk) + गाय का गोबर (Cow Dung)
3.	बालू	सिलिका (Silica) रेत (मध्यम/क्षुद्र)

तालिका -2: मोम का ढाँचा के लिए प्रयुक्त सामग्री

	संरचना की मोम का उपादान	प्रकार- 1	प्रकार- 2	प्रकार- 3
1.	पेट्रोलियम टार / पिच (Petroleum tar / Pitch)	65%	—	—
2.	साल का राल (Sal resin)	35%	40%	20%
3.	मधुमक्खी मोम (Bees wax)	—	60%	20%
4.	पेट्रोलियम से प्राप्त ठोस पैराफिन मोम (Paraffin wax)	—	—	40%

3. परिणाम और अवलोकन

सिंदूर पात्र और ढक्कन उत्पादन के सभी स्तर, मिट्टी का अन्तःसार, मोम की संरचना, ढलाई उत्पाद के अंदरूनी और बाहरी आयामों को मापा गया और फिर विसंगति का पता लगाने के लिए गणना की गई। आयामों (dimensions) की भिन्नता (Variation) को निर्धारित करने के लिए आवृत्ति वितरण (frequency distribution) की गणना सिक्स-सिग्मा (six Sigma or 6σ) स्केल के सहारे की गई।

3.1 गणना प्रक्रिया

प्रसरण (Variance = σ^2) और मानक विचलन (Standard Deviation = σ) सूत्र समूह समीकरण (1) और (2) में दिखाया गया है :-

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X - X_m)^2}{N} \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X - X_m)^2}{N}} \quad (2)$$

यहां, X = व्यक्तिगत जनसंख्या (Individual population), X_m = माध्य जनसंख्या (Mean population), N = नमूने की संख्या (number of sample).

स्वीकरण क्षेत्रों की सीमा के अनुसार लगभग 68% आयाम 2σ क्षेत्र के भीतर होने चाहिए, 95% आयाम 4σ के भीतर और 99.99% आयाम 6σ क्षेत्र के भीतर होने चाहिए [9]।

3.2 सिंदूर के पात्र और ढक्कन का आयामी विश्लेषण

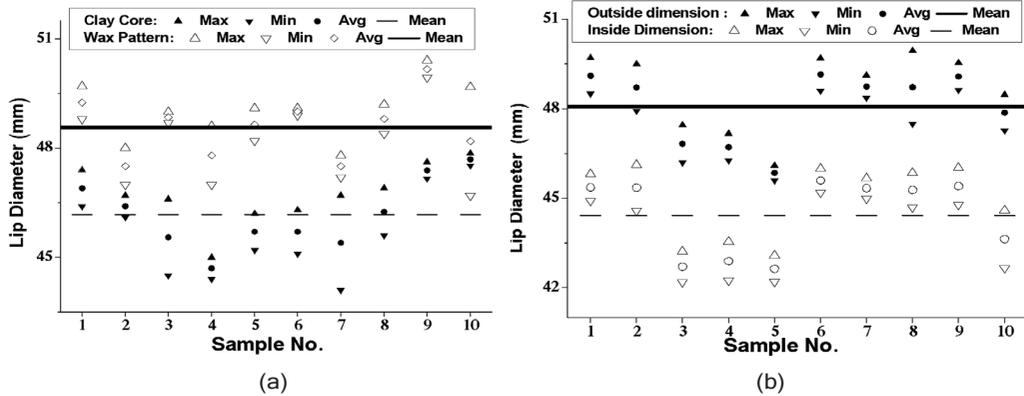
सिंदूर पात्र और ढक्कन का सभी नमूनों से, आयाम का वितरण, आयामों का विचलन, किनारों का अंदरूनी और बाहरी व्यास, तल का व्यास, और ऊंचाई के आयामों का आवृत्ति वितरण की गणना और विश्लेषण किया गया है।

3.2.1 आयामों का वितरण (Distribution of the Dimensions)

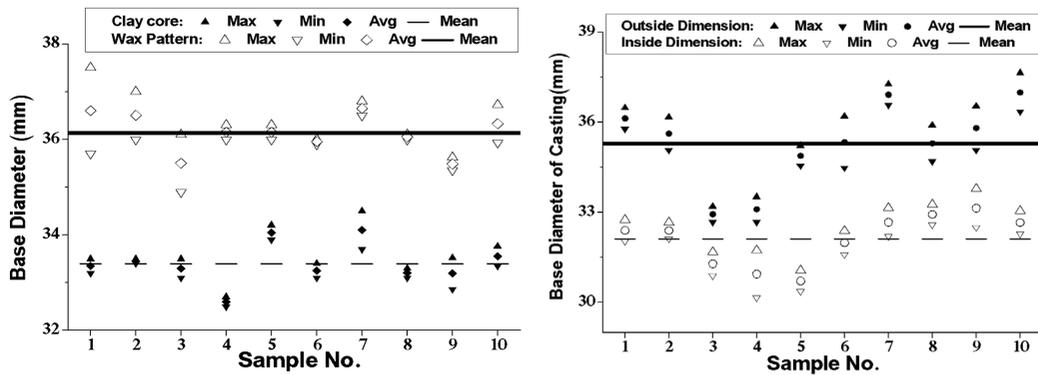
प्रमुख व्यास, छोटे व्यास, औसत व्यास और विभिन्न स्थान की ऊंचाई के वितरण की गणना की गई और चित्र-2 में सिंदूर पात्र के किनारों का व्यास, चित्र - 3 में सिंदूर पात्र के तल का व्यास, चित्र- 4 में सिंदूर पात्र की ऊंचाई, चित्र- 5 में सिंदूर पात्र का ढक्कन और चित्र- 6 में सिंदूर पात्र के ढक्कन की ऊंचाई का वितरण दिखाया गया है।

3.2.2 आयामों का विचलन (Deviation of Dimensions) और बारंबारता वितरण (Frequency Distribution of Dimensions)

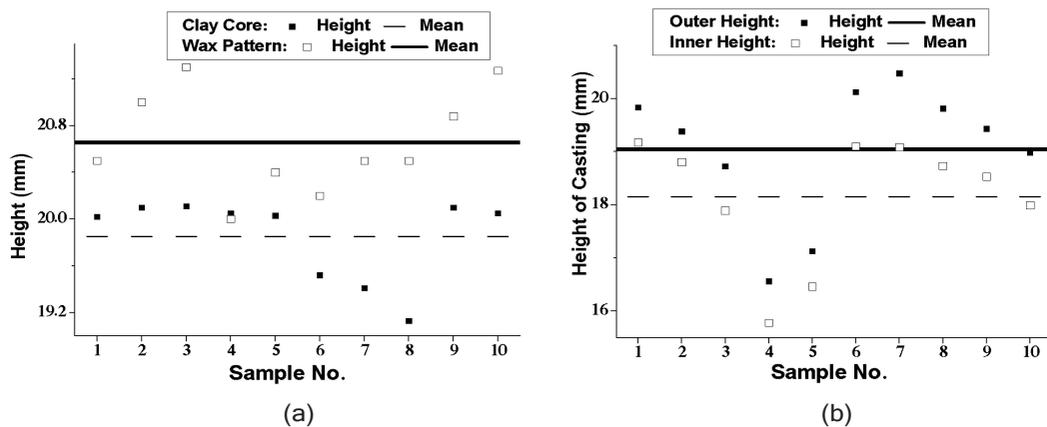
ऊपरी मानक विचलन तथा निचले मानक विचलन की गणना की गई (तालिका -3) और चित्र -7 में आरेखित किए गए सिंदूर पात्र और ढक्कन के लिए बारंबारता वितरण सिक्स सिग्मा (6σ) स्केल में आरेखित किया गया और तालिका- 4 और 5 में सारणीबद्ध किया गया।



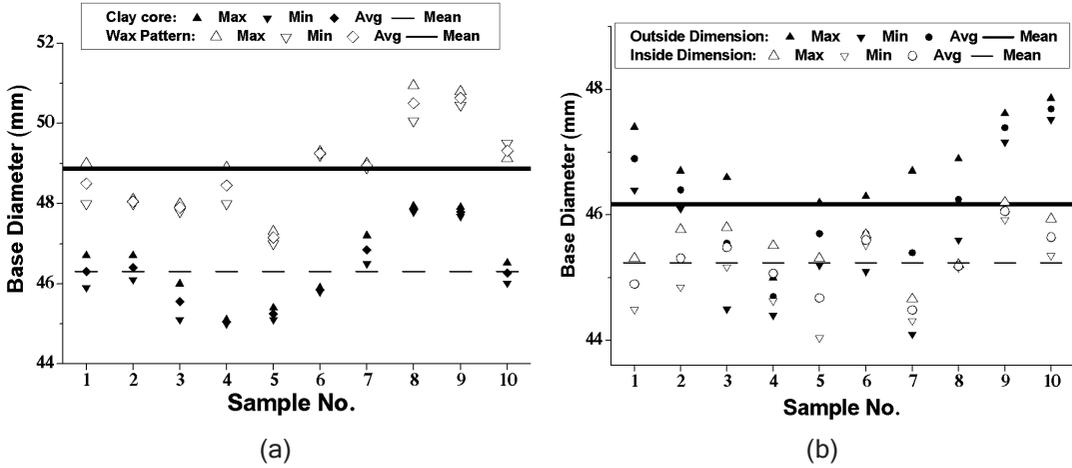
चित्र-2: सिंदूर पात्र के किनारों (Lip) के मापों का प्रमुख, लघु, और औसत वितरण: (a) मिट्टी के अंदरूनी, मोम का ढाँचा (मोम पैटर्न), (b) ढलाई का अंदर और बाहर का माप



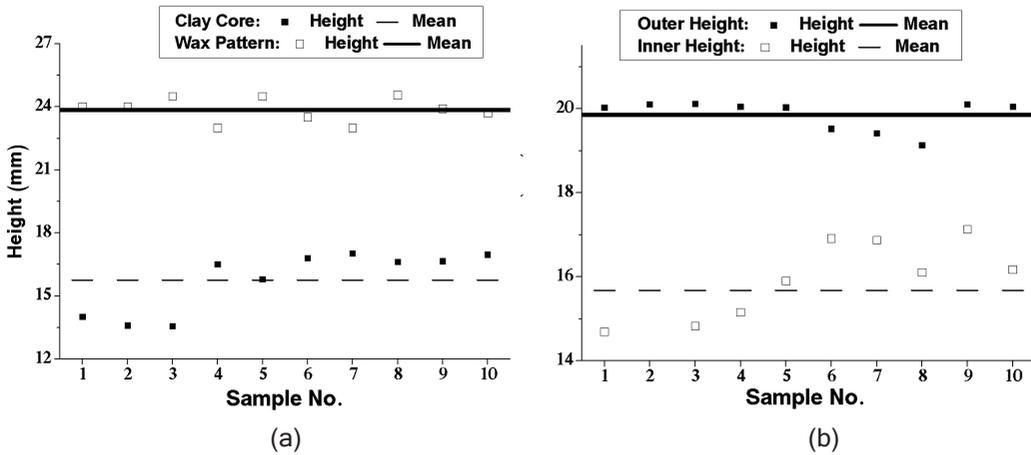
चित्र-3: सिंदूर पात्र के तल (Base) के मापों का प्रमुख, लघु, और औसत वितरण: (a) मिट्टी के अंदरूनी, मोम का ढाँचा, (b) ढलाई के अंदर और बाहर के माप



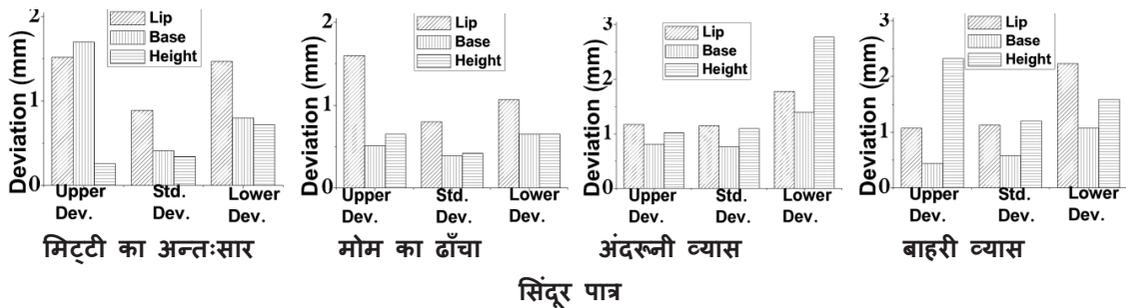
चित्र-4: सिंदूर पात्र के कद (Height) के मापों का प्रमुख, लघु, और औसत वितरण: (a) मिट्टी के अंदरूनी, मोम का ढाँचा, (b) ढलाई का अंदर और बाहर के माप

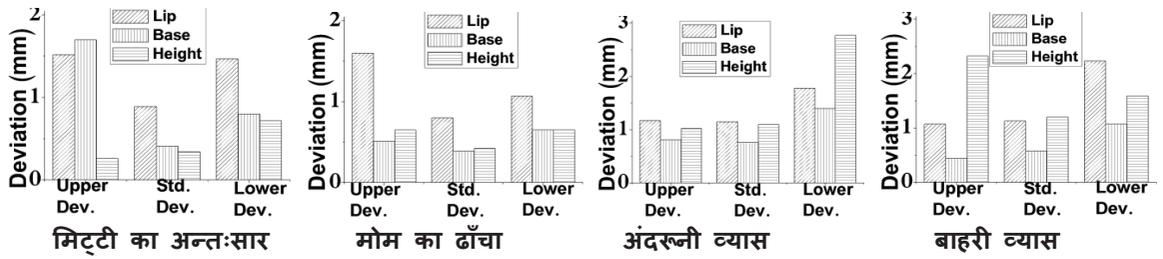


चित्र-5: सिंदूर पात्र के ढक्कन के किनारों (Base) की मापों का प्रमुख, लघु, और औसत वितरण: (a) मिट्टी के अंदरूनी, मोम का ढाँचा, (b) ढलाई के अंदर और बाहर के माप



चित्र-6: सिंदूर पात्र की ढक्कन के कद (Height) की मापों का प्रमुख, लघु, और औसत वितरण: (a) मिट्टी के अंदरूनी, मोम का ढाँचा, (b) ढलाई के अंदर और बाहर के माप





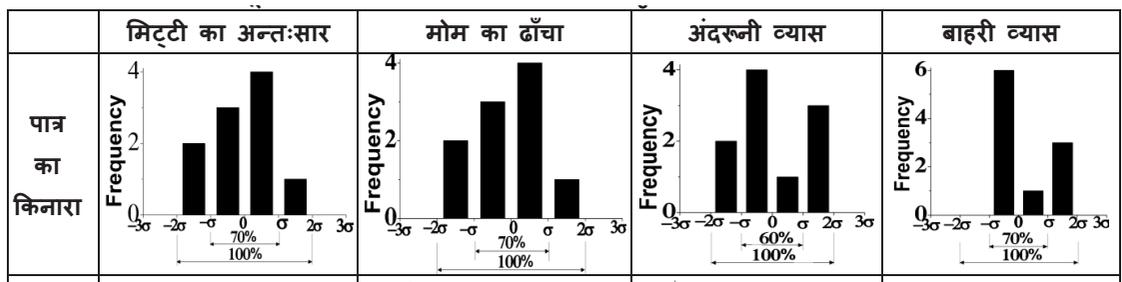
सिंदूर पात्र की ढक्कन

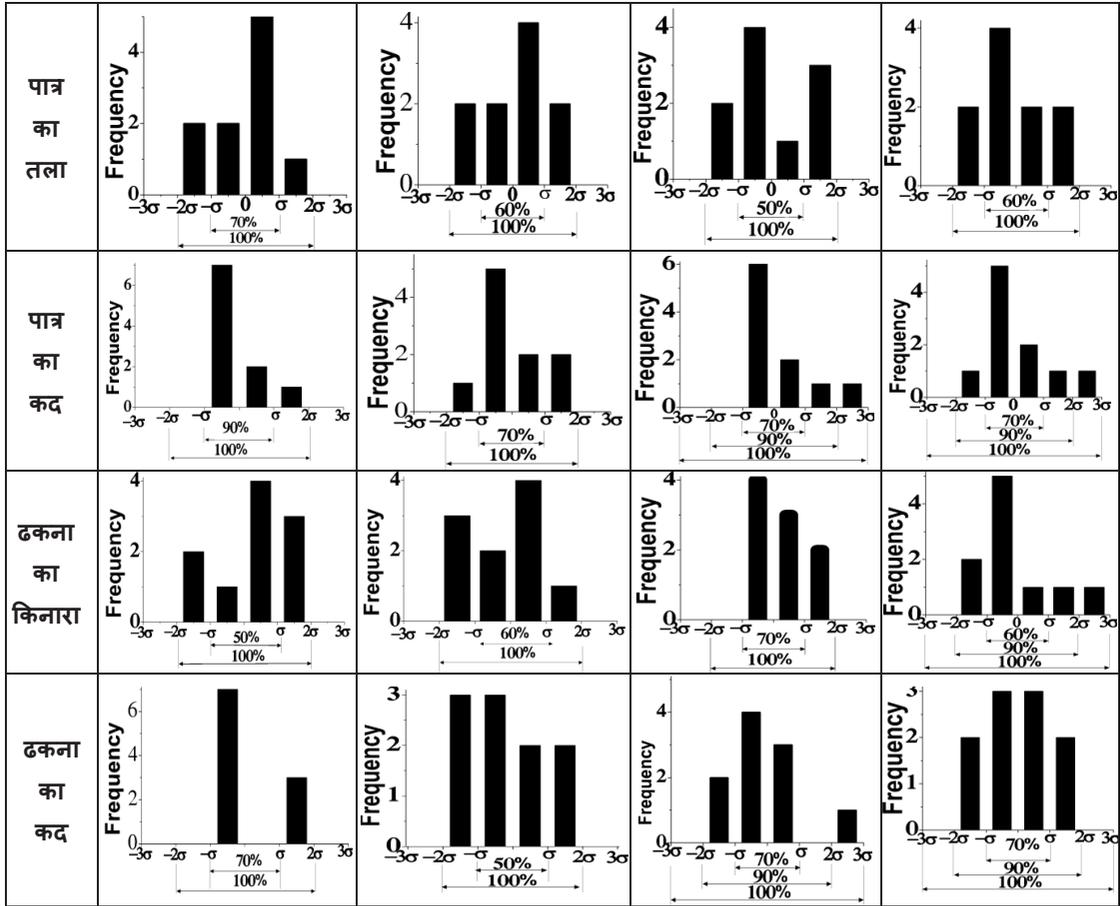
चित्र-7: सिंदूर पात्र और ढक्कन के आयाम का ऊपरी विचलन (Upper deviation) निम्न विचलन (Lower deviation) और मानक विचलन (Standard deviation)

तालिका-3: सिंदूर पात्र और ढक्कन के विचलन (Deviation) की गणना (mm)

स्थान	औसत माप mm	मानक विचलन mm	ऊपरी विचलन mm	निम्न विचलन mm	माध्य भिन्नता mm	औसत व्यास mm	मानक विचलन mm	ऊपरी विचलन mm	निम्न विचलन mm	माध्य भिन्नता mm
सिंदूर पात्र का अन्तःसार					सिंदूर पात्र के मोम की संरचना					
किनारा	46.17	0.89	1.52	1.47	1.12	48.57	0.8	1.6	1.07	0.98
तल	33.4	0.41	0.7	0.8	0.37	36.14	0.39	0.51	0.65	0.61
कद	19.85	0.34	0.26	0.72	X	20.65	0.42	0.65	0.65	X
ढलाई सिंदूर पात्र का आंतरिक माप					ढलाई सिंदूर पात्र का बाहरी माप					
किनारा	44.27	1.15	1.17	1.78	1.14	48.08	1.13	1.07	2.23	1.18
तल	32.12	0.76	0.81	1.4	0.88	35.87	0.58	0.44	1.07	0.43
कद	18.15	1.1	1.02	2.77	1.14	19.04	1.2	2.32	1.59	X
सिंदूर पात्र के ढक्कन का अन्तःसार					सिंदूर पात्र के ढक्कन मोम की संरचना					
किनारा	46.32	1.06	1.71	1.105	0.431	48.82	1.09	1.67	1.81	0.435
कद	15.75	1.37	2.22	1.23	X	23.88	0.57	0.88	0.67	X
ढलाई होने के बाद ढक्कन का आंतरिक माप					ढलाई होने के बाद ढक्कन का बाहरी माप					
किनारा	45.24	0.45	0.75	0.82	0.595	48.46	0.53	1.15	0.62	0.55
कद	15.67	0.45	2.66	1.23	X	23.33	1.04	1.54	1.57	X

तालिका-4: सिंदूर पात्र और ढक्कन के किनारों का आवृत्ति वितरण (Frequency Distribution)





तालिका-5: सिंदूर पात्र और ढक्कन का आवृत्ति वितरण (Frequency Distribution)

	स्थान	मिट्टी का अन्तःसार			मोम की संरचना			ढलाई का अंदरूनी माप			ढलाई का बाहरी माप		
		2σ (%)	4σ (%)	6σ (%)	2σ (%)	4σ (%)	6σ (%)	2σ (%)	4σ (%)	6σ (%)	2σ (%)	4σ (%)	6σ (%)
सिंदूर पात्र	किनारा	70	100	100	100	100	100	60	100	100	70	100	100
	तल	70	100	100	100	100	100	50	100	100	60	100	100
	कद	90	100	100	100	100	100	70	90	100	70	90	100
ढक्कन	किनारा	50	100	100	60	100	100	70	100	100	60	90	100
	कद	70	100	100	40	100	100	70	90	100	80	100	100

3.3 धातु विश्लेषण

ढलाई के लिए प्रयुक्त धातु की रासायनिक संरचना तालिका- 5 में सारणीबद्ध है। रासायनिक विश्लेषण से यह पाया गया कि ये पीतल (Brass) है, जिसमें 60% तांबा और करीब 40% जिंक है। इसे मुंटज मेटल (Muntz metal) कहते हैं।

3.4 अवलोकन

प्रयोग के परिणामों से निम्नलिखित निर्णय लिया जा सकता है:

- रासायनिक विश्लेषण से पता चला कि ढलाई के लिए 60-40 पीतल (60-40 Brass) [10] का उपयोग किया गया है।
- सभी नमूनों के लिए आवृत्ति वितरण सिक्स सिग्मा (6σ) क्षेत्र के भीतर पाए गये हैं।
- मिट्टी के अन्तःसार, मोम के ढांचे या ढलाई उत्पाद के दौरान किसी भी अवस्था में आयाम के विचलन सिक्स सिग्मा (6σ) क्षेत्र के अंदर था।
- किनारे के व्यास और ऊंचाई के मानक विचलन, तल के व्यास के मानक विचलन से ज्यादा होता है। विश्लेषण इंगित करता है कि खुले वर्गों में अधिक विचलन है।

तालिका-6: धातु का रासायनिक विश्लेषण

	धातु का रासायनिक तत्व	प्रतिशत (%)		धातु का रासायनिक तत्व	प्रतिशत (%)
1.	ताँबा [Copper (Cu)]	60.72	4.	टिन [Tin (Sn)]	0.37
2.	जिंक (Zn)	38.76	5.	लोहा [Iron (Fe)]	0.07
3.	लेड [Lead (Pb)]	0.05	6.	अन्य तत्व	0.02

4. निष्कर्ष

कोई भी उद्योग अपने श्रमिकों के विकास के बिना विकसित नहीं हो सकता है। डोकरा कारीगरों को अपनी खुद की विश्वसनीयता का पता नहीं है। वे कितना ही सुन्दर और निपुण काम कर लें, जब तक पारंपरिक तकनीकी विधि से उनके काम की जांच पड़ताल नहीं होगी तब तक वैश्विक क्षेत्र में ये प्रतिस्पर्धा नहीं कर पाएंगे।

- सारे उत्पादक वस्तु पूरी तरह से हाथों से बनाये हुए हैं। फिर भी ये देखने को मिला कि सारे आयाम सिक्स सिग्मा (Six Sigma- 6σ) क्षेत्र के अंदर हैं।
- डोकरा के हर एक चरण का काम हाथों से होता है। किसी यंत्र का उपयोग नहीं होता है। यहाँ परीक्षण से पता चल रहा है कि किसी भी चरण के आयाम का माप सिक्स सिग्मा (6σ) के क्षेत्र में रहता है।
- तल के व्यास का मानक विचलन किनारों के व्यास और ऊंचाई के मानक विचलन से छोटा होता है। विश्लेषण इंगित करता है कि खुले वर्गों में अधिक विचलन है।
- कोई भी तकनीक सिक्स सिग्मा स्केल पर अगर उपयुक्त हो तो तकनीकी रूप से सभी संतुष्ट हो जाते हैं।

इस काम का गुरुत्व यही है कि, हमारे देश के आदिवासी कारीगर जो पीढ़ियों से इस तकनीक का प्रयोग कर रहे हैं, उनके कामों का मूल्यांकन किया गया जो कि बहुत ही संतोषजनक है।

शोध पत्र में प्रयुक्त अंग्रेजी शब्दों की समानार्थक हिंदी शब्दावली

Alphabetically sorted terminology in English	वर्णमाला अनुक्रमित हिंदी शब्दावली
Clay Mold	मिट्टी के सांचे
Core	मिट्टी का अन्तःसार
Deviation of Dimensions	आयामों का विचलन
Distribution of the Dimensions	आयामों का वितरण
Frequency distribution	आवृत्ति वितरण/ बारंबारता वितरण
Lost Wax investment Casting Process	मोम आधारित निवेश ढलाई प्रक्रिया
Standard deviation	मानक विचलन
Wax Pattern	मोम की संरचना/ मोम का ढाँचा

अभिस्वीकृति

इस कार्य को AICTE (All India Council for Technical Education) द्वारा AICTE Doctoral Fellowship (ADF) के माध्यम से वित्त पोषित किया गया था। लेखक जादवपुर विश्वविद्यालय के धातुकर्म और सामग्री इंजीनियरिंग विभाग और बिकना के शिल्पकार श्री गोपन कर्मकार के सहयोग के लिए आभारी हैं।

संदर्भ:

- [1] Mandal, B., et al., “Characterization of a Pala-Sena, high-Tin Bronze bowl from Bengal, India”, Society for Archaeological Sciences, (SAS) Bulletin, University of South Florida, USA, (2008), pp-12-17. Doi: <https://socarchsci.org/images/bulletin/SAS3103.pdf>
- [2] Mandal, B., et al., “Hot mold casting process of ancient East India and Bangladesh”; China Foundry, Vol.- 7.2 (2010), pp-171-177.
- [3] Mukherjee, D., A, “Comparative study of Dokra metal craft technology and Harappan metal craft Technology”, Heritage: Journal of Multidisciplinary Studies in Archaeology 4: (2016), pp- 757-768. Doi:<http://www.heritageuniversityofkerala.com/JournalPDF/Volume4/43.pdf>
- [4] Paul T Craddock, “The metal casting traditions of South Asia: continuity and innovation”, Indian Journal of History of Science, 50.1 (2015) pp-55-82,
- [5] Roy, S., et al., “Precise filling time calculation of thin-walled investment casting in hot mold”, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 42:552; 2020. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40430-020-02634-6>
- [6] Roy, S., et al., “Quality analysis of tribal casting products by topsis for different gating system”, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol.-1080, IOP Publishing; 2021, 1-5. doi:10.1088/1757-899X/1080/1/012014.
- [7] Roy, S., et al., “The effect of gating system on quality of traditional rural metal castings of India”, Recent Trends in Industrial and Production Engineering, Lecture Notes in Mechanical Engineering, Springer Nature, https://doi.org/10.1007/978-981-16-3135-1_27
- [8] Kozak, K., Statistics Using Technology, Second Edition, Lulu.com, 2015, pp-40-44
- [9] Muralidharan, K., Six Sigma for Organizational Excellence: A Statistical Approach, 2015, Springer India, pp-564-568.
- [10] Mandal, B., et al., “Understanding alloy design principles and cast metal technology in hot molds for medieval Bengal”, Indian Journal of History of Science, 45.1 (2010) 101-140.