शोध पत्र / Research Paper

यू–आकार धातु धौंकनी विस्तार जोड़ों का क्रांतिक विफलता विश्लेषण और प्राचलिक जांच

Critical Failure Analysis & Parametric Investigation of U-shape Metal Bellow Expansion Joint

पारेख विजय कुमार[1] एवं डॉ. अनीश गांधी[2]

Parekh Vijay Kumar[1] and Dr. Anish Gandhi[2]

[1]Research Scholar, Gujarat Technological University, Ahmadabad

[2]Registered patent Agent (India), IPR consultant, IP secure Services, Surat

parekhvijay001@gmail.com[1], anishgandhi2002@yahoo.co.in[2]

https://doi.org/10.5281/zenodo.18442798

सारांश

धातु धौंकनी विस्तार जोड़ रैखिक, पार्श्व और कोणीय गतियों को समायोजित करने के लिए एक लचीला तत्व है। धौंकनी की लचीलापन विशेषता इसे रासायनिक और प्रसंस्करण उद्योगों, रिफाइनरियों, परमाणु ऊर्जा संयंत्रों, सीमेंट संयंत्रों और कई अन्य उद्योगों के पाइपिंग अभिन्यास में थर्मल विस्तार को अवशोषित करने के लिए उपयुक्त बनाती है। धौंकनी डिज़ाइन क्रांतिक है क्योंकि इसमें कई प्रकार के चर शामिल हैं। एक सही अभिकल्प बनाने के लिए शासित अभिकल्प प्राचलों का चयन एक महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। धौंकनी डिज़ाइन चर के व्यवहार और उनके अनुकूलन को समझने के लिए इस शोध पत्र में एक विफलता केस अध्ययन पर चर्चा की गई है। CPVC इकाई में उपयोग किया जाने वाला एक धौंकनी विस्तार जोड़ एक वर्ष के भीतर तेजी से विफल हो गया। महत्वपूर्ण जांच की गई और एक अनुकूलित अभिकल्प का सुझाव दिया गया। एक विफल धौंकनी की जांच की गई और कुछ प्रसंस्करण पाइपिंग अभिन्यास का भी अवलोकन किया गया। EJMA मानक के अनुसार धौंकनी अभिकल्प गणना की गई। धौंकनी अभिकल्प को FEPL मानक अभिकल्प सॉफ़्टवेयर के साथ भी जाँचा गया। कार्यशील इकाई की अनुनाद स्थिति सुनिश्चित करने के लिए कंपन माप किया गया। क्रांतिक विफलता जांच के खिलाफ समीक्षा करने के लिए धौंकनी निर्माण चक्र भी महत्वपूर्ण है। प्रक्रिया और प्रक्रिया उन्मुख संभावित विफलता मोड के बारे में समझने के लिए एक प्रक्रिया विफलता मोड और प्रभावी विश्लेषण (PFEMA) किया गया। जोखिम प्राथमिकता संख्या (RPN) 200 से ऊपर होने पर संभावित विफलता के मामलों के खिलाफ आवश्यक कार्रवाई की गई है और इसके परिणामस्वरूप उत्पाद की गुणवत्ता में सुधार के संदर्भ में प्राप्त परिणाम और विफलता के जोखिम को कम कर दिया। उत्पाद चक्र के प्रत्येक चरण में धौंकनी के प्रदर्शन को सुनिश्चित करने के लिए यहाँ एक मिश्रित दृष्टिकोण का उपयोग किया गया है। मजबूत डिजाइन वह है जो शोर कारकों के प्रति कम संवेदनशील होता है और अपने इच्छित कार्यों को करता है। सामान्य तौर पर तागुची पद्धति अभिकल्प की मजबूती पर जोर देती है। अनुकूलित अभिकल्प के लिए तागुची पद्धति को अपनाया गया। प्रायोगिक परिणामों के साथ एक अनुकूलित अभिकल्प का भी सत्यापन किया गया।

Abstract

Metal bellow expansion joint is a flexible element to accommodate linear, lateral & angular movements. Bellow's flexibility characteristic makes it applicable to use in the piping layout of chemical & processing industries, refineries, nuclear power plants, cement plants & many other industries for absorbing thermal expansion. Bellows design is a critical one because of variety of variable are involved. To make a correct design the selection of the governing design parameters

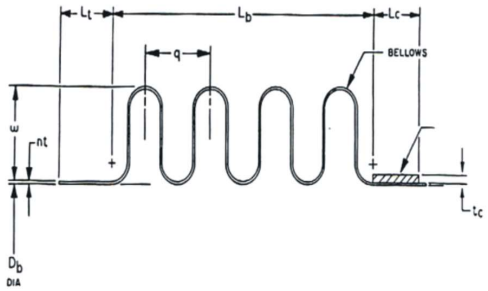
play an important role. To understand the behavior of the bellows design variables & their optimization a failure case study is discussed in this research paper. A bellow expansion joint used in the CPVC unit failed rapidly within a year. The critical investigation is carried out & suggested an optimized design. A failed bellows are visually examined & also observed the some processing piping layout. Bellows manual design calculation carried out as per EJMA standard. Bellows design also checked with FEPL standard design software. To ensure the resonant condition of the working unit a vibration measurement carried out. Bellows manufacturing cycle is also important one to review against the critical failure investigation. In order to understand about the process & processes oriented potential failure modes a process failure modes & effective analysis (PFEMA) carried out. Necessary action taken against the potential failure modes against RPN above 200 and obtained result in terms of enhanced the product quality & reduces the risk of the failure. A mixed approach has been used here to ensure about the bellows performance at each stages of product cycle. Robust design is one which is less sensitive to noise factors & performs its intended functions. Taguchi methods in general emphasize the robustness of the design. Taguchi methodology adopted for optimized design. An optimized design was also verified with the Experimental results. As an outcome shows that the product quality improvised as well as the bellows useful life also increased.

मुख्य शब्द : धातु धौंकनी विस्तार जोड़, विफलता केस, ईजेएमए गणना, कंपन, तागुची प्रयोगों की अभिकल्पना

Keywords : Metal Bellow Expansion Joint, Failure Case, EJMA Calculation, Vibration, Taguchi Design of Experiments

परिचय

धातु धौंकनी विस्तार जोड़ संकीर्ण दीवारों के साथ नालीदार संरचनाएं हैं। धौंकनी की अत्यधिक लचीली नालीदार संरचना उन्हें तनाव, कंपन और गति का सामना करने की अनुमति देती है। इसके अतिरिक्त, धातु धौंकनी मरोड़, जंग, तापमान और दबाव के प्रतिरोधी हैं। ऑस्टेनिटिक स्टील (austenitic steel), मिश्र धातु और अन्य सामग्रियों का उपयोग आमतौर पर धातु धौंकनी के एकल या बहु–परत निर्माण में किया जाता है। प्रणाली दबाव जोर को बनाए रखने के लिए धातु विस्तार जोड़ों की अभिकल्पना में हार्डवेयर का उपयोग किया जा सकता है। विशेष विमानों में आवश्यक गति की मात्रा के आधार पर धातु धौंकनी विस्तार जोड़ों के विभिन्न प्रकार हैं। धौंकनी विस्तार जोड़ प्रकारों में सिंगल, यूनिवर्सल, हिंगेड, गिम्बल और प्रेशर बैलेंस शामिल हैं। ऑटोमोटिव, मरीन, न्यूक्लियर, थर्मल और सीमेंट उद्योग, रिफाइनरी, केमिकल और प्रोसेसिंग उद्योग, हीट एक्सचेंजर्स और कई अन्य सहित कई उद्योग धौंकनी का उपयोग करते हैं। डिज़ाइन दबाव, डिज़ाइन तापमान, गति और प्रवाह माध्यम सभी धौंकनी के प्रकार और अभिकल्प के चुनाव को प्रभावित करते हैं। इसलिए, जब अनुप्रयोग विशेष रूप से महत्वपूर्ण होते हैं, तो धौंकनी अभिकल्प और अभिकल्प प्राचलों का चुनाव अधिक महत्वपूर्ण होता है।



Db = आंतरिक व्यास
Do = बाहरी व्यास
n = प्लाई की संख्या
q = पिच
w = संवलन ऊंचाई
t = प्लाई मोटाई
Lt = स्पर्शरेखा लंबाई
Lc = कॉलर लंबाई
N = संवलन की संख्या
r = रूट और शिखा की त्रिज्या

चित्र–1 धौंकनी का नामकरण

धौंकनी अभिकल्पना में कई प्राचल शामिल होते हैं । ज्यामितीय मापदंडों जैसे कि संवलन (convolution) की संख्या, संवलन की ऊँचाई, धौंकनी की मोटाई, धौंकनी की सामग्री आदि का प्रभाव धौंकनी के प्रदर्शन को प्रभावित करता है [1]। धौंकनी की पिच, गहराई, लंबाई, मोटाई, परतों की संख्या, संवलन की संख्या और बाहरी व्यास को नीचे दिए गए चित्र 1 के अनुसार निर्दिष्ट किया गया है।

धौंकनी सामान्यतः मैंड्रेल बनाने या हाइड्रोफॉर्मिंग तकनीक द्वारा बनाई जाती है। यह लेख कुछ शोधों पर चर्चा करता है जो धौंकनी की विशेषताओं के साथ अभिकल्पन स्थितियों के तहत धौंकनी के प्रदर्शन और विफलता के प्राचलों को समझने के लिए की गई है। किसी भी विधि का उपयोग करके धौंकनी बनाते समय डाई स्ट्रोक, अक्षीय फ़ीड और आंतरिक दबाव का सटीक नियंत्रण आवश्यक है। जब किसी भी प्राचल का मान अभिकल्प सीमा से ऊपर उठाया जाता है, तो नीचे दिए गए अनुभाग का प्रत्येक क्षेत्र अत्यधिक पतलेपन का अनुभव करता है। इसका प्राथमिक प्रभाव स्प्रिंग बैक, क्राउनपॉइंट और धौंकनी के व्यास पर पड़ता है [2]। फटने की संभावना के कारण, उच्च क्राउन से रूट व्यास अनुपात वाले धातु धौंकनी का निर्माण अभिकल्पन विचारों के प्रति बेहद संवेदनशील है। धातु धौंकनी बनाते समय एक ही समय में डाई स्ट्रोक और अक्षीय फीडिंग को नियंत्रित करना काफी महत्वपूर्ण है। उनका अतिरिक्त मान सभी धौंकनी क्षेत्रों में पतलेपन का कारण बनता है और धौंकनी के मुकुट पर महत्वपूर्ण प्रभाव डालता है [3]। आयामी अनुपात हाइड्रोफॉर्मिंग प्रक्रिया के विफल होने के लिए अतिसंवेदनशील है। जबकि एक छोटे आयामी अनुपात के परिणामस्वरूप तह के माध्यम से धौंकनी विफलता होती है, एक बड़ा आयामी अनुपात फ्रैक्चर के माध्यम से धौंकनी विफलता का कारण बनता है [4]। धातु धौंकनी विस्तार, जोड़ों को डिजाइन करने का एक और महत्वपूर्ण घटक थकान पर विचार है। इन भागों में विस्थापन भार का अनुभव होता है, जो अक्सर चक्रीय तनावों की ओर जाता है। परिचालन और नियंत्रण डिजाइन विशेषताओं का धौंकनी चक्र जीवन पर प्रभाव पड़ता है।

थकान जीवन पर ज्यामितीय प्रभावों की जांच की गई, और यह पाया गया कि जैसे–जैसे धौंकनी की त्रिज्या बढ़ती है, विफलता के चक्रों की संख्या रैखिक रूप से गिरती जाती है [5]। एक धौंकनी विस्तार जोड़ का कार्य तापमान एक महत्वपूर्ण विचारणीय बिंदु है। कमरे के तापमान और उच्च तापमान पर धौंकनी कैसे व्यवहार करता है, इसके बारे में अधिक जानने के लिए, एक जीवन चक्र परीक्षण किया गया था। बार–बार स्पंदन (कंपन) के कारण धौंकनी परिवेश के तापमान पर विफल हो जाता है, जबकि एक पतला क्षेत्र उच्च तापमान पर धौंकनी को विफल कर देता है [6]। सामग्री के गुणों के कारण उच्च तापमान पर धौंकनी का जीवन चक्र अधिक होता है। जबकि दबाव में बदलाव से धौंकनी का जीवन चक्र कम हो जाता है [7]। संक्षारक प्रवाह विस्तार जोड़ों की विफलता के जीवन को छोटा कर देता है और दरारों के शुरू होने और फैलने की दरों को तेज कर कर देता है। कई परतें या मोटा बेलो तत्व संक्षारक पदार्थ के सीधे और निरंतर संपर्क में आने पर बेलो को अचानक विफल होने से रोक सकता है। इसके अतिरिक्त, मोटा बेलो तत्व संक्षारण थकान दरारों को रोक सकता है [8]।

ऊर्जा अवशोषण और कोणीय विस्थापन क्षमता को संवलन की संख्या में रैखिक वृद्धि के साथ बढ़ाया जा सकता है [9]। संवलन की संख्या में वृद्धि विक्षेपण तनाव में वृद्धि है, जबकि पिच में वृद्धि से विपरीत प्रभाव पैदा होता है [10]। दबाव और विक्षेपण आधार तनाव मूल्यांकन दोनों में दक्षिणी (meridional) झुकने वाले तनाव दक्षिणी झिल्ली तनाव से अधिक थे [11]। परिधीय झिल्ली तनाव एक महत्वपूर्ण झिल्ली तनाव है जो धौंकनी के चारों ओर परिधि में चलता है। धौंकनी की कार्यात्मक सुरक्षा के लिए, यह मान स्वीकार्य तनाव से कम होना चाहिए [12]। यह प्रयोगात्मक रूप से पाया गया कि सक्रिय दोषों को पार करने वाले पाइपों के साथ धौंकनी का उपयोग पाइप के अनुदैर्ध्य तनाव को विकसित करने के लिए कम हो गया था [13]।

तनाव संक्षारण दरार, निर्माण और निर्माण से लागू या अवशिष्ट तनाव और एक विशिष्ट पर्यावरणीय कारक की परस्पर क्रिया के परिणामस्वरूप मिश्र धातु का टूटना है। ऑस्टेनिटिक स्टेनलेस स्टील धौंकनी के तनाव संक्षारण का एक केस अध्ययन गोम्स एवं अन्य [14] द्वारा किया गया था। सूक्ष्म संरचनात्मक अध्ययन से पता चला है कि विस्तार जोड़ों के लिए उपयोग की जाने वाली विनिर्माण विधि गड्ढों और गुहाओं से दरारों के न्यूक्लियेशन और प्रसार के लिए आवश्यक धातुकर्म स्थितियों को प्रदान करने के लिए जिम्मेदार थी [14]। गतिशील सोडियम के साथ रेंगने वाले परीक्षण कक्ष में उपयोग किए जाने वाले धौंकनी के लिए एक और विफलता विश्लेषण प्रस्तुत किया गया था। अध्ययन के अनुसार, HAZ में संवेदनशील सूक्ष्म संरचना वेल्डिंग के दौरान तांबे के हीट सिंक के गलत उपयोग के परिणामस्वरूप हो सकती है।

इनकोलॉय 825 सामग्री से बनी एक फ्लेयर गैस लाइन घटक से जुड़ी धौंकनी विफलताओं की एक श्रृंखला की जांच की गई। एक सूक्ष्म संरचना अनुसंधान के अनुसार, स्थानीयकृत जंग संक्षारण गड्ढों के कारण होता है। स्थानीयकृत संक्षारण नमक स्प्रे, समुद्री जल के छींटों, उच्च जमा नमक, गर्म मिश्र धातु 825 धातु सतहों (50 डिग्री सेल्सियस से अधिक), और आकार देने की प्रक्रिया के दौरान धौंकनी सामग्री में जोड़े गए अवशिष्ट तनावों के साथ सीधे और चल रहे संपर्क के कारण हुआ है। स्थानीयकृत संक्षारण आमतौर पर थकान दरारों का कारण होता है [16]। बिजयनी पांडा एवं अन्य [17] ने एक पेट्रोलियम रिफाइनरी के प्रेशर सेफ्टी वाल्व (PSV) में इस्तेमाल की जाने वाली धौंकनी की विफलता की जांच की। विफल धौंकनी की धातुकर्म जांच से पता चला कि तनाव संक्षारण दरार (SCC) विफलता का कारण था उत्पाद अभिकल्पन प्रक्रिया के आरंभ में ही विफलता को रोका जा सकता है। किसी भी यांत्रिक घटक को अभिकल्पित करते समय लागू लोडिंग स्थितियों, बाहरी बलों और परिवेशीय चरों को ध्यान में रखना चाहिए।

केस अध्ययन

लुब्रीज़ोल दहेज में, रेजिन ट्रांसफर लाइन से जुड़े कई बेलो फेल हो रहे थे, जिसके परिणाम स्वरूप CPVC यौगिक का नुकसान हुआ। रेजिन लाइन का कार्य तापमान और दबाव क्रमशः 60°C और 0.5 kg/cm^2 था। संचालन के तीन महीने बाद, धौंकनी ने अपनी पहली विफलता का अनुभव किया। प्रारंभिक विफलता के छह महीने के भीतर धौंकनी को बदल दिया गया। फिर भी, विफलता बनी रही, और एक वर्ष के दौरान, तीन अलग–अलग विफलताएँ हुईं। स्थल पर जाँच करने पर, धौंकनी की मूल सतहों पर कई परिधीय दरारें पाई गईं। विफल धौंकनी को नीचे चित्र 2 में दर्शाया गया है। धौंकनी के अन्य सभी विवरण नीचे दी गई तालिका 1 में दिखाए गए हैं।

तालिका–1 धातु धौंकनी विवरण

धौंकनी विवरण (200NB)		
1	आंतरिक व्यास	219 मिमी
2	बाहरी व्यास	264 मिमी
3	सक्रिय लंबाई	136.5 मिमी
4	संवलन की संख्या	7
5	धौंकनी सामग्री	SA240 Gr.304
6	प्लाई मोटाई	0.6 मिमी
7	अक्षीय गति	20 मिमी
8	पार्श्व गति	3 मिमी

चित्र 2 अक्षीय धौंकनी

(i) दृश्य निरीक्षण

लुब्रीज़ोल दहेज का दौरा करते समय, कुछ चीजें देखी गईं। दोनों धौंकनी संवलन की जड़ में विफल हो गई थीं। साथ ही परिधिगत दिशाओं में दरारें फैल गई थीं। प्रवाह दिशा से पहले संवलन के तुरंत बाद, धौंकनी विफल हो गई। इसके अतिरिक्त, धौंकनी की बाहरी सतहों पर कुछ छोटे गड्ढे देखे गए, जो हवा में मौजूद नमक के प्रति धातु की भेद्यता को दर्शाते हैं। पैकिंग साइड पर पाइपिंग अभिन्यास व्यवस्था में अत्यधिक कंपन और झटके भी देखे गए। झटकों और असमर्थित लंबी लंबाई के साथ कंपन में वृद्धि के कारण विरूपण तनाव हो सकता है। ऐसी परिस्थितियों में इसकी निर्भरता का आकलन करने के लिए धौंकनी की अभिकल्पना का सत्यापन किया गया। पाइपों की संरचनात्मक अखंडता को सत्यापित करने के लिए कंपन माप का भी उपयोग किया गया।

(ii) अभिकल्प गणना (EJMA पर आधारित)

प्रत्येक अभिकल्प गणना EJMA 10 वें संस्करण के अनुसार की गई और परिणामों को एफईपीएल (FEPL) मानक अभिकल्प सॉफ्टवेयर का उपयोग करके सत्यापित किया गया।

1. धौंकनी स्पर्शज्या परिधीय झिल्ली तनाव S_1

$$S_1 = 2P(D_b + nt)^2 L_t E_b k / 2(ntL_t E_b (D_b + nt) + E_c L_c D_c t_c k) = 2.54(2.54)MPa \quad ...(1)$$

2. कॉलर परिधीय झिल्ली तनाव S'_1

$$S'_1 = PD_c^2 L_t E_c k / 2(ntL_t E_b (D_b + nt) + E_c L_c D_c t_c k) = 2.6(2.59)MPa \quad ...(2)$$

3. दबाव के कारण धौंकनी परिधीय झिल्ली तनाव S_2

$$S_2 = PD_m K_r q / 2A_c = 4(3.47)MPa \quad ...(3)$$

4. दबाव के कारण धौंकनी मेरिडियन झिल्ली तनाव S_3

$$S_3 = Pw / 2nt_p = 0.94(0.94)MPa \quad ...(4)$$

5. दबाव के कारण धौंकनी मेरिडियन झुकने का तनाव S_4

$$S_4 = P / 2n(w | t_p)^2 C_p = 24.68(24.78)MPa \quad ...(5)$$

6. विक्षेपण के कारण धौंकनी मेरिडियन झिल्ली तनाव S_5

$$S_5 = E_b t_p^2 e / 2w^3 C_f = 9.908(9.88)MPa \quad ...(6)$$

7. विक्षेपण के कारण धौंकनी मेरिडियन झुकने का तनाव S_6

$$S_6 = 5E_b t_p e / 3w^2 C_d = 1135(1124)\text{MPa} \quad ...(7)$$

8. कुल तनाव S_t

$$S_t = 0.7(S3 + S4) + (S5 + S6) = 1163(1152)\text{MPa} \quad ...(8)$$

9. एकल धौंकनी के लिए स्तंभ अस्थिरता के आधार पर आंतरिक अभिकल्प दबाव को सीमित करना

$$P_{sc} = 0.34\pi f_{iu}\ C_\theta / N^2 q = 0.94(0.93)\text{MPa} > 0.75\text{MPa} \quad ...(9)$$

10. रेंगना सीमा के नीचे के तापमान पर इन–प्लेन अस्थिरता और नमनीयता के आधार पर आंतरिक अभिकल्प दबाव को सीमित करना।

$$P_{si} = 1.3A_c S_y / K_r D_m q\alpha^{0.5} = 1.08(1.05)\text{MPa} > 0.75\text{MPa} \quad ...(10)$$

सभी अभिकल्प गणनाओं के परिणाम ऊपर प्रदर्शित किए गए हैं। दोनों परिणाम तुलनीय हैं; गणना की गई संख्या केवल मामूली भिन्न हैं। (ii) में उपरोक्त गणना FEPL सॉफ़्टवेयर–आधारित अभिकल्प के परिणाम प्रदर्शित करती है। इसलिए कोड के अनुसार धौंकनी अभिकल्प गणना सही है। धौंकनी की लंबाई से व्यास का अनुपात कॉलम स्क्विर्म और इन–प्लेन स्क्विर्म शब्दों से जुड़ा हुआ है। स्क्विर्म विफलता के परिणामस्वरूप आम तौर पर बकलिंग और प्लास्टिक टिका होता है। दोनों सीमित अभिकल्प दबावों के लिए गणना ऊपर प्रदर्शित की गई है। स्क्विर्म विफलता को रोकने के लिए सीमित अभिकल्प दबाव परीक्षण दबाव से अधिक होना चाहिए। EJMA [18] के अनुसार, धौंकनी परीक्षण दबाव धौंकनी अभिकल्प दबाव का 1.5 गुना होना चाहिए।

(iii) कंपन परीक्षण

प्लांट में दृश्य निरीक्षण के पहले दौर के दौरान कुछ अधिक गंभीर कंपन और झटके देखे गए। प्रसंस्करण उद्योगों के लिए, सिस्टम स्तर पर कंपन भी एक महत्वपूर्ण कारक है। अन्य पाइपिंग उपकरणों की आवृत्ति इस कंपन आवृत्ति के समान नहीं हो सकती है। कम आवृत्तियों पर, अनुनाद कंपन में चोट लगने की बहुत अधिक संभावना होती है। सामान्य तौर पर पाइपिंग सिस्टम डिज़ाइनर को यह सुनिश्चित करना चाहिए कि पाइपिंग सिस्टम का कंपन भार धौंकनी के कार्य को नुकसान न पहुंचाए। एक धातु धौंकनी विस्तार जोड़ उच्च अनुनाद के तहत प्रभावी ढंग से कार्य नहीं कर सकता है। इसे रोकने के लिए, धौंकनी की प्राकृतिक आवृत्ति EJMA [18] के अनुसार सिस्टम आवृत्ति से दोगुनी होनी चाहिए। अक्षीय और पार्श्व कंपन आवृत्तियों की गणना नीचे दिए गए समीकरण (11) और (12) का उपयोग करके की गई।

अक्षीय कंपनः (Axial Vibration)

$$f_n = C_n \sqrt{K_{sr} / m} = 37.67(\text{Hz}) > 10(\text{Hz}) \quad ...(11)$$

पार्श्व कंपनः (Lateral Vibration)

$$f_n = C_n D_m / L_b \sqrt{K_{sr} / m} = 168.74(\text{Hz}) > 10(\text{Hz}) \quad ...(12)$$

एक बहता हुआ माध्यम, प्रवाह प्रतिरूप और प्राचल भी निकाय के कंपन स्तर को प्रभावित करने के लिए महत्वपूर्ण हैं। जब वेग बहुत अधिक होता है तो धौंकनी अनुभाग के भीतर एक अशांत प्रवाह उत्पन्न होता है। धौंकनी में एक आंतरिक आस्तीन पेश करके एक अशांत प्रवाह को कम किया जाना चाहिए। जब आंतरिक आस्तीन प्रदान

नहीं की जाती है तो स्वीकार्य प्रवाह वेग 19.8 m/sec से अधिक नहीं होना चाहिए। प्रवाह वेग गणना की सभी आवश्यक सीमा नीचे दिए गए अनुभवजन्य संबंधों का उपयोग करके की जाती है।

स्वीकार्य प्रवाह वेग : $V_{alw} = 0.026qK_i\sqrt{K_{sr} / m_{eff}n} = 2.08m / sec < 19.8m / sec$ ...(13)

प्रायोगिक तौर पर स्वीकार्य प्रवाह वेग : $V_{alw} = 10.36m / sec < 19.8m / sec$ ...(14)

जब धारा–प्रतिकूल प्रवाह पर विचार किया जाता है, तो धौंकनी या आंतरिक आस्तीन के माध्यम से अधिकतम प्रवाह वेग की गणना समीकरण (15) का उपयोग करके की जाती है।

अधिकतम प्रवाह वेग : $V_{max} = K_t * V_{avg}$ ...(15)

जहाँ K_t प्रवाह त्वरण कारक है जिसे EJMA की तालिका 4.10-2 से लिया गया है। और Vavg धौंकनी या आंतरिक आस्तीन के अंदर औसत वेग है। इसे कंपन मापने वाले उपकरण वाइब्रोमीटर से मापा गया था। सभी मापे गए औसत वेग और अधिकतम वेग की गणना नीचे सारणीबद्ध रूप में की गई है।

इसके अतिरिक्त, EJMA के बताए गए प्रावधान के अनुसार, यदि Vmax, Valw से कम है, तो आंतरिक आस्तीन के बिना धौंकनी में अनुनाद की स्थिति को रोका जा सकता है [18]। समीकरण (13) और (14) द्वारा निर्धारित अधिकतम और अनुमेय वेगों की तुलना के अनुसार, किसी भी स्थान पर अधिकतम वेग अनुमेय वेग से अधिक नहीं है। उपरोक्त परिणामों के अनुसार, धौंकनी अनुनाद स्थितियों के तहत काम नहीं कर रही थी।

तालिका–2 विभिन्न स्थानों पर औसत एवं अधिकतम वेग

क्रम संख्या	स्थिति	औसत वेग V_{avg} m/sec (R.M.S.)	अधिकतम प्रवाह वेग $V_{max} = Kt*V_{avg}$ m/sec	औसत वेग V_{avg} m/sec (Peak)	अधिकतम प्रवाह वेग $V_{max} = Kt*V_{avg}$ m/sec
1	E-483 Piping System	0.012	0.018	0.75	0.11
2	E-483 Tank	0.01	0.015	0.47	0.07
3	Packaging Unit Piping layout Axial	0.013	0.02	0.57	0.085
4	Packaging Unit Tank	0.011	0.017	0.51	0.076

(iv) प्रक्रिया विफलता मोड और प्रभाव विश्लेषण (PFMEA)

अभिकल्पन के बाद दूसरा महत्वपूर्ण चरण विनिर्माण है, जिसमें किसी भी उत्पाद को कई प्रक्रियाओं से गुजरना पड़ता है। और केवल जब प्रसंस्करण पद्धति और प्राचलों को ठीक से नियंत्रित किया जाता है, तभी उत्पाद अपनी इच्छित भूमिका को पूरा करेगा। FMEA अनुभाग प्रदर्शित करता है कि उत्पाद की गुणवत्ता में सुधार के लिए प्रसंस्करण प्रक्रिया में या प्रमुख विफलता जांच के दौरान इन विधियों को कैसे लागू किया जाए। FMEA एक प्रक्रिया का आकलन करने के लिए एक सक्रिय एवं व्यवस्थित दृष्टिकोण है, ताकि यह निर्धारित किया जा सके कि यह कहाँ और कैसे विफल हो सकता है, साथ ही विभिन्न विफलताओं का सापेक्ष प्रभाव, यह निर्धारित करने के लिए कि किन प्रक्रिया घटकों को सबसे अधिक संशोधन की आवश्यकता है। संभावित मूल कारणों और विफलता मोड को व्यवस्थित रूप से पहचानने और उनके सापेक्ष जोखिमों का अनुमान लगाने के लिए, FMEA एक संहिताबद्ध लेकिन व्यक्तिपरक दृष्टिकोण है [19]। समस्याओं के कारणों और प्रभावों के बीच संबंध खोजना, साथ

ही उचित कार्रवाई के लिए सर्वोत्तम विकल्पों की पहचान करना, उनका समाधान करना और उन्हें तैयार करना, FMEA [20] के लक्ष्य हैं। विश्लेषण में ध्यान में रखे जाने वाले सभी पहलुओं में अनुभव रखने वाले अभिकल्प और रखरखाव पेशेवरों की एक टीम आम तौर पर FMEA करती है। FMEA लागू करने के लिए आम तौर पर निम्नलिखित प्रक्रिया का उपयोग किया जाता है।

(i) प्रक्रिया का चयन करें : प्रक्रिया के चयन के लिए संभावित विफलताएँ एक महत्वपूर्ण पैरामीटर है।

(ii) प्रक्रिया की समीक्षा करें : टीम के सदस्य प्रक्रिया के चरणों की समीक्षा करें और इसके काम करने के तरीके से परिचित हों।

(iii) संभावित विफलता मोड पर विचार करें : प्रक्रिया के संभावित रूप से विफल होने के तरीकों की पहचान करें।

(iv) प्रत्येक विफलता मोड के संभावित प्रभावों की सूची बनाएँ : प्रत्येक विफलता के संभावित प्रभावों की एक सूची तैयार करें।

(v) प्रत्येक प्रभाव के लिए एक गंभीरता रेटिंग निर्दिष्ट करें : 1 से 10 तक रेटिंग दें, सबसे गंभीर के लिए 10।

(vi) प्रत्येक विफलता मोड के लिए एक घटना रेटिंग निर्दिष्ट करें : विफलता होने की कितनी संभावना है और 1 से 10 तक रेटिंग निर्दिष्ट करें, सबसे अधिक संभावना के लिए 10।

(vii) प्रत्येक विफलता मोड और प्रभाव के लिए एक पहचान रेटिंग निर्दिष्ट करें : विफलता को होने से रोकने की कितनी संभावना है और 1 से 10 तक पहचान रेटिंग निर्दिष्ट करें, कम पहचान के लिए 10।

(viii) प्रत्येक प्रभाव के लिए जोखिम प्राथमिकता संख्या (RPN) की गणना करें : रेटिंग गंभीरता, घटना और पहचान के तीन के गुणन द्वारा।

(ix) कार्रवाई के लिए विफलता मोड को प्राथमिकता दें : उच्च RPN को पहले लक्षित करने की आवश्यकता है।

(x) उच्च जोखिम विफलता मोड को कम करने के लिए कार्रवाई करें।

(xi) विफलता मोड कम होने या समाप्त होने पर परिणामी RPN की गणना करें।

(xii) FMEA फॉर्म का उपयोग करें और उसे अपडेट करें : एक फॉर्म तैयार करें और प्रत्येक प्रभाव के खिलाफ की गई कार्रवाई की प्रभावशीलता की जांच करें। और उच्च विफलता के जोखिम को कम करने के लिए प्रक्रिया को फिर से दोहराएं।

नीचे दी गई तालिका 3 में धौंकनी निर्माण के प्रसंस्करण चरणों को सारणीबद्ध किया गया है। आलोचनात्मक समीक्षा के लिए प्रत्येक प्रक्रिया का विश्लेषण करने और सभी संभावित विफलता मोड को सूचीबद्ध करने की आवश्यकता है।

तालिका–3 धौंकनी निर्माण प्रक्रिया

क्रम संख्या	प्रक्रियाएँ (Processes)	क्रम संख्या	प्रक्रियाएँ (Processes)	क्रम संख्या	प्रक्रियाएँ (Processes)
1	कच्चे माल का चयन	7	टेंगेंट कटिंग	13	लाइनर बनाना/ असेंबली/ वेल्डिंग
2	शेल कटिंग (शियरिंग प्रक्रिया)	8	कॉलर बनाने की प्रक्रिया	14	सफाई
3	झुकने का कार्य	9	फ्यूजन वेल्डिंग	15	पेंटिंग
4	शेल वेल्डिंग	10	फ्लैंज असेंबली/वेल्डिंग	16	पैकेजिंग
5	फॉर्मिंग – धौंकनी एक्सपैंडर तकनीक	11	परीक्षण 1.डाई पेनेट्रेशन टेस्ट	17	डिस्पैच
6	रोलिंग	12	एयर जेट टेस्ट/हाइड्रो टेस्ट		

वैसे तो हर प्रक्रिया का अपना महत्व है लेकिन कुछ प्रक्रियाएँ बहुत महत्वपूर्ण होती हैं। सभी प्रक्रियाओं के लिए संभावित विफलता मोड की पहचान की गई और उन्हें गंभीरता, घटना और पता लगाने की रेटिंग दी गई और RPN की गणना की गई। 17 विभिन्न प्रक्रियाओं के लिए कुल 99 संभावित विफलता मोड की पहचान की गई। प्रत्येक संभावित विफलता मोड को गंभीरता, घटना और पता लगाने की रेटिंग दी गई। प्रदान की गई रेटिंग के आधार पर एक जोखिम प्राचलिक संख्या RPN निर्धारित किया गया था, जो 1 से 10 के स्केल पर आधारित था। 200 और उससे अधिक के RPN सूचकांकों को ध्यान में रखा गया और प्रतिक्रिया में उचित कार्रवाई की गई। नीचे दी गई तालिका 4 विवरण का सारांश प्रदान करती है। PFMEA प्रक्रियाओं को दोहराया गया और 100 से नीचे के RPN मानों की पुनर्गणना की गई। सुधारात्मक कार्रवाई से विफलता की संभावना कम हो गई, और निरंतर सुधार के परिणामस्वरूप विफलता हमेशा के लिए समाप्त हो सकती है।

तालिका–4 RPN 200 के साथ संभावित विफलता मोड की सूची और की गई कार्रवाई

	S	O	D	RPN		S	O	D	RPN
कच्चे माल का चयन					**कार्रवाई की (Action Taken)**				
ग़लत सामग्री का चयन	6	6	6	216	सामग्री का निरीक्षण मानक प्रयोगशाला में किया जाता है तथा परीक्षण के परिणाम का सत्यापन भी किया जाता है	4	4	4	64
झुकने की प्रक्रिया (Bending Process)									
अधिक संख्या में पास (More no of passes)	6	6	6	216	ऑपरेटर ने बेंडिंग मशीन के सभी नियंत्रणों की जांच की है, दिशानिर्देशों का पालन किया है, आवश्यक कार्य के अनुसार मापदंडों को सेटअप किया है, मशीनों की स्थितियों के अनुसार अंशांकन किया है	3	4	3	36
शैल वेल्डिंग									
इरेटिक आर्क (Erratic Arc)	7	6	6	252	1. वेल्डर ने छोटी आर्क लंबाई बनाए रखी है। 2. वेल्डर ने छोटे इलेक्ट्रोड का उपयोग किया है या करंट बढ़ाया है। 3. वेल्डर ने केवल वेल्डिंग ग्रेड गैस का उपयोग किया है	4	4	4	64
वेल्ड में जमा छिद्र Porosity in Weld Deposit	6	6	6	216	दरार निर्माण को रोकने के लिए वेल्डेबल मिश्र धातुओं का उपयोग किया जाता है	5	4	5	100

वेल्ड में दरारें Cracks in weld	5	5	6	210	1. वेल्ड के अंत में करंट को धीरे-धीरे कम करते हुए फिलर रॉड को फीड करना जारी रखें। 2. बैकफिलिंग तकनीक का उपयोग करके गर्मी इनपुट में कमी और वेल्ड को बहुत जल्दी ठंडा होने से रोकना। 3. वेल्डिंग से पहले बेस मटेरियल को पहले से गरम कर लें।	5	5	4	100
कार्बाइड अवक्षेपण Carbide precipitation	7	7	6	294	1.मशाल को घुमाएँ और फिलर धातु को ऐसी दर से डालें जिससे इस्तेमाल किए जा रहे टंगस्टन के आकार से लगभग दोगुना वेल्ड बन जाए। 2. उचित परिरक्षण के लिए उचित मात्रा में आर्गन गैस का इस्तेमाल करें और करंट 1 एम्पियर होना चाहिए।	4	4	5	80
धौंकनी बनाने की तकनीक (Bellows forming)									
पिच ठीक से परिभाषित नहीं है	6	6	6	216	ईजेएमए मानक के अनुसार गणना की गई तथा शैल पर अंकन के लिए रैखिक पैमाने का उपयोग किया गया	3	3	3	27
अधिक दबाव स्तर परिभाषित	7	6	6	252	ऑपरेटर ने डिजाइन सीमा के अनुसार दबाव निर्धारित किया	4	3	3	36
मशीन नियंत्रण ठीक से सेट नहीं है	7	5	6	210	ऑपरेटर ने मशीन पर कार्य निष्पादित किया तथा मानक नियमों के अनुसार प्राचल निर्धारित किए	4	3	4	48
मशीन का अंशांकन नहीं किया गया	7	5	7	245	ऑपरेटर ने मशीन के सभी नियंत्रण बिंदुओं की जांच की और साथ ही इसे अच्छी तरह से अंशांकित भी किया	5	4	4	80
रोलिंग (Rolling)									
दो डाइज़ के बीच दूरी ठीक से सेट नहीं की गई	6	6	6	216	ऑपरेटर ने प्रक्रिया के दौरान गहराई और पिच को मापने के लिए वर्नियर स्केल का उपयोग किया	5	4	4	80
डाई पेनेट्रेशन									
नमूना सतह का सुखाने का कार्य ठीक से नहीं किया गया	6	6	6	216	वेल्डर ने परीक्षण करने से पहले सतह के नमी के स्तर की जांच की है	4	4	4	64
हाइड्रो परीक्षण									
स्थिर और चलित डाई के बीच धौंकनी को ठीक से सील नहीं किया गया है	7	6	6	252	ऑपरेटर ने प्रारंभिक स्तर पर पानी के रिसाव की जांच करने के लिए समाधान का उपयोग किया और फिर ठीक से सील कर दिया	4	4	5	80

(v) तागुची पर एओफ अभिकल्पना

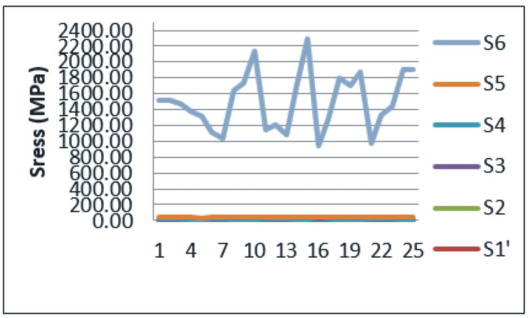
तागुची अभिकल्पना पद्धति प्रयोगात्मक अभिकल्पना के लिए एक सांख्यिकीय दृष्टिकोण है जो शोर के स्रोतों के लिए मजबूती को अनुकूलित करता है और प्रक्रियाओं और उत्पाद अभिकल्पनाओं में भिन्नता को कम करता है। इसलिए इस पद्धति को धौंकनी अभिकल्प की प्राचलिक परास का विश्लेषण और अनुकूलन करने के लिए अपनाया गया है। शुरुआत में विनिर्माण या सेवाओं में गुणवत्ता को प्रभावित करने वाले सभी महत्वपूर्ण कारकों की खोज सबसे पहले विचार–मंथन चरण के दौरान की जाती है। इसके अतिरिक्त, यह तय किया गया कि कौन से घटक शोर पैदा करते हैं और कौन से नियंत्रण योग्य हैं। विचार–मंथन प्रक्रिया के परिणामस्वरूप एक उपयुक्त ऑर्थोगोनल सरणी चुनी गई। ऑर्थोगोनल सरणी प्रयोगात्मक अभिकल्पना की नींव है। धौंकनी डिजाइन में सामग्री, बाहरी व्यास,

संवलन की संख्या, शेल की मोटाई और धौंकनी की लंबाई सबसे महत्वपूर्ण कारक हैं। प्रयोग डिजाइन के लिए L25 सरणी को चुना गया था। पांचों चरों में से प्रत्येक के लिए चुनी गई सीमा तालिका 5 में दर्शाई गई है।

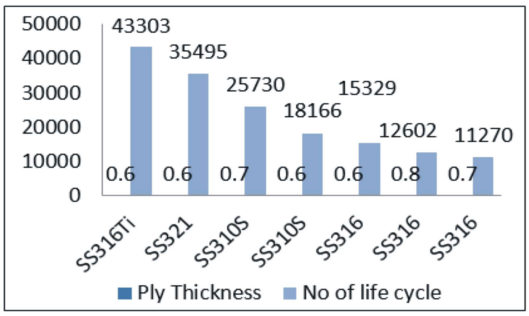
तालिका–5 – धौंकनी अभिकल्प प्राचल

अभिकल्प प्राचल (भाग-1)					
	P1	P2	P3	P4	P5
स्तर (level)	सामग्री (M)	मोटाई (t)	संवलन की संख्या (N)	धौंकनी की लंबाई (Lb)	बाहरी घेरा (Do)
1	SS304	0.6	6	136	260
2	SS310	0.7	7	139	262
3	SS316	0.8	8	142	264
4	SS316 Ti	0.9	9	145	266
5	SS321	1	10	148	268

एक्सेल प्रोग्राम में तैयार कोड का उपयोग करके, 25 रन के लिए सभी डिज़ाइन गणनाएँ की गईं। 25 प्रायोगिक अभिकल्पनाओं में से प्रत्येक के लिए अलग–अलग परिणाम प्राप्त हुए। विरूपण तनाव, दबाव–प्रेरित तनाव, थकान जीवन चक्र और सीमित अभिकल्प दबाव सभी एक धौंकनी डिज़ाइन के लिए महत्वपूर्ण कारक हैं। 25 नो रन के सभी प्राप्त तनाव परिणाम नीचे चित्र 3 में प्लॉट किए गए हैं। आलेख से यह अनुमान लगाया जाना चाहिए कि विरूपण तनाव अन्य सभी तनावों की तुलना में अधिक है। यह इस तथ्य के कारण है कि विरूपण बलों का प्रभाव धौंकनी की मूल ज्यामिति पर अधिक जमा होता है। वक्रता वाला भाग तत्व के सीधे भाग की तुलना में अधिक तनाव का अनुभव करता है। इसलिए धौंकनी तत्व की शिखा और सीधी ज्यामिति की तुलना में मूल खंड पर धौंकनी की विफलता की संभावना अधिक है। मानक विनिर्माण प्रथाओं के अनुसार कम से कम 10,000 का अभिकल्प जीवन चक्र बेंचमार्क मान के रूप में स्थापित किया गया है। इसलिए सभी आलेख यहाँ प्लॉट किए गए हैं ताकि परिणाम 10,000 से अधिक जीवन चक्र हो। धौंकनी के जीवन चक्र पर सामग्री और मोटाई का प्रभाव चित्र 4 में दर्शाया गया है।



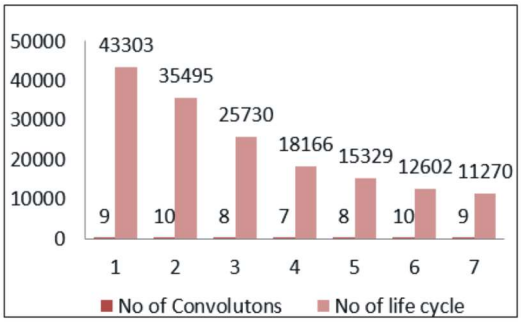
चित्र–3 – 25 रन के लिए तनाव परिणाम



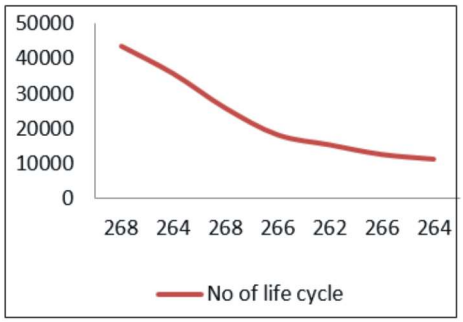
चित्र–4 – मोटाई बनाम जीवन चक्र

मोटाई के बारे में, यह स्पष्ट है कि जैसे–जैसे मोटाई बढ़ती है, जीवन चक्र घटता जाता है; हालाँकि, केवल कुछ ही रन 0.6 से 0.8 मिमी की मोटाई सीमा के साथ बेहतर जीवन चक्र प्रदर्शित करते हैं। साथ ही आलेख दर्शाता है कि SS 316Ti सामग्री के साथ अधिकतम जीवन चक्र प्राप्त किया गया है। नीचे चित्र 5 से यह देखा जा सकता है कि उच्च संवलन संख्या वाले धौंकनी ने उच्च जीवन चक्र प्राप्त किया। लेकिन यह धौंकनी की दी गई लंबाई द्वारा सीमित है। धौंकनी का बाहरी व्यास सीधे संवलन की चयनित गहराई पर निर्भर करता है। नीचे चित्र 6 में देखा गया है कि 268 मिमी और 264 मिमी बाहरी व्यास वाले धौंकनी के साथ उच्च जीवन चक्र प्राप्त किया गया।

यह इस तथ्य के कारण है कि समीकरण (6) और समीकरण (7) से धौंकनी की गहराई विरूपण तनाव के व्युत्क्रमानुपाती होती है।



चित्र–5 संवलन की संख्या बनाम जीवन चक्र



चित्र–6 धौंकनी बाहरी व्यास बनाम जीवन चक्र

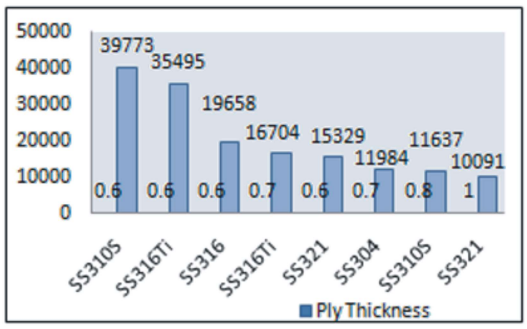
यद्यपि बड़े बाहरी व्यास के साथ उच्च जीवन चक्र प्राप्त होता है, लेकिन यह टूलींग क्षमता और बाहरी स्थान की अधिकतम उपलब्धता द्वारा सीमित है। उपरोक्त परिणाम पाँच चर के लिए प्राप्त किए गए हैं जिसमें सामग्री को नियंत्रण प्राचलों के रूप में माना गया था। अगले अध्ययन में सामग्री को अनियंत्रित प्राचल माना गया और तालिका–6 के अनुसार निर्धारित प्राचलों के साथ प्रयोग किया गया।

तालिका–6 – धौंकनी अभिकल्प प्राचल

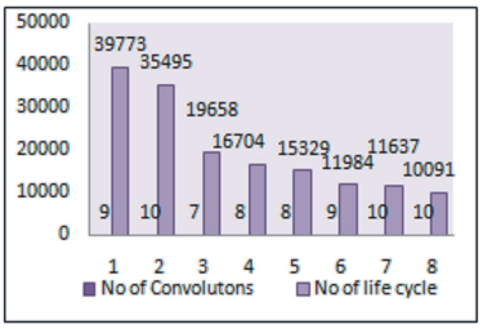
अभिकल्प प्राचल (भाग-2)					
	P1	P2	P3	P4	P5
स्तर (level)	धौंकनी की लंबाई (Lb)	संवलन की संख्या (N)	बहरी घेरा (Do)	मोटाई (t)	सामग्री (M)
1	136	6	260	0.6	SS304
2	139	7	262	0.7	SS310
3	142	8	264	0.8	SS316
4	145	9	266	0.9	SS316 Ti
5	148	10	268	1	SS321

चित्र 7 से पता चलता है कि प्लाई मोटाई 0.6 से 0.8 मिमी और सामग्री SS316 Ti और SS 310S के साथ उच्च जीवन चक्र प्राप्त किया गया है। चित्र 8 से यह भी पता चलता है कि 9 और 10 संवलन के साथ उच्च जीवन चक्र प्राप्त किया गया है। चित्र 9 से पता चलता है कि तनाव धौंकनी के थकान जीवन चक्र के व्युत्क्रमानुपाती होता है। जीवन चक्र की संख्या बढ़ने पर तनाव धीरे–धीरे कम होता जाता है। चित्र 10 से पता चलता है कि बड़े बाहरी व्यास के साथ जीवन चक्र की उच्च संख्या प्राप्त हुई है।

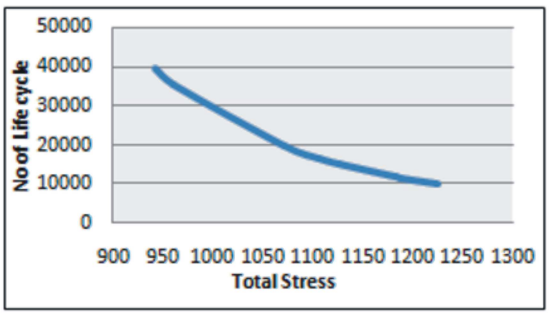
अधिकतम जीवन चक्र 268 मिमी बाहरी व्यास के साथ प्राप्त किया गया था। जीवन चक्र की संख्या के लिए प्राप्त परिणाम तुलनात्मक रूप से अनुकूलन अध्ययन के पहले भाग से प्राप्त परिणामों से कम है। दोनों अनुकूलन अध्ययनों से यह भी पता चलता है कि उनसे प्राप्त परिणाम बहुत समान हैं।



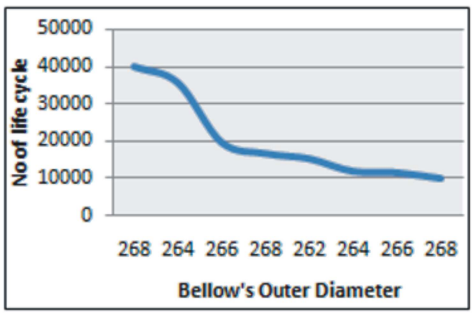
चित्र–7 मोटाई बनाम जीवन चक्र की संख्या



चित्र–8 संवलन की संख्या बनाम जीवन चक्र



चित्र–9 कुल तनाव बनाम जीवन चक्र



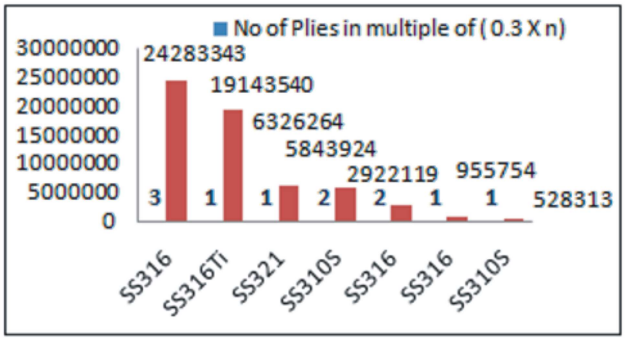
चित्र–10 धौंकनी बाहरी व्यास बनाम जीवन चक्र

धातु धौंकनी विस्तार जोड़ को बहु परत के साथ भी निर्मित किया जा सकता है। परतों की संख्या के प्रभाव की जांच और मूल्यांकन करने के लिए तालिका 7 में दिखाए गए प्राचल पर विचार करके अंतिम प्रयोग किया गया था। इस अध्ययन में अनुकूलन को एकल परतनिर्माण के बजाय बहु परत के साथ किया गया था।

तालिका–7 – धौंकनी अभिकल्प प्राचल

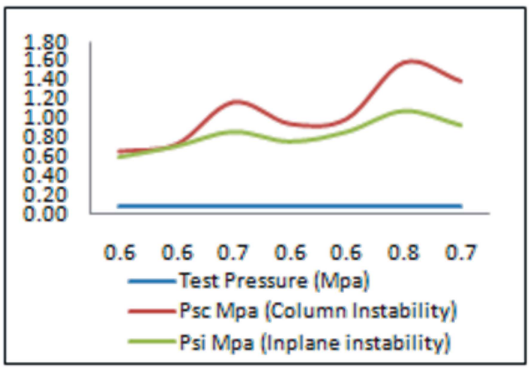
	अभिकल्प प्राचल (भाग–3)				
	P1	P2	P3	P4	P5
स्तर (level)	सामग्री (M)	परतों की संख्या (n) t = 0.3*n	संवलन की संख्या (N)	धौंकनी की लंबाई (Lb)	बाहरी घेरा (Do)
1	SS 304	1	6	136	260
2	SS 310	2	7	139	262
3	SS 316	3	8	142	264
4	SS 316Ti	4	9	145	266
5	SS321	5	10	148	268

चित्र 11 में दिखाए गए परिणाम से पता चलता है कि जीवन चक्र की बड़ी संख्या प्राप्त हुई है। साथ ही एक संशोधित प्लाई मोटाई (टीपी) समीकरण (6) के अनुसार विक्षेपण तनाव के सीधे आनुपातिक है। इसलिए प्लाई निर्माण के रूप में कम मोटाई विक्षेपण तनाव की कम मात्रा उत्पन्न करती है। अन्य सभी परिणाम लगभग वही थे जो भाग–1 अनुकूलन अध्ययन से प्राप्त हुए थे।

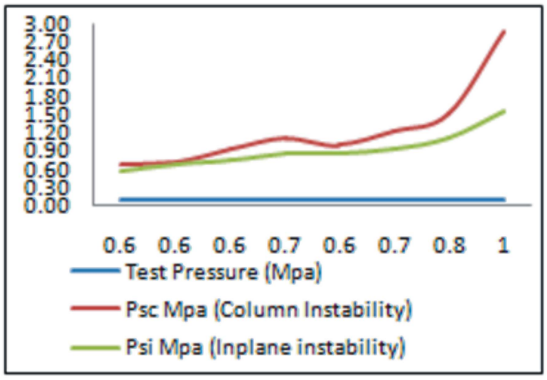


चित्र–11 मोटाई बनाम जीवन चक्र की संख्या

लेकिन इनलाइन स्क्विर्म (Psi) और इनप्लेन कॉलम स्क्विर्म (Psc) बहु परत निर्माण से प्रभावित होते हैं। इसलिए समीकरण (9) और समीकरण (10) का उपयोग करके दोनों स्क्विर्म दबावों का मूल्यांकन किया गया। इस तरह के परिणाम भाग–1, भाग–2 और भाग–3 अनुकूलन अध्ययनों के लिए प्राप्त किए गए थे जैसा कि नीचे चित्र–12, चित्र– 13 और चित्र–14 में दिखाया गया है। इसके अलावा EJMA के अनुसार सीमित अभिकल्प दबाव परीक्षण दबाव से अधिक होना चाहिए। सीमित अभिकल्प दबाव के साथ परीक्षण दबाव के संपीड़न को भी चित्र–12, चित्र–13 और चित्र–14 में दिखाया गया है।



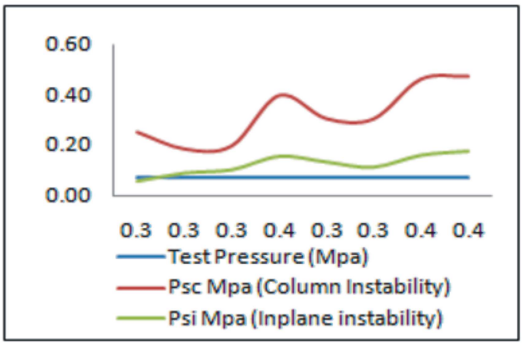
चित्र–12 भाग–1 अध्ययन के पीएससी, पीएसआई परिणाम



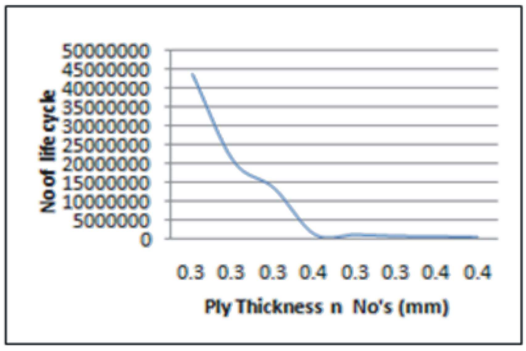
चित्र–13 भाग–2 अध्ययन के पीएससी, पीएसआई परिणाम

कॉलम स्क्विर्म आमतौर पर संपीड़न भार के तहत कॉलम के बकलिंग के लिए जिम्मेदार होता है जबकि इन–प्लेन स्क्विर्म ज्यादातर उच्च मेरिडियन झुकने वाले तनाव और संवलन के मूल शिखर पर प्लास्टिक–हिंग के गठन से जुड़ा होता है। इसलिए सीमित दबाव EJMA [11] के अनुसार परीक्षण दबाव से अधिक होना चाहिए।

बहु परत डिज़ाइन की तुलना में एकल परत डिज़ाइन के साथ सीमित डिज़ाइन दबाव अधिक था। बहु परत डिज़ाइन के साथ सीमित डिज़ाइन दबाव एकल परत डिज़ाइन की तुलना में 25% कम था। लेकिन यह परीक्षण दबाव की तुलना में अधिक था, जिससे यह अनुमान लगाया जाता है कि धौंकनी स्क्विर्म द्वारा विफल नहीं होगा। अनुकूलित धौंकनी विवरण नीचे दी गई तालिका 8 में दिखाया गया है।



चित्र–14 भाग–3 अध्ययन के P_{sc} व P_{si} परिणाम



चित्र–15 परतों की संख्या बनाम जीवन चक्र की संख्या

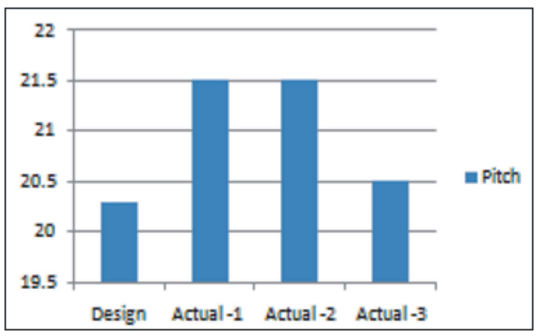
तालिका 8 – अनुकूलित अभिकल्प प्राचल

अनुकूलित अभिकल्प प्राचल (200NB)					
1	भीतरी व्यास	219 mm	5	धौंकनी सामग्री	SA240 Gr.316
2	बाहरी घेरा	266 mm	6	प्लाई की मोटाई	0.3 Thk X 2 ply
3	सक्रिय लंबाई	142 mm	7	अक्षीय गति	20 mm
4	संवलन की संख्या	7	8	पार्श्व गति	3 mm

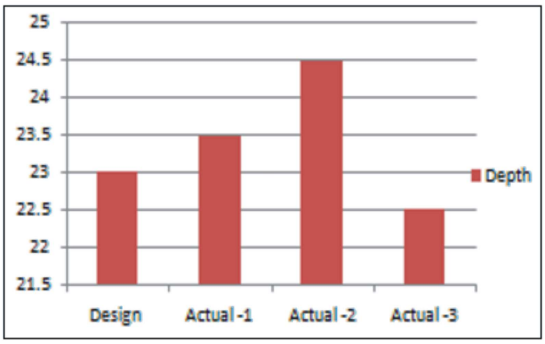
(vi) प्रायोगिक परीक्षण

अनुकूलन से भिन्न परिणाम प्राप्त हुए। परिणामों से पता चला कि एकल परत निर्माण के बजाय परतों की संख्या के साथ उच्च जीवन चक्र प्राप्त किए गए। परिणाम को सत्यापित करने के लिए एक प्रायोगिक परीक्षण करने की आवश्यकता थी । उपर्युक्त अनुकूलित अभिकल्प के लिए प्रायोगिक परीक्षण किया गया। तालिका–3 में उल्लिखित संचालन के अनुक्रम का पालन करके एक धौंकनी का निर्माण किया गया। विनिर्माण चक्र के कुछ महत्वपूर्ण निर्गम नीचे प्रस्तुत किए गए हैं।

1. आयामी रिपोर्ट



चित्र–16 पिच तुलना

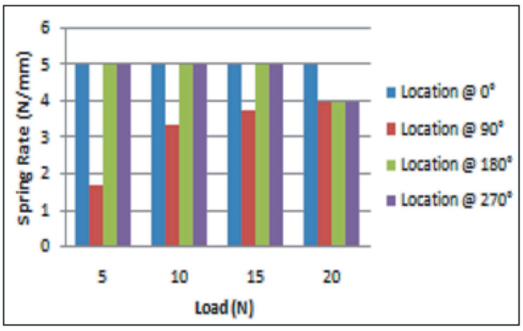


चित्र–17 गहराई तुलना

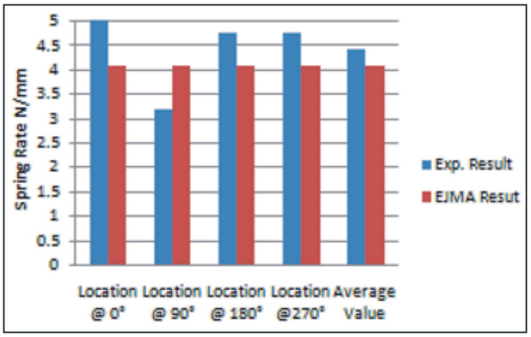
आयामी सत्यापन के लिए धौंकनी की पिच और गहराई दोनों सबसे महत्वपूर्ण प्राचल हैं। आम तौर पर सत्यापन के लिए सभी प्रकार की धौंकनी के लिए दोनों मानों को मापा जाता है। चित्र 16 और चित्र 17 में दिखाए

गए नीचे दिए गए ग्राफ़ अभिकल्प डेटा और वास्तविक माप के बीच गहराई और पिच मानों की तुलना को दर्शाते हैं। पिच और गहराई दोनों मान EJMA मानक के अनुसार विनिर्माण सहनशीलता सीमा के भीतर हैं।

2. स्प्रिंग दर परीक्षण



चित्र–18 लोड बनाम स्प्रिंग दर



चित्र–19 स्प्रिंग दर तुलना

एक स्प्रिंग दर आम तौर पर धौंकनी के इकाई विरूपण के लिए आवश्यक बल की मात्रा को दर्शाती है। धौंकनी के अभिकल्प में स्प्रिंग दर भी काफी महत्वपूर्ण प्राचल है। पाइपिंग अभिन्यास के भीतर विशिष्ट जंक्शन बिंदुओं पर विकसित बलों के अनुसार अंतिम उपयोगकर्ताओं द्वारा इस तरह के विवरण प्रदान किए जाने चाहिए। प्रयोगात्मक माप के साथ एक डिज़ाइन स्प्रिंग दर भी सत्यापित की गई थी। स्प्रिंग दर को चार अलग–अलग स्थानों पर मापा गया था जैसा कि ऊपर चित्र 18 में दिखाया गया है। माप 0, 90, 180 और 270 डिग्री पर किए गए थे। साथ ही विभिन्न स्थानों के औसत परिणाम की तुलना EJMA के अनुसार डिज़ाइन गणनाओं से की गई थी। EJMA डिज़ाइन और प्रयोग के माध्यम से प्राप्त स्प्रिंग दर दोनों मामूली भिन्नता के साथ समान थे जैसा कि चित्र 19 में दिखाया गया है।

3. हाइड्रो टेस्ट

हाइड्रो टेस्ट आमतौर पर रिसाव की जाँच करने के साथ–साथ धौंकनी के घूमने के लिए किया जाता है। यह एक ऐसा परीक्षण है जिसमें धौंकनी को परीक्षण दबाव तक तरल पदार्थ से दबाया जाता है और इसे 30 मिनट के लिए रखा जाता है। परिणाम से यह पता चलता है कि परीक्षण के दौरान कोई रिसाव, कोई दबाव में गिरावट और विकृति नहीं देखी गई। इसलिए दबाव परीक्षण के विरुद्ध अभिकल्प को स्वीकार किया जाता है।

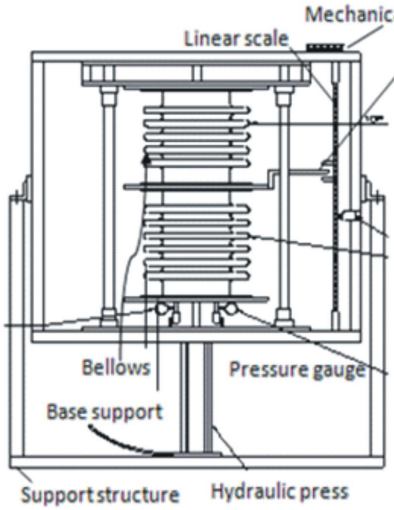
4. थकान जीवन चक्र परीक्षण

थकान जीवन चक्र परीक्षण एक तरह का विनाशकारी परीक्षण है। जीवन चक्र परीक्षण करने के लिए दो प्रोटोटाइप धौंकनी बनाने की आवश्यकता होती है जो वास्तविक धौंकनी के समान होती हैं। सभी प्रोटोटाइप धौंकनी को अन्य सभी परीक्षण प्रक्रियाओं से भी गुज़ारा जाता है। आम तौर पर थकान जीवन चक्र परीक्षण धौंकनी की कई फ्लेक्सिंग चक्रों को झेलने की क्षमता का सत्यापन होता है। EJMA यह भी सुनिश्चित करता है कि अत्यधिक जीवन चक्र आवश्यकता आवश्यक परिणाम स्थापित नहीं करेगी। अनुकूलित अभिकल्प को सत्यापित और मान्य करने के लिए जीवन चक्र परीक्षण किया गया। जीवन चक्र परीक्षण सेटअप के लिए मूल रेखा आरेख नीचे चित्र 20 में दिखाया गया है। थकान जीवन चक्र परीक्षण निम्नलिखित चरणों को अपनाकर किया गया था।

एक धातु की धौंकनी को अंतिम पाइपों के साथ वेल्डेड किया जाता है और अंत में परीक्षण की व्यवस्था की जाती है जैसा कि चित्र 20 में दिखाया गया है। विस्तार धौंकनी असेंबली में चक्र जीवन परीक्षण के लिए 2 अक्षीय धौंकनी तत्व होते हैं। विस्तार धौंकनी असेंबली को परीक्षण के लिए उपयुक्त स्थिरता के साथ वेल्डेड किया जाता

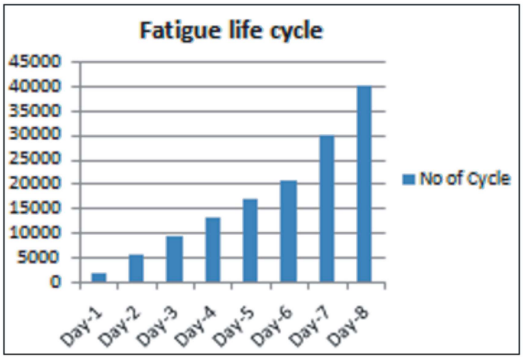
है, ताकि यह परीक्षण मशीन के साथ आसानी से फिक्स हो सके। दोनों धौंकनी तत्वों की संवलन लंबाई को शुरू में मापा जाता है। जिस स्थिति में धौंकनी तत्व की संवलन पर समान लंबाई होती है उसे तटस्थ बिंदु पर मुक्त लंबाई के रूप में लिया जाता है। थकान जीवन परीक्षण मशीन हाइड्रोलिक प्रणाली के साथ बिजली से संचालित होती है और गति को सीमा माइक्रो स्विच के साथ नियंत्रित किया जाता है। परीक्षण EJMA के अनुसार 60 इंच प्रति मिनट से अधिक नहीं की यात्रा गति के साथ किया जाता है।

नीचे चित्र 22 में दिखाए गए ग्राफ से यह स्पष्ट है कि धौंकनी 40,000 से अधिक जीवन चक्र को बनाए रख सकता है। धौंकनी द्वारा प्रतिदिन औसतन 5000 चक्र पूरे किए गए। जीवन चक्र परीक्षण के दौरान कोई रिसाव नहीं देखा गया। साथ ही परीक्षण के अंत तक अभिकल्प दबाव अपरिवर्तित बना रहा। इसलिए कोई दबाव गिरावट नहीं देखी गई। आयामी स्थिरता की जाँच करने के लिए परीक्षण के अंत में धौंकनी की पिच और गहराई को भी मापा गया। नीचे चित्र 24 और चित्र 25 में तुलना दिखाई गई है और अनुमान लगाया गया है कि प्राप्त मूल्य सीमा के भीतर हैं। यह स्पष्ट हो गया कि धौंकनी आयामी रूप से स्थिर हैं।



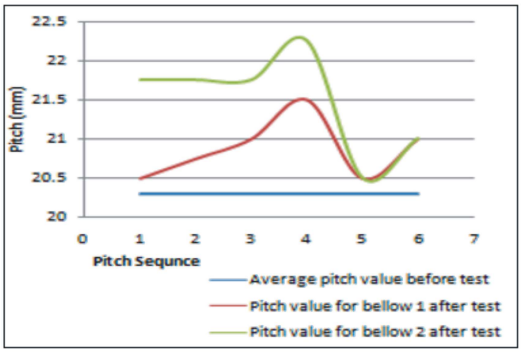
चित्र–20 थकान जीवन चक्र परीक्षण सेटअप **चित्र–21 धौंकनी मुक्त लंबाई और संपीड़न स्थिति**

प्रयोगों से प्राप्त समग्र परिणामों ने पुष्टि की कि धौंकनी का जीवन चक्र सुधारा गया है। प्राप्त जीवन चक्र पिछले डिज़ाइन की तुलना में 4 गुना अधिक है।

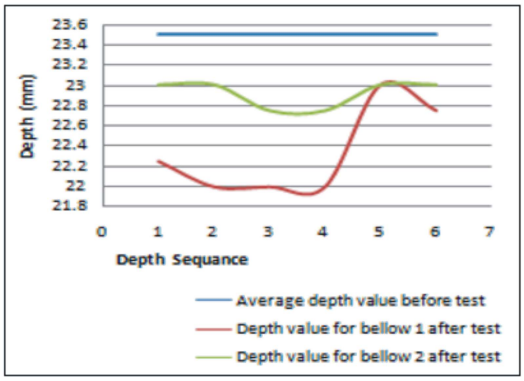


चित्र–22 थकान जीवन चक्र **चित्र–23 काउंटर रीडिंग @10,000 और @40,000**

विस्तार संयुक्त जीवन चक्र परीक्षण में परिणामों पर प्राचलिक चर के प्रभाव, थकान जीवन चक्र, सीमित अभिकल्प दबाव, दबाव और विक्षेपण तनाव के बारे में भी चर्चा की गई। बनाने से लेकर अंतिम प्रेषण तक एक धौंकनी विभिन्न प्रक्रिया चरणों से गुजरती है। उत्पाद के लिए कच्चा माल पहले खरीदा जाता है। खरीद के बाद सभी परीक्षण परिणामों, जैसे सामग्री परीक्षण प्रमाणपत्र, कठोरता परीक्षण, यांत्रिक परीक्षण और अन्य सभी प्रासंगिक दस्तावेजों को सत्यापित करने की आवश्यकता होती है। अगले चरण में नौकरी के निष्पादन के लिए एक योजना तैयार की जाती है। गुणवत्ता विभाग द्वारा सामान्य असेंबली ड्राइंग में दिए गए विवरण के अनुसार एक गुणवत्ता आश्वासन योजना तैयार की जाती है।



चित्र–24 पिच तुलना



चित्र–25 गहराई तुलना

परिणाम और चर्चा

किसी भी अनुप्रयोग के लिए धौंकनी का चयन और अभिकल्प केंद्रित गतिविधियाँ हैं क्योंकि इसमें विभिन्न प्रकार के चर शामिल होते हैं। धौंकनी डिजाइन में धौंकनी की पिच, गहराई, प्लाई की मोटाई, संवलन की संख्या और सामग्री महत्वपूर्ण चर हैं जैसा कि ऊपर चर्चा की गई है। अभिकल्प चरों के प्रभाव को समझने के लिए एक पूर्ण उत्पाद विकास चक्र के माध्यम से एक महत्वपूर्ण विफलता जांच की गई और थकान जीवन चक्र की उच्च संख्या के साथ एक उन्नत अभिकल्पना का प्रस्ताव दिया गया। प्रारंभिक जांच में यह अनुमान लगाया गया कि दरार गठन और प्रसार के कारण धौंकनी विफल हो गया। अन्य साइट अवलोकन भी उच्च प्रणाली स्तर के कंपन पर केंद्रित थे। EJMA मानक के अनुसार उपरोक्त अवलोकन के खिलाफ धौंकनी के अभिकल्प की जाँच और पुनः सत्यापन किया गया। सभी प्राप्त तनाव, सीमित अभिकल्प दबाव और जीवन चक्रों की संख्या मामूली बदलावों के साथ FEPL अभिकल्प सॉफ्टवेयर के अनुसार समान हैं। सभी संबंधित सिस्टम स्तर कंपन माप किए गए और पाया गया कि धौंकनी की प्राकृतिक आवृत्ति सिस्टम स्तर आवृत्ति से 2 गुना अधिक थी। इसके अलावा अधिकतम प्रवाह वेग स्वीकार्य प्रवाह वेग से पांच गुना कम था। कंपन अध्ययन से प्राप्त परिणाम से पता चला कि धौंकनी अनुनाद प्रतिक्रिया द्वारा विफल नहीं हुई। प्रक्रिया विफलता मोड और प्रभाव विश्लेषण (PFMEA) एक उपकरण है जो किसी प्रक्रिया में संभावित समस्याओं की पहचान करने और उन्हें संबोधित करने में मदद करता है। PFMEA पद्धति को अपनाया गया और सभी संभावित विफलता मोड और उसके खिलाफ सुधारात्मक कार्रवाई पर विचार–विमर्श किया गया। जोखिम प्राचल संख्या को 200 श्रेणियों से घटाकर 100 से कम कर दिया गया है, जिससे उत्पाद की गुणवत्ता में सुधार हुआ है और विफलता का जोखिम कम हो गया है।

मजबूत अभिकल्प वह है जो शोर कारक के प्रति कम संवेदनशील हो और अपना इच्छित कार्य करता हो। तागुची प्रयोगों की अभिकल्पना (DOE) मजबूती की अवधारणा पर काम करता है। DOE की तागुची विधि के अनुसार तीन अलग–अलग अनुकूलन अध्ययन किए गए। परत की मोटाई में वृद्धि से जीवन चक्र पर नकारात्मक

प्रभाव उत्पन्न होता है। संवलन की संख्या बढ़ाने के साथ धौंकनी का जीवन चक्र बढ़ता है लेकिन बकलिंग की विफलता और स्थान की उपलब्धता के कारण सीमित होता है। धौंकनी का जीवन चक्र धौंकनी के बाहरी व्यास को बढ़ाने के साथ भी बढ़ता है। लेकिन यह टूलींग सुविधाओं पर निर्भर करता है। कम परत की मोटाई से कम मात्रा में विक्षेपण तनाव उत्पन्न होता है जैसा कि विक्षेपण तनाव समीकरणों से दर्शाया गया है। इसलिए बहु परत धौंकनी निर्माण के साथ जीवन चक्र की उच्च संख्या प्राप्त की जाती है। इसके अलावा, विभिन्न अनुप्रयोगों के लिए धौंकनी डिज़ाइन के लिए सामग्री एक महत्वपूर्ण पहलू है। SS316, SS316Ti और SS310S सामग्री वाले धौंकनी को सर्वश्रेष्ठ परिणाम प्राप्त हुए। साहित्य अध्ययन से यह भी पता चला कि धौंकनी तनाव संक्षारण दरार धौंकनी विफलता का एक सामान्य कारण है।

तनाव संक्षारण दरार, निर्माण, गठन और बाहरी कारकों के दौरान धौंकनी में विकसित लागू तनाव और अवशिष्ट तनाव की उपस्थिति में स्थानीयकृत संक्षारण का परिणाम है। उपरोक्त तीनों सामग्री अत्यधिक संक्षारण प्रतिरोधी सामग्री हैं। साथ ही ये तीनों सामग्री क्लोराइड वातावरण में तुलनात्मक रूप से सर्वश्रेष्ठ हैं। तालिका 10 में परिभाषित एक अनुकूलित अभिकल्प का निर्माण किया गया था। FEPL मानक गुणवत्ता योजना के अनुसार धौंकनी का परीक्षण किया गया था। अभिकल्प विवरण के अनुसार आयामी रूप से धौंकनी स्थिर हैं। धौंकनी का अभिकल्प स्प्रिंग दर 4.05 Kg/mm है जबकि प्रायोगिक परीक्षण के अनुसार 4.21 kg/mm है। इसके अलावा हाइड्रो टेस्ट के दौरान धौंकनी में रिसाव और विकृति नहीं थी। FEPL में उपलब्ध जीवन चक्र परीक्षण सेट अप पर थकान जीवन चक्र परीक्षण किया गया। मानक विनिर्माण अभ्यास के अनुसार, जीवन चक्र की ऐसी संख्या सभी अभिकल्प के लिए एक बेंचमार्क थी। इसके अलावा, 8 दिनों के निरंतर संचालन के दौरान कोई रिसाव, दबाव में गिरावट और विकृति नहीं देखी गई। विफल धौंकनी के खिलाफ सभी उपायों से यह संकेत मिलता है कि अनुकूलित अभिकल्प मज़बूत है और धौंकनी के जीवन चक्र को 4 गुना से अधिक बढ़ाता है।

निष्कर्ष

इस लेख में इस्तेमाल किया गया मिश्रित दृष्टिकोण न केवल समस्या की जांच करने के लिए बल्कि समुद्र क्षेत्र के निकट क्षेत्र में उपयोग किए जाने वाले धौंकनी के मापदंडों को अनुकूलित करने के लिए भी लक्ष्य रखता है। प्राप्त परिणाम समान प्रकार के अनुप्रयोगों और वायुमंडलीय स्थितियों में उपयोग किए जाने वाले धौंकनी के लिए भी सहायक है। किसी भी प्रणाली के लिए समय से पहले विफलता बहुत महत्वपूर्ण है। और विफलताएं सीधे उत्पाद की लागत को बढ़ाती हैं। अभिकल्पन के लिए सही प्राचलों के चयन से विफलताओं से बचा जा सकता है जो मजबूत होना चाहिए। EJMA आधारित अभिकल्प सत्यापन ने अभिकल्पन की शुद्धता के बारे में सुनिश्चित किया। एक धातु धौंकनी विस्तार जोड़ अनुनाद कंपन के खिलाफ असंगत हैं। धौंकनी की प्राकृतिक आवृत्ति के साथ मापी गई प्रणाली आवृत्ति के साथ अनुनाद कंपन की स्थिति सुनिश्चित की जानी चाहिए। सिस्टम के अधिकांश उपकरण ISO 1816–3 के अनुसार सामान्य परिचालन स्थितियों में थे। PFMEA पद्धति अभिकल्पन के शुरुआती चरण में सभी संभावित विफलता मोड की पहचान करने के लिए उपयोगी है ताकि परिचालन स्थितियों के तहत विफलताओं की संभावना को कम किया जा सके। PFMEA उपकरण धौंकनी निर्माण प्रक्रिया वृद्धि और धौंकनी की गुणवत्ता में योगदान देता है। तागुची प्रयोगात्मक डिजाइन उत्पाद प्राचलिक अनुकूलन के लिए सर्वोत्तम पद्धतियों में से एक है। धौंकनी की गहराई, संवलन की संख्या और बहुविध निर्माण धौंकनी के जीवन चक्र को बढ़ाते हैं। सभी ऑस्टेनिटिक स्टेनलेस स्टील धौंकनी बनाने के लिए अच्छे हैं, लेकिन अनुकूलन परिणामों के अनुसार SS316, SS316Ti और SS321 संक्षारक वातावरण के खिलाफ सबसे अच्छे हैं। विनाशकारी परीक्षण से पहले धौंकनी को सभी गुणवत्ता परीक्षणों में उत्तीर्ण होना चाहिए। जीवन चक्र परीक्षण ने गणना की गई धौंकनी अभिकल्प जीवन को सत्यापित किया। इसके अलावा, 40000 बेंचमार्क थकान जीवन चक्र धौंकनी द्वारा प्राप्त किया गया था

जो कंपनी के मानक अभ्यास के अनुसार धौंकनी के लिए अधिक था। विफलता के खिलाफ सभी महत्वपूर्ण उपायों को सत्यापित किया गया और प्रयोगात्मक परीक्षण के साथ इष्टतम अभिकल्प को भी मान्य किया गया। इसलिए प्राप्त अभिकल्प संक्षारक वातावरण में काम करने के लिए पर्याप्त मजबूत है।

आभार : लेखक पारेख विजयकुमार, अपने मार्गदर्शक, डॉक्टरेट प्रगति समिति के सदस्यों और फ्लेक्सथर्म की टीम के प्रति हार्दिक आभार व्यक्त करता है जिन्होंने इस शोध परियोजना को पूरा करने में योगदान दिया। इसके अतिरिक्त, लेखक इस परियोजना के लिए आवश्यक संसाधन और सहायता प्रदान करने के लिए फ्लेक्सथर्म एक्सपैनलो प्राइवेट लिमिटेड का आभारी है।

हितों का टकराव हमारे पास प्रकट करने के लिए कोई हित संघर्ष नहीं है।

संदर्भ

1. Wankhede, S.D. and Gawande, S.H. (2023). Design and analysis aspect of metal expansion bellows: A review. Forces in Mechanics; Vol.13, pp: 100244.
2. Faraji, Gh., Mashhadi, M. Mosavi and Norouzifard, V, V. (2009). Evaluation of effective parameters in metal bellows forming process, Journal of Materials Processing Technology; Vol. 209, Issue 7, pp: 3431-3437.
3. Faraji, G., Besharati, M. K., Mosavi M. and Kashanizadeh, H. (2008). Experimental and finite element analysis of parameters in manufacturing of metal bellows, International Journal of Advance Manufacturing Technology; 38, pp: 641-648.
4. Lin, S. Y., Hsu, Y. C., Shih, J. C. and Lin, J. C. (2010). Investigation of Forming Characteristics in Bellows Hydroforming, 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology; Vol.6, pp: 623-627. IEEE.
5. Kim, Jinbong (2012). The Effect of Geometry on Fatigue Life for Bellows, Advanced Materials Development and Performance, International Journal of Modern Physics: Conference Series; Vol. 6, pp: 343-348.
6. Pavithra, E., Senthil Kumar, V.S. (2016). Microstructural Evolution of Hydroformed Inconel 625 bellows, Journal of Alloys and Compounds; Vol. 669, pp: 199 -204.
7. Pavithra, E. and Senthil Kumar, V.S. (2018). Experimental Investigation and Numerical Analysis on Fatigue Life of Bellows, Materials Today: Proceedings, Volume 5, Issue 9, Part 3,pp: 18848-18856.
8. Zhu, Y.Z., Wang, H.F. and Sang, Z.F. (2006). The Effect of Environmental Medium on Fatigue Life for U-Shaped Bellows Expansion Joints, International Journal of Fatigue, Volume 28, Issue 1, pp: 28-32.
9. Xiang, X.M., Lu, G., Li, Z.X. and Lv, Y. (2017). Finite Element Analysis and Experimental Study on a Bellows Joint, Engineering Structures, Volume 151, pp: 584-598.
10. Pagar, N. D. And Gawande, S.H.(2020). Parametric Design Analysis of Meridional Deflection Stresses in Metal Expansion Bellows Using Gray Relational Grade, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering; 42, pp: 256.

11. Pagar, Nitin D., Gawande, S.H. (2019). Experimental Investigations on Meridional and Circumferential Stresses of Bellows due to Internal Pressure , Proceedings of the ASME 2019 Gas Turbine India GTINDIA 2019-2771, : 1- 12.

12. Gawande, S.H. (2018). A Combined Numerical and Experimental Study on Metal Expansion Bellows for STHE, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering; 40, pp: 465.

13. Melissianos, Vasileios E., Lignos, Xenofon A., Bachas, Konstantinos K., Gantes, Charis J. (2017). Experimental Investigation of Pipes with Flexible Joints Under Fault Rupture, Journal of Constructional Steel Research; 128, pp: 633-648.

14. Gomes, M.J. da Silva, Fragoso, H.A.P., Barrio, R.C.A.G. and Cardoso, J.L. (2019). Stress Corrosion of An Austenitic Stainless-Steel Expansion Joint, A Case Study, Engineering Failure Analysis; 97, pp: 300-310.

15. Ravi, S., Parameswaran, P., Ganeshkumar, J., Sakty, S. and Laha, K. (2016). Failure Analysis of 316L Austenitic Stainless-Steel Bellows Used Under Dynamic Sodium in a Creep Testing Chamber, Engineering Failure Analysis; 59, pp: 366-376.

16. Elshawesh, F., Elhoud, A., Zeglam, W., Abusowa, K. and Mesalem, A. (2015). Corrosion Fatigue of Incoloy 825 Flare Gas Line Bellows of Expansion Joints, Journal of Failure Analysis and Prevention; 15(1), pp: 7-14.

17. Panda, B., Sujata, M., Madan, M. and Bhaumik, S.K. (2014). Stress Corrosion Cracking in 316L Stainless Steel Bellows of a Pressure Safety Valve, Engineering Failure Analysis; 36, pp: 379-389.

18. Standards of The Expansion Joints Manufacture Association, INC. 10th Edition, pp:1-306.

19. Hoseynabadi, Arabian H., Oraee, H. and Tavner, P.J. (2010). Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) For Wind Turbines, International Journal of Electrical Power and Energy Systems; Vol. 32, Issue 7, pp: 817-824.

20. Parsana, Tejaskumar S. and Patel Mihir T. (2014). A Case Study: A Process FMEA Tool to Enhance Quality and Efficiency of Manufacturing Industry, Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science; Vol. 4, No. 3, pp: 145-152.