ईएफपी युद्धशीर्ष का सिमुलेशन

Simulation of EFP warhead

मुकेश कुमार, सुनीता कालरा, यशपाल सिंह, प्रवेन्द्र कुमार

Mukesh Kumar , Sunita Kalra, Yashpal Singh, Pravendra Kumar

वैज्ञानिक - चरम प्राक्षेपिकी अनुसंधान प्रयोगशाला, सैक्टर 30 चंडीगढ़, भारत

ई-मेल-mukesh98519@gmail.com

सारांश-

ई.एफ.पी. आधारित युद्धशीर्षों का सैन्य प्रणालियों जैसे कि ऑफ-रूट माइन प्रणाली एवं टॉप अटैक आर्टिलरी म्यूनिशन में प्रयोग बढ़ रहा है। ई.एफ.पी. आधारित युद्धशीर्ष को स्टैंड-ऑफ दूरी से विस्फोटित कर लक्ष्य को भेदित किया जा सकता है। EFP (Explosively Formed Projectile) से तात्पर्य है विस्फोटक से बने प्रक्षेपी रुप है। इसी कारण इस युद्धशीर्ष का उपयोग टैंक के ऊपरी भाग, निचले भाग एवं पार्श्व भाग को भेदित करने में हो रहा है। ई.एफ.पी. युद्धशीर्ष में हेमी सेक्शन के आकार का एक लाइनर होता है जो कि विस्फोटित होकर एक उच्च वेग का प्रोजेक्टाइल बनाता है। इस प्रोजेक्टाइल का वेग 2.0-3.0 किलो मीटर प्रति सैकेंड के बीच होता है और लक्ष्य में भेदन क्षमता ज्यादा होती है। ई.एफ.पी. आधारित युद्धशीर्ष की भेदन क्षमता लाइनर की आकृति एवं आकार, लाइनर के पदार्थ एवं विस्फोटक पर निर्भर करता है । इस शोधपत्र में, 90 mm व्यास के ई.एफ.पी. युद्धशीर्ष को ऑटोडाइन सॉफ्ट्वेयर की मदद से डिजाइन किया गया है और इस युद्धशीर्ष को 60 mm मोटी स्टील (की चादर) के समक्ष टेस्ट किया गया है। लाइनर का पदार्थ टैंटलम है। प्रोजेक्टाइल का आकार एवं वेग 480 के वी फ्लैश रंडियोग्राफी प्रणाली की मदद से रिकॉर्ड किया गया है । ऑटोडाइन हाइड्रोकोड 2 दिशात्मक सॉफ्टवेयर की मदद से भी ई.एफ.पी. के आकार एवं वेग का अध्ययन किया गया है । सिमुलेशन प्रक्रिया में, यूलेरियन-लैगरैजियन का प्रयोग किया गया है जिसमें कि विस्फोटक को युलेरियन में और लाइनर को लैगरैजियन में बनाया गया है । लाइनर एवं युद्धशीर्ष कवच के पदार्थों को शॉक अवस्था के समीकरण (Equation of State) से जबकि विस्फोटक को जे डब्ल्यूएल (JWL) में मॉडल किया गया है । युद्धशीर्ष को पीछे से एक बिन्दु से विस्फोटित किया गया है । प्रायोगिक एवं सिमुलेशन परिणमों का तुलनात्मक अध्ययन किया गया है और पाया गया कि प्रायोगिक एवं सिमुलेशन के परिणाम एक दूसरे के काफी नजदीक है । अत: ऑटोडाइन सॉफ्टवेयर का प्रयोग ई.एफ.पी. आधारित युद्धशीर्षों के डिजाइन में किया जा सकता है । इस साफ्ट्वेयर के प्रयोग से प्रोजेक्टाइल के वेग, आकार एवं भेदन क्षमता का बिना प्रयोग किये ही पता लगाया जा सकता है जिससे समय एवं धन की काफी बचत होती है ।

ABSRACT-

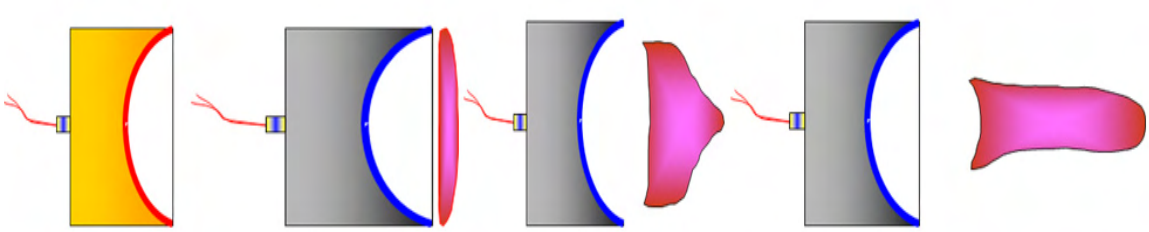
Explosively Formed Projectiles (EFPs) are finding increased use in military combat system like off-route mine system and top attack artillery munitions. The high effective stand-off distance of an EFP warhead enables it to be used in situation like top, side

and belly attack. In an EFP warhead, a hemi-spherical liner under precise initiation and explosive action gets deformed to an aero-dynamic shaped projectile] which has high penetration potential due to high EFP velocity and mass. The EFP characteristics are governed by various parameters such as geometry of the liner, confinement and shape of detonation front. In this paper, EFP warhead of dia. 90 mm has been designed and tested against 60mm thick steel target. Tantalum is used as a liner material for the EFP warhead. EFP's velocity, shape and size are studied using AUTODYN Numerical Nonlinear 2D hydrocode software. An Eulerian-Lagrangian approach has been used with Eulerian description of the explosive and a Lagrangian description for the liner and casing parts. The liner material and casing material were modeled with a shock equation of state. The Explosive is modeled with JWL equation of state. A Single point initiation in the centre of the warhead at the rear end was chosen for simulation study as well as for experiments. The experimental results are compared with simulation results. It has been observed that the numerical simulation results and experimental results are in good agreement.

मुख्य शब्दः ई.एफ.पी., हाइड्रोकोड, ऑटोडाइन, विस्फोटक, युद्धशीर्ष, प्रक्षेप, विन्यास, समोच्च, प्राचल
Key words: EFP, Hydrocode, Autodyn, Explosive, Warhead, Projectile, Configuration, Contour, parameter

1. प्रस्तावनाः

विस्फोटक रूप से गठित प्रोजेक्टाइल (EFP) को प्लेट चार्ज, मिसज्ने-शाडिन (MS) ईएफपी एवं स्वयं फोह्नजग खंड (SFF) के रूप में भी संदर्भित किया गया है, जिसका उद्देश्य लंबी दूरी पर स्थित लक्ष्यों को हिट करने के लिए विस्फोटक संचालित प्रक्षेप (प्रोजेक्टाइल) का उपयोग करना है। एक विस्फोटक रूप से गठित प्रोजेक्टाइल (ईएफपी) लाइनर टूटे बिना अत्यधिक नियंत्रित प्लास्टिक विरूपण से गुजरता है और एक इष्टतम ईएफपी बनाता है। ईएफपी गठन प्रक्रिया में 1041/सेकेण्ड के क्रम की तनाव दर पर 300% तक अनिवार्य रूप से सुपरप्लास्टिक उपभेद शामिल हैं, जिसके परिणामस्वरूप 1000-K के या उससे अधिक की परिणामी एडिएबैटिक तापमान वृद्धि होती है। इस तरह के सुपरप्लास्टिक विकृति को पारंपरिक सिद्धांतों द्वारा समझाया नहीं जा सकता है । ईएफपी गठन प्रक्रिया का एक सरल योजना चित्र-1 में दिखाया गया है।



चित्र -1 ईएफपी गठन प्रक्रिया का योजना चित्र

विस्फोटक उत्पादों, बेस प्लेट, कवच और लाइनर के बीच गतिशील संबन्धो को डिजाइन करना एक चुनौतीपूर्ण कार्य है,हालांकि प्रारंभिक शॉकवेव–लाइनर इंटरैक्शन को लगभग प्लानर (Planar) माना जा सकता है, फिर भी युद्धशीर्ष विन्यास में कई बुनियादी प्राचल हैं जो प्रोजेक्टाइल (प्रक्षेप) आकार और भेदन को प्रभावित करते हैं।

इन्हें व्यापक रूप से ज्यामितीय कारकों (geometrical factors) और भौतिक कारकों (physical factors) के रूप में वर्गीकृत किया जा सकता है। लाइनर समोच्च (liner contour), विस्फोटक चार्ज के भौतिक आयाम, बंधन विन्यास (confinement configuration) और विस्फोटक इनीशियेशन (explosive initiation) तकनीक रुचि के ज्यामितीय कारकों में से कुछ हैं। Weickert और Hallquist ने पाया कि विभिन्न लाइनर ज्यामिति परिणामस्वरूप अग्र फोल्डिंग, पीछे फोल्डिंग या डब्ल्यू–फोल्ड ईएफपी डिवाइस तरह के प्रोजेक्टाइल बनाते हैं।

विस्फोटक चार्ज का लंबाई–व्यास (L/D) अनुपात एक और महत्वपूर्ण बिन्दु है। चूंकि जैसे जैसे एल/ डी बढ़ता है, ईएफपी की गतिज ऊर्जा एक बिंदु तक बढ़ जाती है। ईएफपी का कवच विस्फोटक के लिए कवच प्रदान करता है। विस्फोटक और लाइनर के चारों ओर कवच द्वारा प्रदान द्रव्यमान से विस्फोटक का आवेग बढ़ जाता है और जिससे कि लाइनर को दी गई कुल ऊर्जा भी बढ़ जाती हैं ।

भौतिक कारकों में लाइनर, आवरण और विस्फोटक की संरचना और गुण शामिल हैं। इसके अतिरिक्त लाइनर निर्माण के दौरान प्रसंस्करण की प्रक्रिया भी शामिल है। गतिशील ईएफपी गठन प्रक्रिया के संदर्भ में लाइनर के गुण जैसे कि लाइनर के पदार्थ की उच्च घनत्व, उच्च लचीलापन, उच्च शक्ति और उच्च तापमान महत्वपूर्ण बिन्दु है । लाइनर टैन्टलम, तांबा, आयरन, टैन्टलम–टैंगस्टन (Ta-W) और मिश्र धातु इन गुणों के बने हो सकते हैं । आवरण आमतौर पर स्टील का का बना होता है । स्टील के कम लागत, उच्च शक्ति और घनत्व होने के कारण ये आमतौर पर उपयोग किया जाता है ।

विस्फोटक के महत्वपूर्ण गुण जैसे कि विस्फोटक घनत्व, विस्फोट वेग और विस्फोटक ऊर्जा महत्वपूर्ण बिन्दु हैं। इसलिए यह स्पष्ट है कि ऐसे कई कारक हैं जो ईएफपी के आकार और प्रदर्शन को प्रभावित करते हैं।

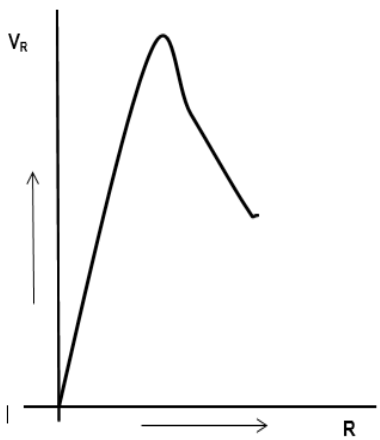
कंप्यूटर प्रौद्योगिकी में हुए तेजी से बदलाब एंव प्रयोगों में बढ़ते उच्च लागत को देखते हुए अधिक से अधिक शोधकर्ता ईएफपी के डिजाइन के लिए सिमुलेशन का प्रयोग कर रहे है । इस तरह के अधिकांश सत्यापनों ने अनुमानित आकार के साथ ईएफपी के प्रयोगात्मक आकार से मेल खाने पर ध्यान केंद्रित किया है। फिर भी, यह बिल्कुल महत्वपूर्ण है कि कंप्यूटर–आधारित डिज़ाइन में अधिक विश्वास रखने के लिए इसे प्रयोगों द्वारा सत्यापन किया जाना चाहिए।

इस पत्र में टैंटलम का लाइनर लिया गया है । टैन्टलम का गलनांक काफी अधिक (3020^{o} सेल्सियस) होता है ।

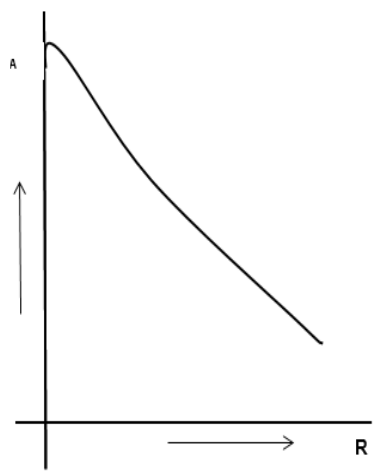
2.0 ईएफपी का निर्माण:

ईएफपी गठन के दौरान, प्रारंभिक रूप से अवतल लाइनर ,के साथ पीछे फोल्डिंग प्रकार विन्यास एक चरण से गुजरता है जहां यह लगभग सीधे डिस्क की तरह हो जाता है, हम इसे डिस्क चरण कहते हैं। इस चरण में रेडियल के साथ ही अक्षीय वेग मुख्य रूप से कार्य करते हैं।

चित्र–2 में रेडियल वेग प्रोफाइल को दर्शाया गया है जबकि अक्षीय वेग प्रोफ़ाइल चित्र–3 में दिखाया गया है। सबसे लंबे प्रोजेक्टाइल की प्राप्ति के लिए, लाइनर के सभी हिस्सों को खींचने में भाग लेना चाहिए।



चित्र–2 रेडियल वेग बनाम रेडियल स्थिति



चित्र–3 अक्षीय वेग बनाम रेडियल स्थिति

रेडियल गतिज ऊर्जा, $R_{KE} = 1/2 \int \rho u^z \, dV$

और अक्षीय गतिज ऊर्जा $A_{KE} = 1/2 \int \rho \, (V\text{-}Vcm)^{z} \, dV$

जहां u रेडियल वेग है, v अक्षीय वेग और Vcm लाइनर के द्रव्यमान का वेग हैं । योग $R_{KE}+A_{KE}$ को गठन ऊर्जा (formation energy) के रूप में माना जा सकता है।

3.0 प्रयोगात्मक विवरण

टैन्टलम लाइनर टैन्टलम की प्लेट से बनाया गया हैं। लाइनर का व्यास 85 mm हैं और विस्फोटक भरने से पहले लाइनर को तनाव से मुक्त एनील (anneal) किया गया हैं। कवच हल्के स्टील (स्टील 1006) का निर्माण 2.5 mm की मोटाई के साथ किया गया हैं। एक कास्ट लोड 60/40 संरचना बी (59.5% आरडीएक्स, 39.5% टीएनटी, 1% मोम) उच्च विस्फोटक का उपयोग किया गया हैं, जिसे बूस्टर और एक ईबीडब्ल्यू आधारित डिटोनेटर द्वारा विस्फोटित किया गया हैं। स्टील 4340 से बने एक लक्षित प्लेट का चयन किया गया है । स्टील 4340 की रासायनिक संरचना नीचे तालिका:1 में दी गई है:

तालिका : 1 स्टील 4340 की रासायनिक संगठन

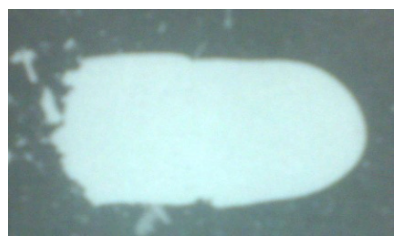
तत्व	कार्बन	क्रोमियम	मैगनीज	मालिष्डेनम	निकिल
भार (%)	0.38–0.43	0.7–0.9	0.6–0.8	0.2–0.3	1.65–2.0

ब्यास 90 mm का ईएफपी युद्धशीर्ष 60 mm मोटी हल्की स्टील प्लेट से 13 मीटर की दूरी पर रखा गया है। चित्र–4 में ईएफपी आधारित युद्धशीर्ष को दिखाया गया है ।

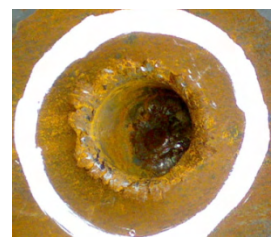
तालिका : 2 स्टील 1006 की रासायनिक संगठन

तत्व	कार्बन	मैगनीज	सल्फर	आयरन
भार (%)	0.08	0.05	0.45	99.43–99.75

चित्र–4 ईएफपी युद्धशीर्ष



चित्र–5 ईएफपी (प्रायोगिक)



चित्र–6 लक्ष्य में भेदन

फ़्लैश रेडियोग्राफ़ एक गैर–पारदर्शी हाई–स्पीड घटना की रेडिओग्राफिक चित्रों को रिकॉर्ड करने का एक तरीका है । ऐसी घटनाएं विभिन्न क्षेत्रों में होती है जैसे की बैलिस्टिक, गतिशील उच्च दबाब भौतिकी, डिटोनिक्स, उद्योग एंव चिकित्सा निदान

ईएफपी गठन को तीन चैनलों का उपयोग करके 480 केवी फ्लैश एक्स–रे सिस्टम की मदद से रिकॉर्ड किया गया हैं। चित्र–5 में एक्स–रे फिल्म द्वारा ईएफपी का आकार और आकृति को दिखाया गया है, जो 85 mm टैंटलम आधारित लाइनर से बने ईएफपी को दर्शाता है ।

4.0 सिमुलेशन पद्धति

4.1 प्रयुक्त सिमुलेशन सॉफ्टवेयर:

ANSYS ऑटोडोन 2 डी / 3 डी गैर रेखीय हाइड्रोकोड का उपयोग किया गया था। यह एक स्पष्ट संख्यात्मक विश्लेषण कोड है, जहां सामग्रियों के विवरण के साथ द्रव्यमान, गति और ऊर्जा संरक्षण के समीकरण हल किए जाते हैं। वैकल्पिक संख्यात्मक प्रोसेसर उपलब्ध हैं और अलग–अलग मॉडल के लिए चुनिंदा रूप से उपयोग किए जा सकते हैं। वर्तमान में उपलब्ध प्रोसेसर में लग्रेंज, यूलर, यूलर एफसीटी, एएलई और एसपीएच (चिकना कण हाइड्रोडायनेमिक्स) खोल शामिल है जो उन्हें गैर–रैखिक गतिशीलता की एक विस्तृत श्रृंखला के अनुकूल बनाता है। कोड प्रभावी रूप से संपद,भेदन विस्फोट और विस्फोटक घटनाओं के मॉडलिंग के लिए विशेष रूप से उपयुक्त हैं।कभी–कभी इसे (हाइड्रोकोड) के रूप में जाना जाता हैं। लैंग्रेगियन

प्रोसेसर जिसमें सामग्री के साथ ग्रिड विकृति का लाभ हैं, कम्प्यूटेशनल रूप से तेज और सामग्री इंटरफ़ेस की अच्छी परिभाषा देता हैं। यूरल प्रोसेसर, जो एक निश्चित ग्रिड का उपयोग करता हैं, जिसके माध्यम से सामग्री बहती हैं, कम्प्यूटेशनल रूप से अधिक मंहगा होता हैं, लेकिन अक्सर बेहतर होता हैं एंव बड़े विकृतियों और द्रव प्रवाह मॉडलिंग के लिए उपयुक्त हैं।

4.2 सिमुलेशन सेट अपः

ईएफपी युद्धशीर्ष के संख्यात्मक सिमुलेशन को 2 डी-अक्षीय मॉडल का उपयोग करके ऑटोडोन में किया गया हैं। एक युलरियन - लैग्रेंगियन दृष्टिकोण का उपयोग विस्फोटक के यूलरियन विवरण और लाइनर और आवरण भागों के लिए एक लैंग्रेगियन विवरण के साथ किया गया हैं । लाइनर सामग्री और आवरण सामग्री शॉक अवस्था के समीकरण के साथ मॉडलिंग किया गया हैं,जबकि विस्फोटक को JWL समीकरण के साथ मॉडल किया गया हैं। प्रयोग के साथ-साथ सिमुलेशन के लिए चार्ज को केंद्र बिंदु से विस्फोट किया गया हैं। चित्र-7 ईएफपी युद्धशीर्ष के संख्यात्मक मॉडल को चित्र-8 ईएफपी (सिमुलेशन) दिखाता है। भौतिक विवरण ों के लिए उपयोग किए जाने वाले विभिन्न इनपुट पैरामीटर क्रमशः तालिका 4, तालिका 5 और तालिका 6 में सारांशित हैं। लक्ष्य प्लेट में ईएफपी गठन और भेदन के विभिन्न चरण क्रमशः चित्र -9 और चित्र -10 में दिखाए गये है। प्रायोगिक एवं सिमुलेशन परिणामों के बीच तुलना तालिका 7 में दिखाई गई है।

तालिकाः 4 आवरण के लिए सामग्री पैरामीटर

पैरामीटर	1006 स्टील
स्थिति के समीकरण (EOS)	झटका (Shock)
संदर्भ घनत्व (जी / सेमी 3)	7.89600 ई + 00
थोक मॉड्यूलस (केपीए)	2.17000 ई + 00
ग्रुनेसेन गुणांक	4.56900 ई + 03
पैरामीटर सी 1 (एम / एस)	1.4 9 000 ई + 00
पैरामीटर एस 1	0.00000 ई + 00
पैरामीटर क्वाड। एस 2 (एस / एम)	0.00000 ई + 00
सापेक्ष मात्रा, वी ई	0.00000 ई + 00
सापेक्ष मात्रा, वी बी	0.00000 ई + 00
पैरामीटर सी 2 (एम / एस)	0.00000 ई + 00
पैरामीटर एस 2	0.00000 ई + 00
संदर्भ तापमान (के)	3.00000 ई + 02
विशिष्ट गर्मी (सीवी) (जे / किग्रा के)	4.52000 ई + 02

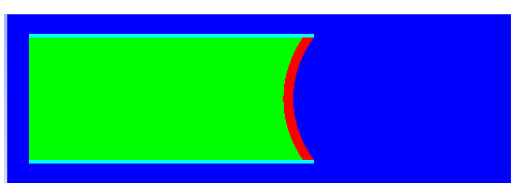
ताकत मॉडल	जॉनसन-कुक (Johnson-Cook)
शीयर मॉड्यूलस (केपीए)	8.18000 ई + 07
पैदावार तनाव (केपीए)	3.50000 ई + 05
हार्डनिंग स्थिर (केपीए)	2.75000 ई + 05
कठोर परिश्रम	3.60000 ई - 01
तनाव दर निरंतर	2.20000 ई - 02
थर्मल नरम एक्सपोनेंट	1.00000 ई + 00
पिघलने का तापमान (के)	1.81100 ई + 03
असफल मॉडल (Failure Model)	कोई नहीं
क्षरण मॉडल (Erosion Model)	कोई नहीं

तालिका:5 लाइनर के लिए सामग्री पैरामीटर

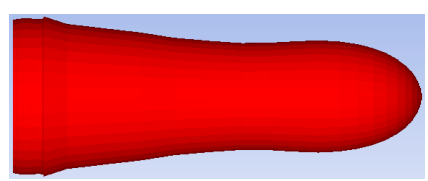
पैरामीटर	टैंटलम
स्थिति के समीकरण	झटका (Shock)
संदर्भ घनत्व (जी / सेमी 3)	1.66000ई +01
ग्रुनेसेन गुणांक	1.69 000 ई + 03
पैरामीटर सी 1 (एम / एस)	3.42300 ई + 00
पैरामीटर एस 1	1.21400 ई + 00
पैरामीटर क्वाड। एस 2 (एस / एम)	0.00000 ई + 00
सापेक्ष मात्रा, वी ई	0.00000 ई + 00
सापेक्ष मात्रा, वी बी	0.00000 ई + 00
पैरामीटर सी 2 (एम / एस)	0.00000 ई + 00
पैरामीटर एस 2	0.00000 ई + 00
संदर्भ तापमान (के)	3.00000 ई + 02
विशिष्ट गर्मी (सीवी) (जे / किग्रा के)	4.52000 ई + 02
ताकत मॉडल (Strenth Modal)	वॉन माइस (Von & Mises)
शीयर मॉड्यूलस (केपीए)	6.56000 ई + 07
पैदावार तनाव (केपीए)	5.00000 ई + 05
असफल मॉडल	कोई नहीं
क्षरण मॉडल	कोई नहीं

तालिका:6 विस्फोटक के लिए सामग्री पैरामीटर

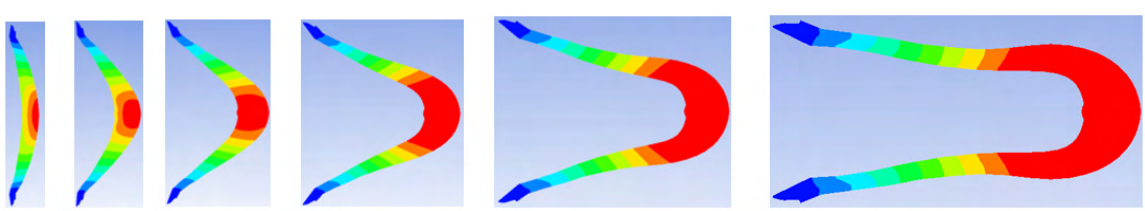
पैरामीटर	कॉम्प बी
स्थिति के समीकरण	जोन्स-विल्किन्स-ली जेडब्लूएल (JWL)
(जेडब्लूएल) (विस्फोटक)	
संदर्भ घनत्व (जी / सेमी 3)	1.71700 ई + 00
पैरामीटर ए (केपीए)	5.24230 ई + 08
पैरामीटर बी (केपीए)	7.67800 ई + 06
पैरामीटर आर 1	4.20000 ई + 00
पैरामीटर आर 2	1.10000 ई + 00
पैरामीटर	3.40000 ई – 01
सीजे विस्फोट वेग (एम / एस)	7.98000 ई + 03
सीजे ऊर्जा / इकाई मात्रा (केजे / एम 3)	8.50000 ई + 06
सीजे दबाव (केपीए)	2.95000 ई + 07
संपीड़न अंश पर जलाओ	1.00000 ई – 01
प्री-बर्न बल्क मॉड्यूलस (केपीए)	0.00000 ई + 00
एडियाबैटिक निरंतर (केपीए)	0.00000 ई + 00
ताकत मॉडल	कोई नहीं (हाइड्रो)
असफल मॉडल	कोई नहीं
क्षरण मॉडल	कोई नहीं



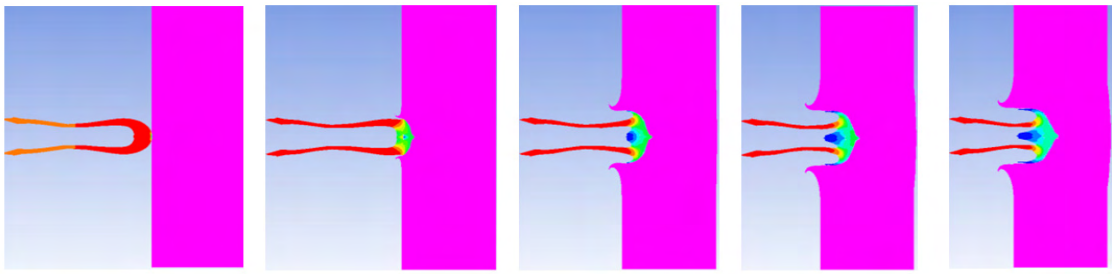
चित्र-7 ईएफपी युद्धशीर्ष संख्यात्मक माडल



चित्र-8 ईएफपी (सिमुलेशन)



चित्र-9 ईएफपी गठन के विभिन्न चरण



चित्र–10 ईएफपी द्वारा लक्षय भेदन के विभिन्न चरण

5.0 परिणाम और चर्चा:

तालिका 7 प्रयोगों और सिमुलेशन से प्राप्त परिणामों को दिखाती है। प्रयोगों से ईएफपी की गति 910 मीटर / सेकंड दर्ज की गई थी एवं ईएफपी की लम्बाई एंव व्यास क्रमश: 65.8 mm और 49.4 mm था। जब इस ईएफपी ने लक्ष्य प्लेट को 60 mm मोटाई पर मारा गया, तो 47 mm की भेदन हासिल की गई। सिमुलेशन परिणामों में, ईएफपी की वेग 1154 मीटर / सेकेंड दर्ज किया गया थी जबकि लंबाई और व्यास क्रमश: 67.6 mm और 43.6 mm थे। प्लेट में भेदन 43.5 mm है।

तालिका 7 प्रायोगिक और सिमुलेशन परिणामों के बीच तुलना

पैरामीटर	प्रयोग	सिमुलेशन
ईएफपी का व्यास (mm में)	65.8	67.6
ईएफपी की लंबाई (mm में)	49.4	43.6
लंबाई / का व्यास अनुपात (L/D)	1.3	1.5
ईएफपी का वेग (mm /सेकेण्ड)	910	1154
लक्ष्य में भेदन (mm में)	47.0	43.5

6.0 निष्कर्ष:

ईएफपी गठन और भेदन प्रक्रिया का अध्ययन करने के लिए सिमुलेशन किया गया है। इस तरह की जटिल घटना की गणितीय मॉडलिंग करना आसान नहीं है, लेकिन कंप्यूटर हार्डवेयर और सॉफ्टवेयर प्रौद्योगिकियों में बहुत ज्यादा विकास होने के कारण हम पिछले कुछ दशक में, hydrocodes पर भरोसा करते आ रहे हैं और इन सॉफ्टवेयरों की मदद से युद्धशीर्ष का डिजाइन किया जा रहा हैं। सिमुलेशन विभिन्न घटनाओं को समझने के लिए काफी उपयोगी हैं क्योंकि विभिन्न मानकों को देखने के लिए ईएफपी गठन के विभिन्न चरणों में सिमुलेशन को रोका जा सकता है। इस तरह की जटिल समस्याओ का कंप्यूटर पर अध्ययन सम्भव हो रहा है। प्रायोगिक परिणाम सिमुलेशन परिणामों के बहुत करीब हैं।

7.0 संदर्भ :

1. K.weimann, J Propellants, Explosives, Pyrotecnics, 18(1993) pp 294
2. S.Pappu, L.Murr 'Hydro code and Microstructural analysis of explosively formed penetrators of materials Science 37(2002) pp233-248.
3. Couque Herve and R.Boulanger: EFP simulations with JC models: 23rd International Symposium on Ballistics, 16-20 April 2007 pp255-262.
4. AUTODYN Theory Manual, Century Dynamics Ltd.