



Konferans Bildirisi

Otomotiv Sektöründe Kalıp Tamiri için LBAAM Teknolojisinin Uygulama Parametrelerin Belirlenmesi ve İncelenmesi

Sevilay Sağtan^{1*}

¹ Teknorot Otomotiv Ürünleri San. Ve Tic. A.Ş., <https://orcid.org/0009-0001-2598-5550>,
sevilay.sagtan@gmail.com

* Sorumlu Yazar: sevilay.sagtan@gmail.com

(First received October 22, 2023 and in final form December 17, 2023)

**3rd International Conference on Design, Research and Development
(RDCONF 2023)
December 13 - 15, 2023**

Reference: Sağtan, S. Otomotiv Sektöründe Kalıp Tamiri için LBAAM Teknolojisinin Uygulama Parametrelerin Belirlenmesi ve İncelenmesi. Orclever Proceedings of Research and Development, 3(1), 90-103.

Özet

Direct Energy Deposition (DED) teknolojisine benzer olan ve temelinde, bir robot kol üzerine monte edilmiş hammadde besleyicisi ve enerji kaynağının kullanıldığı “Laser-Based Additive Advanced Manufacturing” (LBAAM) teknolojisi; hassas ve karmaşık parçaların üretimini gerçekleştirmenin yanı sıra hasarlı parçaların onarımını ve kaplamasını yapma imkanı da sunar. Bu teknoloji özellikle havacılık ve otomotiv sektörlerinde kullanılacak parçaların üretiminde, geleneksel metal kalıplara kıyasla özelleştirilmiş parça üretimi ve onarımını hızlandırma, maliyetleri azaltma ve kalıp onarımını daha verimli hale getirme potansiyeli taşımaktadır. Otomotiv süspansiyon sistemleri elemanlarının üretiminde kullanılan kalıpların zamanla aşınmasından dolayı yeniden kullanımı amacıyla onarımı kaçınılmaz bir gerekliliktir. Parçaların üretimi sırasında oluşan kalıp aşınmaları ve hasarlar, ürün kalitesini olumsuz etkilemektedir.

Bu çalışma Horizon 2020 kapsamında yer alan PULSATE projesinde IRIS ve Teknorot Otomotiv’in ortak olarak yürütmüş olduğu; süspansiyon sistemi bileşenlerinin üretiminde kullanılan alüminyum ve çelik olmak üzere iki kalıbın çapak alma işlemi sırasında oluşan



deformasyonunun giderilmesi için yenilikçi LBAAM teknolojisine odaklanmıştır. LBAAM parametrelerinin belirlenmesi ve lazer biriktirme de kullanılacak cihazın tasarım optimizasyonu incelenmiştir. Geleneksel yöntemlerle kaynak yapılarak giderilen bu deformasyon bölgeleri CNC işlemlerinin ardından yeniden kullanılabilir hale getirilirken LBAAM teknolojisi ile yüksek enerjili bir lazer ışını kullanılıp metal tel malzemesi eritilerek katmanlar halinde kalıp yüzeyine eklenecektir. Atık miktarının daha az olduğu çevre dostu üretim yaklaşımı ile geleneksel kaynak yöntemlerine kıyasla daha hızlı bir onarımla üretim sürekliliğine katkı sunulacaktır. Bu bağlamda, LBAAM için lazer kafasının tasarımı ve ilk biriktirme çalışmalarıyla teknolojinin uygulanması test edilmiştir. Kullanılacak kaynak teli malzemesinin seçimi sonrasında, farklı deney tasarımları (D.O.E) ile kalıplara uygun lazer kafası tasarımları ve işlem parametreleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv Süspansiyon Sistemleri, Katmanlı İmalat, Kalıp Onarım



"Determination and Investigation of Application Parameters of LBAAM Technology for Mold Repair in Automotive Industry"

Abstract

"Laser-Based Additive Advanced Manufacturing" (LBAAM) technology, which is similar to Direct Energy Deposition (DED) technology and is based on a raw material feeder and energy source mounted on a robot arm; In addition to carrying out the production of delicate and complex parts, it also offers the possibility of repairing and coating damaged parts. This technology has the potential to accelerate the production and repair of customized parts, reduce costs, and make mold repair more efficient compared to traditional metal molds, especially in the production of parts to be used in the aerospace and automotive industries. It is an inevitable necessity to repair the molds used in the production of automotive suspension systems elements for reuse due to their wear over time. Mold wear and damage during the production of parts adversely affect product quality. This study was carried out jointly by IRIS and Teknorot Automotive in the PULSATE project within the scope of Horizon 2020; It is focused on the innovative LBAAM technology to remove the deformation of two molds, aluminum, and steel, used in the production of suspension system components during the deburring process. Determination of LBAAM parameters and design optimization of the device to be used in laser deposition were examined. These deformation areas, which are removed by welding with traditional methods, will be reused after CNC processes, while a high-energy laser beam will be used with LBAAM technology, and the metal wire material will be melted and added to the mold surface in layers. With the environmentally friendly production approach with less waste, it will contribute to the continuity of production with a faster repair compared to traditional welding methods. In this regard, the design of the laser head for LBAAM and the application of the technology were tested with initial deposition studies. After the selection of the welding wire material to be used, different test designs (D.O.E) and laser head designs and process parameters suitable for the molds were determined.

Keywords: *Automotive Suspension Systems, Additive Manufacturing, Mold Repair*



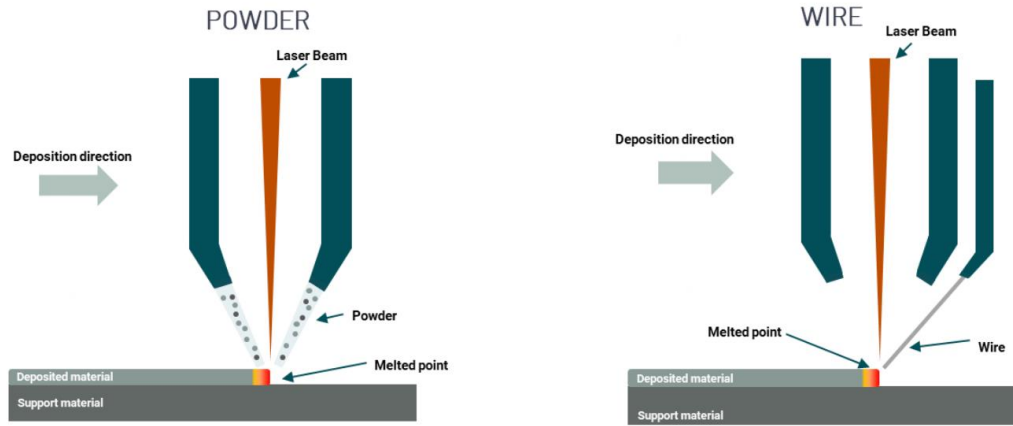
1. Giriş

Sıcak dövme kalıplarında aşınma çeşitli faktörlerden kaynaklanmaktadır. Termal yorgunluk, plastik deformasyon ve aşınma kalıplarda ortaya çıkan başlıca sorunlardır. Özellikle aşınma kaynaklı sorunlar kalıpların ömürlerini %70 oranında olumsuz etkilemektedir. Ek olarak sıcak dövme prosesi içinde yüksek sıcaklık çalışma koşulları ile kalıpların maruz kaldığı termal etkiler, mekanik gerilmeler ve zamanla oluşan korozyon da aşınmayı hızlandıran diğer etmenlerdir [1] [2]. Sıcak dövme kalıplarındaki aşınmayı engellemek amacıyla özellikle yüksek sıcaklıklarda çalışan kalıpların iş parçası ile yapışmasını engellemek amacıyla çeşitli koruyucu işlemler uygulanmaktadır. En yaygın olarak kullanılan sert yüzey kaplama diye de adlandırılan hardfacing teknolojileridir. Bu teknolojik çözümler termal kaynaklı oluşan yumuşamanın oluşturduğu aşınmayı önleyen ve kalıp bütünlüğünü koruyan bir yöntemdir [3] [4]. Geleneksel onarım yöntemlerinde sıcak dövme kalıplarının malzeme tüketimi, yeniden kullanım için gereken ve zaman alan tasfiye işlemi zamanla düşük üretim verimliliğine neden olacak problemleri de beraberinde getirmektedir. Sıcak dövme kalıplarının onarımında maliyeti azaltmak, kalıp ömrünü uzatmak, malzeme kullanımını iyileştirmek ve işlevsel performansı artırmak için yeni yöntemlerin geliştirilmesi oldukça önemli bir konudur. Bu nedenle hem ekonomik hem de yenilikçi teknolojilerin bir arada bulunduğu bir yöntemle aşınmış kalıpların tamirinin yapılması kalıp ömrü ve uzun çevrim zamanı ile çevreci süreçlere de olumlu etkiler yapmaktadır [5] [6]. Alüminyum ve çelik sıcak dövme kalıplarındaki aşınmaların onarımı için eklemeli imalat ile onarım çözümleri gün geçtikçe yeni çalışmalara konu olmaktadır. Bu eklemeli imalat çözümleri arasında en yaygın olarak göze çarpan Laser Metal Deposition (LMD-P) teknoloji bulunmaktadır. LMD-p, sıcak dövme kalıplarının yüzeylerine sert bir yüzey tabakası oluşturarak onarım yapılmasına katkı sunmaktadır. Bu yöntem, özellikle karmaşık geometrilere sahip olan kalıplar için uygundur ve üstün bir aşınma direnci sağlamaktadır [5] [7]. Ayrıca, Wire and Arc Additive Remanufacturing (WAAR) teknolojisi de metal kalıpların tamirinde ark kaynağı ile yapılan yüzey kaplamaya daha teknolojik bir yaklaşımla yeniden yapılandırıp katkı sunan alternatif bir yöntem olarak uygulanmaktadır [8]. LBAAM teknolojisinin sıcak dövme kalıplarının onarımında kullanılması, özellikle karmaşık geometrilere sahip kalıplar için onarım imkanı sunmaktadır. Laser Metal Deposition with powder (LMD-p) gibi lazer tabanlı eklemeli işlem süreçleri, kalıpların yüzey işlemleri ve onarımları için yaygın kullanıma sahip olmaktadır [5] [7]. Ayrıca, sıcak ve soğuk işlem kalıpları ve enjeksiyon kalıplarının üretimi, yüzey işlemleri ve onarımı için de kullanılmaktadır [9]. LBAAM ve benzeri lazer tabanlı eklemeli imalat çözümleri, sıcak dövme kalıplarındaki aşınma (aşındırıcı kaynaklı aşınma, yapışma kaynaklı deformasyon, oksidasyon ve termal gerilmeler), çatlaklar ve plastik deformasyon

sorunlarına karşı uygulanabilen etkili bir yöntemdir [10]. LBAAM ve benzeri teknolojiler, bu tür aşınmaları onarmak ve kalıp ömrünü uzatmak için çözümler sunmaktadır. LBAAM teknolojisi esnek üretim imkanları sunmaktadır. Bu teknoloji, özellikle havacılık, otomotiv, tıbbi cihazlar, endüstriyel makine üretimi sektörlerinde kullanımı araştırmalara konu olmaktadır. Avrupa'nın üretim endüstrisinin dijitalleşmesini sağlamak amacıyla AB tarafından finanse edilen PULSATE projesi, LBAAM teknolojisini benimsemek isteyen şirketlere teknolojinin avantajlarını sunmak amacıyla çalışmalar yürütmektedir [11]. Lazer gücü, tarama hızı ve malzeme besleme hızı gibi LBAAM uygulama parametreleri, otomotiv parçaları üretiminin verimliliğini ve kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu parametreler optimize edilerek daha iyi üretim verimliliği, malzeme kullanımı ve parça kalitesi elde edebilmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Seçici lazer ergitme yönteminin bir parçası olan Doğrudan Enerji Biriktirme tekniğine benzer bir yöntemle aşınmış olan kalıp yüzeylerinin onarımı yapılacaktır. Aşınmış yüzeylere biriktirilecek olan malzemeyi aşağıdaki şekillerdeki gibi eritmek için lazer destekli enerji kaynakları kullanılarak işlem yapılmaktadır.



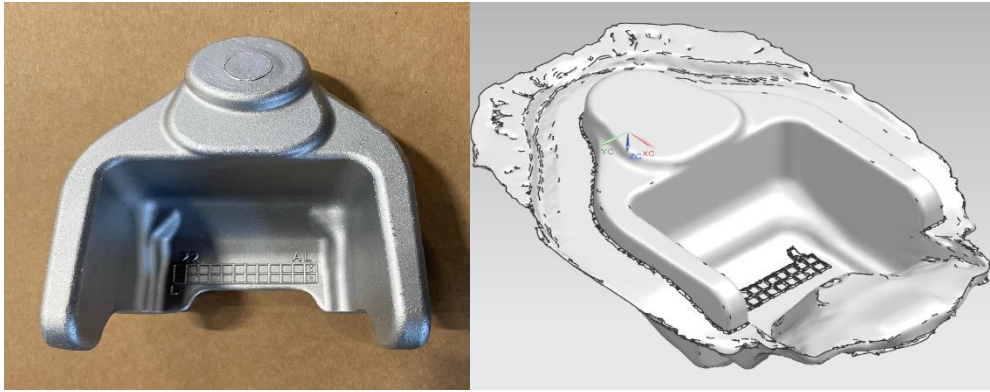
Şekil 1 DED teknolojisinin uygulanma biçimi

Otomotiv süspansiyon sistemleri üretiminde yaygın olarak kullanılan alüminyum ve çelik esaslı kalıpların çapak alma işleminde meydana gelen deformasyonlarının onarımı çalışılmıştır. Çalışmada LBAAM adı verilen, bir robot kol üzerine monte edilmiş hammadde besleyicisi ve enerji kaynağının kullanıldığı yöntem kullanılmıştır. Horizon 2020 kapsamında AB finansmanlı PULSATE projesi kapsamında ilk olarak çalışılması gereken deformasyona uğramış kalıpların seçimi yapılmıştır. Ardından LBAAM yönteminin uygulanması için parametrelerin belirlenme süreci tamamlanmıştır. LBAAM

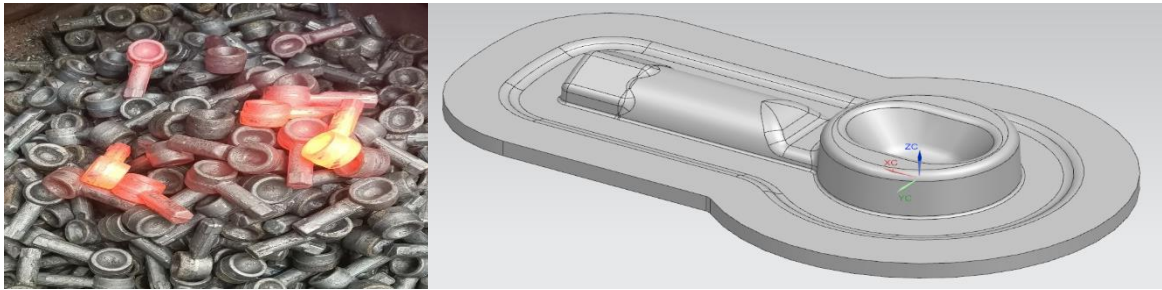
yönteminde temelde lazer başlığı, tel biriktirme sistemi gibi yapıların mekanik olarak birbiriyle uyumlu çalışması amacıyla çeşitli testler yapılarak tasarımda iyileştirilecek noktalar tespit edilmiştir.

2.1. Çalışılacak Olan Kalıpların Seçimi

Sıcak dövme işleminde yaygın olarak kullanılan alüminyum ve çelik ürünlere ait kalıplar seçilmiştir. Şekil 2’de alüminyum hammaddeden dövülmüş ve çapak alma işlemi yapılmamış olan ürün yer almaktadır. Şekil 3’te çelik hammaddeden dövülmüş ve çapak alma işlemi yapılmamış olan ürün yer almaktadır.

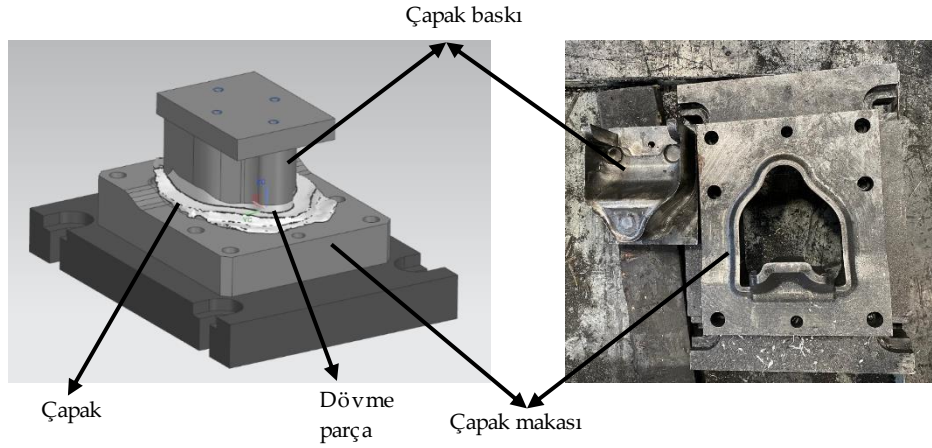


Şekil 2 Alüminyum (001122) nihai ürün ve çapaklı ürün

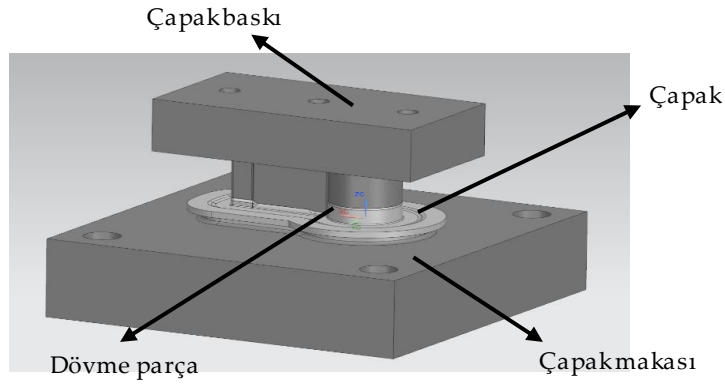


Şekil 3 Çelik 002025 (SAE-AISI 1040) nihai ürün ve çapaklı ürün

Seçilen referans kalıplarda meydana gelen aşınmalar Şekil 4 ve Şekil 5 ‘te gösterilmiştir.



Şekil 4 Alüminyum parçaya ait çapak alma işleminde kalıp gösterimi



Şekil 5 Çelik parçaya ait çapak alma işleminde kalıp gösterimi

Üretimde çapak kesme ağızı belli bir adetten sonra bozulmakta ve bu sebepten, ürün kesme esnasında deforme olmaktadır. Deforme olan bölge kaynak ile doldurularak

tekrar işlenmektedir. Deforme olan bölgeye ait alınan örnek Şekil 6'da gösterilmiştir



Şekil 6 Deforme olan kalıp yüzeyleri

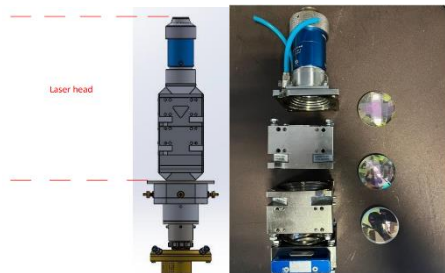
Her iki ürüne de uygulanan işlemin parametreleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 1 Ürünlere uygulanan çapak alma işleminin parametreleri

	Alüminyum	Çelik
Çapak Kesme Tezgahı	160 Ton Eksantrik Pres	60 Ton Eksantrik Pres
Çapak Kesmede Parça Sıcaklığı	300 – 350 °C	900 – 950 °C
Çapak Kesme Kuvveti	90 kg (888 Newton)	15 kg (150 Newton)

2.2. LBAAM Sisteminin Tasarım Süreci

Proje ortaklarından IRIS tarafından lazer başlığının geliştirilme süreci çalışılmıştır.



Şekil 7 Lazer başlığının tasarımı ve ekipmanları

Optimum odak mesafesi ve biriktirme işlemi için X,Y ve Z eksenleri boyunca ayarlanabilen, farklı çaplarda farklı metal teller ile kullanılma imkanı olan ve biriktirme işleminde oksidasyonu önleyen inert gazlar ile çalışma imkanı sunan Şekil 7’de gösterilen lazer başlığı ile uyumlu biriktirme kafasının tasarımı ve montajlanmış hali Şekil 8’deki gibidir.



Şekil 8 Lazer ve biriktirme kafasının tasarımı ve montajlanmış hali

2.3. İlk Biriktirme Testleri

Sektörde geleneksel onarım çözümünde sıkça kullanılan 410 mm çapında AISI 1,2 tel ve 316x180x180mm boyutlarında AISI 8 biriktirme plakası seçilmiştir. Kimyasal bileşimlerini aşağıdaki gibidir.

Wire name	Wire composition		Wire diameter [mm]	Substrate name	Substrate composition	
AISI 410 (Steel) / X12Cr13	C %	0,11	1,2	AISI 316 (Steel) / Inox 18-8-3 / X5CrNiMo17-12-2 / 1.4401	C %	0,05
	Si %	0,40			Mn %	1,4
	Mn %	0,40			Si %	0,50
	Cr %	12,00			Cr %	17,00
	Ni %	0,40			Ni %	11,00
					Mo %	2,20

Şekil 9 Biriktirme tablasının kimyasal bileşimi

Deney tasarımı (D.o.E.) yapılırken lazer gücü [W], biriktirme hızı [mm/s], tel çapı ve tel hızı [m/dk] ile verilen tel akış hızı, gaz koruyucu akış hızı [L/dk], odak yüksekliği [mm], sapma genliği [mm], X veya Y adımı [mm veya %], Z adımı [mm veya %] dikkate alınarak çalışmalar yapılmıştır.



Plate name	Test number	Deposition strategy	laser				wire	
			Laser power[W]	Deposition speed [mm/s]	Focus height [mm]	wobble amplitude [mm]	Speed [m/min]	Gas flowrate [l/min]
A	1	Welding no wire	1500 (30%)	25	0	1,2	0	13
	2	Welding no wire	1500 (30%)	25	5	1,2	0	13
	3	Welding no wire	1500 (30%)	25	10	1,2	0	13
	4	Single track	1500 (30%)	25	15	1,2	0	13
	5	Single track	1500 (30%)	25	0	1,2	1,5	13
	6	Single track	2000 (38%)	25	0	1,2	1,5	13
	7	Single track	1500 (30%)	25	0	2	1,5	13
	8	Single track	2000 (38%)	25	0	2	1,5	13
	9=A5	Single track	1500 (30%)	25	0	1,2	1,5	13
	10=A5	Single track	1500 (30%)	25	0	1,2	1,5	13
	11=A6	Single track	2000 (38%)	25	0	1,2	1,5	13
	12	Single track	2500 (46%)	25	0	1,2	1,5	13
	13=A12	Single track	2500 (46%)	25	0	1,2	1,5	13
	14=A7	Single track	1500 (30%)	25	0	2	1,5	13
	15=A8	Single track	2000 (38%)	25	0	2	1,5	13
	16=A7	Single track	1500 (30%)	25	0	2	1,5	13

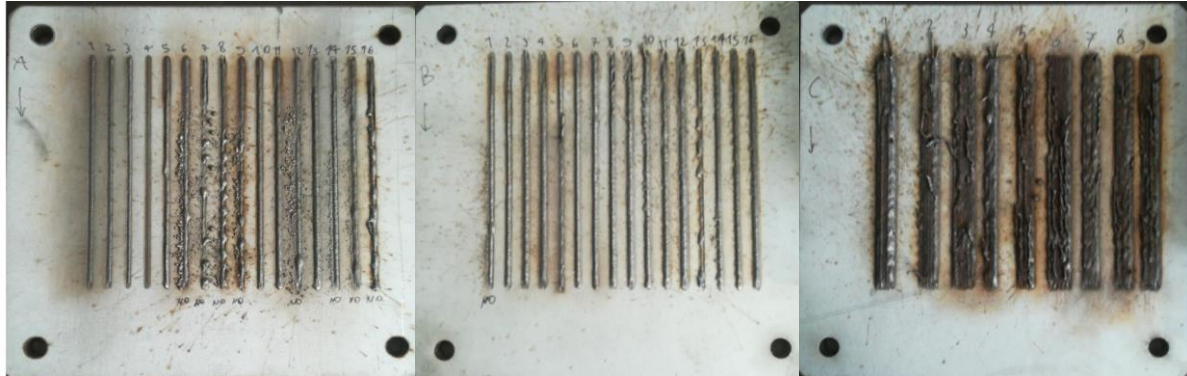


Plate name	Test number	Deposition strategy	laser				wire	
			Laser power[W]	Deposition speed [mm/s]	Focus height [mm]	wobble amplitude [mm]	Speed [m/min]	Gas flowrate [l/min]
B	1=A7	Single track	1500 (30%)	25	0	2	1,5	13
	2=A7	Single track	1500 (30%)	25	0	2	1,5	13
	3=A8	Single track	2000 (38%)	25	0	2	1,5	13
	4=A12	Single track	2500 (46%)	25	0	1,2	1,5	13
	5	Single track	1500 (30%)	25	0	1,2	2	13
	6	Single track	2000 (38%)	25	0	1,2	2	13
	7	Single track	2500 (46%)	25	0	1,2	2	13
	8	Single track	2000 (38%)	25	0	2	2	13
	9	Single track	2500 (46%)	25	0	2	2	13
	10	Single track	2500 (46%)	25	0	1,2	2	13
	11	Single track	2500 (46%)	25	0	2	2,5	13
	12	Single track	3000 (54%)	25	0	2	2,5	13
	13	Single track	2500 (46%)	42	0	2	2,5	13
	14=B8	Single track	2000 (38%)	25	0	2	2	13
	15=B14	Single track	2000 (38%)	25	0	2	2	13
	16	Single track	2280 (42%)	25	0	2	2	13

Plate name	Test number	Deposition strategy	laser				wire		tracks	
			Laser power [W]	Deposition speed [mm/s]	Focus height [mm]	wobble amplitude [mm]	Speed [m/min]	Gas flowrate [l/min]	Step [mm or %]	Number of tracks
C	1	Side by side tracks	2280 (42%)	25	0	2	2	13	1 (50%)	5
	2	Side by side tracks	2280 (42%)	25	0	2	2	13	1,5 (75%)	5
	3	Side by side tracks	2280 (42%)	25	0	2	2	13	2 (100%)	5
	4	Side by side tracks	2000 (38%)	25	0	1,2	2	13	0,95 (50%)	5
	5	Side by side tracks	2000 (38%)	25	0	1,2	2	13	1,425 (75%)	5
	6	Side by side tracks	2000 (38%)	25	0	1,2	2	13	1,9 (100%)	5
	7=C5	Side by side tracks	2000 (38%)	25	0	1,2	2	13	1,425 (75%)	5
	8=C5	Side by side tracks	2000 (38%)	25	0	1,2	2	13	1,425 (75%)	5

3. Sonuçlar

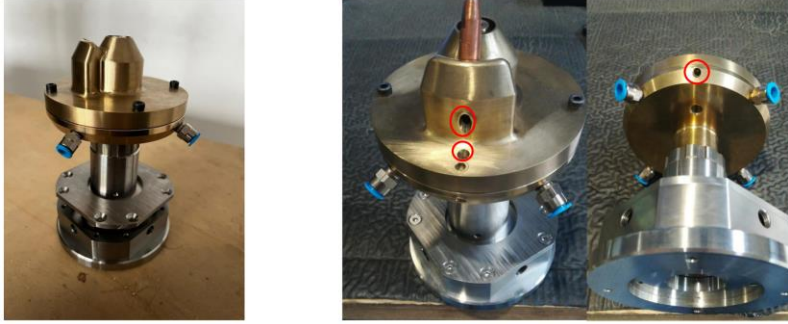
İlk biriktirme sonuçları aşağıdaki gibidir.



Şekil 10 İlk biriktirme test sonuçları

1, 2, 3 numaralı izler, odak yüksekliğinin değerini bulmak için basit denemelerdir. Bazılarının optimum olanlardan tamamen uzak proses parametre değerlerine sahip olduğunu gözlemlemek mümkündür. Bazı tel parçalarının tel biriktirme kafasından iyi ayrılmadığını ve plakaya bağlı kaldığını gözlemlemek mümkündür. En iyi işlem parametrelerinin seçilmesine rağmen, tel plakanın yüzeyinde homojen bir şekilde erimeme kusurları gözlenmiştir.

Biriktirme probleminin çözülmesinde; biriktirme başlığına 30 derecede nüfuz eden ve robot kolun hareketinde telin akışına yardımcı bir delik ile tasarım iyileştirmesi yapılmıştır.



Şekil 11 Yeniden tasarımı yapılan biriktirme başlığı

Testleri tekrarlamak amacıyla kaynak teli olarak firmada kullanılan malzemeye benzer kimyasal kompozisyonda tel kullanılarak çalışma devam ettirilecektir.

KOBATEK 650

Chemical composition (%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W
0.35	1.10	0.40	5.20	1.40	0.40	1.30

Hardness : 558-620 HB / 57-60 HRC

Operating Temperature: 550 °C

DAIKO 65H

Chemical composition (%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Fe
0.35	1.10	0.40	5.20	1.40	0.70	1.30	Bal.

Hardness : 560-620 HB / 57-60 HRC

Operating Temperature: 550 °C

4. Tartışma

Sonraki çalışmalarda robot kol ile testler yeniden tekrarlanacaktır. Simülasyon çalışmaları yapılarak kalıp yüzeyleri taranacak ardından deforme olan kalıp yüzeylerinde denemeler yapılacaktır.

5. Teşekkür

Değerli katkılarından dolayı IRIS SRL, Teknorot Otomotiv Ürünleri San. Ve Tic. adına teşekkür ederim.

6. Referanslar



- [1] M. İ. Gökler, S. Abachi ve M. Akkök, «Wear analysis of hot forging dies,» *Tribology International*, cilt Volume 43, no. Issues 1–2, pp. Pages 467-473, January–February 2010.
- [2] V. Chawla ve S. Chander, «Failure of Hot Forging Dies –An Updated Perspective,» *Materials Today Proceeding*, cilt Volume 4, no. Issue 2, Part A, pp. Pages 1147-1157, 2017.
- [3] B.-A. Behrens, G. Bräuer, H. Paschke ve M. Biströn, «Reduction of wear at hot forging dies by using coating systems containing boron,» *Production Process*, no. 5, p. 497–506, 2011.
- [4] P. Widomski ve Z. Gronostajski, «Comprehensive Review of Methods for Increasing the Durability of Hot Forging Tools,» *Procedia Manufacturing*, no. Volume 47, pp. Pages 349-355, 2020.
- [5] J. Foster, C. Cullen, S. Fitzpatrick, G. Payne, . L. Hall ve . J. Marashi, «Remanufacture of hot forging tools and dies using laser metal deposition with powder and a hard-facing alloy Stellite 21,» *Journal of Remanufacturing*, no. 9, p. pages189–203, (2019).
- [6] B. Buchmayr, «Damage, Lifetime, and Repair of Forging Dies,» *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, no. 162, p. pages88–93, 2017.
- [7] R. D. MEng, . C. Cullen, . J. Foster, . M. Kulakov, . C. MacFadden ve . S. Fitzpatrick, «Remanufacture of Hot Forging Dies By LMD-p Using a Cobalt Based Hard-Facing Alloy,» *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, no. 166, p. pages243–249, 2021.
- [8] Y. Shen, . Y. Wei, . Z. Li, . X. Du ve . S. Liu, «Wire and arc additive remanufacturing of hot-forging dies: a preliminary study,» *Welding in the World*, no. 66, p. pages1691–1702, 2022.
- [9] N. Asnafi, «Tool and Die Making, Surface Treatment, and Repair by Laser-based Additive Processes,» *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, no. 166, p. pages225–236, 2021.
- [10] A. A. Emamverdian, . Y. Sun, . C. Cao, . C. Pruncu ve . Y. Wang, «Current failure mechanisms and treatment methods of hot forging tools (dies),» *Engineering Failure Analysis*, no. Volume 129, November 2021.
- [11] E. Union, «Cordis Europa,» 8 June 2023. [Çevrimiçi]. Available: <https://cordis.europa.eu/article/id/444133-boosting-laser-based-manufacturing-in-europe>. [Erişildi: 28 11 2023].