

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LOKAL SERT DOLGU KAYNAĞI YÖNTEMİYLE SICAK ÇELİK DÖVME
KALIPLARININ ÖMRÜNÜN UZATILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alpkan YILMAZ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

KASIM 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LOKAL SERT DOLGU KAYNAĞI YÖNTEMİYLE SICAK ÇELİK DÖVME
KALIPLARININ ÖMRÜNÜN UZATILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Alpkan YILMAZ
(506111403)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU

KASIM 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506111403 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Alpkan YILMAZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “LOKAL SERT DOLGU KAYNAĞI YÖNTEMİYLE SICAK ÇELİK DÖVME KALIPLARININ ÖMRÜNÜN UZATILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Murat BAYDOĞAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Erdem ATAR
Gebze Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 27 Kasım 2015
Savunma Tarihi : 25 Aralık 2015

ÖNSÖZ

Bu tezi hazırlamamda değerli tavsiyeleri ve yönlendirmeleri için danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin Çimenoglu'na ve değerli yorumlarıyla çalışmama yön veren Doç.Dr. Erdem Atar'a teşekkür ederim.

Tezi hazırlamamda her konuda sağladığı eksiksiz destek ve motivasyon için Araş. Gör. Onur Tazegül'e, değerli yorumları için (M.Sc.) Amir Motallebzadeh 'e teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmasının hazırlanmasının sanayi ayağında sağladığı her türlü destek ve imkan için Formtek Çelik Dövme A.Ş Genel Müdürü Enis Tekeş ve Fabrika Müdürü Tuncer Arslan'a teşekkür ederim.

Kasım 2015

Alpkan Yılmaz
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Problemin Tanımı.....	1
1.2 Çözüm Metodu.....	2
1.1 Hedefler ve Amaçlar	2
2. SICAK DÖVME.....	5
2.1 Sıcak Dövme Çeşitleri.....	5
2.1.1 Açık kalıpta dövme	5
2.1.2 Hassas dövme.....	7
2.1.3 Kapalı kalıpta dövme	7
2.2 Sıcak Dövme Makineleri.....	8
2.2.1 Çekiçler	8
2.2.1.1 Mekanik düşmeli çekiçler	8
2.2.1.2 Havalı çekiçler	9
2.2.1.3 Karşı vuruşlu çekiçler	10
2.2.2 Vidalı presler.....	10
2.2.3 Mekanik presler.....	11
2.2.4 Hidrolik presler	12
2.3 Sıcak Dövme Kalıpları	12
2.3.1 Sıcak dövme kalıplarında hasar türleri.....	13
2.3.1.1 Aşınma	14
2.3.1.2 Mekanik yorulma	14
2.3.1.3 Plastik deformasyon	15
2.3.1.4 Isıl yorulma	15
2.3.2 Kalıp ömrünü etkileyen faktörler.....	16
3. SERT DOLGU KAYNAĞI YÖNTEMİ.....	19
3.1 Sert Dolgu Kaynağı Uygulama Alanları	20
3.2 Sıcak Dövme Kalıplarında Sert Dolgu Kaynağı Uygulaması	20
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	25
4.1 Ana Malzeme (Altılık)	25
4.2 Kullanılan Kaynak Elektrotları	25
4.3 Karakterizasyon Testleri.....	26
4.3.1 Mikroyapı karakterizasyonu	26
4.3.2 Sertlik testi	26

4.3.3 X-ışını kırınımı karakterizasyonu	26
4.3.4 Aşınma testleri.....	27
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	29
5.1 Demir Esaslı Kaynak Elektrotları.....	29
5.1.1 Mikroyapı karakterizasyonu.....	29
5.1.2 Sertlik ölçümleri.....	31
5.1.3 Aşınma testi sonuçları	31
5.2 Kobalt Esaslı Kaynak Elektrotları	36
5.2.1 Mikroyapı karakterizasyonu.....	36
5.2.2 Sertlik ölçümleri.....	37
5.2.3 Aşınma testi sonuçları	38
5.3 Lokal Sert Dolgu Uygulaması	42
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	43
KAYNAKLAR.....	45
EKLER.....	47
ÖZGEÇMİŞ	53

KISALTMALAR

XRD	: X-Işınları Kırınımı
AÖN	: Alt Ölü Nokta
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Sıcak iş takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonları.	13
Çizelge 4.1 : DIN 1.2714 kimyasal kompozisyonu.	25
Çizelge 4.2 : Kullanılan kaynak elektrotlarının kimyasal kompozisyonları.	25
Çizelge 5.1 : Fe1 ve Fe2 elektrotları ile kaynaklı numunelerin oda sıcaklığında sertlik değerleri.....	31
Çizelge 5.2 : Oda sıcaklığında Fe1 ve Fe2 elektrotları ile kaynaklı numunelerin aşınma miktarları ve sürtünme katsayıları.	32
Çizelge 5.3 : 400 °C ve 600 °C sıcaklıklarında Fe1 ve Fe2 elektrotları ile kaynaklı numunelerin aşınma miktarları ve sürtünme katsayıları.	33
Çizelge 5.4 : Co1 ve Co2 elektrotları ile kaynaklı numunelerin oda sıcaklığında sertlik değerleri.....	37
Çizelge 5.5 : Oda sıcaklığında Co1 ve Co2 elektrotları ile kaynaklı numunelerin aşınma miktarları ve sürtünme katsayıları.	38
Çizelge 5.6 : 400 °C ve 600 °C sıcaklıklarında Co1 ve Co2 elektrotları ile kaynaklı numunelerin aşınma miktarları ve sürtünme katsayıları.	39

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Açık kalıpta dövme işlemi.....	6
Şekil 2.2 : Hassas dövme işlemi.	6
Şekil 2.3 : Kapalı kalıpta sıcak dövme prosesinin temel aşamaları.....	7
Şekil 2.4 : Mekanik düşmeli çekiç.....	9
Şekil 2.5 : Havalı çekiç.....	9
Şekil 2.6 : Karşu vuruşlu çekiç.....	10
Şekil 2.7 : Vidalı pres.	11
Şekil 2.8 : Mekanik pres.	11
Şekil 2.9 : Hidrolik pres.....	13
Şekil 2.10 : Dövme kalıplarında muhtemel hasar mekanizmaları.	14
Şekil 3.1 : Sert dolgu kaynağının uygulama aşamaları.	21
Şekil 3.2 : Kalıp gravürüne tatbik edilen sert dolgu kaynağı.	23
Şekil 4.1 : Kaynaklı numune.	26
Şekil 5.1 : Fe1 elektrodu ile yapılan sert dolgu kaynağının mikroyapısı.	29
Şekil 5.2 : Fe1 elektrodu ile yapılan sert dolgu kaynağının XRD analizi.	30
Şekil 5.3 : Fe2 elektrodu ile yapılan sert dolgu kaynağının mikroyapısı.	30
Şekil 5.4 : Fe2 elektrodu ile yapılan sert dolgu kaynağının XRD analizi.	31
Şekil 5.5 : Fe1, Fe2 ile yapılan kaynakların ve altlığın aşınma deneyleri sonrası aşındırıcı toplarının (Al_2O_3) yüzeyleri.	34
Şekil 5.6 : Co1,Co2 ile yapılan kaynakların ve altlığın aşınma deneyleri sonrası yüzeyleri.....	35
Şekil 5.7 : Co1 elektrodu ile yapılan sert dolgu kaynağının mikroyapısı.....	36
Şekil 5.8 : Co1 elektrodu ile yapılan sert dolgu kaynağının XRD analizi.....	36
Şekil 5.9 : Co2 elektrodu ile yapılan sert dolgu kaynağının mikroyapısı.....	37
Şekil 5.10 : Co2 elektrodu ile yapılan sert dolgu kaynağının XRD analizi.....	37
Şekil 5.11 : Co1, Co2 ile yapılan kaynakların ve altlığın aşınma deneyleri sonrası aşındırıcı toplarının (Al_2O_3) yüzeyleri.	40
Şekil 5.12 : Co1,Co2 ile yapılan kaynakların ve altlığın aşınma deneyleri sonrası yüzeyleri.....	41
Şekil 5.13 : Çapak hattı hasar görmüş bugi burcu kalıbı.....	42
Şekil 5.14 : Lokal dolgu kaynağı çapak hattına tatbik edilmiş kalıp ve yüzeyi temizlenmiş kalıp.	42
Şekil 5.15 : Üretime hazır bugi burcu kalıbı.	42
Şekil A.1 : Altlık numunesine ait 2-D Aşınma Yüzey profilleri ve Sürtünme katsayısı grafikleri.....	49
Şekil A.2 : Fe2 numunesine ait 2-D Aşınma Yüzey profilleri ve Sürtünme katsayısı grafikleri.....	49
Şekil A.3 : Fe1 numunesine ait 2-D Aşınma Yüzey profilleri ve Sürtünme katsayısı grafikleri.....	50

Şekil A.4 : Co1 numunesine ait 2-D Aşınma Yüzey profilleri ve Sürtünme katsayısı grafikleri.....	50
Şekil A.5 : Co2 numunesine ait 2-D Aşınma Yüzey profilleri ve Sürtünme katsayısı grafikleri	51

LOKAL SERT DOLGU KAYNAĞI YÖNTEMİYLE SICAK ÇELİK DÖVME KALIPLARININ ÖMRÜNÜN UZATILMASI

ÖZET

Bu tez çalışmasında lokal sert dolgu kaynağı yöntemiyle, kapalı kalıpta sıcak çelik dövme prosesinde kullanılmak üzere seçilen dövme kalıbının servis ömrünün ekonomik bir şekilde uzatılması amaçlanmıştır. Sert dolgu kaynağı kalıbın hasar geçmişi incelenerek, üretim esnasında hasarın öncelikli olarak gerçekleştiği yerlere lokal olarak tatbik edilmiş ve geçmişte yapılan kalıp gravürünün tamamen kaynak malzemesiyle doldurulduğu uygulamalara kıyasla daha ekonomik ve hızlı bir şekilde kalıp servis ömrünün uzatılması hedeflenmiştir.

Sert dolgu kaynağının kalıba tatbik edilmesinin öncesinde, hangi özelliklerde bir elektrodun kullanımının uygun olduğunu tespit edebilmek adına, ikisi Demir (Fe1 ve Fe2), ikisi Kobalt (Co1 ve Co2) esaslı olmak üzere 4 farklı elektrotla altlık olarak kullanılan DIN 1.2714 sıcak iş takım çeliği üzerine sert dolgu uygulaması gerçekleştirilmiştir. Kaynak tatbik edilirken, sert dolgu kaynağı için oldukça yüksek önem arz eden proses şartlarına mevcut imkanlar dahilinde azami dikkat edilmesine özen gösterilmiştir. Zira uygulama öncesinde altlık malzemesinin ısıtılması, kaynak esnasında belirlenen minimum sıcaklık seviyesinin korunması, gerilim giderme ve yavaş soğutma işlemleri bu uygulama için oldukça önemlidir.

Mevcut elektrotların her birinden altışar adet 30x30x6 mm ölçülerinde numune elde etmek üzere altlık malzemesi üzerine sert dolgu kaynağı tatbik edilmiştir. Kaynak malzemesi altlık üzerine açılan kanallarda ~ 3,5 mm kalınlık oluşturacak şekilde numuneler hazırlanmıştır. Kaynak yüzeyi diğerlerine göre daha kalın numuneler istenen ölçüyü elde etmek adına ilave talaş kaldırma operasyonuna tabi tutulmuşlardır.

Hazırlanan dolgu kaynaklı numuneler ve altlık malzemesi için sertlik testleri, mikroyapı karakterizasyonları, X-ışını kırınım karakterizasyonları, oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda (400 °C ve 600 °C) aşınma testleri gerçekleştirilmiştir.

Fe1 ve Fe2 elektrotlarının sertlik test sonuçlarına göre, Fe2'nin sertliği 61 HRC ölçülmüşken, Fe1'in sertliği 49 HRC olarak ölçülmüştür. Bu farkı daha iyi yorumlayabilmek adına numunelerin mikroyapı karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. Optik mikroskop altında elde edilen görüntülere göre, Fe2'nin yapısının neredeyse tamamen martenzitten oluştuğu ve bunun yanı sıra bir miktar kalıntı östenit ve α -Fe ihtiva ettiği tespit edilmiştir. Fe1'nin mikroyapı karakterizasyonunda ise martenzit matrisinin içerisinde Fe2'ye göre çok daha fazla oranda α -Fe ve kalıntı östenit olduğu tespit edilmiştir. X-ışınları kırınımı karakterizasyonu ile de mikroyapıda gözükten fazlar teyit edilmiştir.

Co1 ve Co2'nin sertlik testi sonuçlarına göre, Co1'in sertliği 39 HRC, Co2'nin sertliği ise 55 HRC olarak ölçülmüştür. Sertlik farkının sebeplerini daha net yorumlayabilmek adına her iki elektrot için de mikroyapı karakterterizasyonu

gerçekleştirilmiştir. Bunun sonucunda hem Co1 numunesinin; hem de Co2 numunesinin yapısında. α -Co matrisi ve yoğun ötektik karbürlerin (Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$) bulunduğu tespit edilmiştir.

Yapılan X-ışınları kırınımı karakterizasyonunda da iki yapının içerisinde de aynı fazlar tespit edilmiştir. Bu benzerliğe rağmen sertlik değerlerinin bu derece farklı olmasının Co2 numunesinin kaynak sonrası ilk kalınlığının diğer numunelere göre kalın olması sebebiyle ilaveten üzerinden paso kaldırması ve deformasyona uğraması; dolayısıyla da yapısındaki α -Co 'ın daha sert ϵ -Co 'a dönüşmesi olabileceği düşünülmektedir. Bu aynı zamanda yüzey merkezli kübik yapıdan, hekzagonal kübik yapıya bir dönüşümdür. Ayrıca Co1'in yapısında daha fazla bulunan Fe ve Ni elementleri, hekzagonal kübik ϵ -Co 'a nazaran daha yumuşak olan yüzey merkezli kübik α -Co'ı stabilize etmektedir.

Fe1 ve Fe2 dolgu kaynağı tatbik edilmiş olan numuneler ve altlık malzemesi için 3 farklı sıcaklık mertebesinde (Oda Sıcaklığı, 400 °C ve 600 °C) 4N yük altında aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Oda sıcaklığında elde edilen sonuçlara göre, bu üçünün arasından Fe1 en az, altlık ise en fazla malzeme kaybı yaşayan numune olmuştur. Test esnasında oluşan oksit tabakalarının dayanıklılığı, bu sıralamada belirleyici faktör olmuştur.

400 °C'de elde edilen verilere göre altlık ve Fe1 benzer aşınma davranışı gösterirken, Fe2 ile doldurulan yüzeyin ciddi derecede daha fazla aşındığı tespit edilmiştir. Bunun sebebinin Fe2 ile doldurulan numunenin yüzeyinde 400 °C'de ince ve zayıf oksit tabakasının oluşması ve test esnasında kırılarak fazla malzeme kaybına sebep olduğu düşünülmektedir. Fe2'ye benzer kimyasal kompozisyona sahip Fe1 kaynak elektrotunun Fe2'den farklı olarak içerdiği 4% Mo katkısıyla 400 °C 'de daha kalın ve dayanıklı oksit tabakası oluşturduğu ve bu yüzden daha az malzeme kaybı yaşadığı düşünülmektedir

600 °C 'de Fe2'nin aşınma performansında ciddi bir iyileşme tespit edilmiştir. Numune yüzeyinde oluşan kalın ve sert oksit tabakasının aşınma performansını iyileştirdiği düşünülmektedir. 600 °C'de Fe1 ve altlık numunelerinde, 400 °C 'ye göre daha fazla aşınma gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bunun sebebinin Fe esaslı malzemenin tavlama sıcaklığına yaklaşmasıyla beraber yapıda meydana gelen bir miktar yumuşama olabileceği düşünülmektedir.

Aynı şekilde Co1 ve Co2 ile dolgu kaynağı tatbik edilmiş olan numuneler için 3 farklı sıcaklık mertebesinde (Oda Sıcaklığı, 400 °C ve 600 °C) 4N yük altında aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Oda sıcaklığındaki aşınma testinden elde edilen sonuçlara göre Co2 en az, altlık ise en fazla malzeme kaybı yaşayan numune olmuştur. Test esnasında oluşan oksit tabakalarının dayanıklılığı bu sıralamada belirleyici faktör olmuştur.

400 °C'de elde edilen verilere göre altlık en az, Co2 ise en fazla malzeme kaybı yaşanan numune olmuştur. Co2 numunesinde Co miktarı Co1'den daha fazla olduğu için, 400 °C 'de benzer özellikte (ince ve kırılkan) oksit tabakasından daha fazla oluşup, bununla orantılı olarak daha fazla malzeme kaybı gerçekleştiği düşünülmektedir.

600 °C'de ise Co1 ve Co2 numunelerinin aşınma performansında ciddi boyutta iyileşme tespit edilmiştir. Bunun sebebinin 400 °C nin üstü sıcaklıklarda Kobalt esaslı alaşımlarda oluşan kalın ve dayanıklı Cr_2O_3 ve CoO oksit tabakaları ve

bunların yaptıkları yağlayıcı etki olduğu düşünülmektedir. Yine ihtiva ettiği daha fazla Co miktarına bağlı olarak Co2 numunesi 600 °C’de daha fazla kalın ve dayanıklı Cr_2O_3 ve CoO tabakası oluşturarak, Co1 numunesine göre daha az malzeme kaybetmiştir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, kalıp servis ömrünü uzatmaya en fazla katkı sağlayabilecek ve aynı zamanda kalıp işlenebilme şartlarına en uygun olan kaynak elektrotunun mevcut 4 farklı elektrot içinde Co1 olduğu tespit edilmiştir. Seçilen dövme kalıbının hasar geçmişi incelendiğinde, baskın hasar mekanizmasının çapak hattında meydana gelen aşınma olduğu görülmüştür. Bu bilgi doğrultusunda seçilen dövme kalıbının çapak hattı olması gerekenden ~3,5 mm kadar derin işlenmiş ve bu derinlik Co1 kaynak elektrodu ile doldurulmuştur. Kaynak işlemi sonrasında kalıp yüzeyi Cnc dik işleme merkezinde istenen parça ölçüleri elde edilecek şekilde yaklaşık 1 saat süren bir işleme tabi tutulmuştur.

Bu işlemlerden sonra üretime alınan dövme kalıbı ile üretilen parça adedinin 1250 adetten, 1850 adede çıktığı; yani herhangi bir ilave işleme tabi tutulmamış haline göre %48 daha uzun bir servis ömrüne ulaştığı tespit edilmiştir.

IMPROVEMENT OF DIE SERVICE LIFE THROUGH LOCAL OVERLAY WELDING

SUMMARY

In this thesis, economical improvement of service life of a steel forging die to be used in closed die hot forging process was tried to be provided. In the light of information related to the failure history of the chosen forging die, overlay welding was locally applied to the regions on which most probable failure mechanism could take place. As compared to traditional methods in which whole gap of forging die is filled up with welding material, faster and more economical improvement in die service life was aimed.

Before applying welding, samples were prepared by depositing each welding electrode on steel substrate having quality of DIN 1.2714. Two Co-based(Co1 and Co2) and two Fe-based(Fe1 and Fe2) hardfacing electrodes were used for sampling. All samples were prepared in accordance with welding procedure of hardfacing alloys. Maximum attention was paid during welding in order to keep process requirements. Because pre-heating of forging die, maintaining the necessary minimum temperature level during welding, stress relieving and slow cooling after welding are very important for hardfacing.

Six samples having dimensions of 30x30x6 mm from each type of welded substrate and pure substrate (1.2714) were produced. Welding beads were deposited in grooves having ~ 3,5 mm depth on substrate. Samples thicker than the others were subjected to machining in order to have uniform dimensions for each sample.

By using the samples prepared, following inspection tests like hardness tests, microstructural characterizations, X-Ray diffraction analysis, wear tests at room temperature and high temperatures (400 °C ve 600 °C) were implemented in order to be able to analyse the performance of each welding deposit and also pure substrate material.

The hardness value of Fe1 was measured as 49 HRC whereas Fe2 was 61 HRC. In order to be able to interpret that difference in terms of hardness values, microstructural characterizations were performed. According to images obtained under optical microscope, Fe2's structure consists of almost completely martensite accompanying with little retained austenite and α -Fe. Regarding to Fe1's microstructure, more α -Fe (white phases seen like a network) and retained austenite(white spots in martensite) were seen in comparison with Fe2. The existence of those phases were also verified by XRD characterization.

The hardness values of Co1 and Co2 were measured as 39 HRC and 55 HRC, respectively. In order to be able to interpret that difference in terms of hardness values, microstructural characterizations were performed. Microstructural characterizations revealed that both Co1 and Co2 had α -Co matrix with eutectic carbides(Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$).The results of XRD characterizations also showed the

same phases for both structures. After searching the reason of hardness difference despite similar XRD results, it has been noticed that the subsequent machining of Co2 surface caused such a difference. The reason related to difference of hardness was attributed to transformation of α -Co (FCC) to harder ϵ -Co(HCP) due to effect of subsequent additional machining while sampling. It is also a transformation process from FCC to HCP. Fe and Ni elements whose amounts are quantitatively more in Co1 than Co2 have also effect on lower hardness value due to their good FCC stabilizing property.

Ball on disc wear tests for Fe1, Fe2 and substrate at three different temperatures (room temperature, 400°C and 600°C) under 4N load were performed.

Test results showed that Fe1 had the best wear resistance while the substrate had the worst at room temperature. This behaviour was attributed to different strength values of oxide layers formed during test.

Fe1 and substrate behaved similarly at 400 °C whereas Fe2 had much more wear loss in comparison with the rest. It is supposed that fragmentation of thin and less adherent oxide layer formed at the surface of Fe2 at 400°C caused such a big amount of material loss. Even though Fe2 has also similar chemical composition with Fe1, %4 Mo which does not exist in Fe2 encouraged the formation of thicker and stronger oxide layer on Fe1's surface.

At 600 °C, an obvious improvement in terms of wear performance of Fe2 was observed. It is supposed that thick and hard oxide layer formed on the surface of samples, supported the resistance of layer against wear. The wear loss for Fe1 and substrate were more in comparison to 400 °C. It is supposed that the reason could be slightly softening of materials while approaching to annealing temperature with increasing temperature.

Similarly, ball on disc wear tests for Co1 and Co2 at three different temperatures (room temperature, 400°C and 600°C) under 4N load were performed.

Test results showed that Co2 had best wear resistance while the substrate had the worst at room temperature. This behaviour was attributed to different strength values of oxide layers formed during test.

At 400 °C, Co2 had the worst wear resistance while the substrate material had the best among three. The difference between Co1 and Co2 was attributed to strengths of oxide layers and amount of Co in their compositions. It is supposed that amount of formed thin and less adherent oxides was more in Co2 than that of Co1 due to excess amount of Co in the structure.

At 600 °C, wear performance of Co1 and Co2 apparently improved. It is attributed to formation of thick and hard Cr_2O_3 ve CoO oxide layers at temperatures above 400 °C and their lubricating effect against wear. Again due to excess amount of Co in Co2, the amount of thick and Cr_2O_3 ve CoO oxide layers was also quantitatively more than that of Co1, leading to a better wear performance than Co1 correspondingly.

According to the extracted results from the inspection tests, the behaviour of each type of sample at different temperature and variations with temperature were determined. Since the temperature of forging die can reach up to 700 °C while in service, the results at 600°C were essentially taken into account due to its proximity to real service temperature.

The results at 600°C showed that Co2 sample had best wear resistance. Even it seemed obviously that Co2 must be used for hardfacing according to test results, it was not preferred due to its high hardness value (55 HRC). Since the forging die is to be machined subsequently after welding process, high hardness values of die surface would cause serious difficulties during machining. The preparation period of die would take considerably longer time and the consumption of expensive machining tools (carbides) would be much more, consequently causing high costs. That's why Co1 whose hardness value is 39 HRC was preferred by considering the convenience for machining and its characteristic feature. This characteristic feature of Co1 is ability of being work hardened at high temperatures. By means of that , the subsequent machining can be performed easily thanks to low hardness value right after welding. Besides, the necessity of a harder surface can be met at high temperatures.

Event though, Fe1 electrode showed a similar wear resistance like Co2 at 600°C, it was even not assumed to use in application by considering the difference of real forging mechanism in respect to experimental wear mechanism. Since the reaction of surface against impact is very important for forging process, there must be not only hard surface, but also tough surface.

When the failure mechanism history of the chosen forging die was analysed, it was seen that forging die failed to be in service due to the wear occurred in flash line. This situation also shows itself on the finished part with a broadened flash line. It is also logical to assume that flow of hot steel through narrow flash line caused deficiencies on the surface of flash line.

In reference to this observation, flash line of a selected forging die was machined 3,5 mm deeper than original depth of flash line during die preparation process; and this depth was filled up with Co1 welding electrode in accordance with fundamental six steps for overlay welding (pre-heating, welding, equilibrating, slow cooling, stress relieving and final slow cooling). After welding application, the forging die was subjected to additional machining process during ~ 1 hour in Cnc machine in order make it ready for production.

After all above mentioned processes, it was seen that number of forged part till failure of forging die increased from 1250 pcs to 1850 pcs, leading 48 % better service life in comparison with that of raw 1.2714. Longer service life means that number of parts produced will be more and unit die cost will be less correspondingly. Besides , number of setups for the production will be less and effect of setup costs in unit cost will be less accordingly.

Of course local overlay welding is a more economical solution than standard overlay welding of forging die in which whole die gap is filled up with welding material. But it is still an additional process for forging dies which causes emergence of additional costs. The bigger forging part is, the greater ratio of forging die cost in forging part's unit cost is. That's why the cost improvement thanks to local overlay welding application will be more for bigger parts. The key point is to be able to decide if local overlay welding process really makes sense for a part or not.

1. GİRİŞ

Kapalı kalıpta sıcak dövme işlemi yüksek sıcaklıkta şekillendirilebilirlik kabiliyeti artan ham malzemenin, plastik deformasyona uğratarak ait olduğu kalıp gravürünün şeklini alması esasına dayanan bir üretim yöntemidir.

Kapalı kalıpta döverek şekillendirme, özellikle makine, otomotiv, uçak, deniz araçları ve benzeri sanayi dalları olmak üzere hayati öneme sahip yüksek darbe ve gerilmeler altında çalışan parçalarının yapımında kullanılmaktadır. Bundan dolayı, kalıpla döverek şekillendirme mukavemet isteyen makine parçalarının imalatında büyük bir önem arz etmektedir. Bu yolla üretilen parçaların mekanik özellikleri diğer yöntemlerle üretilen parçalara oranla daha yüksektir. Son yıllarda kalıp teknolojisinin gelişmesiyle karmaşık şekilli parçalar sıcak iş kalıplarında seri olarak üretilmektedir. Bu da, imalat hızını artırmakta, üretilen parçalarda malzeme sarfiyatı ve talaş kaldırma işçiliğini azaltmakta, parça maliyetini de en aza indirmektedir.[1] Bu gelişmelerle beraber dövme üretiminin ana maliyet unsurlarından biri olan kalıp maliyetlerini indirgeyebilmek adına kalıp özelliklerini iyileştirmeyi hedefleyen çalışmalar yapılmaktadır.

1.1 Problemin Tanımı

Kapalı kalıpta sıcak dövme yöntemiyle üretilen bir parçanın birim maliyeti temel olarak kalıp, işçilik ve malzemeden oluşmaktadır. Sıcak iş takım çeliklerinden üretilen dövme kalıplarının yüksek malzeme maliyeti, dövme yöntemiyle üretilen bir parçanın birim maliyetinde önemli rol oynamaktadır. Bu yüzden kalıp ömrünü uzatmak ve dolayısıyla tashih sayısı ile birlikte sök-tak sayısını azaltmak üzere yapılan çalışmalar maliyetleri direkt etkileyen üretim verimliği açısından yüksek derecede önem arz etmektedir.

Yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen verilere göre, kalıpta meydana gelen farklı hasar mekanizmalarının farklı sıklıklarda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Buna göre kalıpların hasar mekanizmalarının %70 aşınma, %25 mekanik yorulma, %3 plastik deformasyon ve %2 ısı yorulma esaslı olduğu görülmüştür [2].

Bu bilgiler dışında bahsi geçen hasar mekanizmalarının meydana gelmesini geciktirmek suretiyle kalıbın servis ömrünü uzatmak üzere pek çok araştırmalar ve çalışmalar yapılmıştır.

1.2 Çözüm Metodu

Kalıp ömrü harici olarak uygulanan iyileştirme yöntemleriyle birlikte; parçanın zorluğu, kalıp dizaynı, dövme makinesi, kullanılan yağlama sıvısı, dövme ve kalıp sıcaklığı gibi kriterlere de bağlılık göstermektedir. Bu faktörlerden bağımsız olarak kalıp ömrünü iyileştirmek adına özel kalite sıcak iş çeliklerinin kullanılması, farklı yöntemlerle üretilen kalıpların kullanılması (döküm yerine dövme), özel ısıtma işlem uygulamaları, yüzey sertleştirme işlemleri (nitrasyon vb.) ve bu tez çalışmasının da ilgili olduğu yüzeyin sert dolgu kaynağı ile kaplanması gibi farklı yollar izlenegelmiştir.

Bahsedilen bu yöntemlerin bazıları yarattıkları yüksek maliyetlerden ötürü (örn: özel kalite sıcak iş çelikleri), bazıları ise sıcak dövme şartlarında yeterince etkin kalamamalarından dolayı (sıcak dövme esnasında kalıp yüzeyinin 700 °C civarına ulaşırken Nitrasyon işleminin 600 °C sonrası etkisini yitirmesi) uygulamada sınırlı kalmıştır.

Bu tez çalışmasında yukarıda bahsi geçen metotlardan sert dolgu kaynağının daha ekonomik bir şekilde potansiyel hasar bölgelerine lokal olarak tatbik edilmesi suretiyle kalıp ömrü iyileştirilmeye çalışılacaktır.

1.3 Hedefler ve Amaçlar

Bu tez çalışmasında kalıp servis ömrünün uzatılarak birim parça başına düşen kalıp maliyetinin ve kalıp sök-tak sayısının azaltılması lokal sert dolgu kaynağı yöntemiyle ekonomik bir şekilde sağlanmaya çalışılacaktır. Bu doğrultuda kalıba uygulanması muhtemel 4 farklı kaynak elektrodundan en iyi sonucu vermesi beklenen elektrot yapılan deneylerin ve incelemelerin sonuçları karşılaştırılarak belirlenecektir.

İkinci bölümünde sırasıyla sıcak dövme çeşitlerine, kullanılan makinelere, kalıp türlerine, karşılaşılan hasar mekanizması türlerine ve kalıp ömrünü etkileyen faktörlere değinilecektir

Üçüncü bölümde kalıp ömrünü iyileştirmek üzere seçilen metot olan sert dolgu kaynağı anlatılacaktır. Sert dolgu kaynağının genel olarak özellikleri ve uygulandığı yerlerden bahsedilecektir. Son olarak sert dolgu kaynağının sıcak dövme kalıplarındaki uygulaması ve geçmişte yapılan çalışmalardan farklı olarak uygulamanın lokal olarak tatbik edilmesi anlatılacaktır.

Dördüncü bölümde seçilen kalıp malzemesinin özellikleri kısaca anlatılacaktır. Kalıba uygulanacak olan sert dolgu elektrodunun belirlenmesi amacıyla yapılan karakterizasyon testlerinden bahsedilecektir.

Beşinci bölümde gerçekleştirilen karakterizasyon testlerinin sonuçları analiz edilerek, yapılan sert dolgu uygulamasının davranışları yorumlanacaktır. Test sonuçlarına göre bir elektrot seçilecek ve kalıp üzerinde birincil potansiyel hasar bölgesine lokal olarak uygulanacaktır. Kalıbın herhangi bir işleme tabi tutulmadan sağladığı üretim verileri ile lokal kaynak uygulaması sonrası elde edilen veriler kıyaslanacaktır.

Altıncı bölümde elde edilen sonuç ve tavsiyelerden bahsedilecektir.

2. SICAK DÖVME

Sıcak dövme, malzemenin rekristalizasyon sıcaklığının üstünde uygulanan baskı kuvveti vasıtasıyla plastik deformasyona uğratılması işlemidir. Metaller için rekristalizasyon sıcaklığı yaklaşık $0.5 T_m$ ’ dir. Çeliklerde dövme sıcaklığı ham maddenin kompozisyonuna ve dövülen parçanın karmaşıklığına bağlı olmakla beraber 850°C – 1250°C arasında değişkenlik göstermektedir.

2.1 Sıcak Dövme Çeşitleri

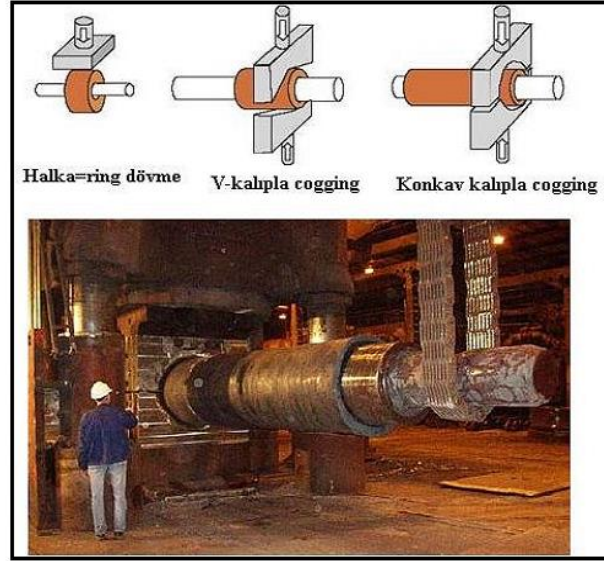
Sıcak dövme, uygulama sıklığı referans alındığında; Açık kalıpta dövme, Hassas kalıpta dövme ve Kapalı kalıpta dövme olmak üzere 3 temel başlık altında sınıflandırılabilir.

2.1.1 Açık kalıpta dövme

Açık kalıpta dövme, şekillendirme sıcaklığına ısıtılmış olan malzemenin düzlemsel veya basit şekilli kalıplar arasında form verilme işlemidir. Hassas dövme ve kapalı kalıpta dövme işlemlerinde malzeme kalıp gravürü içerisinde sınırlandırılırken; açık kalıpta dövme işleminde malzeme tamamen kalıp gravürü içerisinde sınırlandırılmaz. Açık kalıpta dövme işleminde genellikle düz yüzeyli kalıplar kullanılır. Ancak, istenen parça tipine göre, yuvarlak yüzeyli, V-şekilli kalıplar da kullanılabilir. Her ne kadar açık kalıpta dövme işlemi çoğunlukla basit şekilli ve büyük parçaların üretimi için kullanılıyor olsa da, günümüzde gelişmiş dövmehanelerde bu basit şekillerin dışına çıkılarak nispeten daha karmaşık parçaları açık kalıpta dövme yöntemiyle üretimi gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.1’de açık kalıpta dövme işlemine ait bir örnek görsel olarak ifade edilmiştir.

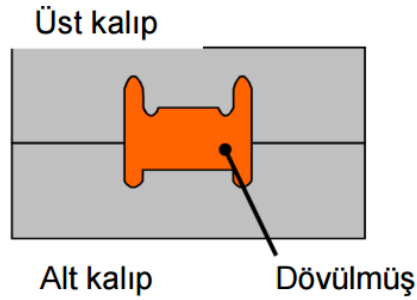
2.1.2 Hassas dövme

Hassas dövme, dövme sıcaklığına ısıtılmış olan iş parçası için istenen formu ya da bu forma en yakın ölçüleri sağlayan dövme yöntemidir. Bu dövme metodunda amaç, dövme sonrası talaşlı imalat gerekliliğini en az indirmek, hatta tamamen gereksiz



Şekil 2.1 : Açık kalıpta dövme işlemi [3].

kılmaktır. Özellikle talaşlı imalatı zor ve maliyetli olan parçaların hassas dövme ile üretimi uygun bulunmaktadır. Şekil 2.2’de hassas dövmeyi temsil eden bir görsel bulunmaktadır.



Şekil 2.2 : Hassas dövme işlemi [4].

Hassas dövme yönteminde iş parçası neredeyse son haline getirildiği için; klasik kapalı kalıpta sıcak dövmeye göre daha hassas kontrol edilmesi gereken proses şartları, kalıplama özellikleri ve makine özelliklerine sahiptir. Bu şartlar aşağıdaki gibi listelenebilir:

- 1) Ham madde miktarı çok iyi ayarlanmalıdır. Çünkü bu yöntemde üretim çapaksız olarak gerçekleştirilir. Klasik kapalı kalıpta dövmede çapak payı sayesinde sahip olunan ham madde miktarı esnekliği bu yöntemde mevcut değildir.
- 2) Kalıp sıcaklığı olabildiğince sabit tutulmalıdır. Zira kalıp sıcaklığındaki geniş aralıklı değişimler kalıbın; dolayısıyla da içindeki gravürün termal genişlemesine ya da daralmasına sebep olur. Bu durum da malzemenin ölçüsel hassasiyetini olumsuz

etkiler.

- 3) Dövmeye sıcaklığı olabildiğince sabit tutulmalıdır. Ham maddenin dövme sıcaklığındaki değişimler(özellikle azalmalar) malzemenin çekmesine dolayısıyla hassas ölçülere sahip olan kalıp gravürünü tam doldurmamasına sebep olabilir.
- 4) Kalıpların tam olarak kılavuzlanması gerekmektedir. Oluşabilecek bir kaçıklık, parçada çapak oluşumuna ve dolayısıyla form bozukluğuna sebep olabilir.
- 5) Dövmeye ham maddesi, uygulanan dövme kuvveti sonrası tam bir dağılım için kalıp gravürüne uygun şekilde yerleştirilmelidir [5].

2.1.3 Kapalı kalıpta dövme

Kapalı kalıpta dövme, dövme sıcaklığına kadar tavllanmış olan ham maddenin, uygulanan kuvvetle alt ve üst kalıp arasına hapsedilip, kalıp gravürü formuna getirilmesi işlemidir. Bu işlem sırasında kalıp gravürü dolarken, fazla malzeme ise çapak hattından geçerek çapak deposuna fışkırır. Bir sonraki aşamada fazlalık çapak eksantirik preste kesilir. Ancak metal bir parçayı ısıttıktan sonra bir veya birkaç kuvvetli darbe ile kalıp boşluğunu doldurmasını sağlamak basit bir işlem değildir. Bu nedenle, çok basit şekilli parçalar dışında, son şekle kademeli olarak yaklaşılr. Aşağıda Şekil 2.3'te kapalı kalıpta sıcak dövme işleminin temel aşamaları belirtilmiştir.



Şekil 2.3: Kapalı kalıpta sıcak dövme prosesinin temel aşamaları.

Dövmeye genelde malzeme olarak dairesel veya kare kesitli haddelenmiş çubuklar, kullanılır. Bu çubuklar üretilcek malzemeye göre istenen boylarda kesilerek tavlansın üzere fırına verilir. Akabinde tavllanmış olan ham maddeye şahmerdanda

dövülmek suretiyle kalıp gravürünü doldurmayı kolaylaştıracak şekilde ön form verilir.

Bir sonraki aşamada ham madde, var ise ön dövme kalıbında kabataslak olarak şekline; son dövme kalıbında da son haline getirilir. Daha sonra dövülmüş parça eksantrik preste çapaklarından arındırılır; var ise delik kalıbıyla delik açılır. Ön dövme – son dövme işlemi bazı durumlarda son dövme kalıbında son şekli vermek niyetinden ziyade; ön dövme kalıbında asıl şekli verip, son dövme kalıbıyla da ölçüsel hassasiyeti yakalamak amacıyla da uygulanabilir.

Malzemelerin yüksek sıcaklığa ısıtılması, dövme işlemini kolaylaştırarak kalıp aşınmalarını azaltmakla birlikte, bir üst sınırın aşılması halinde tane büyümesi gibi sakıncaların doğmasına yol açar. Dövme işlemi sırasında yapılan yağlama, sürtünme ve aşınmayı dolayısıyla metalin kalıp boşluğundaki akışını etkiler. Dövme prosesi öncesinde kalıplar kolay çatlamayı önlemek amacı ile tercihen 200°C-300°C arasında ısıtılırlar.

Kapalı kalıpta dövmede iş parçası aşağıdaki iki özelliğe sahip olmalıdır [5].

- 1) Akma sınırı, dövme sırasında doğacak kalıp basınçlarının kalıbın dayanabileceği mertebede olacak kadar düşük olmalıdır.
- 2) Hasar uğramadan son şekli alabilecek şekil değiştirme kabiliyetine (dövülebilirlik) sahip olmalıdır.

2.2 Sıcak Dövme Makineleri

Sıcak dövme makineleri, karakteristik çalışma prensiplerine göre 3 farklı gruba ayrılmaktadır.

2.2.1 Çekiçler

Dövme makineleri içerisinde en ucuzu olan çekiçlerin kapasitesi enerji cinsinden belirlenir. Temel olarak Mekanik düşmeli, Havalı ve Karşı vuruşlu olmak üzere 3 ana gruba ayrılır.

2.2.1.1 Mekanik düşmeli çekiçler

Esas olarak bir gövde, düşen bir ağırlık (koç) ve çok ağır bir örsten ibarettir. Bir kayış ya da zincir yardımıyla belirli bir yüksekliğe çıkartılan (1-2 m) koç, bu yükseklikten serbest bırakılır. Böylece kendi ağırlığıyla düşen koçun enerjisi iş

parçasının şekillendirilmesini sağlar. Vuruştan hemen sonra makaralar vasıtasıyla koç yukarıya kaldırılır. Şekil 2.4’de bir mekanik düşmeli çekiç görseli mevcuttur.



Şekil 2.4 : Mekanik düşmeli çekiç [6].

En çok kullanılan koç ağırlıkları 200-3000 kg arasındadır. Örs ağırlığı ise koçun 20 katı mertebesinde. Bu tip dövme çekiçleriyle 3-5 kg arasında küçük parçaların dövülmesi gerçekleştirilir. [5]

2.2.1.2 Havalı çekiçler

Bu tip çekiçlerde koç kendi ağırlığına ilaveten basınçlı hava ile aşağıya doğru itilir. Bu yüzden bu çekiçlerde uygulanabilen dövme kuvveti daha fazladır. Basınçlı hava ile aşağıya doğru yapılan itme kuvveti, 0.06-0.08 kg/mm² basınçlı silindir-piston sistemiyle sağlanır. Şekil 2.5’te örnek bir havalı çekiç görseli mevcuttur.



Şekil 2.5 : Havalı çekiç [7].

Koç ağırlıkları 200-250.000 kg arasında değişiklik göstermekle beraber; 25 kg' dan birkaç tona varan parçalar havalı çekiçlerde dövülebilmektedir.

2.2.1.3 Karşı vuruşlu çekiçler

Bu çekiçlerde basınçlı hava vasıtasıyla hareket eden pistona bağlı üst kalıp aşağı inerken alt kalıbı da çelik şeritlerle yukarıya çeker. Böylece iş parçası yukarıdan aşağı ve aşağıdan yukarı hareket eden alt ve üst kalıplar arasında dövülür. Alt ve üst kalıpları birleşik hızı 8 m/s mertebesindedir. Şekil 2.6'da örnek bir karşı vuruşlu çekiç görseli mevcuttur.



Şekil 2.6 : Karşı vuruşlu çekiç [8].

2.2.2 Vidalı presler

Diğer bir adı friksiyon pres olarak da bilinmektedir. Vidalı mil üzerine takılan kasnak, motordan aldığı dönme hareketini sürtünmeli disklerle çevrilerek vidalı milin aşağı veya yukarı yöndeki hareketi sağlar. Kalıp üst yarımı vidalı mil ucundaki dövme başlığına, kalıp alt yarımı ise pres alt tablasına bağlanır. Dövme başlığı en üst noktada iken, aşağı yönde hareketi sağlayan sürtünme diski vidalı mil kasnağına temas ettirilir. Vidalı mil kasnağı maksimum dönme hızına ulaştığında üst kalıp ile alt kalıp yarımları arasındaki parça istenilen boyutlarda biçimlendirilir. Bu preslerin kapasitesi vidalı mil çapıyla doğru orantılıdır. Bu tip preslerde daha hassas dövme toleranslarında çalışılabilirken, sıcak iş parçasının çekiçe dövmeye nazaran daha fazla kalıpla temas halinde kalmasından dolayı, kalıp ömürleri daha kısa olur. Şekil 2.7'de örnek bir vidalı pres görseli bulunmaktadır.



Şekil 2.7 : Vidalı pres [9].

2.2.3 Mekanik presler

Elektrik motorundan aldığı hareketi kavrama yardımıyla krank veya eksantrik miline, oradan da biyel kolu yardımıyla dövme başlığına ileten bir sisteme sahip dövme presleridir. Dövme başlığına kalıp üst yarımı, pres alt tablasına da sabit kalıp alt yarımı tespit edilir. Şekil 2.8’de örnek bir mekanik pres görseli bulunmaktadır.

Mekanik preslerin kurs boyu, diğer dövme çekiçlerinin kurs boyundan kısadır. Ayrıca dövme başlığı hızının en yüksek olduğu nokta, AÖN ile ÜÖN ortasında veya krank mili açısının 90° olduğu konumdadır. Maksimum pres kuvveti ise, dövme başlığının AÖN veya krank milinin 0° yaklaştığı anda oluşur. Dövme başlığının AÖN’ ye geldiği andaki pres kuvveti sonsuzdur. Bu preslerin normal dövme kapasitesi 300-8000 ton arasında değişmektedir. Maliyeti yüksek olmakla beraber simetrik olmayan parçaların dövmesinde kullanımı uygun olmayan bu presler, yüksek üretim adedi ve uzun kalıp ömrü gibi avantajlara da sahiptir. [5].



Şekil 2.8 : Mekanik pres [10].

2.2.4 Hidrolik presler

Hidrolik preslerde hareketli başlık, hidrolik silindir-piston sistemiyle çalışmaktadır. Kalıp üst yarımını dövme başlığına, kalıp alt yarımını da pres tablasına bağlanır. Bu preslerde dövme başlığı hidrolik kumandalı olduğundan, hızı ve baskı kuvveti ayarlanabilir. Bu preslerin dövme kapasitesi 300 -50 000 ton arasında değişmektedir. Avrupa’da özel olarak üretilen 78 000 tona kadar kapasitesi olan hidrolik presler de mevcuttur. Şekil 2.9’da örnek bir hidrolik pres görseli bulunmaktadır.

Maliyeti yüksek olmakla beraber, dövme hızı düşük olan bu presler; ayarlanabilir kurs ve baskı boyu, kırılğan malzemeleri şekillendirebilmesi gibi avantajlara da sahiptir [5].



Şekil 2.9: Hidrolik pres [3].

2.3 Sıcak Dövme Kalıpları

Sıcak dövme kalıplarında ham madde olarak, sıcak iş çelik takım çelikleri kullanılmaktadır. Temel olarak iyi sertleşebilirlik, aşınmaya, plastik deformasyona, termal ve mekanik yorulmaya dirençli olmak gibi özellikler beklenir. Sıcak dövme prosesi esnasında kalıp sıcaklığı dövülen parçanın büyüklüğüne ve dövme makinesi türüne bağlı olarak 300-700 °C arasında değişkenlik göstermektedir. Alaşımlama elementi olarak Cr, W, V ve Mo içerebilmektedirler. Bu alaşımlama elementleri kalıba sertleşebilme kabiliyeti ve yüksek sıcaklıkta aşınma başta olmak üzere diğer muhtemel hasar mekanizmalarına karşı mukavemet kazandırmaktadır. Çizelge 2.1’de sıcak iş takım çelikleri kompozisyonlarıyla beraber gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Sıcak iş takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonları [11].

Kalıp Malzemesi	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	V	Co
X32CrMoV12-28	0,35	0,80	0,80	3,00	2,1	-	-	-
X38CrMoV5	0,38	0,35	1,00	5,20	1,30	-	0,45	-
X40CrMoV5-1	0,40	0,40	1,10	5,20	1,40	-	1,00	-
X38CrMoV5-3 1	0,37	0,35	0,45	5,10	2,90	-	0,55	-
55NiCrMoV7	0,55	0,80	0,25	0,90	0,35	1,65	0,10	-

Bunlardan DIN 1.2714 (L6) (55NiCrMoV7) ve DIN 1.2344 (H13) (X40CrMoV5-1) serisi sıcak iş takım çelikleri endüstri en çok kullanılanlar sınıfındadır. Kapalı kalıpta sıcak dövme işleminde, üretilecek olan parçanın büyüklüğüne ve dövmenin yapılacağı makineye göre kalıp malzemesi, tipi ve boyutları değişkenlik gösterebilir.

Dövülecek parçanın yeterince küçük olduğu durumlarda blok kalıp yerine hamil olarak adlandırılan kalıp tutucularının içerisine yerleştirilmiş çekirdek kalıplar kullanılabilmektedir.

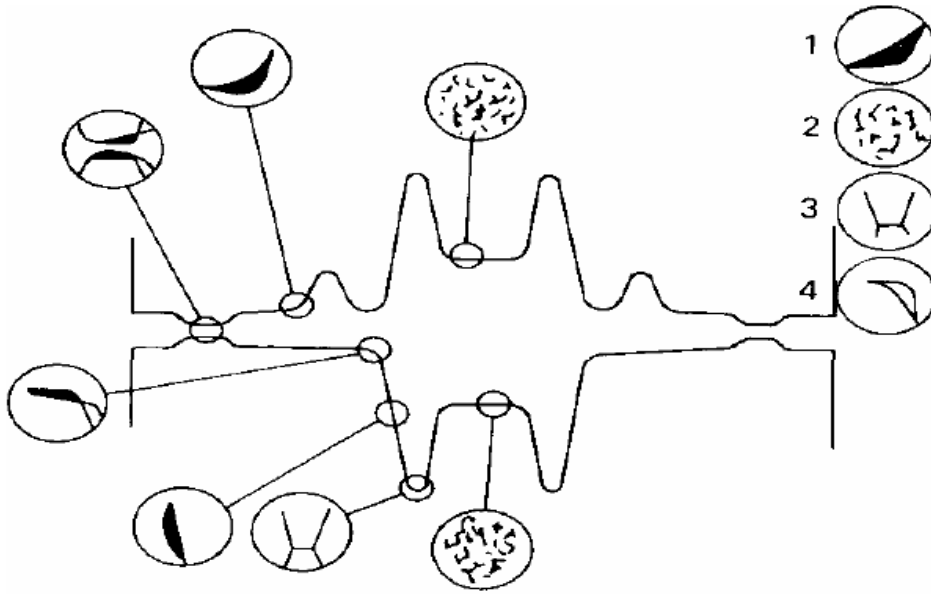
1.2344 sıcak iş çeliği, 1.2714'e göre daha pahalı ve kaliteli bir çelik türüdür. Dolayısıyla uzun ömür beklenen, ancak fazla büyük olmayan parçalar için malzeme tasarrufu sağlayan çekirdek kalıpların kullanımı daha mantıklı olmaktadır. Zira kalıbın tashih işlemi esnasında blok kalıp üzerinde komple yüzey silinirken, çekirdek kalıpta hamil yüzeylerinden bağımsız sadece çekirdek kalıbın yüzeyi silinir. Bu da hem malzemeden hem de işçilikten hatırı sayılır boyutta tasarruf sağlamaktadır. Dövme makinesine göre sınıflandırıldığında 1.2714 çeliğinin daha çok çekiçle üretim yapılacak kalıplarda; 1.2344 çeliğinin ise daha çok aşınma direnci göstermesi beklenen pres kalıplarında kullanıma uygun olduğu görülmektedir.

2.3.1 Sıcak dövme kalıplarında hasar türleri

Sıcak dövmede kalıplar, şekil değiştirme esnasında yüksek ısı ve mekanik gerilmelere maruz kalırlar. Bu gerilmeler nedeniyle kalıplar aşınma ve termomekanik yorulma sonucu hasara uğrarlar. Bu hasarlar sadece kalıp maliyeti olarak değil aynı zamanda takım ilave işçilik ve sökmek takmadan dolayı süre kaybı sebebiyle ilave maliyetlere sebep olur.

Sıcak dövme kalıplarında hasar mekanizmaları; aşınma, mekanik yorulma, plastik deformasyon ve ısı yorulma olarak 4 ana gruba ayrılmaktadır.

Şekil 2.10'da bu hasar türlerinin kalıbın hangi bölgelerinde meydana geldiği gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Dövme kalıplarında muhtemel hasar mekanizmaları (1-Aşınma, 2-Termal yorulma, 3-Mekanik yorulma, 4-Plastik deformasyon [12].

2.3.1.1 Aşınma

Aşınma iki malzemenin birbiri üzerinde çalışması esnasında; her iki yüzeyden ya da birinden malzeme kaybının meydana gelmesidir. Sıcak dövme kalıplarında aşınma hasarı, malzeme akışının en hızlı olduğu bölgelerde meydana gelmektedir. Aşınma türlerinden abrazyon ve adezyon aşınmaları sıcak dövme kalıplarında oldukça yoğun bir şekilde karşılaşılmaktadır.

Abrazyon aşınmasında sert oksitler, tufaller, sert karbürler veya dışardan gelen yabancı malzemeler kalıp yüzeyinden malzeme kaybına sebep olarak hasar görmesine sebep olur.

Adezyon aşınmasında ise yüksek sıcaklıktaki iş parçasından bir kısmının kalıp yüzeyine yapışması ve kalıp malzeme arasındaki bağıl hareketle beraber aşınmanın meydana gelmesi şeklindedir.

2.3.1.2 Mekanik yorulma

Sıcak dövme kalıplarında mekanik yorulma değişken gerilmeler sebebiyle kalıbın bir veya bir kaç bölgesinde çatlak oluşumu, çatlak ilerlemesi ve ani kırılmayla sonuçlanan bir hasar türüdür. Gerilime bağlı çatlak oluşumu ile başlayan bir hasar mekanizması türü olduğunda, kalıpta en fazla yükün olduğu malzeme akışına dik bölgelerde meydana gelir.

Özellikle yüksek darbe kuvvetine maruz kalan çekiç kalıplarında çatlağın oluşumuyla beraber, çok uzun sürmeden kalıbın kırılmasıyla karşılaşilmektedir. Bu hasar türü kalıp dizaynı ve hammadde türü gibi parametrelere bağlı olmakla beraber, temel olarak kalıp tokluk seviyesinin etkin olduğu bir mekanizmaya sahiptir. Bu yüzden özellikle çekiç kalıplarında, kalıplar 200-300 °C dolaylarında ön ısıtmaya tabi tutularak kısa sürede meydana gelebilecek ani kırılmalara önlem alınmaktadır.

2.3.1.3 Plastik deformasyon

Sıcak dövme kalıplarında plastik deformasyona bağlı hasar, birim alana düşen kuvvetin elastik akma mukavemetini geçtiği köşelerde ve çapak hatlarında meydana gelmektedir.

Dövme kalıplarındaki keskin köşeler ve uzun çıkıntılar gibi ince geometriler plastik olarak şekil değiştirmeye ve hasar göremeye en yatkın alanlardır. Çünkü bu tarz bölgelerde kuvvetin etki ettiği alanın diğer geniş alanlara göre dövme çok dar olması sebebiyle, kalıpta bu bölgedeki basınç çok daha yüksek olarak ortaya çıkar. Plastik deformasyonu etkileyen en önemli etkenler dövme sıcaklığı, dövme parçasının büyüklüğü ve geometrisi, dövme çevrim süreleri, kullanılan ekipman ve dövme tipidir (çapaklı veya çapaksız). Bu parametreler yerel gerilimleri artırarak ya da ısıl yumuşama ile kalıbın mukavemetini zayıflatırlar.

2.3.1.4 Isıl yorulma

Sıcak dövme kalıplarında ısıl yorulmaya bağlı hasar, iş parçası ile kalıp yüzeyinin en uzun süre temas ettiği bölgelerde görülür. Proses esnasında kalıp yüzeyinde, sıcak iş parçasının temasıyla sıcaklığı artan, akabinde yağlama ile soğuyan bir ısınma-soğuma döngüsü gerçekleşmektedir.

Kapalı kalıpta sıcak dövmede iş parçası sıcaklıkları genelde 1000°C ve üzerinde olduğundan kalıpların yüzeyi parçayla temas süresine bağlı olmakla birlikte zaman zaman bölgesel olarak 600°C'yi geçer. Yüzeydeki bu sıcaklık artışı yüzeyin genişlemesini sağlar. Yüzeyin alt kısımları ise hala aynı sıcaklıktadır ve yüzeyin genişlemesine engel olmaya çalışır. Bunun sonucunda basma gerilimleri oluşur. İş parçası kalıptan çıkarıldığında ve kalıp yağlandığında ise önceki işlemlerin tam tersi gerçekleşir ve bu sefer çekme gerilimleri oluşur. Bu döngü sonucunda kalıp yüzeyindeki genişleme miktarı kalıp malzemesinin elastik akma sınırını aşabilir ve plastik şekil değişimi yaşanır. Eğer kalıpta bu gibi sürekli sıcaklık değişimi sebebi ile

çatlama olursa bu duruma ısı yorulma denir. Kalıp yüzeyinden ince çatlak ağları, kalıbın ısı yorulmaya maruz kaldığının bir göstergesidir.

Isı yorulma temel olarak kalıp yüzeyinin ısınıp –soğumasına bağlı olarak meydana gelmekle beraber, kalıp çeliğinin aşağıdaki kalıp özelliklerine bağlılık göstermektedir.

-Sıcaklık direnci (yüksek sıcaklıkta akma mukavemeti)

-Başlangıç sertliği

-Tokluğu

-Temizliği

-Homojenliği

2.3.2 Kalıp ömrünü etkileyen faktörler

Kalıp malzemesi ve sertliği, dövülen malzemenin kimyasal bileşimi, tufal, dövme sıcaklığı, iş parçasının tasarımı, dövme makinesi kalıp ömrünü etkileyen faktörlerdir.

a) Kalıp malzemesi ve sertliği

Sıcak dövme kalıpları yüksek sıcaklıkta kuvvetli gerilmelere maruz kaldıkları için meydana gelebilecek hasarlara karşı (aşınma, çatlama, kırılma) gerek sertlik, gerekse malzeme bakımından dövme işlemine uygun olması gerekmektedir.

b) İş parçasının kimyasal bileşimi

Diğer faktörler sabit kalmak koşuluyla, dövülerek şekillendirilen çelikteki karbon ve alaşım elementlerinin yüzdeleri arttıkça kalıp ömrü kısalır. Bunun nedeni, karbon ve alaşım elementlerinin miktarı yükseldikçe çeliğin plastik şekillendirilme direnci ile aşındırıcı etkisinin artmasıdır.

c) Dövme sıcaklığı

İş parçasının sıcaklığı incelenmesi zor bir faktördür. Malzeme, fırından dövme makinasına getirilirken ve dövme işlemleri sırasında sürekli soğuduğu için plastik şekil değiştirme direnci ile aşındırıcı etkisi artar. Gerekirse son dövme kademesinden önce parça yeniden ısıtılarak son şekil verme gravürünün ömrü artırılabilir. Çapağın aşırı soğuması çapak kanalının erken aşınmasına neden olur.

d) Tufal

Tufal sert ve aşındırıcı olması nedeniyle kalıp ömrünü kısaltır. Bunu için dövme işleminden önce tufalın giderilmesi gerekir. Ayrıca dövme sırasında her bir veya iki darbeden sonra tufalın kalıptan uzaklaştırılması aşınmayı azaltır.

e) İş parçasının tasarımı

Üretilcek parçadaki ince kesitler, malzeme akışını zorlaştıracı geometriler kalıp ömrü üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. İnce kesitler hızla soğudukları için kalıbın çabuk aşınmasına yol açarlar. Bu nedenler ince kesitlerin dövme süresi mümkün olduğu kadar kısa olmalıdır. İş parçasındaki dar ve derin çukurlukları şekillendiren kalıp kısımları da çabuk aşınır.

Bazen iş parçasında yapılan küçük bir değişiklik (meme çapının biraz büyütülmesi gibi ya da parçanın kalıptan çıkma açısının büyütülmesi gibi), kalıp ömrünü artırmakla beraber, bozuk parça sayısını da düşürür.

f) Dövme makinesi

İş parçasına uygulanan kuvvet çok şiddetli bir malzeme akışına ve kalıp yüzeylerinde basınçların oluşmasına yol açar. Bu nedenle iş parçasının şekillendirilmesi için gereken bütün enerji bir vuruşta uygulandığı takdirde kalıp kırılabilir. Darbelerin yumuşatılması halinde basınca bağlı kalıp aşınması azalacaktır. Fakat darbe sayısının artırılması dövme süresini artıracacağı gibi, sıcak iş parçasının alt kalıpla daha uzun süre temas edeceği için kalıp ömrünün de kısılmasına neden olur.

3. SERT DOLGU KAYNAĞI YÖNTEMİ

Dolgu, istenen özellikler veya boyutlar elde etmek üzere bir metalin yüzeyine dolgu metali koymak şeklinde tanımlanır. İşlem genellikle, başka türlü bir mühendislik uygulaması için tüm gerekli nitelikleri haiz olamayacak bir parçanın ömrünü uzatmak veya korozyona uğramış metalin yerini almak için kullanılır. Dolgu, tam en çok gereksinme duyulan yerde korozyona mukavemet, aşınmaya mukavemet, sağlamlık veya antifraksiyon özellikler sağlamaktadır. Dolgunun abrazyon mukavemetine yardımcı olduğu yerlerde bu, genellikle sert dolgu olarak anılır. Bu terim keza, darbe mukavemeti veya alçak sürtünme nitelikleri için bir sağlam veya tufal dökmeyen (pullanıp kalkmayan) dolgunun yapıldığı yerlerde kullanılır. Sert adı sözlük anlamı yerine burada dayanıklılık-kalıcılık ifade eder. Sert dolgunun amacı uzatılmış çalışma ömrü olduğuna göre, sertliğin aşınma mukavemeti için her zaman geçerli bir gösterge olmadığı bilinmelidir [13].

Dolgudan beklenen nihaî sonuç, çalışan alanın uzun ya da uzatılmış ömrüdür. Sert dolgu kaynaklarına karar verme sırasında, aşınma tipinin saptanması, işin hem en önemli, hem de en nazik yanıdır. Zira kullanılacak kaynak malzemesi bu doğrultuda belirlenmektedir. Ayrıca, ana metalin kimyasal kompozisyonunu bilmek, ön tav ve son tav sıcaklıklarının belirlenmesi için çok önemlidir.

Sert dolgu yapılacak iş parçasının kullanıldığı yerdeki aşınma şartlarına göre, kaynak metali uygun özelliklere sahip olmalıdır. Bu özellikler aşağıdaki şekilde sıralanabilir [14].

1. Kaynak sonrası sertliği
2. Yüksek sıcaklıklardaki sertlik
3. Metal aşınmasına direnç
4. Abrazyon ve öğütme aşınmasına direnç
5. Darbe direnci
6. Korozyon direnci
7. Paslanma ve tufalleşmeye direnç.

3.1 Sert Dolgu Kaynağı Uygulama Alanları

Endüstride yaygın olarak aşağıdaki alanlarda sert dolgu uygulaması yapılmaktadır.

- Sıcak dövme kalıpları
- Supap dolguları
- Sıcak kütük tutucu çeneler
- Sıcak ekstrüzyon presi iticileri
- Tel çekme kılavuzları
- Gaz, su, buhar ve asit muslukları
- Gaz türbini kanatları
- Vanalar
- Akslar
- Krank mili
- Kepçe dişleri
- Taş kırma çeneleri

Bunlar gibi maliyeti yüksek parçaların tekrar üretilmesinden ziyade; sadece aşınan kısımlarının sert dolgu ile kaplanması hem ekonomiktir hem de zaman tasarrufu sağlar. Örneğin taş kırma çenelerinde olduğu gibi parçanın yüzeylerinin aşınmaya dayanıklı, iç bölgelerinin ise sünek olması gerekir. Sünek malzemelerin yüzeylerinin aşınmaya dayanıklı sert dolgu malzemeleri ile kaplanmaları daha ekonomik olmaktadır. Aşınmaya dayanıklı pahalı malzemelerin endüstride kullanılması yerine, daha ucuz olan sünek malzemelerin yüzeyleri sert ilave dolgu malzemeler ile kaplanabilmektedir. Böylece pahalı malzemelere alternatif olarak ekonomik ve aşınmaya dayanıklı malzemeler elde edilebilir.

3.2 Sıcak Dövme Kalıplarında Sert Dolgu Kaynağı Uygulaması

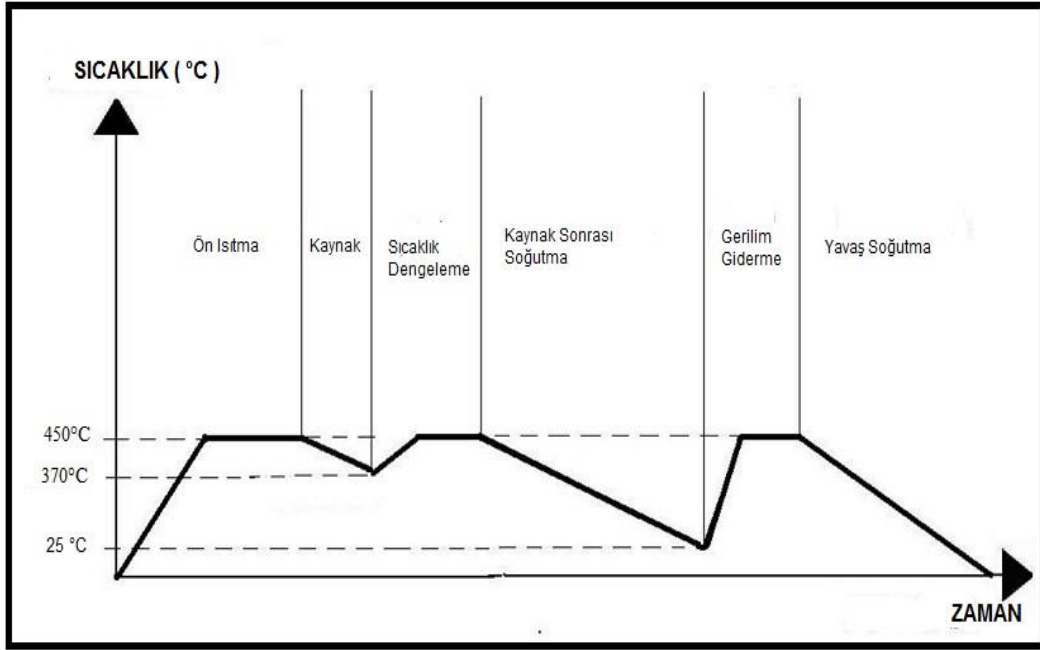
Sıcak dövme yönteminde pahalı ham madde maliyetine sahip sıcak iş takımı çelikleri kullanılması sebebiyle, günümüzde sert dolgu kaynağı bu maliyetlerde avantaj sağlanabilmesi adına uygulanan yöntemlerden biridir. Geçmişte ise sadece kalıpların tamiri ve bakımı için sert dolgu kaynağı uygulanmaktaydı.

Kalıp üzerine uygulanan sert dolgu aşağıda belirtilen 3 farklı tipte olabilir.

1) Kalıp malzemesiyle aynı; kalıp bloğunun tamiri için uygulanır.

2) Yüksel alaşımlı çelikler (Cr bazlı sıcak iş çelikleri); düşük alaşımlı kalıp bloklarının yüzeylerine uygulanarak, aşınma ve ısıl yorulmalara karşı kalıp servis ömrü uzatılır.

3) Sert ve yüksek sıcaklığa dayanıklı (Co veya Ni esaslı alaşımlar); düşük alaşımlı veya sıcak iş takım çelikleri üzerine uygulanarak kalıp servis ömrü uzatılır. Sıcak dövme kalıplarında sert dolgu kaynağı temel olarak 6 aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar şematik olarak Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Sert dolgu kaynağı uygulama aşamaları[15].

1) Ön Isıtma (450° C)

Kaynak esnasında ortaya çıkan gerilmeleri ve sonucunda oluşabilecek çatlakları engelleyebilmek adına, dövme kalıpları ön ısıtmaya tabi tutulur. Çünkü sert dolgu malzemesi ve kalıp malzemesi farklı genleşme özellikleri gösterdiğinden, aynı miktarda genleşme ve çekilme göstermezler. Bu farktan dolayı ortaya çıkan gerilmeler sıcaklığın etkisiyle dengelenerek tolere edilebilir.

Aynı zamanda bu işlem kalıpta geçmişten kalan bir kalıntı gerilim var ise bununda ortadan kaldırılması sağlanır. Kalıbın bu sıcaklıkta tutulma süresi büyüklüğüne bağlı olmakla beraber, her bir 25 cm kalıp kesiti için 1 saatlik süre denk gelecek şekilde hesaplama kabul edilmektedir. Uygulanacak kaynak miktarına ve malzemesine bağlı olarak, sert dolgu uygulaması öncesi kaynağın tatbik edileceği bölgeye tampon kaynak uygulanması da çatlama riskini indirmektedir.

2) Kaynak (min. 370 °C)

Ön ısıtmaya tabi tutulan kalıptaki gravüre, kalıp sıcaklığı 370 °C altına düşmeyecek şekilde kaynak tatbik edilir. Bunu sağlamak için kaynak uygulaması mümkün mertebe hava akışından izole edilmiş bir ortamda ve ilaveten de kalıp üzerine izolasyon yünü kullanılarak gerçekleştirilir.

Kalıp sıcaklığının korunması esnasında, kalıbın aşırı ısınarak sertliğini kaybetmesine engel olunmalıdır. Kalıp malzemesine bağlı olmakla beraber aşırı ısınma yumuşamaya sebep olur.

Kaynak uygulaması mümkün olduğunca ince pasolar halinde gerçekleştirilmelidir. Bu sayede ısı tesiri altındaki bölge alanı daha dar olacağından, soğuma esnasında oluşan gerilimler en aza indirgenir.

Kaynak uygulandıktan sonra soğuma esnasında kaynak bölgesinde iç gerilmeler oluşur. Bu gerilimleri ortadan kaldırmak için havalı çekiçle kaynak bölgesine baskı kuvveti uygulanır.

Hemen hemen tüm kaynak metotlarıyla gerçekleştirilebilen sert dolgu kaynağı için, kalıp gravürü doldurulurken kalıbın büyüklüğüne bağlı olarak hatırı sayılır miktarda kaynak malzemesi sarfedildiğinden, saatteki yığma hızı daha fazla olan kaynak yöntemlerinin kullanılması daha uygundur.

3) Sıcaklık Dengeleme(450 °C)

Kaynak malzemesi ve kalıp arasındaki soğuma hızı farkını dengelemek için, ön ısıtma da olduğu gibi her bir 25 cm kalıp kesiti için 1 saat olacak şekilde dengeleme sıcaklığında tutulur. Bu sayede soğuma öncesi kalıbın tamamının aynı sıcaklığa homojen bir şekilde sahip olması sağlanır.

4) Yavaş Soğutma(oda sıcaklığı)

Bu aşama sıcaklığı dengelenmiş kalıp bloğu hava ortamında soğumaya bırakılır. Bu esnada, kaynak işlemi gerçekleştirilirken kalıbı örten seramik yünün kullanılması, soğuma esnasında oluşabilecek çatlakları engelleyebilmek adına faydalı olacaktır.

5) Gerilim Giderme(450 °C)

Kaynak işlemi sebebiyle kalıp bloğunda kalıntı gerilmeler mevcuttur. Bu gerilmelerin giderilmesi adına, yine her bir 25 cm kalıp kesiti için 1 saat bu sıcaklıkta tutulması gerekmektedir. Bu aşamada kalıp bloğunun ve kaynak malzemesinin gerilmelerden olabildiğince arınmış bir şekilde birbirine entegre olması sağlanır.

6) Son Yavaş Soğutma (Oda sıcaklığı)

Son olarak kalıp tekrardan oda sıcaklığında soğumaya bırakılır. Yine bu aşamada da yavaş soğuma sağlanabilmesi adına kalıbı örtmek için kullanılan seramik yünün kullanılması fayda sağlayacaktır.

Bu kademeli olarak gerçekleştirilen işlemlerin sonunda, kalıbın servis ömrünü direkt olarak etkileyen termo-mekanik özelliklerinde iyileşmeler beklenir.

Sert dolgu yapmak üzere kullanılacak kaynak malzemesinin belirlenmesiyle birlikte, yukarıda listelenen aşamalara geçmeden önce yapılacak ilk işlem kalıp yüzeyinin kaynak uygulaması için elverişli hale getirilmesidir. Bu aşamada kalıp yüzeyi her türlü yağ, pas kir ,çatlak ve yorulma izlerinden arındırılır. Kaynak malzemesiyle doldurulmak üzere Cnc tezgahlarda kalıp gravürü açılır. Akabinde gravür kaynak malzemesi ile doldurulur ve CNC tezgahta işlenir. Bu aşamalar Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Kalıp gravürüne tatbik edilen sert dolgu kaynağı [16].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde sert dolgu kaynağının üzerine tatbik edileceği ana malzeme (altlık), kullanılan sert dolgu elektrotları ve karakterizasyon testleri ile alakalı bilgiler paylaşılacaktır.

4.1 Ana Malzeme (Altılık)

Altılık olarak 1.2714 sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. 1.2714'e ait kimyasal kompozisyon bilgileri Çizelge 4.1'de belirtilmiştir.

Sertlik değeri 43 HRC olup, ıslah edilmiş halde direkt kullanıma hazır durumdadır

Çizelge 4.1: DIN 1.2714 kimyasal kompozisyonu.

Kalıp Malzemesi	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	V	Co
55NiCrMoV7	0,55	0,80	0,25	0,90	0,35	1,65	0,10	-

Karakterizasyon testlerinde kullanılmak üzere 30x30x6 mm ölçülerinde 6 adet altlık malzemesinden numune hazırlanmıştır.

4.2 Kullanılan Kaynak Elektrotları

Kaynak elektrodu olarak ikisi Demir(Fe) bazlı, ikisi Kobalt(Co) bazlı olmak üzere 3,2 mm çapında 4 farklı elektrot seçilmiştir.

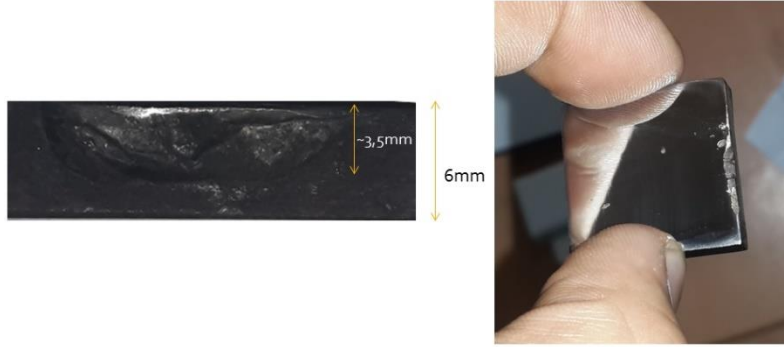
Aşağıdaki tabloda elektrotların kimyasal kompozisyonları gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Kullanılan kaynak elektrotlarının kimyasal kompozisyonları.

Standart (DIN 8555)	Ticari Marka	Kod	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	Co	Fe	Nb
E 3-UM-45-T	Carbodor WZ48B	Fe1	0,3	0,5	0,5	5,0	4,0	-	-	-	Esas	-
E6-UM-60	Citadur 600	Fe2	0,3	0,50	0,40	7,0	1,30	-	0,5	-	Esas	-
E 20-UM-300- CKTZ	Kobatek 541	Co1	1-3	3,0	1,5	25-35	6,5	5	-	Esas	-	0,5
E 20-UM-300- CKTZ	Carbo SK21	Co2	0,3	0,9	1,0	28	5,5	3,0	0,55	Esas	-	-

Mevcut kaynak elektrotları kullanılarak altlık üzerine 100 A akımla ~3,5 mm derinliğinde dolgu kaynağı olacak şekilde altışar adet 30x30x6 mm ölçülerinde numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra yapılan ölçümlerde kaynak derinliği ~4,5 mm

olduğu tespit edilen Co2 numunesi yüzeyinden paso almak suretiyle kaynak derinliği ~3,5 mm'ye indirilmiştir.



Şekil 4.1 : Kaynaklı numune.

4.3 Karakterizasyon Testleri

Uygulamada kullanılacak olan kaynak elektrotunun belirlenebilmesi adına aşağıdaki karakterizasyon testleri gerçekleştirilmiştir.

4.3.1 Mikroyapı karakterizasyonu

Numunelerin yapılarındaki fazların tespiti ve yorumlanabilmesi adına mikroyapı karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Bu bağlamda da öncelikli olarak numunelerin yüzeyleri SiC zımpara ile aşındırılmış 3µm elmas ile parlatılmıştır. Bu işlemlerin akabinde numune yüzeyleri dağlanmışır.

Demir esaslı elektrotlar ile yapılan dolgu kaynağı (Fe1 ve Fe2) numunelerinde dağlayıcı olarak %95 Etanol - %5 Pikrik asit çözeltisi kullanılmıştır. Kobalt esaslı elektrotlarla yapılan dolgu kaynağı için ise % 80 HCl + %20 H₂O₂ çözeltisi kullanılmıştır. Numuneler dağlandıktan sonra Leica ICC50 HD marka optik mikroskop altında incelenmiştir.

4.3.2 Sertlik testi

Oda sıcaklığında dolgu kaynağı uygulanmış numunelerin ve altlığın Zwick/Roell marka makro sertlik cihazı ile HRC cinsinden sertlik değerleri ölçülmüştür.

4.3.3 X-Işını kırınımları karakterizasyonu

XRD analizi GBC MMA marka cihazda Cu K_α tüp kullanılarak tarama hızı 1 °/dak olacak şekilde 0,02° veri toplama aralığında 10° ve 100° arasında gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen veriler mikroyapı karakterizasyonu ile beraber değerlendirilerek kaynak yapılarındaki fazlar daha net bir biçimde tespit edilmiştir.

4.3.4 Aşınma Testleri

Numuneler oda sıcaklığı, 400 °C ve 600 °C ‘de aşınma testlerine tabi tutulmuşlardır. CSM marka disk-üstü top test cihazı kullanılarak; 4N yük 5,00 cm/dak kayma hızı ve 250 m kayma mesafesi parametreleri ile aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı olarak 6 mm çapında Al_2O_3 top kullanılmıştır. Numunelerin sürtünme katsayıları, aşınma davranışları ve miktarları Hitachi TM-1000 marka taramalı elektron mikroskobu ve Dektak 6m marka 2 boyutlu profilmetre ile tespit edilmiştir.

5.SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

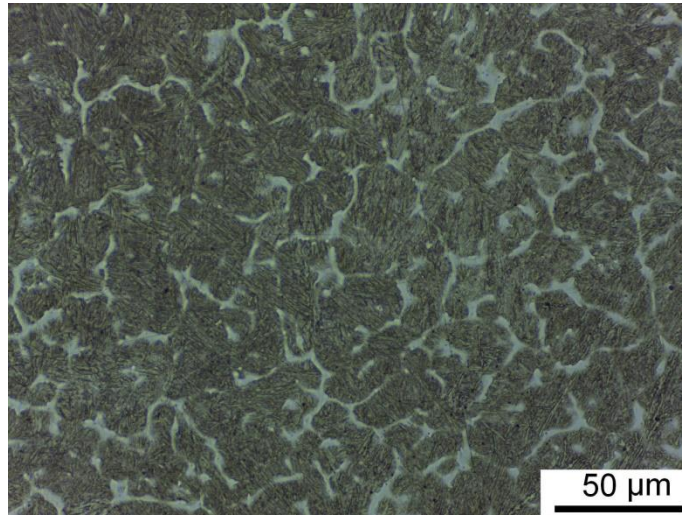
Bu bölümde hazırlanan numunelerin karakterizasyon testleri sonucu elde edilen bulgulara ve uygulamada elde edilen sonuçlara değinilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan demir (Fe) ve kobalt (Co) esaslı elektrotların karakterizasyon ve test sonuçları kendi içlerinde değerlendirilmiştir.

5.1 Demir Esaslı Kaynak Elektrotları

Fe1 ve Fe2 elektrotlarıyla altlık üzerine sert dolgu kaynağı uygulaması gerçekleştirilmiştir.

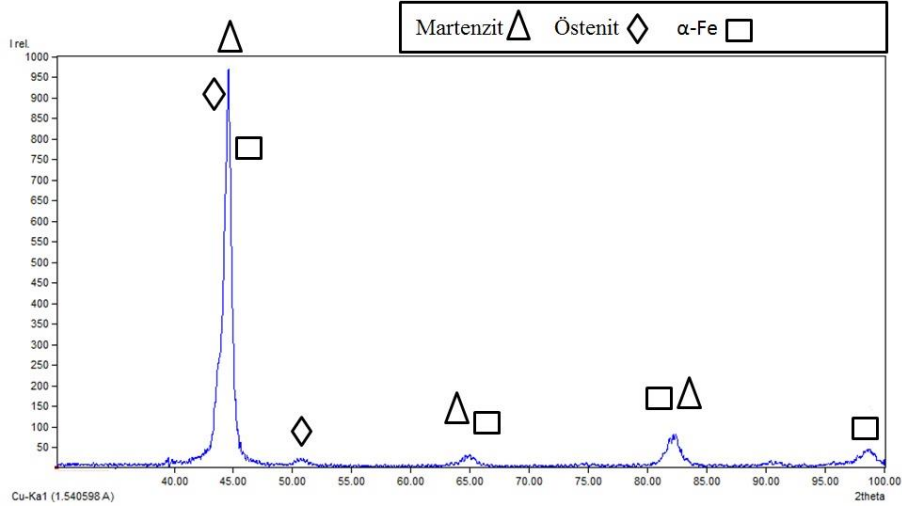
5.1.1 Mikroyapı Karakterizasyonu

Fe1 elektrotunun kaynak sonrası oluşan mikroyapısı Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Bu yapıda iğnemsî koyu gri bölgeler martenzit fazını, ağ halindeki beyaz bölgeler α -Fe fazını ve martenzit içerisindeki ufak beyaz noktalar ise metastabil kalıntı östenit fazını temsil etmektedir.



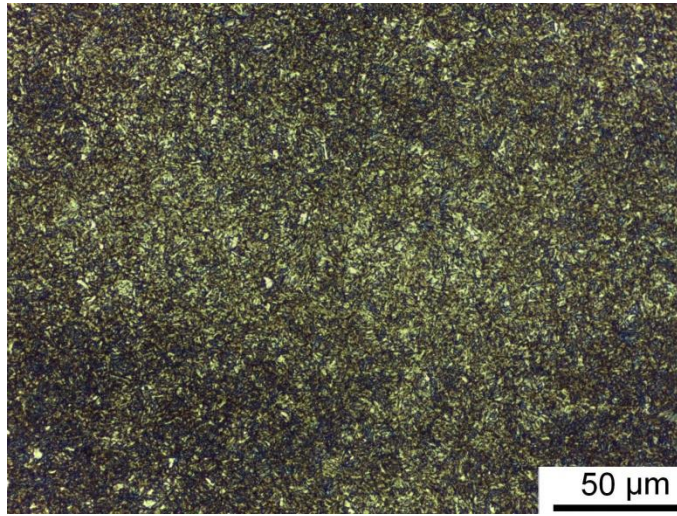
Şekil 5.1 : Fe1 elektrodu ile yapılan sert dolgu kaynağının mikroyapısı.

Yapılan XRD analizi sonrasında mikroyapı analizi ile tespit edilen fazların doğrulanması sağlanmıştır. Şekil 5.2’de XRD analizi sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : Fe1 elektrodu ile yapılan sert dolgu kaynağının XRD analizi.

Fe2 elektrodunun kaynak sonrası oluşan mikroyapısı ise Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Bu yapıda Fe1 elektrodundan farklı olarak çok büyük oranda martenzite dönüşüm gözlemlenmiştir

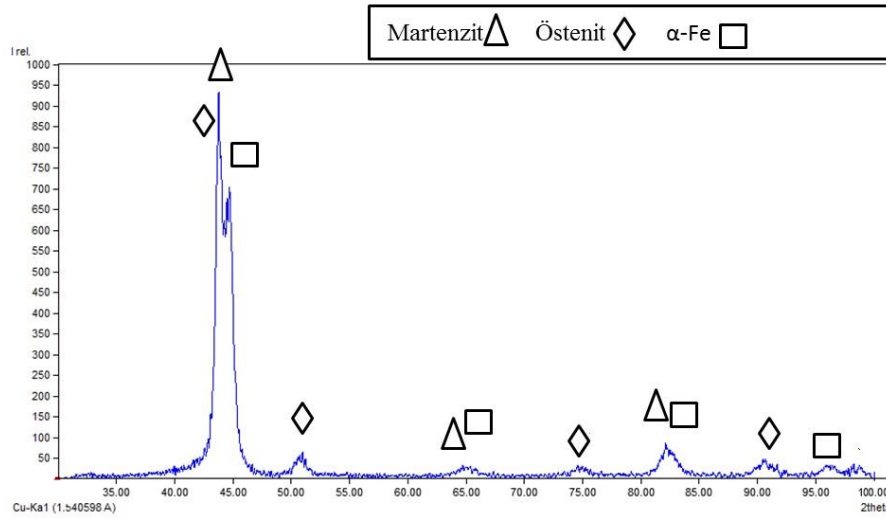


Şekil 5.3: Fe2 elektrodu ile yapılan sert dolgu kaynağının mikroyapısı.

Fe2 elektrodu ile yapılan kaynağa ait XRD analizinde, mikroyapı incelemesinden tespit edildiği üzere Fe1'den farklı olarak daha fazla martenzit dönüşümü gözlenmiştir. Bunun yanı sıra α -Fe ve kalıntı östenit mevcuttur. Şekil 5.4'te XRD analizi sonuçları gösterilmiştir.

5.1.2 Sertlik ölçümleri

Fe1 ve Fe2 elektrotlarıyla yapılan kaynakların oda sıcaklığındaki sertlik değerleri Çizelge 5.1'deki gibi tespit edilmiştir.



Şekil 5.4 : Fe2 elektrodu ile yapılan sert dolgu kaynağının XRD analizi.

Çizelge 5.1: Fe1 ve Fe2 elektrotları ile kaynaklı numunelerin oda sıcaklığında sertlik değerleri

Yüzey	Sertlik (HRC)
Fe1	49 ±2
Fe2	61 ±1

Fe1 ve Fe2 elektrotları ile yapılan kaynakların sertlik değerleri arasındaki fark, birkaç sebebe dayandırılabilir. Fe2'nin Karbon oranının Fe1 e göre 33% daha fazla oluşu, muhtemel soğuma hızı farkından dolayı daha yüksek oranda martenzitik dönüşümün gerçekleşmesinin bu sertlik farkına sebep olabileceği düşünülmektedir.

5.1.3 Aşınma testi sonuçları

Demir esaslı elektrotlarla (Fe1 ve Fe2) dolgu kaynağı tatbik edilmiş olan numuneler için 3 farklı sıcaklık mertebesinde (Oda Sıcaklığı, 400 °C ve 600 °C) 4N yük altında aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Oda sıcaklığındaki aşınma test sonuçları Çizelge 5.2'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Fe1 en az aşınırken, altlık ise en fazla malzeme kaybı yaşanan numune olmuştur.

Test esnasında oluşan oksit tabakalarının dayanıklılığı, bu sıralamada belirleyici faktör olmuştur.

Yüksek sıcaklıklarda (400 °C ve 600 °C) gerçekleştirilen aşınma testinin sonuçlarında da yüzeydeki oksit tabakasının dayanıklılığı belirleyici olmuştur.

Çizelge 5.2: Oda sıcaklığında Fe1 ve Fe2 elektrotları ile kaynaklı numunelerin aşınma miktarları ve sürtünme katsayıları.

Numune	Aşınma Miktarı ($mm^3 \times 10^{-3}$)
Altlık	9,87
Fe1	6,29
Fe2	7,21
Sürtünme katsayısı	
Altlık	0,88
Fe1	0,89
Fe2	0,88

400 °C ve 600 °C sıcaklık koşullarında aşınma testi sonuçları Çizelge 5.3’ de gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre 400 °C’de altlık ve Fe1 benzer aşınma davranışı gösterirken, Fe2 ile doldurulan yüzeyin ciddi derecede daha fazla aşındığı tespit edilmiştir. Bunun sebebinin Fe2 ile doldurulan numunenin yüzeyinde 400 °C’de ince ve zayıf oksit tabakasının oluşması ve test esnasında kırılarak fazla malzeme kaybına sebep olduğu düşünülmektedir. Fe1’e benzer kimyasal kompozisyona sahip Fe2 kaynak elektrodunun Fe1’den farklı olarak içerdiği 4% Mo katkısıyla 400 °C ‘de daha kalın ve dayanıklı oksit tabakası oluşturduğu ve bu yüzden daha az malzeme kaybı yaşadığı düşünülmektedir.

Şekil 5.5’te gösterilen aşınma yüzeylerinde de Fe1 ve altlığın yoğun oksit tabakası ile kaplı olduğu, ancak Fe2’de böyle bir oksit tabakasının olmadığı görülmektedir.

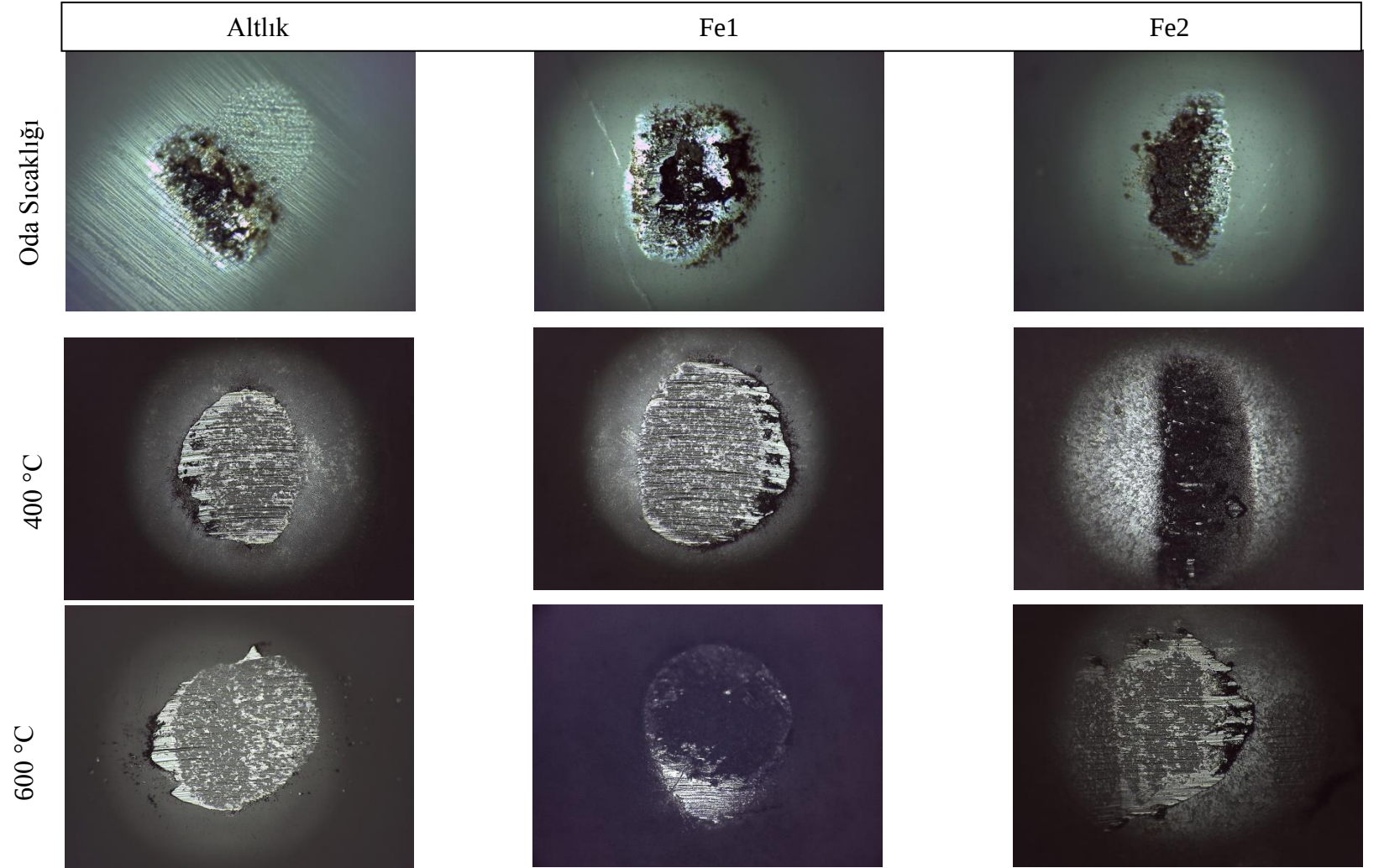
600 °C ‘de Fe2’nin aşınma performansında ciddi bir iyileşme tespit edilmiştir. Numune yüzeyinde oluşan kalın ve sert oksit tabakasının aşınma performansını iyileştirdiği düşünülmektedir.

600 °C’de Fe1 ve altlık numunelerinde, 400 °C ‘ye göre daha fazla aşınma gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bunun sebebinin Fe esaslı malzemenin tavlama sıcaklığına yaklaşmasıyla beraber yapısında meydana gelen bir miktar yumuşama olabileceği düşünülmektedir.

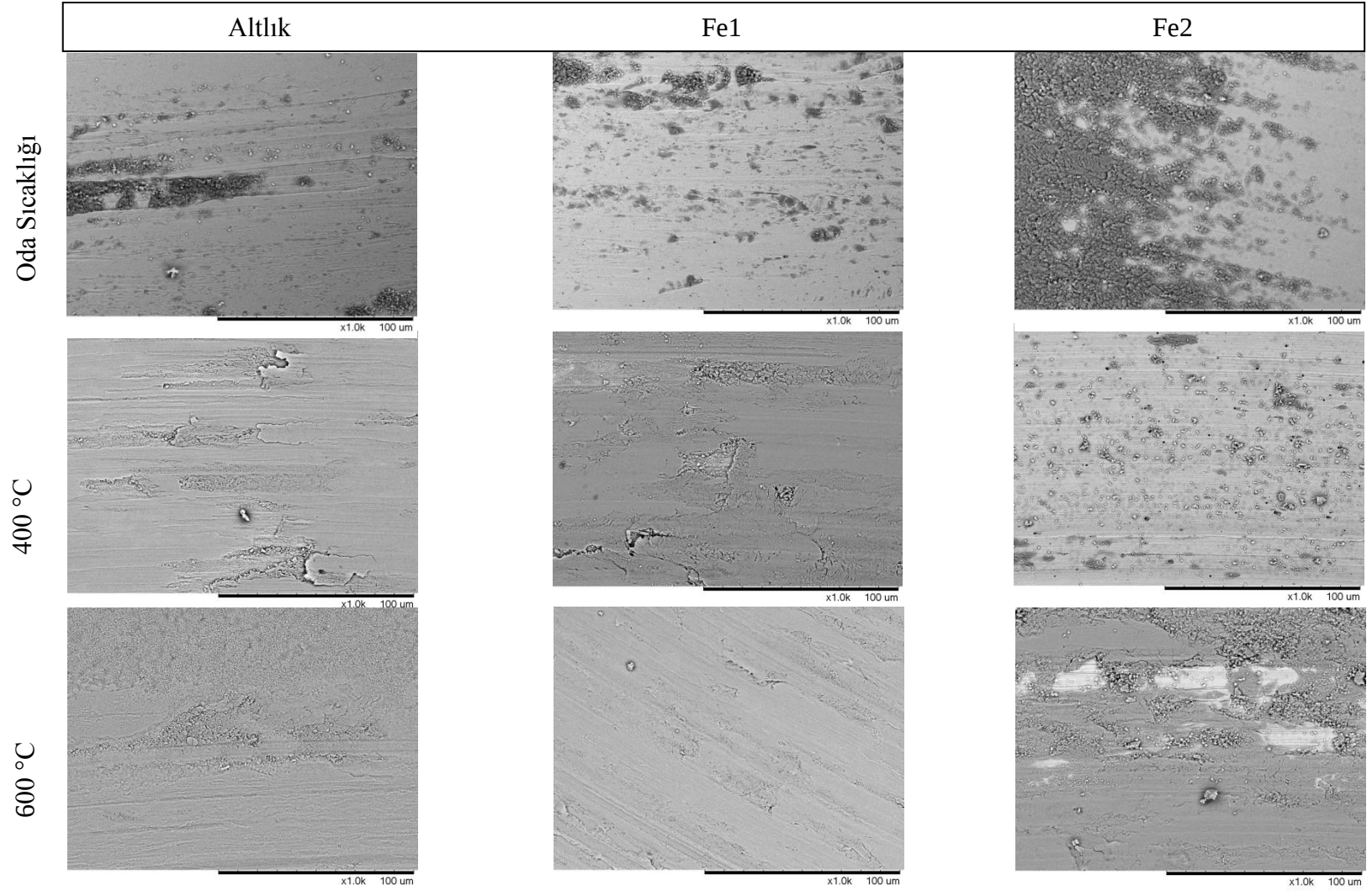
Fe esaslı ve ham altlık numunelerinin farklı sıcaklıklardaki aşınma testleri sonrası oluşan aşındırıcı top yüzeyleri Şekil 5.5’te; aşınma yüzeyleri ise Şekil 5.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.3: 400 °C ve 600 °C sıcaklıklarında Fe1 ve Fe2 elektrotları ile kaynaklı numunelerin aşınma miktarları ve sürtünme katsayıları.

Numune	Aşınma Miktarı 400 °C ($mm^3 \times 10^{-3}$)	Aşınma Miktarı 600 °C ($mm^3 \times 10^{-3}$)
Altlık	2,10	3,20
Fe1	1,96	3,35
Fe2	48,16	4,71
	Sürtünme katsayısı	Sürtünme katsayısı
Altlık	0,57	0,57
Fe1	0,58	0,59
Fe2	0,48	0,52



Şekil 5.5: Fe1,Fe2 ile yapılan kaynakların ve altılığın aşınma deneyleri sonrası aşındırıcı toplarının (Al_2O_3) yüzeyleri.



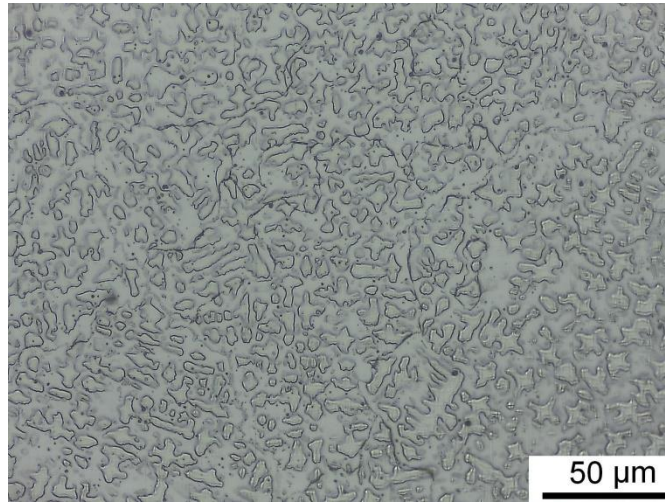
Şekil 5.6 : Fe1,Fe2 ile yapılan kaynakların ve altlığın aşınma deneyleri sonrası yüzeyleri.

5.2 Kobalt Esaslı Kaynak Elektrotları

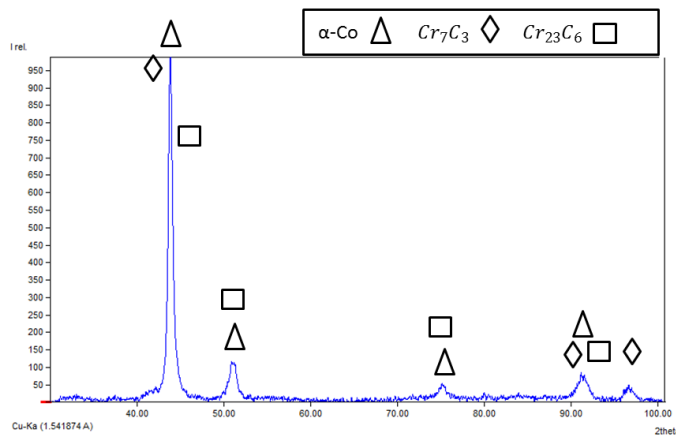
Co1 ve Co2 elektrotlarıyla altlık üzerine sert dolgu kaynağı uygulaması gerçekleştirilmiştir. Karakterizasyon ve testler sonucunda elde edilen sonuçlar bu bölümde tartışılmıştır.

5.2.1 Mikroyapı karakterizasyonu

Co1 elektrodunun kaynak sonrası oluşan mikroyapısı Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Bu yapıya ait XRD analizi (Şekil 5.8) ve mikroyapı (Şekil 5.7) beraberce değerlendirildiğinde, yapıda α -Co matrisi ve yoğun ötektik karbürlerin (Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$) bulunduğu tespit edilmiştir.



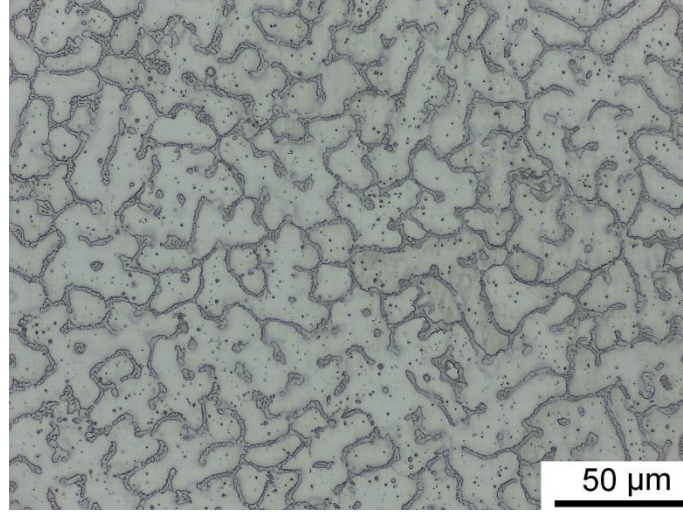
Şekil 5.7: Co1 elektrodu ile yapılan sert dolgu kaynağın mikroyapısı.



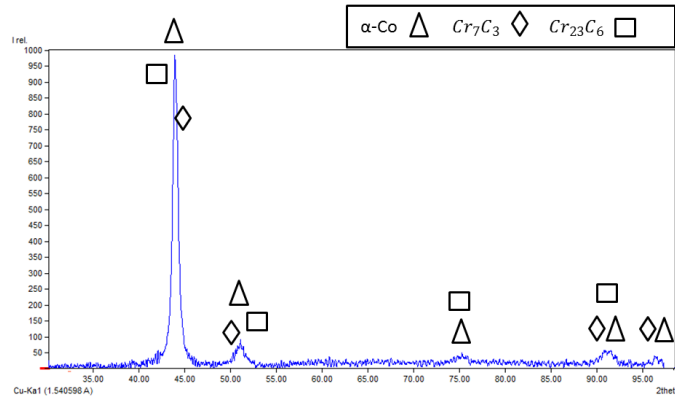
Şekil 5.8 : Co1 elektrodu ile yapılan sert dolgu kaynağının XRD analizi.

Co2 elektrodunun kaynak sonrası oluşan mikroyapısı Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Bu yapıya ait XRD analizi (Şekil 5.10) ve mikroyapı (Şekil 5.9) beraberce

değerlendirildiğinde, yapıda α -Co matrisi ve karbürler (Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$) bulunduğu tespit edilmiştir. Açık gri bölgeler α -Co matrisini; koyu gri bölgeler ise Cr_7C_3 ve $Cr_{23}C_6$ karbürlerini temsil etmektedir.



Şekil 5.9 : Co2 elektrodu ile yapılan sert dolgu kaynağının mikroyapısı.



Şekil 5.10 : Co2 elektrodu ile yapılan sert dolgu kaynağının XRD analizi.

5.2.2 Sertlik ölçümleri

Co1 ve Co2 elektrotlarıyla yapılan kaynakların oda sıcaklığındaki sertlik değerleri aşağıdaki çizelgedeki gibi tespit edilmiştir.

Çizelge 5.4: Co1 ve Co2 elektrotları ile kaynaklı numunelerin oda sıcaklığında sertlik değerleri.

Yüzey	Sertlik (HRC)
Co1	39 $\pm$ 2
Co2	55 $\pm$ 1

XRD analizlerinin benzer görünmesine rağmen, sertlik değerleri bakımından Co1 ve Co2 elektrotları ile yapılan kaynaklar, farklılık göstermektedir. Co1'in yapısında Co2'ye göre daha fazla bulunan Demir(Fe) ve Nikel elementleri, Co1'in yapısında ϵ - Co'a kıyasla daha yumuşak olan α -Co'nun kararlı kalmasına sebep olmuştur. Diğer bir muhtemel sebep ise, Co2 elektrodu ile yapılan kaynağın, işlem sonrası yapılacak deneyler için uygun numune kalınlığına getirilirken, Co1'e göre daha fazla talaş kaldırma işlemine maruz kalması düşünülmektedir. Zira oda sıcaklığında metastabil halde bulunan α -Co, talaşlı imalatın yarattığı deformasyon sertleşmesi etkisiyle, ϵ - Co'a dönüşüm gösterebilmektedir [17].

5.2.3 Aşınma testi sonuçları

İki farklı Kobalt esaslı elektrot (Co1 ve Co2) ile dolgu kaynağı tatbik edilmiş olan numuneler için 3 farklı sıcaklık mertebesinde (Oda Sıcaklığı, 400 °C ve 600 °C) 4N yük altında aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Oda sıcaklığındaki aşınma testi sonuçları Çizelge 5.5'te gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Co2 en az, altlık ise en fazla malzeme kaybı yaşayan numune olmuştur. Test esnasında oluşan oksit tabakalarının dayanıklılığı, bu sıralamada belirleyici faktör olmuştur.

Çizelge 5.5: Oda sıcaklığında Co1 ve Co2 elektrotları ile kaynaklı numunelerin aşınma miktarları ve sürtünme katsayıları.

Numune	Aşınma Miktarı ($mm^3 \times 10^{-3}$)
Altlık	9,87
Co1	7,09
Co2	0,91
Sürtünme katsayısı	
Altlık	0,88
Co1	0,80
Co2	0,83

400 °C ve 600 °C sıcaklık koşullarında aşınma testi sonuçları Çizelge 5.6' da gösterilmiştir.

Elde edilen verilere göre 400 °C'de altlık, dolgu kaynağı yapılmış numunelere göre çok daha iyi aşınma direnci göstermiştir. Kobalt alaşımları orta dereceli sıcaklıklarda (<400 °C) yüzeylerinde ince ve yüzeye daha az tutunan oksit tabakası oluşturmaktadır [18, 19, 20].

Çizelge 5.6: 400 °C ve 600 °C sıcaklıklarında Co1 ve Co2 elektrotları ile kaynaklı numunelerin aşınma miktarları ve sürtünme katsayıları.

Numune	Aşınma Miktarı 400 °C ($mm^3 \times 10^{-3}$)	Aşınma Miktarı 600 °C ($mm^3 \times 10^{-3}$)
Altlık	2,10	3,20
Co1	19,80	9,31
Co2	58,10	3,11
	Sürtünme katsayısı	Sürtünme katsayısı
Altlık	0,57	0,57
Co1	0,61	0,50
Co2	0,51	0,48

Co1 ve Co2 ile yapılan dolgu kaynağı yüzeylerinde 400 °C ‘de aşınma testi esnasında ince ve kırılgan oksit tabakalarının oluştuğu ve bunların parçalanarak yüksek oranda malzeme kaybına sebep olduğu düşünülmektedir. Şekil 5.11’deki top yüzeylerinde Co1 ve Co2 numunelerinin yoğun bir adeziv aşınmaya maruz kaldıkları görülmektedir.

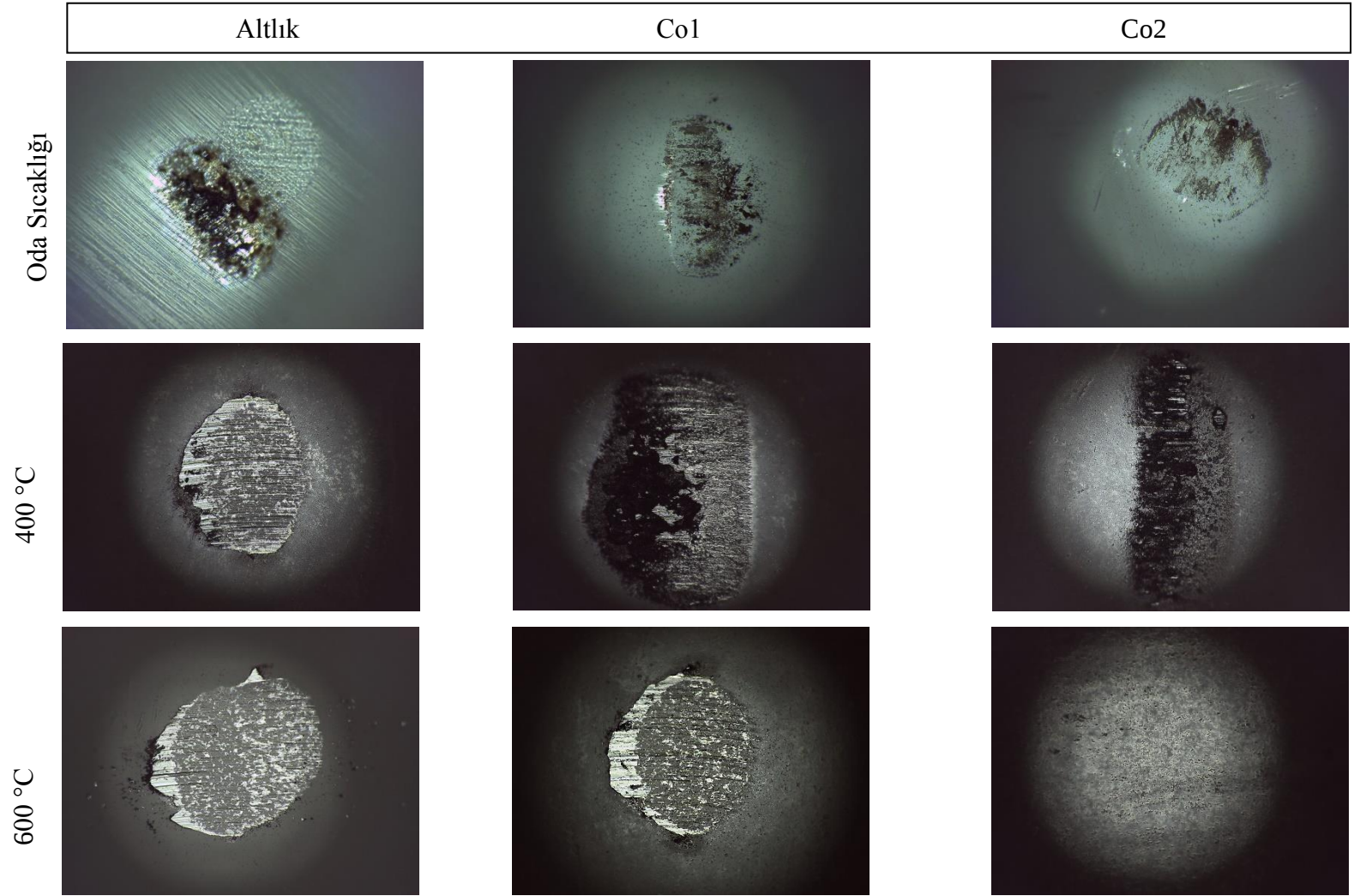
Co2 numunesinde Co miktarı Co1’den daha fazla olduğu için, 400 °C ‘de benzer özellikte (ince ve kırılgan) oksit tabakasından daha fazla oluşup, bununla orantılı olarak daha fazla malzeme kaybı gerçekleştiği düşünülmektedir.

600 °C’de ise Co1 ve Co2 numunelerinin aşınma performansları ciddi oranda iyileşme göstermiştir. Bunun sebebinin 400 °C’nin üstü sıcaklıklarda Kobalt esaslı alaşımlarda oluşan kalın ve dayanıklı Cr_2O_3 ve CoO oksit tabakaları ve bunların yaptıkları yağlayıcı etki olduğu düşünülmektedir.

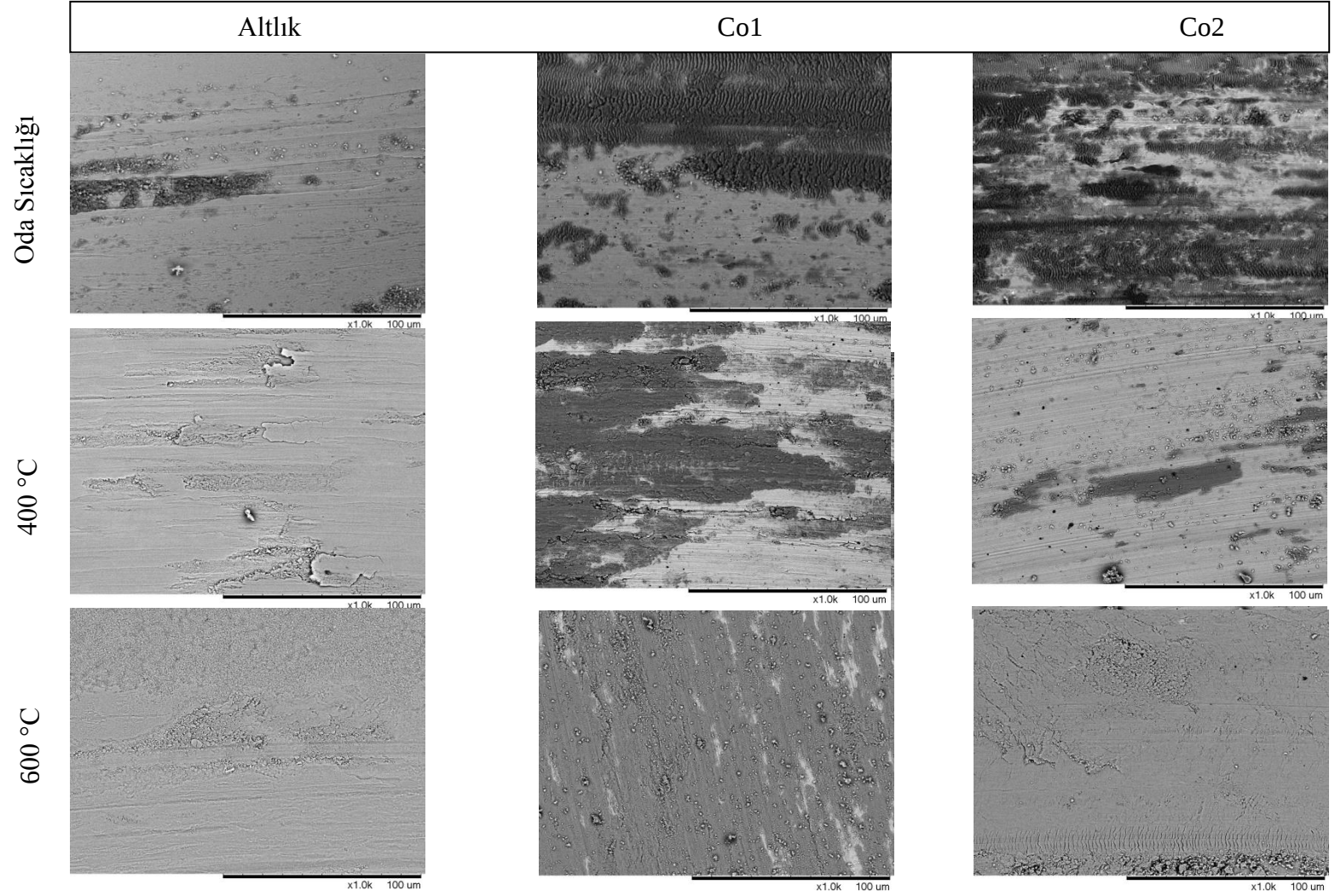
Yine ihtiva ettiği daha fazla Co miktarına bağlı olarak, Co2 numunesi 600 °C’de daha fazla oranda kalın ve dayanıklı Cr_2O_3 ve CoO tabakası oluşturarak, Co1 numunesine göre daha az malzeme kaybetmiştir.

Co esaslı ve ham altlık numunelerinin farklı sıcaklıklardaki aşınma testleri sonrası oluşan aşındırıcı top yüzeyleri Şekil 5.11’de; aşınma yüzeyleri ise Şekil 5.12’de gösterilmiştir.

Böylece 2 adet Fe esaslı, 2 adet Co esaslı ve 1 adet ham altlık malzemesi olmak üzere toplam 5 farklı tip numunenin; 3 farklı sıcaklık mertebesinde aşındırıcı top yüzeyleri ve aşınma yüzeyleri tespit edilmiştir.



Şekil 5.11 : Co1,Co2 ile yapılan kaynakların ve altılığın aşınma deneyleri sonrası aşındırıcı toplarının (Al_2O_3) yüzeyleri.



Şekil 5.12 :Co1,Co2 ile yapılan dolgu kaynaklarının ve altlığın aşınma deneyleri sonrası yüzeyleri

5.3 Lokal Sert Dolgu Uygulaması

Gerçekleştirilen aşınma testlerinin mekanizmaları ile uygulamadaki dövme işleminin mekanizmasının farklılık göstermesinden dolayı, darbe etkisiyle sertleştiği bilinen ve sertlik testi sonuçlarına göre en yumuşak kaynak elektrodu olan (Co1) kullanılmak üzere seçilmiştir.

Kalıbın hasar geçmişi incelendiğinde, üretimin durmasına sebep olan hasarın çok büyük çoğunlukta çapak hattında meydana gelen aşınma olduğu görülmüştür (Şekil 5.13). Bu noktadan yola çıkarak, sert dolgu kaynağı lokal olarak çapak hattına tatbik edilmiştir (Şekil 5.14). Şekil 5.15’ teki kaynaklı kalıbın kullanımı sonrasında elde edilen ilk verilere göre, kalıp ömrü 1250 adetten 1850 adede yükselmiştir.



Şekil 5.13: Çapak hattı hasar görmüş bugi burcu kalıbı



Şekil 5.14 : Lokal dolgu kaynağı çapak hattına tatbik edilmiş kalıp ve yüzey temizlenmiş kalıp



Şekil 5.15: Üretime hazır bugi burcu kalıbı

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

- * Mikroyapı karakterizasyonları sonucunda Fe esaslı elektrotlar ile yapılan kaynakların martenzit,östenit ve α -Fe içerdiği; Co esaslı elektrotların ise α -Co ve ötektik karbürler (Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$) içerdiği tespit edilmiştir.
- * Elde edilen sertlik değerlerine göre, Fe esaslı Fe2 elektrodu 61 HRC sertlik değeriyle en sert yüzey olurken; Co esaslı C1 elektrodu 39 HRC sertlik değeriyle en yumuşak yüzey olmuştur.
- * Hem Fe esaslı hem de Co esaslı elektrotların, oda sıcaklığında aşınma testi sonuçlarına göre, işlemsiz altlık yüzeyinden daha iyi aşınma direnci gösterdiği tespit edilmiştir.
- * Fe esaslı elektrotların 400 °C'de aşınma testi sonuçlarına göre, yüzeyinde dayanıklı oksit tabakası oluşan Fe1; Fe2'ye göre daha iyi aşınma direnci göstermiştir.
- * Fe esaslı elektrotların 600 °C'de aşınma testi sonuçlarına göre,Fe2 yüzeyinde oluşan dayanıklı oksit tabakası 400° C'deki sonuçlarına göre çok daha iyi aşınma direnci göstermesini sağlamıştır. Fe1 yüzeyinde ise az bir miktar aşınma direncinde zayıflama gözlemlenmiştir.
- * Co esaslı elektrotların 400 °C'de aşınma testi sonuçlarına göre, Co1 ve Co2 yüzeylerinde oluşan zayıf ve ince oksit tabakası nedeniyle oksidatif aşınma gözlemlenmiş; oda sıcaklığına göre daha zayıf bir aşınma direnci görülmüştür.
- * Co esaslı elektrotların 600 °C'de aşınma testi sonuçlarına göre, yüzeylerinde oluşan kalın ve dayanıklı oksit tabakası 400 ° C'deki sonuçlara göre çok daha iyi aşınma direnci göstermesini sağlamıştır.
- * Elde edilen aşınma sonuçlarına göre, sıcak çelik dövme işlemi esnasında kalıbın ulaştığı sıcaklık olarak bilinen 600 °C'de en iyi performansı Co2 elektrodu sağlamasına rağmen, yüksek yüzey sertliğinden ötürü (55 HRC) kalıbın işlenmesinin oldukça zor olacağı düşünülerek tercih edilmemiştir.

* Gerçekleştirilen aşınma testlerinin mekanizmaları ile uygulamadaki dövme işleminin mekanizmasının farklılık göstermesinden dolayı, darbe etkisiyle sertleştiği bilinen ve sertlik testi sonuçlarına göre en yumuşak kaynak elektrodu olan (Co1) kullanılmak üzere seçilmiştir.

* Lokal olarak bugi burcu ürününe ait kalıbın çapak hattına tatbik edilen Co1 elektrodu,kalıbın bir sonraki tashihiine kadar ki basılan parça sayısını % 48 artırmıştır.

* Lokal sert dolgu kaynağı işlemi ilave bir proses olduğu için, artı bir maliyet unsurudur. Daha büyük ürünlerin üretildiği kalıplarda, kalıp maliyeti birim ürün maliyetinde daha belirgin rol oynamaktadır. Dolayısıyla uygulamanın yapılacağı kalıbın büyüklüğü arttıkça, lokal dolgu kaynağının birim maliyete getireceği iyileştirme daha fazla olacaktır. Burada önemli husus hangi parçanın kalıbında lokal sert dolgu kaynağının avantaj sağlayacağını önceden tespit edebilmektir.

KAYNAKLAR

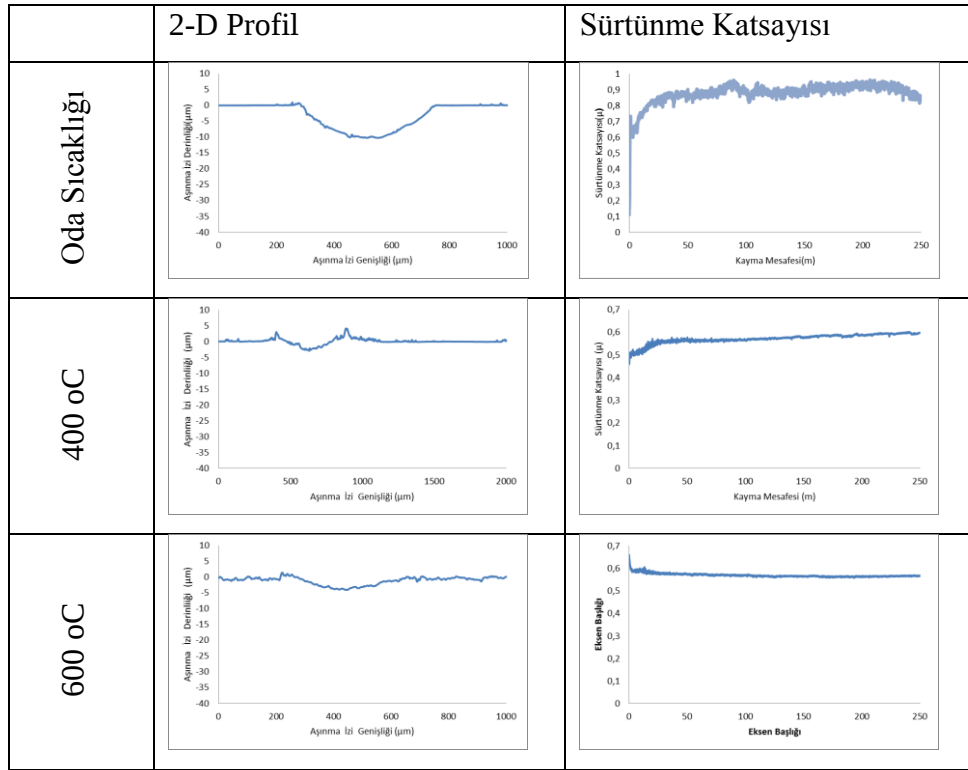
- [1] **T.C. Milli Eğitim Bakanlığı.** (2011).*Metal teknolojisi, yarı açık ve kapalı sıcak iş kalıpları* [pdf sunum]. http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf.
- [2] **Persson, A.** (2004). Strain-Based Approach to Crack Growth and Thermal Fatigue Life of Hot Work Tool Steels, *Scandinavian Journal of Metallurgy*. (Vol. 33), (Sf. 53-64).
- [3] **Ay,I.** *İmalat Yöntemleri II* (Ders Notu). Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Makine Bölümü, Balıkesir.
- [4] **Erişir, E. (2013).** *Malzeme Üretim Teknikleri*(Ders Notu), Kocaeli Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, Makine Bölümü.
- [5] **Çapan L. (1987).** *Dövme Teknolojisi*, Makine Mühendisleri Odası Yayınevi, İstanbul.
- [6] **Url,** <<http://www.indiamart.com/nkforging/drop-forging-hammer.html#drop-forging-hammer>>, erişim tarihi 25.10.2015.
- [7] **Url,** <<http://www.tradekey.com/product-free/Chk80-100-Hydraulic-Forging-Hammer1080903.html>>, erişim tarihi 25.10.2015.
- [8] **Url,** <http://www.lasco.de/umformtechnik/media/archive2/technische_informatioen/Hydraulische_Schmiedehammer_2012_D.pdf>, erişim tarihi 18.04.2013.
- [9] **Url,** <<http://www.tradeindia.com/fp4865/Friction-Forging-Screw-Press-Down-Stroke-.html>> erişim tarihi 25.10.2015.
- [10] **Url,** <<http://forgingmagazine.com/forming/meadville-forging-orders-4000-t>>, erişim tarihi 25.10.2015.
- [11] **Polat, H.** (2006). *Comparisons of methods used for improving life of forging dies* (Master Thesis). Çukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, Adana.
- [12] **Kohopoä, J., Hakonen, H. & Kivivuori.** (1989). *Wear*, Vol.130, (pp. 103-112).
- [13] **Oğuz, B.** (1993). *Aşınma Sorunları ve Dolgu Kaynakları*, Oerlikon Yayınları.
- [14] **Dikicioğlu, A., Vural, Murat** (1993). *Sert Dolgu Kaynağı İle Tamir Bakım*, Makine Mühendisleri Odası Yayınevi, İstanbul.
- [15] **Atabey, M.** (2006). *Sıcak dövme kalıplarında sert dolgu kaynağıyla iyileştirmeler* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] **Url,** <<http://kespar.co.uk/kespar-wielding/>>, erişim tarihi 22.04.2015.

- [17] **Cassina, J.C., Machado, I.G.** (1992). Low stress sliding abrasion resistance of cobalt-based surfacing deposits welded with different processes, *Welding Research Supplement*, American Welding Society, USA
- [18] **Radu I, Li DY.** Investigation of the role of oxide scale on Stellite 21 modified with yttrium in resisting wear at elevated temperatures. *Wear*, 259, 453–458.
- [19] **Nsoeise, S., Liu, R., Jiang, K., and Liang, M.** (2013). High-temperature hardness and wear resistance of cobalt - based Triballoy alloys, *International Journal of Material and Mechanical Engineering*, 2, 48-46.
- [20] **Korashy, A., Attia, H., Thomson, V., Oskoei, S.**(2015). Characterization of fretting wear of cobalt- based superalloys at high temperature for aero-engine combustor components, *Wear*, 330-331, 327-337.

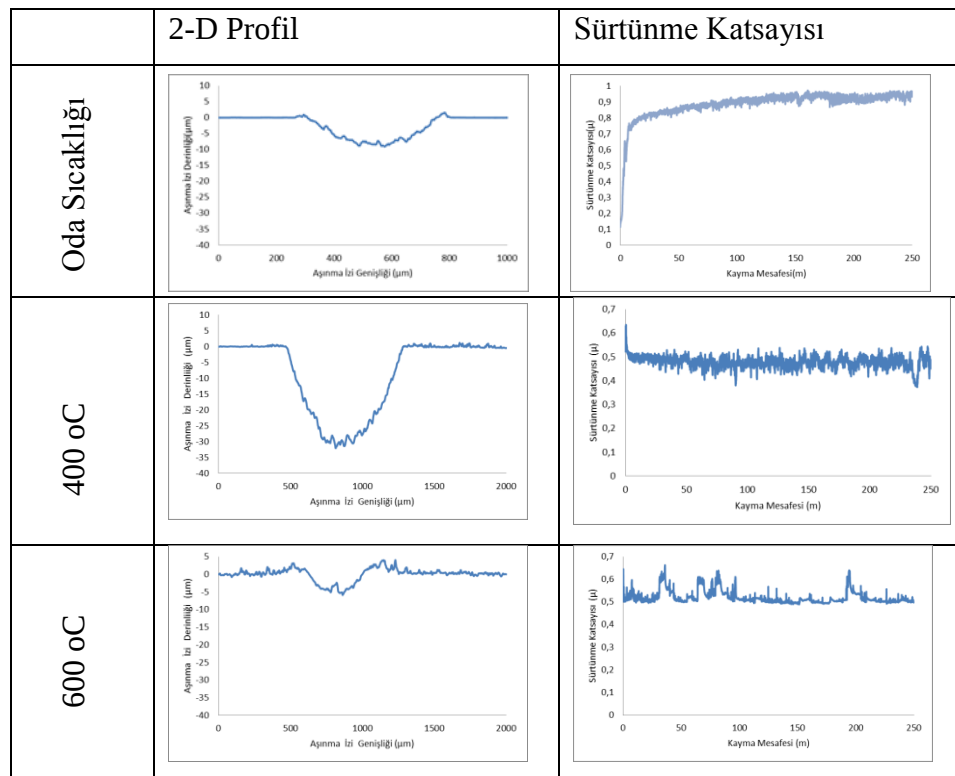
EKLER

EK A- Oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda 2 boyutlu aşınma izleri profilleri ve sürtünme katsayıları.

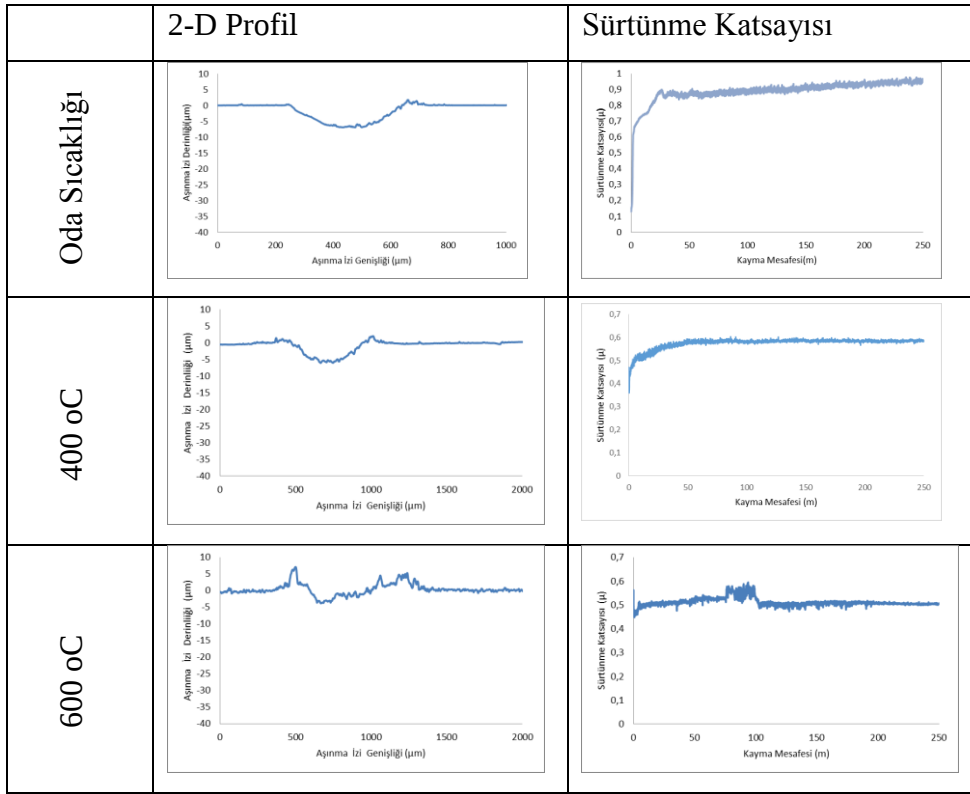
EK A



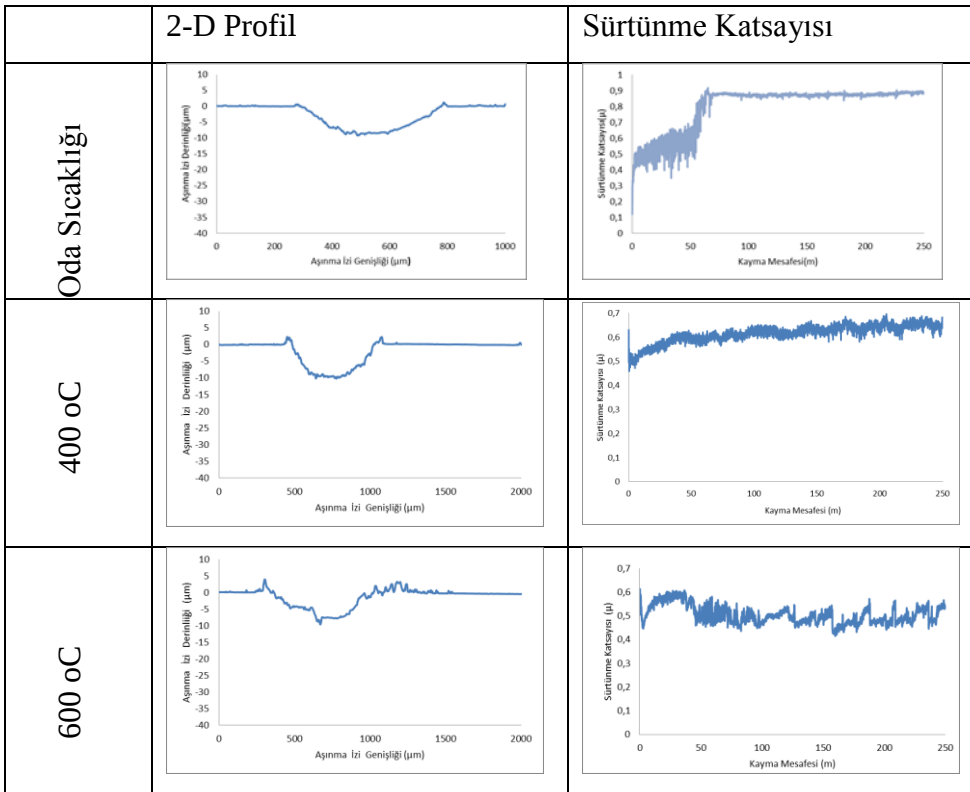
Şekil A1: Altlık numunesine ait 2-D aşınma yüzey profilleri ve sürtünme katsayısı grafikleri.



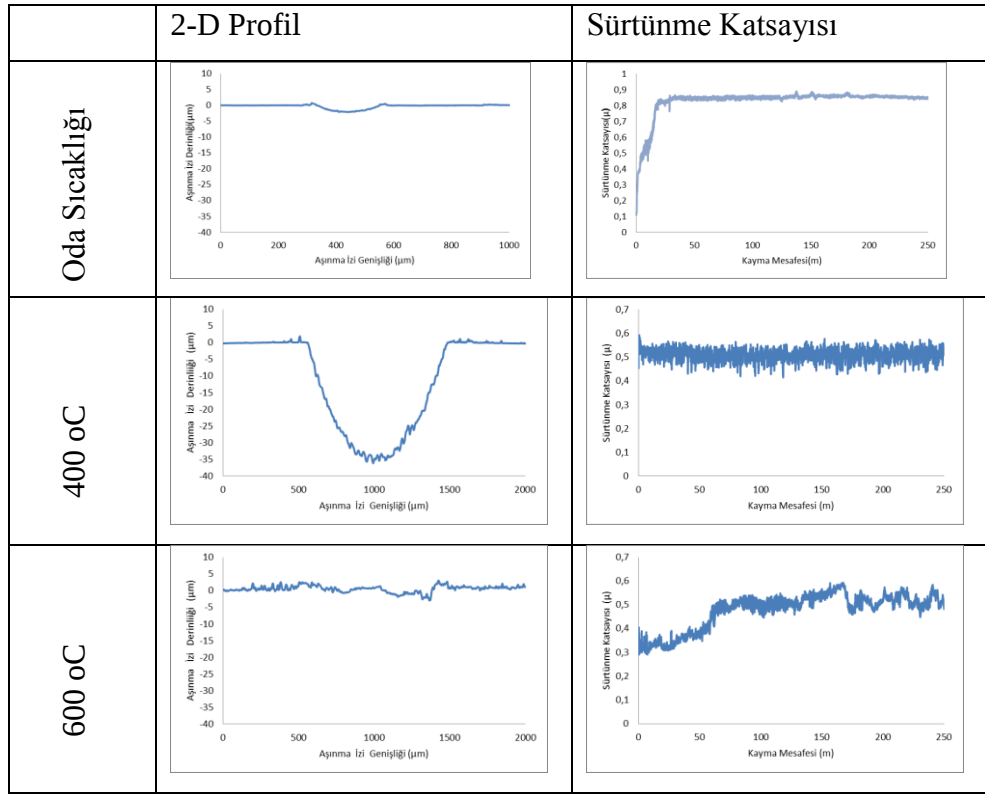
Şekil A2: Fe2 numunesine ait 2-D aşınma yüzey profilleri ve sürtünme katsayısı grafikleri.



Şekil A3: Fe1 numunesine ait 2-D aşınma yüzey profilleri ve sürtünme katsayısı grafikleri.



Şekil A4: Co1 numunesine ait 2-D aşınma yüzey profilleri ve sürtünme katsayısı grafikleri.



Şekil A5: Co2 numunesine ait 2-D aşınma yüzey profilleri ve sürtünme katsayısı grafikleri.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Alpkan Yılmaz

Doğum Tarihi ve Yeri: 28.01.1988

E-posta : alpkan.yilmaz@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği