

AISI D3 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİ ZİMBALARINDA SIFIR ALTI / KRİYOJENİK İŞLEMİN AŞINMAYA ETKİSİ

Yusuf ARSLAN^a, Ahmet ÖZDEMİR^b

^aDüzce Üniversitesi Düzce M.Y.O. Makine Bölümü
Tel:0-380-5240100 Düzce/Türkiye, yusufarслан@duzce.edu.tr

^bGazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü
Tel:0-312-2028600 Ankara/Türkiye, ahmetoz@gazi.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, AISI D3 takım çeliğinden yapılmış DIN 9861 zimbaya yapılan kriyojenik işlemin, zımbanın aşınma davranışına etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla D3 takım çeliği zimba -145C°'de kriyojenik işleme tabi tutulmuştur. Kriyojenik işlem öncesi ve sonrası zımbaların sertlik değerleri ve boyutları ölçülmüştür. İşlem yapılmış ve yapılmamış D3 takım çeliği zımbalar ile 1,5 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik (AISI 304) sac levhalar işlenerek delme deneyleri yapılmıştır. Herbir zimba 500, 1000, 1500, 2250, 3000 delme sonunda ağırlık kaybı, delme ucu alın ve yanak aşınmaları mikroskop görüntüleri, SEM görüntüleri ve mikroyapı görüntüleri elde edilmiş ve değerlendirilmiştir. Delme zımbası için çok düşük kalan sayıları sayılar için dahi kriyojenik işlemin D3 takım çeliği zımbaların aşınma direncini artırmış olduğu görülmüştür.

Anathar Kelimeler: Delme zımbası, Kriyojenik işlem, Zimba aşınması

1.Giriş

İmalat sanayisinde birçok sektöre hitap eden sac metal parça üretimi günümüzde zimba makineleri ile gerçekleştirilmektedir. Seri ve özdeş parça üretimi amaçlı olan makineler NC ve CNC kontrollü olup sac şekillendirmede kullanılan zımbalama kalıp takımları pahalı yatırımlardır. Kalıp ekipmanlarından delik zımbaları silindirik başlı ve havşa başlı olmak üzere değişik formlarda yapılır ve kullanılırlar. Zımbalar kalıpta iş parçasının delme ve kesme işlemini gerçekleştiren elemanlar olup, kaliteli soğuk iş takım çeliklerinden (DIN 2842, 2080, 2379,2767 vb.) imal edilir ve sertleştirilerek (58-62 HRC) taşlanırlar. Günümüzde bazı ölçülerdeki zımbalar hazır olarak bulunmakta ancak çap ölçüleri büyüdükünde ve özel profilli zımbalar gerekli olduğunda özel imal edilmesi gerekmektedir.

Seri üretimin yeni teknolojilerinden olan zimba makinelerinde yapılan hızlı üretimin kusursuzluğu ve verimliliği önemli olup bu durum tamamen zimba-kalıp ve işlenen parçanın özellikleriyle ilişkilidir. Kaliteli ve firesiz işler üretmek ve maliyetleri düşürmek için kesme kalıplarında zimba aşınmasını önlemek önem kazanmaktadır. Sahip olduğu mekanik özelliklerinden dolayı geniş kullanım alanına sahip paslanmaz çelik sac malzemeden ürünlerin delme makinelerinde verimli işlenmesi önemli hale gelmiştir. Kimyasal ve mekanik özelliklerinden dolayı bu malzemeden ürünlerin delme makinelerinde işlenmesinde sık zimba değiştirme zorunluluğu meydana gelmektedir. Zimba ömrünü artırmak ve aşınmaları azaltmak için alternatif çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Yeni bir uygulama olan sıfırlatı/kriyojenik işlemin özellikle krom içerikli malzemelere uygulandığında kesici takımda meydana gelen aşınma miktarı üzerinde etkili olduğu ve çoğu kesici takım malzemelerinin takım ömrünü uzattığı bilinmektedir. Bu işlem; kaplamaların aksine parçanın tümünü etkileyen, bir kereye mahsus yapılan kalıcı bir işlemdir. Ayrıca zimba makinelerinde kriyojenik işlemin AISI D3 zimba performansı üzerine etkisini içeren literatürde bir çalışma bildirilmemiştir.

Kriyojenik işlem; yüksek aşınmaya maruz kalan takımlarda aşınma direncini artırma amaçlı uygulanan modifye edilmiş bir soğutma işlemidir. Takım çeliklerine uygulanan geleneksel sertleştirme

yöntemlerinde çelik östenitleme işleminin ardından çelik cinsine bağlı olarak çeşitli soğutma ortamlarında en düşük tabii sıcaklık olan oda sıcaklığına kadar soğutulur ve martenzitik yapı elde edilir. Oda sıcaklığına kadar yapılan konvansiyonel soğutmayla bu tür çeliklerin bünyesinde yüksek oranda kalıntı östenit olarak adlandırılan metastabil faz bırakılır. Takımın aşınma direncini olumsuz yönde etkileyen kalıntı östenit fazını gidermenin en etkili yolu konvansiyonel soğutmanın ardından kriyojenik işlemin uygulanmasıdır. Kriyojenik işlem -196°C sıcaklıklara kadar inerek ısı işlemi daha etkin ve sorunsuz hale getirmiştir. Bu işlem ile kalıp ömrü 4 kat arttırılır; yüksek aşınma direnci; yüksek tokluk, yüzeyde düşük sürtünme elde edilebilmiştir. Ayrıca tel erozyon sonrası çatlama riski en aza indirilmiştir [1, 2].

Firouzdor ve arkadaşları [3], karbonlu çeliklerin yüksek hız ve kuru kesme şartlarında M2 HSS matkaplarla delinmesinde kriyojenik işlemin, aşınma direnci ve takım ömrü üzerine etkisini araştırmışlardır. Deneysel sonuçlar, kriyojenik işlem ve ısı işlem uygulanmış matkap ömürlerinde sırasıyla %77 ve %126 iyileşme sağladığını belirlemişlerdir. Yine Fredj ve arkadaşları [4], kriyojenik soğutma uygulaması ile AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin yüzey kalitesi iyileştirmeye çalışmışlardır. Deneysel sonuçlarında, kriyojenik soğutma en düşük taşlama sıcaklığını yol açarken, taşlama kuvvetine etki etmemiştir. Kriyojenik soğutmalı taşlama ile yüzey pürüzlülüğünde %40'tan daha fazla bir iyileşme gerçekleştirilmiştir. Sreerama Reddy ve arkadaşları [5] kaplamalı WC ISO P-30 tornalama uçlarını kriyojenik işleme (-176°C) tabi tutmuşlardır. İşleme çalışmaları, hem kriyojenik işlem uygulanmış hem de uygulanmamış tungsten karbür kesici takım uçları kullanılarak C45 iş parçası üzerinde yapılmıştır. C45 çeliğin işlenmesinde kriyojenik işlem uygulanmış karbür takımların yanak aşınması, kriyojenik işlem uygulanmamış karbür takımlarından daha düşük olmuştur. C45 çeliğinin işlenmesi sırasındaki kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri, kriyojenik işlem uygulanmış karbür takımlarda daha düşük olarak ölçülmüştür. Akhbarizadeh ve diğerleri [6], D6 takım çeliğinin aşınma direnci üzerine kriyojenik işlem uygulamasının etkileri araştırmışlardır. Bulgular, kriyojenik işlemin kalıntı östeniti azalttığını ve aynı zamanda aşınma direncini ve sertliği iyileştirdiğini göstermiştir. Kalıntı östenitin eliminasyonu ile birlikte daha iyi homojenize olmuş karbür dağılımından dolayı derin kriyojenik işlem, sıg kriyojenik işlem ile karşılaştırıldığında aşınma direnci ve sertlikte iyileşme göstermiştir. Da Silva ve arkadaşları [7], kriyojenik işlem uygulanmış yüksek hız çeliği kullanarak yaptıkları çalışmada, takım ömrünü ve verimliliğini etkileyen en önemli unsurun kesici malzemesindeki mikro yapı değişikliği olduğunu tespit etmişlerdir. Mikro yapı analizi ile birlikte aşındırma ve sertlik testleri yapmışlar ve kriyojenik işlem uygulanmış takımların avantajlı olduğunu görmüşlerdir. M2 HSS kesici takım numunelerinin mikro sertliği kriyojenik işlemle önemli derecede değişmemiştir. Kriyojenik işlem uygulanmamış numunede gözlemlenen östenit yapının %25'i kriyojenik işlem ile martenzit yapıya dönüşmüştür. Aynı kesme şartlarında kriyojenik işlem uygulanmış takım uygulanmamış takıma göre %44 avantaj sağlamıştır. Sonuç olarak kriyojenik işlemin M2 HSS matkapların performansını artırdığını bildirmişlerdir. Mohan Lal ve arkadaşları [8], kriyojenik işlemin çeliklerde klasik ısı davranışı işlemini tamamlayıcı bir işlem olduğunu vurgulamışlardır. Bu işlem; kaplamaların aksine parçanın tümünü etkileyen, bir kereye mahsus yapılan ucuz ve kalıcı bir işlemdir. Yapılan deneyler sonucunda, kriyojenik işlemin takım ömründe yaklaşık olarak %110'a varan bir iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir. Hatta kriyojenik işlem görmüş takımlar, TiN kaplamalardan bile daha iyi performans göstermiştir.

Lawanwong ve arkadaşları [9], takım endüstrisinde büyük endişelerin birisi takım aşınması olduğundan yaptıkları çalışmada zımba aşınmalarını çalışmışlardır. Bu çalışmada, Paslanmaz çelik kesmek için zımba üzerinde aşınma olayı incelenmiştir. Zımba malzemesi; SKD11 (D2), SKH 51 (M2/HSS) ve SKS3 (O1)dir. Bu zımbaların sertlikleri 59 HRC dir. Deneyler için kalınlığı 2mm olan aynı kalınlıklarda JIS SUS430 paslanmaz çelik kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar; SKH51 düşük aşınma göstermiş, SKD11 ve SKS3. SKH 51'in yüksek miktarda tungsten, molibden ve vanadyum içermesi nedeniyle farklı karbür bileşimleri oluşmuş ve kesme kenarının sert ve uzun ömürlü olmasına sebep olmuştur. Bunun yanı sıra, SKD11 zımba yüksek adhesive göstermiştir. Zımba malzemesi SKS3 düşük kimyasal içerik nedeniyle yüksek aşınma göstermiştir. Üstelik SKS3 zımba kesme kenarı üzerinde

yüksek korozyona maruz kalmıştır. Yüksek tungsten, molibden ve vanadyumlu takım çelikleri yüksek aşınma direncine sahip olduklarını göstermişlerdir. SKS3 zimbada ise düşük kimyasal içerik nedeniyle yüksek aşınma oranı ve yüksek korozyon aşınması tesbit etmişlerdir. Kahraman [10] yaptığı tez çalışmasında, kalıpta kesme işlemi sırasında, matris ile zimba arasına verilen kesme boşluğu etkisini araştırmıştır. Seçilen kesme boşluğu değerinin, sac malzemesinin kalınlığına ve özelliğine göre değiştiğini bildirmişlerdir. Kesilmiş yüzey üzerinde bulunan şekil hataları kesilmiş parçaların ana kusurlarıdır ki bunlar doğruluk ve kaliteyi karakterize ederler. Bu kusurlar temel olarak takım aşınması ve süreç parametreleri ile ilgilidir. Hern'andez ve arkadaşları [11], kesme mekanizması sonucu şekil hataları üzerine takım aşınması etkilerinin teorik modellemesini yapmışlardır. Bu amaca yönelik, yeni bir parametre efektif boşluk adlandırılmıştır. Sonuç olarak; takım aşınması, zimba kesme kenarı geometrisinde ki değişim yoluyla oluşan şekil hataları üzerine efektif boşluğun çok önemli etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Tekiner ve arkadaşları [12], yaptıkları deneysel çalışmada, farklı kalınlıklarda alüminyum sac malzemeleri dört farklı çapta altı farklı boşluk vererek ve zimbalama kuvvetini dikkate alarak incelemişler ve şu sonuçlara varmışlardır. Boşluk değerleri düşürüldüğü zaman, kesme kuvveti artmış ve düzgün kesme gerçekleşmiştir. 1 ve 1,5 mm kalınlığındaki sac metallerin, 0,009 ve 0,064 mm boşluklarda iki parçada düzgün kesme görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü kalitesi için boşluğun düşürülmesinin gerektiği vurgulanmıştır. Boşluk arttığında, köşe büzülmesi derinliği artmış, öte yandan düzgün kesme azalmıştır. Zimba kuvveti ve aşınmasının incelenmesi sonucu, bu malzeme için ideal boşluğun 0,12 mm olduğu bildirilmiştir. Myint ve arkadaşları [13], tungsten karbür (WC) ve yitrium-tetragonal zirkonyum polikristal (Y-TZP) zimbaların aşınma mekanizmalarının değerlendirilmesi adlı deneysel çalışmalarında; takım aşınmasını karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. TZP zimbaların takım ömrünün WC zimbaların ömründen 2,5 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca oluşan boşlukta zimba dışarı alınırken parça kobalt ile kimyasal reaksiyona girmekte ve TZP zimbaların yan yüzeyine mekanik olarak yapışmaktadır. Takım yüzeylerinin EDX analizinde, difüzyon aşınma mekanizması WC zimbalarda tespit edilmiştir. Makro çatlaklar bulunmayan, TZP zimbaların aşınma mekanizması yoğun plastik deformasyon olduğunu belirtmişlerdir. Zimba aşınması sadece zimba boşluğuna bağlı olmayıp, zimba geometrisine, kesilen malzemenin mekanik özelliklerine, zimba-iş parçası malzemesi uyumuna, pres kesme kuvveti, yağlama, iş parçası kalınlığı, kesme sayısı gibi bir çok parametreye bağlı olduğu ve bu parametrelerin delinen işin kalitesini etkilediği ifade edilmiştir [11-17]. Takım aşınması üzerine yapılan araştırmalarda kesme zimbalarının aşınması kalıplardan oldukça yüksek olduğundan zimbaların aşınmaları incelenmiştir [9-17].

Bu çalışmada, yukarıda verilen kriyojenik işlemin takım performansına yaptığı iyileştirmelerden hareketle, AISI D3 takım çeliğinden yapılmış DIN 9861 zimbalar 12 saat süreyle -145C'de kriyojenik işleme tabi tutulmuştur. 25 tonluk zimba makinesinde kriyojenik işlem yapılmış ve yapılmamış D3 takım çeliği zimbalar ile 1,5 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik (AISI 304) sac levhaların her birine 3000 delik delinmiştir. Delme zimbaları üzerinde yapılan kriyojenik işlemin, işlem sonrası zimba sertlikleri, delme sonrası ağırlık kayıpları, optik mikroskop, SEM görüntüleri ve mikro yapıları incelenmiş, zimbaların aşınma davranışına etkileri araştırılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

Delme deneylerinde AISI 304 Östenitik paslanmaz saclar kullanılmıştır. Bu malzemeye ait kimyasal ve mekanik özellikler sırasıyla Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. AISI 304 paslanmaz çeliğinin kimyasal bileşenleri [18]

Malzeme (%)	C	Mn	Si	Cr	S	P	Ni
AISI 304 Östenitik	≤0,08	≤2,00	≤1,00	18,00-20,00	≤0,03	≤0,045	8,0-10,5

Çizelge 2. AISI 304 paslanmaz çeliğinin mekanik özellikleri [18]

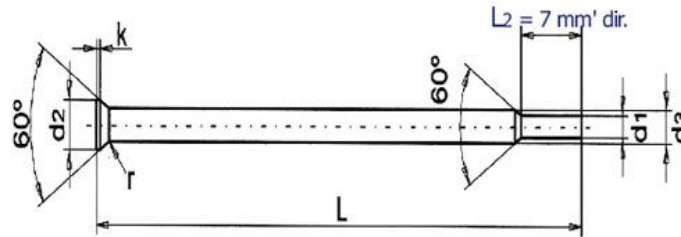
Çekme Dayanımı	Akma Dayanımı	Sertliği Rockwell B	Yoğunluk	Elastisite Modülü
505 MPa	215 MPa	70	8 gr/cc	193-200 GPa

AISI 304 paslanmaz saclar tezgaha bağlama ve nakliye kolaylığı açısından değerlendirilerek 500x500x1.5 mm ölçülerinde delme numuneleri şeklinde hazırlanmıştır. Numunelerin delik yerleşim planı, saç kesme kalıp konstrüksiyonuna uygun olarak aralarında 3 mm olacak şekilde planlanıp delinmiştir.

Menşei belli olan D3 takım çeliği zımba olarak seçilmiştir (Çizelge 3). Delme zımbası olarak AISI D3 soğuk iş takım çeliğinden Ø10x60 DIN 9861 havşa başlı zımba (HBZ) imalatı gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Bu aşamadaki zımbaların nihai sertlik dereceleri 60-61 HRC değerindedir.

Çizelge 3. AISI D3 malzemenin kimyasal içeriği (İmalat Avusturya BÖHLER)

Malzeme (%)	C	Mn	Si	Cr	S	P	Ni
AISI D3	2,00-2,35	0,60	0,60	11,00-	0,0004	0,022	0,30
		maks	maks	13,50			maks

Şekil 1. DIN 9861 havşa başlı zımba (HBZ) ve ölçüleri ($d_1=10$ mm, $d_2=12$ mm, $d_3=10,5$ mm, $L=60$ mm, $k=1,5$ mm) [19].

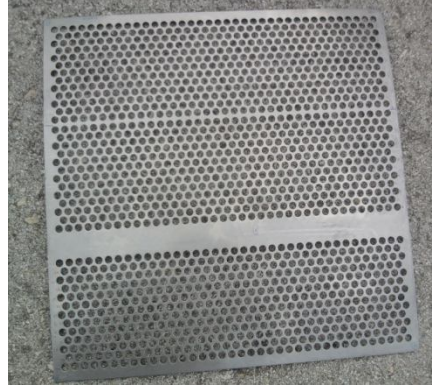
D3 zımbalara ısıl işlem sonrası -145°C 'de sıfır altı/kriyojenik işlem uygulanmıştır. Kriyojenik işlem aşağıdaki şekilde yapıp zımbalar kodlanmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Zımba işlem kodları

Zımba Kodları	İşlem prosesi
1. HT	Sadece ısıl işlem (Kriyojenik işlemsiz)
2. 12HTC	Isıl işlem, 12 Saat -145°C kriyojenik işlem

Kriyojenik işlem sonrası zımbaların sertlikleri Hoytom marka 1003 model sertlik ölçme cihazında tepe açısı 120° olan elmas koni uç ile 1,5 kN yük uygulayarak (0,1 kN ön yüklenme) zımba çevresinden üç ölçüm yapıp ortalaması alınmıştır.

Kalınlığı 1,5 mm olan her bir sac metal plaka üzerinde 1500 delme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Delme deneyleri 25 tonluk hidrolik zımba makinesinde yapılmıştır. Aynı ayrı hazırlanmış ve tezgaha bağlanmış numunelere zımbalar 500'er delik deldikten sonra ağırlık kaybı ölçümü 0-500-1000-1500-2250-3000 delik delme aşamalarının her birinde sırasıyla ELE L 200S Sartorius Laboratory Marka 1 mg hassasiyetindeki terazide ölçme işlemleriyle üç kez yapıp ortalaması alınmıştır.



Şekil 2. Delinmiş paslanmaz sac (500x500x1,5 mm)

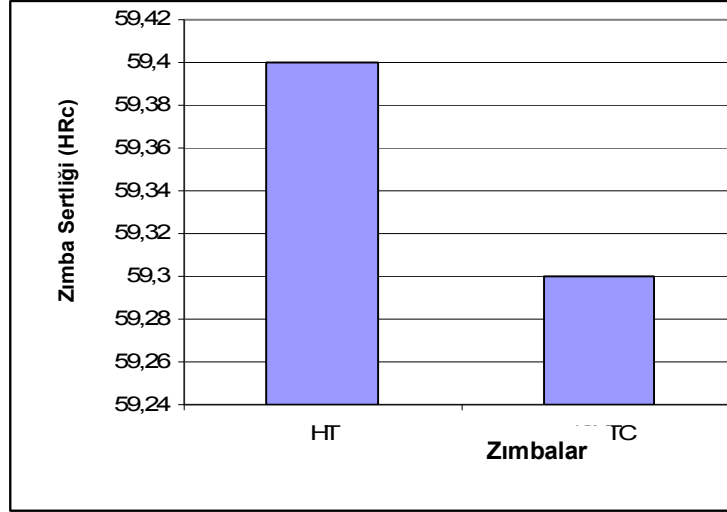
Ayrıca, Jeol Jsm-6060 Lv marka ve model taramalı electron mikroskobu (SEM) ile kesme yüzeyleri aşınma görüntüleri ve kriyojenik işlemin metalurjik etkisini araştırmak için mikro yapı görüntüleri incelenmiştir. Deneylerde sabit kalıp boşluğu kullanılmıştır. Delme işlemlerine başlamadan önce 0,001 mm hassayetindeki mikrometre ile zimbaların çapı ölçülmüştür. Ölçümler 0,001 mm hassayetindeki CMM'de gerçekleştirilmiştir. Ortalama HT kodlu zımbanın çapı 9,989 mm ve 12HTC kodlu zımbanın çapı 9,985 mm olarak ölçülmüştür. CMM ölçüleri sırasıyla 9,991 mm ve 9,988 mm ölçülmüştür.

3. Deney Sonuçları ve Tartışma

3.1. Kriyojenik İşlem Sonrası Zimba Sertlik Değerleri

Hazır zımbalara ait standart uygulanan ısıtma işlem sonrası nihai sertlik derecesi 60-61 HRc'dir. Bu zımbalara uygulanan kriyojenik işlem sonrası sertlikleri 59-60 HRc arasında değişmiştir (Şekil 3). Zimba sertliklerinde ısıtma işlem sonrasına göre yaklaşık 1 HRc civarında değişim görülmüştür. Kriyojenik işlem sonrası zımbaların sertliklerinde çok az düşme olmuştur.

D3 çeliğine ısıtma işlem sonrası yapılan kriyojenik işlemde sertliğin birkaç HRc düşmesini veya bir kez yapılan temperlemeyle tekrar ısıtma işlem sonrası sertliğine ulaşmasını Dhokey ve Nirbhavne'nin çalışmaları desteklemektedir[20]. Onların yaptığı çalışmada, kriyojenik çoklu temperleme yapılmış D3 takım çeliğinin kuru sürtünme aşınması incelenmiştir. -185°C'de 8 saat kriyojenik işlem yapılmış ardından 150°C'de 2 saat olmak üzere bir kez, iki kez ve üç kez temperleme yapılmıştır. İşlemsiz numune sertliği 61 HRc, kriyojenik işlemlerle olan 56 HRc'ye düşmüş ancak bir kez temperlemeyle tekrar 61 HRc'ye çıkmıştır. Temperleme sayısı ikili, üçlü yapıldığında sertlik sırasıyla 58 HRc ve 57 HRc'ye düşmüştür. Çalışma, sadece sertlik verilerinin kriyojenik işlem uygulanmış malzemenin aşınma direncinin değerlendirilmesinde kesin bir karakteristik veri sağlamayacağını göstermiştir [20].

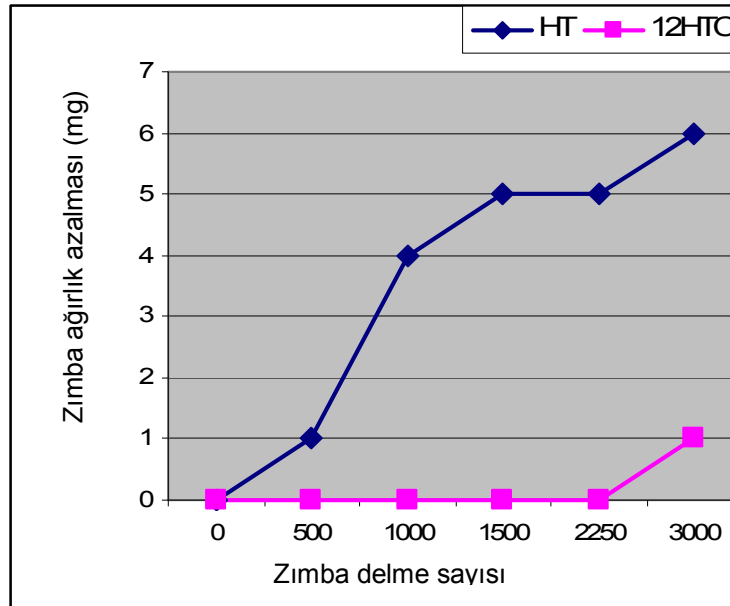


Şekil 3. Kriyojenik işlem sonrası zimba sertlikleri (HT: Sadece ısıl işlem, 12HTC: Isıl işlem ve 12 Saat - 145⁰C'de kriyojenik işlem)

3.2. Delme Sayılarına Göre Zimbaların Ağırlık Kayıpları

Kuru şartlarda yapılan delme deneylerinde; 0-500-1000-1500-2250-3000 delik delme sayılarının her birinden sonra sırasıyla hassas terazide (ELE L 200S Sartorius Laboratory Marka, 1 mg) ölçme işlemleri yapılmış delme sayıları ile zimbalar arasında ağırlıkça kayıp ilişkisi değerlendirilmiştir (Şekil 4).

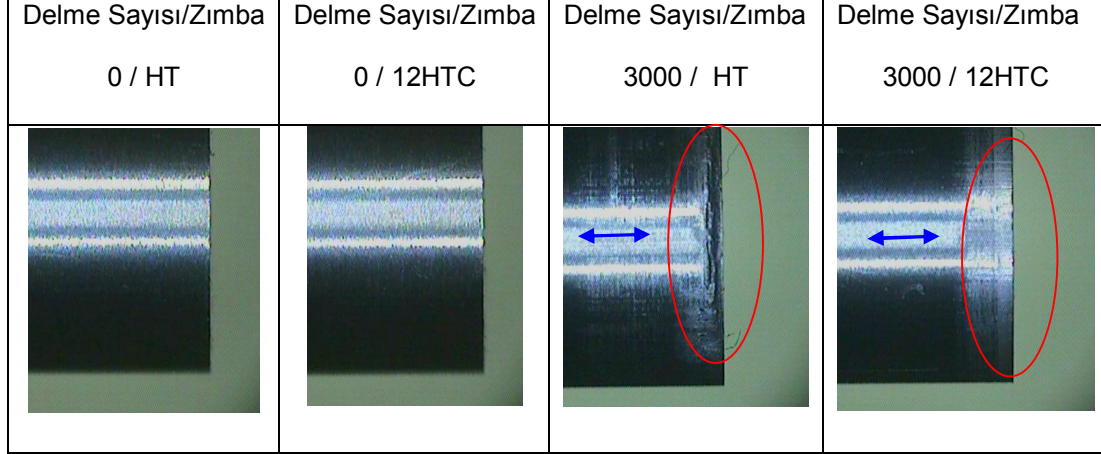
Şekil 4'te Açıkça görülmektedir ki HT kodlu zimba ilk 500 delme işleminde ağırlıkça azalmaya başlamış ve 1000, 1500 delme işlemlerinde hızlı bir azalma göstermiştir. 12HTC kodlu zimba 2250 delmeden sonra ağırlıkça azalmaya başlamıştır. Bu sonuca göre HT kodlu zimba, 12HTC kodlu zimbaya göre henüz 3000 delmede dahi yaklaşık % 85 daha fazla ağırlıkça azalma göstermiştir. Kriyojenik işlem D3 takım çeliği zimba aşınmasına olumlu yönde etki etmiştir.



Şekil 4. Delme sayısı zimba ağırlık azalması arasındaki ilişki (HT: Sadece ısıl işlem, 12HTC: Isıl işlem ve 12 Saat -145⁰C'de kriyojenik işlem)

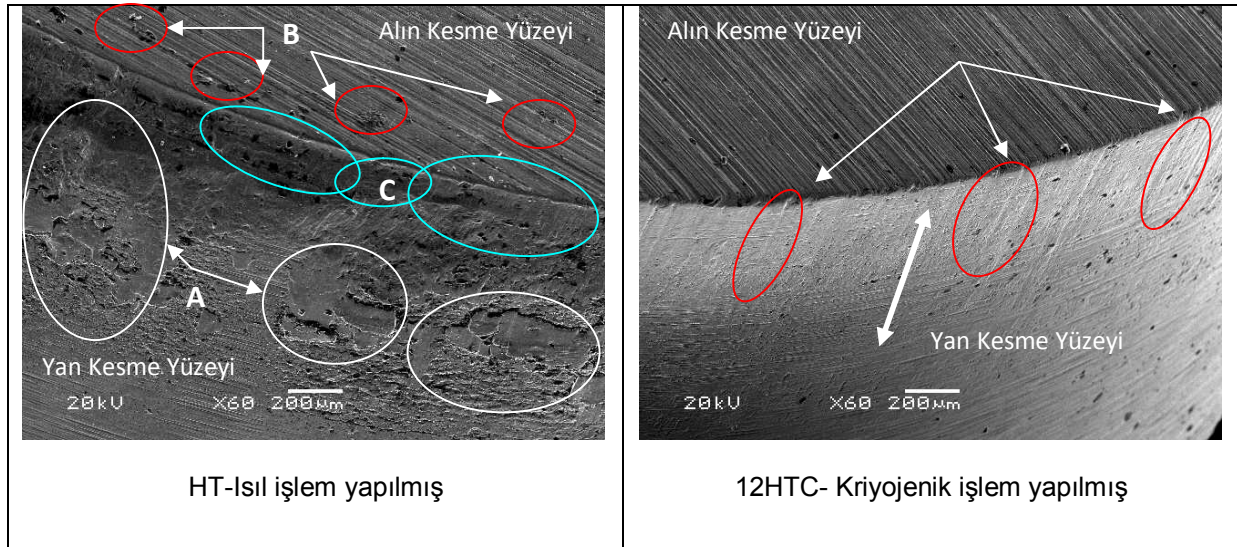
3.3. Optik Mikroskop ve Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntülerinin İncelenmesi

0,001mm hassasiyetindeki Falcon 3-Eksenli Temassız Ölçme Makinesi ile zımba kesme ucu yan kesme yüzeyleri 10x büyütme kamerası yardımıyla 0 ve 3000 delme işlemlerinden sonra görüntülenmiştir (Şekil 5). Bu görüntülerde, işlemsiz zımbanın kriyojenik zımbalara göre yan kesme yüzeyinin daha fazla aşındığı açıkça görülmektedir.



Şekil 5. Zımbaların delme işlemlerinden sonra 10x kesme kenarı yan yüzeyi optik mikroskop görüntüleri (HT:Sadece ısı işlem, 12HTC: Isıl işlem ve 12 Saat -145°C 'de kriyojenik işlem)

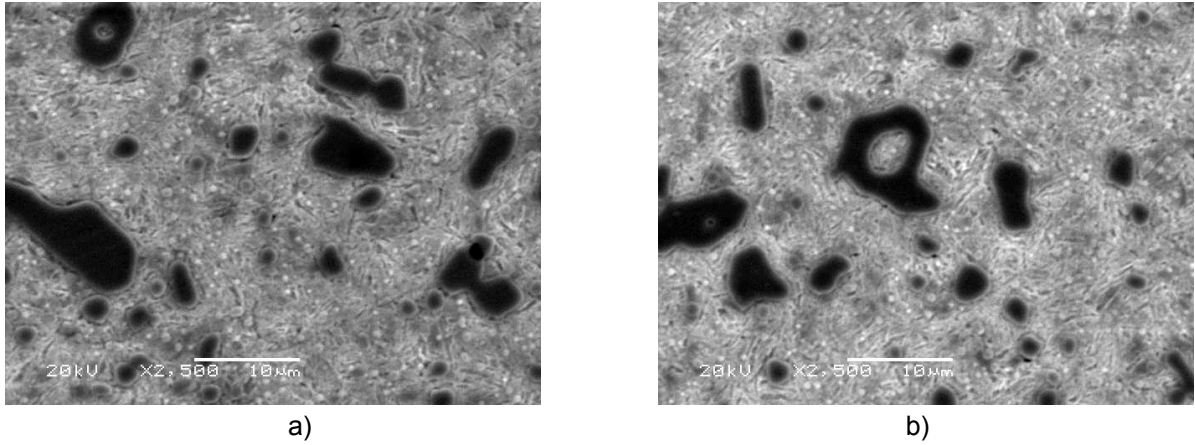
12HTC kodlu zımba ve HT kodlu zımbaların delme işlemlerinden sonra Jeol Jsm-6060 Lv marka ve model taramalı electron mikroskobu (SEM) ile kesme yüzeyleri aşınma görüntüleri incelenmiştir. Şekil 6'da HT kodlu ve 12HTC kodlu zımbaların 60x büyütme kesme kenarı alın ve yan yüzeyleri aşınma SEM görüntülerinde; HT kodlu zımbanın yan yüzeyindeki aşınma (A ile işaretlenmiş) adhezyon görüntüsünü vermiştir. Alın kısmında ise (B ile işaretlenmiş) az miktarda difüzyon aşınması ve plastik deformasyon görülmüştür. Kesme köşe kısmında (C ile işaretlenmiş) plastik deformasyon görülmüştür. Ancak 12HTC kodlu zımbanın yan yüzeylerinde az miktarda kazıma şeklinde abrasif aşınması görülmüştür. Kesme kenarında kaydedeğer bir aşınma görülmemiştir.



Şekil 6. Kriyojenik işlem yapılmamış (HT) ve yapılmış (12HTC) zımbaların 60x büyütme kesme kenarı alın ve yan yüzeyleri aşınma SEM görüntüleri

3.4. Mikroyapı incelemeleri

Mikro yapı incelemeleri, Jeol Jsm-6060 Lv marka ve model taramalı electron mikroskobu (SEM) ile hazırlanan numuneler üzerinden 2500x büyütmede yapılmıştır (Şekil 7). Kriyojenik işlemin mekanik özellikleri artırmadaki temel iki neden mikro yapı ile alakalıdır. Birinci hipotez; işlemin sertleştirme sırasında martenzite dönüşemeyen kalıntı östenit malzemenin sertlik değerini düşürmektedir. Bunu artırmanın yolu martenzit bitiş sıcaklığının soğutma işleminin devam ettirilmesidir. Sıfıraltı işlem olarak adlandırılan bu işlem dönüşümü gerçekleştirip aşınma direncini artırır. İkinci hipotez çökelti fazlarının daha da küçük hale getirilmesiyle mekanik özellikleri geliştirmektir. Sert ve gevrek haldeki çökelti fazları iç gerilmeler nedeniyle daha da küçük parçalara ayrılmaktadır [21]. Mikro yapı incelemenin amacı, artan sertlik değerleri ve iyileştirilen takım ömrünü açıklamaktır. Diğer taraftan, delici ve kesici takımların performansları mikro yapıdaki karbürlerinin özelliklerine bağlı olduğu bilinmektedir [22].



Şekil 7. a) Isıl işlem yapılmış (HT), b) Isıl işlem ve 12 saat kriyojenik işlem yapılmış (12HTC) 2500x

Mikro yapıdaki görüntü iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Birincisi; karbür parçalarının dağılımı kriyojenik işlem görmüş zimbada daha düzgün dağılmıştır. İkincisi; kriyojenik işlem görmüşte karbür hacmi iki kata kadar artmaktadır. Ayrıca bu karbür çoğalması matris malzemedeki karbonun ve alaşım elementlerinin miktarını azaltarak matris malzemesinin sünekliliğini artırmaktadır [21]. Kriyojenik işlem, mikro yapı içerisindeki beyaz karbürlerin yeniden dağılımını, kalıntı östenitin martenzite dönüşümünü ve takım malzemesinin sertliğini artırmış, buda takım aşınmasını azaltarak ömrünü artırmıştır [22]. Görüntülerde (Şekil 7), 12HTC kodlu zimba Şekil 7-b'de beyaz karbürlerin HT kodlu zimba Şekil 7-a olana göre iyice küçüldüğü ve daha homojen dağıldığı görülmektedir. Bu değişim kriyojenik işlem yapılan zimbanın aşınma direncinin diğerine göre daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.

4. Sonuçlar

Kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış AISI D3 soğuk iş takım çeliği zimbalarla AISI 304 paslanmaz sac levhalara 25 tonluk presle yapılan delme işlemleri sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Kriyojenik işlem görmemiş zimba, işlem görmüş zimbalara göre henüz 3000 baskıda dahi yaklaşık % 85 daha fazla ağırlıkça azalma göstermiştir. Kriyojenik işlem D3 takım çeliği zimba aşınmasına olumlu yönde etki etmiştir.

10x büyütmeli kamera görüntülerde, işlemsiz zimbanın kriyojenik zimbalara göre yan kesme yüzeyinin daha fazla aşındığı görülmüştür.

Kriyojenik işlem yapılmamış ve yapılmış zimbaların 60x büyütmeli kesme kenarı alın ve yan yüzeyleri aşınma SEM görüntülerinde; işlemsiz zimbanın yan yüzeyinde adhezyon aşınma görülmüştür. Alın kısmında ise az miktarda difüzyon aşınması ve plastik deformasyon görülmüştür. Zimbanın kesme kenarında plastik deformasyon görülmüştür. Ancak kriyojenik işlem görmüş zimbaların yan

yüzeylerinde çok az miktarda kazıma şeklinde abrasif aşınması görülmüştür. Kesme kenarında ise kaydadeğer bir aşınma görülmemiştir.

Mikro yapı incelemelerinde, kriyojenik işlem yapılmış D3 numunede beyaz karbürlerin işlem yapılmamış olana göre iyice küçüldüğü ve daha homojen dağıldığı görülmüştür. Bu kriyojenik işlem yapılan malzemenin aşınma direncinin diğerine göre arttığını ortaya koymaktadır.

Zimba sertliklerinde ısıtma işlemi sonrasında yaklaşık 1 HRc civarında değişim görülmüştür. Kriyojenik işlem sonrası zimbaların sertliklerinde çok az düşme olmuştur. Bu, sadece sertlik verilerinin kriyojenik işlenmiş malzemenin aşınma direncinin değerlendirilmesinde kesin bir karakteristik veri sağlamadığını teyit etmiştir.

Bu sonuçlar ışığında, kriyojenik işlemin AISI D3 takım çeliği zimbanın aşınma direncine önemli katkısı olduğu tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmanın yapılmasında Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Malzeme ve Metalurji Mühendisliği öğretim üyeleri Prof. Dr. Süleyman TEKELİ ve Doç. Dr. Ahmet GÖRAL'a, Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği öğretim üyesi Doç. Dr. Adem ÇİÇEK ve Mühendislik Fakültesi öğretim üyesi Doç. Dr. İlyas UYGUR'a verdikleri destekten dolayı teşekkür ederiz. Ayrıca, ISI-TAN ISITMA SOĞ.YED.PAR. MAK.SAN.TİC.LTD. Şirketine verdikleri destekten dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

[1] Sub-zero Treatment of Steels, Linda Gas, Special Edition,2010.

[2] www.arslancelik.com

[3] Firouzdor, V., Nejati, E., Khomamizadeh, F., Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill, Journal of Materials Processing Technology, 206, (2008); 467-472.

[4] Fredj, N.B., Sidhom, H., Braham, C., Ground surface improvement of the austenitic stainless steel AISI 304 using cryogenic cooling, Surface & Coatings Technology, 200, (2006) 4846-4860.

[5] SreeramaReddy, T.V., Sornakumar, T., VenkataramaReddy, M., Venkatram. R., Machinability of C45 steel with deep cryogenic treated tungsten carbide cutting tool inserts, International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, Vol. 27, pp. 181-185, 2009.

[6] Akhbarizadeh, A., Shafyei, A., Golozar, M.A., Effects of cryogenic treatment on wear behavior of D6 tool steel, Materials and Design, in Pres.

[7] Da silva, F.J., Franco, D.D., Machado, A.R., Ezugwu, E.O., Souza Jr, A.M., Performance of cryogenically treated HSS tools, Wear, 261, (2006); 674-685

[8] Mohan Lal, D., Renganarayanan, S., Kalanidhi, A., Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steels, Cryogenics, 41, (2001); 149-155

[9] Lawanwong, K., Pornputsiri, N., Luangsopapun, G., An Investigation of Adhesion Wear Behavior of Tool Steel on Blanking Die, 2011 International Conference on Advanced Materials Engineering; IPCSIT Press vol.15 (2011), Singapore.

[10] Kahraman, E., Saç Metal Malzemelerin Kalıpta Kesilebilme Özelliklerine Kesme Boşluğunun Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.

[11] Hern´andez, J.J., Franco, P., Estrems, M., Fuara, F., Modelling and experimental analysis of the effects of tool wear on form errors in stainless steel blanking, Journal of Materials Processing Technology, 180 (2006);143–150.

- [12] Tekiner, Z., Nalbant, M., Gürün, H., An experimental study for the effect of different clearances on burr, smooth-sheared and blanking force on aluminium sheet metal, *Materials and Design*, 27 (2006); 1134–1138.
- [13] Myint M.Y., Fuh, J.Y.H., Wong, Y.S., Lu, L., Chen, Z.D., Choy, C.M., Evaluation of wear mechanisms of Y-TZP and tungsten carbide punches, *Journal of Materials Processing Technology*, 140 (2003); 460–464.
- [14] Al-Momani, E., Rawabdeh, I., An Application of Finite Element Method and Design of Experiments in the Optimization of Sheet Metal Blanking Process, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 2(1) (2008); 53 -63,
- [15] Hambli, R., A code for sheet metal blanking processes optimization, *Journal of Materials Processing Technology*, 141 (2003); 234–242.
- [16] Wang, L., Nie, X., Housden, J., Spain, E., Jiang, J.C., Meletis, E.I., Leyland, A., Matthews, A., Material transfer phenomena and failure mechanisms of a nanostructured Cr–Al–N coating in laboratory wear tests and an industrial punch tool application, *Surface & Coatings Technology*, 203 (2008); 816–821.
- [17] Gréban, F., Monteil, G., Roizard, X., Influence of the structure of blanked materials upon the blanking quality of copper alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, 186 (2007); 27–32.
- [18] www.matweb.com
- [19] www.guvenal.net/urunler.asp?b=kat&KatID=1
- [20] Dhokey, N.B. S., Nirbhavne S., Dry sliding wear of cryotreated multiple tempered D-3 tool steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (2009); 1484–1490.
- [21] Huang, J.Y., Zhu, Y.T., Liao, X.Z., Beyerlein, I.J., Bourke, M.A., Mitchell, E., Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel, *Materials Science and Engineering*, A339(2003); 241-244.
- [22] Çiçek, A., Ekici, E., Uygur, İ., Akıncioğlu, S., Kıvak, T., AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Delinmesinde Derin Kriyojenik İşlemin Takım Ömrü Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, *SDU International Journal of Technological Science*, Vol. 4, No 1, June 2012; pp. 1-9.