

FARKLI SÜRELERDE KRİYOJENİK İŞLEM UYGULANMIŞ AISI D3 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİ ZİMBALARDA AŞINMA DAVRANIŞLARI VE TAKIM ÖMRÜ

Yusuf ARSLAN^{1*}, Ahmet ÖZDEMİR²

¹Düzce Üniversitesi Düzce M.Y.O. Makine, Bölümü Düzce/Türkiye,

²Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara/Türkiye

Özet: Bu çalışmada, AISI D3 takım çeliğinden yapılmış DIN 9861 zımbaya yapılan kriyojenik işlemin, zımbanın aşınma davranışına etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla D3 takım çeliği zımbalar farklı sürelerde -145°C’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 zımba 6000, 12000, 18000, 24000 delme sonunda ağırlık kaybı, delme ucu alın ve yanak aşınmaları mikroskop görüntüleri, SEM görüntüleri ve mikroyapı görüntüleri elde edilmiş ve değerlendirilmiştir. 24000 Delme sayıları için kriyojenik işlemin D3 takım çeliği zımbaların aşınma direncini artırmış olduğu görülmüştür ancak kriyojenik işlem süresi zımba ömrüne önemli bir etki yapmamıştır.

Anathar Kelimeler: Delme zımbası, Kriyojenik işlem, Zımba aşınması, Zımba ömrü

THE EFFECTS CRYOGENIC TREATMENT TIME ON WEAR BEHAVIOUR AND TOOL LIFE OF AISI D3 COLD WORK STEEL PUNCHES

Abstract: In this study, the DIN 9861 pierce punches made of AISI D3 tool steel were subjected to the cryogenic treatment and the wear behaviour of punches were examined. For this purpose, the D3 tool steel punches in 24 and 36 hours were treated in cryogenic at -145°C . The hardness values and dimensions of punches were measured before and after cryogenic treatment. Cryogenic treated and non-treated punches were conducted on the stainless steel sheet metal which has 1,5 mm thickness for piercing. The weight losses each punch were measured at the end of 6000th, 12000th, 18000th, 24000th cycle, the face and flank wears of punches were obtained by the microscope images. Also, SEM images of wear were taken and evaluated. The wear resistance of cryogenically treated punches are found to have increased at 24000 Number of punching, but an increase in cryogenic processing time was not affected the punch life.

Keywords: Piercing punch, Cryogenic treatment, Punch wear, Punch life

* yusufarслан@duzce.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sac metal parça üretimi günümüzde çoğunlukla zımba 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 imal edilir ve sertleştirilerek (58-62 HRC) taşlanırlar. Günümüzde bazı ölçülerdeki zımbalar hazır olarak bulunmakta ancak çap ölçüleri büyüdüğünde ve özel profilli zımbalar gerekli olduğunda özel imal edilmesi gerekmektedir.

Zımba makineleri ile kaliteli, firesiz işler üretmek ve maliyetleri düşürmek için kesme kalıplarında zımba 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 zımba değiştirme zorunluluğu meydana gelmektedir. Zımba ömrünü artırmak ve aşınmaları azaltmak için alternatif çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Yeni bir uygulama olan 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 endüstriyel uygulamalarda farklı sürelerde kriyojenik işlemin AISI D3 zımba aşınma davranışı ve takım ömrü üzerine etkisini içeren literatürde bir çalışma bildirilmemiştir.

Kriyojenik işlem; yüksek aşınmaya maruz kalan takımlarda aşınma direncini artırma amaçlı uygulanan modifiye 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 artırılır; yüksek aşınma direnci; yüksek tokluk, yüzeyde düşük sürtünme elde edilebilmiştir. Ayrıca tel erozyon sonrası çatlama riski en aza indirilmiştir [1, 2].

Arslan ve Özdemir [2], D3 takım çeliği zımbayı -145°C'de 12 saat kriyojenik işleme tabi tutmuşlardır. İşlem yapılmış ve yapılmamış D3 takım çeliği zımbalar ile paslanmaz çelik sac levhalar işlenerek delme deneyleri yapmışlar. Delme zımbası için çok düşük kalan 3000 delme sayılarında kriyojenik işlemin D3 takım çeliği zımbaların aşınma direncini artırmış olduğunu görmüşlerdir. 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 iyileşme sağladığını belirlemişlerdir. Akhbarizadeh ve diğerleri [4], 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 [5], 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 takımın 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 [6], 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 gözlenmiştir. Hatta kriyojenik işlem görmüş takımlar, TiN kaplamalardan bile daha iyi performans göstermiştir.

Hernandez ve arkadaşları [7], 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, zımba kesme kenarı geometrisinde ki değişim yoluyla oluşan şekil hataları üzerine efektif boşluğun çok önemli etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Tekiner ve arkadaşları [8], yaptıkları deneysel çalışmada, farklı kalınlıklarda alüminyum sac malzemeleri dört farklı çapta altı farklı boşluk vererek ve zımbalama 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. Zımba kuvveti ve aşınmasının incelenmesi sonucu, bu malzeme için ideal boşluğun 0,12 mm olduğu bildirilmiştir. Myint ve arkadaşları [9], tungsten karbür (WC) ve yitrium-tetragonal zirkonyum polikristal (Y-TZP) zımbaların aşınma mekanizmalarının değerlendirilmesi adlı deneysel çalışmalarında; takım aşınmasını karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. TZP zımbaların takım ömrünün WC zımbanın ömründen 2,5 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca oluşan boşlukta zımba dışarı alınırken parça kobalt ile kimyasal reaksiyona girmekte ve TZP zımbanın yan yüzeyine mekanik olarak yapışmaktadır. Takım yüzeylerinin EDX analizinde, difüzyon aşınma mekanizması WC zımbalarda tespit edilmiştir. Makro çatlaklar bulunmayan, TZP zımbanın aşınma mekanizması yoğun plastik deformasyon olduğunu belirtmişlerdir. Zımba aşınması sadece zımba boşluğuna bağlı olmayıp, zımba geometrisine, kesilen malzemenin mekanik özelliklerine, zımba-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. Takım aşınması üzerine yapılan araştırmalarda kesme zımbalarının aşınması kalıplardan oldukça yüksek olduğundan zımbaların aşınmaları incelenmiştir [7-13].

Bu çalışmada, kriyojenik işlemin takım performansına yaptığı iyileştirmelerden hareketle, AISI D3 takım çeliğinden yapılmış DIN 9861 zımbalar 24 ve 36 saat süreyle -145C°'de kriyojenik işleme tabi tutulmuştur. 25 tonluk zımba makinesinde kriyojenik işlem yapılmış ve yapılmamış D3 takım çeliği zımbalar ile 1,5 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik (AISI 304) sac levhaların her birine 24000 delik delinmiştir. Delme zımbası üzerinde yapılan kriyojenik işlemin, işlem sonrası zımba sertlikleri, delme sonrası ağırlık kayıpları, zımba alın ve yanak aşınması, optik mikroskop, SEM görüntüleri ve mikro yapıları incelenmiş, zımbanın aşınma davranışına ve zımba ömrüne etkileri araştırılmıştır.

2. YÖNTEM (METHOD)

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

∴Farklı Sürelerde Kriyojenik İşlem Uygulanmış AISI D3 Soğuk İş Takım Çeliği Zımbalarda Aşınma Davranışları ve Takım Ömrü∴.

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

Çizelge 1. AISI 304 paslanmaz çeliğinin kimyasal bileşenleri (Chemical composition of AISI 304 stainless steel) [2]

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

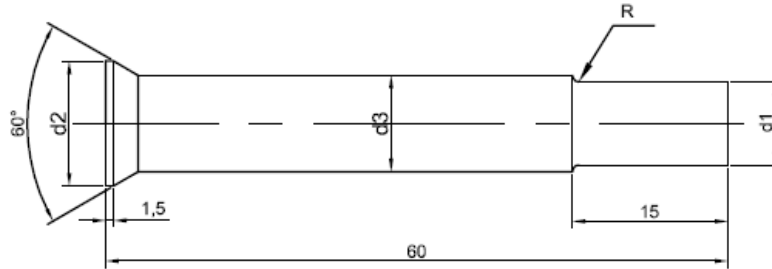
Çizelge 2. AISI 304 paslanmaz çeliğinin mekanik özellikleri (The mechanical properties of AISI 304 stainless steel) [2]

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

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 (The chemical composition of AISI D3 material) (İmalat Avusturya BÖHLER)

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



Şekil 1. DIN 9861 havşa başlı zımba ve ölçüleri (DIN 9861 countersunk head punch and dimensions) ($d_1=10$ mm, $d_2=12$ mm, $d_3=10,5$ mm)

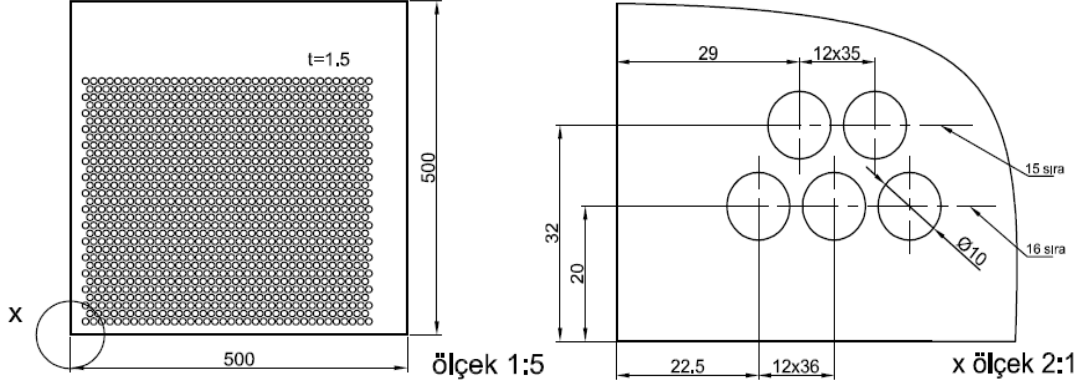
D3 zımbalara ısıtma işlemi sonrası -145°C 'de kriyojenik işlem uygulanmıştır. Kriyojenik işlem aşağıdaki şekilde yapılarak zımbalar kodlanmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Zımba işlem kodları (Punch procedure codes)

Zımba Kodları	İşlem prosesi
HT	Sadece ısıtma işlemi (Kriyojenik işlemlenmemiş)
24HTC	Isıtma işlemi, 24 Saat -145°C kriyojenik işlem
36HTC	Isıtma işlemi, 36 Saat -145°C kriyojenik işlem

Kalınlığı 1,5 mm olan her bir sac metal plaka üzerinde 1101 delme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Delme deneyleri 25 tonluk hidrolik zımba makinesinde yapılmıştır. Ölçme işlemleri için delme aşamaları 0-6000-12000-18000-24000 olarak belirlenmiştir. 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 yapılarak ortalaması alınmıştır. Delinmiş sac malzemenin delik çapak yükseklikleri Fowler marka Sylvac 25 model 0,0001 mm ve 0,001 mm hassasiyet kademeli elektronik komparatör, standart Sylvac marka silindirik ölçme başlığı (kapasite 0-10 mm, ölçme baskı kuvveti 170 g), silindirik başlık bağlama sehпасı ve doğrusal hareket standı, eğim ölçer, pleyt ile kurulan düzenekle gerçekleştirilmiştir. Her delme kademesinde sac levhaların delinen ilk yüz delik içinden rastgele

seçilen üç deliğin çapaklanmış çevresinden eşit olacak şekilde üç çapak yüksekliği ölçme işlemi yapıldı. Bu üç ölçüm sonucu ortalaması ölçülen deliğin çapak yüksekliğini oluşturmuştur. Ayrıca bu üç delik çapak yüksekliğinin ortalaması ise ilgili aşamanın çapak yüksekliğini oluşturmuştur.



Şekil 2. Delinmiş paslanmaz sacın delik yerleşim planı (Layout of the holes punctured stainless steel) (500x500x1,5 mm)

Ağırlık kaybı ölçümü delik delme aşamalarının her birinde sırasıyla ELE L 200S Sartorius Laboratory Marka 1 mg hassasiyetindeki terazide ölçme işlemleriyle üç kez yapıлып ortalaması alınmıştır. Zımba alın yüzeyi görüntüleri AD413ZTA Dino-Lite Pro 2 model, Dino-Lite Digital Microscope Pro marka ölçme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Alın aşınma mesafesi için çevresel altı aşınma mesafeleri ölçülmüş ortalama değerleri kaydedilmiştir [14-16]. Her delme aşamasında aşınan kesme ucu çapının CMM’de ölçümleri alınmıştır. Bu işlem; LK Integra 10-7-6 Dijital marka, 0,001 mm hassasiyetinde 3 Boyutlu Koordinat Ölçme Makinesinde (CMM) çevreden altı nokta ölçülerek yapılmıştır. Aşınma boyları yine aynı firmada bulunan MahrSurf CD 120 marka kontur ölçme makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Aşınmış çap ölçüleri her kademe için hacimsel kayba dönüştürülmüştür. Ayrıca, FEI marka Quanta FEG 250 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 zımbaların çapı ölçülmüştür. Ölçümler 0,001 mm hassasiyetindeki CMM’de gerçekleştirilmiştir. Ortalama HT kodlu zımbanın çapı 10,005 mm, 24HTC kodlu zımbanın çapı 10,003 mm ve 36HTC kodlu zımbanın çapı 10,002 mm olarak ölçülmüştür.

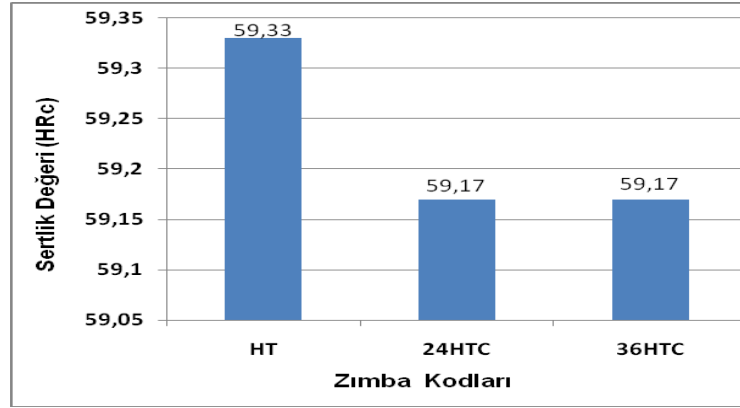
3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

3.1. Kriyojenik İşlem Sonrası Zımba Sertlik Değerleri (After Cryogenic Processing Punch Hardness Value)

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). Zımba sertliklerinde ısıtma işlem sonrasına göre yaklaşık 0,5 HRC’nin altında değişim görülmüştür. Kriyojenik işlem sonrası zımbaların sertliklerinde çok az düşme olmuştur.

D3 çeliğine ısıtma işlem sonrası yapılan kriyojenik işleminde sertliğin birkaç HRC düşmesini veya bir kez yapılan temperlemeyle tekrar ısıtma işlem sonrası sertliğine ulaşmasını Dhokey ve Nirbhavne’nin çalışmaları desteklemektedir[17]. 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 işlemlen 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 [17]. Sonuç olarak, sadece sertlik verilerinin kriyojenik işlem uygulanmış malzemenin aşınma direncinin değerlendirilmesinde kesin bir karakteristik veri sağlamayacağını kanaatine varılmıştır. Ayrıca kriyojenik işlem süresi zımba sertlik değerlerine etki etmemiştir.



Şekil 3. Kriyojenik işlem sonrası zımba sertlikleri (After Cryogenic Processing Punch Hardness Value)

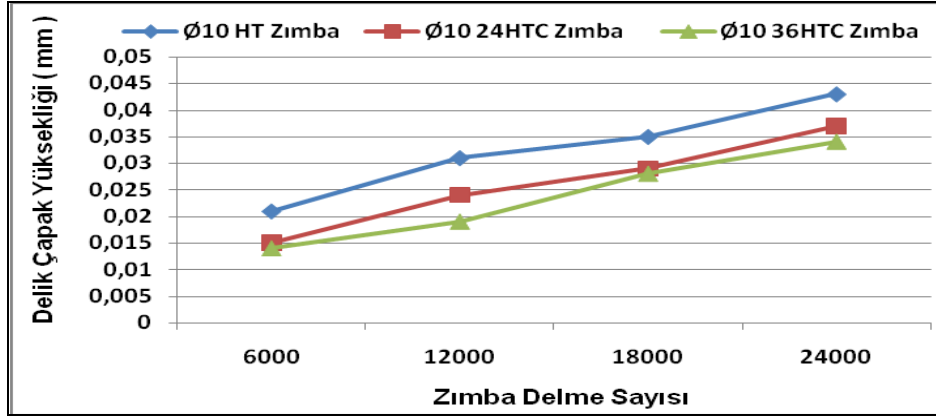
3.2. Zımba Ömrü (Punch Life)

Çapaklanma ürün kalitesini etkiler. Zımba ile açılmış olan bir deliğin çapağı, daima dişi kalıbın boşluğuna yönelik oluşmaktadır (Şekil 4). Kabul edilebilir çapaklanmanın yüksekliği delinmiş malzemenin kullanılacağı yere göre değişir. Eğer zımba kırılmamış ise çapak yüksekliği ömrünü belirler [15, 16, 18-20].



Şekil 4. Kesme işlemi sırasında kesme hattı boyunca sac malzemede oluşan geometri (A: Yuvarlanma, B: Kesme düzlüğü, C: Kopma, D: Çapak) (During the blanking process for blanking sheet material formed in line geometry (A: Rolling, B: Shear flat, C: Fracture, D: Burr) [21])

İşlemsiz HT kodlu zımbaların deldiği deliklerin çapak yüksekliği değişimlerine göre 24HTC kodlu zımbaların deldiği deliklerin çapak yükseklikleri yaklaşık %16, 36HTC kodlu zımbalar ise yaklaşık %26 daha iyi performans sergilemiştir. Kriyojenik işlem süresinin artması yaklaşık %10 daha az çapak artışına sebep olmaktadır (Şekil 5). Ayrıca, artan delme sayısı ile birlikte, delik çapak yüksekliği de lineer olarak artmaktadır.

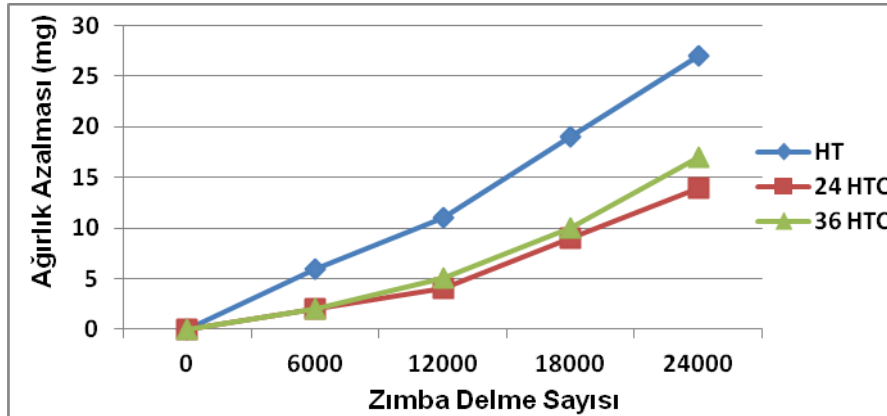


Şekil 5. Delinmiş sacların delik çapak yüksekliği delme sayısı ilişkisi (Number of punching burr height holes of perforated sheet relationship)

3.3. Zımbaların Ağırlık Kayıpları (Weight Loss Of The Punches)

Kuru şartlarda yapılan delme deneylerinde; 0-6000-12000-18000-24000 delik delme sayılarının her birinden sonra sırasıyla hassas terazide ölçme işlemleri yapılmış delme sayıları ile zımbalar arasında ağırlıkça kayıp ilişkisi değerlendirilmiştir (Şekil 6).

Şekil 6'da görüldüğü gibi, HT kodlu zımba ilk 6000 delme işleminde ağırlıkça azalmaya başlamış ve 12000, 18000 ve 24000 delme işlemlerinde hızlı bir azalma göstermiştir. 24HTC ve 36HTC kodlu zımbalar birbirine çok yakın performans göstererek HT kodlu zımbanın yarısı kadar daha az ağırlıkça azalma meydana gelmiştir. 24000 delmede, HT kodlu zımba, 24HTC ve 36HTC kodlu zımbalara göre sırasıyla yaklaşık %93 ve %59 daha fazla ağırlıkça azalma göstermiştir. Kriyojenik işlem D3 takım çeliği zımba aşınma performansını olumlu yönde etki etmiştir. Ayrıca kriyojenik işlem süresi ağırlık azalmasında önemli bir etken olmamıştır.

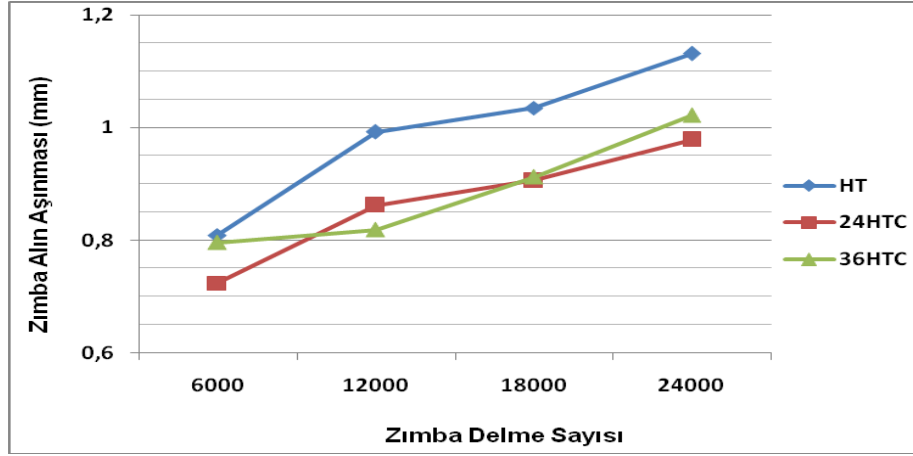


Şekil 6. Delme sayısı zımba ağırlık azalması arasındaki ilişki (The relationship between the number of punching and punch weight reduction)

3.4. Zımbaların Alın Aşınmaları (Face Wear Of The Punches)

Şekil 7'de görüldüğü gibi, HT kodlu zımba, 24HTC ve 36HTC kodlu zımbalara göre 24000 delmede sırasıyla yaklaşık %15 ve %11 daha fazla alın aşınması göstermiştir. Kriyojenik işlem D3 takım çeliği zımba aşınmasına olumlu yönde etki etmiş ancak kriyojenik işlem süresi zımba alın aşınmasına etki etmemiştir. Ölçme sonuçları ve grafikler değerlendirildiğinde kenar

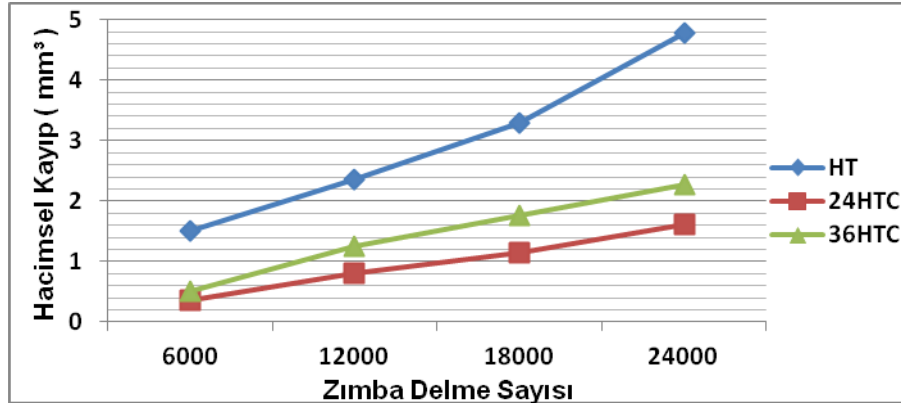
aşınmasına göre önemsiz gibi görünen alın yüzeydeki aşınma mesafelerinin artması yan (kenar) yüzey aşınmasının artmasına sebep olmaktadır [14].



Şekil 7. Delme sayısı zimba alın aşınması arasındaki ilişki (The relationship between the number of punching and face wear)

3.5. Zımbaların Hacimsel Kayıpları (Volumetric Losses Of The Punches)

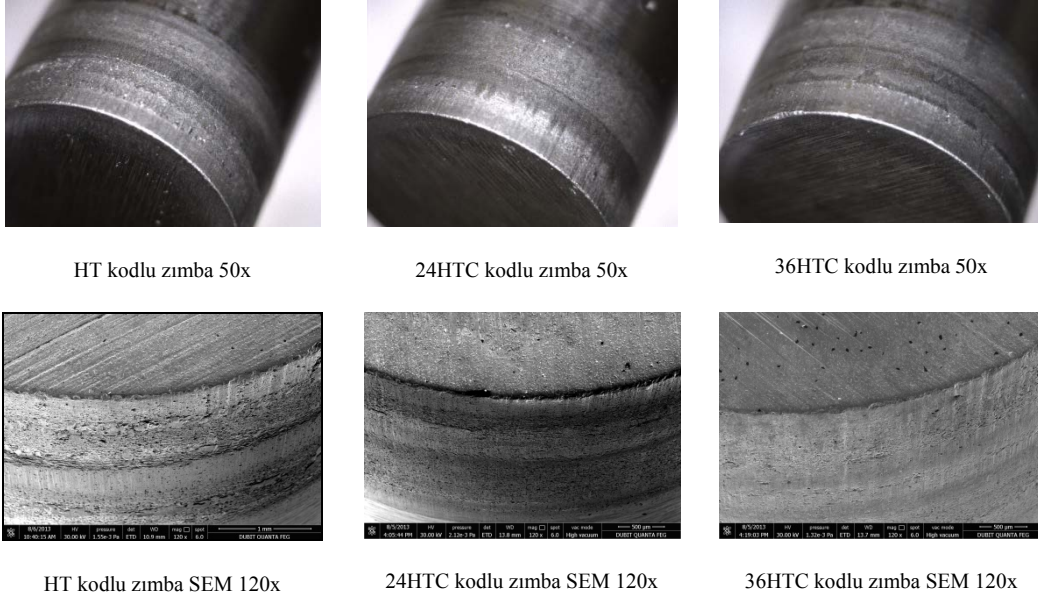
Her delme aşamasında elde edilmiş hacimsel kayıp ve zımbaların delme sayıları ile yan (kesme) yüzey aşınma ilişkisi incelenerek kriyojenik işlemin performansı değerlendirilmiştir (Şekil 8). Şekil 8’de görüldüğü gibi, HT kodlu zimba, 24HTC ve 36HTC kodlu zımbalara göre 24000 delmede sırasıyla yaklaşık %198 ve %111 daha fazla hacimsel kayıp göstermiştir. Özellikle artan delme sayısı ile krojenik işlem görmüş numuneler rijitlik ve stabilitesini korurken, Ht kodlu zımbalar hızla deforme olup hacimsel kayıba uğramışlardır. Genel olarak, Kriyojenik işlem D3 takım çeliği zimba aşınmasına olumlu yönde etki etmiş ancak sürenin artması etkili olmamıştır.



Şekil 8. Delme sayısı hacimsel kayıp arasındaki ilişki (The relationship between the number of punching and volumetric losses)

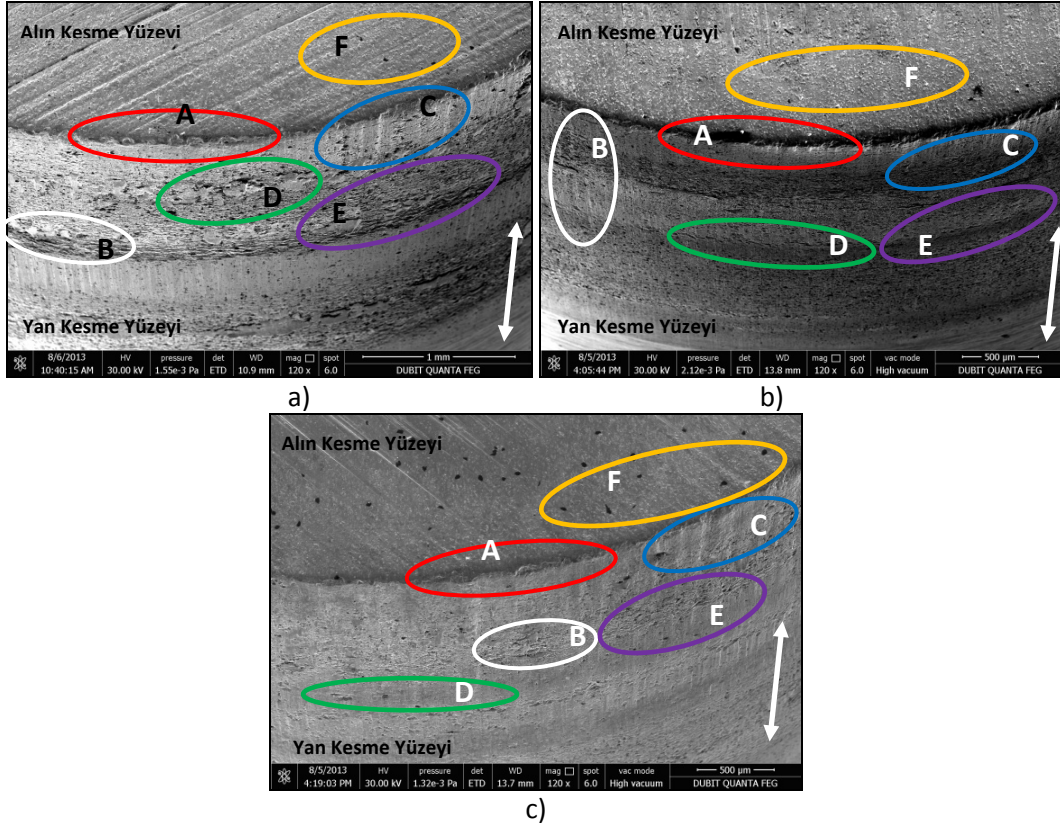
3.6. Optik Mikroskop ve Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntülerinin İncelenmesi (Optical Microscope and Electron Microscope (SEM) Analysis Of Images)

Zimba kesme ucunun 24000 delme sayısında optik mikroskop ve elektron mikroskobu görüntülerinden HT kodlu zımbanın kriyojenik işlem görmüş 24HTC ve 36HTC zımbalara göre kesme yüzeylerinin daha fazla aşındığı açıkça görülmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Delme işlemlerinde kullanılan zımbaların 24000 delme sayısında kesme kenarı dijital mikroskop 50x ve SEM 120x (The number of punch 24000 used in punching operations in punching cutting edge digital microscope 50x and SEM 120x)

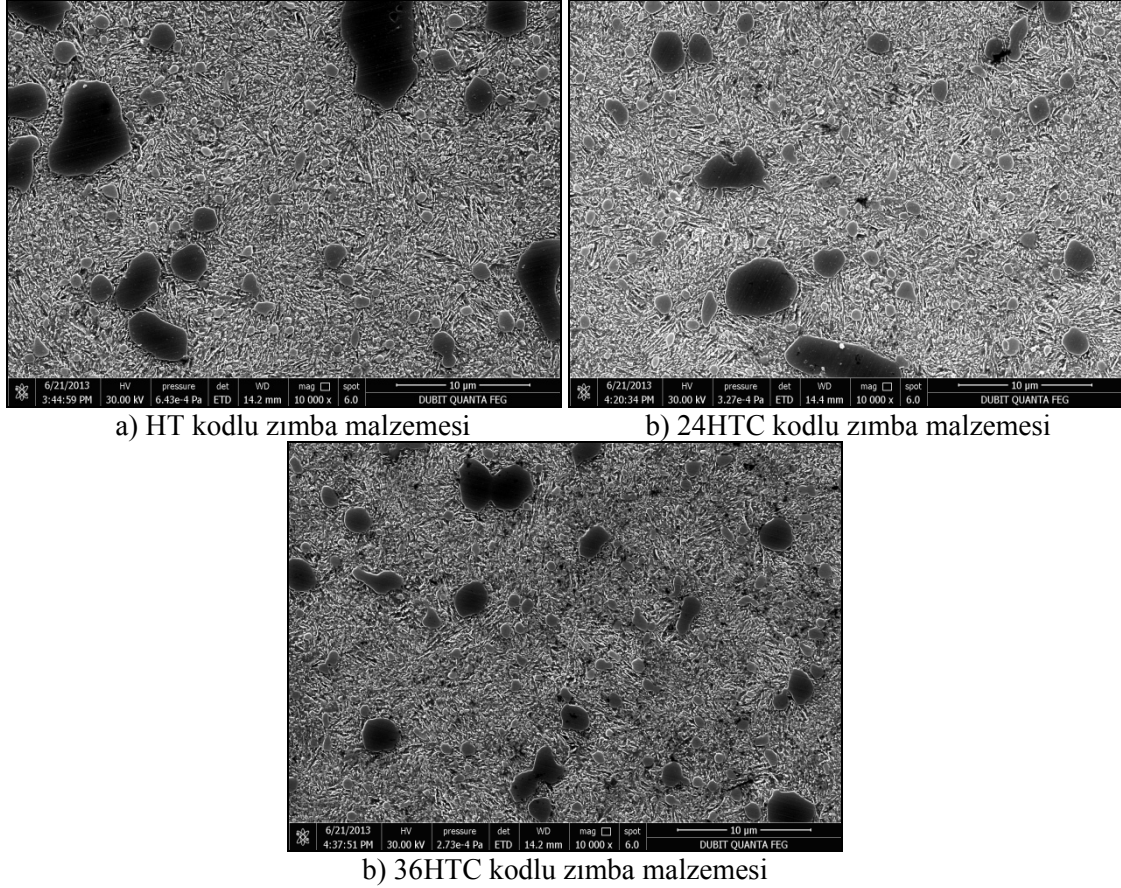
Zımbaların kesme yüzeyi aşınma görüntüleri Şekil 10'da gösterilmiştir. 24000 delme sayısına göre kesme yüzeylerinde işaretlenmiş aşınma bölgeleri incelendiğinde; A ile işaretlenmiş kesme köşesinde ağırlıklı plastik deformasyon ve mikro boyutlarda parçaların kopması ağız dökülmesi biçiminde gerçekleşmiş yorulma aşınması gözlenmiştir. Şekil 9'daki mikroskop resimlerinden de görüldüğü gibi bu aşınma zımbanın ağız çevresinin tamamında mevcut olup plastik deformasyon ve mikro boyutlarda parçaların kopması ağız dökülmesi biçiminde gerçekleşmiş yorulma aşınması şeklindedir. B ile işaretlenmiş bölgede de benzer aşınmalar kendisini yan yüzeyde değişik yerlerde göstermiş olup oymalı abrasif aşınma şeklindedir. C ile işaretlenmiş bölgedeki aşınmalar kendisini özellikle uç kısımlara yakın yerlerde ve değişik yan yüzeylerde az miktarda görünen; öğütmeli (kazıma) abrasif aşınma şeklindedir. D ile işaretlenmiş bölgedeki aşınmalar ise yan yüzey ve çevresinde görülmüş; kayma veya sıvanma (yapışma) aşınması olarak da adlandırılan adhesiv aşınma şeklindedir. E ile işaretlenmiş bölgedeki aşınmalarda yan yüzey ve çevresinde görülmüş olup yüzeylerde bir takım çizikler; adhesiv aşınma şeklindedir. F ile işaretlenmiş bölgedeki aşınmalar ise; yüzeyler arasında yüksek basınç ve yüksek kayma hızlarında daha fazla olan difüzyon aşınması şeklindedir. Yine, alın yüzeyindeki işleme izlerinin plastik deformasyonla aşınarak kaybolmaya başladığı net olarak görülmektedir. Ayrıca, Şekil 10-a'daki HT kodlu zımba aşınmalarının 24HTC ve 36HTC kodlu zımba aşınmalarına göre (Şekil 10-b ve Şekil 10-c) daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 10. Zımbaların kesme yüzeyinin aşınma görüntüsü a) HT kodlu zımba b) 24HTC kodlu zımba c) 36HTC kodlu zımba SEM 120x (The wear image of the cutting surface of punches a) HT coded punch b) 24HTC coded punch c) 36HTC coded punch SEM 120x)

3.7. Mikroyapı incelemeleri (Microstructural Analysis)

Kriyojenik işlemin mekanik özellikleri artırmadaki temel iki neden mikro yapı ile ilgilidir. Birinci hipotez; işlemin sertleştirme sırasında martenzite dönüşemeyen kalıntı östenit malzemenin sertlik değerini düşürmektedir. Bunu artırmanın yolu martenzit bitiş sıcaklığının soğutma işleminin devam ettirilmesidir. Sıfırlama işlemi 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 [2, 22]. 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 [2, 23]. Mikro yapıdaki görüntü iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Birincisi; karbür parçalarının dağılımı kriyojenik işlem görmüş zımbada 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 sünekliğini artırmaktadır [2, 22]. Kriyojenik işlem, mikro yapı içerisindeki beyaz karbürlerin yeniden dağılımını, kalıntı östenitin martenzite dönüşümünü ve takım malzemesinin sertliğini artırmış, buda takım aşınmasını azaltarak ömrünü artırmıştır [2, 23]. Şekil 11’de kriyojenik işlemin malzeme mikro yapısına etkisi gösterilmiştir.



a) HT kodlu zımba malzemesi

b) 24HTC kodlu zımba malzemesi

b) 36HTC kodlu zımba malzemesi

Şekil 11. AISI D3 zımba malzemesi mikroyapı değişimi SEM 10000x (AISI D3 punch material microstructure changes SEM 10000x)

Görüntülerde, 24HTC ve 36HTC kodlu zımba malzemesinde (Şekil 11-b ve Şekil 11-c) karbürlerin HT kodlu zımbaya (Şekil 11-a) göre küçüldüğü ve daha homojen dağıldığı görülmektedir. Ayrıca 36HTC kodlu zımba malzemesinde 24HTC kodlu olana göre karbür parçaları daha düzenli ve daha küçük dağılmıştır. Bu değişim kriyojenik işlem yapılan zımbaların aşınma direncinin artırmıştır.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, farklı sürelerde kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış AISI D3 soğuk iş takım çeliği zımbalarla AISI 304 paslanmaz sac levhalara 25 tonluk presle yapılan delme işlemleri sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Zımba sertliklerinde ısıtıl işlem sonrasında göre yaklaşık 0,5 HRC civarında değişim görülmüştür. Kriyojenik işlem sonrası zımbaların sertliklerinde önemli bir değişim olmamıştır. Bu çalışmada, sadece sertlik verilerinin kriyojenik işlenmiş malzemenin aşınma direncinin değerlendirilmesinde kesin bir karakteristik veri olmadığını göstermektedir.
2. HT kodlu işlemsiz zımba, 24HTC ve 36HTC kodlu kriyojenik işlemlili zımbalara göre 24000 delmede sırasıyla yaklaşık %93 ve %59 daha fazla ağırlıkça azalma göstermiştir.
3. HT kodlu işlemsiz zımba, 24HTC ve 36HTC kodlu kriyojenik işlemlili zımbalara göre 24000 delmede sırasıyla yaklaşık %15 ve %11 daha fazla alın aşınması göstermiştir.

4. HT kodlu işlemsiz zımba, 24HTC ve 36HTC kodlu kriyojenik işlemlili zımbalara göre 24000 delmede sırasıyla yaklaşık %198 ve %111 daha fazla hacimsel kayıp göstermiştir.
5. Kriyojenik işlem yapılmamış ve yapılmış zımbaların 120x büyütmele kesme kenarı alın ve yan yüzeyleri aşınma SEM görüntülerinde; işlemsiz zımbanın yan yüzeyinde ağırlıkla adhezyon ve abrasive aşınma görülmüştür. Alın kısmında ise az miktarda difüzyon aşınması ve plastik deformasyon görülmüştür. Ayrıca, Zımbanın kesme kenarında plastik deformasyon görülmüştür. Ancak kriyojenik işlem görmüş zımbaların delme yüzeylerinde az miktarda abrasive ve adhezyon aşınması görülmüştür. Kesme kenarında ise kayda değer bir aşınma görülmemiştir.
6. Mikro yapı incelemelerinde, kriyojenik işlem yapılmış D3 zımba malzemesinde karbürlerin işlem yapılmamış olana göre küçüldüğü ve daha homojen dağıldığı görülmüştür. Bu kriyojenik işlem uygulanan malzemenin aşınma direncinin artırmıştır. Ayrıca 36HTC kodlu zımba malzemesinde 24HTC kodlu olana göre karbür parçaları daha düzenli ve daha küçük dağıldığı görülmüştür.
7. Kriyojenik işlem süresi AISI D3 takım çeliği zımbalarının aşınma ömrüne önemli bir etki yapmamıştır.

TEŞEKKÜR (THANKS)

Araştırmacılar Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Koordinatörlüğüne 07/2012-47 nolu proje ile verdiği desteklerden dolayı teşekkür eder. Ayrıca, Isı-Tan Isıtma Soğ.Yed.Par. Mak.San.Tic.Ltd. Şirketine, Teknorot Otomotiv Ürünleri San. Tic. A.Ş. ve yöneticilerine, verdikleri destekten dolayı teşekkür eder.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Sub-zero Treatment of Steels, Linda Gas, Special Edition,2010.
- [2]. Arslan, Y., Özdemir, A., "AISI D3 Soğuk İş Takım Çeliği Zımbalarında Sıfırlatma / Kriyojenik İşlemin Aşınmaya Etkisi", 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 04-05 Ekim, 62-71, (2012 Ankara, Türkiye).
- [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]. Akhbarizadeh, A., Shafyei, A., Golozar, M.A., Effects of cryogenic treatment on wear behavior of D6 tool steel, Materials and Design, in Pres.
- [5]. 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
- [6]. Mohan Lal, D., Renganarayanan, S., Kalanidhi, A., Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steels, Cryogenics, 41, (2001); 149-155
- [7]. 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.
- [8]. 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.
- [9]. 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.

- [10]. 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,
- [11]. Hambli, R., A code for sheet metal blanking processes optimization, *Journal of Materials Processing Technology*, 141 (2003); 234–242.
- [12]. 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.
- [13]. 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.
- [14]. Akyürek, F., “Kesme zımbalarındaki aşınma tiplerinin deneysel olarak incelenmesi”, *Gazi üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-30 (2010).
- [15]. 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.
- [16]. Hernández, 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.
- [17]. 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.
- [18]. Traş, M.O., “Yapay sinir ağları kullanarak kesme kalıplarındaki çapak ve kesme düzlüğünün tahmini”, *Gazi üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-22 (2007).
- [19]. Kahraman, E., “Sac metal malzemelerin kalıpta kesilebilme özelliklerine kesme boşluğunun etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-158 (2006).
- [20]. 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.
- [21]. İnternet : http://www.matetoolingsolutions.co.uk/pdf/punch_press/Mate%20Thick%20Turret%20Tooling%20Manual.pdf/ (2012).
- [22]. Huang, J.Y., Zhu, Y.T., Liao, X.Z., Beyerlein, I.J., Bourke, M.A., Mitchell, T.E., Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel, *Materials Science and Engineering*, A339(2003);241-244.
- [23]. Çiçek, A., Ekici, E., Uygur, İ., Akıncıoğlu, 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.