

KRİYOJENİK İŞLEM UYGULANMIŞ SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİ ZIMBA İLE AISI 304 PASLANMAZ ÇELİK SAÇ MALZEMENİN İŞLENEBİLME PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

Yusuf ARSLAN^{1*}, İlyas UYGUR², Hidayet BAYRAKTAR¹

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

²Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Düzce/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 zımba -145°C’de kriyojenik işleme tabi tutulmuştur. Her bir zımba 500, 1500, 1500, 2250, 3000 delme sonunda, delme ucu alın ve yanak aşınmaları mikroskop görüntüleri, SEM görüntüleri ve mikroyapı görüntüleri elde edilmiş ve değerlendirilmiştir. Genel olarak, kriyojenik işlem D3 takım çeliği zımbaların aşınma direncini önemli derecede artırmıştır. Kesilen pulların kesme geometrisinde kesme düzlüğü artarken kopma yüksekliğinin azaldığı aynı zamanda çapaklanmayla birlikte yuvarlanma değerinin arttığı görülmüştür. AISI 304 östenitik paslanmaz sac delme işlemlerinde elde edilen sonuçlar ışığında, kriyojenik işlemin delinmiş parça kesme geometrisini etkilediği görülmüştür.

Anathar Kelimeler: Kriyojenik işlem, Zımba aşınması, Çapak yüksekliği, Parça kesme geometrisi

AN INVESTIGATION OF CRYOGENIC TREATED COLD WORK STEEL PUNCH PERFORMANCE FOR AISI 304 STAINLESS STEEL SHEETS

Abstract- In this study, the DIN 9861 pierce punches made of AISI D3 tool steel were subjected to the cryogenic treatment and the wears of punches were examined. For this purpose, the D3 tool steel punches were treated in cryogenic at -145°C. Each punch at the end of 500th, 1500th, 2250th, 3000th cycle, the face and flank wears of punches were obtained and measured by the optical microscopy and SEM and images. It was generally found that the cryogenic treatment had positive effects on the D3 tool steel punches with increased wear resistance. It has been observed that while increasing the burnish height caused decrease in the fracture height. Hence, it was increased the rollover and burr height on blanked part edge geometry. According to the experimental results in the blanking operation, cryogenic processes have significant effects on the blanked part edge geometry for AISI 304 austenitic stainless steel sheet.

Keywords: Cryogenic treatment, Punch wear, Burr height, Blanked part edge geometry

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

* yusufarslan@duzce.edu.tr

İmalat sanayisinde birçok sektöre hitap eden sac metal parça üretimi günümüzde 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 (DIN 2842, 2080, 2379, 2767 vb.) imal edilir ve sertleştirilerek (58-62 HRC) taşlanırlar. Günümüzde bazı ölçülerdeki zımbalar hazır olarak bulunmakta ancak çap ölçüleri büyüdüğünde ve özel profilli zımbalara ihtiyaç olduğunda özel imal edilmesi gerekmektedir. Yeni nesil seri üretim zımba makinelerinde yapılan hızlı üretimin kusursuzluğu ve verimliliği önemli olup, bu durum tamamen zımba-kalıp ve işlenen parçanın özellikleriyle ilişkilidir. Kaliteli ve firesiz işler üretmek ve maliyetleri düşürmek için kesme kalıplarında zımba aşınmasını önlemek önem kazanmaktadır. Sahip olduğu fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerinden dolayı geniş kullanım alanına sahip paslanmaz çelik sac malzemeden üretilen ürünlerin delme makinelerinde verimli işlenmesi önemli hale gelmiştir. İmal edilmek istenilen bu ürünlerin delme makinelerinde işlenmesinde sık sık zımba değiştirmek gerekmektedir. Zımba ömrünü artırmak ve aşınmaları azaltmak için alternatif bir çok çalışmalar yapılmaktadır. Yeni bir uygulama olan sıfıraltı/kriyojenik işlemin özellikle krom içerikli malzemelere uygulandığında kesici takımlarda 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.

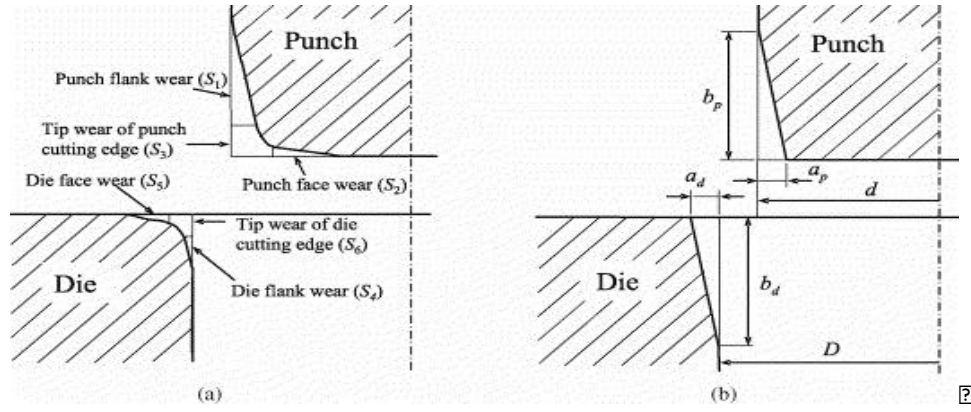
Kriyojenik işlem; yüksek aşınmaya maruz kalan takımlarda aşınma direncini artırma amaçlı uygulanan modifiye edilmiş bir soğutma işlemidir. Takım çeliklerine uygulanan geleneksel sertleştirme yöntemlerinde çelik östenitleme işleminin ardından çelik cinsine bağlı olarak çeşitli soğutma ortamlarında en 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 (Kararsız) faz kalır. Takımın aşınma direncini olumsuz yönde etkileyen kalıntı östenit fazını gidermenin en etkili yolu konvansiyonel soğutmanın ardından kriyojenik işlemin uygulanmasıdır. Kriyojenik işlem ile -196°C sıcaklıklara kadar inerek ısıl işlemi daha etkin ve sorunsuz hale getirilebilmektedir. Bu işlem ile kalıp ömrü 4 kat artırılıp; yüksek aşınma direnci; yüksek tokluk, yüzeyde düşük sürtünme elde edilebilmiştir. Ayrıca tel erozyon sonrası çatlama riski en aza indirilmiştir [1, 2].

Da silva ve arkadaşları [3], 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 [4], 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.

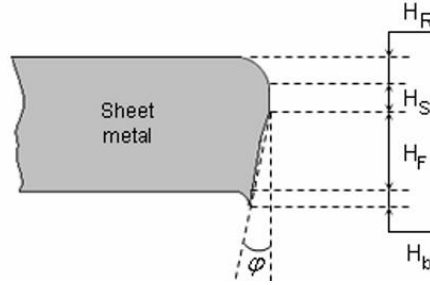
Lawanwong ve arkadaşları [5], takım endüstrisinde büyük endişelerin birisi takım aşınması olduğundan yaptıkları çalışmada zımba aşınmalarını çalışmışlardır. Bu çalışmada, Paslanmaz çelik kesmek için zımba üzerinde aşınma olayı incelenmiştir. Zımba malzemesi; SKD11 (D2),

SKH 51 (M2/HSS) ve SKS3 (O1)dir. Bu zımbaların sertlikleri 59 HRC dir. Deneyler için kalınlığı 2 mm olan aynı kalınlıklarda JIS SUS430 paslanmaz çelik kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar; SKH51 düşük aşınma göstermiştir. 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, SKD1 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 gözlenmiştir. SKS3 zımbada ise düşük kimyasal içerik nedeniyle yüksek aşınma oranı ve yüksek korozyon aşınması tesbit etmişlerdir. Kahraman [6] yaptığı tez çalışmasında, kalıpta kesme işlemi sırasında, matris ile zımba 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 ve bunlar doğruluk ve kaliteyi karakterize ederler. Bu kusurlar temel olarak takım aşınması ve süreç parametreleri ile ilgilidir. Tekiner ve arkadaşları [7], 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 [8], tungsten karbür (WC) ve yitrium-tetragonal zirkonyum polikristal (Y-TZP) zımbaların aşınma mekanizmalarının değerlendirilmesi adlı deneysel çalışmalarında; takım aşınmasını karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. Y-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 Y-TZP zımbanın yan yüzeyine mekanik olarak yapışmaktadır. Takım yüzeylerinin EDX analizinde, difüzyon aşınma mekanizması WC zımbalarda tespit edilmiştir. Makro çatlaklar bulunmayan, Y-TZP zımbanın aşınma mekanizması yoğun plastik deformasyon olduğunu belirtmişlerdir.

Hern'andez ve arkadaşları [9], kesme mekanizması sonucu şekil hataları üzerine takım aşınması etkilerinin teorik modellemesini yapmışlardır. Bu amaca yönelik, yeni bir parametre; efektif boşluk olarak adlandırılmıştır. Takım aşınması, zımba kesme kenarı geometrisinde ki değişim yoluyla oluşan şekil hataları üzerine efektif boşluğun çok önemli etkisi olduğu görülmüştür (Şekil 1). Hern'andez ve arkadaşları [9], takım aşınması, zımba kesme kenarı geometrisinde ki değişim yoluyla oluşan şekil hataları üzerine efektif boşluğun çok önemli etkisi olduğunu bildirmişlerdir (Şekil 2). Şekil 2'de oluşmuş kesme kenarı geometrisi elemanları; H_R : Yuvarlanma yüksekliği, H_S : Kesme düzlüğü, H_F : Kopma yüksekliği, H_b : Çapak yüksekliği, ϕ : Kopma açısı şeklinde tanımlanmıştır.



Şekil 1. Zımba aşınma yüzeyinin geometrisi: (a) takım aşınması genel görüntüsü ve (b) yapılan analiz çalışmadaki takım aşınması [9]. (Geometry of the cutting tool worn surface: (a) generic case of tool wear and (b) tool wear analysed in this work)



Şekil 2. Kesme kenarı geometrisi [10] (Geometry of the cutting edge)

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 olup, bu parametreler delinen işin kalitesini etkilemektedir. Takım aşınması üzerine yapılan araştırmalarda kesme zımbalarının aşınması kalıplara kıyasla daha fazla olduğundan zımba aşınmaları birçok bilimsel çalışmada araştırılmıştır[7-9, 11-14]. Fakat, bugüne kadar; zımba makinelerinde kriyojenik işlemin AISI D3 (DIN 1.2080) zımba performansı üzerine etkisini içeren literatür çalışmasına raslanılmamıştır. Bu yüzden, bu çalışmada, AISI D3 takım çeliğinden yapılmış DIN 9861 zımbalar 12 saat süreyle $-145C^{\circ}$ 'de kriyojenik işleme tabi tutulmuşlardır. 25 tonluk zımba makinesinde kriyojenik işlem yapılmış ve yapılmamış D3 takım çeliği zımbalar ile 1,5 mm kalınlığındaki AISI 304 paslanmaz çelik sac levhaların her birine 3000 delik delinmiştir. Delme zımbası üzerinde yapılan kriyojenik işlemin, işlem sonrası zımba sertlikleri, delme sonrası hacimsel kayıpları, optik mikroskop, SEM görüntüleri ve mikro yapıları incelenmiş, zımbanın aşınma davranışına etkileri araştırılmıştır. Delinerek elde edilen parçanın 500, 1500, 2250, 3000 delme aşamalarında çapak yükseklikleri ölçülmüş ve değerlendirilmiştir.

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 paslanmaz saclar tezgaha bağlama kolaylığı açısından değerlendirilerek $500 \times 500 \times 1.5$ 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

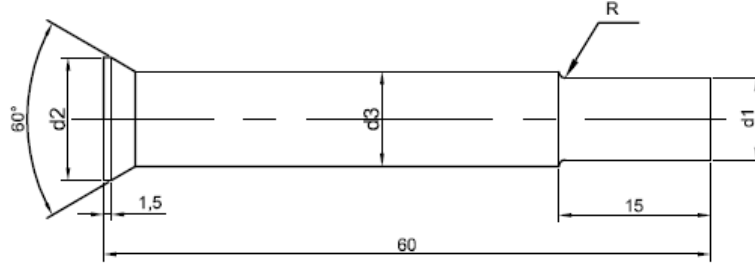
Çizelge 2. AISI 304 paslanmaz çeliğinin mekanik özellikleri (Mechanical properties of AISI 304stainless steel) [2]

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

D3 takım çeliği zımba malzemesinin kimyasal bileşenleri ise Çizelge 3’te verilmiştir. Delme zımbası olarak AISI D3 soğuk iş takım çeliğinden Ø10x60 DIN 9861 havşa başlı zımba (HBZ) imalatı gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Zımbaların ortalama sertlik değerleri 60-61 HRC dir.

Çizelge 3. AISI D3 malzemenin kimyasal içeriği (The chemical composition of AISI D3 material)

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

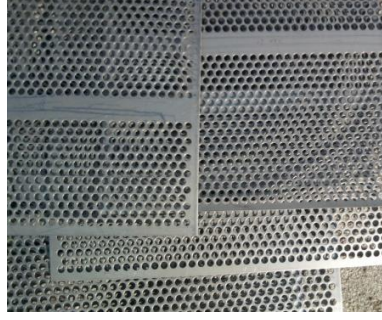
**Şekil 3.** DIN 9861 havşa başlı zımba ve ölçüleri (DIN 9861 countersunk head punch and dimensions) ($d_1=10$ mm, $d_2=12$ mm, $d_3=10,5$ mm)

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

Çizelge 4. Zımba işlem kodları (Punch procedure codes)

Zımba Kodları	İşlem prosesi
HT	Sadece ısıtım işlem (Kriyojenik işlemsiz)
12HTC	Isıtım işlem, 12 Saat -145°C kriyojenik işlem
12HTCT	Isıtım işlem, 12 Saat -145°C kriyojenik işlem, 2 saat 150°C 'de temperlenmiş

Kalınlığı 1,5 mm olan herbir sac metal plaka üzerine delme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Delme deneyleri 25 tonluk hidrolik zımba makinesinde yapılmıştır. Ölçme işlemleri için delme aşamaları 0-500-1500-2250-3000 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 yükleme) zımba çevresinden üç ölçüm yapılmış ortalaması alınmıştır.



Şekil 4. Delinmiş paslanmaz sac (Punctured stainless steel) (500x500x1,5 mm)

Delme işlemleri sonunda aşınan zımba 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 (Çizelge 5). Aşınma boyları yine aynı firmada bulunan MahrSurf CD 120 marka kontur ölçme makinesi ile gerçekleştirilmiş ve yaklaşık 2 mm ölçülmüştür. Aşınmış çap ölçüleri her kademe için hacimsel kayba dönüştürülmüştür.

Çizelge 5. Zımba çapları (Punch diameter)

Zımba Kodları	0 Delme Çapları(mm)	3000 Delme Çapları(mm)
HT	9,991	9,943
12HTC	9,988	9,981
12HTCT	9,990	9,983

0,001 mm hassasiyetindeki Falcon 3-Eksenli Temassız Ölçme Makinesi ile zımba kesme ucu yan ve alın kesme yüzeyleri 10x büyütme kamera yardımıyla 0 ve 3000 delme işlemlerinden sonra görüntülenmiştir. 12HTC, 12HTCT kodlu ve HT kodlu zımbaların delme işlemlerinden sonra 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. Deneylede sabit kalıp boşluğu kullanılmıştır.

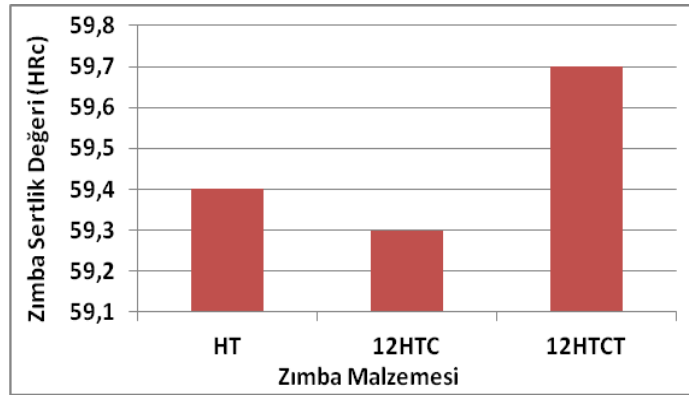
Yapılan uygulamada delinen (boşaltılmış) parça (pul)’nın yuvarlanma değerleri, kesme düzlüğü, kopma yükseklikleri, çapak yükseklikleri araştırılarak kriyojenik işlemin zımba performansına katkıları AISI 304 östenitik paslanmaz sac malzemenin kesme kenarı geometrisi değerlendirilmiştir. Bu işlem için AD413ZTA Dino-Lite Pro 2 model, Dino-Lite Digital Microscope Pro marka ölçme cihazı kullanılmıştır. Her baskı aşamasında delinmiş ilk yüz pulun rastgele seçilen üç tanesinin her birini üç kez ölçerek, 50x, 100x ve 200x dijital mikroskop görüntüleri 0,001 mm hassasiyetinde işlenerek yuvarlanma Y değerleri, kesme düzlüğü, kopma yükseklikleri ve çapak yükseklikleri ölçülüp ortalamaları alınıp değerlendirilmiştir. Ayrıca kesilen parça formu SEM görüntüsü FEI marka Quanto FEG 250 model taramalı elektron mikroskobu ile değerlendirilmiştir.

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

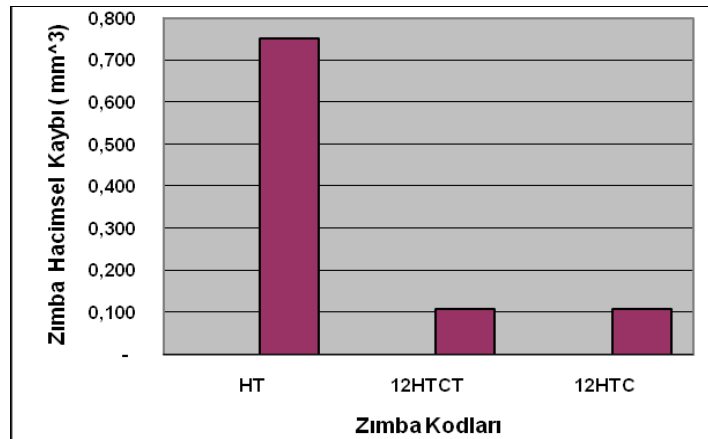
D3 çeliğine ısıtma işlemi sonrası yapılan kriyojenik işlemde sertliğin birkaç HRC düşmesini veya bir kez yapılan temperlemeyle tekrar ısıtma işlemi sonrası sertliğine ulaşmasını Dhokey ve Nirbhavne'nin çalışmaları desteklemektedir [15]. Yapılan çalışmada, kriyojenik çoklu temperleme yapılmış D3 takım 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 işlemleri 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 [15]. Sonuç olarak, sadece sertlik verilerinin kriyojenik işlem uygulanmış malzemenin aşınma direncinin değerlendirilmesinde kesin bir karakteristik veri sağlamayacağını kanaatine varılmıştır.



Şekil 5. Kriyojenik işlem sonrası zımba sertlikleri (After Cryogenic Processing Punch Hardness Value)

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

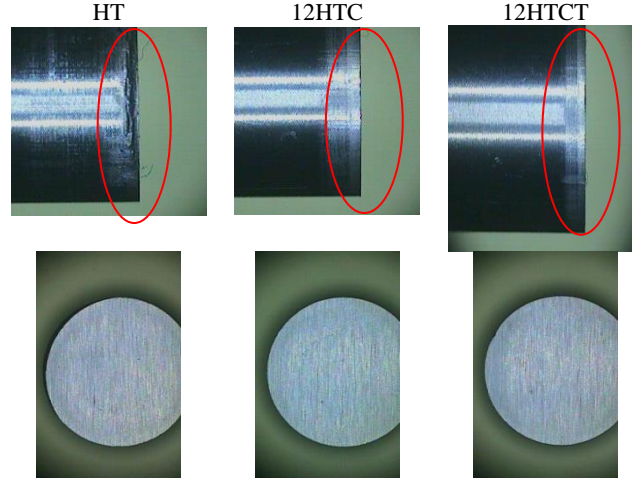
Şekil 6'da açıkça görüldüğü gibi HT kodlu zımba, 12HTC ve 12HTCT kodlu zımbalara göre henüz 3000 delmede dahi yaklaşık 5 kat daha hacimsel olarak azalma göstermiştir. Paslanmaz sac işlemede kriyojenik işlemin D3 takım çeliği zımba aşınmasına olumlu yönde etki ettiği görülmüştür.



Şekil 6. Zımbaların hacimsel kaybı (Volumetric losses of punches)

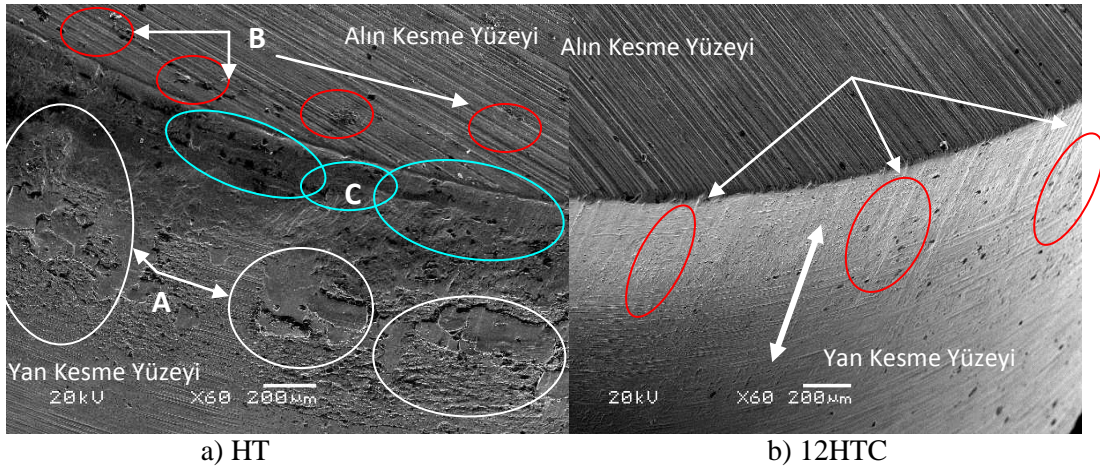
3.3. Mikroskop ve Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntülerinin İncelenmesi (Microscope and Electron Microscope (SEM) Analysis of Images)

0,001mm hassasiyetindeki Falcon 3-Eksenli Temassız Ölçme Makinesi ile zımba kesme ucu yan ve alın kesme yüzeyleri 10x büyütme kamera yardımıyla 0 ve 3000 delme işlemlerinden sonra görüntülenmiştir (Şekil 7). Bu görüntülerde, işlemsiz zımbanın kriyojenik zımbalara göre yan kesme yüzeyinin daha fazla aşındığı açıkça görülmektedir.

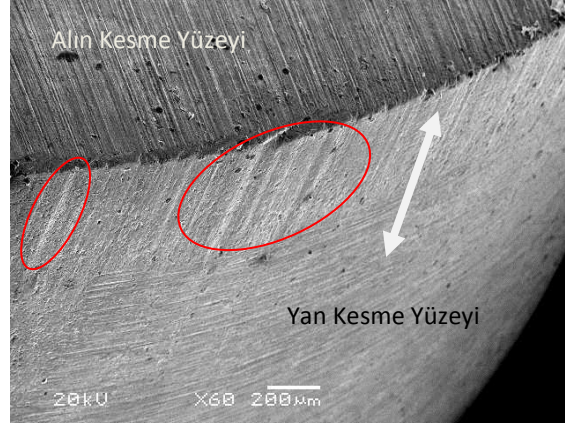


Şekil 7. Kesme kenarı alın ve yan yüzeyi optik mikroskop görüntüleri 10x (Cutting edge face and flank surface of the optical microscope images 10x)

Şekil 8'de ise HT, 12HTC ve 12HTCT kodlu zımbaların 60x büyütme kesme kenarı alın ve yan yüzey aşınmaları görüntülenmiştir. SEM görüntülerinde; HT kodlu zımbanın yan yüzeyindeki aşınma (A ile işaretlenmiş) çoğunlukla adhezyon aşınma 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 (Şekil 8-a). Ancak 12HTC ve 12HTCT kodlu zımbaların yan yüzeylerinde az miktarda kazıma şeklinde abrasif aşınması görülmüş ve kayda değer başka aşınma görülmemiştir (Şekil 8-b,c).



Şekil 8. Zımbaların kesme kenarı alın ve yanak aşınması SEM 60x (The wear image of the cutting surface of punches SEM 60x)

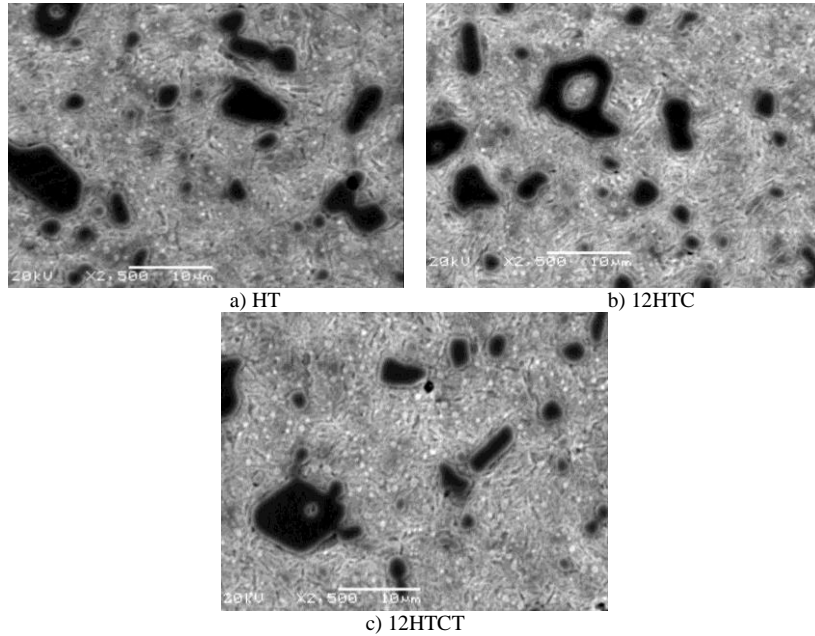


c) 12HTCT

Şekil 8(Devamı). Zimbaların kesme kenarı alın ve yanak aşınması SEM 60x (The wear image of the cutting surface of punches SEM 60x)

3.4. Mikroyapı incelemeleri (Microstructural Analysis)

Hazırlanan numuneler üzerinden 2500x büyütmede SEM görüntüleri alınmıştır (Şekil 9). 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 geliştirmektedir. Sert ve gevrek haldeki çökelti fazları iç gerilmeler nedeniyle daha da küçük parçalara ayrılmaktadır [16]. 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 [17].



Şekil 9. Mikroyapı görüntüleri 2500x (Microstructure images SEM 2500x)

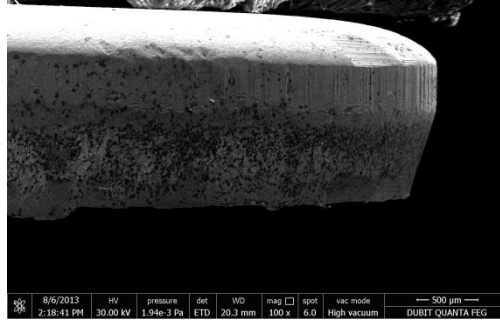
Mikro yapıdaki görüntü iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Birincisi; karbür parçalarının dağılımı kriyojenik işlem görmüş zimbada daha düzgün dağılmıştır. İkincisi; kriyojenik işlem görmüş

karbür hacmi iki kata kadar artmaktadır. Ayrıca bu karbür çoğalması matris malzemedeki karbonun ve alaşım elementlerinin miktarını azaltarak matris malzemesinin sünekliğini artırmaktadır [16]. Kriyojenik işlem, mikro yapı içerisindeki beyaz karbürlerin yeniden dağılımını, kalıntı östenitin martenzite dönüşümünü ve takım malzemesinin sertliğini artırmış, buda takım aşınmasını azaltarak ömrünü artırmıştır [17].

Görüntülerde, 12HTC kodlu zımba Şekil 9-b'de beyaz karbürlerin HT kodlu zımba Şekil 9-a olana göre iyice küçüldüğü ve daha homojen dağıldığı görülmektedir. 12HTCT kodlu zımba Şekil 9-c'de temperlemenin etkisiyle kriyojenik işlemde iyice küçülen beyaz karbürlerin biraz irileştiği görülmektedir. Dhokey ve Nirbhavne'nin [15] yaptıkları çalışma bu sonucu desteklemektedir. Mikro yapıdaki bu değişim kriyojenik işlem yapılan zımbanın aşınma direncinin diğerlerine göre daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.

3.5. Kesme Geometrisinin İncelenmesi

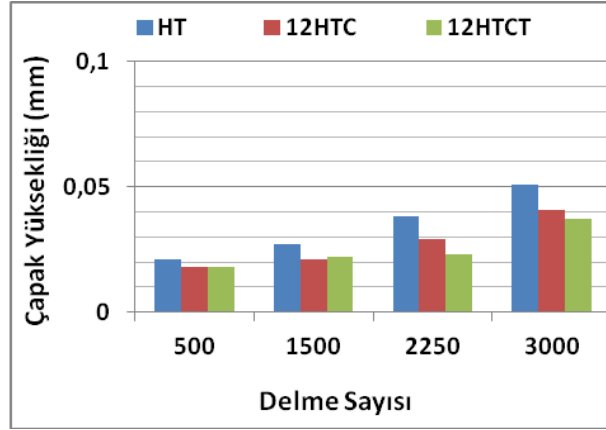
Boşaltılan (Pul) parçanın geometrisini; saç malzemenin cinsi, kalınlığı, zımba kalıp boşluğu önemli ölçüde etkilemektedir [18-22]. Buda parçanın işlenebilme kabiliyeti ve elde edilen ürünün kalitesini etkilemektedir. Çünkü kesme bölgesi geometrisi kesme boşluğu, saç kalınlığı ve malzemesi, delme-kesme sayısı, zımba-kalıp aşınması gibi birçok etkene bağlıdır [12]. Yuvarlanma kesilme bölgesinde ayırt edilebilen bir yerdir. Sac malzeme kalıp boşluğuna doğru çekilir. Kesme düzlüğü ile sınır olan yuvarlanma bölgesi pürüzsüz görünür. Yuvarlanmanın bittiği yerde kesilme başlar, kesme sonunda malzeme kopar ve çapak oluşur [23]. Delme işlemlerinde elde edilen pulların SEM görüntüsünde kesme geometrisine ait bütün bölgeler net bir şekilde görülmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Kesilen parça formu SEM görüntüsü 100x (SEM images of the blanked part form 100x)

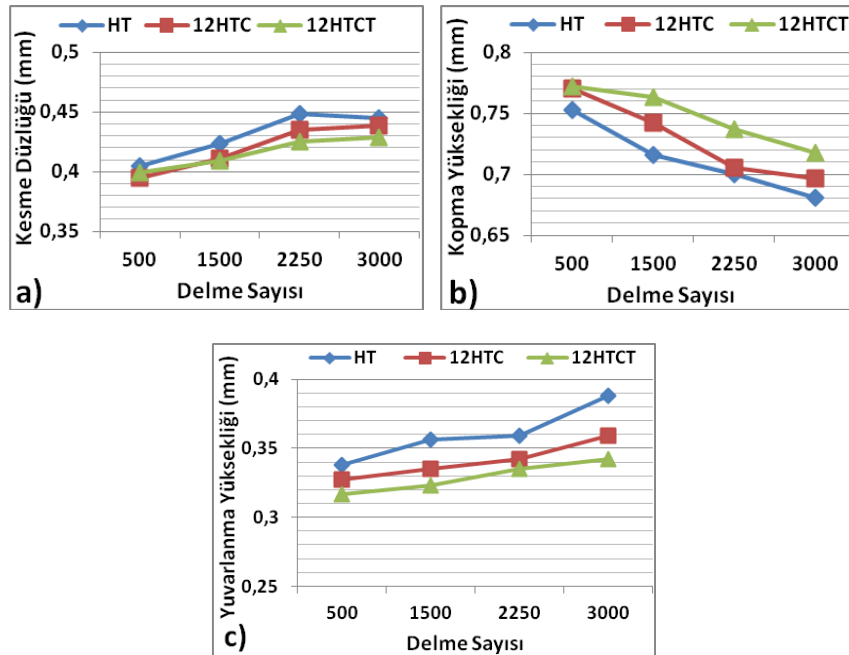
Çapak oluşumuna etki eden zımba köşe kavis; aşınmayla birlikte büyür ve büyüyen köşe kavis çapaklanmayı artırır. Müsaade edilen çapaklanma sınırına gelince zımba bileme zamanı gelmiş demektir [24-31]. Parça kalitesini olumsuz etkileyen ve ikinci bir işleme sebep olan çapaklanma, eğer parça genel amaçlı bir yerde kullanılacaksa sac malzeme kalınlığının bir yüzdesi olarak çapak yüksekliğini yaklaşık %12 olarak sınırlandırabiliriz [24, 26].

Delme zımbası için çok düşük kalan sayılar için dahi delme sayıları arttıkça oluşan aşınma boşluğunda etkisiyle boşaltılan parça çapak yüksekliğinin arttığı görülmüştür. HT kodlu kriyojenik işlem yapılmamış zımba ile yapılan delmelerde işlem yapılmış olanlara (12HTC ve 12HTCT) göre çapak yükseklikleri yaklaşık %23 daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil 11).



Şekil 11. Delme sayısı-çapak yüksekliği ilişkisi (The relationship between the number of punching and burr height)

Uygulanan işlemlerin kesme kalitesine etkileri Şekil 12’de gösterilmiştir. Üretilen Pulların kesme düzlükleri-delme sayısı ilişkileri (Şekil 12-a), kopma yükseklikleri (Şekil 12-b) ve yuvarlanma yükseklikleri (Şekil12-c) incelendiğinde delme sayısı arttıkça kesme düzlük ve yuvarlanma yüksekliği değerleri artarken, kopma yüksekliği değerleri azalmaktadır. Kesme düzlüğü ile kopma yüksekliği birbirine bağlı olarak değişmektedir. Bu değişim aynı zamanda sac malzeme kalınlığı ile ilişkilidir. Kesme düzlüğü arttıkça kopma yüksekliğinde oluşan azalma kopma yan yüzeyindeki açığı büyütmektedir. [27-29]. Kesme boşluğu, zımbanın keskinliği, sac malzeme kalınlığı ve cinsinin kesme düzlüğüne etkisi birçok deneysel çalışma ve tezlerden bilinmektedir [12, 13, 27-29].



Şekil 12. a) Delme sayısı-kesme düzlüğü ilişkisi, b) Delme sayısı- kopma yüksekliği ilişkisi, c) Delme sayısı- yuvarlanma yüksekliği ilişkisi, [a)The relationship between the number of punching and sheared burnish b) The relationship between the number of punching and fracture height c) The relationship between the number of punching and rollover height]]

Malzemeler için yuvarlanma derinliği, kalıp boşluğu gibi sac malzemenin süneklik veya sertliğinin bir fonksiyonu olarak malzeme cinsi görülmüştür [29-31]. Kalıp boşluğu arttıkça bunun bir fonksiyonu olarak yuvarlanma ve çapak yüksekliği artar [32]. Yuvarlanma bölgesi,

malzemenin plastik şekil değiştirmesi ile oluşur [33]. Boşluk arttıkça yuvarlanma, kesme düzlüğü ve kopma yüksekliği birbirine bağlantılı değişir [29, 32, 34, 35]. Sonuç olarak zımbalara uygulanan kriyojenik işlemin kesme geometrisini olumlu etkilediği ve bu etkinin yuvarlanma değerlerine de yansıdığı görülmektedir (Şekil 12-c). Dolayısıyla kriyojenik işlem yapılmış zımbanın delme-kesme kalitesini artırdığı tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR(CONCULUSIONS)

AISI 304 paslanmaz sac levhalara zımba makinesinde kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış soğuk iş takım çeliği (AISI D3) zımbalarla yapılan delme işlemleri sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- ❖ Zımba sertliklerinde ısı işlem sonrasında göre yaklaşık 0,5 HRC civarında değişim görülmüştür. Kriyojenik işlem sonrası zımbaların sertliklerinde çok az düşme olmuş buna karşın kriyojenik işlem görmüş ve ardından temperlenmiş zımbalarda az bir sertlik artışı görülmüştür. Yalnızca, sertlik değerleri ile kriyojenik işlem görmüş malzemelerin aşınma dirençlerini değerlendirilmesinde kesin bir karakteristik olarak kullanılmasının doğru olmayacağı kanaatine varılmıştır.
- ❖ HT kodlu zımba, 12HTC ve 12HTCT kodlu zımbalara göre 3000 delmede yaklaşık 5 kat daha fazla hacimsel olarak azalma göstermiştir. Paslanmaz sac işlemede Kriyojenik işlem D3 takım çeliği zımbaların aşınma performansını olumlu yönde etkilemiştir.
- ❖ İşlemsiz zımbaların, kriyojenik işlem görmüş zımbalara göre yan kesme yüzeyinin daha fazla aşındığı görülmüştür. Alın yüzeylerde kayda değer bir fark görülmemiştir.
- ❖ Kesme kenarı alın ve yan yüzeyleri aşınma SEM görüntülerinde; işlemsiz zımbanın yan yüzeyinde çok fazla adhezyon aşınmasına maruz kaldığı görülmüştür. Alın kısmında ise az miktarda difüzyon aşınması ve plastik deformasyon görülmüştür. Ayrıca, zımbanın kesme kenarında plastik deformasyon görülmüştür. Ancak kriyojenik işlem görmüş zımbaların yan yüzeylerinde çok az miktarda kazıma şeklinde abrasif aşınması görülmüştür. Kesme kenarında ise önemli bir aşınma görülmemiştir.
- ❖ Mikro yapı incelemelerinde, kriyojenik işlem yapılmış D3 numunede beyaz karbürlerin işlem yapılmamış olana göre küçüldüğü ve daha homojen dağıldığı görülmüştür. Mikro yapıdaki bu değişim kriyojenik işlem yapılan zımbanın aşınma direncini diğerlerine göre artırmıştır.
- ❖ Boşaltılan parçalarda; kriyojenik işlem yapılmamış (HT) zımba ile yapılan delmelerde aşınmanın etkisiyle işlem yapılmış olanlara göre (12HTC ve 12HTCT) çapak yükseklikleri yaklaşık %23 daha fazla olduğu görülmüştür.
- ❖ Kesilen pulların kesme geometrisinde kesme düzlüğü artarken kopma yüksekliğinin azaldığı aynı zamanda çapaklanmayla birlikte yuvarlanma değerinin arttığı görülmüştür. Bu değişimin, HT kodlu işlemsiz zımbanın kestiği pullarda 12HTC ve 12HTCT kodlu olanlara göre daha fazla olduğu görülmüştür.

AISI 304 östenitik paslanmaz sac delme işlemlerinde elde edilen sonuçlar ışığında, kriyojenik işlemin AISI D3 takım çeliği zımbanın aşınma direncine ve delinmiş parça kesme geometrisine etki ettiği görülmüştür.

TEŞEKKÜR (THANKS)

Araştırmacılar Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Koordinatörlüğüne 2012.06.05.118 nolu proje ile verdiği desteklerden dolayı teşekkür eder. 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'e 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 Sıfırlatı / Kriyojenik İşlemin Aşınmaya Etkisi", 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 04-05 Ekim, 62-71, (2012 Ankara, Türkiye).
- [3]. 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
- [4]. Mohan Lal, D., Renganarayanan, S., Kalanidhi, A., Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steels, *Cryogenics*, 41, (2001); 149-155
- [5]. 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.
- [6]. Kahraman, E., "Sac metal malzemelerin kalıpta kesilebilme özelliklerine kesme boşluğunun etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-158 (2006).
- [7]. 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.
- [8]. 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.
- [9]. 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.
- [10]. H. Makich, L. Carpentier, G. Monteil, X. Roizard, J. Chambert, P. Picart, Metrology of the burr amount - correlation with blanking operation parameters (blanked material –wear of the punch), DOI 10.1007/s12289-008-0167-0 © Springer/ESAFORM 2008Int J Mater Form (2008) Suppl 1; 1243 –1246
- [11]. 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,
- [12]. Hambli, R., A code for sheet metal blanking processes optimization, *Journal of Materials Processing Technology*, 141 (2003); 234–242.
- [13]. 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.
- [14]. Gr´eban, 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.

- [15]. 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.
- [16]. Huang,J.Y., Zhu,Y.T., Liao,X.Z., Beyerlein,I.J., Bourke,M.A., MitchellT.E., Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel, *Materials Science and Engineering*, A339(2003);241-244.
- [17]. Çiçek, A., Ekici,E., Uygur, İ., Akıncioğlu, S., Kıvık,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.
- [18]. Alp,S., “Kalıpcılık Sektör Araştırması”, İstanbul Ticaret Odası, 1-19 (Ekim 2005).
- [19]. İnternet: ASM Aerospace Specification Metals Inc. www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MQ304A (2012).
- [20]. Breitling, J., Preiffer, B., Altan, T., Siegert, K., “Process control in blanking”, *Journal of Materials Processing Technology*, 71: 187-192 (1997).
- [21]. Traş, M.O., “Yapay sinir ağları kullanarak kesme kalıplarındaki çapak ve kesme düzlüğünün tahmini”, *Gazi üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*, 1-22 (2007).
- [22]. Koçak, H., “Takım Çelikleri El Kitabı”, Dörrenberg Edelstahl-Sağlam Metal, VIII. Baskı, Yayın No:4:11-93, (Şubat 2010).
- [23]. Mediavilla, J., Peerlings, R.H.J., Geers, M.G.D., “An integrated continuous–discontinuous approach towards damage engineering in sheet metal forming processes”, *Engineering Fracture Mechanics*, 73:895–916 (2006).
- [24]. İnternet : <http://www.thefabricator.com/article/toolanddie/12-ways-to-boost-punch-life/> (2012).
- [25]. Luo, S.Y., “Effect of the Geometry and the Surface Treatment of Punching Tools on the Tool Life and Wear Conditions in the Piercing of Thick Steel Plate”, *Journal of Materials Processing Technology*, 88: 122-133 (1999).
- [26]. İnternet : http://www.matetoolsolutions.co.uk/pdf/punch_press/Mate%20Thick%20Turret%20Tooling%20Manual.pdf/ (2012).
- [27]. Xin Wu, Hamed Bahmanpour, Ken Schmid, “Characterization of mechanically sheared edges of dual phase steels”, *Journal of Materials Processing Technology*, 212:1209– 1224 (2012).
- [28]. Quazi, Prof. T. Z., Shaikh, R.S., “An Overview of Clearance Optimization in Sheet Metal Blanking Process”, *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, Vol.2, Issue.6:4547-4558 (Nov-Dec. 2012).
- [29]. Totre, A., Nishad, R., Bodke, S., “An Overview Of Factors Affecting In Blanking Processes”, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal), Volume 3, Issue 3:390-395 (March 2013).
- [30]. Hambli, R., “Blanking tool wear modeling using the finite element method”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41:1815–1829 (2001).
- [31]. Hatanaka, N., Yamaguchi, K., Takakura, N., Iizuka, T., “Simulation of sheared edge formation process in blanking of sheet metals”, *Journal of Materials Processing Technology*, 140:628–634 (2003).
- [32]. Hilditch, T.B., Hodgson, P.D., “Development of the sheared edge in the trimming of steel and light metal sheet Part 1—Experimental observations”, *Journal of Materials Processing Technology*, 169:184–191 (2005).
- [33]. Quazi,T.Z., Shaikh, R., Totre, A., Nishad, R., Bodke, S., Chauhan, A., “Blanking process optimization using Taguchi method”, *International Journal of Engineering Research and Development*, Volume 7, Issue PP. 45-512, (May 2013).
- [34]. Dae-Cheol Ko, Byung-Min Kim, “Development of an analytical scheme to predict the need for tool regrinding in shearing processes” *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40:1329–1349 (2000).

- [35]. Hatanaka, N., Yamaguchi, K., Takakura, N., “Finite element simulation of the shearing mechanism in the blanking of sheet metal”, *Journal of Materials Processing Technology*, 139:64–70 (2003).