

AISI D2 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN DELİNMESİNDE DERİN KRIYOJENİK İŞLEMİN TAKIM ÖMRÜ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Adem Çiçek¹, Ergün Ekici, İlyas Uygur, Sıtkı Akıncıoğlu, Turgay Kıvıak

Özet

Bu çalışmada, AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesinde, M35 HSS matkaplara uygulanan derin kriyojenik işlemin (-196 °C) takım ömrü, takım aşınması, mikro yapı ve mikro sertlik üzerine etkileri araştırılmıştır. Delme deneyleri üç farklı kesme hızı (20, 25 ve 30 m/dak), sabit ilerleme (0,1 mm/dev) ve delme derinliğinde (7 mm) gerçekleştirilmiştir. Kesici takımlara uygulanan derin kriyojenik işlemin, kalıntı östeniti martenzite dönüştürmede ve daha homojen karbür dağılımı sağlamada önemli bir etkiye sahip olduğunu mikro yapı fotoğrafları ve mikro sertlik değerleri göstermiştir. Kriyojenik işlem uygulanan takımlar takım aşınması ve takım ömrü bakımından konvansiyonel işlem uygulanan takımlara göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Takım ömrü deneyleri, kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla % 33-62 oranında ömür artışı elde edildiğini göstermiştir. Takımlarda genel olarak yıgıntı talaş (BUE) oluşumu, dış köşe kenar ve yanak aşınmasının etkin olduğu belirlenmiştir. Genel olarak kriyojenik işlemin takım aşınması ve takım ömrü üzerinde olumlu etkilere sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Derin Kriyojenik İşlem, Mikro Yapı, Mikro Sertlik, Takım Ömrü, Takım Aşınması

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DEEP CRYOGENIC TREATMENT ON TOOL LIFE IN DRILLING OF AISI D2 COLD WORK TOOL STEEL

Abstract

In this study, the effects of deep cryogenic treatment (-196 °C) applied to M35 HSS twist drills on tool life, tool wear, micro-structure and micro-hardness were investigated in drilling of AISI D2 cold work tool steel. The drilling experiments were performed at three different cutting speeds (20, 25, and 30 m/min), a constant feed rate (0.1 mm/rev) and hole depth (7 mm). It was observed from micro-structure photographs and micro hardness values that deep cryogenic treatment significantly was effective on transformation of retained austenite to martensite and more homogenous distribution of white carbides. The cryogenically treated drills showed better performance in terms of the tool life and wear, when compared with untreated drills. Tool life experiments showed that lives of treated drills improved as much as 33-62%. BUE formation, outer corner wear and flank wear generally were effective on tools. In general, it was found that deep cryogenic treatment had positive effects on the tool wear and tool life.

Keywords: Deep Cryogenic Treatment, Micro-Structure, Micro-Hardness, Tool Life, Tool Wear

1. Giriş

Yüksek karbonlu çelik grubundan olan AISI D2 soğuk iş takım çelikleri, daha fazla karbon içeren AISI D3, D4 ve D7 takım çeliklerine göre daha az aşınma direncine ve tokluk değerlerine sahiptir. Fakat bu çeliklere göre karbon oranının düşük olması nedeni ile

¹ Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü,
E-mail: adecicek@yahoo.com

işlenebilirlikleri ve şekillendirmesi daha kolaydır (Roberts vd., 1998). İşlenebilirliğinin kolay olması kullanım alanını yaygınlaştırmaktadır. AISI D2 takım çeliğine krom ve krom karbür eklendiğinde bu çeliklerin özellikleri iyileşir ve sertlik değeri artar. AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin, plastik enjeksiyon kalıpları, kesme ve delme takımları, ağaç bıçakları, kesme bıçakları, diş tarakları, derin çekme ve ekstrüzyon takımları, soğuk çekme makaraları ve ölçme takımları gibi kullanım alanları vardır (Düzgün, 2007; Mihmat, 2009). AISI D2 çeliği yüksek dayanım, çok yüksek çatlama direnci, sahip olduğu yüksek aşınma direnci gibi özelliklerden dolayı tokluk ve işlenebilirlik özelliği düşük olarak kabul edilir (Kalpakjian ve Schmid, 2001).

Takım ömrü, verimlilik artışı nedeniyle en önemli ekonomik faktörlerinden birisidir (Gill vd., 2009). Sert malzemelerin işlenmesinde geleneksel işleme yöntemlerinin kullanımı ekonomik olmadığı gibi yüksek takım aşınması ve işleme zamanını doğurur (Khan ve Ahmed, 2009). Takım ömrünün artırılması ve takım çeliklerindeki kalıntı gerilmelerin azaltılması için metallerin soğutulması yıllardır kullanılan etkili bir metottur. Kriyojenik işlem düşük sıcaklıktaki yaklaşık -80°C uygulanan sıvı kriyojenik işlem veya sıvı nitrojen sıcaklığı -196°C uygulanan derin kriyojenik işlem olmak üzere ikiye ayrılır (Huang vd., 2003). Kriyojenik işlem bir ısıl işlem olmayıp, geleneksel ısıl işlemi tamamlayan temperleme öncesi uygulanan tamamlayıcı bir işlemdir (Gill vd., 2009; Bensely vd., 2005; Kalin ve Vizintin, 2006). Kriyojenik işlem, malzeme yapısındaki kalıntı östeniti martenzite dönüştürerek daha homojen ve daha yoğun bir karbür dağılımı sağlayarak malzemelerin aşınma direncini arttırmaktadır (Huang vd., 2003). Firouzidor vd., (2008) M2 HSS matkapların, karbonlu çeliklerin yüksek hızlarda delinmesi esnasında derin kriyojenik işlemin takım ömrü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kriyojenik işlem ve kriyojenik işlem ardına uygulanan temperleme işleminin matkap ömürlerinde sırasıyla %77 ve %126 iyileşme sağladığını belirlemişlerdir. Seah vd., (2003) kriyojenik işlemin sonrasında eta fazı parçacıklarının sayısının artması ile kriyojenik işlemin tungsten karbür torna uçlarının takım ömrünü arttırdığını ve aşınma direncini geliştirdiğini ifade etmişlerdir. Yong vd., (2007) orta karbonlu çeliğin yüksek hızlı işlenmesinde kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış tungsten karbür uçların performansını karşılaştırmıştır. Kriyojenik işlem uygulanan takımlar, uygulanmamış takımlar karşısında %28.9 – %38.6 daha iyi takım ömrü sergilemiştir. Reddy vd., (2007) yaptıkları deneyler sonucunda, derin kriyojenik işlemin karbür takımların ömürleri üzerinde %9,58 - %21,8 arasında bir artış sağladığını gözlemlemişlerdir.

AISI D2 soğuk iş takım çeliği özellikle kalıp ve kalıp elemanları yapımında kullanıldığı için çokça delme işlemlerine maruz kalmaktadır. Takım maliyetlerinin azaltılması için işlenebilirliği düşük olan bu malzemenin delinmesinde takım ömrünü doğrudan etkileyen takım aşınmasının kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu çalışmada AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesinde matkap uçlarına uygulanan kriyojenik işlemin mikro-yapı, mikro-sertlik, takım ömrü ve takım aşınması üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deneysel çalışmalar

Delme deneyleri, maksimum 8000 devir ve 7,5 kW güce sahip FIRST MCV 300 marka CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Kesici takım olarak, Tablo 1’de teknik özellikleri belirtilen Guhring kesici takım firması tarafından imal edilmiş 6 mm çapında kaplamasız M35 HSS (DIN 1897) matkaplar kullanılmıştır. Matkapların kimyasal bileşenleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. M35 HSS matkabın teknik özellikleri

Takım malzemesi	M35
Takım referansı	DIN 1897
Kaplama	Kaplamasız
Çap	6 mm
Uç açısı	118°
Helis açısı	35°

Tablo 2. M35 HSS matkabın kimyasal bileşeni

Elementler (%)					
C	Cr	Co	Mo	W	V
0,9	4,2	4,8	5,0	6,5	2,0

Deney malzemesi olarak, endüstride yaygın olarak kullanılan AISI D2 soğuk iş takım çeliği plakalar (170x100x15 mm) kullanılmıştır. AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 3'te verilmiştir. Delme esnasında delinen delik etrafındaki ısı dağılımı göz önünde bulundurularak delik eksenleri arası 9 mm olarak belirlenmiştir. Delme deneyleri kuru kesme şartlarında üç farklı kesme hızı 20, 25, 30 m/dak ve 0,1 mm/dev sabit ilerleme hızı kombinasyonlarında gerçekleştirilmiştir. Delinen delikler kör delik olup delme derinliği 7 mm olarak alınmıştır.

Tablo 3. AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi

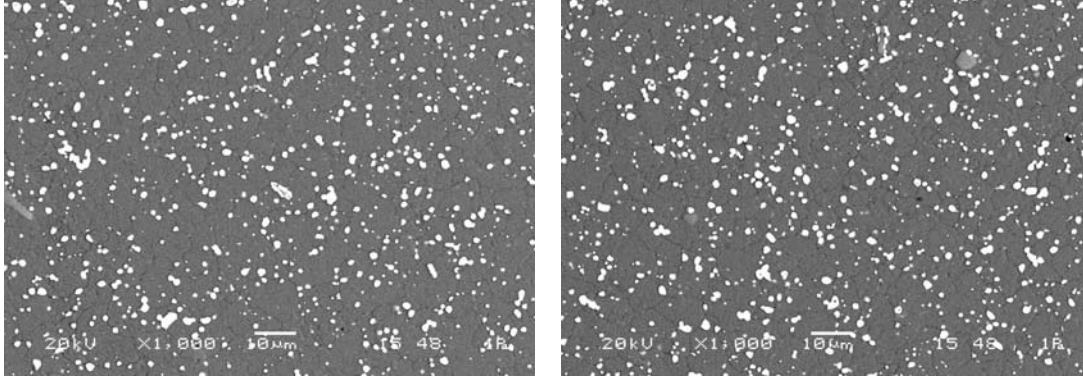
Elementler (%)						
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V
1,003	0,134	0,271	11,88	0,193	0,693	0,713

Delme deneylerinde kullanılan kaplamasız HSS matkaplar iki farklı gruba ayrılmıştır. İlk grup matkaplar üretici firmadan alındığı gibi muhafaza edilmiş (konvansiyonel ısıl işlem (Kİİ)), ikinci gruba ise kriyojenik işlem ve kriyojenik işlemden sonra temperleme (KİT) işlemi yapılmıştır. İlk grup matkaplara üretici firmanın uyguladığı konvansiyonel ısıl işlemden başka bir işlem uygulanmamıştır. Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem koruyucu atmosfere sahip vakumlu fırında gaz fazındaki azot yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Kesici takımlar oda sıcaklığından -196°C sıcaklığa yaklaşık 1,5 °C/dak soğutma hızı ile aşamalı olarak soğutulmuş ve bu sıcaklıkta 24 saat bekletilerek tekrar oda sıcaklığına 1,5 °C/dak ısıtma hızı ile aşamalı olarak getirilmiştir. Kriyojenik işlemden sonra uygulanan temperleme işlemi ise 200 °C sıcaklıkta 2 saat bekletmek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Takım ömrü deneylerinde kriter olarak, NORDTEST NT MECHE 038 standardı tarafından HSS matkaplar için tavsiye edilen, takım körelmesi (catastrophic failure) esas alınmıştır. Bu standartta takım ömrü, takımın belirtilen takım körelmesi kriterine ulaşıncaya kadar ki delinen delik sayısı olarak belirlenmiştir (NORDTEST NT MECHE 038, 1997).

3. Deney Sonuçları ve Tartışma

3.1. Mikro yapı

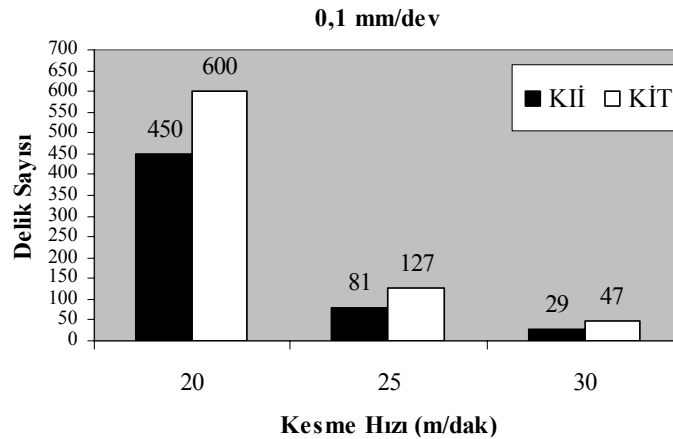
Mikro yapı incelemesinin amacı, artan sertlik değerleri ve geliştirilen takım ömrünü açıklamaktır. Delici ve kesici takımların performansları mikro yapıdaki karbürlerinin özelliklerine bağlıdır. Şekil 1.a'da hiçbir işlem uygulanmamış matkap malzemesinin elektron mikroskobu fotoğrafı ve 1.b'de ise kryojenik işlem sonrası temperleme uygulanmış yapı gösterilmiştir. Beyaz olarak görünen parçacıklar: tungsten karbür (α fazı, WC), karışık karbürler (γ fazı, Ti, Ta, Nb, W, Cr) C, Eta fazı (η phase); $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ (Mo_6C), $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$ (Mo_{12}C) dir (Vadivel ve Rudramoorthy, 2009). Bu fazların dağılımı, boyutları, miktarı ve parçacıklar arası mesafeleri, malzemenin mekanik özelliklerini etkiler. Uygur, (2006) sade karbonlu çelik içerisinde bulunan benzer karbür ve martenzit miktarının sertlik değerlerini artırdığını ve buna bağlı olarak da aşınma direncinin arttığını göstermiştir. Şekil 1.a'da görüldüğü gibi, mikroyapı içerisinde homojen olmayan, farklı boyutlarda beyaz karbür parçacıkları vardır. Bu parçacıklar kryojenik ve temperleme işleminden sonra parçalanmış, daha küçük boyutlarda ve homojen bir yapıya dönüşmüştür. Ayrıca, kalıntı östenit, martenzite dönüşmüştür. Bilindiği gibi; düşük karbonlu çeliklerdeki östenit oda sıcaklığındaki su içerisinde %100'e varan oranlarda martenzite dönüşür. Fakat %0.7'den fazla C içeren çeliklerde M_f çizgisinin 0°C altına inmesi sebebiyle yapıda bir miktar artık östenit kalır. YMK yapının ADF'si (0.74); HMK'dan (0.68) yüksektir, bu yüzden dönüşüm esnasında hacim artışı meydana gelecektir. Bu artış %1-3 civarındadır. Hacim büyümesi östenite basınç uygulayarak martenzite dönüşümü engeller ve yapı içerisinde oda sıcaklığında östenit olarak kalmaya devam eder. Tam dönüşüm için sıcaklığın sıfır altındaki sıcaklıklara düşürülmesi gerekir. Her sıcaklık düşüşünde kalıntı östenitin bir miktarı daha martenzite dönüşür. Karbon oranına bağlı olarak da kalıntı östenit miktarı değişir. Bu oran kabaca %0.4 C çelikte %10, 1.3 C çelikte %40 ve 1.7 C çelikte %80 civarındadır. Hacim merkez tetragonal yapıdaki martenzit çok gevrek ve serttir. Bu yüzden bir miktar sertlik kaybına müsaade edilerek daha tok olan kübik yapıya dönüştürülür. Bu çalışmada kryojenik işlemde sonra temperleme uygulanarak tetragonal yapının kübik yapıya dönüşmesi sağlanmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus temperlemenin 400°C 'yi geçmemesi gerekir. Çünkü belirtilen sıcaklığın üstünde yapılan temperlemede, martenzit kafesi tamamen kübik yapıya döner, karbonlar uzaklaşır, mikro yapı ferrit ve perlit haline dönüşür. 250°C 'ye kadar olan temperlemelerde ise martenzit yapıyı oluşturan tetragonal yapıdaki karbonlar difüzyon mekanizmasıyla karbürler meydana getirir (sementit). Böylece, bir miktar sertlik kaybıyla tokluk önemli derecede artırılabilir. Bu çalışmada, hiç işlem görmemiş, matkap sertliği, 1075 Hv iken kryojenik işlem ile bu değer 1240 Hv olmuş, ve kryojenik işleme ilaveten yapılan temperleme ile de 1100 Hv'ye düşmüştür. AISI D2 malzemesinin sertliği ise 200 Hv civarındadır. Kısaca, kryojenik işlem, mikro yapı içerisindeki beyaz karbürlerin yeniden dağılımını, kalıntı östenitin martenzite dönüşümünü ve matkap malzemesinin sertliğini artırmış, buda takım aşınmasını azaltarak ömrünü artırmıştır.



Şekil 1. a. Konvansiyonel işlem görmüş ve b. Kriyojenik işlem ve temperlenmiş matkapların mikro yapıları

3.2. Takım ömrü

Takım ömrü en önemli işlenebilirlik kriterlerinden birisidir. Kesici takımlar üzerine uygulanan işlemlerin (kriyojenik işlem ve konvansiyonel ısı işlem) kesici takımların performansı üzerindeki etkisini ortaya koymak amacıyla ömür deneyleri yapılmıştır. Şekil 2’de sabit ilerleme hızında (0,1 mm/dev) kesme hızına bağlı olarak kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımların ömür karşılaştırılması görülmektedir. Grafik incelendiğinde, takımlara uygulanan ısı işleme bakılmaksızın (her iki takım da) artan kesme hızının takım ömründe ciddi azalmalara neden olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Takım ömrü üzerinde en etkili parametrenin kesme hızı olduğu bilinmektedir. Artan kesme hızları kesme bölgesinde yüksek sıcaklıkların oluşmasına kesici takım üzerine gelen yüklerin artmasına bunun sonucunda da kesici takımın hızla aşınarak ömrünü tamamlamasına neden olmaktadır (Çakır, 1999). 20 m/dak kesme hızında kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış takımlarla sırasıyla 600 ve 450 delik delinebilirken, kesme hızının %50 arttırılması sonucu 30 m/dak kesme hızında ulaşılan delik sayısı sırasıyla 47 ve 29 deliğe düşmüştür. Buda takım ömründe sırasıyla 12,7 ile 15,5 kat azalmaya sebep olmuştur. Bu durum kesme hızının ömür üzerindeki etkisini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.



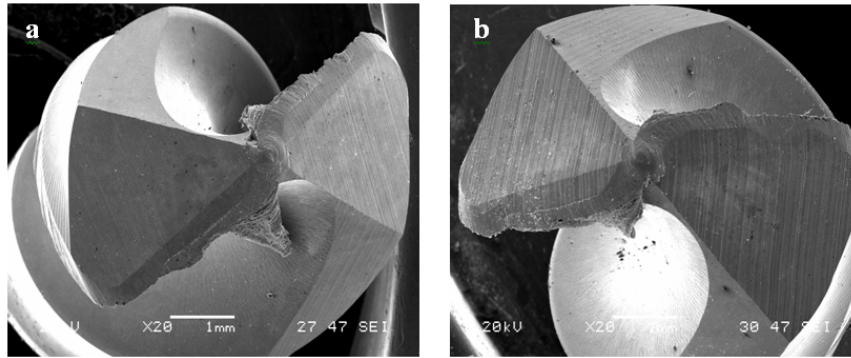
Şekil 2. AISI D2 takım çeliklerinin delinmesinde kullanılan takımlara uygulanan işlemlerin takım ömrüne etkisi

Kesici takımlar üzerine uygulanan ısı işlem farkına bağlı ömür değişimleri irdelendiğinde ise takım ömrü bakımından kriyojenik işlem uygulanmış takımlar üç kesme hızında da kriyojenik işlem uygulanmamış takımlara ciddi bir üstünlük sağlamıştır. Kesici takımlar üzerine

uygulanan kriyojenik işlem ile 20, 25 ve 30 m/dak kesme hızlarında sırasıyla %33, %56 ve %62 ömür artışı elde edilmiştir. Özellikle yüksek kesme hızlarında ömür farkının arttığı görülmüştür. Buda kriyojenik işlem uygulanmış takımların yüksek kesme hızlarında daha iyi performans sergilediğini göstermektedir. Kriyojenik işlemin takım ömründe sağladığı bu artışa, konvansiyonel ısıtılma işlem sonrası uygulanan bu işlemin kesici takımların yapısındaki kalıntı östeniti martenzite dönüştürmesi ve daha homojen bir karbür dağılımı sağlayarak kesici takımların sertlik ve aşınma direnci gibi mekanik özelliklerinde meydana getirdiği iyileşmelerin (Molinari vd., 2001; Mohan vd., 2001) sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, kriyojenik işlemden sonra 200 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile yapılan temperleme işleminin kesici takım malzemesinin tokluğunun artmasına ve ikinci bir karbür çökmesine neden olması, takım ömrünün iyileşmesinde başlıca etkenler arasında yer almaktadır. Kriyojenik işlem sonrasında yapılan mikro yapı ve mikro sertlik incelemeleri de bu değişimleri doğrular niteliktedir.

3.3. Takım aşınması

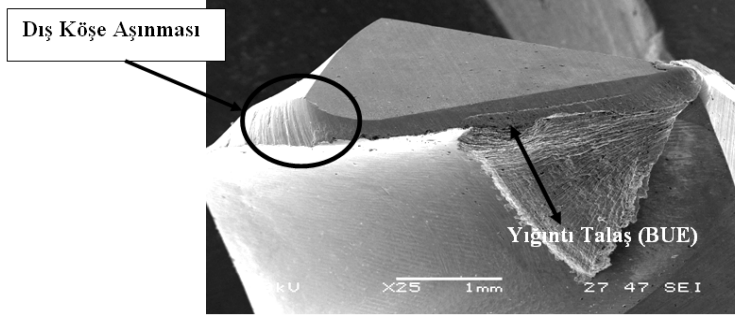
AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin 0,1 mm/dev ilerleme, 20 m/dak kesme hızında kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış takımlarla delinmesinde kesici takımlarda oluşan aşınmalar Şekil 3'te görülmektedir. Kriyojenik işlem uygulanmamış takımla 450 delik delinirken, kriyojenik işlem uygulanmış takımla bu sayı yaklaşık %33 artarak 600 deliğe ulaşmıştır. Buradan kriyojenik işlemin kesici takımın aşınma direncini artırarak takım ömrünün iyileşmesine katkı sağladığı söylenebilir. Her iki tip kesici takımında genel olarak difüzyon, abrasyon ve adezyon aşınma mekanizmaları görülmüş bunların sonucunda yanak aşınması, kesici kenar aşınması ve etkin bir şekilde yığıntı talaş (BUE) oluşumu belirlenmiştir.



Şekil 3. AISI D2 malzemenin delinmesinde, a) Konvansiyonel ısıtılma işlem uygulanmış, b) Kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarda oluşan aşınmalar

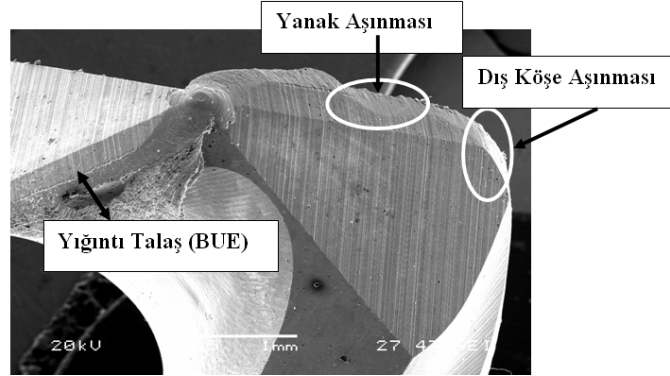
Kesici takımlarda görülen aşınmanın temel nedeni AISI D2 malzemenin sahip olduğu yüksek aşınma direncidir. Takım ile iş parçası arasındaki aşırı sürtünme takım aşınması üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Delme işlemine devam edilmesiyle birlikte sürtünme kuvveti plastik şekillendirme değerine ulaşıncaya kadar sürekli olarak artar bu aşamadan sonra BUE oluşumu başlar (Şekil 4). Sürekli devam eden kesme işlemi neticesinde BUE sertliğini ve dayanımını kaybederek devam eden kesme sürecinde üzerine gelen gerilmelere dayanamayarak kesici uçtan uzaklaşır fakat bu uzaklaşma esnasında kesici kenarın bir bölümünü de beraberinde koparır. Ayrıca, takım ile talaş arasındaki özellikle iş parçası malzemesinden kopan sert parçacıkların takım üzerinde taşlama etkisi yapması sonucu yanak ve dış köşe aşınması görülmüştür. Yanak aşınması difüzyon aşınma mekanizmasının sonucu

olarak da ortaya çıkabilmektedir. Şekil 3'te görüldüğü gibi her iki takım da hem yanak aşınması hem de dış köşe aşınması ortaya çıkmıştır.



Şekil 4. Konvansiyonel ısıtılmış (KII) takımda görülen aşınma tipleri

Genellikle matkaplarda aşınma, kesici kenarın zırh ile birleştiği noktada başlar, kesici ağızlar ve serbest yüzeylerde gelişir. Kesici takımın dış köşesinde başlayan dış köşe aşınması, malzemenin sahip olduğu yüksek aşınma direnci sebebiyle iş parçası ile takım arasındaki sürtünmeden dolayı görülür. Dış köşe aşınması delme işlemi süresince hızlı bir şekilde ortaya çıkar ve kesici ağızda ciddi bir aşınmaya hatta kesici takımın dış kenarının tamamen yok olmasına sebep olur, bunun sonucunda kesici takım ömrünü hızlı bir şekilde tamamlar.



Şekil 5. Kriyojenik işlem uygulanmış (KİT) takımda görülen aşınma tipleri

AISI D2 malzemenin delinmesinde kesici takım ömrünün belirlenmesi üzerinde en etkili aşınma dış köşe ve yanak aşınmasıdır. Şekil 4 ve 5'te kesici takımlarda görülen aşınma tipleri incelendiğinde konvansiyonel ısıtılmış takımın daha az delik delmesine rağmen dış köşede çok daha fazla miktarda aşınma gerçekleştiği görülmektedir. Kriyojenik işlem uygulanmış takımların aşınma direnci, tokluk ve sertliğinin daha yüksek olması sebebiyle delme işlemini daha uzun süre gerçekleştirebilmektedirler.

4. Sonuçlar

AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin konvansiyonel ısıtılmış ve kriyojenik işlem uygulanmış kaplamasız HSS takımlarla delinmesi sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Kriyojenik işlem, mikro yapı içerisindeki beyaz karbürlerin yeniden dağılımını, kalıntı östenitin martenzite dönüşümünü ve matkap malzemesinin sertliğini arttırmış, buda takım aşınmasını azaltarak ömür artışı sağlamıştır.
2. Kesme parametrelerine bağlı olarak değişmekle birlikte kriyojenik işlem uygulanmış takımlar, konvansiyonel ısıtılmış takımlara göre % 33-62 arasında değişen değerlerde ömür artışı sağlamıştır.

3. Her iki takım içinde kesme hızının artması ile takım ömrünün azaldığı belirlenmiştir.
4. Kesici takımlarda baskın aşınma mekanizmaları olarak adhezyon, abrasyon ve difüzyon aşınma mekanizmaları görülmüş ve takımlarda etkili olarak dış köşe aşınması, yanak aşınması ve yığıntı talaş (BUE) oluşumu belirlenmiştir.

Bu sonuçlar ışığında kriyojenik işlemin ve bu işlemten sonra uygulanan temperleme işleminin takım ömrüne önemli katkıları olmuştur. Ülkemizde çoğunlukla kalıp imalatında kullanılan kalıp ve takım çeliklerinin aşınma direncini artırma amacıyla uygulanan kriyojenik işlem, endüstride takım maliyetlerinin azaltılmasında da önemli rol oynayacak potansiyele sahiptir. Bu çalışmada bu ısıl işlem türü HSS takımlara uygulanmış ve takım ömrünü ve aşınma direncini iyileştirmede olumlu sonuçlar alınmıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda kriyojenik işlemin diğer kesici takım malzeme ve tiplerine uygulanarak etkilerinin araştırılması bu alanda çalışacak araştırmacılar için yeni çalışma alanları oluşturacaktır.

Kaynaklar

Bensely, A., Prabhakaran, A., Mohan Lal, D., Nagarajan, D. (2005). Enhancing the wear resistance of case carburized steel (En 353) by cryogenic treatment. *Cryogenics*, 45, 747–54.

Çakır, C. (1999). Modern Talaşlı İmalatın Esasları. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayını, Bursa, 35-42.

Düzgün, D. (2007). Makine Elemanları 1 Dizayn-Kontruksiyon. 420.

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

Gill, S. S., Singh, R., Singh, H., Singh, J. (2009). Wear behaviour of cryogenically treated tungsten carbide inserts under dry and wet turning conditions. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49, 256–260.

Huang, J. Y., Zhu, Y. T., Liao, X. Z., Beyerlein, I. J., Bourke, M. A., Mitchell, T. E. (2003). Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel. *Mater. Sci. Eng., A* 339 (1–2), 241–244.

Kalin, M., Vizintin, J. (2006). Influence of deep-cryogenic treatment on wear resistance of vacuum heat-treated HSS. *Vacuum*, 80, 507–18.

Kalpakjian, S., Schmid, S. R. (2001). *Manufacturing Engineering and Technology*. fourth ed., Prentice Hall.

Khan, A. A., Ahmed, M. I. (2008). Improving tool life using cryogenic cooling. *Journal of materials processing technology*, 196, 149–154.

Mihmat, F. (2009). Farklı Çeliklerin Testere Freze Çakılarıyla İşlenebilirliklerinin İncelenmesi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82, KARABÜK.

Mohan, Lal, D., Renganarayanam, S., Kalanidhi, A. (2001). Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steels. *Cryogenics*, 41, 149–55.

Molinari, A., Pellizzari, M., Gialanella, S., Straffelini, G., Stiasny, K. H. (2001). Effect of deep cryogenic treatment on the mechanical properties of tool steels. *J Mater Process Tech.*, 118, 350–5.

NORDTEST NT MECHE 038, (1997). Cutting fluids for drilling: evaluation by drill life test. Nordtest Method, Proj., 1242-95/2, ISSN 0283-7196.

Reddy, T. V. S., Ajaykumar, B. S., Reddy, M. V., Venkataram, R. (2007). Improvement of tool life of cryogenically treated P-30 tools. in: *Proceedings of the International Conference on Advanced Materials and Composites (ICAMC-2007) at National Institute for Interdisciplinary Science and Technology*, 457–460.

Roberts, G., Krauss, G., Kennedy, R. (1998). *Tool Steels: 5th Edition*. p 1-6.

Seah, K. H. W., Rahman, M., Yong, K. H. (2003). Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide cutting tool inserts. *Proc Inst Mech Eng Manuf.*, 217, 29–43.

Uygur, I. (2006). Microstructure and wear properties of AISI 1038H stel weldments. *Industrial Lubrication and Tribology*, 58 (6), 303-311.

Vadivel, K., Rudramoorthy, R. (2009). Performance analysis of cryogenically treated coated carbide inserts. *Int J Adv Manuf Technol.*, 42, 222–232.

Yong A. Y. L., Seah, K. H. W., Rahman, M. (2007). Performance of cryogenically treated tungsten carbide tools in milling operations. *Int J Adv Manuf Tech.*, 32, 638–43.