

SERTLEŞTİRİLMİŞ ÇELİKLERİN SERT TORNALAMA YÖNTEMİ İLE İŞLENMESİ

Mehmet BOY^{a,*} ve Ibrahim ÇİFTÇİ^b, Halil DEMİR^b, Mustafa GÜNAY^c, Feridun ÖZHAN^d

^{a,*} Karabük Üniversitesi Meslek Yüksekokulu,

Tel: 0-370-433 66 03 mboy@karabuk.edu.tr Karabük/TÜRKİYE

^b, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü

Tel: 0-370-433 82 00 iciftci@karabuk.edu.tr, hdemir@karabuk.edu.tr, Karabük/TÜRKİYE

^c Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

Tel: 0-370-433 20 21, mgunay@karabuk.edu.tr, Karabük/TÜRKİYE

^dOrtadoğu Rulman Sanayii ve Tic. A.Ş.,

Tel: 0-312-648 00 10, fozhan@ors.com.tr, Ankara/TÜRKİYE

Özet

İmalatçılar sürekli olarak daha düşük maliyetle daha kaliteli parçaları üretmek için çalışmalar yapmaktadırlar. Sertleştirilmiş çelikler daha yüksek olan aşınma dirençleri ve dayanımları nedeniyle birçok uygulamada tercih edilmektedir. Sertleştirilmiş yüksek sertlikteki makina parçaları geleneksel olarak son geometrilerine taşlama işlemiyle getirilirler. Kesici takımlar ve takım tezgahları alanında yapılan gelişmeler sonucu sertleştirilmiş çeliklerin doğrudan tornalama ve frezeleme gibi talaşlı imalat yöntemleriyle işlenmesi mümkün hale gelmiştir. Sertleştirilmiş malzemelerin işlenmesinde, sert tornalama oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada, sert tornalamada kullanılan kesici takım malzemelerinin, kesici takım geometrisinin, kesici takım aşınmasının, yüzey kalitesinin, iş parçasında oluşan kalıcı gerilmelerin, iş parçası ve takım tutucularının ve kullanılan tezgahların iş parçası kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sert tornalamada düşük CBN içerikli kesici takımların kullanıldığı, kesici takım geometrisinin aşınmayı etkilediği, işlenen yüzeylerde kalıcı gerilmelerin olduğu ve rijit takım ve tezgahların kullanılması gerektiği görülmüştür. Sert tornalama, taşlama ile karşılaştırıldığında; işlem süresinin kısa olması, kaldırılan talaş miktarının fazla olması, kesme sıvısının bazı durumlarda kullanılmaması, karmaşık geometrili parçaların kolaylıkla işlenmesi ve işlenmiş parçalarda basma tipinde kalıcı gerilme oluşturması gibi üstünlüklere sahip olduğu görülmüştür. Sert tornalanmış parçalarda oluşan yüksek seviyede basma tipinde kalıcı gerilmenin yorulma ömrünü önemli derecede arttırmaktadır. Ancak, kesici takım aşınmasından kaynaklanan iş parçası boyutlarındaki değişim ve aşınmış takımın işlenmiş yüzeyde oluşturduğu beyaz katman ve sıkı tolerans gereksinimleri bu işlemin dezavantajlarındandır. Sert tornalama işlemini etkin bir şekilde kullanabilmek için uygun kesici takım malzemelerinin, takım geometrisinin ve işleme şartlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sertleştirilmiş Çeliklerin İşlenmesi, CBN, Takım Aşınması, Yüzey Pürüzlülüğü, Kalıcı Gerilme.

1. Giriş

Sertleştirilmiş malzemelerin tornalanması, yüksek sertliğe ve aşınma direncine sahip kesici takımlar kullanılarak yüksek sertlikteki iş malzemelerinin düzgün bir yüzey elde edilmesi için yapılan bir talaşlı imalat prosesidir. Bu tür malzemelerin tornalanması son yıllarda pek çok endüstrinin ilgi odağı haline gelmiştir. Bugün bu teknoloji, taşlama işleminin yüksek başlangıç maliyetinden dolayı endüstride rulmanların, hareket ileten millerin, aksların, kalıp malzemelerinin ve çeşitli motor ekipmanlarının imalatında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1-3]. Sert tornalama işlemlerinde iş parçası malzemesi olarak; alaşımlı çelikler, rulman çelikleri, sıcak ve soğuk iş takım çelikleri, yüksek hız çelikleri, kalıp çelikleri, yüzeyi sertleştirilmiş çelikler, Waspoloy, Stellite ve diğer süper alaşımlar iş parçası malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Çalışmaları esnasında maruz kaldığı yükler sonucu dayanımı ve sertliği yüksek olması gereken çelik malzemeler (45 – 65 HRC) geleneksel olarak yumuşak halde işlenerek son şekline yakın geometriye getirilirler. Taşlama işlemiyle son şekillerine getirilmeden önce de sertleştirme ve temperleme ısıl işlemlerine tabi tutulurlar. Son geometrileri ve gerekli yüzey topografyaları taşlama ve gerektiğinde de süper bitirme işlemleriyle sağlanır. Son 25 yılda yapılan bilimsel araştırmalar ve teknolojik gelişmeler sonucu sertleştirilmiş çelikleri doğrudan tornalama ve frezeleme yöntemleriyle işleyebilecek yüksek sertlikteki CBN kesici takımların geliştirilmesi bu malzemeleri taşlama işlemine gerek kalmadan şekillendirmeyi mümkün hale getirmiştir. CBN kesici takımlar kullanılarak sertleştirilmiş çelikleri doğrudan işleminin taşlama ile şekillendirmeye göre çok sayıda avantajları mevcuttur. Düşük üretim maliyeti, kısa üretim zamanı [2,3], yüksek miktarda talaş kaldırma kapasitesi, farklı geometrilerin tek bir kesici takım ile oluşturulabilmesi [1,4], kesme sıvısının kullanımına çoğunlukla ihtiyaç olmaması [5,6] ve yüksek parça kalitesi [2,7,8,9], üretilen parçaların yorulma dayanımlarının yüksek olması sert tornalama işleminin taşlama işlemine göre olan avantajlarından biridir. Sert tornalama işlemi, üretilen parça sayısının az olması durumunda daha da cazip olmaktadır [10]. Bunun nedenleri ise taşlama işleminde üretime başlamadan önce ayar zamanlarının uzun olması ve özel profilleri oluşturmak için özel taş geometrilerine ihtiyaç duyulmasıdır. Ancak, CBN kesici takımların maliyetinin yüksek olması, sert tornalama işleminin çoğunlukla bitirme işlemi olması nedeniyle kullanılacak takım tezgahlarının geleneksel talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan takım tezgahlarından daha rijit, iş bağlama sistemlerinin daha hassas, dönen sistemlerdeki salgılarının daha düşük olması gerekliliği ve mevcut sistemlerin değiştirilmesine olan dirençten dolayı sert tornalama işleminin potansiyelinden günümüzde faydalanılamamaktadır [4].

Sert tornalama işleminin taşlama işlemine göre üstünlükleri açık bir şekilde yapılan çalışmalardan görülmektedir. Ancak, taşlama işlemi sert parçaların işlenmesinde hala yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Özellikle rulman bilezikleri gibi çok sıkı boyut ve konum toleransları dahilinde parça üretmek gerektiğinde sert tornalama işlemindeki kesici takım aşınması ve iş parçasında, kesici takım ve bağlama sistemindeki ısıl genleşme nedeniyle istenilen boyutların elde edilmesinde problemler yaşanmaktadır.

Bu çalışmada, sert tornalamada kullanılan kesme parametrelerinin, kesici takım malzemelerinin, kesici takım geometrisinin, kesici takım aşınmasının, yüzey kalitesinin, iş parçasında oluşan kalıcı gerilmelerin, iş parçası ve takım tutucuların ve kullanılan tezgahların iş parçası kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. Literatür İncelemesi

Sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesi ile ilgili birçok araştırma yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir. Sertleştirilmiş malzemelerin işlenebilirliği ile ilgili yapılan çalışmaların, kesme parametreleri, kesici takım geometrisi, kesici takım malzemesi, takım aşınması ve takım ömrü, kesme kuvvetleri, kuvvet ve

sıcaklığın modellenmesi, kalıcı gerilme, beyaz ve siyah katman oluşumu, yüzey bütünlüğü ve yorulma ömrü gibi konularda olduğu görülmüştür.

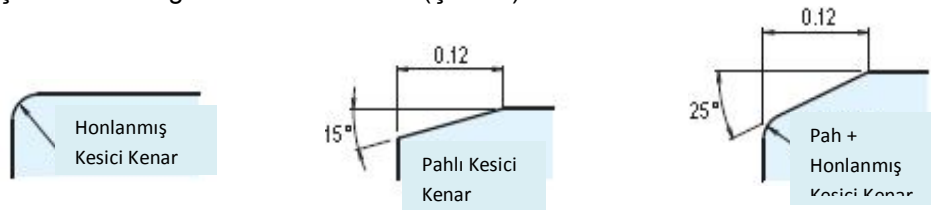
2.1 Sert Tornalamada Kullanılan Kesici Takım Malzemeleri ve Takım Geometrisi

Kesici takımlar ve takım tezgahları alanındaki gelişmeler sert tornalama işlemini günümüzde yaygın hale getiren önemli nedenlerdendir. Sert iş parçası malzemelerinin özellikleri nedeniyle kullanılan kesici takımlar; yüksek çentik dayanımı, yüksek sertlik, yüksek termal iletkenlik, yüksek aşınma direnci, fiziksel ve kimyasal kararlılık gibi gereksinimleri karşılaması gerekir. Sert tornalama ve frezeleme işlemleri için en çok kullanılan kesici takım malzemeleri, seramik ve kübik bor nitrür (CBN)'dür.

Kübik bor nitrür (CBN) kesici takımların geliştirilmesi ve ticari olarak yaygınlaşması ile daha önceleri yalnızca taşlama işlemi ile son geometrilerine getirilen sertleştirilmiş çelikler doğrudan tornalama işlemi ile de son geometrilerine getirilebilmiştir. CBN kesici takımlar, yüksek sıcak sertliğe, demire olan düşük ilgisi, yüksek ısı iletkenliği ve düşük termal genleşme katsayısına sahip olduğundan sertleştirilmiş çelikler, takım çelikleri ve işlenmesi zor malzemeler gibi çeşitli malzemelerin işlenmesinde yaygın biçimde kullanılmaktadır.

CBN kesiciler, CBN parçacıkların kobalt, TiC, TiN veya diğer malzemeler ile karıştırılarak sinterlenmesi ile oluşturulur. CBN kesici takımlar; %90 oranında CBN tanelerden ve metalik bağlayıcılardan (kobalt) oluşan yüksek içerikli ve %50-70 oranında CBN tanelerden ve seramik bağlayıcılardan (TiC, TiN,) oluşan düşük içerikli CBN kesici takımlar olmak üzere genel olarak iki kategoriye ayrılır. Yüksek CBN içerikli kesici takımlar yüksek sertlik ve toklukları nedeni ile genellikle araklı (kesikli) tornalama işlemlerinde, düşük içerikli CBN kesici takımlara seramik fazın eklenmesi ile kimyasal kararlılıkları, düşük difüzyon eğilimleri ve düşük ısı iletkenlikleri ile sürekli tornalama işlemlerinde kullanılmaktadır.

CBN kesici takımlar yüksek sertlikleri nedeniyle oldukça kırılıgandır. Bu nedenle kesici kenar dayanımını arttırmak için büyük negatif talaş açısı kullanılmaktadır. Keskin bir kesici kenardan ziyade pahlı bir kesici kenar işleme esnasında oluşan kesme kuvvetlerini ve sıcaklığı artırır. Ancak, CBN kesici takımların yüksek sertlikleri keskin bir kesici kenara müsaade etmemektedir. Kesici kenarın keskin olması durumunda dayanım azalmakta ve işleme esnasında kesici uçta küçük kırılmalar söz konusu olmaktadır. Kesici uçlar, kesicilerin erken kırılmasını önlemek ve takımda güçlü bir kesici kenar oluşturmak için pah kırılarak ya da honlanarak üretilir. CBN kesici takımlarda kesici kenar durumu kesici takımın dayanımını, takım ömrünü, yüzey pürüzlülüğünü ve aynı zamanda kesici takıma talaş yapışma eğilimini etkiler [4,11]. CBN kesici takımlarda genel olarak pahlı, honlanmış ve pah + honlanmış kesici kenar geometrileri kullanılır (Şekil 1).



Şekil 1. CBN kesici takımların kesici kenar durumları [12]

Sertleştirilmiş AISI 4340 çelikliğinin tornalanmasında pah ve honlanmış kesici kenar geometrisine sahip düşük ve yüksek içerikli CBN kesici takımlar kullanılarak yapılan çalışmalarda düşük içerikli CBN kesici takımın her iki geometride de daha iyi takım ömrü sağladığı, aynı zamanda honlama yarıçapının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirtilmiştir. Kesici takım yan kenar aşınmasında, pahlanmış ve honlanmış kesici takım geometrileri karşılaştırıldığında kesme hızının ilerleme miktarından daha

önemli bir etkiye sahip olduğu, pahlanmış takım geometrisinde, honlanmış kesici kenardan daha yüksek kuvvetler olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalarda, bitirme (finish) işleminde yüksek kesme hızı, düşük ilerleme ve düşük kesme derinliğinin önemli olduğu görülmüştür. Çeşitli çalışmalarda kesme hızının 100 m/dak 250 m/dak arasında, bazılarında ise bu değerlerden daha yüksek olduğu, ilerleme miktarının 0.05 mm/dev - 0.2 mm/dev arasında ve kesme derinliğinin ise 0.2 mm'den fazla olduğu belirtilmiştir [1-11].

Sert tormalama işleminde CBN kesici takımlara alternatif olarak alumina (Al_2O_3) seramikler ve kaplamalı karbür takımlarda kullanılmaktadır. Saf alumina takımların kırılma dayanımlarının ve termal şok dirençlerinin düşük olması sert tormalama işlemlerini sınırlamaktadır. İş parçasındaki sert karbürler, yüksek kesme kuvvetleri, titreşim, termal şok ve takımın iş parçasına giriş ve çıkışları nedeniyle bu kesici takım malzemelerinde genellikle kırılmalar ve kopmalar meydana gelmektedir. Alumina takımların kırılma ve termal şok direnci; ZrO_2 , TiC, TiN ve SiC whisker takviyesi ve rijit bağlama sistemlerinin kullanılması ile artırılabilir. SiC takviyeli seramikler genellikle vuruntulu tormalama işlemleri için tavsiye edilmektedir. Sertleştirilmiş çeliklerin tormalanmasında bazı kaplamalı karbür takımlar iyi termal şok direnci ve kırılma dayanımına sahip iken yüksek aşınma oranları ve iş parçası ile kimyasal reaksiyonları takım ömrünü azaltmaktadır. Seramik kesiciler genellikle sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde kullanılan kesiciler arasında en ucuz olanıdır. Fakat düşük kırılma tokluğu ve düşük sertliklerinden dolayı daha düşük işleme parametrelerinde kullanılmaktadır [13-17].

Kesici kenar durumu aynı zamanda kesme kuvvetlerini de etkilemektedir. Kesici kenardaki pah ya da honlama miktarının artması kesme kuvvetlerini arttırmaktadır. İlerleme miktarı ve iş parçasının sertliği kesici kenardan daha az bir etkiye sahiptir. Ancak ilerleme miktarı, özellikle ilerleme kuvvetini etkilemektedir [18].

Kountanya ve arkadaşları 64 Rc sertlikte 100Cr6 malzemenin işlenmesinde kesici kenarda honlama miktarının artması ile kesme ve pasif kuvvetin arttığını kesme hızının artması ile kuvvetlerde azalmanın olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda pah miktarının artması kesme ve pasif kuvvetin artmasına neden olmuştur [19].

2.2 Sert Tormalamada Takım Aşınması ve Takım Ömrü

Sert tormalamanın taşlama yerine birçok ekonomik avantajları olmasına rağmen, takım aşınması önemli bir engel teşkil etmeye devam etmektedir. Takım aşınması, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, takım geometrisi, kesici takım ve iş parçası malzemesi, titreşim, takım ve iş parçası bağlama sistemi ve kullanılan takım tezgahı gibi bir çok özellikten etkilenmektedir. Takım aşınması, takım ömrünü azaltılmasının yanında, yüzey pürüzlülüğünü ve kesme kuvvetlerini arttırmakta, iş parçası boyutlarını değiştirmekte ve çekme tipinde kalıcı gerilme ve beyaz tabaka oluşumuna neden olmaktadır. Hassas sert tormalama işleminde istenilen hassasiyeti ve yüzey kalitesini devam ettirebilmek için devam eden bir problem takım aşınmasının en aza indirilmesidir. Takım aşınması yalnızca parça boyutları ve yüzey kalitesini etkilemez aynı zamanda kesme kuvvetlerini de önemli derecede artırır. Kesme kuvvetlerinin artması takım hareketindeki tamlığın azalmasına ve dolayısıyla iş parçası ölçülerinin istenilenin dışına çıkmasına neden olur. Ayrıca, kesme kuvvetlerinin artması ile iş parçası ve bağlama sistemlerinde de bir miktar yer değiştirme söz konusu olur.

Sertleştirilmiş ve temperlenmiş AISI 1045 ve AISI 5140 çeliklerini TiN kaplamalı karbür takımlarla düşük kesme hızlarında işlenmesinde adhezyon ve mikro kırılmalar oluşurken yüksek hızlarda difüzyon ve termal yorulma çatlakları olduğu görülmüştür. Kesme hızının artması ile takım temas bölgesinde sıcaklık artmıştır. Böylece yüksek sıcaklıklarda kimyasal aşınma önde gelen bir aşınma mekanizması haline gelmiştir ve genellikle kesici takım erken aşınmasına sebep olarak kesici kenarın kırılmasını hızlandırmıştır. Bu karbür uçların sert tormalamada sınırlı bir uygulamaya sahip olduğunu göstermiştir [20-21].

AISI D2 çeliğinin seramik kesici takımlarla işlenmesinde elde edilen yüzey kalitesini taşlama ile karşılaştırabilmek için yapılan çalışmalarda, takım aşınmasını en çok kesme hızının etkilediğini ve aynı zamanda işlem süresini uzattığını belirtmişlerdir. İlerleme miktarının yüzey pürüzlülüğünü ve işleme süresini etkilediği ve aynı zamanda yüksek kesme hızlarında aşırı aşınmanın yüzeyi kötüleştirdiği görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme miktarı ve işleme süresinden etkilendiği, ilerleme miktarının da özgül kesme direncini etkilediği belirtilmiştir. Sonuç olarak 0,8 µm'den daha iyi bir yüzey pürüzlülüğü elde edildiği taşlama kesme parametrelerinin uygun seçimi ile taşlama işlemini ortadan kaldırılabileceğini göstermiştir [22].

AISI 4340 çeliğinin Al₂O₃ ve TiCN karma seramikler ile işlenmesinde kesme hızının artması ile takım aşınmasında azalmanın olduğu görülmüştür. Bu durum kesme sıcaklığının artması ile malzemenin akma dayanımının azalmasına atfedilmiştir. Dolayısı ile daha az kesme kuvveti ve bundan dolayı daha az takım aşınmasına neden olmuştur [23].

Eda ve arkadaşları CBN taneleri ve seramik bağlayıcılar arasındaki bağ gücünün CBN taneleri ve metalik bağlayıcı arasından daha fazla olduğunu ve bununda sonuç olarak tokluğu arttırdığını belirtmişlerdir [24].

Bossom ve arkadaşları sert tornalama işleminde düşük ve yüksek içerikli CBN kesici takımlar arasında termal iletkenlik farkını belirlemek için yaptıkları çalışmada yüksek CBN içerikli CBN kesici takımın daha düşük bir performans sergilediğini belirtmişlerdir. Çünkü yüksek ısı iletkenlik, yüksek CBN içerikli malzemelerin ısıyı daha hızlı dağıtmasıdır. Kesici kenarında oluşan ısı kesme bölgesinde iş parçasının plastik deformasyonunu kolaylaştırır. Düşük CBN içerikli malzeme düşük ısı iletkenliğine sahip olduğundan oluşan ısı kesici uçta ve kesme bölgesinde tutularak iş parçasının yumuşamasına, deformasyona ve kesmeye kolaylık sağlar [25].

Yapılan çalışmalarda CBN takımların kimyasal reaksiyonlarının takım aşınmasını etkilediğini belirtmişlerdir. CBN malzeme bileşimi ve mikroyapısı, hem meydana gelen reaksiyonların belirlenmesini hem de bu nedenle meydana aşınmayı etkilemektedir.

İş parçası malzemesinin sertliği ve mikroyapısı yan kenar aşınmasında önemli bir rol oynar. AISI 52100 rulman çeliğinin CBN kesici takımlarla işlenmesinde araştırmacılar aşınmanın sadece kesici takımın CBN içeriğine ve birleştiricinin türüne bağlı olmayıp aynı zamanda iş parçası malzemesinin sertlik değerine ve mikroyapısına bağlı olduğunu belirtmişlerdir [26]. Aynı zamanda yan kenar aşınmasından dolayı takım temas alanının artması ile pasif kuvvetin de arttığı gözlenmiştir. Yüksek hızlarda sert karbür parçacıkları bağlayıcıdaki CBN tanelerin ayrılmasına neden olarak krater aşınmasının oluşmasına sebep olur. Yüksek kesme hızlarında iş parçasındaki sert karbürler kaplamayı aşındırarak kaplamalı takımın kaplamasız gibi davranmasına neden olur. Orta hızlarda kaplamalı CBN takım ömrü açısından daha iyi sonuçlar göstermektedir [25,26].

2.3 Sert Tornalamada Kalıcı Gerilme ve Beyaz Katman Oluşumu

Üretilen parçaların maruz kaldığı talaşlı imalat ve taşlama gibi şekillendirme yöntemleri, istenilen geometri ve yüzey pürüzlülük değerini sağlamakla birlikte bu parçaların yorulma ömrüne etki eden yüzey altındaki değişimlere de etki etmektedir. İmalat işlemi esnasında parçanın yüzey katmanı mekanik ve ısı gerilmelere maruz kalır. Bu gerilmeler de yüzey katmanında mikroyapı ve sertliğin değişmesine ve kalıntı gerilme oluşmasına neden olur [7]. Yüzey katmanında oluşan kalıntı gerilmeler bu etkiler sonucu çekme veya basma tipinde olabilmektedir. Çekme tipinde oluşan kalıntı gerilme parçanın çalışması esnasında yorulma ömrünü kısaltırken basma tipinde kalıntı gerilme de yorulma ömrünü uzatmaktadır [11]. Sert tornalama yöntemi ile üretilmiş parçaların yüzey katmanlarının incelenmesi sonucu kalıntı gerilmelerin genellikle yüksek seviyede basma tipinde olduğu yapılan çeşitli bilimsel araştırma sonuçlarından görülmektedir. Bu durumun doğal bir sonucu olarak ta bu parçaların

taşıma yöntemiyle üretilmiş parçalara nazaran daha yüksek yorulma dayanımı sergilediği görülmektedir [8,27-36].

Sert tormalama işleminin taşıma işlemine göre üstünlükleri açık bir şekilde yapılan çalışmalardan görülmektedir. Ancak, taşıma işlemi sert parçaların işlenmesinde hala yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Özellikle rulman bilezikleri gibi çok sıkı boyut ve konum toleransları dahilinde parça üretmek gerektiğinde sert tormalama işlemindeki kesici takım aşınması ve iş parçasında, kesici takım ve bağlama sistemindeki ısıl genleşme nedeniyle istenilen boyutların elde edilmesinde problemler yaşanmaktadır. Dolayısıyla kesici takımdaki aşınmayı düşük seviyelerde tutmak ve gerektiğinde kesici takımını değiştirmek gerekmektedir. Sert tormalama işleminde takım ömrü ile ilgili yapılan çalışmalardan takım tezgahının yeterince rijit olması durumunda endüstriyel olarak kabul edilebilir kesici takım ömrünün uygun kesme koşullarında elde edildiği görülmüştür.

Sert tormalamada, takım aşınması kalıcı gerilme ve beyaz katman oluşumu açısından önemlidir. Sert tormalama işleminde elde edilen yüzeyin taşıma ile elde edilenden daha iyi ya da yakın olması için takım ömrü dikkatle izlenmelidir [13].

Sert tormalama yöntemiyle üretilen yaklaşık olarak 60 HRc sertlikteki AISI 52100 çelik parçaların geleneksel taşıma yöntemiyle üretilenlerden daha iyi yorulma ömrü sağladığı yapılan çeşitli çalışmalardan görülmüştür. Klocke ve arkadaşları sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde taşıma ve sert tormalama işlemlerini karşılaştırdıkları ayrıntılı değerlendirme çalışmalarında yüzey pürüzlülük değeri ve toleranslar bakımından sert tormalama işleminin taşıma işleminin bir alternatifi olduğunu belirtmişlerdir. Taşıma işlemi ile oluşan yüzeydeki girinti ve çıkıntılar sert tormalama işlemiyle oluşan yüzeydekenden daha keskin ve daha sıkı olduğu inceledikleri çalışmalardan görülmüştür. Sert tormalanmış ve taşlanmış parçaların yüzey katmanlarında parçaların yorulma ömrünü azaltan bir beyaz katman oluşumundan bahsedilmiştir. Taşlanmış parçalardaki beyaz katmanın sert tormalanmış parçalardaki beyaz katmandan daha fazla olduğu da bu çalışmada ifade edilmiştir. Aynı çalışmada, sert tormalama işlemi sonucunda en yüksek çekme tipinde kalıntı gerilmenin doğrudan iş parçası yüzeyinde olduğu ve yüzey katmanında çok az bir değişiklik olduğu belirtilmiştir. Ancak, taşıma işlemiyle üretilen parçalarda en yüksek çekme tipinde kalıntı gerilmenin yüzey altında olduğu ve yüzeyin derin katmanlarına nüfuz ettiği rapor edilmiştir [7].

Smith ve arkadaşları taşıma+süper bitirme ve sert tormalama+süper bitirme işlemlerine tabi tutularak üretilmiş AISI 52100 çelik parçalarda (60-62 HRc) oluşan kalıntı gerilmeleri ve bu parçaların yorulma ömürlerini ayrıntılı olarak inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Elde edilen sonuçlardan her iki parçada da basma tipinde kalıntı gerilme olduğu ancak sert tormalama+süper bitirme işlemiyle üretilen parçadaki basma tipindeki kalıntı gerilmenin daha fazla olduğu ve yüzey katmanında daha derine nüfuz ettiği görülmüştür. Taşıma+süper bitirme işlemiyle üretilen parçadaki basma tipindeki kalıntı gerilmenin ise yüzeyden merkeze doğru artan mesafe ile hızlı bir şekilde azaldığı ve değerinin sifıra yaklaştığı görülmüştür. Taşıma+süper bitirme işlemiyle üretilen parçanın yorulma dayanımı 19427 çevrim iken sert tormalama+süper bitirme işlemiyle üretilen parçanın yorulma dayanımı 323897 çevrim olmuştur [9].

Matsumoto ve arkadaşları da yaptıkları çalışmalarında taşıma ve süper bitirme işlemi ile elde edilen parçalardaki kalıntı gerilme profili ile sert tormalama ve süper bitirme işlemi ile elde edilen kalıntı gerilme profilini karşılaştırmışlardır. Sert tormalama ve süper bitirme işlemiyle oluşan kalıntı gerilmelerin taşıma ve süper bitirme işlemiyle elde edilenle karşılaştırıldığında basma tipinde olduğu ve daha derine ulaştığı yazarlar tarafından rapor edilmiştir. Ayrıca, tormalama ve süper bitirme işlemiyle daha uzun yorulma ömrü elde edildiği rapor edilmiştir [28].

2.4 Takım Tutucusunun ve Takım Tezgahının Sert Tornalamaya Etkisi

Takım tezgahları teknolojisindeki gelişmeler, sert tornalama yöntemi ile üretilen parçaların kalitesini arttırmak için yüksek hassasiyetli tezgahların üretilmesine öncülük etmektedir. Torna tezgahlarının hassasiyeti, taşlama tezgahlarından daha statik, dinamik, termal rijitlikleri ya da iş mili hassasiyeti ve kızak sistemleri ile farklılık gösterir. Bu tezgahların geometrik ve kinematik hassasiyetlerinin yanı sıra tezgahların rijitliğine dikkat edilmelidir.

Sert tornalamada kullanılan takım ve tezgahların, hassasiyetleri ve hareket kapasiteleri birçok bileşenden etkilenmektedir. Eksenlerin kararlılığı, profilin doğruluğu, hata telafisi, geometrik hizalanmalar, eksenlerin rijitliği, ısı oluşumundan kaynaklanan termal çarpıklıklar, kontrol özellikleri gibi bileşenler tezgah ve takımların kombine davranışını içerir.

Sert tornalama işlemlerinde rijit fener mili ve takım tutucuların kullanılması gerekmektedir. Çoğu zaman rijitliğin yetersiz olduğu durumlarda tırlama ya da kötü parça kalitesi elde edilmektedir. Rijit takımların kullanılması ile daha iyi ve güvenli bir performans sergilenmektedir. Çabuk takım değiştirme sistemleri ya da taretler, geleneksel takımların rijitliğinden daha hassas olarak ayarlanması gerekmektedir. Sert tornalama uygulamalarında takım geometrisi ve merkezleme yükseklik ayarları kesme kalitesini etkilemektedir.

Sert tornalamada, bağlama sistemi, işlem tipi, tezgahın yapısı ve takım tutucudan kaynaklanan hatalar üretilen parçaların hassasiyetlerini etkilemektedir. Bu hatalar sert tornalama takım aşınması, kesme kuvveti ve kesme sıcaklığı gibi üç önemli faktörü etkilemektedir. Bu nedenle sert tornalama işlemlerinde sıklıkla taşlamada olduğu gibi düşük yüzey pürüzlülük değerleri, ölçü hassasiyeti ve konum toleransları elde edilememektedir [4,27-29].

3. Sonuç

Yapılan literatür araştırmasında, sert tornalamada kullanılan kesici takım malzemelerinin, kesici takım geometrisinin, kesici takım aşınmasının, yüzey kalitesinin, iş parçasında oluşan kalıcı gerilmelerin, iş parçası ve takım tutucuların ve kullanılan tezgahların iş parçası kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, sert tornalama taşlama ile karşılaştırıldığında; işlem süresinin kısa olması, kaldırılan talaş miktarının fazla olması, kesme sıvısının bazı durumlarda kullanılmaması, karmaşık parçaların kolaylıkla işlenmesi ve işlenmiş parçalarda basma tipinde kalıcı gerilme oluşması, sertlikleri 55 – 65 HRC olan çelik malzemelerin sert tornalama yöntemi işleminin mümkün olduğu, sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde kesici takım olarak düşük CBN içerikli ve kesici kenarı pahlı ve belirli bir seviyede honlanmış takım geometrisine sahip CBN kesicilerin kullanılması, takım ömrü yönünden uygun kesme hızının 100 -150 m/dk aralığında değiştiği, rijit takım ve tezgahların kullanılmasının gerekliliği, takım aşınması sonucunda yüzey altında beyaz katman oluştuğu ve aynı zaman takım aşınmasının yüzey ve ölçü hassasiyetlerini etkilediği görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Zhou, J.M., Walter, H., Andersson, M., Stahl, J.E. Effect of chamfer angle on wear of PCBN cutting tool, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 43, 301–305, 2003.
- [2] Grzesik, W., Rech, J. Wanat, T., Surface finish on hardened bearing steel parts produced by superhard and abrasive tools, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 47, 255–262, 2007.
- [3] Zhou, J.M., Andersson, M., Stahl, J.E., Identification of cutting errors in precision hard turning process, Journal of Materials Processing Technology, 153–154, 746–750, 2004.

- [4] Tonshoff, H.K., Arendt, C., Ben Amor R., Cutting of Hardened Steel, *Annals of the CIRP* 49,2, 547-566, 2000.
- [5] Huang, Y., Chou, Y.K., Liang, S.Y., CBN tool wear in hard turning: a survey on research progresses, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 35, 443–453, 2007.
- [6] Sood, R., Guo, C., Malkin, S., Turning of hardened steels, *Journal of Manufacturing Processes*, 2, 187-193, 2000.
- [7] Klocke, F., Brinksmeier, E., Weinert, K., Capability profile of hard cutting and grinding processes, *Annals of the CIRP*, 54, 22-45, 2005.
- [8] Abrao, A.M., Aspinwall, D.K., The surface integrity of turned and ground hardened bearing steel, *Wear*, 196, 279–284, 1996.
- [9] Smith, S., Melkote, N., Lara-Curzio, E., Watkins, T.R., Allard, L., Riester, L., Effect of surface integrity of hard turned AISI 52100 steel on fatigue performance, *Materials Science and Engineering A*, 459, 337–346, 2007.
- [10] Scheffer, C., Kratz, H., Heyns, P.S., Klocke, F., Development of a tool wear-monitoring system for hard turning, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43, 973–985, 2003.
- [11] Bartarya, G., Choudhury, S.K., State of the art in hard turning, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 53, 1–14, 2012.
- [12] Kyocera Kesici takım kataloğu, 2012.
- [13] Huang, Y., Dawson, T.G., Tool crater wear depth modeling in CBN hard turning, *Wear* 258, 1455–1461, 2005.
- [14] Farhat, Z.N., Wear Mechanisms of CBN cutting tool during high-speed machining of mold steel. *Materials Science and Engineering A361*, 100–110, 2003.
- [15] More, A.S., Jiang, W., Brown, W.D., Malshe, A.P., Tool wear and machining performance of CBN-TiN coated carbide inserts and PCBN compact inserts in turning AISI 4340 hardened steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 180, 253–262, 2006.
- [16] Stephenson, D.A., Agapiou, J.S., *Metal Cutting Theory and Practice*, first ed. Marcel Dekker, New York, 1996.
- [17] Yaltese, M.A., Rigal, J.F., Chaoui, K., Boulanouar, L., The effect of cutting conditions on mixed ceramic and cubic boron nitride tool wear and on surface roughness during machining of X200Cr12 steel (60 HRC), *Proceedings of Institution of Mechanical: Part B: Engineering Manufacture*, 219, 35–55, 2005.
- [18] Thiele JD, Melkote SN. Effect of cutting edge geometry and workpiece hardness on surface generation in the finish hard turning of AISI 52100 steel, *J Mater Process Technology*, 94, 216–26, 1999.
- [19] Kountanya R, Varghese B, Al-Zkeri I, D’Anna L, Altan T., Study of PCBN tool edge preparation in orthogonal hard turning, In: *Proceedings of the first international diamond at work conference*, 2005.
- [20] Grezesik, W., Influence of tool wear on surface roughness in HT using differently shaped ceramic tools, *Wear*, 265, 327–335, 2008.
- [21] Ebrahimi, A., Moshksar, M.M, Evaluation of machinability in turning of micro- alloyed and quenched-tempered steels: tool wear, statistical analysis, chip morphology, *Journal of Material Processing Technology*, 209, 910–921, 2009.
- [22] Davim, J.P, Figueira, L, Machinability evaluation in hard turning of cold work tool steel (D2) with ceramic tools using statistical techniques, *Materials and Design*, 28, 1186–1191, 2007.

- [23] Aslan, E., Camuscu N., Birgoren B., Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 steel (63HRC) with $Al_2O_3 + TiCN$ mixed ceramic tool, *Materials and Design* 28, 1618–1622, 2007.
- [24] Eda H, Kishi K, Hashimoto H. Wear resistance and cutting ability of a newly developed cutting tool. In: Hashimoto H, editor. *Proceedings of an international conference on cutting tool materials*. Kentucky, USA: American Society for Metals, Ft. Mitchell, 265–80, 1980.
- [25] Bossom PK., Finish machining of hard ferrous workpieces, *Ind Diamond Rev.* 5, 228–32, 1990.
- [26] Ueda, T., Al Huda, M., Yamada, K., Nakayama, K.: Temperature Measurement of CBN Tool in Turning of Hardened Steel: *Annals of the CIRP*, 48, 1999.
- [27] Kalpakjian, S., *Manufacturing process for engineering materials*, Addison-Wesley, New York, 1991.
- [28] Matsumoto, Y., Hashimoto, F., Lahoti, G., Surface integrity generated by precision hard turning, *Annals of the CIRP*, 48, 59-62, 1999.
- [29] Konig, W., Komanduri, R., Tonshoff, H.K., Ackershott, G., “Machining of hard materials”, *Annals of the CIRP*, 39, 417-427, 1990.
- [30] Hua, J., Shivpuri, R., Cheng, X., Bedekar, V., Matsumoto, Y., Hashimoto, F., Watkins, T.R., Effect of feed rate, workpiece hardness and cutting edge on subsurface residual stress in the hard turning of bearing steel using chamfer+hone cutting edge geometry, *Materials Science and Engineering A* 394, 238–248, 2005.
- [31] Yallese, M.A., Chaoui, K., Zeghib, N., Boulanouar, L., Rigal, J., Hard machining of hardened bearing steel using cubic boron nitride tool, *Journal of Materials Processing Technology* 209 1092–1104, 2009.
- [32] Grzesik, W., Wanat, T., Surface finish generated in hard turning of quenched alloy steel parts using conventional and wiper ceramic inserts, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 46, 1988–1995, 2006.
- [33] Coelho, R.T., Ng E., Elbestawi, M.A., Tool wear when turning hardened AISI 4340 with coated PCBN tools using finishing cutting conditions, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 47, 263–272, 2007.
- [34] Lin, H.M., Liao, Y.S., Wei, C.C., Wear behavior in turning high hardness alloy steel by CBN tool, *Wear*, 264, 679–684, 2008.
- [35] Chou, Y.K., Evans, C.J., Barash, M.M., “Experimental investigation on cubic boron nitride turning of hardened AISI 52100 steel”, *Journal of Materials Processing Technology* 134, 1-9, 2003.
- [36] Diniz, A.E., Ferreira, J.R., Filho, F.T., Influence of refrigeration/lubrication condition on SAE 52100 hardened steel turning at several cutting speeds, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43, 317–326, 2003.