

AISI 316L ÇELİĞİNİN İŞLENMESİNDE KESİCİ TAKIM BURUN YARIÇAPININ KALINTI GERİLMELER ÜZERİNE ETKİSİ

Hüseyin Gürbüz^{a*}, Fırat Kafkas^b, Ulvi Şeker^b

^{a.} * Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
huseyin.gurbuz@hacettepe.edu.tr Ankara/ TÜRKİYE

^{b.} * Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü
fkafkas@gazi.edu.tr ve useker@gazi.edu.tr Ankara/TÜRKİYE

Özet

Bu çalışmada, AISI 316L östenitik paslanmaz çelik malzemesinin tornalanması sırasında, kesici takım burun yarıçapının talaş kaldırmayla oluşan kalıntı gerilmelere (çevresel ve eksenel yönde) etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerde AISI 316L malzemesi için ISO 3685'e uygun 75° yanaşma açısına sahip SNMG 120408/120412/120416 formunda sementit karbür kesici takımlar ile buna uygun PSBNR 2525M12 formunda takım tutucu kullanılmıştır. ISO 3685'e uygun olarak kesme parametreleri 4 farklı kesme hızı (125, 150, 175, 200 m/min), üç farklı ilerleme miktarı (0.1, 0.2, 0.3 mm/rev) ve iki farklı kesme derinliği (1,25 ve 2,5 mm) kapsayacak şekilde belirlenmiştir. İşlenmiş yüzeylerde oluşmuş kalıntı gerilmelerinin belirlenmesinde $\sin^2\psi$ metodu kullanılarak, X-Işını kırınımı tekniği tarafından ölçülmüştür. Bütün kesici takım burun yarıçapları için, kesme derinliği ve ilerleme değeri arttığında kalıntı gerilmelerinin (çevresel ve eksenel yönde) arttığı, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte kalıntı gerilmelerinin (çevresel ve eksenel yönde) azaldığı görülmüştür. Kesici takım burun yarıçapının artması ile kalıntı gerilmeleri (çevresel ve eksenel yönde) artmıştır.

Anahtar kelimeler: Kesici Takım Burun Yarıçapı, Kalıntı gerilmeler, AISI 316L, Kesme Kuvvetleri

1. Giriş

İşlemeye bağlı oluşan kalıntı gerilmeler 1950'den beri bir araştırma konusu olmuştur [1-2]. Kalıntı gerilmeler, tüm dış yükler kaldırıldıktan sonra bir iş parçasında var olan gerilmeler olarak tanımlanır [3-4]. Kalıntı gerilmelerin, işlenmiş parçaların deformasyon davranışları, yorulma ömrü, dinamik mukavemet, kimyasal dayanıklılık ve magnetik özellikleri üzerinde hem pozitif hem de negatif etkileri olabilir [1, 6-9]. Kalıntı gerilme çalışmaları, kritik yerlerde kullanılan parçalar işlendiğinde, özellikle yüksek güvenilirlik seviyelerine ulaşmak için çok önemlidir [8]. Östenitik paslanmaz çelikler, yüksek mekanik özellikler ve korozyon dayanırlıklarından dolayı kimyasal endüstriler ve nükleer güç istasyonlarında kritik yapıları iş parçalarının üretiminde geniş olarak kullanılmaktadır [8, 10, 11]. İşleme operasyonları sonucu oluşan kalıntı gerilmeler, östenitik paslanmaz çeliklerin özelliklerini ve aşırı yüklenme şartlarını (gerilme yoğunlaşması, korozyon, çatlama ve yorulma), dayanma kabiliyetlerini etkileyebilir [11].

Östenitik paslanmaz çelikler; düşük ısı iletkenlikleri, yüksek çekme mukavemeti, yüksek süneklik ve yüksek çalışma sertleşmesi (work-hardening) nedeniyle işlenmesi zor malzemeler olarak kabul edilirler [8, 10-13]. Bu özellikler, yüksek kesme kuvvetleri, yüksek kesme sıcaklığı, hızlı takım aşınması BUE oluşumu, kötü yüzey kalitesine ve talaş kırma zorluklarına neden olur [10]. Bu tür çeliklerde görülen çalışma sertleşmesi sebebiyle mekanik değişimler, işlenmiş yüzey üzerinde çok yönlü (heterogenity) davranışlar, uygun olmayan talaş tipleri ve titreşimler söz konusu olmaktadır [10, 12]. Östenitik paslanmaz çeliklerin düşük ısı iletkenliklerinden dolayı [8, 10-13], işlenmiş yüzey üzerinde ve kesici kenar etrafında daha yüksek bölgesel sıcaklıklar görülebilir [8, 10, 12, 13]. Bu açılarından, iş parçasının bütünlüğünü etkiler ve katmanları etkileyen kalıntı gerilmelere yol açar [8, 10]. Sonuç olarak, böyle çeliklerin işlenmesi işlenmiş yüzey katmanları içerisinde yüksek kalıntı gerilmelere sebep olur [8]. Literatürde; östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesiyle oluşan kalıntı gerilmelerle ilgili deneysel çalışmalar, kalıntı gerilmelerin tahmin edilmesi, analizi, deneysel ve modelleme değerlerinin karşılaştırılması, sonlu elemanlarla modellenmesi ve simülasyonu gibi birçok çalışma yapılmıştır [6, 8, 10-14]. Ayrıca, kesici takım burun yarıçapı ile ilgili farklı çalışmalarda mevcuttur. Bu çalışmalar, kesici takım burun yarıçapının; kalıntı gerilmeler, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, beyaz katman oluşumu, yığıntı talaş (BUE) üzerinde etkisi şeklinde literatürde yer almaktadır [15-20].

Bu çalışmanın amacı AISI 316L östenitik paslanmaz çeliği üzerinde tormalama metoduyla farklı kesici takım burun yarıçaplarının ve kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği) talaş kaldırmayla oluşan kesme kuvvetleri ve kalıntı gerilmelere etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Bu çalışma ile elde edilen kesme kuvvetleri ve işleme sonucu oluşmuş kalıntı gerilmelerin grafikleri yorumlanarak kesme kuvvetleri ve kalıntı gerilmelere etkileyen parametrelerin ve birbirleriyle olan ilişkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2. Malzeme ve Yöntem

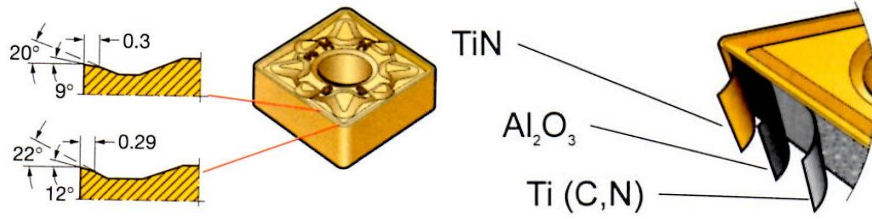
Deneylerde iş parçası malzemesi olarak AISI 316L östenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. Malzeme sertifikalı olarak temin edilmiş olup kimyasal kompozisyonu Çizelge 1.'de verilmiştir. Ham deney malzemesi Ø 25x125 mm boyutlarındadır. Malzemenin dış yüzeyindeki olumsuzlukların giderilmesi amacıyla deney malzemesi ön tormalama işlemine tabi tutulmuştur.

Çizelge 1. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi

%C	%Mn	%Si	%S	%P	%Ni
0,023	1,27	0,44	0,021	0,034	10,10
%Cr	%Mo	%Cu	%N	%Co	
16,17	2,13	0,45	0,043	0,16	

İşleme deneylerinde ISO 3685'te belirtilen deney şartlarına uygun olarak 75° yanaşma açısına sahip SNMG 120408/120412/120416 formunda sementit karbür kesici takımlar ile buna uygun PSBNR 2525M12 formunda takım tutucu kullanılmıştır [21-22]. Kesici takım ve kalitesi için SANDVIK takım firmasının MM talaş kırıcı formuna sahip kaplamalı kesici takım ile iş parçası malzemesine uygun

üretici firmanın GC2025 (M25) kalitesi seçilmiştir. Kesici takım ve kaplama özellikleri Şekil 1.'de, kesici takımın özellikleri ise Çizelge 2.'de verilmiştir.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan kesici takım ve kaplama özellikleri [21-22].

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan kesici takımın özellikleri [21-22].

Kalite		Kaplama tipi	Kaplama katmanı	
Sandvik	ISO	CVD	Bileşim	Kalınlık
GC2025	M25	(Kimyasal buhar çökmesi)	Üç katlı TiCN- Al ₂ O ₃ -TiN	5,5 µm

Deneyler bir CNC torna tezgahında (TC-35 JOHNFORD) gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda kesme kuvvetleri; üç kesme kuvveti bileşenini (F_c , F_f ve F_p) ölçme kapasitesine sahip kuartz kristal esaslı *KISTLER 9257B* tipi dinamometre kullanılarak ölçülmüş, kesme kuvvetlerinin kararlı olduğu bölgenin başlangıç ve bitiş değerleri esas alınarak, ortalama F_c , F_f , F_p kuvvetleri belirlenmiştir.

İşlenen parçalarda oluşmuş kalıntı gerilmelerinin (hem çevresel hem de aksenal yönde) belirlenmesinde $\sin^2 \psi$ metodu kullanılarak, X-ışını kırınımı tekniği tarafından ölçülmüştür. İşlenmiş her bir yüzey üzerinde özellikle de kesici takımın en fazla aşınma sürecine girdiği düşünülen iş parçasından ayrıldığı noktaya en yakın bölgeden üç ölçüm alınarak kalıntı gerilmeler ölçülmüştür. İşleme sonucu oluşmuş kalıntı gerilme profillerinin derinliği, her bir iş parçasının yüzeyi üzerinden 5 µm ölçme boyunda alınmıştır. AISI 316L iş parçası malzemesi için X-ışın analizinde kullanılan parametreler Çizelge 3.'te verilmiştir.

Çizelge 3. X-ışın analizinde kullanılan parametreler

Test Material (Test malzemesi)	Fe _γ	[7, 11, 12]
Spot area (mm ²) yer alanı	1	[12]
1/2S ₂ (Mpa ⁻¹)	6.531 x 10 ⁻⁶	[12]
S ₁ (Mpa ⁻¹)	-1.429 x 10 ⁻⁶	[12]
Wavelength (dalga boyu)	Mn	[7, 11, 12, 13]
Radiation (radyasyon)	Kα	[7, 11, 12, 13]
Filter (Filtre)	Cr	[7, 11, 12]
Bragg angle 2θ (°) bragg açısı	128.70°	[23]
Lattice planes (Kafes düzlemi)	(hkl)=(220)	[23]
Young modul (Elastikiyet modülü) Gpa	196	[13]
Poisson's ratio	0.28	[13]

Deneylerde kullanılan kesme parametreleri dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı ve iki farklı kesme derinliği kapsayacak şekilde belirlenmiştir (Çizelge 4.). Deneylerde, numuneler üzerinden 75 mm uzunluğunda talaş kaldırılarak ölçüm yapılmıştır. Deneylerin tümünde aynı şartları oluşturmak için, her deneyde hiç kullanılmamış yeni kesici takımlar kullanılmıştır. Her bir deney sonrası tezgâh durdurularak kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme parametreleri değiştirilmiş ve her bir burun yarıçapı için 24 deney yapılarak toplam 72 kesme deneyi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

Kesme hızı	İlerleme	Kesme derinliği
V (m/min)	f (mm/ rev)	a (mm)
125 - 150 -175 - 200	0,1 - 0,2 - 0,3	1,25 - 2,5

3. Deney Sonuçları ve Tartışma

Deneyler sonucunda, uygulanan kesme parametrelerine (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği) ve burun yarıçaplarına bağlı olarak işleme sırasında oluşan kesme kuvveti bileşenlerinin değerleri (F_c , F_f , F_p) ve işleme sonucu oluşmuş kalıntı gerilmeleri ölçülerek bu değerler üzerine etkili parametrelerin ve bu parametrelerin birbirleriyle olan ilişkileri yorumlanmıştır.

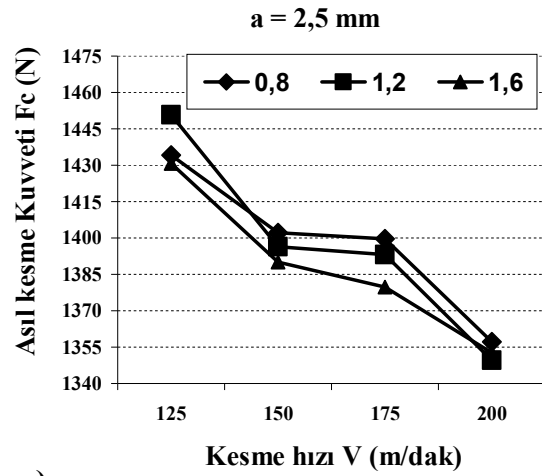
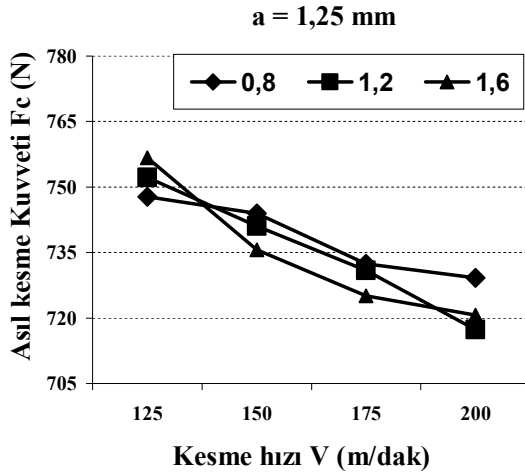
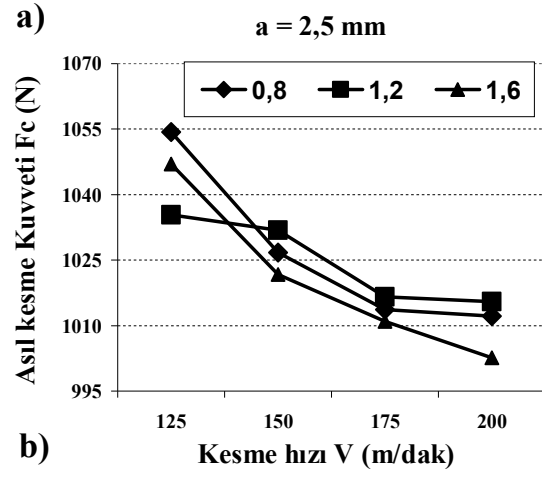
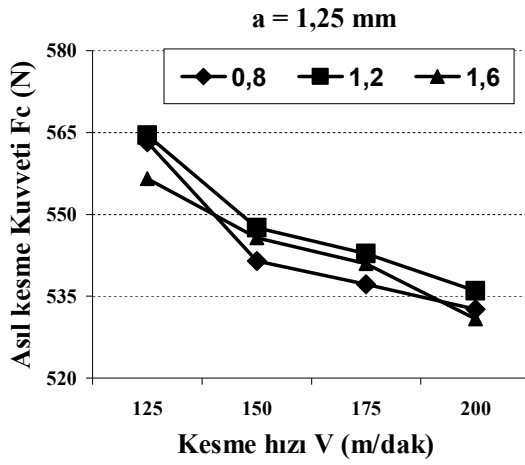
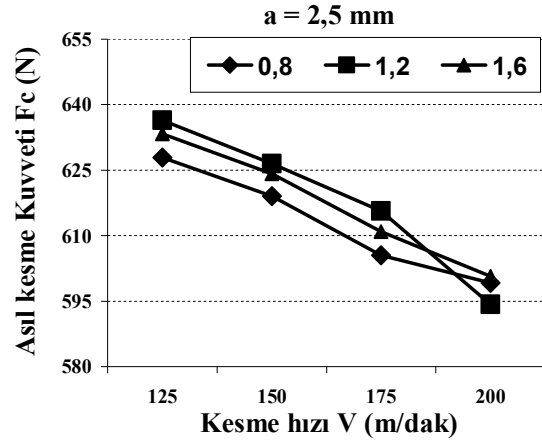
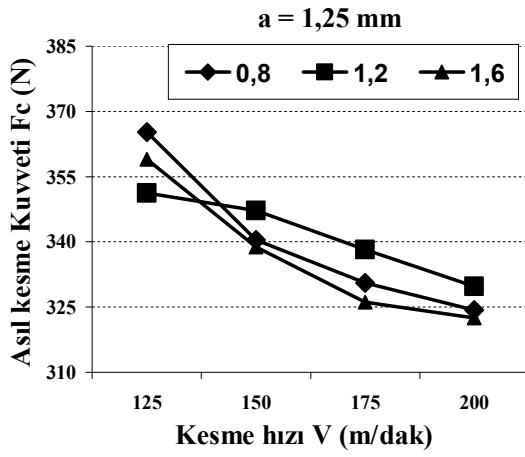
3.1. Kesme Kuvveti Bileşenlerinin Değerlendirilmesi

Üç farklı kesici takım burun yarıçapının, kesme kuvvetleri bileşenleri üzerinde etkisi belirlenmiştir. Deneyler sonucunda uygulanan; kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve farklı kesici takım burun yarıçaplarına göre kesme kuvvetlerindeki değişimler Şekil 2. - Şekil 4.'te grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 2. - Şekil 4.'teki grafikler incelendiğinde; tüm işleme deneyleri için, en yüksek kuvvetin asıl kesme kuvveti F_c , daha sonra sırasıyla ilerleme kuvveti F_f ve pasif kuvveti F_p şeklinde gerçekleştiği görülmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda, farklı kesici takım burun yarıçaplarında ve kesme parametrelerin de F_f ilerleme ve F_p pasif kuvvetinin F_c asıl kesme kuvveti ile olan ilişkisi değerlendirilecek olursak; F_f 'in % 31 ~ % 65 F_c kadar, F_p 'nin % 23 ~ % 49 F_c kadar olduğu görülmektedir. Şekil 2. - Şekil 4.'teki grafiklere bakıldığında, genel olarak kesme derinliği ve ilerleme artığında kesme kuvvetlerinin; (asıl kesme kuvveti (F_c), ilerleme kuvveti (F_f) ve pasif kuvvet (F_p) olmak üzere bu üç bileşenin de) arttığı, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte kesme kuvvetlerinin azaldığı söylenebilir. Ortaya çıkan bu durum üç farklı kesici takım burun yarıçapı içinde aynıdır. Bu durum literatürle paralellik arz etmektedir [24-28]. Artan kesme hızı ile kesme kuvvetlerindeki düşüş sıcaklık artışı nedeniyle kesici takım talaş yüzeyindeki temas alanının azalması ve kısmen de akma bölgesinde (ikinci deformasyon bölgesi) kayma dayanımının azalması ile açıklanmıştır [25, 29]. Öte yandan kesme hızı artığında, kesici takım/talaş ara yüzeyindeki sıcaklık artacağından dolayı kesici takım/talaş ara yüzeyinde sürtünme katsayısı azalır bu da kesme kuvvetlerinin azalması ile sonuçlanır [28].

İlerleme ve kesme derinliğinin artması ile kesme kuvvetlerinin artması beklenen bir durumdur [26]. Ortaya çıkan bu durumu Kienzle'nin aşağıdaki eşitliğinden (Eşitlik 1.) açıklamak mümkündür. Kienzle'nin eşitliğinde;

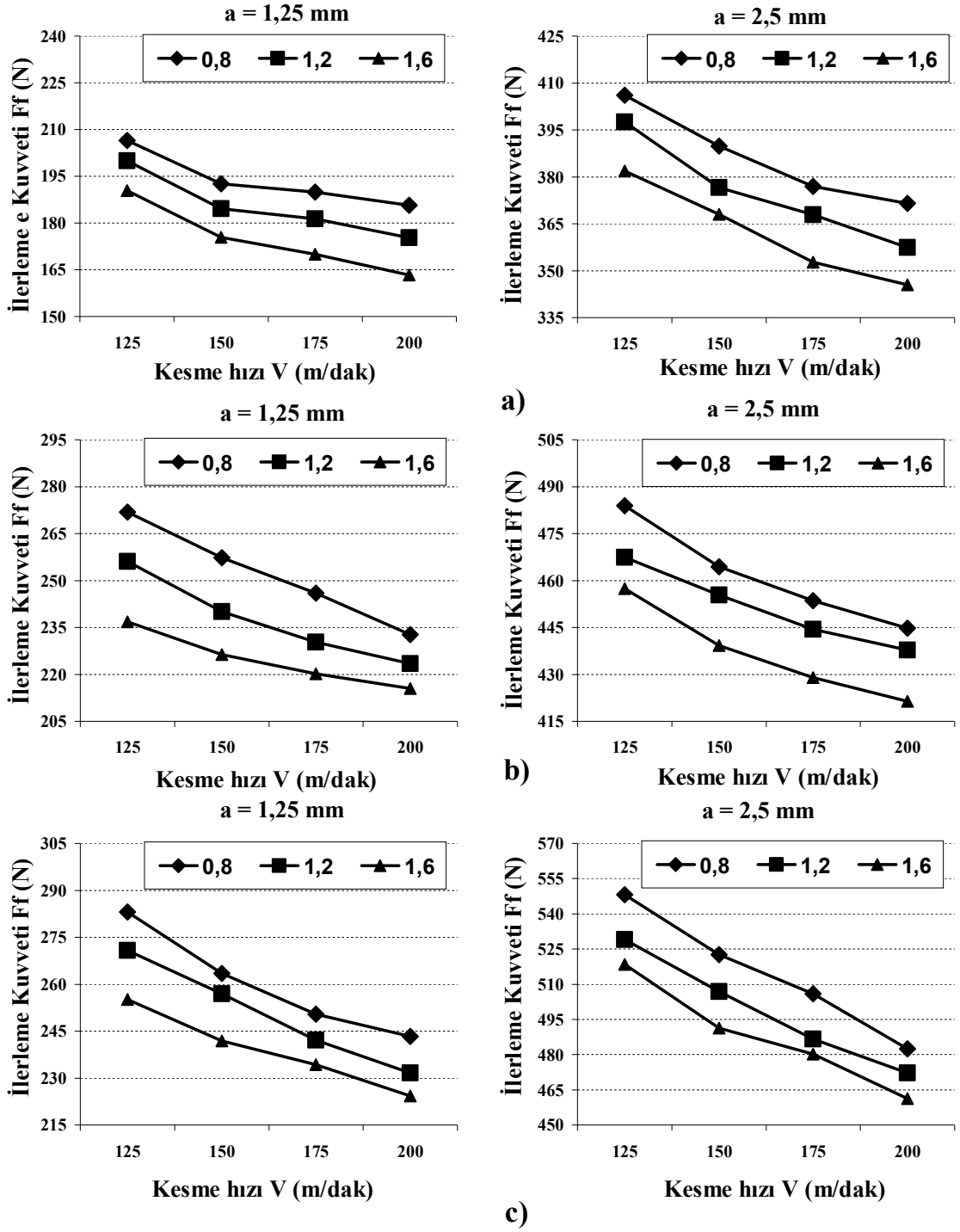
$$F_c = A \times k_s \quad (1)$$

Asıl kesme kuvveti (F_c), talaş kesit alanı (A), özgül kesme direnci (k_s) talaş kesiti "ilerleme \times kesme derinliği" olarak ifade edildiğine göre ilerleme ve kesme derinliğinin artmasına bağlı olarak, talaş kesit alanı (A) artacağından kesme kuvvetlerinin de artması beklenen bir sonuçtur.

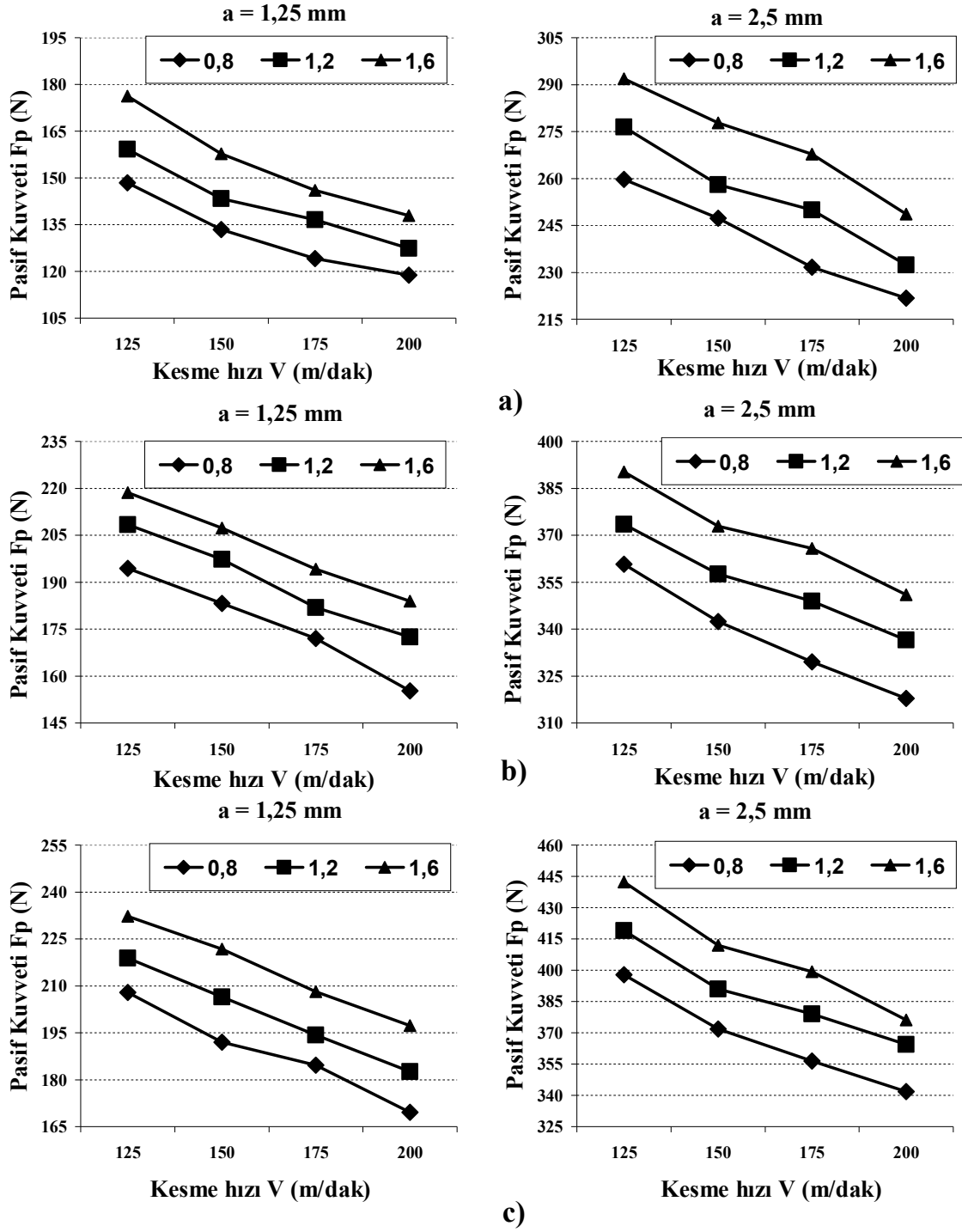


c)

Şekil 2. Farklı kesici takım burun yarıçaplarında, kesme hızına bağlı olarak asıl kesme kuvveti F_c (N) değişimi a) $f=0,1$ mm/dev b) $f=0,2$ mm/dev c) $f=0,3$ mm/dev



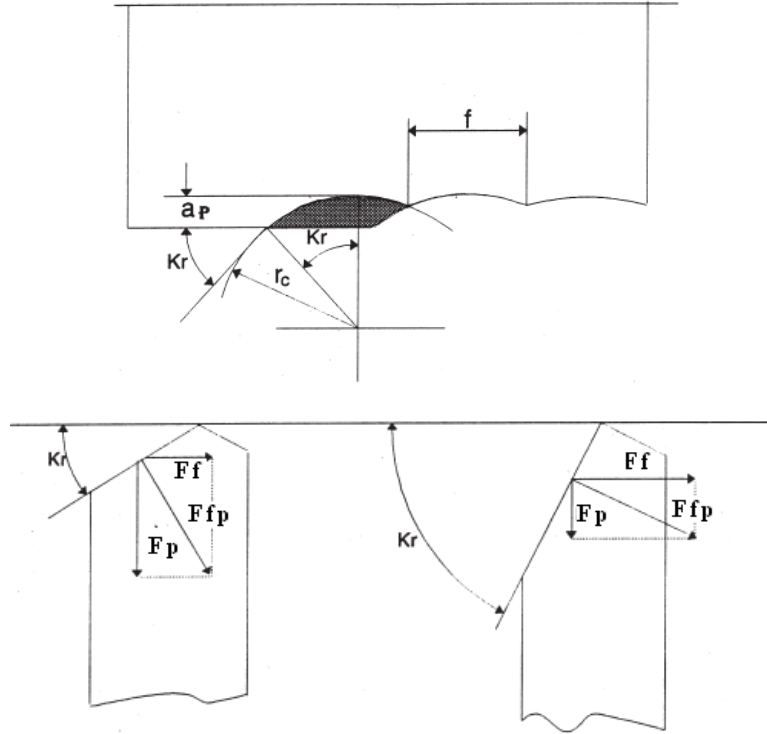
Şekil 3. Farklı kesici takım burun yarıçaplarında, kesme hızına bağlı olarak ilerleme kuvveti F_f (N) değişimi a) $f=0,1$ mm/dev b) $f=0,2$ mm/ dev c) $f=0,3$ mm/dev



Şekil 4. Farklı kesici takım burun yarıçaplarında, kesme hızına bağlı olarak pasif kuvveti F_p (N) değişimi a) $f=0,1$ mm/dev b) $f=0,2$ mm/dev c) $f=0,3$ mm/dev

Kesici takım burun yarıçapının değişimine bağlı olarak elde edilen kesme kuvvetleri grafikleri (Şekil 2. - Şekil 4.) incelendiğinde ise kesici takım burun yarıçapı artıkça F_c asıl kesme kuvvetinde pek bir değişimin olmadığı (yaklaşık %0,2 ~ %1,8), buna karşın F_p pasif kuvvetinin (yaklaşık %8,1 ~ %18,7)

artığı F_f ilerleme kuvvetinin (yaklaşık %4,5 ~ %12,9) ise azaldığı görülmektedir. Söz konusu bu durum beklenen bir durumdur. Kesici takım burun yarıçapı özellikle pasif kuvveti etkilediği bilinmektedir [15, 17, 19, 24]. Kesici takım burun yarıçapının değişimi kesici kenar giriş açısının (yaklaşma açısının) değişimine sebep olmaktadır. Kesici takım burun yarıçapı artıkça kesme kenar açısı küçülmektedir. Kesici kenar açısının küçülmesiyle yatay ilerleme kuvveti F_f ve pasif kuvvet F_p kuvvet bileşeni saat ibresi yönünde azalacaktır. Sonuç olarak F_p pasif kuvveti artacak F_f ilerleme kuvveti ise azalacaktır (Şekil 5.). F_c asıl kesme kuvvetinde bir artma söz konusu olsa da bu çok daha az olacaktır [15, 17, 19, 24].



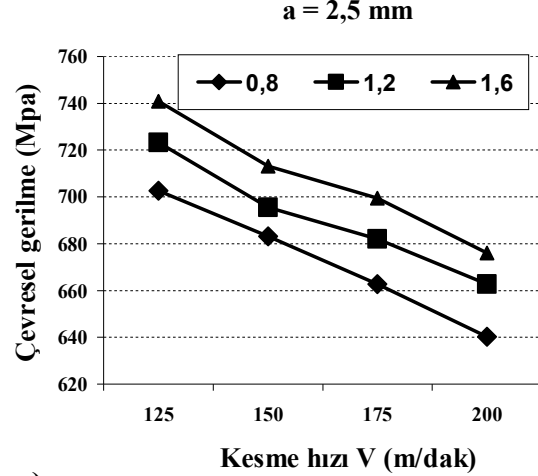
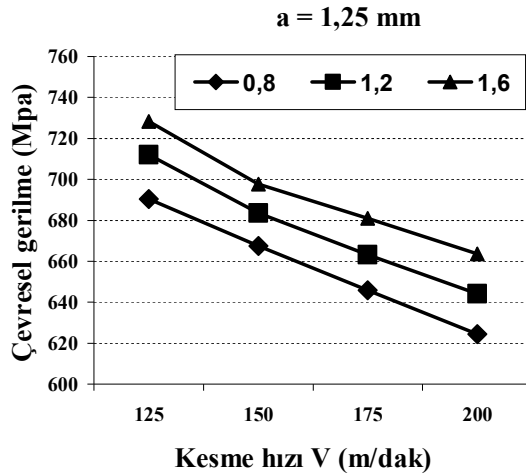
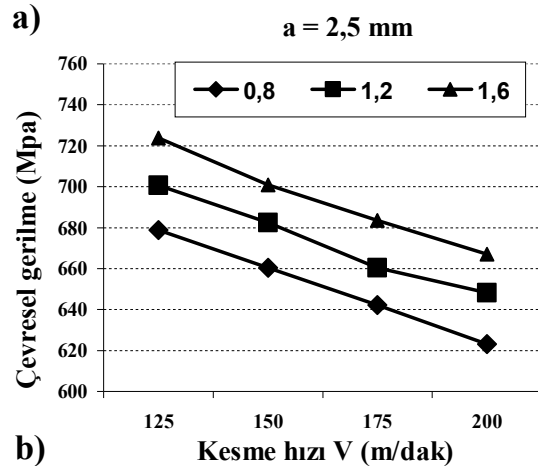
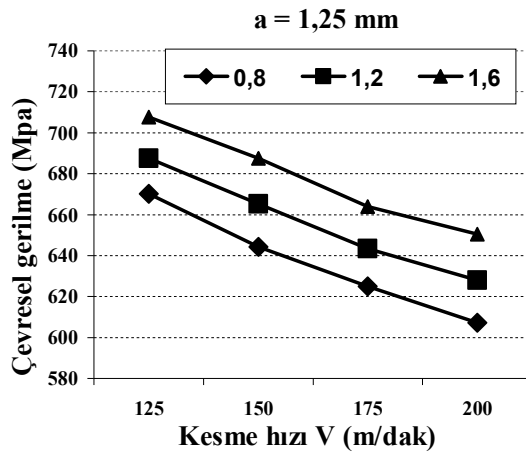
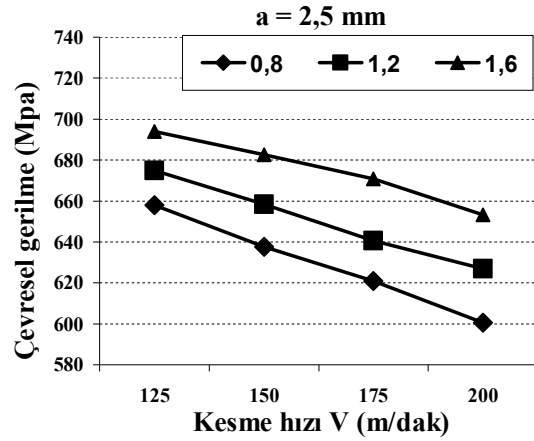
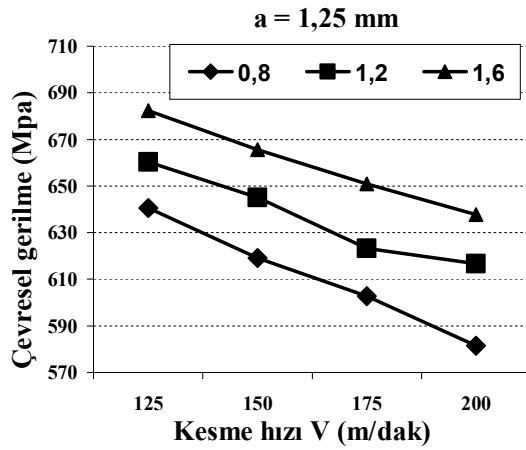
Şekil 5. İlerleme yönünde kesici kenar açısının etkisi [15, 17, 19, 24].

Üç farklı kesici takım burun yarıçapı içinde en düşük kesme kuvveti bileşenleri; kesme hızı 200 m/dak, ilerleme 0,1 mm/dev ve kesme derinliği 1,25 mm olduğunda, en yüksek kesme kuvveti bileşenleri ise; kesme hızı 125 m/dak, ilerleme 0,3 mm/dev ve kesme derinliği 2,5 mm olduğunda elde edilmiştir.

3.2. Kalıntı Gerilmelerin Değerlendirilmesi

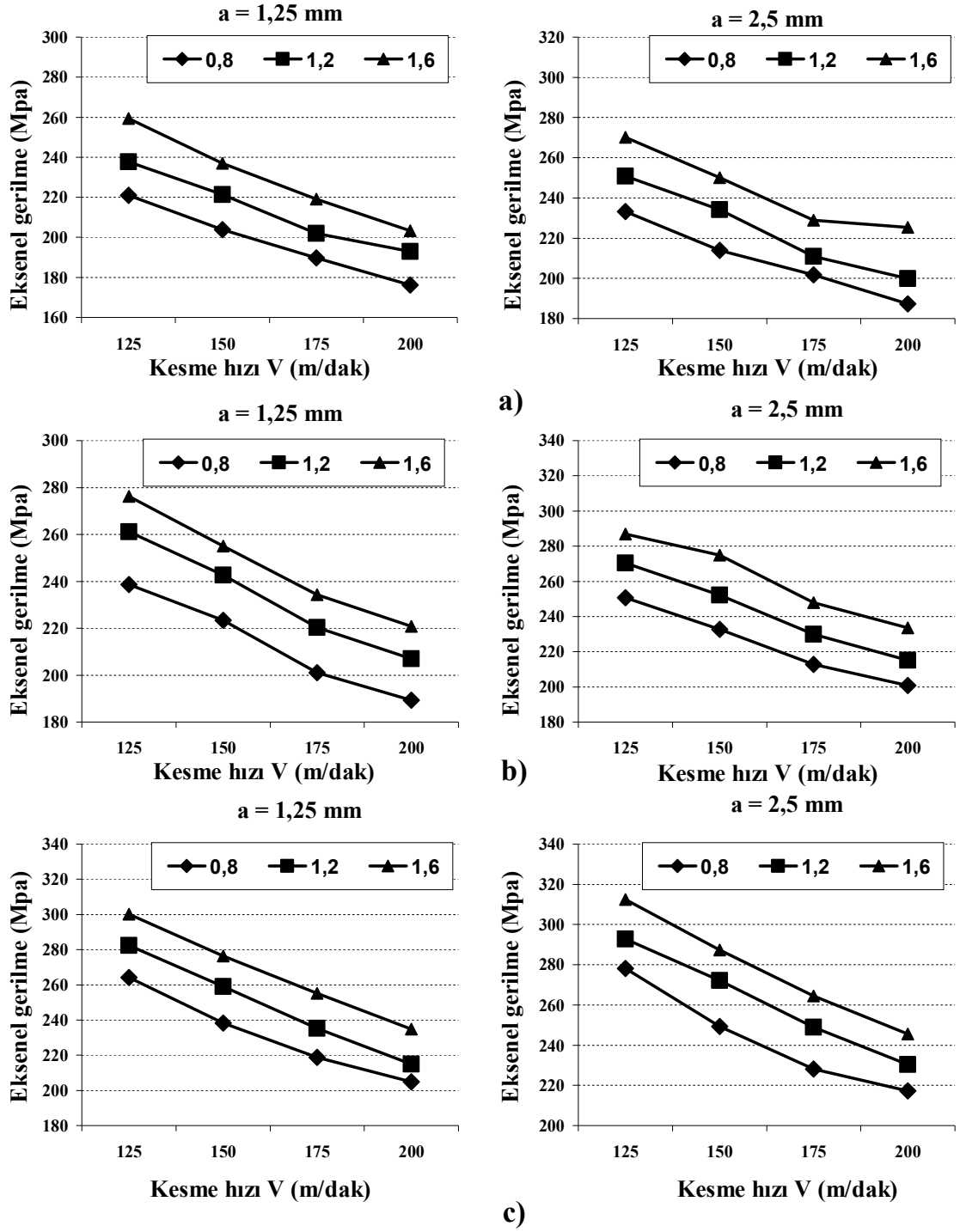
Üç farklı kesici takım burun yarıçapının, kalıntı gerilmeler (çevresel ve eksenel yönde) üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Deneyler sonucunda uygulanan; kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve farklı kesici takım burun yarıçaplarına göre kalıntı gerilmelerdeki (çevresel ve eksenel yönde) değişimler Şekil 6. - Şekil 7.'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 6. - Şekil 7.'deki grafikler incelendiğinde; tüm işleme deneyleri için işlenmiş yüzey üzerinden elde edilen gerilmelerin, çekme kalıntı gerilme şeklinde ve en yüksek çekme kalıntı gerilmelerin çevresel yönde en düşük çekme kalıntı gerilmelerin eksenel yönde gerçekleştiği görülmektedir. Aynı eğilim konuyla ilgili önceki çalışmalarda da görülmüştür [8, 12, 30, 31]. Yapılan deneysel çalışmalarda, genel olarak kesme derinliği ve ilerleme arttığında çekme kalıntı gerilmelerinin; (çevresel ve eksenel yönde) arttığı, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte çekme

kalıntı gerilmelerinin (çevresel ve eksenel yönde) azaldığı görülmektedir (Şekil 6. - Şekil 7.). Ortaya çıkan bu durum üç farklı kesici takım burun yarıçapı içinde aynıdır. Kesme hızı artıkça çekme kalıntı gerilmeleri (çevresel ve eksenel yönde) azalmıştır. Konuyla ilgili önceki çalışmalarda da benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır [8, 11, 32]. Kesme hızının, kesme bölgesindeki sıcaklık üzerindeki etkisinden dolayı işleme sırasında kalıntı gerilmeler üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir [32]. Yüksek kesme hızlarında yüksek enerji tüketimi sebebiyle daha yüksek ısı açığa çıkar. Kesme hızı arttığında daha fazla ısı oluşmasına rağmen işlenmiş yüzeyde oluşan çekme kalıntı gerilmelerinin büyüklüğü azalmıştır. Benzer sonuçlar, Liu ve Barash, düşük karbonlu çeliklerin işlenmesi sırasında düşük kesme hızlarında yüksek çekme kalıntı gerilmeleri elde ederek göstermiştir [33]. İşleme sırasında, oluşan ısının yaklaşık %10-15 kadarı iş parçasına transfer edilir [32, 34]. Yüksek kesme hızlarında işleme yapıldığında artan talaş hızına paralel olarak iş parçasına transfer olan ısı miktarı azalır. Kesme hızındaki artışa bağlı olarak çekme kalıntı gerilmelerindeki bu düşüş tamamen iş parçasına transfer olan ısının miktarına bağlı olarak termal yüklerin azalmasıyla alakalıdır.



c)

Şekil 6. Farklı kesici takım burun yarıçaplarında, kesme hızına bağlı olarak Çevresel gerilme (Mpa) değişimi a) $f=0,1$ mm/dev b) $f=0,2$ mm/dev c) $f=0,3$ mm/dev



Şekil 7. Farklı kesici takım burun yarıçaplarında, kesme hızına bağlı olarak Eksenel gerilme (Mpa) değişimi a) $f=0,1$ mm/dev b) $f=0,2$ mm/dev c) $f=0,3$ mm/dev

İlerleme miktarı arttıkça çekme kalıntı gerilmeleri de (çevresel ve eksenel yönde) artmıştır. Bu durum literatürle paralellik arz etmektedir [11, 35, 36]. İlerleme miktarı, kalıntı gerilme profilinin biçimi üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. İlerleme miktarı arttıkça, artan talaş kesiti kesme kuvvetlerini de artırır. Daha yüksek ilerleme miktarının kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmasından dolayı gerekli enerji

ihtiyacı da artar. Söz konusu bu durum, ilerleme miktarının artması plastik deformasyon için gerekli enerji miktarını artıracığından ve bu enerji ısı enerjisi olarak açığa çıkacağından artan ısı ve mekanik yüklerle birlikte yüzeyde çekme kalıntı gerilmelerinin (çevresel ve eksenel) artmasına sebep olmuştur (Şekil 6. - Şekil 7.). Şekil 6. - Şekil 7'deki grafikler incelendiğinde kesme derinliği arttıkça çekme kalıntı gerilmeleri (çevresel ve eksenel yönde) arttığı görülmektedir. Ama bu etki kesme hızı ve ilerlemenin etkisi kadar belirgin olmamıştır. Literatüre bakıldığında benzer sonuçlar görmek mümkündür [20, 37, 38]. Kesici takım burun yarıçapının değişimine bağlı olarak elde edilen çevresel çekme kalıntı gerilmeleri grafikleri (Şekil 6. - Şekil 7.) incelendiğinde kesme hızı arttıkça (yaklaşık %8 ~ %11,5) azaldığı, buna karşın ilerleme miktarı arttığında (yaklaşık %3,5 ~ %7,8) ve kesme derinliği arttığında ise (yaklaşık %1,3 ~ %3,3) arttığı, eksenel çekme kalıntı gerilmeleri ise kesme hızı arttıkça (yaklaşık %18,9 ~ %23,8) azaldığı, buna karşın ilerleme miktarı arttığında (yaklaşık %9 ~ %19,6) ve kesme derinliği arttığında ise (yaklaşık %3,6 ~ %7,8) arttığı görülmektedir. Çekme kalıntı gerilmeler (çevresel ve eksenel) üzerinde kesme hızı ve ilerlemenin etkisinin, kesme derinliğine göre daha belirgin olduğu ortaya çıkmıştır. Farklı kesme derinlikleri kalıntı gerilmelerini çok fazla etkilememektedir. Kesme derinliği arttığında eksenel kuvvet sadece bir miktar artar. Buna karşılık, teğetsel kuvvet kesme derinliği ile doğrudan etkilenir ve alt yüzey deformasyonuna herhangi bir katkı sağlamaz. Bu nedenle de, kalıntı gerilmeler önemli boyutta etkilenmez [37, 38]. Ancak literatürdeki bu çalışmalar %70Cu - %30Zn pirinç [20], AISI 52100 çelik [37] ve DIN 18MnCr5 düşük karbonlu çelik [38] malzemeler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bizim çalışmamızda ise malzeme AISI 316L olup bu malzemelerin işlenebilirliğinde kalıntı gerilme önemli bir yer teşkil eder [10]. Dolayısı ile işleme sırasında oluşan kesme kuvvetleri de farklı biçimde etkilenebilir. Nitekim Şekil 3.'deki grafiklere bakıldığında eksenel kuvvetlerde de önemli bir artış (yaklaşık %78~ %112 kadar) olduğu görülmektedir. Dolayısı ile artan mekanik yükler kalıntı gerilmeler üzerinde etkili olmuştur ve artan kesme derinliğine bağlı olarak çekme kalıntı gerilmelerinde de artış literatürde de belirtilenden daha belirgin hale gelmiştir. Bu durum Şekil 6. - Şekil 7.'deki karşılaştırmalı grafiklerde gösterilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalarda, kesici takım burun yarıçapının artması ile çekme kalıntı gerilmeleri (çevresel ve eksenel) artmıştır. Bu durumun en makul açıklaması geniş burun yarıçaplı kesici takımın temas alanının küçük burun yarıçaplı kesici takıma göre daha geniş olması ve böylece kesme işlemi esnasında daha fazla ısı oluşmasına atfedilebilir. AISI 316L'nin düşük ısı iletkenliği [8, 10-13] nedeniyle, büyük burun yarıçaplı kesici takımın işlenmiş yüzey üzerinde ve kesici kenar etrafında daha yüksek bölgesel sıcaklıklar [8, 10, 12, 13] küçük burun yarıçaplı kesici takıma göre daha fazla olacaktır. Bu düşük termal iletkenliğe sahip malzemelerde görülen bir eğilimdir [39]. Aynı zamanda, kesici takım burun yarıçapının değişimi kesici kenar açısının değişimine sebep olmaktadır. Kesici takım burun yarıçapı arttıkça kesme kenar açısı küçülmektedir. Kesici kenar açısının küçülmesiyle yatay ilerleme kuvveti F_f ve pasif kuvvet F_p kuvvet bileşeni saat ibresi yönünde azalacaktır. Dolayısıyla F_p pasif kuvveti (Şekil 5.) artacaktır [15, 17, 19, 24]. Sonuç olarak büyük yarıçaplı kesici takımın ürettiği hem termal hemde mekanik yükler küçük burun yarıçaplı kesici takıma göre yüksek olacağından çekme kalıntı gerilmeleri (çevresel ve eksenel) artmasına sebep olacaktır. Üç farklı kesici takım burun yarıçapı içinde en düşük çekme kalıntı gerilmeleri (çevresel ve eksenel); kesme hızı 200 m/dak, ilerleme 0,1 mm/dev ve kesme derinliği 1,25 mm olduğunda, en yüksek çekme kalıntı gerilmeleri (çevresel ve eksenel) ise; kesme hızı 125 m/dak, ilerleme 0,3 mm/dev ve kesme derinliği 2,5 mm olduğunda elde edilmiştir.

4. Sonuçlar

3 farklı kesici takım burun yarıçapı içinde kesme derinliği ve ilerleme değeri artığında kesme kuvveti bileşenleri ve çekme kalıntı gerilmelerin arttığı, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte kesme kuvveti bileşenleri ve çekme kalıntı gerilmelerin azaldığı görülmüştür.

Kesici takım burun yarıçapının değişimine bağlı olarak burun yarıçapı artıkça F_c asıl kesme kuvvetinde pek bir değişimin olmadığı, buna karşın F_p pasif kuvvetinin arttığı F_f ilerleme kuvvetinin ise azaldığı ortaya çıkmıştır. Bu oluşum kesici takım burun yarıçapının artışına bağlı olarak küçülen kesme kenar açısına atfedilmiştir.

En düşük kesme kuvvetleri bileşenleri ve çekme kalıntı gerilmeler; üç farklı kesici takım burun yarıçapı içinde kesme hızı 200 m/min, ilerleme 0,1 mm/dev ve kesme derinliği 1,25 mm olduğunda, en yüksek kesme kuvvetleri bileşenleri ve kalıntı gerilmeler ise kesme hızı 125 m/dak, ilerleme 0,3 mm/dev ve kesme derinliği 2,5 mm olduğunda elde edilmiştir.

Kesici takım burun yarıçapının artması ile çekme kalıntı gerilmeleri (çevresel ve eksenel yönde) artmıştır. Bu durum, geniş burun yarıçaplı takımında temas alanının küçük burun yarıçaplı takıma göre daha geniş olması ve böylece kesme işlemi esnasında daha fazla ısı oluşmasına atfedilmiştir.

5. Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde finansman desteği sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma projelerine (Proje kodu: 07/2009–33) teşekkür eder.

Kaynaklar

Liang, S. Y., Su J-C., Residual stress modeling in orthogonal machining, Annals of the CIRP, 56 (1): 2007, 65-68.

Ulutan, D., Alaca, B. E, Lazoglu, I., Analytical modelling of residual stresses in machining, Journal of Materials Processing Technology, 183: 2007, 77–87.

Nasr M. N. A., Ng E. G., Elbestawia M. A., A modified time-efficient FE approach for predicting machining-induced residual stresses, Finite Elements in Analysis and Design, 44: 2008, 149 – 161.

Mohammadpour, M., Razfar M. R., Saffar J. R., Numerical investigating the effect of machining parameters on residual stresses in orthogonal cutting, Simulation Modelling Practice and Theory 18: 2010, 378–389.

Arunachalam, R. M., Manan, M. A. and Spowage, A. C., Surface integrity when machining age hardened Inconel 718 with coated carbide cutting tools, International Journal Of Machine Tools & Manufacture, 44: 2004, 1481-1491.

Valiorgue, F., Rech J., Hamdi H., Gilles, P., Bergheau J.M., A new approach for the modelling of residual stresses induced by turning of 316L, Journal of Materials Processing Technology, 191: 2007, 270–273.

Outeiro, J .C., Dias A. M., Jawahir I. S., On the effects of residual stresses induced by coated and uncoated cutting tools with finite edge radii in turning operations, Annals of the CIRP, 55 (1): 2006, 111-116.

Outeiro, J. C., Umbrello, D. And M'Saoubi, R., Experimental and numerical modelling of the residual stresses induced in orthogonal cutting of AISI 316L Steel, *International Journal Of Machine Tools & Manufacture*, 46 (14): 2006, 1786-1794.

Devillez, A., Coz, G. L., Dominiak, S. and Dudzinski, D., "Dry machining of Inconel 718, workpiece surface integrity", *Journal of Materials Processing Technology*, 211: 2011, 1590-1598.

Maranhão, C., Davim P. J., Finite element modelling of machining of AISI 316 steel: Numerical simulation and experimental validation, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18: 2010, 139-156.

Outeiro, J. C., Dias, A. M., Lebrun, J. L. And Astakhov, V. P., Machining residual stresses in AISI 316L steel and their correlation with the cutting parameters, *Machining Science And Technology*, 6 (2): 2002, 251-270.

M'Saoubi, R., Outeiro, J. C., Changeux, B., Lebrun, J. L. And Moraão Dias, A., Residual stress analysis in orthogonal machining of standard and resulfurized AISI 316L steels, *Journal Of Materials Processing Technology*, 96: 1999, 225-233.

Outeiro J.C., Pina J.C., M'Saoubi, R., Pusavec, F., Jawahir, I.S., Analysis of residual stresses induced by dry turning of difficult-to-machine materials, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 57: 2008, 77-80.

Nasr, M. N. A., Ng E. G., Elbestawia M. A., Modelling the effects of tool-edge radius on residual stresses when orthogonal cutting AISI 316L, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47: 2007, 401–411.

Liu M., Takagi J. I, and Tsukuda A., Effect of tool nose radius and tool wear on residual stress distribution in hard turning of bearing steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 150: 2004, 234-241.

Navas V.G., Gonzalo, O., Bengoetxea, I., Effect of cutting parameters in the surface residual stresses generated by turning in AISI4340 steel, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 61: 2012, 48–57.

Xiao M., Sato K., Karube S., Soutome T., The effect of tool nose radius in ultrasonic vibration cutting of hard metal, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43: 2003, 1375–1382.

Chou Y. K, and Song H., Tool nose radius effects on finish hard turning, *Journal of Materials Processing Technology*, 148: 2004, 259-268.

Nath C., Rahman M., Neo K. S., A Study on the effect of tool nose radius in ultrasonic elliptical vibration cutting of tungsten carbide, *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 2009, 5830-5836.

Sasahara, H., Obikawa, T. And Shirakashi, T., Prediction model of surface residual stress within a machined surface by combining two orthogonal plane models, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 44: 2004, 815-822 .

Sandvik Coromant, Sipariş Katoloğu, C-2900:7 AB Sandvik coromant, 2010, İsveç.

Sandvik Coromant, Teknik Kılavuz, C-2900:8 AB Sandvik coromant, 2010, İsveç.

Cullity, B. D., Elements of X-ray diffraction 2nd ed., Addison-Wesley Series in Metallurgy and Materials, Canada, 1978, 86-87, 460- 461.

Chen W., Cutting forces and surface finish when machining medium hardness steel using CBN tools, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40: 2000, 455–466.

Trent, E. M., *Metal cutting*, Butterworths Press, London, 1989, 1–171.

Şeker, U., Takım tasarımı ders notları, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 1997, 5-11, 33-44, 47-72.

Pul, M., Al Matrisli Mgo takviyeli kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve işlenebilirliğinin değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi F.B.E., Ankara, 2010, 134-135.

Zhao, J., Ai, X. and Li, Z., Finite element analysis of cutting forces in high speed machining, *Materials Science Forum*, (532-533): 2006, 753-756.

Boothroyd, G., *Fundamentals of metal machining and machine tools*, International Student ed. 5th Printing, McGraw-Hill, New York, 1981.

Nagawaka, Y. Usami, K. Minato, A. Tamamura, T. Sasaki, R., Naruse, A., Effects of surface finish on residual stress distribution and stress corrosion cracking susceptibility of type 304 austenitic stainless steel in a boiling 42% MgCl₂ solution, *ICM3, Cambridge*, 2: 1979, 603-610.

Jang, D.Y. Watkins, T. R. Kozaczek, K. J., Hubbard, C. R., Cavin, O. B., Surface residual stresses in machined austenitic stainless steel, *Wear*, (194): 1996, 168-173.

Kishawy, H. E. A., Chip formation and surface integrity in high speed machining of hardened steel, Doctor of Philosophy, Mc Master University, Canada, 1998, 87-89.

Liu, C. R. and Barash, M. M., Variables governing patterns of mechanical residual stress in a machined surface, *Journal of Engineering for Industry, Transactions ASME*, 104(3): 1982, 257-264.

Sandvik Coromant, *Modern metal cutting—A practical handbook*, English Edition, Sandvik Coromant, Sweden, I-III, 1994.

Matsumoto, Y., Hashimoto, F. and Lahoti, G., Surface integrity generated by precision hard turning, *Annals of the CIRP*, 48 (1): 1999, 59-62.

Sharman, A. R. C., Hughes, J. I. And Ridgway, K., An analysis of the residual stresses generated in Inconel 718 when turning, *Journal of Materials Processing Technology*, 173: 2006, 359-367.

Dahlman, P., Gunnberg, F. And Jacobson, M., The influence of rake angle, cutting feed and cutting depth on residual stresses in hard turning, *Journal of Materials Processing Technology*, 147: 2004, 181-184.

Gunnberg, F., Escursell M., And Jacobson, M., The Influence of cutting parameters on residual stresses and surface topography during hard turning of 18MnCr5 case carburised steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 174: 2006, 82-90.

Jang, D. Y., Liou, J. And Cho, U., Study of residual stress distribution in the machined stainless steel components, *Tribology Transactions*, 37(3): 1994, 594-600.