

ORTAGONAL KESME İŞLEMİNDE KESİCİ TAKIM KAPLAMA MALZEMESİNİN TALAŞ KAYMA AÇISI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN MODELLENMESİ

Kubilay ASLANTAŞ*, İrfan UCUN, İsmail UCUN*****

*aslantas@aku.edu.tr Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi,
03200-Afyonkarahisar.

**irfanucun@aku.edu.tr Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi,
03200-Afyonkarahisar.

***iucun@aku.edu.tr Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi,
03200-Afyonkarahisar.

ÖZET

Bu çalışmada, ortagonal kesme koşulları altında yapılan kesme işleminde, kesici takım kaplama malzemesinin kayma açısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma boyunca, TiCN+Al₂O₃+TiN, Al₂O₃ ve kaplamasız kesici takımlar kullanılarak farklı kesme parametrelerinde kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kesme deneyleri neticesinde, elde edilen talaş kalınlık değerleri kullanılarak, kayma açısı tespit edilmiştir. Ayrıca elde edilen deneysel sonuçlarla, nümerik çözümlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Nümerik çözümler için sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Kaplanmış kesici takımla yapılan kesme işleminde, kayma açısında bir artış görülmüştür. En büyük kayma açısı Al₂O₃ kaplı kesici takımında elde edilirken, minimum değer ise, kaplamasız takımla yapılan kesme işleminden elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Ortagonal kesme, Kayma açısı, Kaplamalı takım, Sonlu elemanlar metodu, Deform 2D

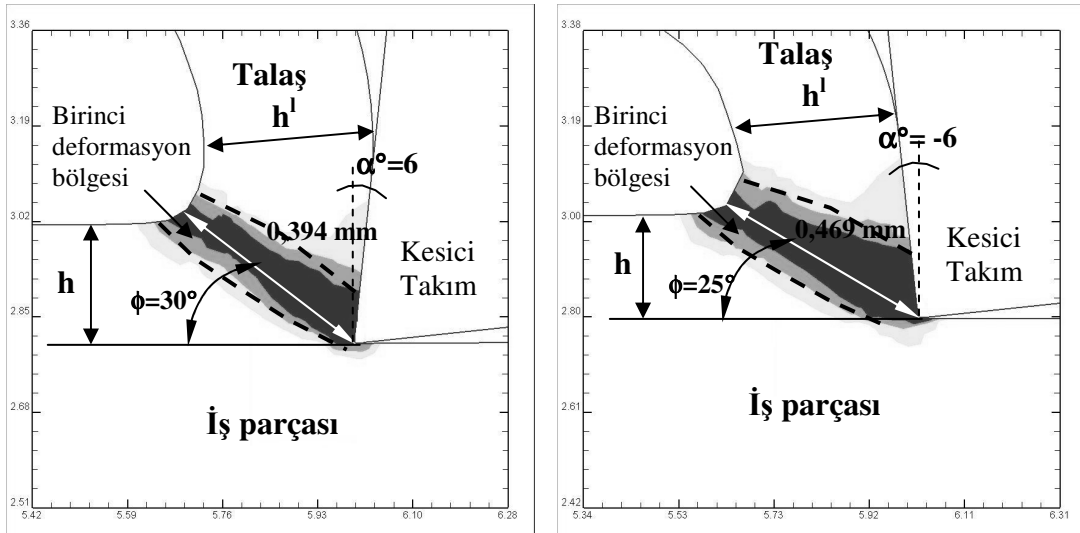
ABSTRACT

In this study, the effect of cutting tool coating materials on shear angle were investigated in cutting process under orthogonal cutting conditions. In during study, the cutting experiments were performed by using TiCN+Al₂O₃+TiN, Al₂O₃ coated and uncoated cutting tools and different cutting parameters. In the end of cutting experiments, the shear angle was calculated by considering deformed chip thickness. Besides numerical and experimental results were compared. Finite element method was used for numerical analysis. An increase was observed in the shear angle when using coated cutting tool. While max. shear angle was obtained for Al₂O₃ coated tool, min. shear angle was obtained for uncoated cutting tool.

Keywords: Orthogonal cutting, Shear angle, Coated tool, Finite element method, Deform 2D

1. GİRİŞ

Talaşlı imalatta, kesme işleminin karakteristiğini belirleyen önemli parametrelerden birisi şüphesiz kayma açısıdır. Bu yüzden pek çok araştırmacı için önemli bir çalışma konusu olmuştur [1-4]. Kayma açısı, talaşın oluşmaya başladığı ilk nokta olan birinci deformasyon bölgesinin de tanımlanan bir parametre olması ve özellikle kesme işleminde meydana gelen kesme kuvvetleri ve buna bağlı olarak takım ömrü üzerindeki etkisinden dolayı önemli bir parametredir. Çünkü kayma açısındaki değişim, kesme işleminin yapısını doğrudan etkilemektedir. Talaş kaldırma esnasında harcanan enerji, birinci deformasyon bölgesinde, yani kayma düzleminde, kayma enerjisi olarak ve takım-talaş temas uzunluğu boyunca da sürtünme enerjisi olarak ortaya çıkmaktadır [5]. Dolayısıyla talaş kaldırmak için gereken enerjinin miktarı kesmedeki plastik deformasyon bölgesinin geometrisiyle ilgilidir. Yani, küçük kayma açısı, birinci deformasyon bölgesindeki kayma düzlemi uzunluğunun artmasına neden olmaktadır. Bir anlamda, talaşın daha uzun bir kayma işlemi yaparak iş parçası yüzeyinden ayrılmasını sağlamaktadır. Bu durum kesme işleminde talaş kaldırmak için harcanan enerjinin artmasına neden olmaktadır. Büyük kayma açısı ise; daha kısa bir kayma düzlemine ve bunun sonucu olarak kesme işlemi için nispeten daha az bir enerji harcanmasını sağlamaktadır (Şekil 1). Yapılan bir çalışmada kayma açısının büyümesi, sürekli ve ince bir talaş oluşumuna, iyi bir yüzey kalitesine ve düşük kesme kuvvetlerine sebep olduğu vurgulanmıştır [6]. Bu yüzden kayma açısı, takım ömrü, yüzey hassasiyeti ve maliyet gibi talaşlı imalatın kalitesini belirleyen parametreler için önem arz etmektedir [2]. Kayma açısı, kesici takımın talaş açısıyla da doğrudan ilişkilidir. Literatürde yer alan bazı çalışmalarda talaş açısının artmasıyla birlikte, kayma açısının arttığı ifade edilmiştir. Talaş açısının azalmasıyla veya negatif yönde artmasıyla birlikte, ise, kayma açısının azaldığını gözlemlenmiştir [7-9].



Şekil 1. Kayma açısı ve kayma düzlemi uzunluğu arasındaki ilişkinin şematik gösterimi (V=150 m/dk f= 0.2 mm/dev).

Kayma açısını kesin olarak tespit etmek oldukça zor bir işlemdir. Birinci deformasyon bölgesindeki talaş oluşumu geometrisi göz önüne alınarak kayma açısının tahminine yönelik yöntemler vardır. Bu yöntemleri konuyla ilgili literatürde bulmak mümkündür [5, 6]. Kayma açısının analitik olarak hesaplanmasında da literatürde çeşitli yaklaşımlar vardır. Fakat bunlardan pratikte en çok kullanılan model, Merchant tarafından ileri sürülen Denklem 1 ve 2'deki modeldir. Analitik model de kayma açısının (ϕ) talaş açısı (α),

deforme olmuş talaş kalınlığı(h^1) ve deforme olmamış talaş kalınlığının(h) birer fonksiyonu olarak verilmektedir. Denklem 1 de verilen λ , talaş sıkışma oranı olarak ifade edilmektedir. Denklem 2 de verilen kayma açısı (ϕ) doğrudan λ , ve talaş açısına (α) bağlı olarak hesaplanmaktadır.

$$\lambda = \frac{h}{h^1} \quad (1)$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{\lambda * \cos \alpha}{1 - \lambda * \sin \alpha}\right) \quad (2)$$

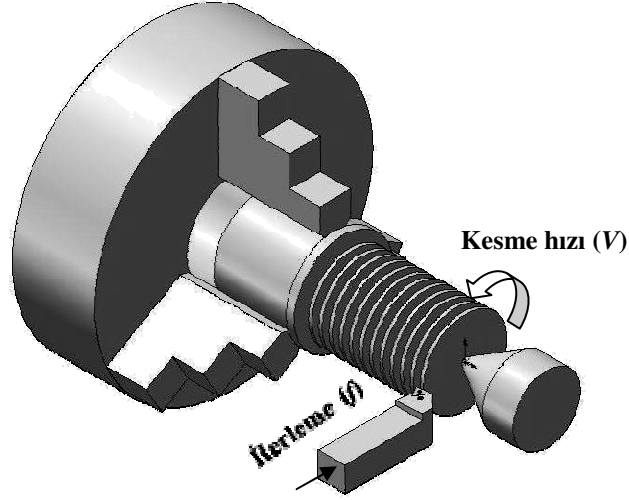
Bununla birlikte kayma açısı tahminlerinde iş parçasının malzeme özelliği genelde ihmal edilen bir parametre olmuştur. Fakat malzeme özelliğinin kayma açısının karakteristiğini önemli ölçüde etkilemesi ileri sürülen yaklaşımlardan birisidir [6]. Kesici takım noktasından bakıldığında ise, bu konuda sadece kesici takımın geometrik özellikleri dikkate alınmıştır. Yani gerek takımın malzeme özellikleri, gerekse kaplanmış takımlardaki kaplama malzemelerinin niteliği genellikle ihmal edilmiştir.

Bu çalışmada kesici takım yüzeyine uygulanan kaplama işleminin kayma açısını nedenli etkilediği araştırılmıştır. Böylece bir önceki paragrafta belirtilen eksikliğe belirsizliğe ışık tutması amaçlanmıştır. Çalışmanın deneysel kısmında AISI 4340 çeliği ortogonal kesme şartları altında Al_2O_3 , $TiCN+Al_2O_3+TiN$ kaplı ve kaplamasız karbür takımlar kullanılarak tornalanmıştır. Kayma açısı, deforme olmuş ve olmamış talaş kalınlıkları ile talaş açısına bağlı olarak elde edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Ortogonal Kesme Deneylerinin Yapılması

Kaplama malzemesinin kayma açısı üzerindeki etkisinin araştırılmasına yönelik yapılan çalışmanın deneysel aşamasında, AISI 4340 düşük alaşımlı çeliği iş parçası olarak kullanılmıştır. Ortogonal kesme şartlarını oluşturmak için 50 mm çapında bir mil üzerinde her biri 1 mm genişliğe sahip disk şeklinde numuneler olacak şekilde kanallar açılmıştır (Şekil 2). Hazırlanan iş parçası üzerinden Sandvik Coromant firması tarafından üretilen ve -6° talaş açılı PTFNR 2525M-16 koduna sahip takım tutucu ile İscar firmasından tedarik edilen TNMA 160408 kodlu Al_2O_3 , $TiCN+Al_2O_3+TiN$ ve kaplamasız karbür kesici takımları kullanılmıştır. Talaş kaldırma işlemleri 60, 120, 180 ve 240 m/dk kesme hızları ile 0,05, 0,11, 0,2 mm/dev ilerleme değerleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonunda elde edilen deforme olmuş talaş kalınlıkları dijital bir kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Birinci bölümde verilen Denklem 1 ve 2 kullanılarak kesme esnasında meydana gelen kayma açısı her bir kaplama türü için elde edilmiştir.



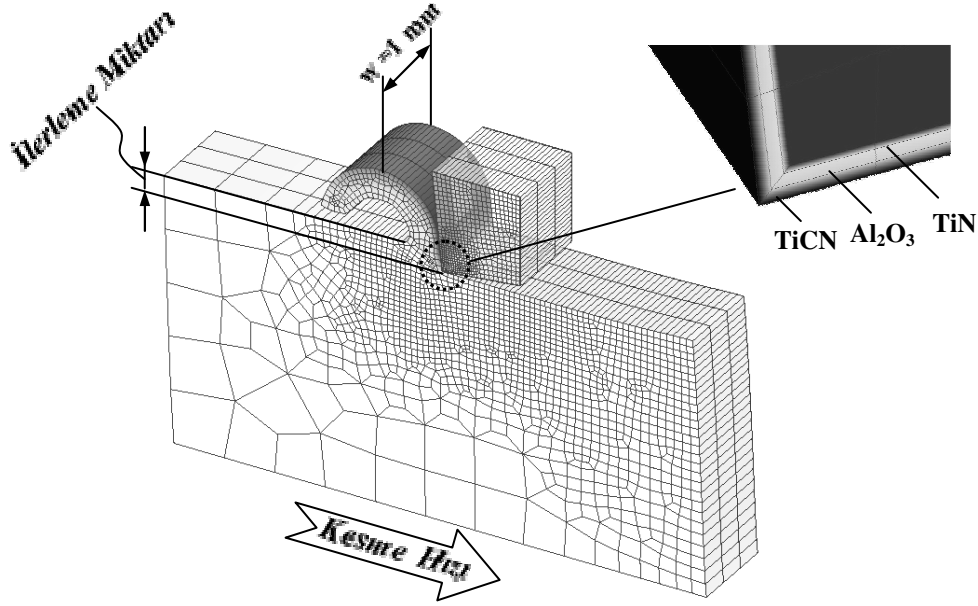
Şekil 2. Çalışmanın deneysel safhasında kullanılan ve ortogonal kesme koşulları dikkate alınarak hazırlanan deney düzeneği.

2.2 Sonlu Eleman Modelinin Kurulması

Yapılan çalışmanın nümerik çözümlerinde plastik şekillendirme ve talaş kaldırma simülasyonlarında çoğunlukla tercih edilen Deform 2D sonlu eleman paket programı kullanılmıştır. Program, simülasyon boyunca her bir çözüm aralığı için yeniden bir sonlu eleman ağı oluşturularak çözüm yapmakta ve yapılan çözümler sonucunda edilen verileri kaydetmektedir. İş parçasının davranışının modellenmesinde, yüksek şekil değiştirme hızlarında yapılan plastik şekillendirme problemleri için sıklıkla kullanılan Johnson-Cook flow stress modeli (Denklem 3) malzeme modeli olarak seçilmiştir. Bu matematiksel model kullanılarak oluşturulan, malzemeye ait flow stres dataları programın veri tabanına eklenmiştir. Analitik modeldeki (Denklem 3) AISI 4340 malzemesine ait katsayılar N_g ve diğerleri [10] tarafından, aynı malzeme kullanılarak yapılan çalışmadan alınmıştır (Tablo 1). Problem 2 boyutlu olarak modellenmiş ve sonlu eleman ağının oluşturulmasında 8 düğümlü dörtgen eleman kullanılmıştır (Şekil3). Modelde kesici takım rijit kabul edilirken kesme hızı iş parçasına tanımlanmıştır. İş parçası, kesici takım ve kaplama malzemelerinin sıcaklığa bağlı olarak elastisite modülleri ve yine termal iletkenlik değerleri programın veri tabanına kaydedilmiştir. Kaplamanın toplam kalınlığı 5 μm olarak alınmıştır. Üç kaplı kesici takım için kaplama kalınlıkları değişimi 2 μm TiCN, 2 μm Al_2O_3 , 1 μm TiN şeklindedir. Tek kaplamalı Al_2O_3 için toplam 5 μm ' lik kaplama kalınlığı kullanılmıştır. Yaklaşık kaplama kalınlığı değerleri üretici firmadan tedarik edilmiştir.

Tablo 1. AISI 4340 malzemesine ait Johnson-Cook modeli katsayıları [10]

A (MPa)	B (MPa)	C	n	m
950	725	0,375	0,015	0,625



Şekil 3. Çalışmanın nümerik çözümleri için oluşturulan sonlu eleman modeli

$$\bar{\sigma} = \left[A + B(\bar{\epsilon})^n \right] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\bar{\epsilon}}}{\dot{\bar{\epsilon}}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (3)$$

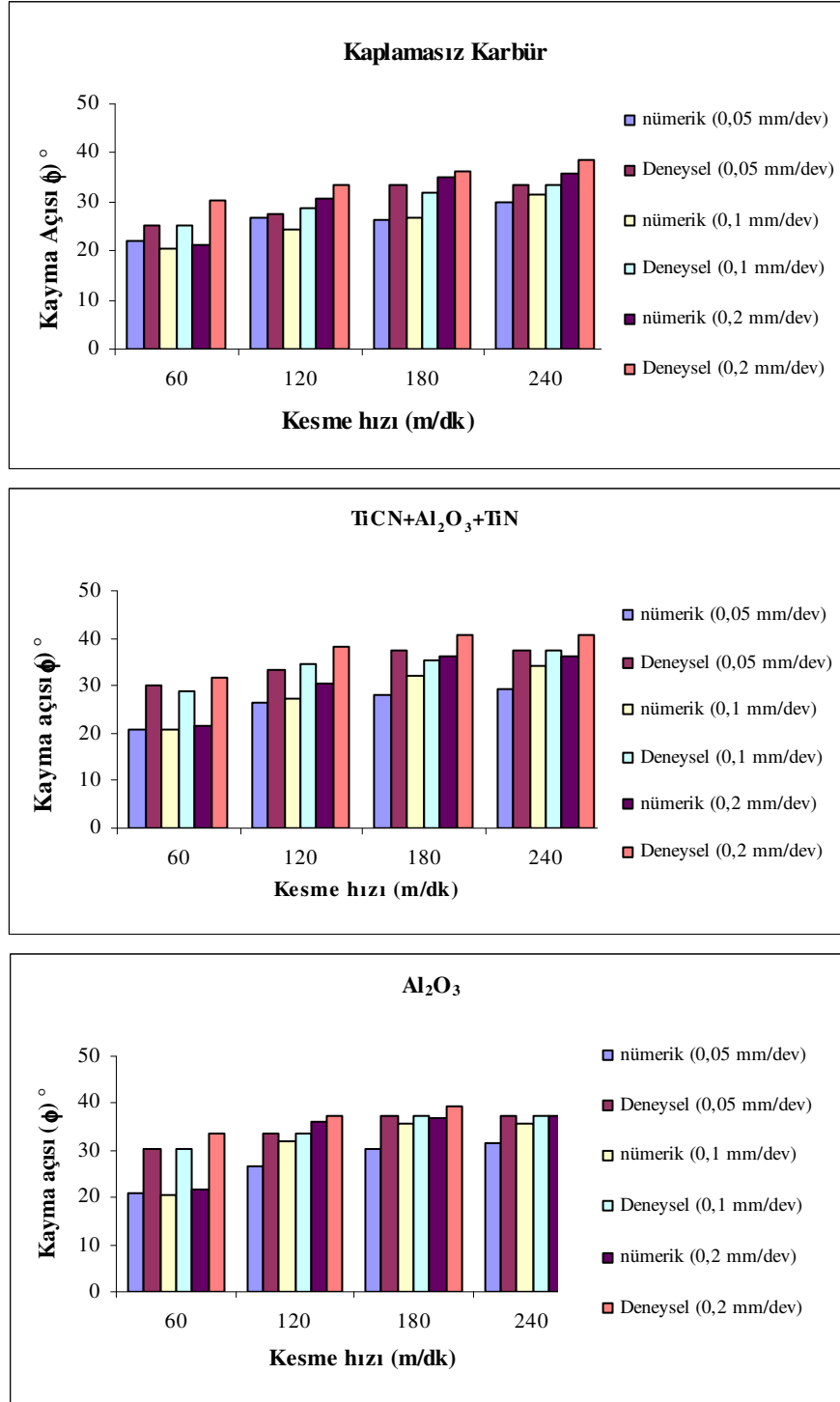
Denklem 2' de verilen Johnson-Cook malzeme modelinde A , akma gerilmesini, B , şekil değiştirme faktörünü, n , şekil değiştirme sertliği sabitini, $\bar{\epsilon}$, birim plastik şekil değiştirme, $\dot{\bar{\epsilon}}$, plastik şekil değiştirme hızı, $\dot{\bar{\epsilon}}_0$, referans plastik şekil değiştirme hızı, C , şekil değiştirme hızına bağlı sabit, T_r oda sıcaklığını ve T_m iş parçasının ergime sıcaklığını ifade etmektedir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1 Deneysel ve Nümerik Sonuçların Karşılaştırılması

Yapılan çalışma sonunda her bir kesici takım için deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki karşılaştırma Şekil 4' te verilmiştir. Her üç kesici takım için bütün kesme parametreleri dikkate alınarak yapılan değerlendirmede, dikkat çeken ilk nokta; nümerik ve deneysel sonuçlar arasındaki genel anlamda iyi bir uyumun olduğudur. Ancak TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takım için deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki fark diğer iki takıma göre, bir miktar fazla olduğu söylenebilir. Nümerik ve deneysel veriler arasındaki uyumun birbirine en yakın olduğu sonuç ise; % 89 ile kaplamasız karbür takımında görülmüştür. Al₂O₃ kaplı kesici takım için bu değer % 84 düzeyinde görülmüştür. Diğer yandan her üç grafikte de ortak olan nokta, 60 m/dk kesme hızında sonuçlar arasındaki farkın özellikle kaplanmış kesici takımlarda bir miktar ortalamanın altında olduğudur. Buna karşılık kesme hızının artmasıyla birlikte, aradaki farkın kapandığı ve bazı parametrelerde ortalamanın üzerine çıktığı görülmüştür. Sonuçlardan çıkarılacak bir diğer sonuç ise, bütün kesici takımlar içinde kesme hızının artmasıyla birlikte kayma açısının arttığı görülmüştür. Bu

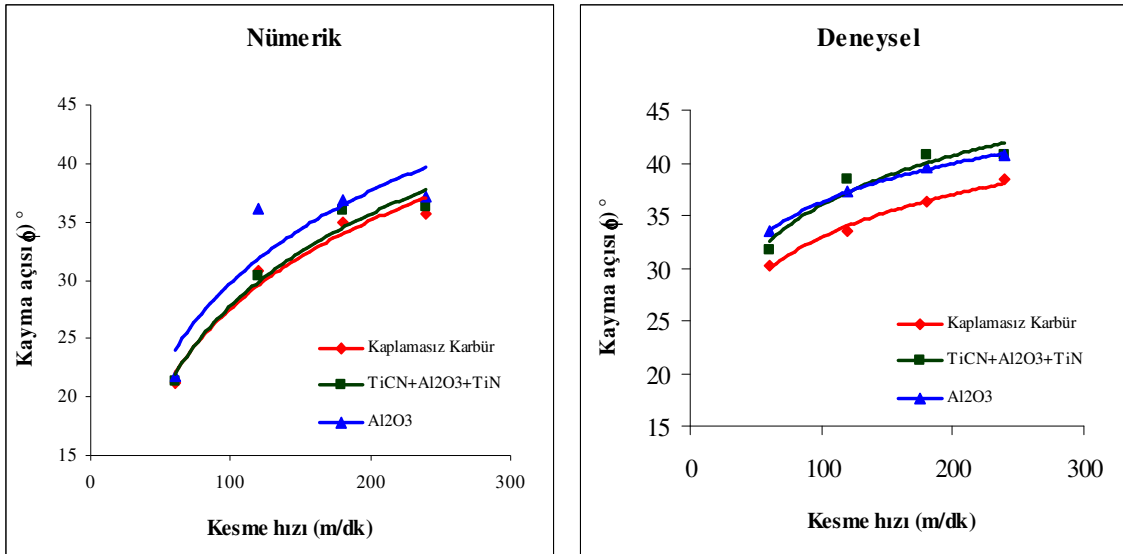
noktada en düşük kayma açısı 60 m/dk kesme hızında meydana gelirken, max. kayma açısı ise; 240 m/dk kesme hızında olduğu görülmektedir. Marinov ve Moufki vd. [5,8] tarafından yapılan çalışmalarda da kesme hızının artmasıyla birlikte kayma açısının arttığı ifade edilmektedir. Artan kesme hızıyla birlikte takım yüzeyine etkiyen sürtünme kuvveti ve takım talaş ara yüzeyindeki sürtünme katsayısı düşmektedir [11-12]. Sürtünme katsayısının düşmesiyle kesme kuvveti azalmaktadır.



Şekil 4. Kayma açısının kesici takım türüne bağlı değişiminin nümerik ve deneysel olarak karşılaştırılması

3.2. Kaplama Malzemesinin Kayma açısı üzerindeki Etkisi

Elde edilen veriler ışığında kesici takım kaplama malzemesi türünün ve kesme hızının kayma açısı üzerindeki etkisi Şekil 5'te verilmiştir. Nümerik ve deneysel olarak yapılan her iki değerlendirmede öncelikli olarak kayma açısının kesici takım kaplama malzemesi türünün bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Bütün kesme hızları dikkate alındığında büyük kayma açısı Al_2O_3 ve $TiCN+Al_2O_3+TiN$ kaplı kesici takımında görülmektedir. Buna karşılık gerek nümerik gerekse deneysel çalışmada min. kayma açısı ise, kaplamasız karbür takımında elde edilmiştir. Karşılaşılan bu durumu kaplama malzemelerinin sahip oldukları termal iletkenlik özellikleriyle açıklamak mümkündür. Literatürdeki bazı yaklaşımlarda kayma açısının spesifik sürtünme enerjisi ve sürtünme açısının azalmasıyla birlikte arttığı, sürtünme enerjisinin de kesme hızının artmasıyla birlikte azaldığı ileri sürülmüştür [5,8]. Aynı zamanda artan sıcaklığın sürtünme katsayısını da azalttığı bilinmektedir [13]. Bu bilgiler doğrultusunda sürtünme enerjisini azaltan parametrelerden birinin kesme hızıyla artan kesme sıcaklığı olduğu düşünülebilir. Bu yaklaşım dikkate alındığında Al_2O_3 , ve $TiCN+Al_2O_3+TiN$ kaplama malzemeleri kaplamasız takıma nispeten daha düşük termal iletkenlik katsayısına sahip olmaları kesme anında oluşan sıcaklığın büyük bir bölümün talaşa iletilmesini sağlamakta, yani kesme sıcaklığını artırmaktadır. Böylece kayma açısı da büyümektedir. Grafiklerde dikkati çeken bir diğer nokta ise, deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki bir miktar farkın olmasıdır. Meydana gelen bu farkın, kesme işleminin modellenmesinde, sürtünme koşullarının sabit olarak alınması ve kullanılan mesh yoğunluğu ile ilgili olabileceği düşünülmektedir.

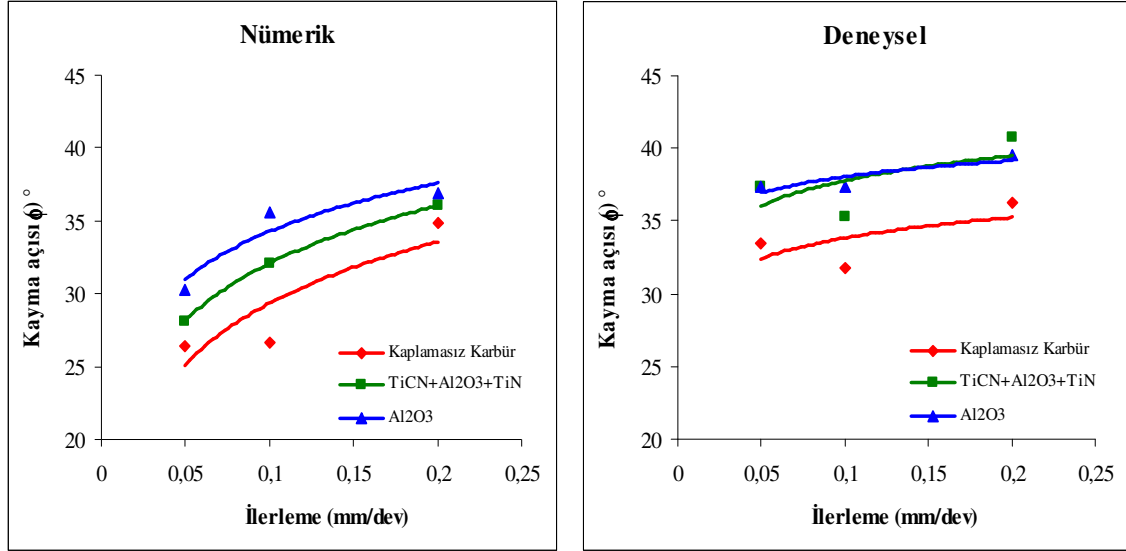


Şekil 5. Kesici takım kaplama malzemesi türünün ve kesme hızının kayma açısı üzerindeki etkisi ($f= 0.2$ mm/dev)

3.3. İlerleme Kayma açısı üzerindeki Etkisi

Çalışma sonunda ilerleme kayma açısı üzerindeki etkisi araştırılmış ve elde edilen veriler Şekil 6'da verilmiştir. Grafiklerden açık bir şekilde görüleceği üzere gerek nümerik, gerekse deneysel sonuçlarda ilerleme artmasıyla birlikte kayma açısının da arttığı görülmektedir. Bu noktada en düşük kayma açısı değeri 0,05 mm/dev ilerleme ve kaplamasız karbür takımla yapılan kesme işleminde elde edilmiştir. Buna karşılık max. kayma açısı ise, 0,2 mm/dev ilerleme değerinde ve Al_2O_3 kaplı kesici takımla yapılan kesme işleminde elde edilmiştir. İlerleme kayma açısı üzerindeki bu etkisi, literatürdeki

bazı çalışmalarda da görülmektedir [5,8]. Daha öncede bahsedildiği üzere kayma açısının karakteristiğini belirleyen asıl etken kesme işlemi sırasındaki spesifik sürtünme enerjisidir. Bu enerjinin seviyesine bağlı olarak kayma açısının da değiştiği vurgulanmıştır. Bu açıklamalar doğrultusunda ilerleme artmasıyla birlikte ara yüzey sıcaklığı önemli oranda artmaktadır. Bu olay, malzemenin deformasyon anında meydana gelen akma gerilmesinin azalmasına neden olmaktadır. Yani sonuç olarak spesifik sürtünme enerjisi de azalmaktadır [5].



Şekil 6. İlerlemenin takım talaş temas uzunluğu üzerindeki etkisi (V=180 m/dk)

4. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada kesici takım kaplama malzemesinin kayma açısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Nümerik ve deneysel olarak yapılan incelemede Al₂O₃, TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı ve kaplamasız karbür takım ile 60, 120, 180, 240 m/dk olmak üzere 4 ayrı kesme hızı ve 0,05- 0,1- 0,2 mm/dev ilerleme değerleri dikkate alınmıştır.

Yapılan çalışmalar neticesinde, bütün kesici takımlar içinde gerek nümerik gerekse deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyumun olduğu gözlemlenmiştir. Ancak TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takımda diğer iki takıma göre, sonuçlar arasında farkın bir miktar fazla olduğu tespit edilmiştir. Fakat buna rağmen grafiğin bütünü birlikte değerlendirildiğinde % 79 luk bir uyum söz konusudur. Bunun dışında en iyi yakınsama ise kaplamasız karbür takımla yapılan değerlendirmede sonuçlar arasında % 89'luk bir ortalamanın olduğu söylenebilir.

Kesici takım kaplama malzemesinin kayma açısını etkilediği sonuçlardan görülmüştür. Bütün kesme hızları dikkate alındığında büyük kayma açısı Al₂O₃ ve TiCN+Al₂O₃+TiN kaplı kesici takımda elde edilmiştir. Buna karşılık gerek nümerik gerekse deneysel çalışmada min. kayma açısı ise, kaplamasız karbür takımda ortaya çıkmıştır. Karşılaşılan bu durum kaplama malzemelerinin sahip oldukları termal iletkenlik katsayılarının bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

Kesme hızının artmasıyla birlikte kayma açısının arttığı elde edilen bir diğer sonuçtur. Kesme hızındaki bu etkinin sebebinin sürtünme açısındaki azalmanın yada kesme hızıyla birlikte azalan spesifik sürtünme enerjisinin olabileceği düşünülmüştür.

İlerlemenin de kayma açısı üzerinde bir etkisinin olduğu, sonuçlardan tespit edilmiştir. İlerlemenin artmasıyla birlikte kayma açısının da arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum ilerlemenin artmasıyla birlikte artan sıcaklığın, malzemenin deformasyonu sırasında oluşan akma gerilmesinin azalmasına neden olduğu ve sonuç olarak spesifik sürtünme enerjisinin de azaldığı görüşüne varılmıştır.

5. KAYNAKÇA

- [1] LIN, Z. C , AND LIN, S. Y., A coupled finite element model of thermal-elastic-plastic large deformation for orthogonal cutting, **ASME Journal of Engineering Materials and Technology**, 114, 218-226, (1992).
- [2] KO, S. L., AND DORNFELD, D. A., A Study on Burr Formation Mechanism, **ASME Journal of Engineering Materials And Technology**, 113, 75-87, (1982).
- [3] KLAMECKI, B. E., AND KIM, S., On the Plane Stress to Plane Strain Transition Across the Shear Zone in Metal Cutting, **ASME Journal of Engineering for Industry**, 110, 322-325, (1988).
- [4] SONG, X., Strain-Hardening and Thermal-Softening Effects on Sliear Angle Prediction: New Model Development and Validation, **ASME Journal of Engineering Materials and Technology**, 117, 28-32, (1995).
- [5] MARINOV V., R., Hybrid analytical-numerical solution for the shear angle in orthogonal metal cutting - Part II: experimental verification, **International Journal of Mechanical Science**, 43, 415-426, (2001).
- [6] LEE, W., B., TO, S., SZE, Y., K., CHEUNG, C., F., Effect of material anisotropy on shear angle prediction in metal cutting—a mesoplasticity approach, 45, 1739-1749, (2003).
- [7] SHIH, A., J., Finite element analysis of the rake angle effects in orthogonal cutting, **International of Mech. Science**, 38, 1-17, (1996).
- [8] MOUFKI, A., MOLINARI, A., DUDZINSKI, D., Modelling of orthogonal cutting with a temperature dependent friction law, **J. of Mech. Phys. Solids**, 35, 2103-2138, (1998).
- [9] XIE, J., Q., BAYOUMI, A., E., ZBIB, H., M., FEA modeling and simulation of shear localized chip formation in metal cutting, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 38, 1067–1087, (1998).
- [10] NG, E., G., AND ASPINVALL, D., Modelling of hard part machining, **Journal of Materials Processing Technology**, 127, 2, 222-229, (2002).

- [11] GRZESIK, W., Friction behaviour of heat isolating coatings in machining: mechanical, thermal and energy-based considerations, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 43, 145–150, (2003).
- [12] IQBAL, S., A., MATIVENGA, P., T., SHEIKH, M., A., Characterization of machining of AISI 1045 steel over a wide range of cutting speeds. Part 1: investigation of contact phenomena, **Journal of Engineering Manufacture**, 221, 909-916, (2007).
- [13] LIM, S., C., ASHBY, M., F., AND BRUNTON, J., H., The effects of sliding conditions on the dry friction of metals, **Acta Metall**, 37, 767-772, (1989).