



# TiN KAPLANMIŞ KESİCİ TAKIMLARDA GERİLME ANALİZİ VE TAKIM-TALAŞ ARA YÜZEYİNDEKİ SÜRTÜNME KATSAYISININ ETKİSİ

**Kubilay ASLANTAŞ**

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Kampüs/Afyon

Geliş Tarihi : 01.07.2002

## ÖZET

Kaplanmış takımlar günümüz metal işleme endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü, ince ve sert kaplamalar takım aşınmasını azaltırken, takım ömrünü ve verimliliği de arttırabilmektedir. Bu tür kaplamalar daha düşük takım aşınmaları ve azalan kesme kuvvetleri nedeniyle, işleme ekonomisine ve kesici takım performansına önemli katkıda bulunmaktadır. Özellikle TiN kaplamalar yüksek mukavemet ve düşük sürtünme katsayılarına sahiptir. Kesme esnasında sürtünme katsayısının düşük olması, kesici takımda meydana gelebilecek hasarları da en aza indirecektir. Bununla birlikte kaplama ile kaplanan malzeme ara yüzeyinde meydana gelen maksimum gerilmeler de daha düşük düzeyde meydana gelecektir. Bu çalışmada, TiN kaplanmış HSS (Yüksek Hız Çeliği) kesici takımlar için iki boyutlu gerilme analizi yapılmıştır. Takım ve talaş arasındaki sürtünme katsayısının kesici yüzeyinde ve ara yüzeyde meydana gelen gerilmeler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bununla birlikte, kesici takımda muhtemel hasar oluşum bölgeleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Problemin çözümünde sonlu elemanlar metodu kullanılmış ve nümerik çözümleme için FRANC2D sonlu elemanlar paket programı seçilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** TiN kaplama, Kesici takım, Sonlu elemanlar metodu, Gerilme analizi

## STRESS ANALYSIS IN CUTTING TOOLS COATED TiN AND EFFECT OF THE FRICTION COEFFICIENT IN TOOL-CHIP INTERFACE

### ABSTRACT

The coated tools are regularly used in today's metal cutting industry. Because, it is well known that thin and hard coatings can reduce tool wear, improve tool life and productivity. Such coatings have significantly contributed to the improvements cutting economies and cutting tool performance through lower tool wear and reduced cutting forces. TiN coatings have especially high strength and low friction coefficients. During the cutting process, low friction coefficient reduce damage in cutting tool. In addition, maximum stress values between coating and substrate also decrease as the friction coefficient decreases. In the present study, stress analysis is carried out for HSS (High Speed Steel) cutting tool coated with TiN. The effect of the friction coefficient between tool and chip on the stresses developed at the cutting tool surface and interface of coating and HSS is investigated. Damage zones during cutting process was also attempted to determine. Finite elements method is used for the solution of the problem and FRANC2D finite element program is selected for numerical solutions.

**Key Words :** TiN coating, Cutting tool, Finite elements method, Stress analysis

## 1. GİRİŞ

Titanyum nitrit yüksek aşınma direnci nedeniyle oldukça popüler bir kaplama malzemesidir. Bu nedenle TiN kaplamalar, kesme esnasında gösterdiği yüksek rijitlik ve düşük sürtünme katsayısıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar TiN kaplama, kaplanmamış takım ile kıyaslandığında, takım ömrünü birkaç kat artırdığı gözlemlenmiştir (Ramalingam, 1984; Murava, 1985).

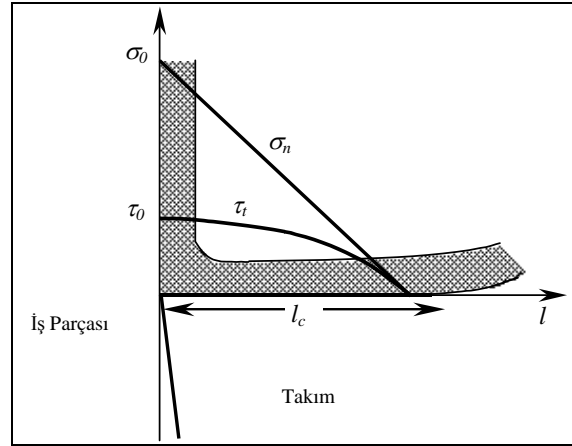
Cheng and Hon, (1996) kaplama kalınlığının titanyum nitrit kaplanmış kesici takımlar üzerindeki etkisini deneysel olarak ele almıştır. Elde ettikleri sonuçlar, belirli bir kaplama kalınlığının kesici takım ömrünü önemli derecede artırdığını göstermiştir. Lim et al., (1999) tarafından yapılan çalışmada, TiN kaplamanın, kabul edilebilir orandaki yan yüzey yanak aşınmasının meydana geldiği işleme aralığını önemli derecede genişlettiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca yazarlar bu çalışma ile aşınma performansındaki artışın, işleme şartları ile yakından ilişkili olduğunu göstermişlerdir.

Taşgetiren ve ark., (2000) tornada kesme kaleminde meydana gelen gerilmeleri iki boyutlu olarak analiz etmişlerdir. Çalışmalarında sürtünme katsayısının kesici takımda meydana getirebileceği hasarı ortaya koymuşlardır. Kesici üzerinde meydana gelen gerilmeler Tresca akma kriterine göre değerlendirilmiştir. Ayrıca meydana gelen  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  ve  $\tau_{xy}$  gerilmeleri sürtünme katsayısının ve yüzeyden itibaren derinliğin bir fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Taşgetiren (2000) tarafından yapılan diğer bir çalışmada tornada kesme kalemi ile yapılan kesme işlemi sırasında takıma gelen gerilmelerin analizi yapılmıştır. Bununla birlikte kesme sırasında meydana gelen sürtünme kuvvetlerinin takımın hasara uğraması üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Bu çalışmada, TiN kaplanmış kesici takımlar için iki boyutlu gerilme analizi yapılmıştır. Farklı sürtünme katsayısının kesici yüzeyinde ve ara yüzeyde meydana gelen gerilmeler ile takım talaş ara yüzeyindeki sürtünme kuvvetlerinin hasar oluşumu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Problem iki boyutlu ve düzlem Şekil değiştirme şartları altında ele alınmıştır. Nümerik çözümleme için FRANC2D sonlu elemanlar paket programı seçilmiştir.

## 2. KESME KUVVETLERİ ANALİZİ

Tornada kesme işlemi genelde dik ve eğik kesme olmak üzere iki farklı şekilde meydana gelmektedir. Bilimsel çalışmalarda problemi daha basite indirmek için ortogonal kesme işlemi üç boyutlu bir problemten ziyade iki boyutlu bir problemi ifade etmektedir (Cheng and Hon, 1996). Bir ortogonal kesme işleminde kesme yüzeyine etkiyen normal gerilme  $\sigma_n$ , ve teğetsel gerilme,  $\sigma_t$  Şekil 1a'da gösterilmiştir. Ayrıca gerilme ile takım-talaş temas boyu arasındaki ilişki;



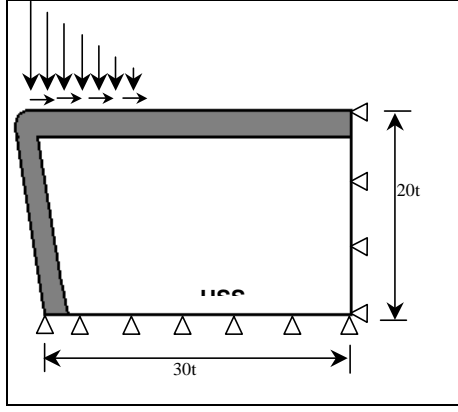
Şekil 1a. Takım yüzeyine etkiyen gerilme dağılımının şematik ifadesi

$$\sigma_n = \sigma_0 \left( 1 - \frac{l}{l_c} \right) \quad (1)$$

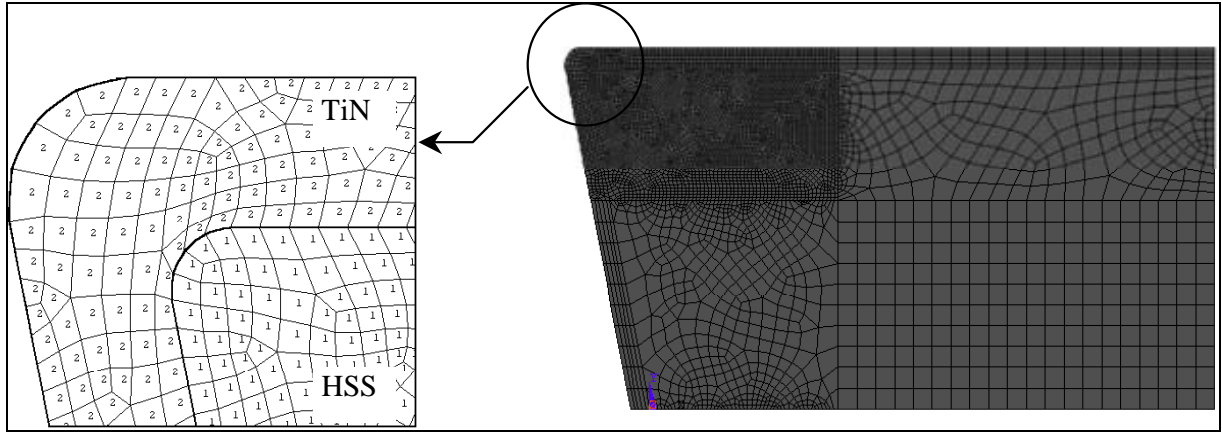
$$\tau_t = \tau_0 \left\{ 1 - \exp \left( -a \frac{l_c - l}{l_c} \right) \right\} \quad (2)$$

şeklinde verilmektedir. Burada  $\sigma_n$  takım yüzeyine etkiyen normal gerilme ve  $\sigma_0$  takım ucuna etkiyen gerilmedir. Benzer şekilde  $\tau_t$  takım yüzeyine etkiyen teğetsel gerilme ve  $\tau_0$  takım ucuna etkiyen teğetsel gerilmedir.  $l$  takım kenarından uzaklık,  $l_c$  takım-talaş temas boyu,  $a$  ise talaş kalınlığıdır.

Kesme işlemi sırasında takım yüzeyine etkiyen yük dağılımı üçgen bir dağılım gösterecek ve takım ucundan uzaklaştıkça yük değeri lineer olarak azalacaktır. Şekil 1b'de TiN kaplanmış takım yüzeyine etkiyen normal ve teğetsel yüklerin dağılımı verilmiştir.



Şekil 1b. TiN kaplanmış kesici takım için sınır koşulları ve yük dağılımı



Şekil 2. TiN kaplanmış HSS kesici uca ait sonlu eleman modeli

Kesici takıma ait geometrik boyutlar kaplama kalınlığı olan  $t$ 'ye bağlı olarak boyutsuzlaştırılmış ve kesici ucun uzunluğu  $30t$ , yüksekliği de  $20t$  olarak alınmıştır. Yüzeyle etkileyen lineer yük dağılımı için basit amaçlı bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Böylece yükün uygulanacağı eleman sayısına bağlı olarak düğümlere gelen normal ve teğetsel yükler otomatik olarak hesaplanabilmektedir. Nümerik çözümlemede kullanılan HSS ve kaplama malzemesi olarak kullanılan TiN'e ait malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Malzeme Kombinasyonu İçin Elastik Sabitler

Elastisite Modülü E (GPa)		Poisson Oranı ( $\nu$ )	
HSS	TiN	HSS	TiN
210	420	0.3	0.25

## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 4. 1. Sürtünme Katsayısının Etkisi

Gerçek çalışma şartları altında kesici yüzey ile talaş arasında sürtünme katsayısının sıfır olması

## 3. SONLU ELEMAN MODELİ

Problemin sonlu eleman modeli FRANC2D paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de problemin sonlu eleman modelinin oluşturulmasında kullanılan TiN kaplanmış kesici uca ait geometrik boyutlar ve problemin sınır şartları verilmiştir. Sonlu eleman ağının oluşturulmasında sekiz düğümlü izoparametrik elemanlar kullanılmıştır. Model toplam olarak 945 eleman ve 2960 düğümden meydana gelmektedir.

imkansızdır. Takım ile talaş arasındaki sürtünme katsayısı kesici yüzeyde ve yüzey altında meydana gelen gerilme dağılımını da etkilemektedir. Kesici uçta meydana gelen aşınma türü hasarlar, ara yüzeydeki sürtünme kuvvetlerinin artmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Takım ile talaş arasındaki sürtünme katsayısı işlenen malzeme ile de doğrudan ilişkilidir.

Bu çalışmada, yüzeyde ve yüzey altında meydana gelen gerilmeler Von-Mises akma kriterine göre araştırılmıştır. Farklı sürtünme katsayıları için yapılan analizlerle sürtünme katsayısının etkisi araştırılmıştır. Von-Mises gerilmesi ise asal gerilmelere bağlı olarak;

$$\sigma_{mises} = \left( \frac{1}{2} \left[ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right] \right)^{1/2} \quad (3)$$

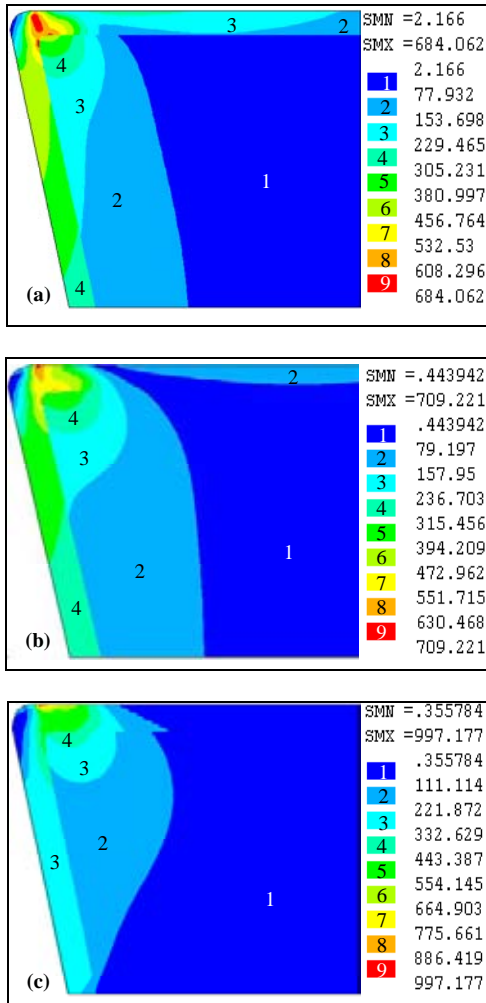
şeklinde dir. Çekme dayanımı 510MPa olan AISI 1020 çeliğinden 0.2mm/dev. ilerleme ile 1mm derinliğindeki talaşın kaldırılması esnasında kesici takıma etkileyen asıl kesme kuvveti ( $F_c$ ) yaklaşık olarak 488 Nmm'dir (Şeker, 1997). Kesici ucun talaş açısı ( $\gamma$ ) olmadığından sıfır olarak alınmıştır. Buna bağlı olarak,  $\gamma = 0$  için kesme esnasında meydana gelen kayma düzlemi açısı  $19^\circ$  olarak seçilmiştir

(Shih, 1996). Şekil 3’de farklı sürtünme değerlerinde takım yüzeyinde ve yüzey altında meydana gelen  $\sigma_{mises}$  gerilme dağılımı verilmiştir. Tablo 2’de sonlu elemanlar analizinde kullanılan kesici uca ait parametreler verilmiştir.

Tablo 2. Kesici Takıma Ait Geometrik Parametreler

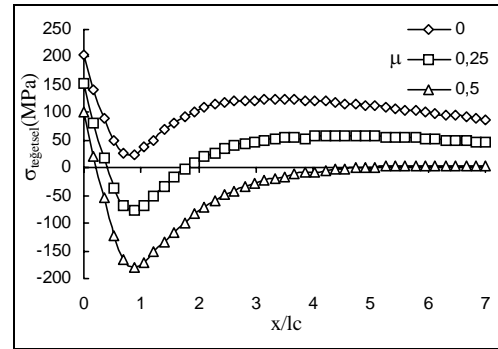
Kayma düzlemi açısı (°)	20
Ön boşluk açısı (°)	10
Talaş açısı (°)	0
İlerleme (mm/dev)	0.2
Burun yarıçapı(mm)	0.4
Takım-talaş temas boyu(mm)	1

Elde edilen sonuçlara göre takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme katsayısının artması takım yüzeyinde ve ara yüzeyde meydana gelen gerilme dağılımını etkilemektedir. Sürtünmenin artması ile birlikte takım yüzeyinde ve kaplama ara yüzeyinde meydana gelen gerilme değerleri de artmaktadır. Takım-talaş ara yüzeyinde sürtünmenin olmadığı ( $\mu = 0$ ) kabul edildiğinde maksimum Von-Mises gerilmeleri yüzey altında meydana gelmektedir (Şekil 3a).

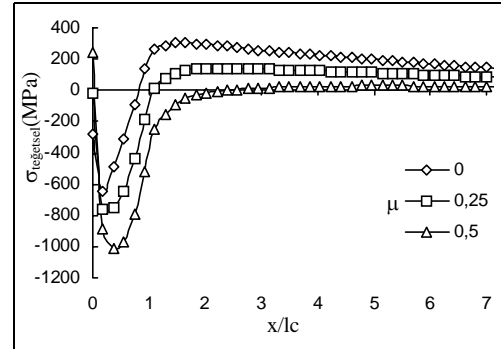


Şekil 3. Kesici takım ucunda meydana gelen  $\sigma_{mises}$  gerilmelerinin dağılımı a)  $\mu = 0$ , b)  $\mu = 0.25$ , c)  $\mu = 0.5$

Kesici yüzeyinde ve kaplama ara yüzeyinde meydana gelen teğetsel gerilmeler takımın çalışma ömrü açısından önemli bir etkiye sahiptir. Eğer bu teğetsel gerilmeler bası gerilmeleri şeklinde olursa takımında burkulma türü hasarlar ortaya çıkacaktır. Şayet teğetsel gerilmeler çeki gerilmeleri şeklinde olursa, kaplamanın kaplanan malzemeden ayrılması ile sonuçlanan hasar türleri ortaya çıkacaktır (Monaghan and MacGinley, 1999). Şekil 4a ve b’de’de kesici takımın yüzeyinde ve kaplama ara yüzeyinde meydana gelen teğetsel gerilmelerin sürtünme katsayısına bağlı olarak değişimi verilmiştir.



Şekil 4a. Kesici takım yüzeyinde



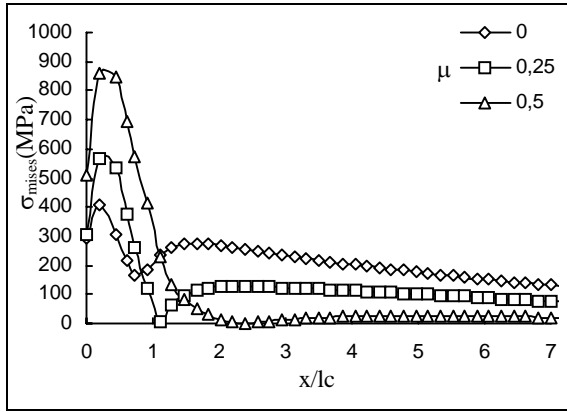
Şekil 4b. Kaplama ara yüzeyinde meydana gelen teğetsel gerilmelerin sürtünme katsayısına bağlı olarak değişimi.

Yüzeyde meydana gelen teğetsel gerilmeler  $x/lc = 0.35$  bölgesinde maksimum bası gerilmeleri şeklinde meydana gelmektedir. Kesici ucundan uzaklaştıkça teğetsel gerilmeler çeki gerilmelerine dönüşmektedir. Sürtünme katsayısının artması ile birlikte  $x/lc = 0.35$  konumunda meydana gelen maksimum bası gerilmeleri de artmaktadır. Buna karşın kalem ucunun daha gerilerinde meydana gelen çeki gerilmeleri de azalma eğilimi göstermektedir.

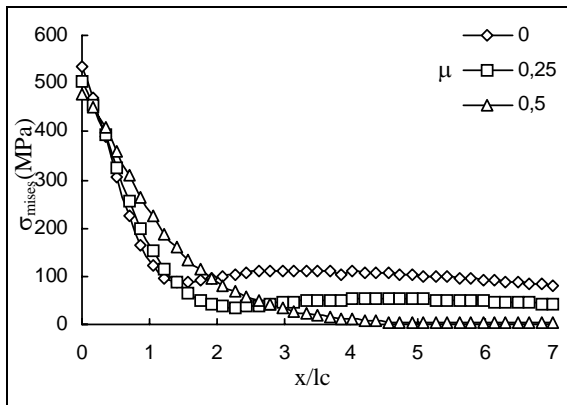
Kaplama ara yüzeyinde meydana gelen teğetsel gerilmeler,  $x/lc=0$  noktasında çeki gerilmeleri şeklinde oluşmaktadır. Sürtünmenin artması ile birlikte bu noktadaki gerilmeler azalmaktadır. Sürtünmenin ara yüzeyde etkili olduğu diğer bir konum ise  $x/lc = 1$  konumudur.  $\mu = 0$  için  $x/lc = 1$

konumunda meydana gelen çeki şeklindeki teğetsel gerilmeler sürtünmenin artması ile birlikte bası gerilmeleri şeklini almaktadır.  $x/lc = 2$  konumu,  $\mu = 0$  ve  $\mu = 0.25$  sürtünme değerlerinde krater aşınması için kritik bir nokta olarak tanımlanabilir. Çünkü bu noktada meydana gelen teğetsel gerilmeler maksimum çeki gerilmesi şeklindedir.

Kesici takım yüzeyinde ve kaplama ara yüzeyde meydana gelen maksimum gerilmeler Von-Mises akma kriterine göre araştırılmıştır. Kesici takım yüzeyinde ve kaplama ara yüzeyinde meydana gelen maksimum gerilmeler farklı sürtünme katsayıları için elde edilmiştir (Şekil 5a ve b). Elde edilen sonuçlara göre sürtünme katsayısındaki artış kesici takım yüzeyinde meydana gelen gerilmelerin artmasına neden olmaktadır. Buna karşın kaplama ara yüzeyinde meydana gelen maksimum gerilmeler üzerinde önemli bir etkisi yoktur.



Şekil 5a. Kesici takım yüzeyinde



Şekil 5b. Kaplama ara yüzeyinde meydana gelen  $\sigma_{mises}$  gerilmelerin sürtünme katsayısına bağlı olarak değişimi.

Takım yüzeyinde meydana gelen maksimum gerilmeler takım ucunda ( $x/lc = 0$ ) değil  $x/lc = 0.3$  mesafesinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ara yüzeyde ise meydana gelen maksimum gerilmeler  $x/lc = 0$  meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 5b).

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada TiN kaplanmış HSS kesici takım için iki boyutlu gerilme analizi yapılmıştır. Gerilme analizi için sonlu elemanlar metodu, nümerik çözümleme için de FRANC2D paket programı kullanılmıştır. Aynı zamanda takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme katsayısının, takım yüzeyinde ve kaplama ara yüzeyinde meydana gelen gerilmeler üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre takım-talaş ara yüzeyinde sürtünmenin olmadığı ( $\mu = 0$ ) kabul edildiğinde maksimum Von-Mises gerilmeleri yüzey altında meydana gelmektedir. Kesici takımın yüzeyinde meydana gelen teğetsel gerilmeler  $x/lc=0.35$  bölgesinde maksimum bası gerilmeleri şeklinde meydana gelmekte ve kesici ucundan uzaklaştıkça teğetsel gerilmeler çeki gerilmeleri olmaktadır. Artan sürtünme katsayısı ile birlikte maksimum bası gerilmeleri de artmaktadır. Buna karşın kalem ucunun daha gerilerinde meydana gelen çeki gerilmeleri de azalma eğilimi göstermektedir.

Ara yüzeyinde meydana gelen teğetsel gerilmeler,  $x/lc=0$  noktasında çeki gerilmeleri şeklinde oluşmaktadır.  $x/lc=2$  konumu,  $\mu=0$  ve  $\mu=0.25$  sürtünme değerlerinde meydana gelen teğetsel gerilmeler maksimum çeki gerilmesi şeklinde olması nedeniyle, kesicinin bu konumu crater aşınması için kritik bir konum olarak tanımlanabilir. Ayrıca sürtünme katsayısının artması ara yüzeyde meydana gelen maksimum  $\sigma_{mises}$  gerilmelerini önemli ölçüde etkilemediği gözlemlenmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

Murava, V. 1985. "Titanium Nitride Coating of Tools by Physical Vapour Deposition (PVD) Process, Heat Treat. Met., 12 (2), 49.

Ramalingam, S. 1984. "Tribological Characteristics of Thin Films and Application of Thin Film Technology for Friction and Wear Reduction", Wear, 118, 335.

Cheng, H., Hon, M. 1996. "Influence of TiN Coating Thickness on the Wear of  $Si_3N_4$  Based Cutting Tools", Surface and Coating Technology, 81, 256-261.

Lim, C. H. Y., Lim, S. C., Lee, K. S. 1999. "The Performance of TiN-Coated High Speed Steel Tool Inserts in Turning", Tribology International 32, 393-398.

Taşgetiren, S., Aslantaş, K., Kurt, A. 2000. "Torna Kesme Kalemünde Gerilmeler: Sürtünme Katsayısının Etkisi", Teknoloji, 3 (2-3), 1-10.

Taşgetiren, S. 2000. "An Estimation of Edge Deterioration on Cutting Tool During Turning: off-Line Stress Analysis Approximation", A.K.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 2 (1), 99-108.

FRANC2D User's Manual. [www.cfg.cornell.edu](http://www.cfg.cornell.edu)

Şeker, U. 1997. "Takım Tasarımı Ders Notları", G. Ü., Teknik Eğitim Fak., Ankara.

Shih, J. A. 1996. "Finite Element Analysis of the Rake Angle Effects in Orthogonal Metal Cutting", Int. J. Mech. Sci., Vol. 38, No.1, pp. 1-17.

Monaghan, J., MacGinley, T. 1999. "Modelling the Orthogonal Machining Process Using Coated Carbide Cutting Tools", Computational Materials Science, 16, 275-284.