

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/288361146>

Investigation of variation in tool–chip contact length in orthogonal cutting process

Article in *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* · September 2009

CITATIONS

2

READS

33

3 authors:



Irfan Ucin

Afyon Kocatepe University

21 PUBLICATIONS 407 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Kubilay Aslantas

Afyon Kocatepe University

112 PUBLICATIONS 968 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Abdurrahman Karabulut

Afyon Kocatepe University

36 PUBLICATIONS 145 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Fracture Mechanics [View project](#)



Investigation of Material Properties of Composite Armour and Ballistic Hybrid Design [View project](#)

ORTAGONAL KESME İŞLEMİNDE TAKIM-TALAŞ TEMAS UZUNLUĞUNDAKİ DEĞİŞİMİN ARAŞTIRILMASI

İrfan UCUN, Kubilay ASLANTAŞ ve Abdurrahman KARABULUT

Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi 03200 Afyonkarahisar.
irfanucun@aku.edu.tr, aslantas@aku.edu.tr, karabulut@aku.edu.tr

(Geliş/Received: 22.09.2008 ; Kabul/Accepted: 05.05.2009)

ÖZET

Takım-talaş temas boyu, işleme prosesinde takım ömrü ve takım aşınması açısından önemli bir etkiye sahiptir. Takım-talaş temas boyundaki artış takım ömrünün azalmasına neden olabilir. Ayrıca takım-talaş temas boyu, krater aşınma davranışının önemli bir unsurudur. Takım-talaş temas boyunun artması, takım talaş yüzeyinde sürtünme kuvvetlerin artmasına neden olmakta ve kesici takım boyunca oluşan sıcaklık dağılımını etkilemektedir. Öncelikle bu çalışmada takım-talaş temas boyunun hesaplanması için kullanılan bütün analitik modeller birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Daha sonra takım-talaş temas boyu, farklı iş parçası malzemesi ve kesme parametreleri için üç farklı model kullanılarak hesaplanmıştır. Takım-talaş temas boyu ile kesme hızı, malzeme tipi ve deforme olmamış talaş kalınlığı arasındaki ilişkinin anlaşılması için tornada bir seri deney yapılmıştır. Tornalama işlemleri ortogonal kesme koşulları altında ve seramik kesici takım kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, artan ilerleme değeri ve malzeme türü takım talaş boyunu önemli oranda etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Takım-talaş temas boyu, ortogonal kesme, tornalama.

INVESTIGATION OF VARIATION IN TOOL-CHIP CONTACT LENGTH IN ORTHOGONAL CUTTING PROCESS

ABSTRACT

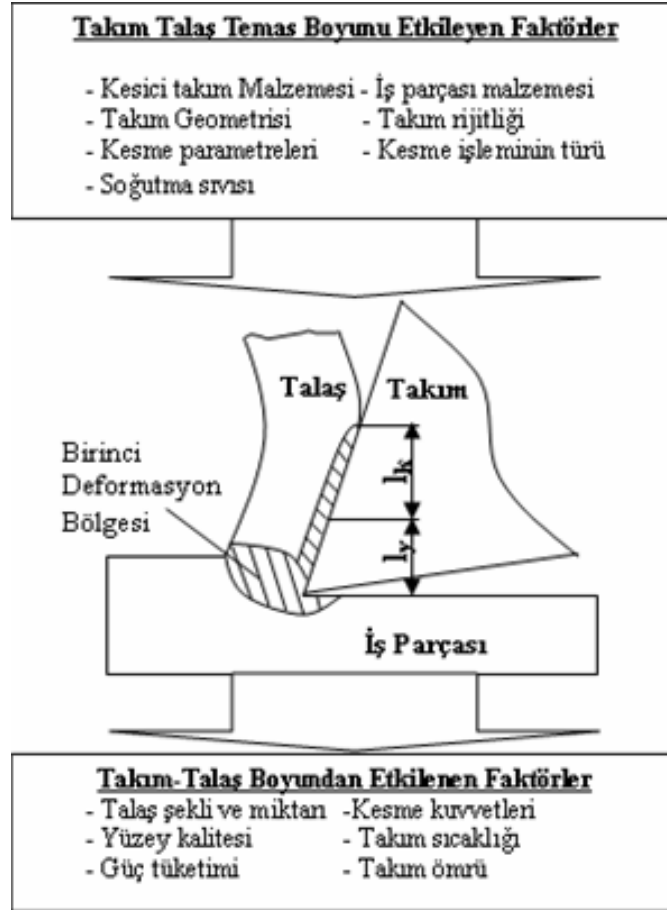
The tool-chip contact length has an important effect in view of tool life and tool wear in machining process. An increase in tool-chip contact length may results in a decrease of tool life. Besides the tool-chip contact length is an important element in formation of crater wear. The increasing of tool-chip contact length results in increase of friction forces acting on tool rake face and affects the temperature distributions along the cutting tool. First, in this study, all analytical models proposed to calculate the tool-chip contact length were compared with each other. Second, the tool-chip contact length was calculated using three different models for different workpiece materials and cutting parameters. The experiments were performed in a series of test in order to understand the relationship between tool-chip contact length and cutting velocity, material type and undeformed chip thickness. The turning tests were carried out under orthogonal cutting conditions and ceramic cutting tool was used. According to results, the increasing of feed rate and type of workpiece material have an important effect on the tool-chip contact length.

Keywords: Tool-chip contact length, orthogonal cutting, turning.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Takım-talaş ara yüzeyindeki temas koşulları, takımın ömrünün belirlenmesi noktasında büyük bir önem arz etmektedir. Bu konuda en önemli verilerden birisi de takım-talaş temas uzunluğudur. Artan takım-talaş temas uzunluğu takım yüzeyindeki sıcaklık dağılımını

etkilemekte ve dolayısıyla aşınma sürecini hızlandırmaktadır [1,2]. Takım-talaş temas uzunluğu, kayma açısı, deforme olmamış talaş kalınlığı, talaş oluşum bölgesinin geometrisi ve metal kesme işlemindeki bütün süreçlerle birlikte değerlendirilmektedir [3]. Aynı zamanda talaş kalınlığı kayma ve talaş açısının da bir fonksiyonu olduğu genel bir görüştür. Pozitif



Şekil 3. Ortogonal kesme işleminde takım-talaş temas boyunun etkisi (The effect of tool-chip contact length in orthogonal cutting process)[1].

Takım talaş yüzeyindeki normal gerilme dağılımını uniform ve oluşan kesme kuvveti vektörünün de $l_c/2$ mesafede durduğu varsayımını yapmışlardır. Tüm bu kabuller ışığında Oxley ve arkadaşları [13] takım-talaş temas boyunu aşağıdaki analitik ifadeyle tanımlamışlardır.

$$l_c = \frac{h \sin \theta}{\cos \alpha \cdot \sin \phi} \left\{ 1 + \frac{C_n}{3 \left[1 + 2 \left(\frac{1}{4} \pi - \phi \right) - C_n \right]} \right\} \quad (1)$$

Bu denklemin uygulanabilir olması için, kesme geometrisini tanımlayan açıların bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca denklemde yer alan C ve n sabitlerinin deneysel olarak elde edildiği vurgulanmıştır. Denklemde, ϕ olarak tanımlanan kayma açısını deneysel olarak tespit etmenin güç olması nedeniyle bu analitik modelin pratik uygulanabilirliğinden bahsetmek zordur. Oxley ve arkadaşlarının [13] yaklaşımına benzer bir yaklaşımda Tay ve arkadaşları [14] tarafından ileri sürülmüştür. Onların geliştirmiş olduğu analitik model ise,

$$\frac{l_c}{h} = \frac{\sin \theta}{\cos \alpha \cdot \sin \phi} \quad (2)$$

şeklinde. Geliştirilen bu model, temelde Oxley vd.'nin [13] modeline benzemekle beraber Denklem 1'deki parantez dikkate alınmamıştır. Bunların dışında Vinogradov [15] tarafından geliştirilen model; Tay ve arkadaşları [14] tarafından geliştirilen modelin modifiye edilmiş şeklidir. Buna göre takım-talaş temas boyu

$$\frac{l_c}{h} = \frac{\sin \frac{\pi}{4}}{\sin \phi \cdot \sin \left[\frac{\pi}{4} + \phi - \alpha \right]} \quad (3)$$

eşitliğiyle ifade edilmiştir. Abuladze [16] tarafından geliştirilen model; ilk üç modele nazaran biraz daha basit ve uygulanabilir. Bu modelde ξ (talaş kalınlık katsayısı) kullanılmış olup takım-talaş temas boyu sadece talaş açısı ve talaş kalınlığına bağlı olarak hesaplanabilmektedir.

$$\frac{l_c}{h} = 2 \cdot (\xi (1 - \tan \alpha) + \sec \alpha) \quad (4)$$

Lee ve Shaffer [17] tarafından geliştirilen modelde

$$\frac{l_c}{h} = \frac{\sqrt{2}}{\sin \left[\arctan \left(\frac{\cos \alpha}{\xi - \sin \alpha} \right) \right]} \times \frac{\sqrt{2}}{\sin \left(\frac{\pi}{4} + \arctan \left(\frac{\cos \alpha}{\xi - \sin \alpha} \right) - \alpha \right)} \quad (5)$$

eşitliğiyle paydada talaş açısına ve talaş kalınlık katsayısına yer verilmiştir. Abuladze, Lee ve Shaffer'ın [16,17] elde ettikleri (4) ve (5) formüllerinin sadece talaş kalınlık katsayısına bağlı olmadığı, aynı zamanda takım talaş açısının da rolü olduğu görülmektedir. Fakat bu ifadelerde bazı tutarsızlıklar vardır. Örneğin talaş kalınlık katsayısının sıfır olduğu durumda (kesme işleminin gerçekleşmediği durum) takım-talaş temas boyunun da sıfır olması gerekmektedir. Fakat bu formüllerde sıfırdan farklı bir değer elde edilmektedir. Ayrıca Toropov ve Ko [18] tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, özellikle büyük talaş açısı değerlerinde bu ifadelerin ciddi hata verdiği gözlemlenmiştir.

Poletika [19] tarafından çeşitli malzeme ve kesme koşulları kullanılarak yapılan deneysel çalışmada, takım-talaş temas uzunluğunun talaş kalınlık katsayısı ve deforme olmamış talaş kalınlığı ile ilişkili olduğu öne sürülmüştür. Ayrıca deforme olmamış talaş kalınlığının temas boyunu etkileyen en önemli unsur olduğu saptanmıştır. Bu çerçevede $1 \leq h'/h \leq 10$ aralığı için ortaya konulan analitik model ise

$$l_c = h.(2.05\xi - 0.55) \quad (6)$$

şeklinde. Zhang, Liu ve Hu [20] (0.42...0.48) % C ihtiva eden iş malzemesi ve P10 ISO karbürlü kesici takım için elde ettiği ampirik ifade de ise

$$l_c = 8,677.10^{-5} h^{0.515} V_c^{-0.065} (90^\circ - \alpha)^{0.733} \quad (7)$$

şeklinde bir takım-talaş temas boyu modeli önermiştir. Bu modelin diğerlerinden farkı ise, kesme hızının modele dahil edilmiş olmasıdır. Stephenson [21] tarafından önerilen takım-talaş boyu modelinde de kesme hızı dikkate alınmıştır (Denklemler 8). Fakat bu modelde $V_c = 0$ olduğu durum (kesme işleminin olmadığı) için $l_c = 0,485$ mm olarak elde edilmektedir. Oysa bu gerçekçi değildir.

$$l_c = 0,485 + 0,00280.V_c \quad (8)$$

Bunların dışında, Marinov [22] yaptığı deneysel bir çalışma sonucunda elde ettiği verileri kullanarak bir model geliştirmiştir. Deneysel çalışmada %0,18 C ihtiva eden iş malzemesi ve P25 karbür kesici takım kullanılarak, ortogonal kesme şartları altında kesme

yapılmıştır. Elde edilen deneysel veriler doğrultusunda oluşturduğu model ise

$$\frac{l_c}{h} = 1,61 \cdot \frac{h'}{h} - 0,28 \quad (9)$$

şeklinde. Toropov ve Ko [18]'nin yapmış oldukları çalışmada ise; alüminyum alaşımı, bakır, karbon çeliği ve paslanmaz çelikten oluşan dört farklı iş malzemesi için farklı talaş açısına sahip kesici takımlar kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda, takım-talaş temas boyunu her kesme işlemi sonrasında mikroskop yardımıyla tespit etmişler yine talaş kalınlığı mikrometre vasıtasıyla ölçmüşlerdir. Bu sonuçlar neticesinde oluşturdukları matematiksel model

$$\frac{l_c}{h} = 2\xi \quad (10)$$

şeklinde. Aynı zamanda bu model, Poletika [19] tarafından elde edilen modelle mükemmel bir uyum içinde olduğu, yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. Sutter [23] tarafından yapılan bir çalışmada ise, düşük karbonlu çeliklerin farklı talaş açıları, kesme derinlikleri ve kesme hızları kullanılarak yapılan çalışmada oluşan takım-talaş boyunu yüksek hızda görüntü elde edebilen kamera yardımıyla tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen matematiksel modelin ise, özellikle Toropov'un [18] modeliyle uyum içinde olduğu görülmüştür. Sutter [23] tarafından ortaya konulan modelin ampirik ifadesi ise

$$\frac{l_c}{h} = 1,92 \frac{h'}{h} - 0,09 \quad (11)$$

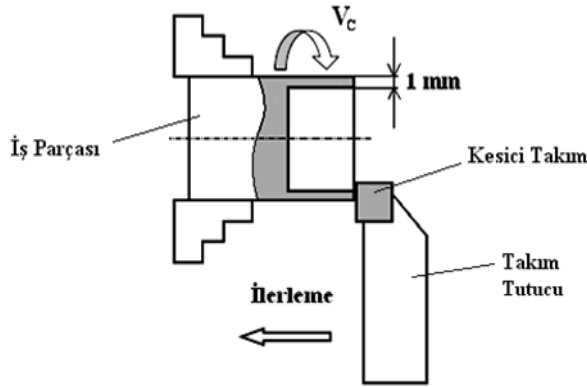
şeklinde. Bütün bu modeller sonunda takım-talaş temas boyunu bütün koşullar için tespit edebilen ortak bir modelin olmadığı görülmektedir. Bunun da en önemli nedeni, kullanılan kesici takım ve iş malzemesi çeşidinin fazla olmasıdır. Ayrıca kullanılan kesme parametreleri de dikkate alındığında geçerli bir model ortaya koymak oldukça güçleşmektedir.

Bu çalışmada, literatürde sık kullanılan Toropov, Marinov ve Sutter [18,22,23] tarafından ortaya konulan modellerde kullanılarak takım-talaş temas boyu tespit edilmiştir. Çalışmada farklı kesme hızı ve ilerleme değerleri değişken olarak alınmış ve takım-talaş temas boyunun değişimi araştırılmıştır. Deneysel çalışmada elde edilen talaş kalınlığı (h') ve deforme olmamış talaş kalınlığı (h) kullanılarak bahsedilen bu üç analitik model kullanılarak takım-talaş temas boyu hesaplanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Takım-talaş temas boyunun farklı yaklaşımlarla elde edilmesi için yapılan deneysel çalışmada üç farklı iş

parçası kullanılmıştır (GGG 50, St 37, AISI 1045). Bu malzemelerin seçimindeki temel neden imalat sanayinde en çok kullanılan malzemeler olmasıdır. Ortogonal kesme koşulları dikkate alınarak universal torna tezgahında yapılan kesme işlemleri, 50, 100 ve 200 m/dk kesme hızında ve 0,11, 0,24, 0,36 mm/dev ilerleme değerinde gerçekleştirilmiştir. Kesici takım olarak -6° talaş açısına sahip iscar tarafında üretilen CNGA 120404T seri numaraya sahip seramik bir kesici takım kullanılmıştır. Ortogonal kesme şartlarını sağlamak amacıyla, 50 mm çapındaki her bir numunenin içi 1 mm et kalınlığına sahip boru şekline getirilmiştir (Şekil 4). Yapılan deneylerden elde edi-



Şekil 4. Ortogonal kesme şartı için kullanılan deney düzeneği (The experimental setup used for orthogonal cutting condition) [22]

len talaşların kalınlıkları mikrometre yardımıyla ölçülmüş ve kesme işlemi yapmadan önceki talaş kalınlığıyla birlikte, baz alınan üç matematiksel modelle takım-talaş temas uzunluğu elde edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1 İlerleme miktarının Takım-Talaş Temas

Uzunluğuna Etkisi (The Effect of Feed Rate on Tool-Chip Contact Length)

Üç farklı malzeme için yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler (h , h'), önerilen matematiksel modelde yerine yazılmak suretiyle takım talaş temas boyu elde edilmiştir (Şekil 5). Her bir grafiğin sergilediği ortak karakteristik; ilerleme miktarının artmasıyla takım-talaş temas uzunluğunun da artmasıdır. Benzer bir yaklaşım Sutter [23] tarafından da ortaya konulmuştur. Sutter tarafından yapılan çalışmada da ilerleme miktarının artmasıyla takım-talaş temas uzunluğu lineer bir şekilde artmaktadır. Bilindiği üzere ortogonal kesme koşullarında ilerleme miktarı aynı zamanda deforme olmamış talaş kalınlığını (h) ifade etmektedir. Bundan dolayı ilerleme miktarının artmasıyla kesilecek talaş derinliği de artmaktadır. Talaş kesit alanının artması akmaya karşı dayanımını da artırmaktadır. Dolayısıyla talaş, takım yüzeyinde daha uzun bir mesafede temas

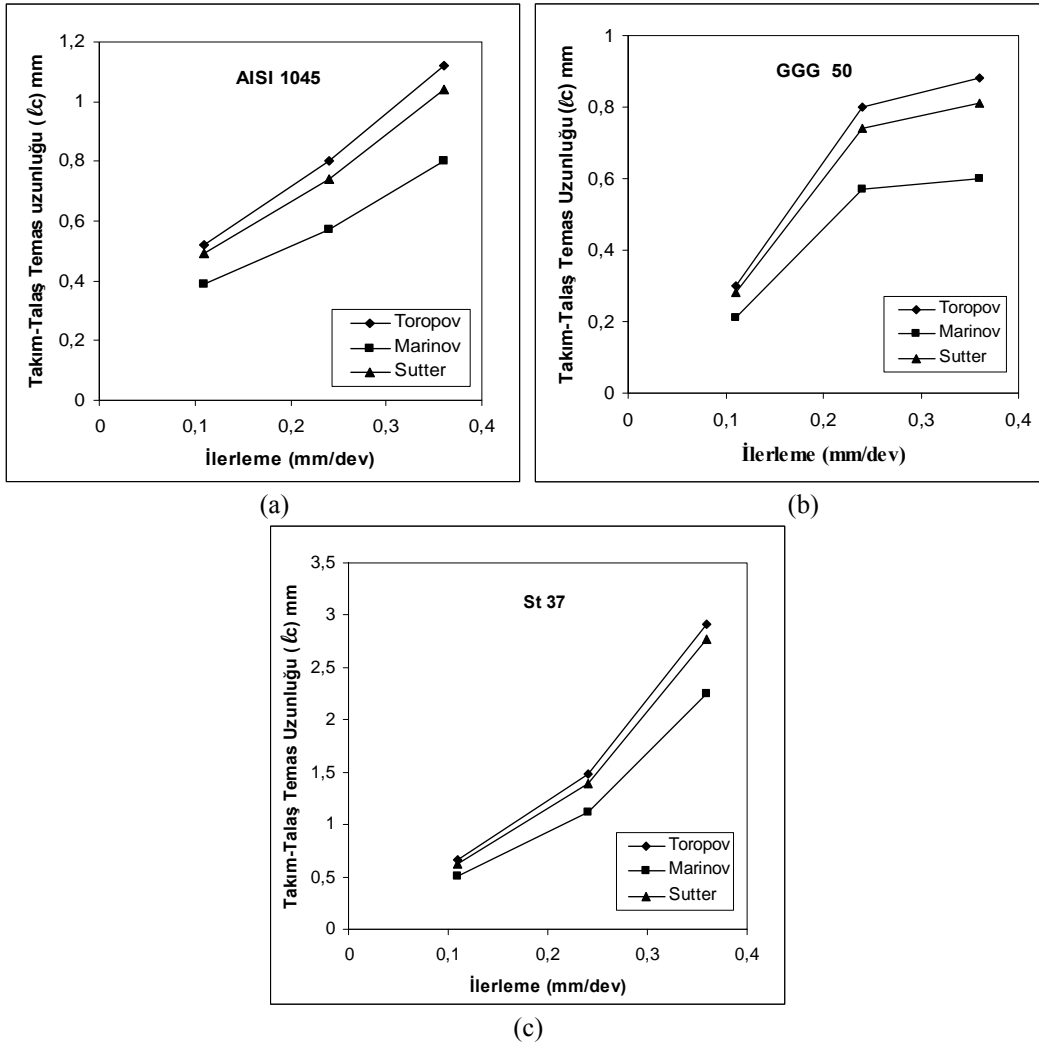
kurmaktadır. Şekil 5' ten çıkarılacak bir diğer sonuç ise; iş parçası malzemelerindeki farktır.

En uzun temas boyu St 37 malzeme için elde edilmiştir. Malzeme grubunun içinde en sünek malzeme St 37 olmasından dolayı, talaşın sürekliliği diğer malzemelerden daha fazladır. GGG 50 malzemesi ise gevrek olmasından dolayı en kısa temas uzunluğuna sahiptir. Bir anlamda talaş birinci deformasyon bölgesinden ikinci deformasyon bölgesine geçmeden kırılmaktadır. Sonuçlarda dikkati çeken bir diğer nokta ise; GGG 50 malzemesinde ilerleme miktarındaki artışla birlikte, takım-talaş temas uzunluğunun sabit kalmasıdır. GGG 50 malzemesinin daha gevrek bir yapıya sahip olması nedeniyle, ilerleme değerindeki artış bir süre sonra takım-talaş temas boyunu etkilemediği söylenebilir. Fakat bu ifadenin doğruluğunu ortaya koymak açısından daha büyük ilerleme değerleri için de ilave deneyler yapılması gerekir.

3.2. Kesme Hızının Takım-Talaş Temas Uzunluğuna Etkisi (The Effect of Cutting Speed on Tool-Chip Contact Length)

Deneylerden elde edilen diğer bir sonuç ise, kesme hızının takım-talaş temas uzunluğu üzerindeki etkisidir (Şekil 6). GGG 50 ve St 37 malzemesi kesme hızındaki değişimle birlikte benzer bir karakteristik göstermiştir. Her iki malzemede de kesme hızının artmasıyla takım-talaş temas uzunluğu azalmaktadır. Bu azalmanın nedeni, kesme hızının artmasıyla birlikte takım-talaş arasındaki sürtünme katsayısının azalmasıdır [2]. Bu durum, kesme sıcaklığı ile bağlantılı olarak gelişmektedir [24]. Fakat özellikle GGG 50 malzemesi için yapılan çalışmada 100 m/dk kesme hızından sonra takım-talaş temas boyunda neredeyse hiçbir değişiklik olmadığı görülmüştür. Bu sonuç doğrultusunda; gevrek olan malzemeler için yüksek kesme hızlarının takım-talaş temas boyunu çok fazla etkilemediği düşünülebilir. Bazı çalışmalarda kaplamalı takımlarla yapılan kesme işleminde kesme hızının artmasıyla takım talaş temas uzunluğunun arttığı veya sabit kaldığı görülmüştür [4]. 400 m/dk dan daha yüksek kesme hızlarında takım-talaş temas boyu artan kesme hızıyla artma eğilimi göstermiştir. 400 m/dk dan daha düşük kesme hızlarında takım-talaş temas boyu genellikle sabit kalmaktadır. Bu çalışmada da AISI 1045 malzemesi için l_c değeri artan kesme hızıyla çok fazla değişmediği gözlemlenmiştir. AISI 1045 iş malzemesi kullanılarak yapılan bir çalışmada [2], $V=200$ m/dk ile 800 m/dk için takım-talaş temas boyu deneysel olarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; $V=200$ m/dk ile 800 m/dk arasında elde edilen takım-talaş temas boyu % 30 azalma göstermiştir.

Buradan da AISI 1045 malzemesinin işlenmesi esnasında, kesme hızının takım-talaş temas boyunu çokta etkilemediği sonucu çıkartılabilir. Her üç malzeme için elde edilen bu sonuçlara göre Sutter tarafından önerilen modele (Denklem 11) göre takım-



Şekil 5. Takım-talaş temas uzunluğunun ilerleme miktarına göre değişimi a) AISI 1045 b) GGG 50 c) St 37 ($a=1\text{mm}$ ve $V_c=100\text{ m/dk}$) (Variation of tool-chip contact length with feed rate)

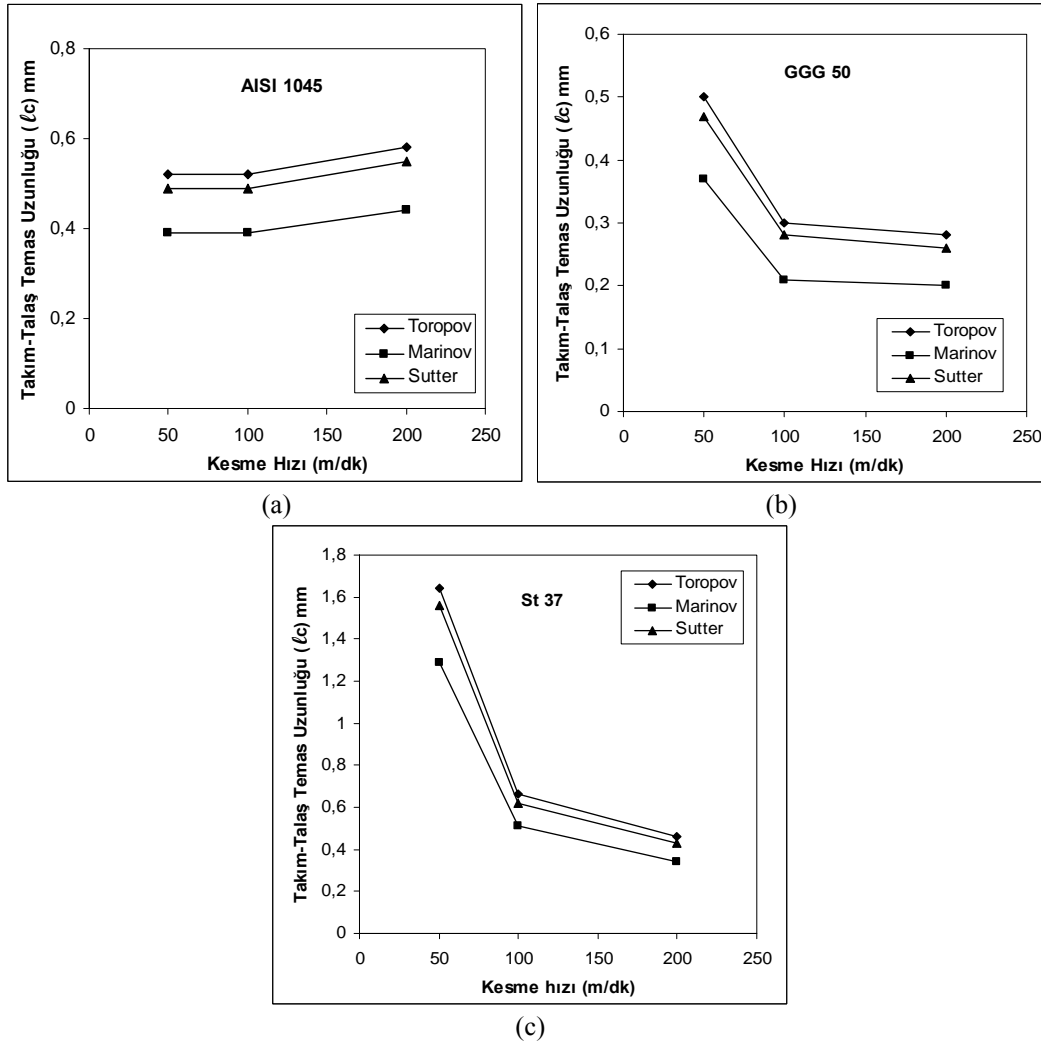
talaş temas boyu daha küçük olduğu görülmüştür. Bununla birlikte Toropov ve Marinov[18,22] tarafından ortaya konulan yaklaşımlar birbirine yakın sonuçlar vermektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada öncelikle takım-talaş temas boyunu tahmine yönelik analitik modellere yer verilmiştir. İkinci olarak, 3 farklı iş malzemesi için ortogonal kesme koşulları dikkate alınarak, takım-talaş temas boyunun en çok kullanılan üç analitik modele göre değişimi araştırılmıştır. Üç farklı iş malzemesi için kesme hızının ve ilerleme miktarının etkisi tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ilerleme miktarının artması her bir modelde de takım-talaş temas uzunluğunun artmasına neden olmaktadır.

İlerleme miktarındaki artış, oluşan talaş kesitinin alanıyla doğru orantılı olmasından dolayı, kesme esnasında talaşın akmaya karşı mukavemeti artmaktadır. Dolayısıyla artan talaş kesiti kesici takım yüzeyine daha fazla talaşın yığılmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda da takım-talaş temas boyu da

artmakta ve talaş, takım yüzeyi ile daha uzun bir mesafede temas kurmaktadır. Kullanılan iş parçası malzemeleri de takım-talaş temas uzunluğunu doğrudan etkilemektedir. Sünekliği en fazla olan St 37 çeliğinin işlenmesi sırasında, oluşan takım-talaş temas uzunluğu maksimumdur. En düşük temas uzunluğu ise, gevrek olan GGG 50 malzemesinin kesilmesi sırasında elde edilmiştir. GGG 50 malzemesinin daha gevrek bir yapıya sahip olması nedeniyle, oluşan talaş belirli bir uzamadan sonra kopmaktadır. Kesme hızının özellikle St 37 ve GGG 50 malzemeleri için, temas uzunluğu üzerinde de belirgin bir etkisi olduğu görülmüştür. GGG 50 ve St 37 malzemesi için kesme hızının artmasıyla takım-talaş temas uzunluğu azalmaktadır. Bu azalmanın nedeni; kesme hızının artmasıyla birlikte takım-talaş arasındaki sürtünme katsayısının azalmasıdır. Fakat aynı sonuç AISI 1045 çeliği için söz konusu değildir. Literatürde yapılan çalışmalar doğrultusunda özellikle 200-800 m/dk kesme hızı aralığında takım-talaş temas boyunda kayda değer bir değişim olmadığı görülmüştür. Ayrıca krater aşınması açısından değerlendirildiğinde, yüksek kesme hızlarının seçilmesi hasar boyutunun azalmasına katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.



Şekil 6. Kesme hızının takım-talaş temas boyu üzerindeki etkisi a) AISI 1045 b) GGG 50 c) St 37 (Talaş derinliği 1mm ve $f=0,11$ mm/dev) (The effect of cutting speed on tool-chip contact length)

SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

- h = Deforme olmamış talaş kalınlığı, (mm)
 h' = Talaş kalınlığı, (mm)
 l_c = Takım-talaş temas uzunluğu, (mm)
 α = Kesici takım talaş açısı, ($^\circ$)
 V_c = Kesme hızı, (m/dk)
 ϕ = Talaş kayma açısı, ($^\circ$)
 ξ = Talaş kalınlık katsayısı
 θ = Kayma düzlemiyle bileşke kuvvetin eğimi, ($^\circ$)
 τ = Sürtünme ile oluşan gerilme (MPa)
 m_f = Kayma sürtünme faktörü
 $k_{talaş}$ = İş parçası kayma akma dayanımı
 $\bar{\sigma}$ = Von Mises gerilme (MPa)
 μ = Sürtünme katsayısı
 σ_n = Normal gerilme (MPa)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Abukhshim, N.A., Mativenga, P.T. and Sheikh, M.A. "An Investigation of The Tool-Chip Contact Length and Wear in High-Speed Turning of En19 Steel", **Proceedings of Institution**

Mechanical Engineers Vol. Part B" Journal of Engineering Manufacture, Cilt 218, 889–903, 2004.

- Iqbal, S.A., Mativenga, P.T. and Sheikh, M.A. "Characterization of The Machining of AISI 1045 Steel Over A Wide Range of Cutting Speeds-Part 1: Investigation of Contact Phenomena", **Proceedings of IMechE Part B: Journal of Engineering Manufacture**, Cilt 221, No. 5, 909–916, 2007.
- Marinov, V., "The Tool Chip Contact Length on Orthogonal Metal Cutting", **Proceedings of 5th International Conference on Advanced Engineering and Technology**, AMTECH 99, Plovdiv, Bulgaria, 149–155, 1999.
- Mativenga, P.T., Abukhshim, N.A., Sheikh, M.A. and Hon, B.K.K. "An Investigation of Tool Chip Contact Phenomena in High-Speed Turning Using Coated Tools", **Proceedings of IMechE Part B: Journal of Engineering Manufacture**, Cilt 220, 657–667, 2006.
- Friedman, M.Y. and Lenz, E. "Investigation of The Tool-Chip Contact Length in Metal

- Cutting”, **International Journal of Machine Tools Design**, Cilt 10, 401–416, 1970.
6. Sadik, M. I. and Lindstrom, B. “The Role of Tool–Chip Contact Length in Metal Cutting”, **J. Mater. Processing Technol.**, Cilt 37, 613–627, 1993.
 7. Zorev, N.N. “Inter-Relationship Between Shear Processes Occuring Along Tool Face and Shear Plane in Metal Cutting”, **International Research in Production Engineering**, 42–49. 1963.
 8. Sartkulvanich, V., and Altan, T., “Effects of Flow Stress And Friction Models In Finite Element Simulation of Orthogonal Cutting-A Sensitivity Study”, **Machining Science and Technology**, Cilt 9, 1–25, 2005.
 9. Gordon, M., B., “A Study of Friction And Lubrication in Metal Cutting”, **Cheboksary State University Press**, in Russian, Cheboksary, 1972.
 10. Petruha, G. G. “Cutting of Difficult-To-Cut Materials”, **Machinostroenie**, Moscow, in Russian, 1972.
 11. Bagchi, A. and P.K. Wright. “Stress Analysis in Machining With The Use of Sapphire Tools”, in: **Proc. Royal Society of London**, A 409: 99–113 1987.
 12. Grzesik, W., “Determination of Temperature Distribution in The Cutting Zone Using Hybrid Analytical-Fem Technique”, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Cilt. 46, No. 6, 651–658, 2006.
 13. Oxley, P.L.B. “Mechanics of Machining: An Analytical Approach to Assessing Machinability”, London: Ellis Horwood, 1989.
 14. Tay A. O., Stevenson M. G., de Vahl G. and Oxley P. L. B., “A Numerical Method For Calculating Temperature Distributions in Machining From Force And Shear Angle Measurement”, **International Journal of Machine Tool Design and Research**, Cilt 16, 335-349, 1976.
 15. Vinogradov, A., A., “Physical Foundations of the Process of Drilling Difficult-to-Cut Materials Using Carbide Drills”, Kiev, Naukova Dumka, 1985.
 16. Abuladze, N.G. “Character and The Length of Tool-Chip Contact Proceedings of Machinability of Heat-Resistant and Titanium Alloys”, Kuibyshev, Russian’, 68–78, 1962.
 17. Lee, E. H. and B. W. Shaffer. “The Theory of Plasticity Applied To A Problem of Machining”, **ASME J. Appl. Mech.**, 18, 405, 1951.
 18. Toropov, A., and Ko, S-L., “Prediction of Tool-Chip Contact Length Using a New Slip-Line Solution for Orthogonal Cutting”, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Cilt 43, 1209–1215, 2003.
 19. Poletika, M., F., “Contact Loads on Tool Faces” Moscow, Russian, Machinostronie, 1969.
 20. Zhang H., T., Liu P., D., and Hu R., S., “A Three-Zone Model and Solution of Shear Angle in Orthogonal Machining”, **Wear**, Cilt 143, 29-43, 1991.
 21. Stephenson, D.A., Jen, T-C. and Lavine, A.S. “Cutting Tool Temperature in Contour Turning: Transient Analysis and Experimental Verification”, **Transactions of the ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering**, Cilt 119, 494–501, 1997.
 22. Marinov, V. “The Chip-Tool Contact Length in Orthogonal Metal Cutting” **Fifth International Conference on Advanced engineering and technology, AMTECH’99**, Plovdiv, Bulgaria, 149–155, 1999.
 23. Sutter, G. “Chip Geometries During High-Speed Machining for Orthogonal Cutting Conditions”, **Int. J. Mach. Tools Mf.**, Cilt 45, 719-726, 2005.
 24. Moufki, A., Molinari, A., and Dudzenski, D. “Modelling of Orthogonal Cutting With A Temperature Dependent Friction Law”, **J. Mechanics Physics Solids**, Cilt 46(10), 2103-2138, 1998.