



## METAL KESME ANALİZLERİ İÇİN EN UYGUN VİSKO PLASTİK MODELİN BELİRLENMESİ

M.Ömer KAYKI<sup>1,2</sup>, Mustafa GÜNAY<sup>2</sup> ve M.Erdi KORKMAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ortadoğu Rulman Sanayi, ANKARA

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi, KARABÜK

### ABSTRACT

Aim of this study to determine the most suitable viscoplastic material model for metal cutting simulations. As a result of the finite element analysis made with different material models, reaction forces have determined during cutting process. Reliability of material models at high strain rates will determined, by the comparison of these forces with experimental results. This means, By using metal cutting simulations, stress over cutting tools will be model correctly and the tool wear can be observed which caused by cutting forces.

### ÖZET

Bu çalışmada, metal kesme simülasyonları için en uygun viskoplastik malzeme modelinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Farklı malzeme modelleri ile gerçekleştirilen sonlu eleman analizleri neticesinde kesme sırasında oluşan tepki kuvvetleri belirlenmiştir. Belirlenen kuvvetler deneysel çalışmalar ile karşılaştırılarak malzeme modelinin yüksek gerinim hızlarındaki doğruluğu tespit edilecektir. Bu sayede metal kesme simülasyonları ile kesici takım üzerindeki stresin doğru modellenmesi ve kesme kuvvetine bağlı olarak gelişen olan takım aşınmalarının gözlemlenebilmesi hedeflenmektedir.

### GİRİŞ

Kompleks geometrilerin ve düşük tolerans değerlerinin elde edilebilir olmasından dolayı metal kesme işleminin, talaşlı imalat yöntemleri arasındaki önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bu artışa paralel olarak endüstride, kesici takım performans beklentileri hızla yükselmektedir. Bu beklenti yükselişini karşılamak amacıyla, kesici takım üreticileri değişik geometri ve malzemeler üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırarak takım ömürlerinde artış elde etmeye, takım aşınmalarını belirlenebilir hale getirmeye çalışmaktadırlar. Bütün bu çalışmalara rağmen kesici takım aşınmalarının tespit edilmesi ancak birçok deney yapılması ile mümkün olmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilerek simülasyonlar neticesinde bu aşınmaların tespiti için yapılan deney sayısı kayda değer şekilde azalmaktadır. Literatürde, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak metal kesme işleminin simüle edildiği birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar incelendiğinde analizlerde kullanılan üç farklı yaklaşım olduğu belirlenmiştir.

Bunlardan ilki Euler Metodu'dur. Bu metodun kullanıldığı analizlerde malzeme, sabit hücreler içerisinde hareket eder ve deformasyon yalnızca malzeme üzerinde görülür.[1][2]. Bir diğer metod olan SPH metodunda ise ağırsız çözüm mantığı uygulanmaktadır. Bu metodun kullandığı analizlerde, sph parçacıkları ,etkileşimli kütle noktaları gibi davranır.[2]Literatürde

en çok kullanılan ve hesap sürelerini oldukça düşüren bir metot olan Lagrangian metodun kullanıldığı analizlerde ise malzeme, hücreler ile birlikte hareket eder [3][2]. Ayrıca bu metotta malzemedeki deformasyona bağlı olarak hücreler de deforme olur.

Metal kesme sırasında oluşan gerinimler çok yüksek olacağından, bu çalışmada Euler metodun kullanılmamıştır. SPH metodunun kullanılması ise hesap zamanını çok fazla artacağından bu çalışmadaki bütün analizler Lagrangian metodu kullanılarak Autodyn Programı ile gerçekleştirilmiştir.

Autodyn Programında zaman artışı en küçük hücrenin diyagonal uzunluğunun, malzemenin dalga yayılım hızına bölünmesi ile hesaplanır. Bu nedenle Lagrangian metoduna ağ yapısının deformasyona uğraması zaman adımlarının sürekli azalan bir eğilimde olmasına yol açar. Bunu önlemek amacıyla ağ yapısındaki düğümlerin belirli kurallara göre silinmesi gerekir. Bu işlem program tarafından, kullanıcının belirlediği sınır şartlarına göre otomatik olarak gerçekleştirilerek sonsuz küçüklükte zaman artışı hesaplanmasının önüne geçmiştir [4]. Bu çalışmada içerisinde gerçekleştirilen bütün simülasyonlarda düğümler geometrik gerinim 1,5'e ulaştığında silinecek şekilde ayarlanmıştır.

Kesme işlemi sırasında ortaya çıkan kuvvetler iş parçasının malzemesi ile doğrudan ilişkili olduğundan, metal kesme simülasyonlarındaki en önemli girdi malzeme verisidir. Ancak metal kesme sırasında oluşan gerinim hızları çok yüksek olduğundan malzemenin bu hızlardaki davranışının bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle metal kesme analizlerinde kullanılan malzeme modellerinin viskoplastite teorisine göre oluşturulması gerekmektedir.

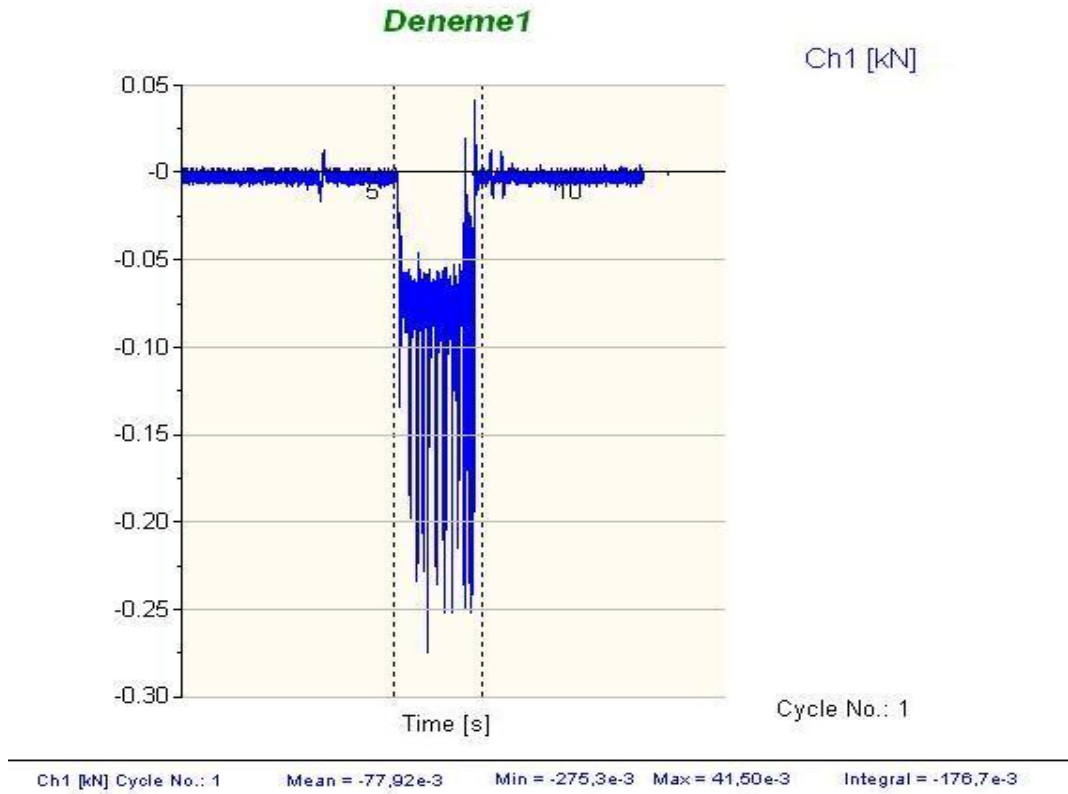
### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Kesme sırasında oluşan kuvvetlerin belirlenmesi için birden fazla talaş kaldırma operasyonu gerçekleştirilmiştir. 26mm çap ölçüsüne sahip oksijensiz bakır iş parçasının Muratech MW 120 CNC Torna tezgâhında talaş kaldırma işlemine tabi tutulduğu operasyonlarda işlem parametreleri, kesme hızı 300 rpm, ilerleme (f) 0,1 mm/rev , kesme derinliği ise 1mm olarak gerçekleştirilmiştir. (Resim 1)



Resim 1. Kesme Kuvveti Ölçme Düzeneği

Talaş kaldırma işlemi PDNJR katerine üzerine bağlı olan Kyocera firmasının üretmiş olduğu TiN kaplamalı DNMG 150408 Tungsten Karbür kesici uç ile yapılmıştır. Uç üzerinde bulunan talaş kırıcı geometrisi sayesinde kesme sırasında ortaya çıkan talaş kırılarak kesme bölgesinden uzaklaştırılmıştır. Bu çalışmada pasif ve ilerleme kaynaklı oluşan kuvvetler ihmal edilmiştir. Kesme sırasında oluşan öngörülemez kuvvet değişimleri için kesme operasyonu birçok kez tekrarlanmış ve kuvvet ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kuvvet ölçümlerinin “ Kistler 2825A” dinamometre cihazıyla gerçekleştirildiği denemeler sırasında elde edilen kesme kuvveti Grafik 1’deki gibidir. Ölçümler sonucu elde edilen kesme kuvveti ortalama 78 N olarak belirlenmiştir.



Grafik 1. Dinamometre ile Ölçülen Kesme Kuvveti

(1)

## MALZEME MODELLERİ

### Visko-Plastite Teorisi

Plastik deformasyon malzemenin geri dönüşü olmayan değişimi olarak isimlendirilir. Bu tarz deformasyonlar malzemenin elastik limitinin veya başka bir değişle akma stressinin üzerinde bir strese maruz kalmasıyla ortaya çıkar. Ancak malzemelerin farklı gerinim hızlarındaki davranış değişimi viskoplastite teorisin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Visko-Plastite teorisi temel olarak malzemenin akma stressinin gerinim hızı, sıcaklık, basınç vb. değişkenlere bağlı olarak değişmesi olarak tanımlanabilir. Visko-Plastite teorisi temel alınarak birçok malzeme modeli geliştirilmiştir. Bu çalışmada bahsedilen modeller, Johnson-Cook[6] ve Steinberg[7] Visko-plastik malzeme modelleridir.

### Johnson-Cook Malzeme Modeli

Labrotuvar şartlarında 12 farklı malzemenin labrotuvar şartlarında denenmesiyle doğrulanmış bu model akış stressini gerinim sertleşmesi, gerinim oranı sertleşmesi ve termal yumuşamaya bağlı olarak tanımlamaktadır. A,B,n,C,m değişkenlerinin malzeme sabiti olarak,T değişkeninin sıcaklık değeri olarak tanımlandığı formülde,  $\dot{\epsilon}^*$  değeri  $1,0 \text{ s}^{-1}$  gerinim hızının göre plastik gerinim hızına oranlanması ile ortaya çıkmaktadır.Bu modele göre belirlenen akma stresi aşağıdaki gibidir.

$$\sigma = [A+B \epsilon^n][1+C \ln \dot{\epsilon}^*] [1-T^{*m}]$$

### Steinberg-Guinan Malzeme Modeli

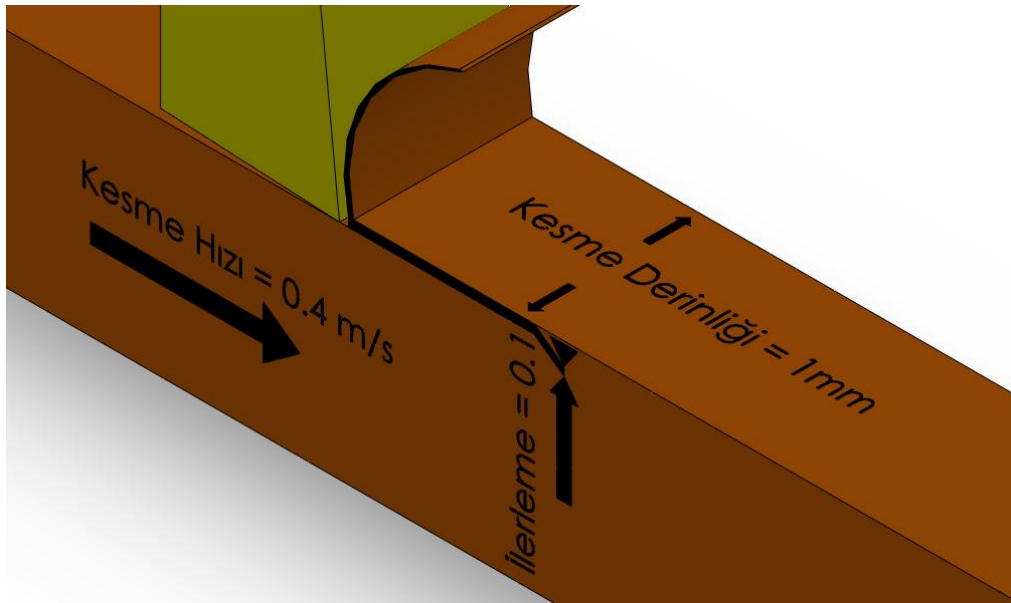
Bu modele göre malzemenin akma noktası ve kesme modülü(G) basınç sıcaklık ve plastik gerinime bağlı olarak modellenmiştir.Elde edilen formülasyon 14 farklı malzemenin kullanılmasıyla edilen deneysel verilerin bilgisayar ortamında yapılan testler ile karşılaştırılması ile doğrulanmıştır.  $\beta$  değişkenin sertleşme sabiti,n değişkeninin sertleşme katsayısı ( $\epsilon+\epsilon_i$ ) toplamının etkili plastik gerinim olarak tanımlandığı formülde T değişkeni, sıcaklığı P değişkeni basıncı  $G_p$  kesme modülünün basınca bağlı türevini  $Y_p$  değişkeni akma stresinin basınca göre türevini göstermektedir. Bu modele göre belirlenen kesme modülü ve akma stresi aşağıdaki gibidir.

$$G = G_0 \left[ 1 + \left( \frac{G_p}{G_0} \right) \frac{P}{\eta^{\frac{1}{3}}} + \frac{G_T}{G_0} (T-300) \right]$$

$$Y = Y_0 [1 + \beta(\epsilon + \epsilon_i)]^n \left[ 1 + \left( \frac{Y_p}{Y_0} \right) \frac{P}{\eta^{\frac{1}{3}}} + \frac{G_T}{G_0} (T-300) \right]$$

### NUMERİK ANALİZLER

Deneysel çalışmalardan elde edilen kesme kuvvetlerini karşılaştırılmak amacıyla bir dizi nümerik analiz çalışması yapılmıştır.Orthogonal kesmenin modellendiği analizlerde kesme parametreleri Resim 2’de gösterildiği gibidir.



Resim 2. Orthotropik Kesme Değerleri

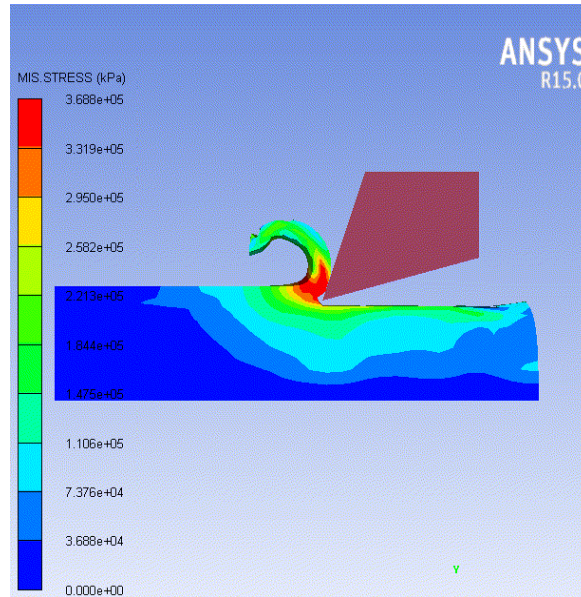
Ansys-Autodyn programı kullanılarak gerçekleştirilen kesme simülasyonlarında iş parçası ve kesici takım arasındaki sürtünme kat sayısı 0,4 olarak belirlenmiştir. Modelin 2 boyutlu olarak oluşturulduğu analizlerde kesici takım ile iş parçası arasındaki etkileşim sabit boşluk metodu kullanılarak sağlanmıştır. Çözüm sırasında düğüm noktaları geometrik gerinim 1,5'e ulaştığında erozyona uğrayacak şekilde ayarlanmıştır. Analizlerde kullanılan kesici takım malzemesinin yüksek mekanik dayanıma sahip olması istendiğinden Johnson-Cook formülasyonuna göre modellenmiş Tungsten alaşımındaki bazı parametreler (Tablo 1) değiştirilmiştir.

Tablo 1. Kesici Takım Johnson-Cook Parametreleri

Parametre	Değer
Kesme Modülü(kPa)	1,60E+08
Başlangıçtaki Akma Noktası (A) (kPa)	1,506E+11
Sertleşme Sabiti (B) (kPa)	1,77E+08
Sertleşme Katsayısı (n)	0,9
Gerinim Hızı Sabiti (C)	0,016
Termal Yumuşama Katsayısı (m)	1

## ANALİZ – 1

Johnson-Cook malzeme modeline göre mekanik özellikleri belirlenmiş bakırın(Tablo 2) kesme analizinin gerçekleştirildiği bu analizde kesici takım üzerine tanımlanan ölçüm noktaları üzerine düşen kesme kuvveti incelenmiştir.(Resim 3)



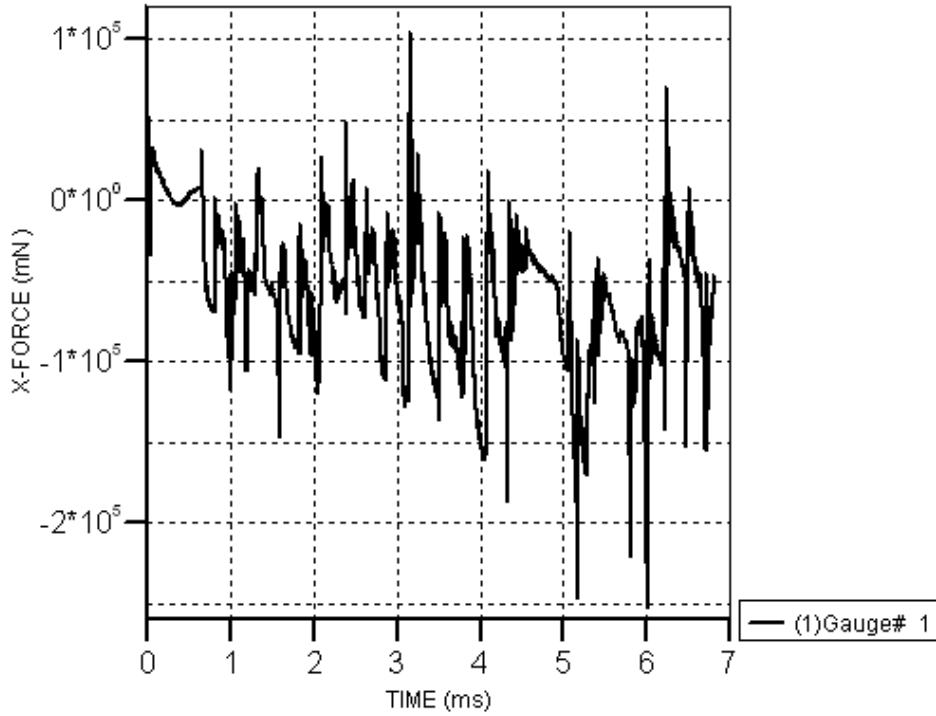
Resim 3. Orthotropik Kesme Analizi

Tablo 2. Bakır İş Parçasına ait Johnson-Cook Parametreleri

Parametre	Değer
Kesme Modülü(kPa)	4,60E+07
Başlangıçtaki Akma Noktası (A) (kPa)	9E+4
Sertleşme Sabiti (B) (kPa)	2,92E+05
Sertleşme Katsayısı (n)	0,31
Gerinim Hızı Sabiti (C)	0,025
Termal Yumuşama Katsayısı (m)	1

Johnson-Cook malzeme verileri kullanılarak gerçekleştirilen ilk analiz sonucunda kesici takım üzerinde bulunan ölçme noktasına etki eden kesme kuvveti Grafik 2’de gösterildiği gibidir. Buna göre kesme işlemi esnasında ortaya çıkan kuvvet genel olarak 0 - 100 N arasında değişkenlik göstermektedir. Kuvvetin artan bir trend izlemesi, kesme sırasında oluşan talaşın kesme süresi boyunca artarak uç üzerine etki etmesinin neden olduğu düşünülmektedir.

### Gauge History ( Ident 0 - 2d-jc )



Grafik 2.J-C Malzeme Modelinin Kullanıldığı Analizde Belirlenen Kesme Kuvveti

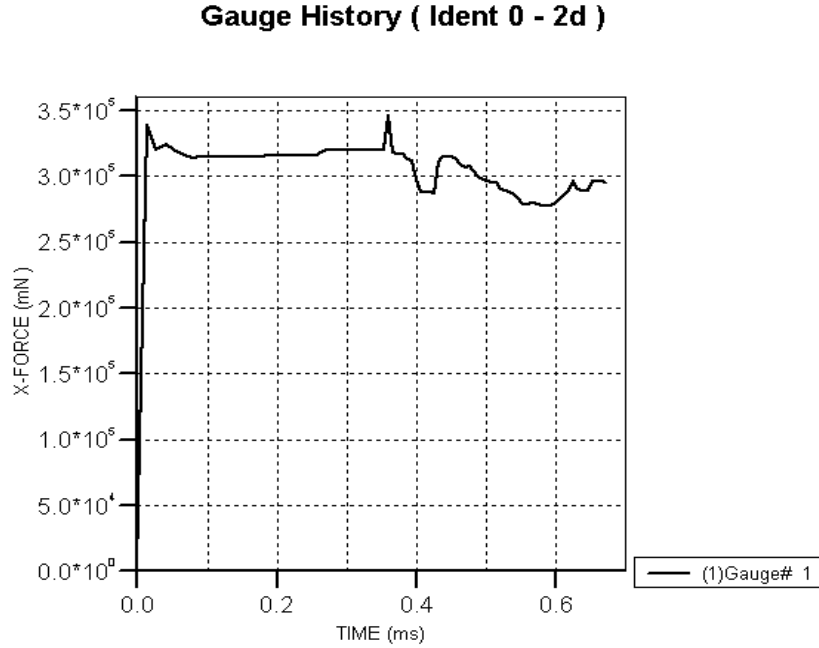
**ANALİZ – 2**

Steinberg-Guinan malzeme modeline göre mekanik özellikleri belirlenmiş bakırın(Tablo 3) kesme analizinin gerçekleştirildiği bu analizde kesici takım üzerine tanımlanan ölçüm noktaları üzerine düşen kesme kuvveti incelenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti Grafik 4’de gösterildiği şekildedir.

Tablo 3. Bakır İş Parçasına ait Steinberg-Guinan Parametreleri

Parametre	Değer
Kesme Modülü(kPa) ( $G_0$ )	4,77E+07
Başlangıçtaki Akma Noktası ( $Y_0$ ) (kPa)	1,20E+05
Maksimum Akma Noktası (kPa)	6,40E+05
Sertleşme Sabiti ( $\beta$ )	36
Sertleşme Katsayısı (n)	0.45
$dG/dP$ ( $G'_p$ )	1,35
$dG/dT$ (kPa/K)	-1,80E+04
$dY/dP$ ( $Y'_p$ )	0,003396

Grafik 3.S-G Malzeme Modelinin Kullanıldığı Analizde Belirlenen Kesme Kuvveti



## SONUÇLAR

Gerçekleştirilen denemeler sonucu ölç1len kesme kuvveti göz önüne alındığında, Johnson-Cook malzeme modeli ile gerçekleştirilen analizi ile elde edilen kuvvetlerin daha doğru olduğu sonucuna varılmıştır.Steinberg-Guinan malzeme modeli ile yapılan analiz sonucunda elde edilen kuvvetlerin deneysel çalışmadakiler ile büyük farklılık göstermiştir.Aradaki bu farklılığın Steinberg-Guinan malzeme modelini oluşturuken yapılan denemelerin  $10^5 \text{ s}^{-1}$  gerinim hızında yapılmasının neden olduğu düşün1lmektedir.Bu çalışmada gerçekleştirilen analizlerde ise ortaya çıkan en yüksek gerinim hızı  $7 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$  olarak tespit edilmiştir.Bu nedenle bu iki malzeme modelinin daha yüksek gerinim hızlarında karşılaştırılması daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesine yardımcı olacaktır. $10^5 \text{ s}^{-1}$  gerinim hızından düşük analizlerde ise Johnson-Cook malzeme modelinin kullanılması daha doğru gözükmemektedir.



### KAYNAKLAR

- [1] Hancock,S.,PISCES 3DELK Theoretical Manual,Physics International,1985.
- [2] QUAN, X., et al. Numerical simulation of structural deformation under shock and impact loads using a coupled multi-solver approach. In: Proceedings of 5th Asia-Pacific Conference on Shock and Impact Loads on Structures. 2003. p. 12-14.
- [3] Wilkins, M L. "Calculation of elastic-plastic flow."Lawrence Livermore Laboratory Report UCRL-7322, revision 1, 1973
- [4] Ansys Users Manual,2009
- [5] Perzyna, P., "Fundamental problems in viscoplasticity", Advances in applied mechanics 9 (2): 244–368., 1966
- [6] Johnson, G.R.; Cook, W.H., "A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high",Proceedings of the 7th International Symposium on Ballistics, 1983
- [7] Steinberg, D.J.; Lund, C.M., "A constitutive model for strain rates from 10<sup>-4</sup> to 10<sup>6</sup> s<sup>-1</sup>", Journal de Physique. Colloques , 1988
- [8] Zerilli, F.J.; Armstrong, R.W. (1987), "Dislocation-mechanics-based constitutive relations for material dynamics calculations", Journal of Applied Physics