



Investigation of the effect of high punch speeds on the sheared surface temperature and quality of AISI 304 stainless steel workpiece by finite element method

Kaan Emre Engin^{1*}, Ömer Eyercioğlu²

¹Department of Automotive Engineering, Adiyaman University, Adiyaman, 02040, Turkey

²Department of Mechanical Engineering, Gaziantep University, Gaziantep, 27310, Turkey

Highlights:

- Execution of blanking proces under three different punch speeds
- Effect of punch speed on workpiece surface quality
- Effect of punch speed on the energy efficiency of the process

Keywords:

- High Speed Blanking
- Punch Speed
- Cutting Load
- Cutting Energy
- Sheared Surface Quality

Article Info:

Research Article
Received: 16.03.2018
Accepted: 13.08.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.460541

Correspondence:

Author: Kaan Emre Engin
e-mail:
kengin@adiyaman.edu.tr
phone: +90 541 396 8069

Graphical/Tabular Abstract

Table A. The change in Cutting Force, Cutting Energy and Surface Roughness under three different punch speeds

Punch Speed (m/s)	Cutting Force (N)	Cutting Energy (J)	Surface Roughness (μm)	
			Shear Zone	Crack Zone
0.1	22948	18.7	1.30	1.73
1	31712	27.2	1.13	1.46
10	37141	35	0.89	1.13

Purpose: The main goal of the blanking process is to shear the sheet metal with minimum energy consumption and to obtain a good surface quality on the sheared workpiece. The punch speed is one of the important process parameters which have effect on both surface quality and energy consumption. In the literature, investigations and experimental works contain a gap that includes the range of speed which the mentioned works were executed either at speeds which is below high speed (lower than 5m/s) or excessively high speeds (at ballistic level). Also, studies that investigate stainless steel sheets are scarce. The purpose of this study is to thermo-mechanically investigate the punch speed, cutting force, cutting energy and workpiece surface quality of a 2 mm thick AISI 304 stainless steel sheet that was blanked under a constant clearance value and three different punch speeds by using experimental and finite element methods.

Theory and Methods:

A 2 mm thick AISI 304 stainless steel sheet was used as the workpiece material. The die diameter was taken as 10 mm. The clearance were kept constant (5% of sheet thickness) and three different punch speeds (0.1 m/s, 1 m/s and 10 m/s) were used to execute the blanking process. A hydraulic press with 30 Tons capacity, a mechanical press with 100 Tons capacity and a powder actuated HERF hammer were used to obtain required speed values. On the other hand thermo-mechanical finite element analysis of the mentioned process were done by using Deform 2D. The maximum element number (10000) which is the highest value that can be defined was used and all mesh elements were compressed at the cutting zone to reach more realistic results. Surface roughnesses of the blanks were calculated by using a profilometer.

Results:

The strain hardening capability of AISI 304 is well known and results showed that the cutting force and cutting energy elevated with increasing punch speeds. But when the punch speed became 10 m/s, the cutting force and energy reached to lower values than expected. It was observed that the temperature values were elevated with increasing speed. There was 241% increase in temperature values between 1 m/s and 10 m/s punch speeds. Also, it was found out that the effective stresses got localized with increasing speed. The surface roughness values showed that the best quality was obtained at higher speeds.

Conclusion:

Cutting force and cutting energy increased due to AISI 304's tendency to strain harden but not to expected levels because of the thermal effects in the zone. Increase in the punch speed caused the effective strain rate to rise that resulted in a sudden heat emanation at the shear zone. This heat couldn't dissipate into the material and created an adiabatic shear zone with elevated temperature. Increase in temperature softened the material thermally by lowering the materials flow stress. There occurred a 53% loss in the expected cutting force. On the other hand, the localization of the effective stresses caused the material crack early, changing the distribution of zones especially causing a drastic fall in the shear zone at 10 m/s punch speed. But the overall surface roughness improved at the shear and crack zone (15% and 46% for 1 m/s and 18% and 53% for 10 m/s compared to 0.1 m/s punch speed) with increasing punch speed. This means that blanking under high speeds renders the need for surface distributions invalid.



Kesme kalıplarında yüksek zımba hızının AISI 304 sac malzemenin kesme yüzeyi sıcaklığına ve kalitesine olan etkisinin sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi

Kaan Emre Engin^{1*}, Ömer Eyercioğlu²

¹Adıyaman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 02040, Adıyaman, Türkiye

²Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 27310, Gaziantep, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Üç farklı zımba hızı altında kesme işleminin gerçekleştirilmesi
- Zımba hızının parça yüzey kalitesine olan etkisi
- Zımba hızının prosesin enerji verimliliğine etkisi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 16.03.2018

Kabul: 13.08.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.460541

Anahtar Kelimeler:

Yüksek hızlı kesme,
zımba hızı,
kesme kuvveti,
kesme enerjisi,
kesme yüzey kalitesi

ÖZET

Kesme prosesinin ana hedefi; sac levhanın minimum enerji harcanarak kesilmesi ve kesilen parçanın iyi bir yüzey kalitesine sahip olmasıdır. Zımba hızı hem yüzey kalitesine, hem de harcanan enerjiye etkisi olan önemli proses parametrelerinden biridir. Bu çalışmada 2 mm kalınlığında AISI 304 paslanmaz çelik levha, sabit bir kesme boşluğu değeri (sac levha kalınlığının %5'i) ve üç farklı zımba hızı (0,1 m/s, 1 m/s ve 10 m/s) altında kesilmiştir. Aynı zamanda sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesi de gerçekleştirilmiştir. Zımba hızının, kesme kuvveti, kesme enerjisi ve sac parça yüzey kalitesi üzerine olan etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak; AISI 304 paslanmaz çeliğin deformasyona karşı göstermiş olduğu direncin, artan zımba hızıyla beraber pekleşmeyi arttırdığı gözlemlenmiştir. Ancak kesilmiş sac parçanın yüzey kalitesinin artması, yüksek deformasyon hızları sonucu oluşan termal etkilerin yüzey kalitesi üzerinde iyileştirici etkilerinin olduğunu ortaya koymuştur.

Investigation of the effect of high punch speeds on the sheared surface temperature and quality of AISI 304 stainless steel workpiece by finite element method

H I G H L I G H T S

- Execution of blanking proces under three different punch speeds
- Effect of punch speed on workpiece surface quality
- Effect of punch speed on the energy efficiency of the process

Article Info

Research Article

Received: 16.03.2018

Accepted: 13.08.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.460541

Keywords:

High speed blanking,
punch speed,
cutting load,
cutting energy,

ABSTRACT

The main goal of the blanking process is to shear the sheet metal with minimum energy consumption and to obtain a good surface quality on the sheared workpiece. The punch speed is one of the important process parameters which have effect on both surface quality and energy consumption. In this study, a 2 mm thick AISI 304 stainless steel sheet was blanked under a constant clearance value (5% of sheet thickness) and three different blanking speeds (0.1 m/s, 1 m/s and 10 m/s). At the same time, modeling with finite element method were also performed. The effects of punch speed, cutting force, cutting energy and workpiece surface quality were investigated. As a result; it was observed that as a result of the resistance of AISI 304 stainless steel to deformation caused the material to strain harden more with increasing punch speed. But the general surface quality of the sheared material was improved which put forward that the thermal effects due to high strain rates had improving effects on the surface quality.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: kengin@adiyaman.edu.tr, eyercioğlu@gantep.edu.tr / Tel: +90 416 223 3800 / 2741
1428

sheared surface quality

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kesme prosesi, sac metal endüstrisinde kullanılan önemli proseslerden biridir ve sac levha kullanarak üretim yapan işletmelerde yaygın bir kullanımı bulunmaktadır. Proses temel olarak; belirli bir şekle (çoğunlukla dairesel) sahip zımba ve kalıp arasına yerleştirilen sac levhanın, bu iki takım arasında kesilmesi sonucu istenilen şekillerde parça elde edilmesi olarak tanımlanabilir [1]. Prosesin önemli avantajlarından bir tanesi nete yakın parçaların üretilebilmesidir. Ancak sac parçanın kesilmiş kenar yüzey kalitesine etki eden proses parametreleri düzgün olarak ayarlanamazsa, oluşabilecek ikincil çatlaklar ve çapaklardan dolayı yüzey kalitesinin bozulması durumu da ortaya çıkabilmektedir. Bu durum ekstra yüzey temizlik işlemlerine sebep olarak, üretim zamanını, işçiliği ve bunlara bağlı olarak toplam maliyeti arttırmaktadır. Kesme prosesinde ana amaç; sac parçanın kesilmiş kenar yüzeyinin ekstra bir temizleme işlemine gerek kalmayacak düzeyde üretilebilmesidir.

Amaçlanan yüzey kalitesini elde etmek hususunda prosesin kendine özgü belirli parametreleri mevcuttur. Zımba ve kalıp arası boşluk değerini ifade eden kesme boşluğu, zımba hızı, sac parçanın malzeme özellikleri, takım malzemesi, aşınma oranları vb. parametrelerin sac parçanın yüzey kalitesi üzerinde etkileri bulunmaktadır. Prosesin kalite göstergesi olarak ise sac parçanın kesilmiş kenar profilinde oluşan üç bölgeden bahsedilebilir. Bu bölgeler yuvarlanma bölgesi, kesme düzlüğü (parlak bölge) ve kopma bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Kesilmiş bir sac parçanın kalite ölçütü; kenar profili üzerinde kopma ve yuvarlanma bölgelerinin az, kesme düzlüğünün ise fazla olduğu durumdur [2]. Kesme düzlüğünün fazla olmasının istenmesi, kırılma başlamadan önce şekil değiştirmeye uğrayan malzemenin kalıp ve zımba arasında kayarak, o bölgede daha pürüzsüz (parlak) ve düz bir yüzeye sahip olmasından dolayıdır. Esasında buradaki ana amaç; bölge gözetmeksizin kesilme yüzeyinin tamamının pürüzsüz bir yüzeye sahip olabilmesini sağlayabilmektir. Çünkü düzgün bir kesilme gerçekleşmezse, özellikle kopma bölgesinin yüzey pürüzlülüğü bozulmakta ve bölgenin bitiminde meydana gelen çapaklanmalar da önemli bir sorun teşkil etmektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi, ekstra yüzey temizleme işlemlerine de ağırlıklı olarak düzgün bir kesmenin gerçekleşmemesi sonucunda oluşan pürüzlü yüzeyler ve çapakların varlığı sebep olmaktadır.

Kesme prosesi parametreleri arasında kesme boşluğunun ve zımba hızının diğer parametrelere göre daha baskın etkileri olduğu söylenebilir. Kesme boşluğunun değişmesi, sac parça kenar profili üzerinde oluşan bölgelerin dağılımlarına da etki etmektedir. Kesme prosesinde, kesme boşluğunun ayarlanması önemli bir yer teşkil ettiğinden dolayı eğer yüzey kalitesinin düzgün olması isteniyorsa kesme boşluğunun, sac parça kalınlığının %5'i; kesme kuvvetinin

az olması isteniyorsa ise %10'u olarak alınmasının doğru bir yaklaşım olacağı bildirilmiştir [3, 4]. Kesme prosesi pres tipine göre değişik hızlar altında yapılabilir ancak temel olarak “düşük hızlı kesme” ve “yüksek hızlı kesme” olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Zımba hızının 5m/s'nin üzerine çıkabildiği koşullarda proses, yüksek hızlı kesme prosesi olarak kabul edilmektedir [5]. Yüksek hızlı kesme, sac parça üzerinde iki tür etki göstermektedir. İlk etki: şekil değiştirme hızı artan malzemenin deformasyon sertleşmesine yani pekleşmeye uğramasıdır. Özellikle pekleşmeye yatkın olan metalik malzemelerde sertlik giderek artmakta ve kesme yükünü de arttırmaktadır. İkinci etki ise: kesme bölgesinde malzemenin artan şekil değiştirme hızından dolayı oluşan adyabatik kesme bölgesidir. Malzemenin ısı iletim özelliklerine de bağlı olan bu durumda, şekil değiştirme hızındaki artışın sonucu olarak kesme bölgesinde ani bir ısı artışı meydana gelmekte ve malzeme içerisine dağılacak zaman bulamayarak adyabatik olarak nitelendirilebilecek dar bir alan oluşturmaktadır. Bu dar alana hapsolan ısı, ani bir sıcaklık artışına sebebiyet vermektedir. Sıcaklığın yükselmesine bağlı olarak malzeme bu bölge içerisinde yumuşamaya maruz kalmakta, plastik deformasyonun ve kesmenin giderek lokal bir hale gelmesi sonucu da daha erken kırılma gerçekleşmektedir. Ancak sıcaklığın artması sonucunda iç gerilmeleri belirli ölçüde azalan ve yumuşayan malzemenin yüzey kalitesinde belirgin bir iyileşmenin de olduğu da bilinmektedir. Yüksek hızlı kesmenin gerek yük gereksinimi, gerekse yüzey kalitesine olan etkileri bu iki mekanizmadan hangisinin daha ağır bastığı ile alakalıdır.

Yüksek hızlı kesmenin proses parametrelerine ve parça yüzey kalitesine etkileri ile alakalı yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar deneysel veya bilgisayarla modelleme yöntemini, ya da aynı çalışma içerisinde her iki yönetimi de kullanmaktadır. Grünbaum vd. [6] farklı kalınlıklarda düşük karbonlu çelik, yüksek mukavemetli çelik, alüminyum ve bakırdan oluşan levhaların yüksek hızlı kesme sonrasında, kesme bölgesinde oluşan sıcaklık artışına bağlı olarak kesme yüzeyi kalitesinin nasıl değiştiğini incelemişlerdir. Sonuç olarak; çelik levhaların daha iyi bir yüzey kalitesine sahip olduklarını, bunun sebebi olarak da bakır ve alüminyumun ısı iletim katsayıları yüksek olduğundan, ısının çeliğe nazaran daha hızlı bir şekilde malzeme içerisinde dağılması sonucu çelikteki gibi bir kalite artışının elde edilemediğini bildirmişlerdir. Gaudilliere vd. [7, 8], 7 m/s ve 20 m/s zımba hızı aralığında çalışabilen yatay eksenli bir kesme makinesinin imalini gerçekleştirmişlerdir. Sonrasında 2 mm, 3 mm ve 4 mm kalınlığa sahip C40 (AISI 1040) karbon çeliğinde yaklaşık 14 m/s zımba hızında ve yaklaşık %1,6 kesme boşluğu değerinde kesme işlemi yapmışlardır. Kurmuş oldukları sistemle, sac parça üzerindeki adyabatik kesme bölgesini mikroskobik olarak inceleyip, yüksek hızlardaki kesme kuvvetini ölçmeye çalışmışlar ve yüksek hızlarda adyabatik kesme bölgesi oluşumuna bağlı olarak malzemenin akma kuvvetinin düştüğünü, bu yüzden de

gerekli kesme kuvvetinin azaldığını bildirmişlerdir. Subromanian vd. [9] kesme işlemini hem deneysel, hem de modelleme yöntemiyle inceleyerek zımba, sıyrıcı ve sac levha arasındaki ilişkiyi ortaya koymaya çalışmış, zımba hızının aynı zamanda kesme kuvvetine de nasıl etki ettiğini araştırmışlardır. Denemeler %6,5 kesme boşluğu değerinde, 0,2 mm kalınlığındaki fosfor bronz alaşım (C51100) levha kullanılarak, 0,2 m/s ve 1,6 m/s arasında değişen zımba hızlarında gerçekleştirilmiştir. Buna benzer diğer bir çalışma Lubis ve Mahardika [10] tarafından ele alınmış ve denemeler saf bakır sac parça kullanılarak, %2,5, %5, %7,5 ve %10 kesme boşluğu değerlerinde, 0,1 m/s ve 1,6 m/s zımba hızı aralığında çalışabilen mekanik bir pres vasıtasıyla gerçekleştirilmiş, kesme boşluğu ve hızın sac parça yüzey kalitesine olan etkileri gösterilmiştir. En iyi sonucu %2,5 kesme boşluğu değerinde ve 1,6 m/s zımba hızında alındığı bildirilmiştir. Kalite göstergeleri ise parça kenarında oluşan kesme düzlüğünün (parlak bölge) uzunluğu, ve köşelerdeki çapak oluşumudur. Song ve Choi [11], ABAQUS/explicit programını kullanarak düşük karbonlu çelik levha üzerinde şekil değiştirme hızı artışının kesme boşluğu, takım aşınması gibi parametreler çerçevesinde kesme kuvvetine nasıl etki ettiğini modellemeye çalışmışlardır. 0,03 m/s ve 0,06 m/s zımba hızlarında yapılan çalışmaların sonucunda zımba hızının belirli düzeyde artmasının, kesme kuvvetini düşürdüğünü belirtmişlerdir. Ancak üç araştırmada da göze çarpan nokta; çalışmalarda her ne kadar yüksek hızlı olarak nitelendirilse de, zımba hızının “yüksek hızlı kesme” sayılabilmesi için gerekli alt değer olan 5 m/s'nin çok daha altında olmasıdır. Ayrıca özellikle iki çalışmada kullanılan bakır ve bronz malzemeden dolayı da ısının dağılması çok hızlı olacak ve ısıl yumuşama arzu edilen düzeyde gerçekleşmeyecektir. Ancak bu koşullar altında bile hız artışının kesilmiş sac parçanın kenar profili yüzey kalitesine ve özellikle çapak oluşumu üzerine pozitif etkileri olduğu söylenebilir. Kanca vd. [12], düşük (0,2 m/s) ve yüksek hız (10 m/s) kullanarak yapmış oldukları çalışmada, St 37 çelik levha kullanmış, %4,5 ve %6 kesme boşluğu değerlerinde kesme işlemini gerçekleştirerek sac parçanın yüzey kalitesini ve korozyon özelliklerini incelemişlerdir. Yüksek hızlı kesme sonucunda yüzey pürüzlülüğünün (R_a) %25 oranında daha düzgün olduğunu ve korozyon direncinde iyileşmeler olduğunu ortaya koymuşlardır. Kanca vd. [13] tarafından yapılan diğer bir çalışma da AISI 304 paslanmaz çelik levha, 0,5 m/s ve 12 m/s hızlarında hidrolik pres, YEŞ (yüksek enerjili şekillendirme) çekici ve ayrıca lazer kullanılarak kesilmiş ve YEŞ çekici ile yapılan yüksek hızlı kesmeler sonucunda yüzey pürüzlülüğünün diğer yöntemlere nazaran %50 oranında iyileştiği aynı zamanda da korozyon direncinde de yine iyileşmeler olduğu gözlemlenmiştir. Hu vd. [14] yüksek hızlı kesme de kesme bölgesinde meydana gelen ısı dağılımını geliştirdikleri termo-mekanik sonlu elemanlar yöntemiyle modellemiş, sonrasında ise deneyler sonucu elde ettikleri veriler ile karşılaştırmışlardır. Kullandıkları malzeme ince fosfor bronz levha olup, sonuç olarak malzemenin ısı iletiminin fazla olmasından dolayı kesme bölgesinde ısının etkilerinin görülemediğini ancak hızın, kesme yüzeyi üzerinde iyileştirici etkilerinin olduğunu bildirmişlerdir.

Yapılmış olan çalışmaların sonuçları incelendiğinde yüksek hızlı kesmenin, malzemenin şekil değiştirme hızını arttırarak, kesme bölgesinde ani bir ısı artışına sebep olduğu ve bu ısı artışının kesme bölgesi üzerinde belirli etkilerinin olduğu görülmektedir. Bazı çalışmalarda yüksek hızlı olarak tanımlanan ama esasında gerekli zımba hızını sağlamayan durumlarda bile yüzey kalitesinde belirli iyileşmelerin olduğu açıktır. Elbette zımba hızı yanında, özellikle sac levha malzemesinin cinsi ve de kesme boşluğunun etkileri de göz ardı edilmemesi gereken proses parametreleridir. Bu çalışmada AISI 304 paslanmaz çelik levha kullanılarak üç farklı hızda (0,1 m/s, 1 m/s and 10 m/s) kesmenin hem termo-mekanik sonlu eleman analizi, hem de istenen hızları sağlayan presler vasıtasıyla deneysel olarak gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Hızın, kesme bölgesi üzerine ve kesilmiş parça yüzey kalitesine olan etkileri incelenmiştir.

Literatür içerisinde paslanmaz çelik levha yerine farklı malzemelerle genellikle ya yüksek hızlı sayılmayacak ya da aşırı yüksek hızlı (balistik düzeyinde) çalışmalar ağırlıklı olarak deneysel metotlarla incelenmiş olup, bu çalışmanın konusu olan hız aralığının kullanıldığı ve termo-mekanik olarak incelenerek sonuçların karşılaştırıldığı çalışma sayısı yok denecek kadar azdır. Çalışmada deneysel ve modelleme verilerinin karşılaştırmalı olarak verilmesi de genellikle literatürde eksik olan konulardan biridir. Bu kapsamda çalışma özgün niteliklere sahip olup, literatürde eksik olan kısımları ele alması açısından da somut katkılar sağlamaktadır.

2. SONLU ELEMANLAR MODELİ (FINITE ELEMENT MODEL)

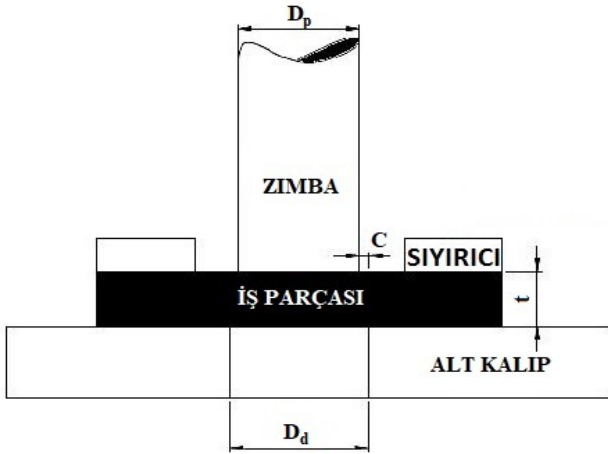
Bu çalışmada, prosesin termo-mekanik sonlu elemanlar analizinin yapılması için Deform-2D programı kullanılmıştır. Program, örtülü Lagrange hesaplama yöntemini kullanmakta [15] ve prosesi 2 boyutlu olarak modellemektedir. Program, prosesi aksenal simetrik olarak tanımladığından dolayı takımların dikey düzlemde sadece tek tarafının (yarısının) modellenmesi, çözümlemenin yapılması için yeterli olmaktadır. Simülasyonlar için tasarlanan kesme seti Şekil 1'de görülmektedir. Set, 4 parçadan oluşmaktadır. Bunlar zımba, sac levha, sac levhanın kesilme esnasında istenmeyen eğilmelere maruz kalmaması için kullanılan sıyrıcı ve alt kalıptır. Sac levha plastik, yani deformasyona uğrayan nesne, geri kalan zımba, alt kalıp ve sıyrıcı ise rijit yani deformasyona uğramayan nesnelere olarak tanımlanmıştır. Şekil 1'de görülen C; kesme boşluğunu, t; sac levha kalınlığını, D_p ve D_d sırasıyla zımba ve alt kalıp boşluğu çapını ifade etmektedir.

İş parçası ve diğer parçalar arasındaki sürtünme sabit kesme sürtünmesi olarak kabul edilmiştir. Sürtünme kuvveti bu koşullar altında Eş. 1'de şu şekilde ifade edilmektedir:

$$f_s = mk \quad (1)$$

Eş. 1’de f_s sürtünme gerilmesini, k kesme gerilmesini, m ise sürtünme faktörünü ifade etmektedir. Bu denklem, şekil değiştiren bir parçada sürtünmenin, akma gerilmesinin bir fonksiyonu olduğunu belirtmektedir. Kesme esnasında, dar bir alan olan kesme bölgesinde büyük miktarda plastik şekil değiştirme meydana gelmektedir. Bu şekil değiştirme esnasında malzemenin izotropik davranış gösterdiği ve akmanın Von Mises akma gerilmesi kriterine göre gerçekleştiği kabul edilmiştir. Gerilme kriteri Eş. 2’de verilmiştir:

$$\bar{\sigma} = K \bar{\varepsilon}^n \quad (2)$$



Şekil 1. Kesme takımı modeli (Blanking tool model)

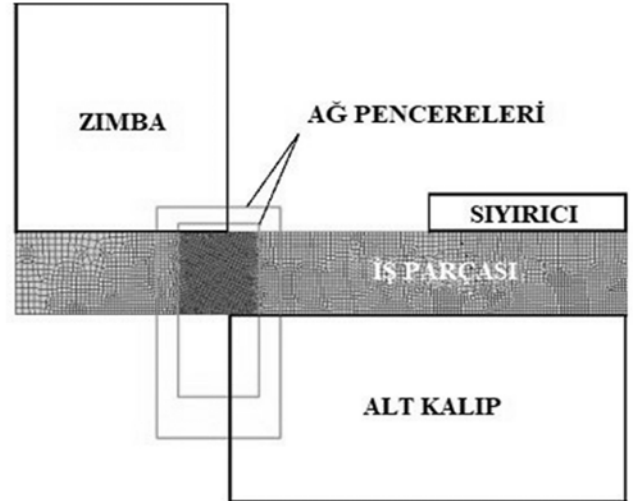
$\bar{\sigma}$ efektif gerilmeyi, $\bar{\varepsilon}$; efektif şekil değiştirmeyi, K; malzeme sabitini ve n ise pekleşme katsayısını ifade etmektedir [16]. Kırılma fonksiyonu olarak normalleştirilmiş Cockroft ve Latham kriteri kullanılmıştır. Kriteria göre kırılma; efektif şekil değiştirme, belirli bir kritik noktaya ulaştığı zaman gerçekleşmektedir. Eş. 3’de kırılma fonksiyonu görülmektedir;

$$\int_0^{\varepsilon^f} \left(\frac{\sigma^*}{\bar{\sigma}} \right) d\bar{\varepsilon} = C \quad (3)$$

Eş. 3’de σ^* ; maksimum asal çekme gerilmesini, ε^f ; kırılma şekil değiştirmesini ve C ise kritik değeri ifade etmektedir. Efektif gerilim ve şekil değiştirme $\bar{\sigma}$ ve $\bar{\varepsilon}$ olarak ifade edilmiştir. Kritik değeri ifade eden C, çekme testi ile bulunmaktadır ve çalışma koşullarından bağımsızdır.

Daha öncede belirtildiği gibi kesme prosesinde sac levhanın kesilmesi “kesme bölgesi” denilen dar bir alanda gerçekleşmektedir. Gerilme oranı’nın ($\sigma^* / \bar{\sigma}$) deformasyonun yoğun olduğu kesilme bölgesi boyunca sabit olduğu varsayılmıştır. Bu varsayım, Cockroft ve Latham kriterine uygulandığında, kesilme bölgesinde yaklaşık olarak kesilme şekil değiştirmesinin, kritik değere eşit olduğu yani $\varepsilon^f = C$ söylenebilir. Bu yaklaşım çatlağın, sac levha

üzerinde efektif şekil değiştirmenin, kırılma şekil değiştirmesine eşit olduğu ilk noktada başlayacağını belirtir [14]. Simülasyon esnasında kritik değer sağlanırsa program işlemi durdurarak o bölgede ağ elemanlarında (mesh) silme işlemi gerçekleştirilmektedir. Ancak ağ elemanlarının silinmesi yöntemi, eğer o bölgede eleman sayısı yeteri kadar fazla değilse sac levha yüzeyinin büyük bir bölümünün silinmesi ve sac levhanın hacimsel olarak küçülmesiyle sonuçlanmaktadır. Bu durum hesaplama hatalarına sebebiyet vermekte ve simülasyon işleminin tekrarlanmasını zorunlu kılmaktadır. Hacimsel küçülmeyi engellemek için kırılmanın muhtemel olarak gerçekleşebileceği kesme bölgesinde ağ elemanı yoğunluğunun fazla olması gerekmektedir. Bu sebeple simülasyonlar esnasında sac levha üzerine ağ elemanlarının dağılımı, Deform-2D programında seçilebilecek en büyük değer olan 10000 adet ikinci dereceden izoparametrik eleman kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ancak bu yüksek sayıdaki ağ elemanı, sac levhanın tamamına dağıldığından dolayı ağ elemanlarının özellikle kesme bölgesini hedefleyecek şekilde yoğunlaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla program içerisinde mevcut olan ağ pencereleri vasıtasıyla elemanlar, zimba ve alt kalıbın kenarları arasında kalarak deformasyona ve sonrasında kesilmeye uğrayacak olan bölgede yoğunlaştırılmaya çalışılmıştır. Ağ pencereleri, zimba ile beraber hareket ederek belirlenmiş ağ elemanı sayısının pencere ile sınırlanan bölge içerisinde aynı yoğunlukta kalmasını sağlamaktadır. Kesme takımının geometrik modeli ve ağ elemanlarının sac levha üzerindeki dağılımı Şekil 2 ‘de görülmektedir.

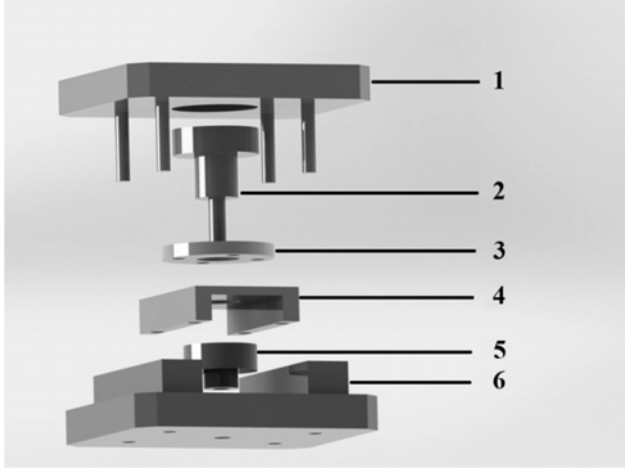


Şekil 2. Kesme takımının, kesme bölgesinde yoğunlaştırılmış ağ elemanlarına sahip geometrik modeli (Geometrical model of blanking setup with concentrated meshes around the shear zone)

3. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

Kesme prosesinin deneysel incelenmesi için öncelikle bir kalıp setinin dizaynı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Kalıp setinin bileşenleri Şekil 3’de görülmektedir. Kalıp seti 6 parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar üst kalıp bloğu (1),

zımba (2), zımba tutucu (3), sıyrıcı (4), alt kalıp (5) ve alt kalıp bloğudur (6). Üst kalıp bloğu, zımba tutucu, sıyrıcı ve alt kalıp bloğu ST 37 çeliğinden, zımba ve alt kalıp ise ısıtma işlemiyle sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinden imal edilmiştir. Kesme prosesinde kesilmenin gerçekleşmesi amacıyla zımba ve kalıp arasında belirli bir boşluğun yani kesme boşluğunun bulunması gerekmektedir. Kesme prosesinde dairesel parçalar için kesme boşluğu değeri Eş. 4'e göre hesaplanmaktadır;



Şekil 3. İmal edilen kesme setinin izometrik görünümü
(Isometric view of manufactured blanking setup)

$$C = 100 \frac{D_d - D_p}{2t} (\%) \quad (4)$$

Eş. 4'e göre D_d ; alt kalıbın çapını, D_p ; zımba çapını ve t ise sac levha kalınlığını göstermektedir. Çalışma için tasarlanan alt kalıbın çapı 10 mm olup, kesme boşluğu değeri yüzey kalitesinin iyi olması amacıyla %5 ve sac levha kalınlığı ise 2 mm olarak belirlenmiştir. Bu değerler doğrultusunda zımba çapı, Eş. 4'e göre 9,8 mm olarak hesaplanmış ve tüm set $\pm 0,01$ mm tolerans değerleri aralığında hassas olarak imal edilmiştir.

Hızın etkisinin görülebilmesi amacıyla zımba hızı 0,1 m/s, 1 m/s ve 10 m/s olarak seçilmiş ve hem simülasyonlar hem de deneyler belirtilen hızlarda gerçekleştirilmiştir. Değişik hızların sağlanabilmesi amacıyla 3 farklı tip pres kullanılmıştır. 0,1 m/s zımba hızı için 30 ton kapasiteye sahip, farklı hızlarda ve tonajlarda yük yükleme özelliklerine sahip hidrolik bir pres kullanılmıştır. 1 m/s zımba hızı için 100 ton kapasiteli H tipi yüksek hızlı eksantrik pres ve 10 m/s zımba hızı için ise özel olarak tasarlanmış ve barut vasıtasıyla patlamalı olarak çalışan bir YEŞ çekici kullanılmıştır.

4. MATERYAL ÖZELLİKLERİ (MATERIAL PROPERTIES)

Simülasyonlar ve deneyler için AISI 304 paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır. AISI 304 geniş bir kullanım alanına sahip ve bulunabilirliği kolay olan bir metal malzemedir.

AISI 304, şırınga iğnelerinden, deniz hatta nükleer uygulamalara kadar çeşitli endüstri kollarında kullanılan bir paslanmaz çelik türüdür. Özellikle korozyon direncinin yüksek olmasından dolayı, korozyon ortamlarda yapılacak faaliyetler için tercih edilen bir malzemedir [17]. Tablo 1'de AISI 304 paslanmaz çeliğin bazı fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin bazı fiziksel özellikleri [17]

(Some physical properties of AISI 304 stainless steel [17])

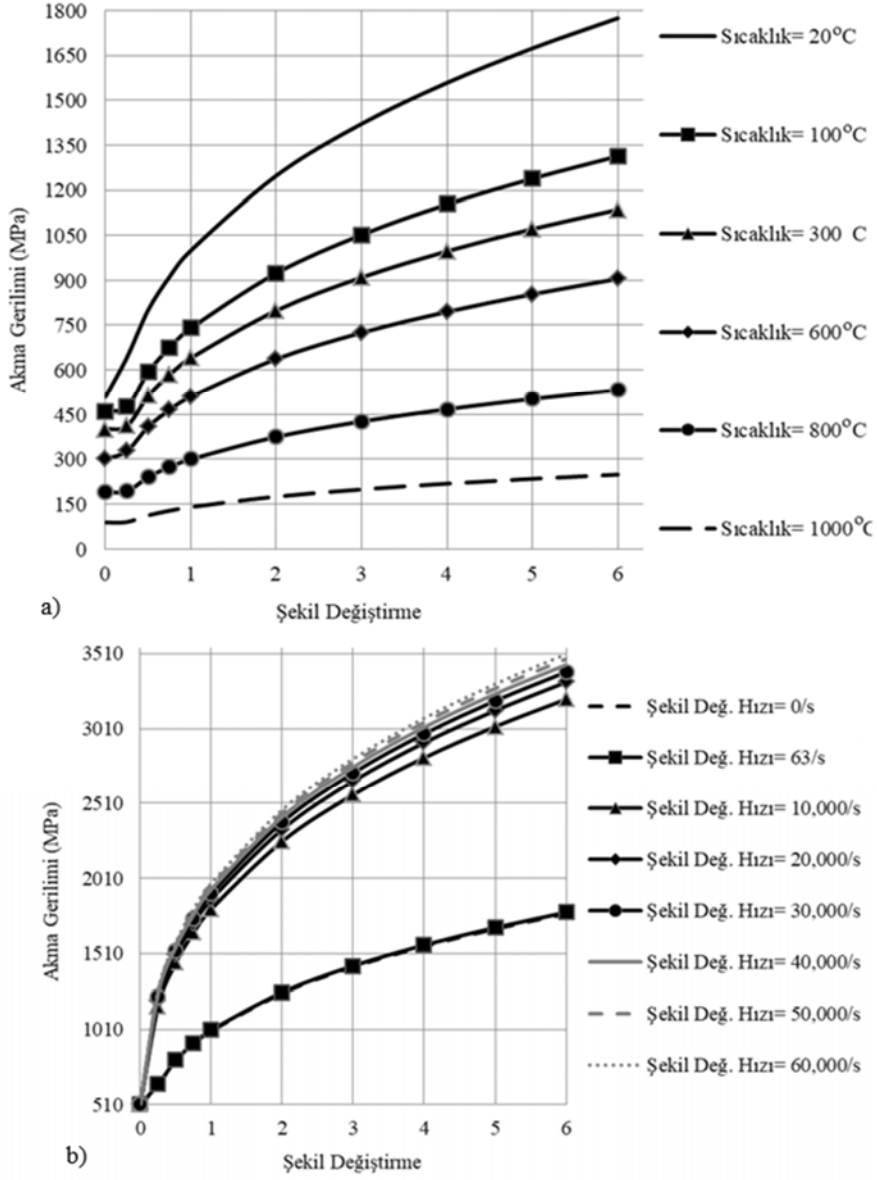
Malzeme Özellikleri	Değer
Yoğunluk	8,03 g/cm ³
Elastisite Modülü (Çekme)	193*10 ³ MPa
Erime noktası	1399-1454°C
Spesifik Isı Kapasitesi (0-100°C)	0,5 kJ/Kg*K
Isıl İletim (100°C/500°C)	16,2/21,4 W/m*K

AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin akış eğrisi, çekme testi vasıtasıyla bulunmuş ve simülasyon sonuçlarının, deneysel sonuçlar ile olan uyumluluğunun belirlenmesi için literatürde tanımlı olan eğriler ile karşılaştırılmıştır [18]. Test için Shimadzu AG-X Plus çekme testi cihazı kullanılmış, 0,01 s⁻¹ sabit yükleme hızları altında işlemler gerçekleştirilmiştir. Bulunan akış eğrilerinin literatürde tanımlı olan eğrilerle karşılaştırılması sonucunda birbirleri ile uyumlu oldukları görülmüştür. Bu sebeple literatürde tanımlı olan değerler esas alınmıştır. Şekil 4'te sıcaklığa bağlı olarak değişen akış eğrileri Şekil 4'te verilmiştir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Simülasyon ve deneyler, 2 mm kalınlığında AISI 304 paslanmaz çelik malzeme kullanılarak 0,1 m/s, 1 m/s ve 10 m/s hızlarında ve %5 kesme boşluğu değerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'te 0,1 m/s altında kesilmiş sac parçanın mikroskop altında ve bilgisayar modelinden alınmış olan görüntüleri ve bölge dağılımları verilmiştir. Şekil 6'da yine 0,1 m/s zımba hızında yapılmış olan deneyler ve simülasyonlar sonucunda elde edilen kesme kuvveti değerleri görülmektedir.

Yapılan deney ve simülasyon çalışmaları sonrasında, Şekil 5'den anlaşılacağı üzere parça yüzeyinde oluşan bölge dağılımlarının birbirleriyle tutarlı olduğu görülmüştür. Şekil 6'da verilmiş olan kesme kuvveti değerleri ise ayrı ayrı olarak alınmış ve sonrasında birleştirilmiştir. Simülasyonlar sonucu elde edilen kesme kuvveti ve kesme enerjisi değerleri Deform-2D programı tarafından grafik olarak kullanıcıya sunulmaktadır. Deneysel sonuçlar ise 0,1 m/s zımba hızı için kullanılan hidrolik presin esasında bilgisayar kontrollü universal bir çekme- basma test cihazı olması ve değerleri yine grafik olarak verilebilmesi vasıtasıyla elde edilmiştir. Deney ve simülasyonlardan elde edilen kesme kuvveti değerleri birbirine yakın olup, aralarında maksimum %4'lük bir fark bulunmaktadır. Kesme kuvvetinde oluşan ve deneysel sonuçların daha yüksek çıkmasıyla sonuçlanan



Şekil 4. AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin a) şekil değiştirme hızına b) sıcaklığa bağlı akış eğrileri
(The flow curve of AISI 304 stainless steel material according to (a) strain rate (b) temperature)

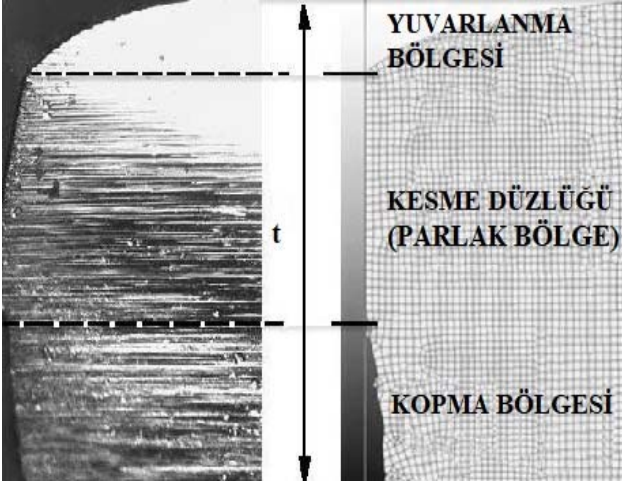
farklılığın sebebi ise simülasyonların ideal şartlar altında hiçbir dış etkene maruz kalmadan modellenmesi, buna karşılık deneylerin ise ortamdaki kirin, titreşimin, modellemelerde tanımlanamayacak sürtünmelerin, yük hücresinin hassasiyet hata payının ve buna benzer dış etmenlerin bulunduğu bir ortamda gerçekleştirilmiş olmasındandır. Yüksek hızlı kesmeye ait olan deneysel verilerden kesme kuvveti; Eşit marka SC-20 modeli bası tipi 20 ton kapasiteli yük hücresinin üst kalıp bloğuna, zımbanın arkasına gelecek şekilde montajının yapılması, batma derinliği ise HBM marka WI modeli indüktif deplasman transdüseri vasıtasıyla ölçülmüş ve elde edilen veriler bilgisayar ortamında birleştirilerek kesme kuvveti – zımba batma derinliği grafikleri elde edilmiştir.

5.1. Kesme Kuvveti, Kesme Enerjisi ve Gerilmeler

(Blanking Force, Blanking Energy and Stresses)

Kesme ile alakalı yapılan birçok çalışmanın ana çıktısı, ilgili parametrelerin kesme kuvveti ve kesme enerjisinde meydana getirdiği değişimlerin belirlenmesi şeklindedir [7-10]. Şekil 7'de %5 kesme boşluğu değerinde, 0,1 m/s, 1 m/s ve 10 m/s hızlarında kesme kuvvetinin ve zımba batma derinliğinin değişimi verilmiştir. AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin, şekil değiştirmeye karşı duyarlı ve pekleşme eğilimi yüksek yapısından kaynaklı olarak üç farklı zımba hızı altında da kesme kuvvetlerinin arttığı belirlenmiştir. Ancak 10 m/s zımba hızı için pekleşmenin belirli bir düzeye kadar yükseldiği fakat zımba batma derinliğinin düştüğü görülmektedir. Bu durum malzemenin hızlı bir şekilde kırılmaya gittiğini göstermektedir. Kesme enerjisi, kesme yükü ve zımba batma derinliğinin oranı olarak

tanımlanmaktadır ve 3 zımba hızı altında elde edilen maksimum kesme enerjisi değerleri Şekil 8’de verilmiştir. 10 m/s zımba hızında azalan zımba batma derinliği, kesme enerjisi artışı oranını biraz düşürse de genel olarak kesme enerjileri de tıpkı kesme kuvvetleri gibi hıza bağlı olarak artmaktadır. Şekil 9 ‘da lokal olarak kesme bölgesi ve malzeme üzerinde zımba hızına bağlı olarak oluşan efektif gerilmeler verilmiştir. Efektif gerilme değerlerinin artan hızla beraber arttığı ancak giderek lokal bir alanda toplandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bölge içerisindeki değerler incelendiğinde sadece pekleşme etkisinin olmadığı görülmektedir. Çünkü sadece pekleşme etkisinin baskın olduğu bir alanda, efektif gerilme değerlerinin Şekil 4 (a)’da belirtilen değerlere sahip olması gerekmektedir. Ancak bulunan gerilme değerleri, Şekil 4 (b)’de görülen ve sıcaklık altında akma mukavemetinin düşmesi sonucu azalan gerilme değerleriyle uyumludur. Bu durum şekil değiştirme hızındaki artışa bağlı olarak kesme bölgesinde ısı oluştuğunu ve termal etkilerinde söz konusu olduğunu işaret etmektedir.



Şekil 5. Kesilmiş sac parçanın mikroskop ve bilgisayar modelinden alınmış olan görüntüleri (t=2mm)
(Images of the sheared blank taken from microscope and from computer model (t=2mm))

5.2. Sıcaklık, Şekil Değiştirme ve Şekil Değiştirme Hızı (Stress, Strain and Strain rate)

Artan zımba hızına bağlı olarak efektif gerilme değerlerinin sac levha üzerinde giderek lokalize olması ve pekleşmenin getirdiği artış oranlarını takip etmemesi ayrıca Şekil 7 ‘den görülebileceği üzere 10 m/s zımba hızında malzemenin erken koparak, kopmanın diğer hızlara göre daha çabuk gerçekleşmesi literatürle uyumlu bir tablo çizmekte ve bir adyabatik kesme bölgesinin oluşumunu işaret etmektedir.

Şekil 10’da, 3 farklı hız değeri için lokal olarak oluşan sıcaklık değerleri görülmektedir. Zımba hızının ve buna bağlı olarak şekil değiştirme hızının artması sonucunda 0,1 m/s ve 10 m/s arasında yaklaşık 323°C derecelik bir farkın ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Ortaya çıkan ısı, yüksek hızdan dolayı malzeme içerisine dağılacak zaman bulamayarak, Şekil 10’da da görülebileceği gibi hızla doğru

orantılı olarak giderek daralan bir alana hapsedilmektedir. Dixon ve Parry [19], karbon çeliği kullanarak gerçekleştirmiş oldukları basma testinde $10^{-2} s^{-1}$ ’den daha yavaş bir şekil değiştirme hızında numunede ısı dağılımının izotermal olarak kabul edilebileceğini, $4 s^{-1}$ ’i aşan bir şekil değiştirme hızında ise kesinlikle adyabatik davranış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Şekil 11’de, 3 farklı hız değeri için sac parça üzerinde oluşan şekil değiştirme hızları verilmiştir. Yüksek hızlı zımbalama işlemi 10 m/s’lik hızda, ortalama $30000 s^{-1}$ ’lik bir şekil değiştirme hızına ulaştığından dolayı, kesme bölgesinin adyabatik özellik taşıdığı kesindir. Elbette adyabatik bölge içerisindeki ısı oluşumu ve sıcaklık dağılımının malzemenin ısı iletim katsayısı ile de alakalı olduğunu ve bu ısı yoğunluğunun her metalik malzeme için farklı bir değere sahip olacağını da belirtmek gerekir.

Şekil 12’de şekil değiştirmenin, diğer parametrelerle uyumlu olarak artan hızla beraber kesme bölgesinde yoğunlaşarak arttığı görülmektedir. Yüksek hızla şekil değiştirme hızları sonucu oluşan adyabatik kesme bölgelerine özgü olarak şekil değiştirmenin ve sıcaklığın giderek lokalize olması bölgenin adyabatik bir karakteristik taşıdığını doğrulamaktadır. Sıcaklığın ve şekil değiştirmenin lokalizasyonu sonucunda s daha erken kırılması, Şekil 7 ile de uyumlu bir tablo çizmektedir. Termal etkilerin malzemeyi lokal olarak yumuşattığı açık olarak anlaşılmaktadır.

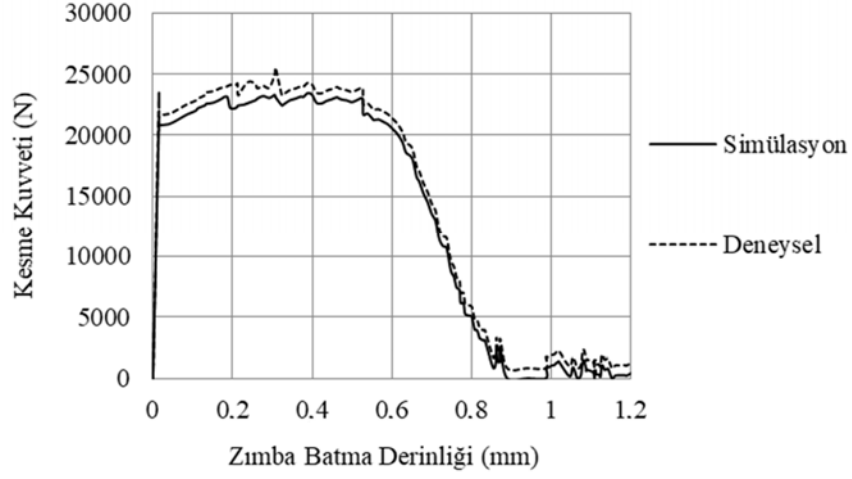
Tüm parametreler ortaya koyulduğunda; artan zımba hızının ve buna bağlı olarak artan malzeme şekil değiştirme hızının AISI 304 paslanmaz çelik sac parça üzerinde adyabatik kesme bölgesi oluşturduğu, bu bölge içerisinde ısının oluştuğu ve artan hızla beraber sıcaklık ve şekil değiştirme değerlerinin de hem artıp, hem de giderek lokalize olduğu gözlemlenmiştir. Artan sıcaklığa bağlı olarak malzemenin yumuşadığı ve termal etkinin pekleşmeye bağlı olarak artan sertliği her ne kadar tamamen yenemese de, çok daha yüksek değerlere çıkmasını engellediği bulunan değerler doğrultusunda anlaşılmıştır.

AISI 304 paslanmaz çelik malzeme için 0,1 m/s ve 10 m/s zımba hızı altında, tam kopma gerçekleşmeden çekilen ve adyabatik kesme bölgesi oluşumunun (bantlarının) görülebileceği mikroskop görüntüleri Şekil 13’de verilmiştir. Şekil 13’de görülebileceği üzere 10 m/s zımba hızıyla kesilen sac parçanda malzeme akışının (kesme bantlarının) daha dar bir alanda yoğunlaştığı anlaşılmaktadır.

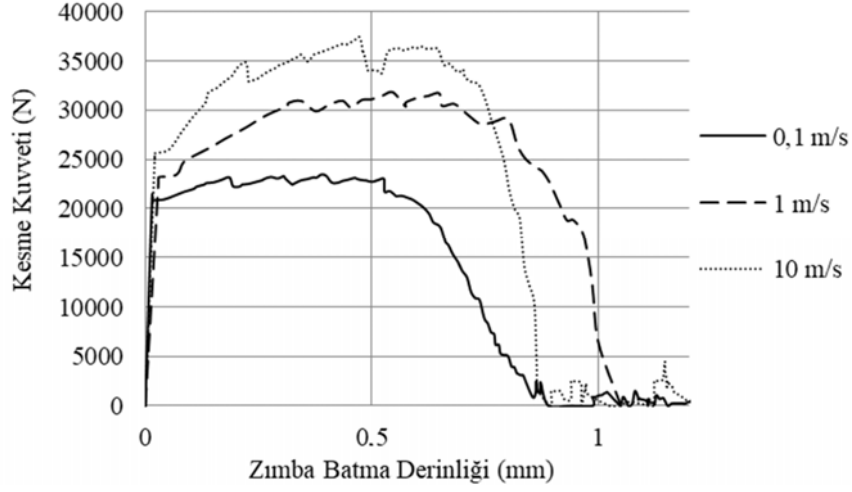
5.3. Yüzey Pürüzlülüğü (Surface Roughness)

Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü Taylor Hobson-Talysurf modeli bir profilometre kullanılarak yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi için ortalama sapma (R_a) değeri kullanılmış ve sac parçanın kesilmiş yüzeyinin 10 farklı noktasından ölçülen değerlerin ortalamasının alınması ile bulunmuştur. Bulunan değerler doğrultusunda ise kesilen sac parçanın yüzey kalitesi tespit edilmeye çalışılmıştır. Şekil 14’de %5 kesme boşluğu değerinde ve 10 m/s zımba hızında

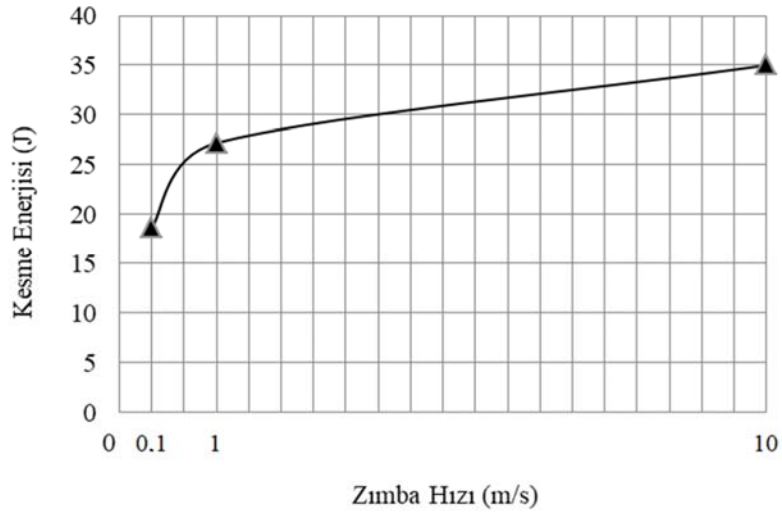
oluşan yzey profili ve olęmlmř yzey pürzölölüğü değerleri örneğ olarak gösterilmiştir. Tablo 2’de farklı hızlar altında kesilmiş sac paręada oluşan bölgelerin yzde olarak kapladıkları alanlar ayrıca kesme düzlüğü (parlak bölge) ve kopma bölgesinin yzey pürzölölük değerleri verilmiştir.



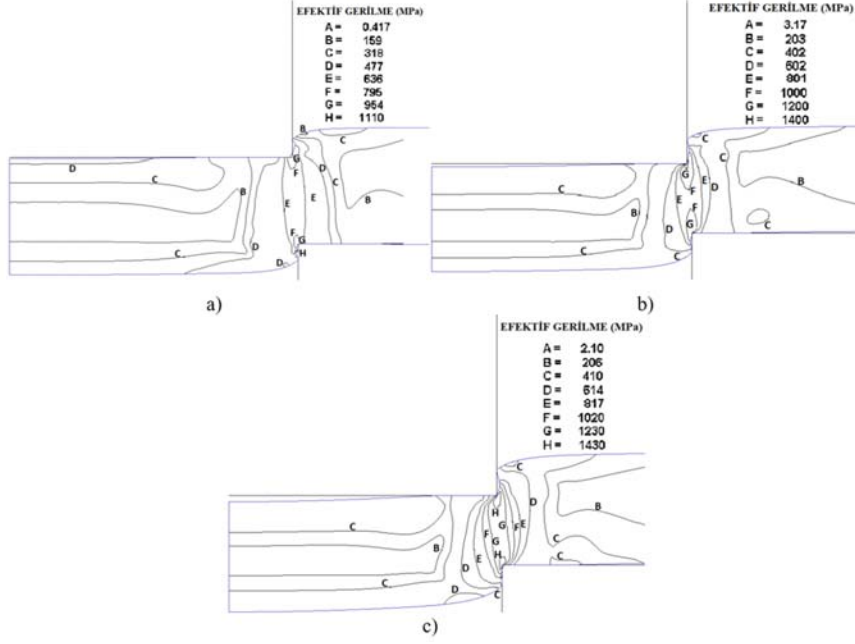
Şekil 6. Kesme kuvvetinin deneysel ve bilgisayar modeli sonucu elde edilen değerleri (Values of the blanking load gathered from experimental work and computer model).



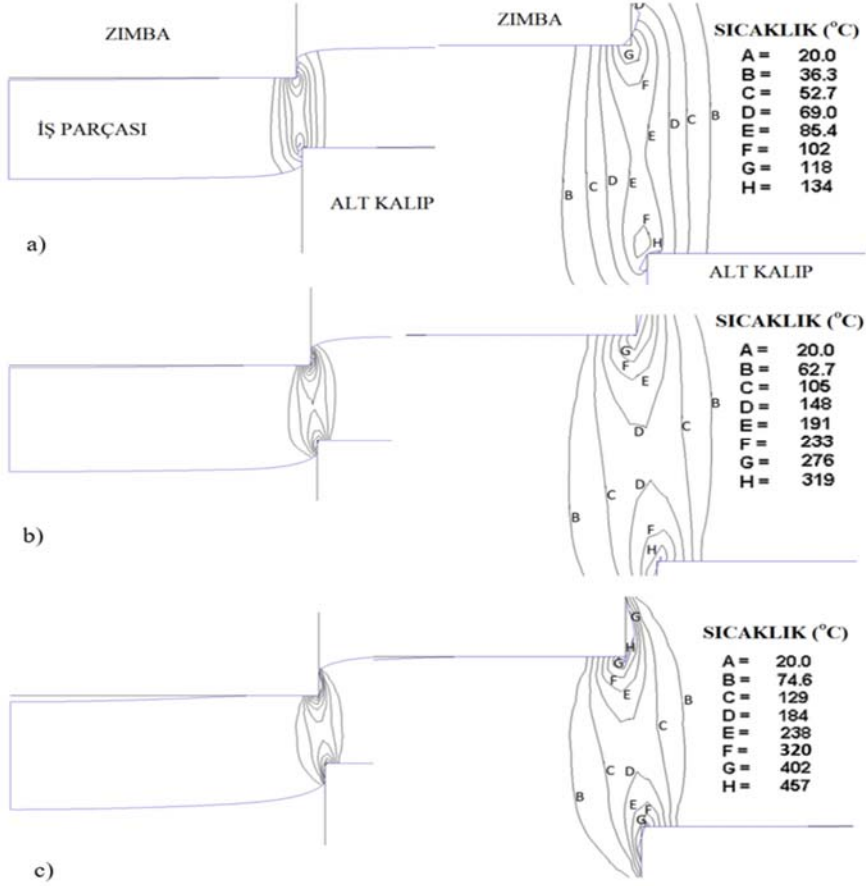
Şekil 7. Farklı hızlar da kesme kuvvetinin değişimi (Blanking load change under different speeds)



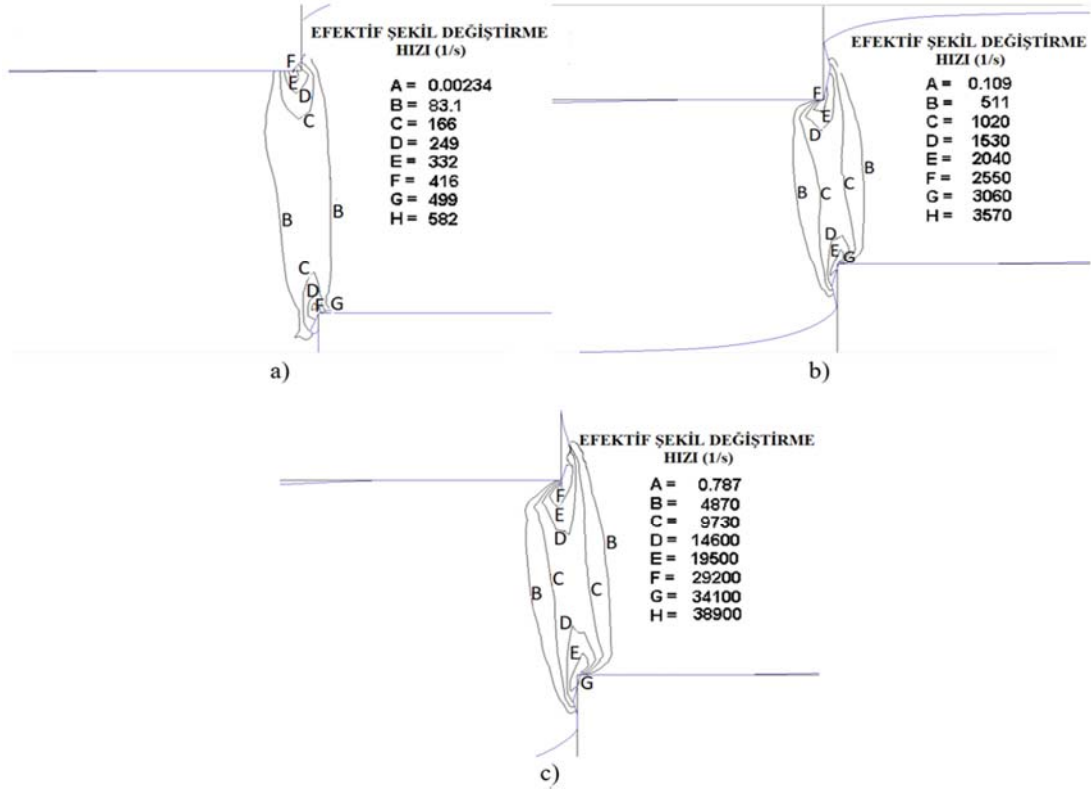
Şekil 8. Farklı hızlarda kesme enerjisi değişimi (Cutting energy change under different speeds)



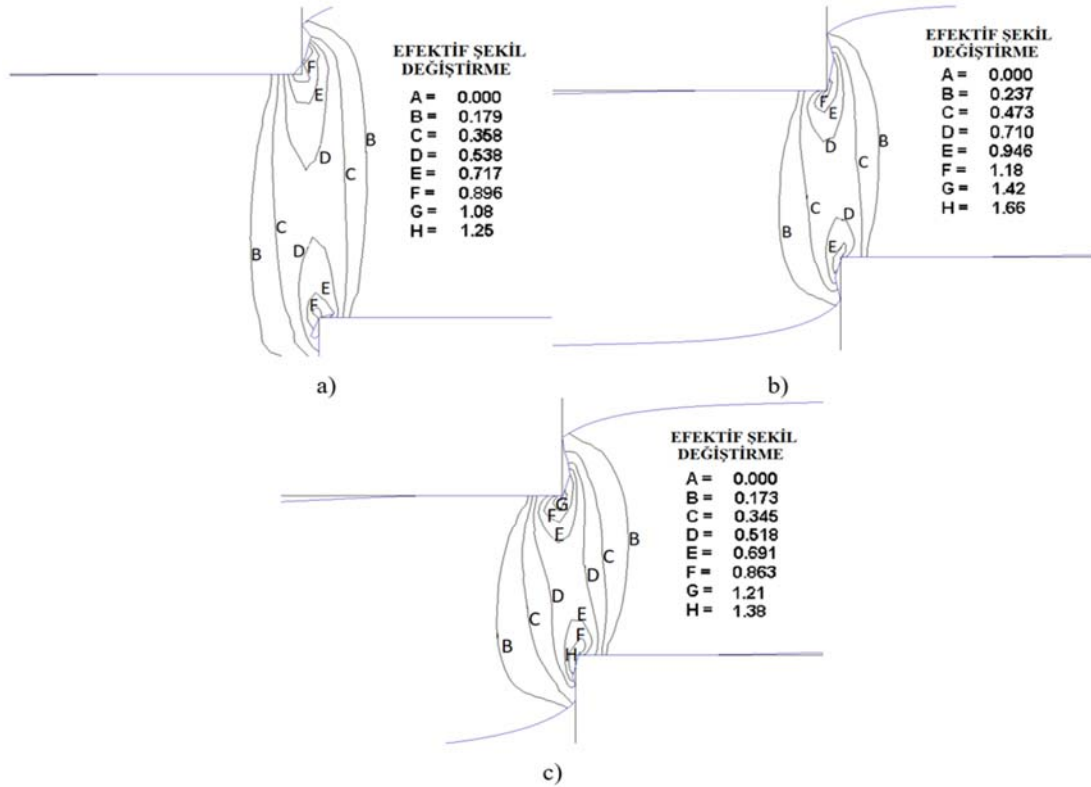
Şekil 9. Farklı hızlarda saç parça üzerinde oluşan efektif gerilmelerin değışimi
(Effective stresses change on the workpiece under different speeds)



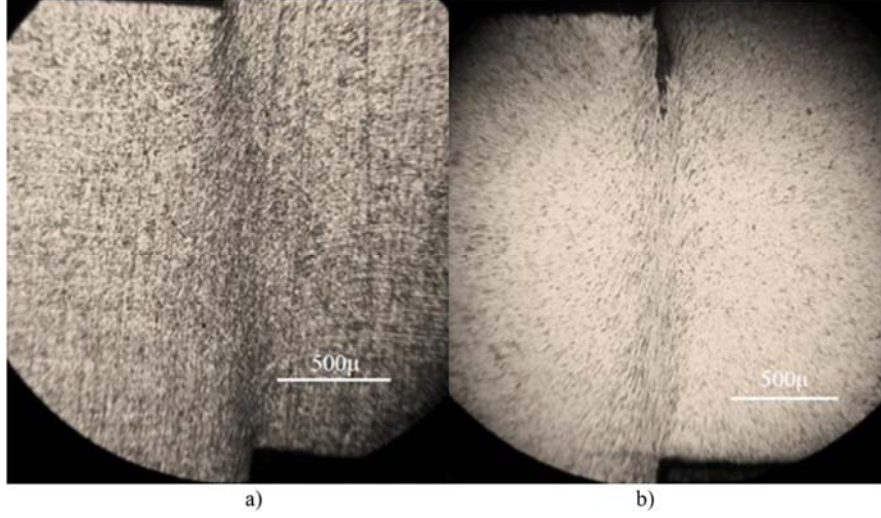
Şekil 10. Farklı zimba hızları altında kesme bölgesinde sıcaklık değışimi a- 0,1 m/s b- 1 m/s c- 10 m/s
(Temperature change at the shear zone under different punch speeds a- 0,1 m/s b- 1 m/s c- 10 m/s)



Şekil 11. Farklı zımba hızları altında şekil değiştirme hızı değişimi a- 0,1 m/s b- 1 m/s c- 10 m/s
(Strain rate change under different punch speeds a- 0,1 m/s b- 1 m/s c- 10 m/s)



Şekil 12. Farklı zımba hızları altında şekil değiştirme değışimi a- 0,1 m/s b- 1 m/s c- 10 m/s



Şekil 13. Farklı zımba hızları altında kesme bölgesinde oluşan kesme bantlarının değişimi a) 0,1 m/s b) 10 m/s
(Shear band change at the shear zone under different punch speeds a- 0.1 m/s b- 10 m/s)



Şekil 14. İş parçası üzerinde oluşan bölgeler ve yüzey pürüzlülüğü değerleri
(Zone formations on the workpiece and surface roughness values)

Tablo 2. Farklı zımba hızları altında yaklaşık bölge dağılımlarının ve yüzey pürüzlülüğünün değişimi
(Approximate zone distributions and surface roughness change under different punch speeds)

Zımba Hızı	Bölge Dağılımları (%)			Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	
	Kesme Düzlüğü	Kopma Bölgesi	Yuvarlanma Bölgesi	Kesme Düzlüğü	Kopma Bölgesi
0,1 m/s	48	36	16	1,30	1,73
1 m/s	40	46	14	1,13	1,46
10 m/s	39	49	12	0,89	1,13

Tablo 2 incelendiğinde zımba hızı artışının kesme düzlüğü ve kopma bölgesi yüzey kalitesi üzerinde doğru orantılı bir şekilde iyileştirici etkisinin olduğunu görülmektedir. Bu sonuçlar, daha önce yapılmış olan benzer çalışmalarda da [10, 12, 13] ortaya konulan, zımba hızındaki artışın yüzey kalitesini arttırdığı sonuçları ile uyumludur.

Ancak artan hızla beraber kesme düzlüğü ve yuvarlanma bölgesinin kapladığı alanların azaldığı ve kopma bölgesinin kapladığı alanın arttığı görülmektedir. Bu sonuç, yuvarlanma bölgesi açısından pozitif bir katkı elde edilirken, esasen baskın olması istenen kesme düzlüğü açısından negatif bir etki elde edildiği izlenimini yaratmaktadır. Kesme

düzlüğünün kapladığı alanın fazla olmasının istenmesi daha önce de belirtildiği gibi direkt yüzey pürüzlülüğü/yüzey kalitesi ile ilişkilidir.

Ancak yine Tablo 2’de görüldüğü gibi, yüksek hızlardaki kopma bölgelerindeki pürüzlülük, düşük hızlardaki düz bölgelerle kıyaslandığında düşük değerlerde olmaktadır. Yani Tablo 2’de ki yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde yüksek hızlı kesmenin hem kesme düzlüğünün, hem de kopma bölgesinin yüzey pürüzlülük değerlerini düşürdüğü görülmektedir. Bu durum yüksek hızlı kesmenin, daha yavaş hızlarda kesmeye göre parça yüzey kalitesini iyileştirdiğini doğrulamaktadır.

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada 2 mm kalınlığında AISI 304 çelik levha, sabit bir kesme boşluğu değeri (%5) ve üç farklı zımba hızı (0,1 m/s, 1 m/s ve 10 m/s) altında kesilmiştir. Zımba hızının, kesme enerjisi ve sac parça yüzey kalitesi üzerine olan etkileri incelenmiştir. Tespit edilen sonuçlar şu şekildedir.

Kesme esnasında kesilme çok dar bir alanda gerçekleşmektedir. Zımba hızının artması sonucunda bu dar alanda malzemenin efektif şekil değiştirme hızı artmakta ve bölge içerisinde ani bir ısı artışı gerçekleşmektedir. Isı, yüksek hızdan dolayı malzeme içerisine dağılamayarak, kesme bölgesi içerisinde adyabatik bir alan oluşturmaktadır. Bu durum, kesme bölgesinde yavaş (0,1 m/s) ve yüksek (10 m/s) zımba hızları arasında yaklaşık %241'lik bir sıcaklık artışı farkı ortaya çıkarmakta ve aynı zamanda efektif şekil değiştirmeyi de giderek lokalize etmektedir.

Kesme bölgesinde meydana gelen bu ani sıcaklık artışı, malzemenin sıcaklığa bağlı olarak değişen bir özelliği olan akma gerilimini düşürmektedir. Ancak yüksek miktarda şekil değiştirmeye maruz kalan metal malzemelerin bir diğer özelliği de deformasyona karşı göstermiş oldukları direnç sonucunda gerinim sertleşmesi ya da pekleşme denilen akma gerilimlerinin artması durumudur. AISI 304 paslanmaz çelik levha için efektif şekil değiştirme hızının efektif gerilme üzerindeki etkisinin, artan sıcaklık sonucu oluşan yumuşamadan daha fazla olduğu ve malzemenin akma geriliminin yavaş ve yüksek zımba hızı farkı açısından ele alındığında %28 arttığı görülmüştür. Ancak sıcaklığa bağlı oluşan yumuşama, efektif şekil değiştirme hızına bağlı bir oranla artması gereken efektif gerilme değerlerinin beklenen en üst seviyeye çıkmasını engelleyerek, yaklaşık %53'lük bir pekleşme kaybına sebep olmuştur.

Belirtilen sertlik artışı (pekleşme) malzemenin akma gerilimini arttırmış, dolayısıyla kesme enerjisi de artmıştır. Artan efektif şekil değiştirme hızının bir sonucu olan adyabatik kesme bölgesi ve bu bölgede oluşan lokal ısı ve efektif şekil değiştirme sonucunda yumuşayan malzeme daha erken kırılmaktadır. Bu durum, kesilmiş sac parçanın yüzey profilinde oluşan yuvarlanma bölgesi, kesme düzlüğü (parlak bölge) ve kopma bölgesinin yüzeyde kapladığı alanları değiştirmektedir. Kesme düzlüğünün fazla, yuvarlanma ve kopma bölgesinin az olması istenen klasik kesmeye nazaran, artan hızla beraber yuvarlanma bölgesinin ve kesme düzlüğünün azaldığı ancak kopma bölgesini arttığı görülmektedir. Kesme düzlüğünün azalarak, kopma bölgesinin artması, yavaş zımba hızları açısından bakıldığında negatif bir etki gibi gözükmemektedir. Ancak yüksek zımba hızlarında kesilmiş sac parça kenar profilinde oluşan tüm bölgelerin yüzey pürüzlülük değerlerinin yani yüzey kalitelerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu durum yüksek hızlı kesmenin sac parça yüzey kalitesini iyileştirdiğini doğrulamaktadır.

Sonuç olarak; AISI 304 paslanmaz çelik levha için yüksek zımba hızlarının kullanılması kesme kuvveti ve kesme enerjisi açısından herhangi pozitif bir katkı sağlamamakta ve

malzeme pekleşmektedir. Ancak sac parça yüzey kalitesi ele alındığında pozitif bir katkıdan bahsedilebilir. Kesme düzlüğü ve kopma bölgelerindeki yüzey pürüzlülüğü değerlerinin yavaş hızda (0,1 m/s) yapılan kesmelere nazaran 1 m/s zımba hızı için sırasıyla %15 ve %46, 10 m/s zımba hızı için ise %18 ve %53 oranında düşerek, yüzey kalitesi açısından tüm bölgelerde belirgin bir iyileşme sağlandığı gözlemlenmiştir. Şüphesiz elde edilen sonuçların AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin termo-mekanik davranışları ile sınırlı olduğu ve aynı kesme hızlarında, farklı özelliklere sahip malzemeler ile daha farklı sonuçların elde edilebileceği de belirtilmelidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sidhu K. B., Peshekhodov I., Behrens B. A., Numerical Modelling of High Speed Blanking Considering Thermoviscoplastic Effects, 3rd International Conference on High Speed Forming, Dortmund-Almanya, 97-106, 11-12 Mart, 2008.
2. Totre A., Nishad R., Bodke S., An overview of factors affecting in blanking processes, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering (IJETA), 3 (3), 390-395, 2013.
3. Hamblı R., Design of experiment based analysis for sheet metal blanking processes optimization, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 19 (6), 403-410, 2002.
4. Quazi T. Z., Shaikh R. S., An overview of clearance optimization in sheet metal blanking process, IJMER, 2 (6), 4547-4558, 2012.
5. Marinov V., Manufacturing Processes for Metal Products, Kendall Hunt Publishing Company, Bulgaristan, 2010.
6. Grünbaum M., Breitling J., Altan T., Influence of high cutting speeds on the quality of blanked parts, ERC Report, 19, 5-96, 1996.
7. Gaudilliere C., Ranc N., Larue A., Maillard A., Lorong P., High speed blanking: an experimental method to measure induced cutting forces, Exp. Mech., 53 (7), 1117-1126, 2013.
8. Gaudilliere C., Ranc, N., Larue, A., Lorong, P., Investigations in high speed blanking: cutting forces and microscopic observations, EPJ Web of Conferences, 6, 19003, 1-7, 2010.
9. Subramonian S., Altan T., Campbell C., Ciocirlan B., Determination of forces in high speed blanking using fem and experiments, J. Mater. Process. Technol., 213 (12), 2184-2190, 2013.
10. Lubis Z. D., Mahardika M., Influence of clearance and punch velocity on the quality of pure thin copper sheets blanked parts, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 157 (1), 1-6, 2016.
11. Song S.H., Choi W. C. FEM investigation on thermal effects on force in high-speed blanking of mild steel, Int. J. Precis. Eng. Manuf., 17 (5), 631-635, 2016.
12. Kanca E., Eyercioğlu O., Karahan I. H., Günen A., Göv K., Effects of blanking speed on the shear surface of mild steel (st37), Acta Phys. Pol. A, 130 (1), 370-374, 2016.

13. Kanca E., Eyercioglu O., Karahan I.H., Shear-surface improvement of the austenitic stainless steel AISI 304 using high-speed punching. *Optoelectron, Adv. Mater. Rapid Commun.*, 2 (12), 822-827, 2008.
14. Hu D. C., Chen M. H., Ouyang J. D., Yin L. M., Finite element analysis of the thermal effect in high-speed blanking of thick sheet metal, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 80 (9), 1481-1487, 2015.
15. Nishad R., Totre A., Bodke S., Chauhan A., An overview of the methodologies used in the optimization processes in sheet metal blanking. *Int. J. Mech. Eng. Robotic Res.*, 2 (2), 307-314, 2013.
16. Samuel M., FEM simulations and experimental analysis of parameters of influence in the blanking process. *J. Mater. Process. Technol.*, 84 (1-3), 97-106, 1998.
17. ASM Aerospace Specification Metals Inc. AISI Type 304 Stainless Steel, from <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MQ304A>. Eriřim tarihi řubat 10, 2018.
18. Boyer, H. E., Atlas of Stress-strain Curves, ASM International, Ohio, A.B.D., 1987.
19. Dixon, P.R. and Parry, D.J., Thermal softening effects in type 224 carbonsteel, *Le Journal de Physique IV*, 1 (C3), 85-92, 1991.