



## Experimental investigation of the effects of cutting parameters on the cutting surface quality and heat affected area (HAZ) width in plasma arc cutting processes

İsmail Tekait

Technical Sciences Vocational School, Gazi University, Ankara, 06374, Turkey

### Highlights:

- Experimental analysis of the effect of cutting current and cutting speed on width of HAZ and HTZ.
- Experimental analysis of the effect of cutting current and cutting speed on width of HAZ and HTZ.
- Experimental investigation of the effect of current strength and cutting speed on micro hardness of HAZ and HTZ.

### Graphical/Tabular Abstract

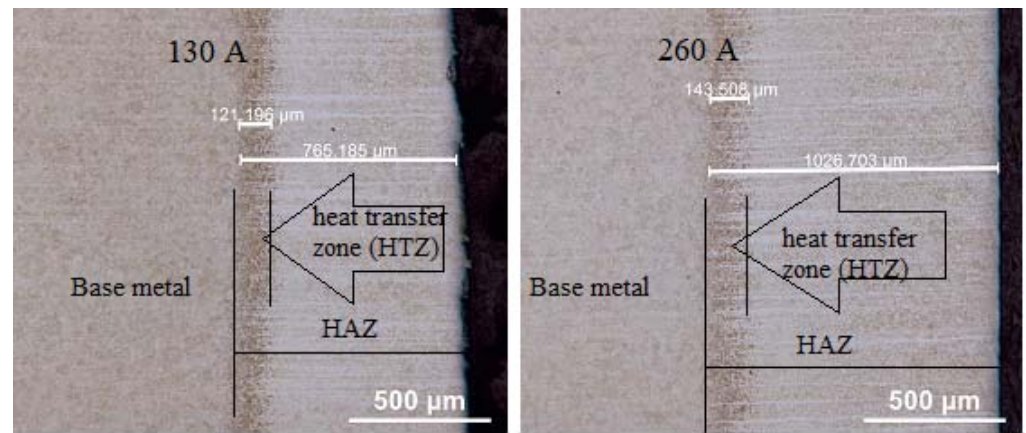


Figure A. Width of HAZ and HTZ

### Keywords:

- Plasma cutting process
- Cutting current
- Cutting speed
- Surface roughness
- HAZ and HTZ.

### Article Info:

Research Article  
Received: 24.08.2019  
Accepted: 07.02.2020

### DOI:

10.17341/gazimmfd.610288

### Correspondence:

Author: İsmail Tekait  
e-mail: ismailt@gazi.edu.tr  
phone: +90 312 354 8401

**Purpose:** Experimental investigation of the effects of cutting current and cutting speed on the surface quality, width of heat affected area (HAZ) and heat transfer zone (HTZ) in plasma arc cutting processes

### Theory and Methods:

In this study, Hardox 500 steel was cut in combinations 5 different (725, 750, 775, 800 and 850 mm / min) and 2 different cutting currents (130 A and 260 A) in Ajan 260 CNC plasma arc machine. Surface roughness were measured by Mitutoyo Surftest SJ-210 surface roughness tester device. HAZ and HTZ microstructure photos were taken on Shutter optical microscope. Micro hardness values were measured on the DuraVision EMCO tester.

### Results:

In all experiments, it has been found that the increase of cutting current increases the surface roughness. This was interpreted as an increase in the amount of molten metal due to increased heat and consequently the inadequate gas pressure to remove the increased amount of molten material from the cutting zone. Width of HAZ and HTZ increased with increase of cutting current, while decrease on cutting speed. This was interpreted to increase the area affected by heat with the increase of the cutting current and to decrease the area affected by the heat with the increase of the cutting speed. Micro hardness of HAZ and HTZ decreased with increasing of cutting current, while micro hardness of HAZ and HTZ increased with increase of cutting speed. This situation showed that the cooling time depending on the heat input.

### Conclusion:

It was seen that the best surface quality was achieved in a cutting combination of 130 A with 775 mm / min. Width of HAZ and HTZ increased with increase of cutting current, Width of HAZ and HTZ decreased with increase of cutting speed.



## Plazma arkı ile kesim işlemlerinde kesme parametrelerinin malzemenin kesim yüzeyi kalitesine ve ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) genişliğine etkisinin deneysel olarak araştırılması

İsmail Tekaut\*<sup>ID</sup>

Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 06374, Ostim, Ankara, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Plazma ark kesim hızı ve kesme akımı artışının yüzey kalitesine etkisinin deneysel araştırılması
- Kesme akımı ve kesme hızının ITAB ve IGB genişliğine etkisinin deneysel analizi
- Kesme akımı ve kesme hızının ITAB ve IGB mikro sertliğine etkisinin deneysel araştırılması

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi  
Geliş: 24.08.2019  
Kabul: : 07.02.2020

### DOI:

10.17341/gazimmfd.610288

### Anahtar Kelimeler:

Plazma ark işlemi,  
kesme akımı,  
kesme hızı,  
yüzey pürüzlülüğü,  
ITAB, IGB

### ÖZET

Bu çalışmada, endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan plazma ark ile kesim işlemlerinde kesme hızı ile kesme akımı parametrelerinin malzemenin ısıdan etkilenmiş bölge genişliğine ve kesilen yüzeyin yüzey kalitesine olan etkisinin deneysel olarak araştırılması ve bu çıktılar açısından en uygun parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; 20 mm kalınlığındaki Hardox 500 malzemenin hazırlanmış deney numuneleri iki farklı kesme akımı (130 ve 260 amper) ve beş farklı kesme hızı (725, 750, 775, 800 ve 850 mm/min) parametrelerinin kombinasyonlarında CNC Plazma ark kesim tezgâhında kesilmiştir. Kesme hızı ve kesme akımı artışının yüzey pürüzlülüğünü artırdığı tespit edilmiştir. Kesme hızı artışının ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ısı geçiş bölgesi (IGB) genişliğini azaltırken, kesme akımı artışının ITAB ve IGB genişliğini artırdığı gözlemlenmiştir. Bu durum; kesme hızı artışıyla daha az ısı girdisine bağlı hızlı soğumaya, kesme akımı artışıyla daha fazla ısı girdisine bağlı yavaş soğumaya yorumlanmıştır. ITAB mikro sertlik değerlerinin ana metale doğru azalış gösterdiği, kesme hızı artışının mikro sertlik değerlerini artırırken, kesme akımı artışı mikro sertlik değerlerini azalttığı tespit edilmiştir. Bu durum; ITAB ile ana metalin birleştiği bölgedeki soğuma hızının ITAB başladığı bölgeden daha yavaş soğumasından kaynaklanmaktadır.

## Experimental investigation of the effects of cutting parameters on the cutting surface quality and heat affected area (HAZ) width in plasma arc cutting processes

### H I G H L I G H T S

- Experimental investigation of the effect of plasma arc cutting speed and cutting current increase on surface quality
- Experimental analysis of the effect of cutting current and cutting speed on width of HAZ and HTZ
- Experimental investigation of the effect of current strength and cutting speed on micro hardness of HAZ and HTZ

### Article Info

Research Article  
Received: 24.08.2019  
Accepted: 07.02.2020

### DOI:

10.17341/gazimmfd.610288

### Keywords:

Plazma cutting process,  
cutting current,  
cutting speed,  
surface roughness,  
HAZ, HTZ

### ABSTRACT

In this study, it is aimed to investigate experimentally the effect of cutting speed and cutting current parameters on width of heat affected area and surface quality of the cut surface in plasma arc cutting processes, which are widely used in industrial applications and to determine the most suitable parameters in terms of these outputs. For this purpose; the test specimens prepared from Hardox 500 material with a thickness of 20 mm were cut in CNC plasma arc cutting machine in combinations of two different cutting currents (130 and 260 amperes) and five different cutting speeds (725, 750, 775, 800 and 850 mm / min). It has been found that the increase of cutting speed and cutting current increases the surface roughness. It has been observed that the increase of cutting current increase width of HAZ and HTZ, while increase of the cutting speed decreases the width of the heat affected zone (HAZ) and heat transfer zone (HTZ). It was determined that micro hardness values of HAZ decreased towards base metal, increase of cutting speed increased micro hardness values while increase of cutting current decreased micro hardness values. This situation; It was interpreted to fast cooling of HAZ.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Aşınmaya dayanımı yüksek olan Hardox 500 çeliği ve benzeri çeliklerin şekillendirilmesinde kesici takım aşınması kaçınılmazdır. Bu nedenle, hızlı ve düşük maliyetli üretimin arzu edildiği durumlarda, plazma ark yöntemiyle bu çeliklerin şekillendirilmesi tercih edilmektedir. Plazma ark kesme işlemi, elektrik akımıyla iyonize olmuş gazın torçtan geçerek yoğunlaşması ve temas ettiği bölgede yüksek sıcaklıktan dolayı ergittiği malzemeyi torç ağzından çıkan gaz basıncı aracılığıyla kesim bölgesinden uzaklaştırılması prensibiyle gerçekleşmektedir. Bu sebeple, iş parçası malzemesinin yüksek sıcaklıklara maruz kalması birçok problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Plazma ark ile kesme işleminde yüzey kalitesi ve ısı tesiri altındaki bölge oluşumu (ITAB) öne çıkan problemlerdir ve bu problemleri aza indirmek için birçok çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalardan; S. Apay vd. [1], S355J2G3 çeliğini farklı kesme hızlarında ve farklı kesme akımında kesmişler ve kesme hızı ve kesme akımı artışının yüzey pürüzlülüğünü artırdığını vurgulamışlardır. M. K. Das vd. [2], EN 31 çeliğini üç farklı kesme akımı, hava basıncı ve torç yüksekliği parametrelerinin kombinasyonlarında kesmişler, kesme akımı ve torç yüksekliği artışının yüzey pürüzlülüğünü artırdığını tespit etmişlerdir. K. Salonitis vd. [3], S235 çeliğini kesme hızı, kesme akımı, torç yüksekliği ve gaz basıncı parametrelerinde plazma ark tezgahında kesmişler, ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) daha çok kesme akımından etkilendiğini, yüzey pürüzlülüğü ve konikliğin ise daha çok torç yüksekliğinden etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Lazarević [4], paslanmaz çelik ve alüminyum malzemeleri farklı kesme akımı ve gaz basıncı parametreleriyle plazma ark tezgahında kesmiş ve kesme hızındaki artışla yüzey pürüzlülüğünün arttığını; fakat yüzey pürüzlülüğünün çok düşük kesme hızlarından da olumsuz etkilendiğini vurgulamıştır. I. Samardžić vd. [5], yapı çeliği, yüksek alaşımlı çelik ve alüminyum alaşımı malzemeleri farklı gaz basıncı, torç yüksekliği, kesme hızı, kesme akımı parametreleri şartlarında plazma ark tezgahında kesmişler ve kesim kalitesini etkileyen en önemli parametrenin kesme hızı olduğunu, ikinci etkili parametrenin gaz basıncı ve üçüncü etkili parametrenin ise kesme akımı olduğunu belirtmişlerdir. A. Tsiolikas vd. [6], St37 çelik malzemeyi plazma ark tezgahında farklı kesme hızı, torch yüksekliği ve ark voltajı parametrelerinde kesmişler ve kesme hızı artışının yüzey pürüzlülüğünü artırdığını, ark voltajı artışının ise yüzey pürüzlülüğünü azalttığını vurgulamışlardır. M. P. Teodor vd. [7], S355J2 malzemesini 1000 mm/min kesme hızı, 5 mm torch yüksekliği, 100 A kesme akımı ve 6 bar gaz basıncı parametrelerinde su yatağı ve kuru hava ortamında plazma ark kesim işlemine tabi tutmuşlardır. Su yatağı kullanarak yaptıkları çalışmada kesim sonrası ölçtükleri mikro sertlik değerlerinin kuru hava ortamında yaptıkları kesimden elde ettikleri mikro sertlik değerlerinden %36 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Isıdan etkilenen bölgedeki mikro sertlik değerinin kesim kenarından içeri doğru düşüş gösterdiğini vurgulamışlardır. A. Skoczylas vd. [8], C45 çeliğini plazma ark tezgahında farklı kesme hızı, gaz basıncı

ve kesme akımı parametrelerinde kesmişler ve kesme hızı ile kesme akımı artışının yüzey pürüzlülüğünü artırdığını, gaz basıncı artışının yüzey pürüzlülüğünü azalttığını tespit etmişlerdir. T. Kavka vd. [9], S235JR malzemesini farklı gaz debisi, ark voltajı, kesme akımı parametreleri kombinasyonlarında plazma ark tezgahında kesmişler ve metal erime oranı ve kesme genişliğini araştırmışlardır. Gaz debisi ve ark voltajı artışıyla kerf genişliği ve metal erime oranının azaldığını gözlemlemişlerdir. Uygun gaz debisi ile yaklaşık %20 enerji tasarrufu sağladıklarını belirtmişlerdir. J. Aldazabal vd. [10], S460M çeliğini 200 A kesme akımı, 131 V ark voltajı, 4,1 mm torç yüksekliği, 2200 mm/min kesme hızı ve 69 L/min gaz debisi parametrelerinde plazma ark tezgahında kesmişler ve ITAB ile mikro yapı değişikliğini incelemişlerdir. ITAB genişliğinin 700 µm olduğunu, kesilen kenar mikro sertliğinin çelik parçanın mikro sertliğinden daha fazla olduğunu ölçmüşlerdir. Y. H. Çelik vd. [11], farklı kalınlıklardaki S235JR sac malzemeleri farklı kesme akımı, kesme hızı ve ark voltajı parametrelerinde kesmişlerdir. Kesme akımı ve ark voltajının artışıyla kesme sıcaklığının arttığını, malzeme kalınlığı arttığında kesme sıcaklığının azaldığını belirtmişlerdir. Kesme hızı artışıyla kesme sıcaklığının azaldığını ve kesme akımı artışıyla yüzey pürüzlülüğünün artarken, ark voltajı artışıyla ise azaldığını tespit etmişlerdir. Kechagias J. Vd. [12], St37 çeliğini farklı kesme hızı, torç yüksekliği ve ark voltajı parametrelerinde kesmişler ve kesme hızı artışının boyutsal tamlığı kötüleştirirken, arc voltajı artışının iyileştirdiğini vurgulamışlardır. E. Kutlu vd. [13], plazma ark kesim işlemini araştırmışlar ve optimum kesme hızı değerinden düşük kesme hızlarında plazma arkının erittiği bölge yarık (çentik) aralığının arttığını ve geriye doğru eğri çiziklerin oluştuğunu vurgulamışlardır. Yüksek kesme hızlarında ise plazma arkının malzemeyi tüm kalınlık boyunca ergittiğini; fakat püskürtme işlemi tamamlamadan torcun hızlı ilerlemesi nedeniyle kesilen bölge ve alt kısmında tekrar katılarak yüzeyi kötüleştirdiğini vurgulamışlardır. B. Nedić vd. [14], S235 çeliğini farklı kesme akımı, nozul çapı ve kesme hızı kombinasyonlarında kesmişler, kesme hızı ve nozul çapı artışının yüzey pürüzlülüğünü artırdığını gözlemlemişlerdir. M. Ay vd. [15], Inconel 718 süperalaşımını plazma ark tezgahında kesmişler ve ITAB'de çatlakların olduğunu, kesme hızı artışıyla ITAB genişliğinin düştüğünü vurgulamışlardır. S. Sagar vd. [16], plazma ark kesme işleminde kesim kalitesini araştırmışlar ve kerf genişliği, yüzey pürüzlülüğü, gaz akış oranı parametrelerinin kesme kalitesinde ve ısıdan etkilenen bölgeni oluşumunda etkili parametre olduğunu vurgulamışlardır. İ. Ertürk vd. [17], çeliklerin kaynağında ITAB'nın mikro yapısını araştırmıştır. ITAB oluşumu esnasında kılcal çatlakların olduğunu ve dinamik yükler altında bu çatlakların ilerleyerek sistemlerin ömürlerini kısalttığını belirtmişlerdir. V.A. Kostin vd., [18] kaynaklı birleştirmede ITAB soğuma hızını araştırmış ve ITAB soğuma hızı farklılığının mikro yapıyı değiştirdiğini, soğuma hızı artışıyla mikro yapı sertliğinin arttığını gözlemişlerdir. R. O. Uzun vd., [19] kaynaklı birleştirmede ITAB ve IGB genişliğini araştırmışlar ve ısı girdisi azaldığında IGB ve ITAB genişliğinin azaldığını, ısı

girdisi artığında ise IGB ve ITAB genişliğinin arttığını tespit etmişlerdir. Letartürde plama ark kesim işlemi üzerine birçok çalışma mevcuttur ve genelde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmış, kesme akımı, kesme hızı, torç yüksekliği, gaz akış oranı, gaz basıncı vb. kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğünde etkili olduğu vurgulanmıştır. ITAB ve IGB oluşumu üzerine yapılan çalışmalar ise genelde kayanaklı birleştirme çalışmalarında olduğu görülmekte [17-19]; fakat plazma kesim işleminde yeteri kadar araştırılmamıştır. Bu nedenle, sanayi uygulamalarında Hardox 500 çeliği genelde plazma ark kesim yöntemiyle şekillendirilmekte olup, kesim işlemi sonrası oluşan ITAB ve IGB genişliğinin az olması oldukça önemlidir. Çünkü, Hardox 500 çeliğinin iş makinaları ve yüksek aşınma dayanımı gerektiren dinamik yükler altında çalışan makine parçaları (ekskavatör, darbeli kırıcılar, greyder bıçakları vb.) yapımında kullanılması ve ITAB' mikro çatlakların oluşması[16], IGB sertliğinin ana metal sertliğinden daha az olması makine parçalarının kullanım ömürlerini kısaltmaktadır. Plazma kesim işlemi sonrası pürüzlü yüzeylerin ve ITAB ile IGB'nin arzu edilen değerlerde olması için ikinci bir işleme ihtiyaç duyulmakta ve maliyetler yükseltmektedir. Bu nedenle, Hardox 500 çeliği plazma ark kesim yöntemiyle kesilmiş ve kesme akımı (A) ile kesme hızı (V) parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne, ITAB genişliğine ve IGB genişliğine etkisi araştırılarak, uygun kesme parametrelerin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

## 2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

Bu çalışmada 20 mm kalınlığında ve 500 HB sertliğinde yüksek aşınma direncine sahip Hardox 500 malzemesi kullanılmıştır. Hardox 500 çeliğinin kimyasal kompozisyonu %0,30 C, %0,60 Mo, %1,50 Ni, %1,50 Cr, %0, %0,70 Si, %1,60 Mn, %0,020 P, %0,010 S'den oluşmaktadır. Hardox 500 malzemesi 100x100x20 ebatlarında Ajan 260 marka CNC plazma ark tezgahında 5 farklı (725,750,775, 800 ve 850 mm/min) kesme hızı ve 2 farklı kesme akımı (130 A ve 260 A) değerlerinin kombinasyonlarında kesilmiştir. Kesme parametrelerinin seçimi, Ajan 260 marka CNC kontrol panosunun önerisi doğrultusunda yapılmış olup 775 mm/min kesme hızının iki alt (725 ve 750 mm/min) ve iki üst değeri (800 ve 850 mm/min) olan kesme hızları seçilmiştir. 10-20 mm kalınlığa kadar olan çelik malzemeler için önerilen kesme akımı 130 A seçilmiş, 20-30 mm kalınlıkta olan malzemeler için önerilen 260 A kesme akımı bir diğer kesme parametresi olarak tercih edilmiştir. Ark voltajı 123 Volt, plazma kesim oksijen debisi 16 Lt/min, oksijen gaz basıncı 4,22 bar, hava debisi 45 Lt/min, hava basıncı 1,84 bar ve torç

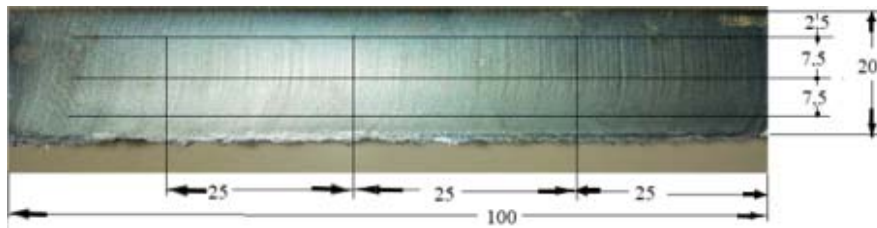
yüksekliği 3,5 mm olan kesme parametreleri plazma ark tezgahı kontrol panosunun önerisi doğrultusunda seçilmiş ve tüm deneylerde sabit tutulmuştur. Elektrot tipi (E1), nozul (N5), gaz yüzüğü (G1), kalkan (Shield) (S3) kodlarında torç malzemeleri kullanılmış olup, her bir deney için yeni (sıfır) torç kullanılmıştır. Kesme işleminden sonra elde edilen yüzeylerde, Mitutoyo SurfTest SJ-210 yüzey pürüzlülüğü cihazı ile, üst yüzeyden alt yüzeye doğru 2,5 mm, 10 mm ve 17,5 mm olmak üzere, üç farklı ölçüm hattı ile kesim işleminin başladığı noktadan kesim işlemini bitiş noktasına doğru 25 mm, 50 mm ve 75 mm mesafelerde, bu hattı kesen 9 adet ölçüm noktasından pürüzlülük değerleri (Ra) ölçülmüştür (Şekil 1).

Kesme parametrelerinin ITAB ve IGB genişliği ile mikro sertliğe etkisini incelemek için deney numuneleri SAPHIR 520 marka parlatma cihazında parlatılmıştır. %2 Ni ve alkol olan parlatma karışımında parlatılan yüzeyler kurutulduktan sonra Shutter marka optik mikroskopta mikro yapı fotoğrafları alınarak ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ısı geçiş bölgesi (IGB) genişlikleri ölçülmüştür (Şekil 2). ITAB ve IGB mikro sertlikleri DuraVision EMCO test cihazında ölçülmüştür.

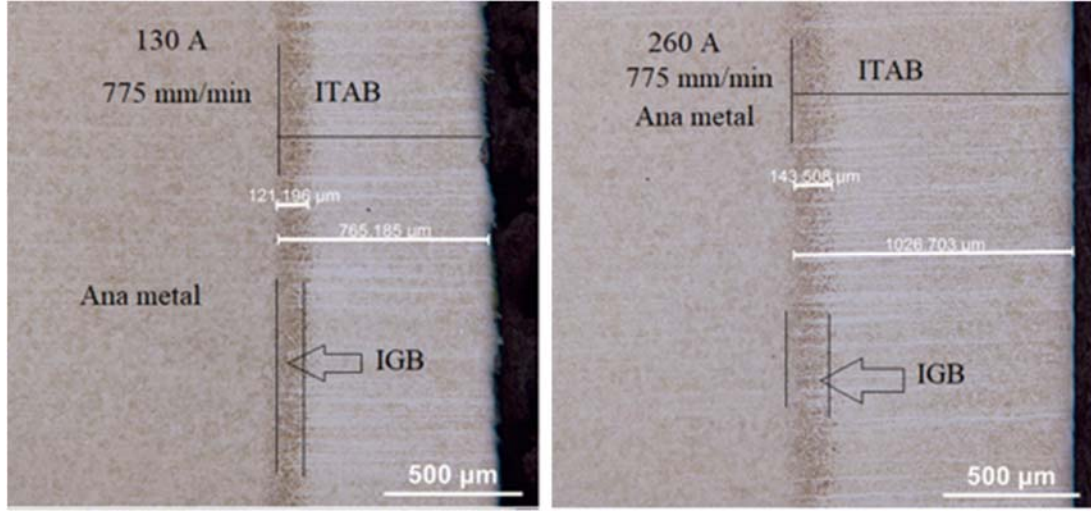
## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

### 3.1. Yüzey Pürüzlülüğü ( Surface Roughness)

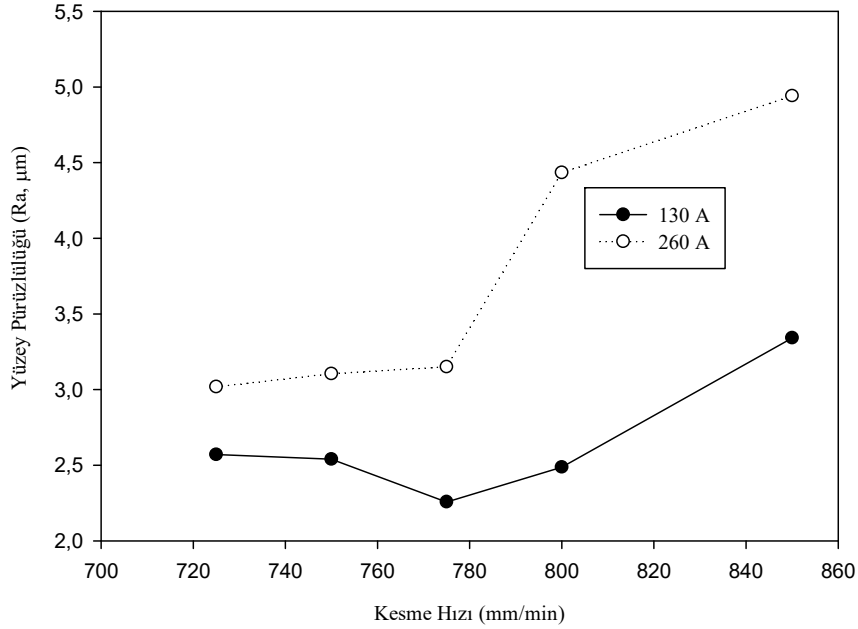
Hardox 500 çeliğinin 130 A ve 260 A kesme akımı ve beş farklı kesme hızı (725,750,775, 800 ve 850 mm/min) kombinasyonlarında plazma ark tezgahında kesilmesiyle elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 3'deki grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 3'deki grafikler incelendiğinde; 260 A kesme akımında yapılan deneylerin tümünde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri 130 A kesme akımında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinden daha fazla olmuştur. Bu durum; kesme akımının artmasıyla ergiyen metal malzeme miktarının artmasına ve bu ergiyen metal malzemenin kesim bölgesinden uzaklaştırılmasında yaşanan güçlüklerle yorumlanabilir. Plazma ark kesiminde torç içinden geçen basınçlı gaza verilen akım sonucu oluşan (plazma hali) yüksek sıcaklığın temas ettiği bölgede metal malzemeyi ergitmesi ve bu ergimiş metal malzemenin basınçlı gaz etkisiyle o bölgeden uzaklaştırılması işlemidir. Dolayısıyla, 260 A kesme şartlarında birim zamanda ergimiş metal malzeme miktarı 130 A kesme şartlarında ergimiş malzeme miktarı ve akışkanlığı daha fazla olmuş [9, 10] ve daha fazla miktarda ergimiş olan metal malzemenin kesim



Şekil 1. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) ölçüm noktaları (Measurement points of surface roughness (Ra))



Şekil 2. ITAB ve IGB genişlik ölçümü (Measurement of HAZ and HTZ width)



Şekil 3. Kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü (Surface roughness due to cutting speed)

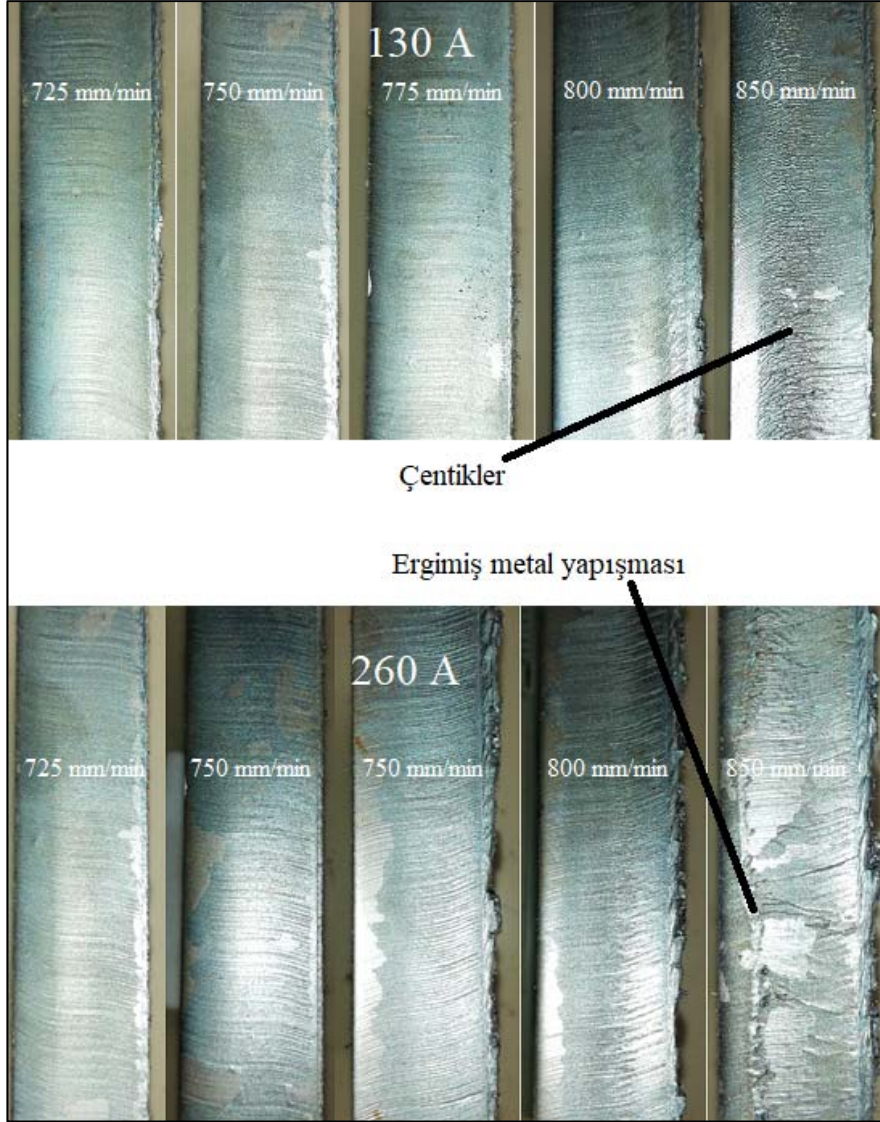
bölgesinden uzaklaştırılmasında gaz basıncı yetersiz kalmıştır. Gaz basıncının yetersizliğinden dolayı ergimiş metal malzeme kalıntıları kesim yüzeyinde kalarak yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olmuştur [1-12].

Şekil 3'deki grafikler kesme hızı artışı açısından incelendiğinde; 130 A ve 725 mm/min kesme hızında elde edilen yüzey pürüzlülüğü, 750 mm/min kesme hızı kesme şartlarında azalmıştır. Kesme hızı 775 mm/min olduğunda yüzey pürüzlülüğü en düşük değerlerde olurken, kesme hızı 800 mm/min olduğunda ise yüzey pürüzlülüğü artmış ve bu yüzey pürüzlülüğündeki artış kesme hızı 850 mm/min olduğunda da devam etmiştir. Bu durum; düşük kesme hızlarında akışkanlığı artmış olan ergimiş metal malzemenin kesim bölgesinden tamamen uzaklaştırılıp, gaz basıncının yüksek olmasından dolayı yüzeyde yarıkların (çentik)

oluşmasıyla açıklanabilir [4, 14]. Kesme hızının 775 mm/min olduğunda yüzey pürüzlülüğünün en düşük değerlerde olması ise ergimiş metal malzeme akışkanlığının ve miktarının azalmasından dolayı basınçlı gazın ergimiş metal malzemeyi tamamen kesim bölgesinden uzaklaştırmasıyla açıklanabilir. Plazma ark tezgahı CNC kontrol panosunun 20 mm kalınlığa kadar çelik malzemelerin kesimi için önerdiği kesme parametresi 130 A ve 775 mm/min kesme hızıdır. Dolayısıyla, plazma ark 775 mm/min kesme hızında daha az akışkanlığı ve daha az miktarında olan ergimiş metal malzemeyi kesme bölgesinden uzaklaştırırken, yüzeydeki yarıkların (çentik) dolmasına neden olmuştur. Uygun gaz basıncı nedeniyle ergimiş metal malzemenin uzaklaştırılması kolaylaşmış ve yüzeydeki yarıklar (çentik) ergimiş metal malzeme ile dolarak yüzey pürüzlülüğünün iyileşmesini sağlamıştır.

Kesme hızının 800 mm/min olmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki artışın, kesme hızının 850 mm/min olmasıyla daha da artması ise kesim yüzeyinden ergimiş metal malzemenin uzaklaştırılmasında yaşanan güçlükler yorumlanabilir [1-12]. Basınçlı gazın 800 mm/min kesme hızında birim zamanda ergittiği malzeme miktarı ve ergiyen malzemenin akışkanlığı ile kesme hızının 850 mm/min olduğu kesme hızında ergittiği metal malzeme miktarı ve ergiyen metal malzemenin akışkanlığı farklıdır. Basınçlı gaz, 800 mm/min kesme hızı kesme şartlarında birim birim zamanda 850 mm/min kesme hızı kesme şartlarından akışkanlığı ve miktarı daha fazla olan ergimiş metal malzemeyi kesme bölgesinden uzaklaştırmıştır. 850 mm/min hızı kesme şartlarında ise ergimiş metal malzemenin akışkanlığının daha düşük olması ve gaz basıncının yetersizliği nedeniyle ergimiş metal malzemenin tamamının kesme bölgesinden uzaklaştırılması güçleşmiştir. Gaz basıncının yetersiz kalması nedeniyle ergimiş metal malzeme kalıntılarının yüzeye yapışması yüzey

pürüzlülüğünü artırmıştır (Şekil 4). Kesme akımının 260 A olduğu kesme şartlarında gaz basıncı yetersizliği daha net görülmektedir (Şekil 4). Kesme hızının 725, 750 ve 775 mm/min olduğu kesme şartlarında yüzey pürüzlülüğü değerlerinde kayda değer bir artış olmamış; fakat kesme hızının 800 mm/min olmasıyla yüzey pürüzlülüğü %128 artışla 4,430  $\mu\text{m}$  olmuştur. Kesme hızı 850 mm/min olduğunda ise %179 artış oranıyla 4,941  $\mu\text{m}$  olmuştur. Bu durum; kesme hızı artışıyla birlikte ergimiş metal malzeme akışkanlığının az olması ve gaz basıncının bu ergimiş metal malzemeyi kesme bölgesinden uzaklaştırmakta zorlanmasına yorumlanabilir [1-12]. Plazma ark kesim esnasında kesme hızı artışıyla birim zamanda daha büyük alanda metal malzemeyi eritmeye çalışmış; fakat ergimiş metal malzemenin akışkanlığı azalmıştır. Plazma ark basıncının ise birim zamanda daha büyük alandan ergimiş metal malzemeyi kesme bölgesinden uzaklaştırmak için birim alandan ergimiş malzemeyi uzaklaştırmak için harcanan basınç azalmıştır. Ergimiş metal malzeme



Şekil 4. 130 A ve 260 A kesme şartlarında oluşan yüzeyler (Surfaces formed under 130 A and 260 A cutting conditions)

akışkanlığının azalması ve gaz basıncının yetersiz olması, kesilen yüzeye ergimiş metal malzeme yapışmalarına sebep olmuş ve yüzey pürüzlülüğünü artırmıştır. Kesme hızı 775 mm/min ile 130 A kesme akımı kesme şartlarında en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri elde edilirken, en kötü yüzey kalitesi 850 mm/min kesme hızı ve 260 A kesme akımı kesme şartlarında elde edilmiştir.

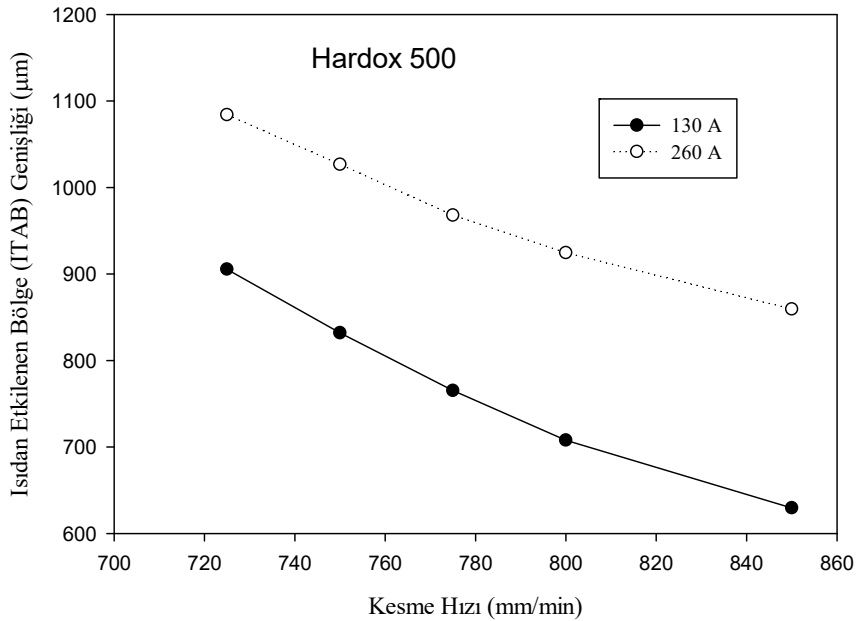
### 3.2. Isıdan Etkisi Altındaki Bölge (ITAB) (Heat Affected Zone (HAZ))

20 mm kalınlığındaki Hardox 500 çeliğinin iki farklı kesme akımı ve beş farklı kesme hızı kombinasyonlarında plazma ark tezgahında kesilmesiyle, işlem sonrası ısıdan etkilenen bölge genişlikleri ölçülüp elde edilen veriler Şekil 5'deki grafiklere aktarılmıştır. Şekil 5'deki grafikler incelendiğinde; 130 A kesme akımında yapılan işlemlerde oluşan ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) genişliği 260 A kesme akımı kesim şartlarında elde edilenlerden daha küçüktür. Bu durum; artan kesme akımına bağlı artan ısıyla ITAB genişliğinin artmasına atfedilebilir. Kesme akımı artışıyla birim zamanda kesme bölgesi ve çevresine ısı girdisi artmış ve buna bağlı olarak ta ısının etkilediği kesim bölgesi çevresi alanı büyümüştür. 260 A kesim şartlarında ısının etkilediği alanın büyümesi, ITAB genişliği artışı sağlamıştır (Şekil 6) [3, 11, 12, 16-20]. Kesme akımının 130 A kesme şartlarında ortalama ITAB genişliği 767,4  $\mu\text{m}$  iken, kesme akımının 260 A olduğu kesme şartlarında ortalama ITAB genişliği %22 artarak 987  $\mu\text{m}$  olmuştur.

Şekil 5'deki grafikler kesme hızı artışı açısından incelendiğinde; 130 A ile 260 A kesme şartlarında kesme hızı artışı ITAB genişliğinin artmasına yol açmıştır (Şekil 6). Bu durum; artan kesme hızıyla birlikte kesme bölgesine ısı girdisinin azalmasıyla açıklanabilir. Kesme hızı artışıyla

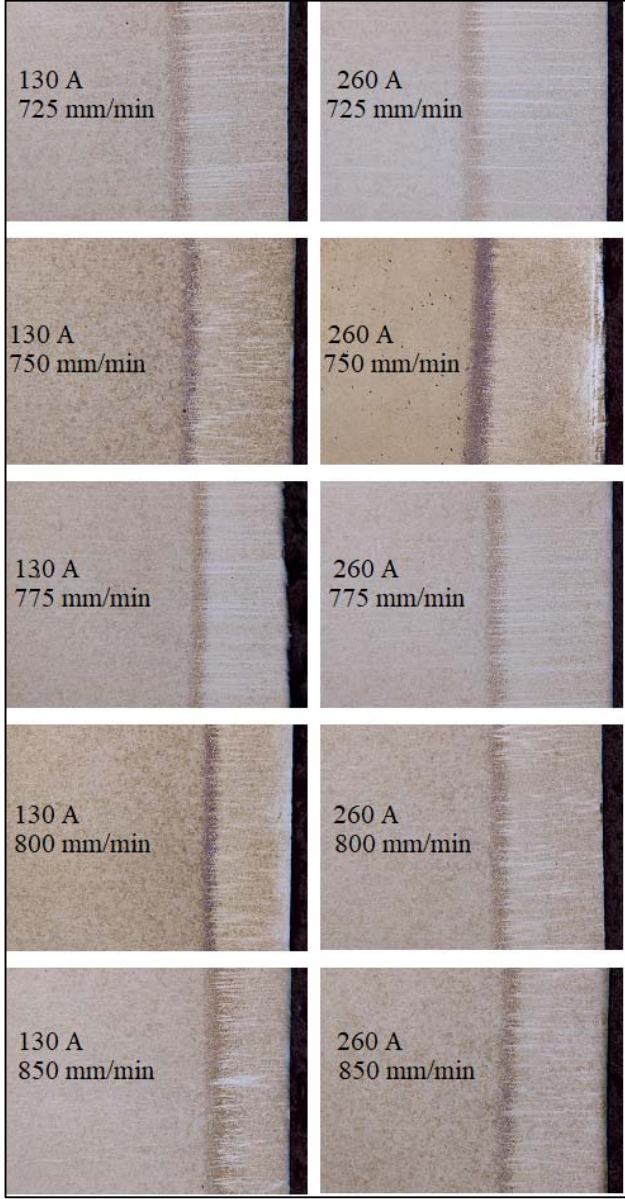
birim zamanda daha uzun mesafede kesme işlemi yapılmış ve birim alana tekabül eden ısı girdisi azalmıştır. Isı girdisindeki azalma kesme bölgesi çevresinin daha dar bölgesini etkilemiş [16-20] ve buna bağlı olarak ta ITAB genişliği azalmıştır. 130 A ve 725 mm/min kesme hızında ısıdan etkilenen bölge genişliği 905  $\mu\text{m}$  iken, kesme hızının 750 mm/min 831  $\mu\text{m}$ , 775 mm/min kesme hızında 765  $\mu\text{m}$ , 800 mm/min kesme hızında 707  $\mu\text{m}$ , 850 mm/min kesme hızında ise 629  $\mu\text{m}$  olmuştur. 260 A ile 725 mm/min kesme hızında ise ısıdan etkilenen bölge genişliği 1084  $\mu\text{m}$  iken, kesme hızının 750 mm/min 1042  $\mu\text{m}$ , 775 mm/min kesme hızında 1026  $\mu\text{m}$ , 800 mm/min kesme hızında 924  $\mu\text{m}$ , 850 mm/min kesme hızında ise 859  $\mu\text{m}$  olmuştur. ITAB genişliğinin en az olduğu kesme kombinasyonu 130A ve 850 mm/min kesme hızı olurken, ITAB genişliğinin en çok olduğu kesme kombinasyonu 260 A ve 725 mm/min kesme hızı olmuştur.

Şekil 7'deki grafikler ısı geçiş bölgesi (IGB) genişliklerini göstermektedir. Şekil 7'deki grafikler incelendiğinde; kesme akımı artışıyla ısı geçiş bölgesi (IGB) genişliği artmış, kesme hızı artışıyla daralmıştır. Bu durum ITAB genişliklerinin oluşmasındaki durumla benzerlik arz etmektedir. Kesme akımı artışıyla artan ısı girdisinden dolayı ısı girdisinin etkilediği alan genişlemiştir. Isının etkilediği alan büyümüş ve IGB genişliğinin artmasına neden olmuştur. Kesme hızı artışıyla ise kesme bölgesini etkileyen ısı girdisi azalmış ve IGB genişliğinin azalmasına neden olmuştur [16-20]. 130 A ve 725 mm/min kesme hızında IGB genişliği 156  $\mu\text{m}$  iken, kesme hızının 750 mm/min 138  $\mu\text{m}$ , 775 mm/min kesme hızında 121  $\mu\text{m}$ , 800 mm/min kesme hızında 117  $\mu\text{m}$ , 850 mm/min kesme hızında ise 98  $\mu\text{m}$  olmuştur. 260 A ve 725 mm/min kesme hızında ise IGB genişliği 184  $\mu\text{m}$  iken, kesme hızının 750 mm/min 149  $\mu\text{m}$ , 775 mm/min kesme hızında 141  $\mu\text{m}$ , 800 mm/min kesme hızında 135  $\mu\text{m}$ , 850 mm/min kesme hızında ise 115  $\mu\text{m}$  olmuştur. En az IGB



Şekil 5. ITAB genişliği (HAZ width)

genişliği 130 A ve 850 mm/min kesme hızı şartlarında elde edilirken, en büyük IGB genişliği 260 A ve 725 mm/min kesme şartlarında elde edilmiştir

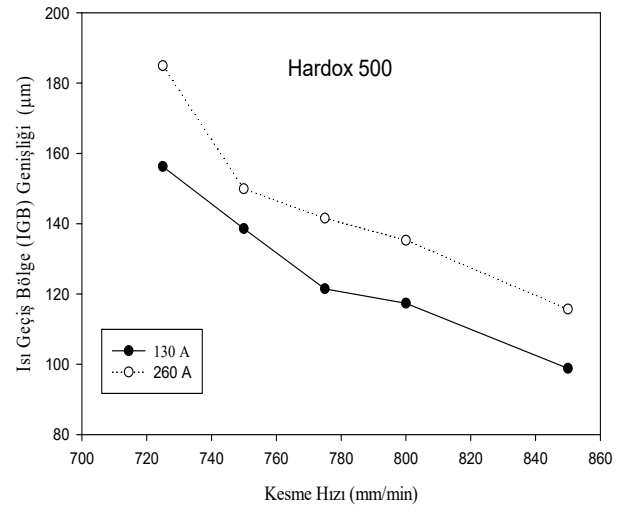


şekil 6. ITAB mikro yapışı (HAZ microstructure).

### 3.3. Mikro sertlik (Micro hardness)

Her bir deney numunesinin ITAB'nın mikro sertlikleri, ITAB başlangıç noktasından ana metal yönünde 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1, 1,2, 1,4, 1,6, 1,8, 2, 2,2, 2,4 ve 2,6 mm mesafelerde ölçülmüş ve elde edilen veriler şekil 8'deki grafiklerde gösterilmiştir. şekil 8'deki grafikler incelendiğinde; tüm deney numunelerinde ITAB başlangıç bölgesinden ana metale doğru mikro sertliklerin azaldığı görülmektedir. Bu durum; ısı girdisi miktarına bağlı soğuma hızı süresiyle açıklanabilir. Plazma arkı kesme bölgesindeki metali eritmiş ve kesme bölgesinde eritme yapan ısı, kesme bölgesinin çevresine yayılmıştır. Kesme işlemi bitiminde

hava ile doğrudan temas eden kesilen bölgenin yüzeyi hızlı soğumuş ve ana metal sertliğinden daha sert mikro yapı oluşturmuştur. ITAB bölgesi soğuma hızı ana metal birleşim yönünde yavaşlamış ve kesilen yüzey başlangıcından (ITAB başlangıcından ana metal yönünde) ana metal birleşim bölgesine kadar soğuma hızı giderek azalmıştır. Soğuma hızının yavaşlaması ITAB bölgesinin ana metal yönünde mikro sertliğinin azalmasına neden olmuştur. Mikro sertlikteki azalma ısı geçiş bölgesi orta noktalarına kadar devam etmiş ve ana metal yönünde artış sağlayarak ana metal sertliğine ulaşmıştır. Isı Geçiş Bölgesi (IGB) orta kısımlarında en düşük mikro sertliğe sahip olması ise kesim işlemi sonrası en uzun sürede soğumanın olduğu bölge olmasıyla yorumlanabilir [7, 17-21].

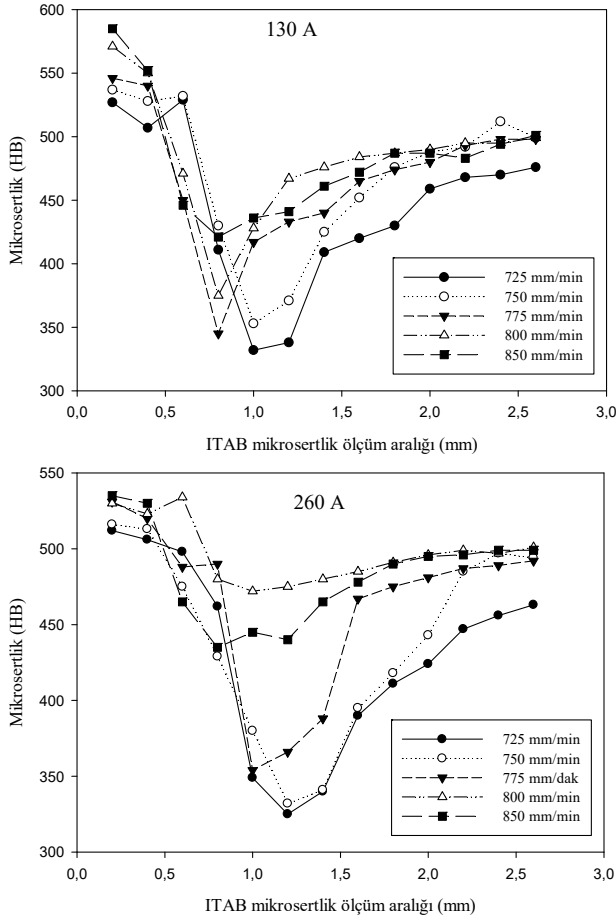


şekil 7. Isı geçiş bölge genişliği (IGB)

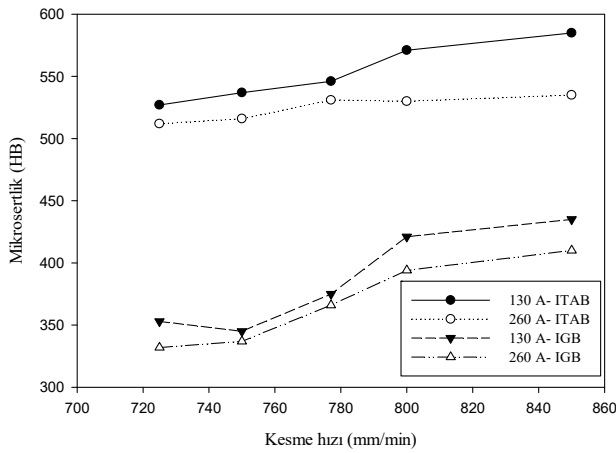
(Heat transfer zone width (HTZ))

şekil 9'daki grafikler kesme akımı artışı ve kesme hızı artışına bağlı ITAB ve IGB mikro sertliklerini göstermektedir. şekil 9'deki grafikler incelendiğinde ITAB ve IGB mikro sertlik değerleri kesme akımı artışıyla azalma gösterirken, kesme hızı artışıyla artmıştır. Bu durum; kesme akımı artışıyla artan sıcaklığa bağlı soğumanın—uzun sürmesine, kesme hızı artışıyla ise ITAB ve IGB'nin hızlı soğumasıyla açıklanabilir [12, 19]. Akımın 130 amperden 260 ampere çıkmasıyla artan ısıdan dolayı ITAB ve IGB'nin soğuma hızı yavaşlamıştır. Soğuma hızının yavaş olması bu bölgelerdeki mikro sertlik değerlerini azaltmıştır. Kesme hızı artışında ise daha az ısı girdisi olmuş ve ITAB ve IGB'nin soğuma hızı artarak mikro sertlik değerlerinin artışına neden olmuştur. 130 A ve 725 mm/min kesme hızı kombinasyonunda 527 HB olan ITAB mikro sertlik değeri, kesme hızı 850 mm/min olduğunda 585 HB olmuştur. 260 A ve 725 mm/min kesme hızında ise 512 HB olan ITAB mikro sertlik değeri, kesme hızının 850 mm/min olmasıyla 535 HB olmuştur. IGB mikro sertli değerleri ise 130 A ile 725 mm/min kesme hızında 353 HB iken 850 mm/min kesme hızında 435 HB, 260 A ve 725mm/min kesme hızı kombinasyonunda 332 HB iken, kesme hızının 850 mm/min olmasıyla 410 HB olmuştur.





Şekil 8. ITAB mikro sertlik (HAZ micro hardness)



Şekil 9. ITAB ve IGB mikro sertlik (HAZ and HTZ micro hardness).

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada 20 mm kalınlığındaki Hardox 500 çeliği 130 A ve 260 A kesme akımı ile 725, 750, 775, 800 ve 850 mm/min kesme hızı parametreleri kombinasyonunda plazma ark tezgahında kesilerek, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) genişliği, ısı

geçiş bölge (IGB) genişliği ve mikro sertliğe etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Kesme akımı artışının yüzey pürüzlülüğünü artırdığı tespit edilmiştir.
- 260 A akımla yapılan deneylerde kesme hızı artışının yüzey pürüzlülüğünü artırdığı gözlemlenmiştir. En kötü yüzey kalitesi 850 mm/min kesme hızında elde edilmiştir.
- 130 A akımla yapılan deneylerde, 775 mm/min kesme hızına kadar kesme hızı artışı yüzey kalitesini iyileştirirken, bu kesme hızından sonra kesme hızı artışı yüzey kalitesini kötüleştirmiştir. En iyi yüzey kalitesi 775 mm/min ile 130 A kesme kombinasyonunda elde edilmiştir.
- Kesme akımı artışı ısı ITAB ve IGB genişliğini artırırken, kesme hızındaki artış bu bölgelerin genişliğini azaltmıştır. ITAB ve IGB genişlikleri 130 A ve 850 mm/min kesme kombinasyonunda en az, 260 A ve 725 mm/min kesme kombinasyonunda ise en yüksek değerde olmuştur.
- Kesme akımı artışı ITAB mikro sertlik değerlerini azaltırken, kesme hızındaki artış ITAB mikro sertlik değerlerini artırmıştır.
- ITAB mikro sertliği ana metal sertliğinden daha yüksek olup ITAB başlangıcından IGB ortasına kadar mikro sertlik azalmış ve mikro sertlikteki azalma ana metal sertliğinin altına kadar düşmüştür.
- ITAB ve IGB için en düşük mikro sertlik değeri, 725 mm/min ve 260 A kombinasyonunda 512 HB olarak, en yüksek mikro sertlik değeri ise 130 A ve 850 mm/min kesme hızı kombinasyonlarında 585 HB olarak elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Apay S., Egeliolu Ö., İnce yapı çeliğinin CNC plazma ile kesim işlem parametrelerinin yüzey kalitesine etkisi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, (6) 565-573. 2018.
2. Das M. K., Kumar K., Barmana T. K. ve Sahoo P., Optimization of MRR and surface roughness in PAC of EN 31 steel using weighted principal component analysis, Procedia Technology (14) 211 – 218. 2014.
3. Salonitis K., Vatousianos S., Experimental investigation of the plasma arc cutting process, Procedia CIRP, (3) 287 – 292. 2012.
4. Lazarević A., Experimental research of the plasma arc cutting process, Original Scientific Paper, Paper number: 12(4), 304, 291 -296 doi:10.5937/jaes12-6778. 2014.
5. Samardžić I., Stoić A., Klarić Š., Pavić J., Possibilities of cost effective plasma cutting application, 4th DAAAM International Conference on Advanced Technologies for Developing Countries September 21-24, Slavonski Brod, Croatia, 2005.
6. Tsiolikas A., Kechagias J., Salonitis K., Optimization of cut surface quality during CNC plasma arc cutting process, International Journal of Systems Applications, Engineering & Development, 10, 2016.
7. Teodor T.P., Mihai L., Elena M.P., Characterization of plasma cut surfaces with water bed welding metallic materials, Advanced Materials Research, 1029, 50-55, 2014.

8. Skoczylas A., Zaleski K., Effect of plasma cutting parameters upon shapes of bearing curve of c45 steel surface, *Advances in Science and Technology Research Journal*, 9, 27, 78–82. 2015.
9. Kavka T, Tossen S., Maslani A., Konrad M., Pauser H., Stehrer T., Experimental investigation of energy balance in plasma arc cutting process, *Journal of Physics: Conference Series* 5 (11), 012067, 2014.
10. Sunjuq W. K. W., Yurtkuran E., Özsunar A. K., Ünal R., Investigation of the effect of gas flow rate and electric current on plasma jet temperature and velocity at torch exit by CFD analysis, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (1), 361-369, 2018.
11. Aldazabal J., Meizoso A. M.-, Klimpel A., Bannister A., Cicero S., mechanical and microstructural features of plasma cut edges in a 15 mm thick s460m steel plate, *metals*, (8) 447, doi:10.3390/met8060447, 2018
12. Çelik Y. H., Özek C., CNC Plazma ile kesmede işleme parametrelerinin kesme kalitesine etkisinin araştırılması, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May, Elazığ, Turkey, 2011.
13. Kechagias J., Petousis M., Vidakis N., Mastorakis N., Plasma arc cutting dimensional accuracy optimization employing the parameter design approach, *AMCSE 2016, ITM Web of Conferences* 9, 03004, 2017.
14. Kutlu A.E., Monno M., Bini R., Plazma ile kesme metoduna genel bir bakış, *Politeknik Üniversitesi, Milano, Mühendis ve Makine*, 46, 541, 21-29, 2005.
15. Nedić B., Janković M., Radovanović M., Lakić G. G., Quality of plasma cutting, *Serbian Tribology Society, 13th International Conference on Tribology, Kragujevac, Serbia*, 15 – 17 May 2013.
16. Ay M., Haşçalık A. Çaydaş U., Yüksek toleranslı plazma ark ile kesme parametrelerinin araştırılması, 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 503-514,04-05 Ekim, Ankara.
17. Sagar S. P., Inamdar K. H., Factors affecting quality of plasma arc cutting process: A Review, *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, 4, 12, 2016.
18. Ertürk, İ., Durukan T., Şentürk B., Çeliklerin kaynağında ısıdan etkilenen bölgenin mikro yapı ve özelliklerinin tahmini, *X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, 2017.
19. Kostin V.A, Grigorenko G.M., Solomijchuk T.G., Zhukov V.V., Zuber T.A, Microstructure of HAZ metal of joints of high-strength structural steel weldox 1300, scientific and technical, *The Paton Welding Journal*, 3, 6-13. 2013.
20. Uzun R. O., Keleş Ö., Investigation effect on welding quality of laser welding parameters, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27 (3), 509-517, 2012.
21. Erden M. A., Gündüz S., Çalgül U., Boz M., Investigation of hardness and microstructure properties of non alloyed and hardox steel combined with submerged arc welding method, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (1), 221-226, 2018.