

Melih Bayramođlu
Doçent

M. Merter Çankaya
Araştırma Görevlisi

Makina Mühendisliđi Bölümü
Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Çukurova Üniversitesi
01330 ADANA

Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Plazma Arkı ile Kesilmesi

Bu çalışmada hava plazma sistemi kullanılarak farklı kalınlıklardaki paslanmaz çelik levhalar değişik kesme hızlarında kesilmiştir. Kesilen levhalarda kesme genişliği, yüzey pürüzlülüğü, kesme kenarı açılı ve ısı tesiri altındaki bölge genişlikleri ölçülerek kesme hızının bu değerler üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

GİRİŞ

Plazma ile malzemelerin kesilebileceği ilk olarak 1950'li yılların başında fark edilmiştir. Başlangıçta bu yöntem daha çok paslanmaz çeliklerin, alüminyum ve diğer demir olmayan metallerin kesilmesi için oksii-asetilen ile kesme yöntemine alternatif bir yöntem olarak kullanılmıştır [1]. Son yıllarda, plazma arkı ile kesme yöntemi, sade karbonlu, alaşımlı ve paslanmaz çeliklerin, nikel ve kobalt bazlı süper alaşımların ve alüminyum ve bakır gibi demir olmayan metallerin kesilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle, paslanmaz çelik ve alüminyum gibi malzemelerin yüzeyinde oluşan ve ana metali korozyondan koruyan oksit ve nitrit tabakalarından dolayı kesilmesi zor olan bu gibi metallerin kesilmesinde plazma arkı ile kesme başarılı bir şekilde kullanılabilir.

Plazma arkı ile kesme yönteminde, plazma bir seri olaydan sonra oluşmaktadır. Gaz torçun içerisine gönderilir. Torçun içerisindeki tungsten elektrot ile meme arasında yüksek frekans oluşturulur ve düşük akımlı pilot ark yakılır. Pilot ark tungsten elektrottan iş parçasına doğru bir iyonizasyon yolu oluşturur. Pilot arkin oluşturduğu elektrik devresi içerisine giren gaz iyonize olur. İyonize olmuş gaz memenin ucundaki orifisten geçerken iyonizasyon düzeyi daha da yükselir. Memeden çıkan gaz jetinin sıcaklığı 16650-27770°C arasındadır. Bu gaz jeti metali buharlaştırır ve ergitir [2,3].

Plazma kesme yönteminde iki çeşit arkten yararlanır. Bunlar transfer olmuş ve transfer olmamış arklardır. Transfer olmuş arkta iş parçası elektriksel olarak pozitifdir. Ark torçun içindeki elektrottan iş parçasına doğru gönderilir. Bu durum için plazma ark deyimini kullanılır. Transfer olmamış arkta ise, ark

elektrot ile torç memesi arasında oluşturulur ve daha sonra yalnızca gaz jeti dışarıya çıkartılır. Bu durum için de plazma jeti deyimini kullanılır. Plazma jetinde üretilen ısının büyük çoğunluğu meme tarafından alındığı için kesme işleminde etkin olarak kullanılamaz. Bu sebeple metallerin kesilmesinde plazma ark yöntemi kullanılır. Plazma jeti ise daha çok iletken olmayan malzemelerin kesilmesinde kullanılır.

Plazma arkı ile kesme konusunda yapılan çalışmalar daha çok, gaz seçimi ve üretime olan etkileri [1,4], yöntemin diğer termik kesme yöntemleri ile karşılaştırılması [5,6,7], yöntemin su altında kullanımı [8], yeni torç sistemlerinin geliştirilmesi ve torç kullanım ömrünü artırmak [9,10], daha yoğun plazma arkı oluşturmak [11], kontrol sistemlerinin kullanımı ile sistemin otomasyonu [12], ve çapak oluşumu [13] gibi konularda yapılmıştır. Paslanmaz çeliklerin plazma arkı ile kesilmesi konusunda daha önce yapılan çalışmalar, genellikle argon-hidrojen karışımları ve nitrojen gibi gazların plazma gazı olarak kullanılması üzerinde yoğunlaşmıştır [4,14,15,16]. Oksitleyici ortamda kullanılan saf tungsten elektrodların hızlı bir şekilde aşınmasından dolayı bu gibi ortamlarda hafniyum veya zirkonyum alaşımlı su soğutmalı özel elektrodların kullanımı ile elektrod ömrünün önemli derecede arttığı belirtilmiştir [4,5]. Fakat, bu gazların kullanılması ile kesme işleminin maliyeti artmaktadır. Hava düşük akım ihtiyacı ve ucuz olması nedeniyle çoğunlukla sade karbonlu çelkiler ve düşük alaşımlı çelikler için kullanılsa da, özellikle ülkemizde, paslanmaz çelikler için de yaygın olarak kullanılmaktadır [14, 16, 17]. Bu çalışmada, paslanmaz çelik malzemelerin hava plazma sistemlerinde kesilmesi ile elde edilecek kesme kalitesinin araştırılması amaçlanmıştır.

DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

Plazma arkı ile kesilmiş parçalarda yüzey kalitesini etkileyen en önemli faktörlerden birisi kesme hızıdır. Bu amaçla, farklı kalınlıklardaki malzemeleri değişik doğrusal hızlarda titreşimsiz olarak kesebilecek uygun bir deney düzeneği kurulmuştur.

Deney düzeneği esas olarak, plazma kesme makinası, hava kompresörü, malzeme masası, torç taşıyıcısı ve bir torna tezgahından oluşmaktadır. Plazma kesme makinası, SAF Nertazip 520 Sr marka Hava-Plazma kesme makinası olup, plazma gazı ve soğutucu gaz olarak hava kullanılmaktadır ve 0.5-20 mm kalınlığındaki bütün iletken malzemeleri kesebilecek kapasitededir. Kesilecek levha kalınlığına bağlı olarak, torçta iki farklı orifis çapına sahip meme kullanılmıştır. 0.5-5 mm kalınlığındaki malzemelerin kesiminde 1 mm orifis çapına sahip meme, 3-20 mm kalınlığındaki malzemeler için ise 1.2 mm orifis çapına sahip meme kullanılmıştır. Plazma gazı olarak kullanılan hava basıncı ortalama 7 bar olacak şekilde ayarlanmıştır. Deneyler esnasında kullanılan farklı hız değerleri torna tezgahının dış açma konumundaki hatve oranlarının değiştirilmesi ile sağlanmıştır.

Yapılan deneylerde 1, 1.5, 2, 3 ve 10 mm kalınlığındaki östenitik paslanmaz çelik levhalar kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan paslanmaz çelik levhaların kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. Kesme işlemleri esnasında levhalar malzeme masasına rijit bir şekilde bağlanmış, çalışma yüksekliği, memenin orifis çapı ve akım değerleri makinanın çalışma şartlarına ve levha kalınlığına uygun olarak ayarlanmıştır. Malzemenin cinsine ve kalınlığına bağlı olarak seçilen değişik hızlarda kesme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan paslanmaz çelik malzemelerin kimyasal bileşimi (%)

Element	Oran (%)	Element	Oran (%)
C	0.05	Ni	8.31
P	0.03	Cu	0.40
Mo	0.19	Mn	1.71
Co	0.15	Cr	18.13
Si	0.56	Al	0.005
S	0.001	Nb	0.02

Kesme kenarı açılarının ölçülmesi için levhalardan enine kesit alınarak sağ ve sol eğim açıları Mitutoya profil projektörü ile ölçülmüştür. Kesilen levhalarda kesme kenarının üst köşesinde yuvarlaklaşma olup olmadığı ise stereoskopik mikroskop altında kontrol edilmiştir.

Değişik hızlarda kesilen paslanmaz çelik levhalarda, plazma arkının etkisi ile kesme kenarında oluşan Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) genişliğinin ölçülebilmesi ve oluşabilecek krom karbür çökelmesinin belirlenebilmesi amacıyla numunelerde mikroyapı incelemesi yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Plazma arkı ile kesme işleminde elde edilen yüzey kalitesi, kesme genişliği, yüzey pürüzlülüğü, kenarların eğim açıları, üst kenarın keskinliği, çapak oluşumu ve ITAB genişliği gibi parametrelere bağlı olarak değerlendirilir. Bu nedenden dolayı, kesilen levhalarda bu parametrelerin ölçülmesi ile farklı şartlarda elde edilen yüzey kaliteleri karşılaştırılmıştır ve en uygun kesme hızı değerleri tespit edilmiştir.

Kesme Genişliği

Yapılan deneyler sonucunda değişik hızlarda kesilen levhalarda ölçülen kesme genişliği değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Kesilen levhalarda kesme genişliklerinin malzeme kalınlığı ile arttığı gözlenmiştir. Bunun nedeni malzeme kalınlığı arttıkça, orifis çapı daha büyük olan memelerle kesme işlemi yapılması ve kesme hızının azalmasıdır. Kesme genişliği değerlerinin kesme hızı azaldıkça az da olsa artmakta olduğu görülmüştür. Bu artışın sebebi kesilen parçada kesme yüzeyinin plazma arkının ısı ile daha çok işlenmesidir.

Tablo 2. Farklı hızlarda oluşan minimum ve maksimum kesme genişlikleri

Malzeme	Paslanmaz Çelik			
	1.5		10	
Kesme Hızı (m/dak)	1.9	1.7	0.6	0.5
Kesme Genişliği (mm)	1.4	1.6	2.2	2.4

Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü plazma gazının cinsi ve basıncı, plazma yöntemi, kesme hızı ve çalışma yüksekliği ile ilişkilidir. Bu çalışmada, plazma yöntemi, plazma gazının cinsi ve çalışma yüksekliği sabit tutularak farklı kalınlıklardaki levhalar için değişik kesme hızlarında ve gaz basınçlarında deneyler yapılmış ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri incelenmiştir.

Gaz basıncının düşük olması durumunda, kesilen parçada ergitilen metal talaşları plazma jeti ile tam olarak üflenip uzaklaştırılmadığı için yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlenmiştir (Şekil 1a). Uygun gaz basıncı ile kesilen yüzey ise daha az pürüzlüdür (Şekil 1b). Gaz basıncının çok yüksek olması durumunda ise ark fazla soğutulur ve etkisini kaybeder [4].

Deneysel çalışmalarda kullanılan 1, 1.5, 2, 3 ve 10 mm kalınlıklardaki levhalar için optimum hız değerleri sırası ile ortalama 5, 1.9, 1.4 ve 0.6 m/dak olarak bulunmuştur. Optimum değerlerin altında ve üstünde yapılan kesme işlemlerinden elde edilen numuneler incelenerek, kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. Düşük hızlarda yapılan kesme işlemlerinde, plazma ark sütunundan daha geniş kesme

genişlikleri elde edildiği için, malzemenin kenarlarının plazma jeti tarafından iyice işlenemediği ve yüzeyin pürüzlü kaldığı görülmüştür (Şekil 2a). Çok yüksek hızlarda ise plazma jetinin kesme yüzeyini tam olarak işleyemeden o bölgeyi terketmesi nedeni ile yüzeyin pürüzlü olarak kaldığı görülmüştür (Şekil 2b).

Kenar Açılırları

Plazma arkı ile kesme işleminde, arkın en dıştaki akım çizgileri enerjilerini malzemeyi ergitip, buharlaştırmaya harcadıklarından kaybolurlar. Bu olay arkı daraltır ve ark malzemenin alt kenarından daralarak çıkar. Dolayısıyla kesilen parçada alt ve üst kesme genişlikleri farklı olur ve kenarlar eğimli olarak işlenir.

Yapılan deneylerde ölçülen açı değerleri incelendiğinde, sol kenardaki açılardan sağ kenardaki açılardan fazla olduğu görülmüştür. Buna plazma gazının torça teğetsel olarak gönderilmesi ile elde edilen girdap sebep olmaktadır. Bu çalışmalarda kullanılan hava plazma sisteminde elde edilen sağ açı değerleri, daha önce bu konuda yapılan çalışmalarda kullanılan argon hidrojen karışımı gazlar ile [2,3] elde edilen sağ açı değerleri ile benzerlik göstermektedir. İnce kesilli levhaların kesilmesinde oluşan yüksek sağ açı değerleri ise kullanılan çalışma yüksekliğinin fazla olduğunu göstermektedir. Çalışma yüksekliğinin parça kalınlığına göre daha hassas bir şekilde ayarlanması ile bu problem giderilebilir. Bu çalışmalar sırasında elde edilen sol açı değerleri ve daha önce yapılan çalışmalarda [2,3] elde edilen sol açı değerleri birbirlerine göre farklılık göstermektedir. Bu durum deney koşullarının farklı olmasından veya deneylerde kullanılan torçlarda gazın girdap etkisinin farklı olmasından kaynaklanıyor olabilir. Plazma gazının torça teğetsel olarak gönderildiği yöntemlerde sol kenar artık kenar olarak değerlendirilir. Bu nedenle bu kenarda ölçülen açı değeri fazla bir anlam ifade etmemektedir.

Tablo 3. Farklı hızlarda oluşan minimum ve maksimum kenar açıları

Malzeme	Paslanmaz çelik									
	12					22				
Akım (A)	12					22				
Kalınlık (mm)	1	1.5	2	3	10	1	1.5	2	3	10
Kesme hızı (m/dak)	4.7	4.8	1.8	1.9	1.3	1.4	0.7	0.8	0.5	0.6
Sol açı (derece)	30	32	22	27	22	33	10	24	12	24
Sağ açı (derece)	16	19	10	14	1	4	1	5	1	5

Tablo 3'de görüldüğü gibi kesme kenarı açıları, kesme hızının artması ile artmaktadır. İnce levhalarda yapılan deneylerde kesme hızları yüksek olduğundan elde edilen açı değerlerinin, düşük hızlarla kesilen kalın levhalarda elde edilen açı değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. Düşük hızlarla kesme işlemi yapıldığında, hemen hemen dik kesme kenarları elde

edilebilir, fakat işlemin süresi uzar ve malzeme plazma arkının ısısından çok fazla etkilendir.

Köşelerin Keskinliği

Bu çalışmada kesilen parçalarda yapılan incelemelerde üst köşede yuvarlaklaşma oluşumuna rastlanmamıştır. Daha önce bu konuda yapılan çalışmalarda [15] bu olaya yüksek kesme hızlarında ve çalışma yüksekliğinin fazla olması durumunda rastlanabileceği bildirilmiştir.

Çapak Oluşumu

Bütün ısı kesme yöntemlerinde olduğu gibi plazma arkı ile kesilen yüzeylerde de çapak oluşabilir. Yapılan incelemelerde, ideal hız değerlerinden daha düşük ve daha yüksek hızlarla kesme yapıldığında, kesilen yüzeyde oluşan çapak miktarının fazla olduğu gözlenmiştir. İdeal hız değerlerinde ise çapak oluşumuna hemen hemen hiç rastlanılmamıştır. Bu sonuç daha önce yapılan çalışmalarda da belirtilmiştir [13,15]. Kesme hızının düşük olması durumunda oluşan çapağın, plazma arkının ısı ile daha uzun süre işlenmesi sebebi ile daha yumuşak olduğu ve kolayca yerinden kopartıldığı görülmüştür. Yüksek hızda oluşan çapağın ise plazma arkı ile tam olarak işlenmemesi sebebi ile kesilen yüzeye bağlı olduğu ve yerinden kolayca kopartılmadığı gözlenmiştir.

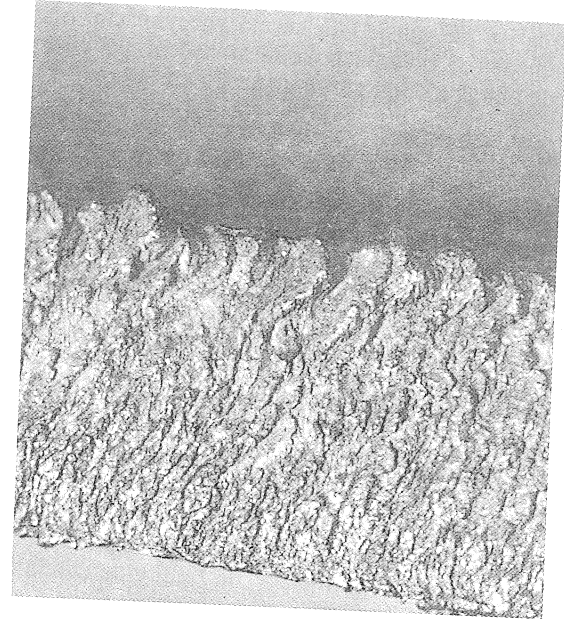
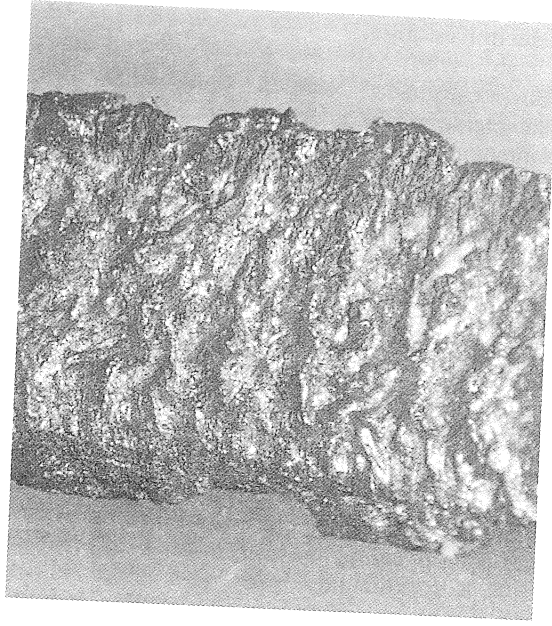
ITAB Genişliği

Östenitik paslanmaz çelikler 427-871°C sıcaklık aralığından yavaş bir şekilde geçirildiklerinde, içlerindeki en önemli alaşım elementi olan krom karbon ile birleşerek tane sınırlarında krom-karbür çökeltisi oluşturur [2,18]. Krom karbür oluşumu ITAB bölgesinin korozyon direncini düşürür ve taneler arası korozyon (intergranular corrosion) oluşturma olasılığını artırır.

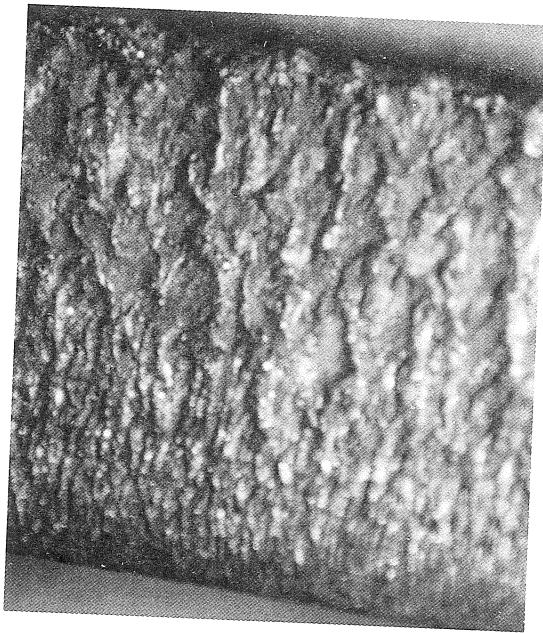
Deneylerde kesilen östenitik paslanmaz çelik levhalarda yapılan mikroyapı incelemelerinde, yüksek kesme hızı, ortamdaki ısının arkı çevreleyen gaz tarafından absorbe edilmesi ve dar ark sütunundan dolayı çok dar bir ITAB bölgesi gözlenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda da belirtildiği gibi, hızlı soğuma sonucu kesme bölgesinde oluşan ITAB bölgesinde krom karbür çökmesi oluşmamaktadır [14].

Deneylerde kesilen malzemelerde ölçülen ITAB genişliği değerleri, kesilen yüzeyde ITAB'ın en fazla olduğu yerlerden ölçülmüştür. Kesilen levhaların yüzeyinde bu genişliklerin daha az olduğu yerler mevcuttur. Kesilen levhalarda ITAB genişliğinin üst kenardan alt kenara doğru arttığı gözlenmiştir. Bunun nedeni malzemeyi üst kenardan başlayarak kesen plazma arkının alt kenara doğru ilerledikçe yoğunluğunu kaybedip malzemeyi fazlaca ısıtmasıdır.

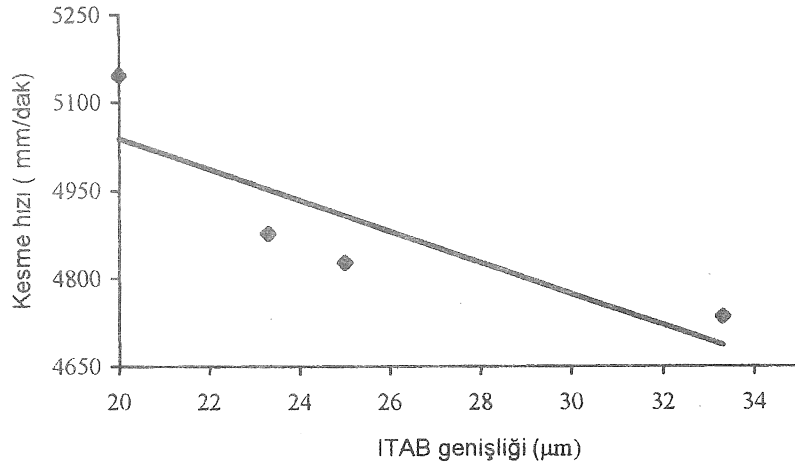
ITAB genişliği kesme hızı ve levha kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin ince levhalara göre daha



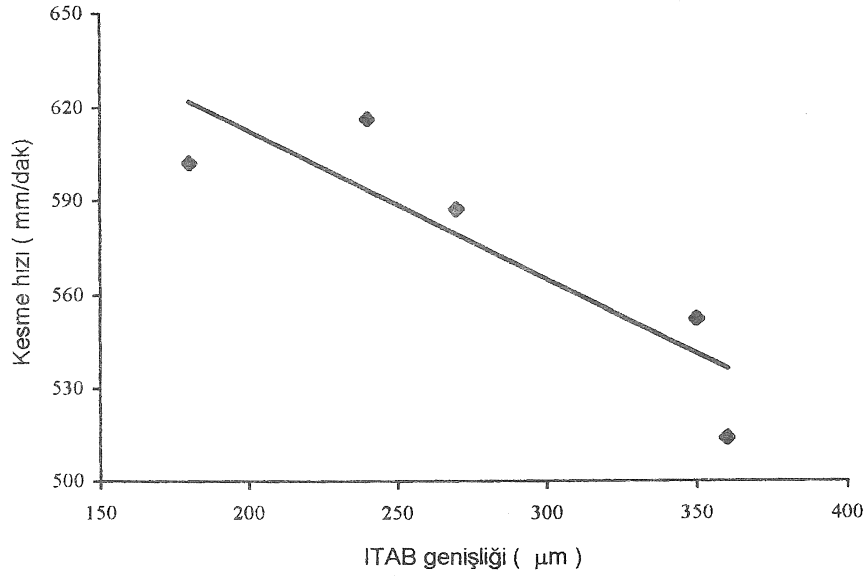
Şekil 1. Düşük ve Uygun Gaz Basıncı ile Kesilen Yüzeylerin Görünüşü (X15).



Şekil 2. 3 mm Kalınlığındaki Levhanın (a) Düşük (0.6 m/dak) ve (b) Yüksek Hızla (1.3 m/dak) Kesilen Yüzeylerin Görünüşü (X7.5).



Şekil 3.1 mm'lik Paslanmaz Çelikte Kesme Hızı-ITAB Değişimi.



Şekil 4.10 mm'lik Paslanmaz Çelikte Kesme Hızı-ITAB Değişimi.

düşük hızla kesilen 10 mm'lik levhada ölçülen maksimum ITAB genişliği değerleri 150-400 µm iken, daha yüksek hızlarla kesilen 1 ve 1,5 mm'lik levhalarda ölçülen ITAB değerleri 20-45 µm arasında değişmektedir (Şekil 3 ve 4). Bunun nedeni kesme hızının azalması ile kesme süresinin artması ve kesilen parçanın plazma arkının ısı ile daha çok etkilenmesidir. Kesme hızının yüksek olması durumunda, plazma ısısının büyük bir kısmı kesme bölgesinden malzemenin iç bölgesine transfer edilmeden malzeme kesilir ve soğutulur. Bu nedenden dolayı daha dar bir ITAB oluşur.

SONUÇ

Hava plazma sistemleri ile paslanmaz çeliklerin kesilmesinde yüzeyde oluşan kararlar haricinde yüzey kalitesinde herhangi bir olumsuz etki görülmemiş ve malzemenin antimanyetik özelliği değişmemiştir. Ancak, daha sonra kaynak edilecek paslanmaz çeliklerde kesimden sonra yüzeyde oksit istenmemektedir. Bu gibi nedenlerden dolayı hava plazma sistemleri ile kesilmiş kenarlar oksit tabakası temizlenmeden kaynak edilmemelidir. Aksi halde pürüzlü ve kaynak kökleri kötü olan kaynaklar elde edilebilir. Ayrıca, kesilen yüzeylerdeki ergimiş metal tarafından absorbe edilen azot, bu parçaların kaynak edilmesi halinde kaynak bölgesinde gözenek oluşumuna da neden olur [5].

Plazma arkı ile kesme işleminde kesme hızının yüzey kalitesine önemli etkisi olduğu görülmüştür. Farklı kalınlıklardaki parçaların kesiminde istenilen yüzey kalitesini elde edebilmek için kesme hızı, plazma yoğunluğu aynı kalacak şekilde kontrol edilmelidir.

Plazma arkı ile kesilen malzemenin kenarlarının tam dik olması istendiğinde eğim açısını ortadan kaldırmak için ikinci bir işleme gerek vardır. Bu işlem ek maliyet ve zaman kaybına yol açar. Ancak eğikliğinin önemli olmadığı durumlarda örneğin kaynak ağız açılması ya da malzemenin sadece hızlı bir şekilde kesilip koparılması istendiğinde bu durum sorun oluşturmaz.

İnce kesitli malzemelerde oluşan yüksek kesme kenarı açılı, bu malzemelerin yığın şeklinde kesilmesi ile en aza indirilebilir. Ancak levhalar üst üste yerleştirildiğinde kalınlık arttırılacağı için kesme hızı düşer ve daha geniş ITAB elde edilir.

PLAZMA ARC CUTTING OF AUSTENITIC STAINLESS STEELS

In this study, austenitic stainless steel plates with varying thicknesses have been cut by using an air-plasma cutting system. The effect of cutting speed on the cut surface quality has been investigated by carefully evaluating the smoothness and sharpness of

the cut edge, kerf width, dross formation and heat affected zone formed on the specimens.

KAYNAKÇA

1. McGeough, J.A., *Advanced Methods of Machining*, Chapman and Hall Ltd., Cambridge, 1998.
2. Karadeniz, S., *Plazma Tekniği*, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Yayın No.137, Ankara, 1990.
3. Craig, E., The Plasma Arc Process- A Review, *Welding Journal*, 67 (1994) 2, 19-25.
4. Severance, W.S., Anderson, D.G., How Plasma Arc Cutting Gases Affect Productivity, *Welding Journal*, 63, (1984) 2, 35-39.
5. Femicola, R.C., New Oxygen Plasma Process Rivals Laser Cutting Methods, *Welding Journal*, 73, (1994) 6, 65-69.
6. Pellechia, M., *Select the Best Process: Laser or Precision Plasma*, *Welding Design and Fabrication*, Special Report June 1995, 19-26.
7. Akçam, İ.Ö., Termik Kesme Yöntemlerinin - Otojen Tekniği, Plasma, Laser-Karşılaştırılması, *Mühendis ve Makina*, 37 (1996) 436, 22-28.
8. Bach, W., Gruchow, A., Plasma Cutting in Atmosphere and Under Water, *Pure and Applied Chemistry*, 64, (1992) 5, 665-670.
9. Sasse, F.H., Oxygen Plasma Process Increases Quality in Cutting Carbon Steels, *Welding Journal*, 70, (1991) 2, 64-66.
10. Szulc, J., Improving the Durability of the Electrodes for an Air-plasma Cutting, *Journal of the Materials Processing Technology*, 54 (1995), 166-170.
11. Kimura, T., Komatsu, A., Small Diameter Nozzle Plasma Arc as a Processing Tool, *Review of Scientific Instruments*, 63, (1992) 6, 3384-3388.
12. Yun, K.M., Na, S.J., Real-time Control of the Plasma Arc Cutting Process by Using Intensity Measurements of Ejected Plasma, *Welding Journal*, 70, (1991) 2, 43-48.
13. Manohar, M., Snyder II, J.P., Dross Formation During Plasma Arc Cutting of Steels, *Welding Journal*, 73, (1994) 11, 45-51.
14. Ural, M., Kaluç, E., Paslanmaz Çeliklerin Plazma Arkıyla Kesilmesi ve Birleştirilmesi, *Makina ve Metal Teknolojisi*, 52 (1996), 67-74.
15. Anonymous, Plasma Arc Cutting and Welding, *Welding Design and Fabrication*, June 1992, 23-56.
16. Anık ve Ark., *Termik Kesme Teknolojisi*, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim, Araştırma ve Muayene Enstitüsü, Yayın No: 2, İstanbul 1996.
17. Okçu, C., Otomatik Kesim Teknolojisi, *Mühendis ve Makina*, Kaynak Özel Sayısı 2, Ocak 1995, 40-42.
18. DeGarmo, E.P., *Materials and Processes in Manufacturing*, 7th edition, Macmillan Publishing Company, New York, 1990.