

## YÜKSEK TOLERANSLI PLAZMA ARKI İLE KESME PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mustafa AY<sup>a</sup>, Ahmet HASÇALIK<sup>a</sup>, Ulaş ÇAYDAŞ<sup>a\*</sup>

<sup>a\*</sup> Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü  
23119 Elazığ/Türkiye

### Özet

Bu çalışmada, Inconel 718 süperalaşımı için yüksek toleranslı plazma arkı (YTPA) ile kesme yönteminde akım şiddeti, kesme hızı ve yardımcı gaz basıncı gibi kesme parametrelerin optimum seviyeleri araştırılmıştır. Parametreler ve faktör seviyelerine göre, Taguchi deneysel tasarım yöntemi esas alınarak toplam 9 deney gerçekleştirilmiştir. Kesme işlemleri sonrasında, numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri, kerf genişlikleri, kerf eğim açıları, yüzeyde yeniden katılan tabaka (YYKT) kalınlıkları ve kesme yüzeylerinde meydana gelen metalurjik değişimler; atomik kuvvet mikroskobu (AFM), X – ışınları difraksiyonu (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) yöntemleri kullanılarak ölçülmüş ve kesme parametrelerinin işlem kalitesi üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Sonuç olarak, akım şiddetinin artması ile yüzey kalitesi kötüleşmiş, YYKT kalınlığı ve kerf genişliği artmış, kesme hızının artması ile kerf genişliği ve yüzeydeki YYKT kalınlığı azalmıştır. Yüksek gaz basıncı deneylerinde daha kaliteli yüzeyler elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** YTPAK, Inconel 718 alaşımı, Taguchi yöntemi.

### 1. Giriş

Inconel 718 nikel alaşımları, sahip oldukları yüksek sıcaklık dayanımı ve korozyon direnci gibi özellikleri sayesinde başta uzay ve havacılık endüstrileri olmak üzere deniz ve endüstriyel gaz türbin motorlarının sıcak bölümlerinde, roket motorlarında, nükleer reaktörlerde, deniz altlarında, basınç tanklarında, buhar türbin jeneratörlerinde ve diğer yüksek sıcaklık uygulamalarında oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1-5]. Bu malzemelerin geniş kullanım alanlarına karşın, düşük termal iletkenlikleri, yüksek sertlikleri, talaşlı imalat sırasında oluşan işleme sertleşmesi, mikro yapısındaki aşındırıcı karbür partiküllerinin varlığı gibi özellikler, klasik işleme/kesme yöntemleri ile işlenebilirliklerini zorlaştırmaktadır [6].

Plazma arkı ile kesme yöntemi, yüksek verimlilik ve düşük maliyet açısından termal kesme yöntemleri içerisinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem ile elde edilen yüzeylerin kaliteleri, pürüzlülük değerleri ve ısıdan etkilenen bölge genişlikleri yüksek olduğundan, genellikle kaba veya hassas olmayan kesimlerde tercih edilmektedir. Son yıllarda, plazma sistemlerinde yaşanan gelişmelerle daha verimli ve daha yüksek kesme toleranslarının sağlanabildiği, yeni teknoloji CNC kontrollü plazma kesim tezgahları geliştirilmektedir. Bu yeni teknoloji, yüksek toleranslı plazma arkı ile kesim (YTPAK) olarak adlandırılmaktadır. Bu yeni teknoloji ile oldukça dar aralıklarda kesme yapan, yüksek rijitliğe ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip plazma ışını üretilebilmektedir [7,8]. YTPA ile kesme alanında yapılan çalışmalar, genellikle paslanmaz çeliklerin ve alüminyum alaşımlarının kesme kalitesi üzerinde yoğunlaşmıştır [9,10]. Bu çalışmada ise, Inconel 718 nikel esaslı süper alaşımının YTPA ile

kesilmesinde ark şiddeti, kesme hızı ve yardımcı gaz basıncı gibi faktörlerin kesme kalitesi üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada, kerf genişliği, kerf açısı, yüzey pürüzlülüğü ve ısıdan etkilenen bölge genişlikleri ölçülmüştür.

## 2. Malzeme ve Deneysel Yöntem

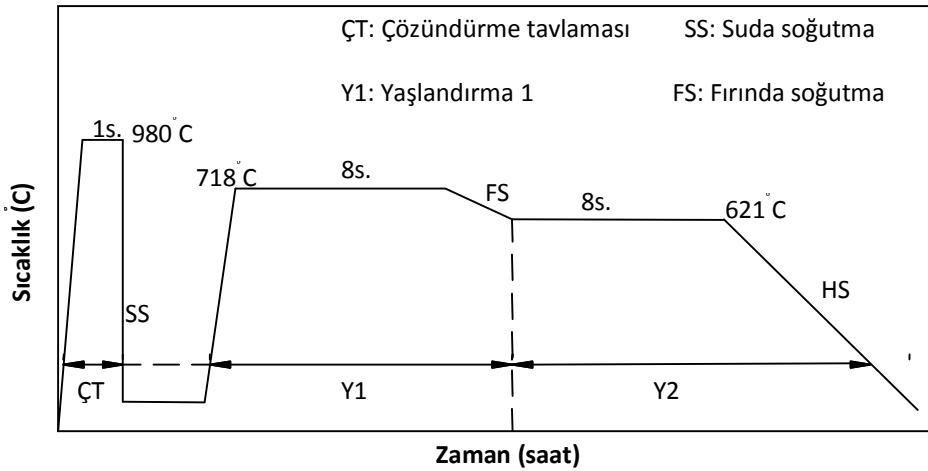
### 2.1. Malzeme

Bu çalışmada, AMS 5596 standart numaralı, Inconel 718 nikel alaşımı kullanılmıştır. Bu malzemeye ait kimyasal bileşim Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Inconel 718 nikel alaşımının kimyasal bileşimi(%)

| Al     | B      | C     | Nb+Ta | Co   | Cr    | Cu   | Fe   | Mn   | Mo   | Ni    |
|--------|--------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| 0.44   | 0.003  | 0.052 | 5.07  | 0.09 | 18.20 | 0.08 | BAL. | 0.24 | 3.04 | 53.60 |
| P      | S      | Si    | Cb+Nb | Ti   | Ta    |      |      |      |      |       |
| <0.005 | <0.002 | 0.10  | 5.06  | 0.97 | <0.05 |      |      |      |      |       |

Inconel 718 süper alaşımının oda sıcaklığında sahip olduğu mekanik özellikler, yaşlandırma ısıl işlemi ile önemli derecede arttırılabilmektedir. Bunun için, ostenitik matris içerisinde önce  $\gamma'$  ( $Ni_3(AlTi)$ ) ve  $\gamma''$  ( $Ni_3Nb$ ) fazları çözündürülmekte, daha sonra yaşlandırma ısıl işlemi uygulanarak sertleştirme sağlanmaktadır [11]. Bu çalışmada iki farklı ısıl işlem uygulanmıştır. Bu ısıl işlemler için çözündürme ve yaşlandırma sıcaklıkları ve bekleme süreleri Şekil 1' de şematik olarak verilmiştir [12].



Şekil 1. Numunelere uygulanan ısıl işlem şeması

Termal hasarlardan kaçınmak amacıyla, numuneler soğuk bir kesme yöntemi olan su jeti ile kesilerek  $180 \times 30 \times 4.76 \text{ mm}^3$  ölçülerinde hazırlanmıştır.

### 2.2. Yöntem

Deneylerde, Ermak CPP700 YTPAK tezgahı kullanılmıştır. Plazma olarak oksijen ( $O_2$ ), yardımcı gaz olarak ise azot ( $N_2$ ) gazları kullanılmıştır. Akım şiddeti (Amper), kesme hızı (mm/dak.) ve yardımcı gaz basıncı,  $N_2$  (Bar) parametreleri değişken olarak seçilmiştir. Bu kesme parametrelerine ve seviyelerine bağlı olarak, Taguchi deneysel tasarım yöntemi esas alınmış ve toplam 9 deney gerçekleştirilmiştir. Tablo 2' de, deneylerde kullanılan parametreler ve seviyeleri, Tablo 3'de ise deney sıralaması verilmiştir.

Tablo 2. Plazma kesme deneylerinde kullanılan parametreler ve seviyeleri.

| İşlem parametreleri            | Seviye 1       | Seviye 2 | Seviye 3 |
|--------------------------------|----------------|----------|----------|
| Akım şiddeti (A)               | 40             | 45       | 50       |
| Ark voltajı (V)                | 132            |          |          |
| Kesme Hızı (mm/dak)            | 650            | 800      | 950      |
| Kesme gazı                     | O <sub>2</sub> |          |          |
| Yardımcı gaz                   | N <sub>2</sub> |          |          |
| Ateşleme gazı                  | Hava           |          |          |
| Kesme gaz basıncı (Bar)        | 25             |          |          |
| Yardımcı gaz basıncı (Bar)     | 13             | 15       | 17       |
| Nozıl çapı (mm)                | 1.2            |          |          |
| Nozılın parçadan uzaklığı (mm) | 2              |          |          |

Tablo 3. Plazma kesim deneylerinde kullanılan Taguchi L<sub>9</sub> deney tasarımı

| Deney no | Akım Şiddeti(A) | Kesme Hızı(mm/dak) | YardımcıGaz basıncı(Bar) |
|----------|-----------------|--------------------|--------------------------|
| 1        | 40              | 650                | 13                       |
| 2        | 40              | 800                | 15                       |
| 3        | 40              | 950                | 17                       |
| 4        | 45              | 650                | 15                       |
| 5        | 45              | 800                | 17                       |
| 6        | 45              | 950                | 13                       |
| 7        | 50              | 650                | 17                       |
| 8        | 50              | 800                | 13                       |
| 9        | 50              | 950                | 15                       |

### 2.3. Metalografik incelemeler

Kesme deneyleri sonucunda, numunelerin yüzey görüntüleri, yüzeylere ait mikroyapıları ve ısıdan etkilenen bölgeleri belirlemek amacıyla, işlenen yüzeye komşu dik bir yüzey seçilerek bu yüzeyler, 200-1200 mesh'lik zımparalarla ve daha sonra 3 µm'luk elmas pasta kullanılarak parlatılmıştır. Parlatılan yüzeyler, 50% HCl ve 50% Metanol çözeltisinde elektrolitik dağlama yöntemiyle 4.5 V gerilim şartlarında dağlanmıştır [12]. Numunelerin mikroyapı ve yüzey pürüzlülük değerleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve üç boyutlu atomik kuvvet mikroskobu (AFM) yardımıyla incelenmiştir. İşlenmiş yüzeylerde oluşan elementleri ve fazları belirlemek amacıyla EDS (energy dispersive spectrograph) ve XRD (X – ray diffraction) analizleri yapılmıştır.

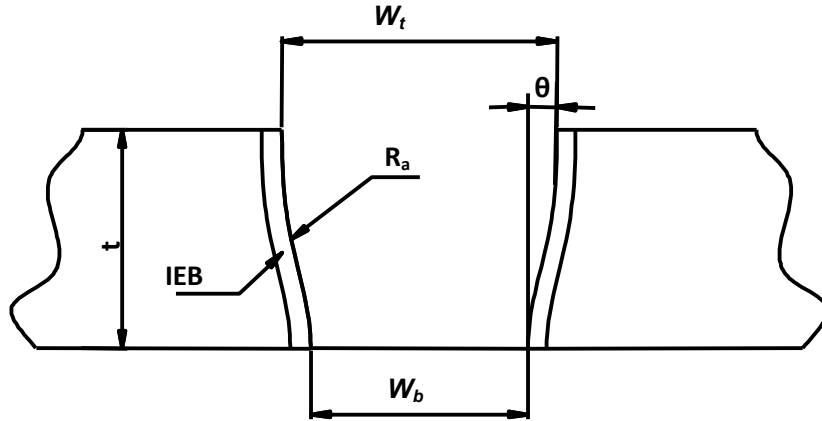
### 2.4. Geometrik ve Yüzeysel Özelliklerin İncelenmesi

Deneyler sonunda, kerf genişliği ve kerf eğim açısının belirlenmesi amacıyla her bir kesime ait alt ve üst genişlikler kesme kanalı boyunca beş ayrı noktadan ölçülmüştür. Ölçümler, 0.002 hassasiyete sahip (Model 98-0001, SCHERR TUMICO, U.S.A) bir profil ölçüm mikroskobuyla yapılmıştır. Şekil 2'de ölçüm alınan bölgeler şematik olarak gösterilmektedir. Elde edilen değerler aşağıdaki formülde yerlerine konularak kerf eğim açısı ( $K_t$ ) hesaplanmıştır [2].

$$K_t(\text{deg}) = \frac{(W_t - W_b) \times 180}{2\pi \times t}$$

(2.1)

Burada  $W_t$  kerf üst genişliğini,  $W_b$  kerf alt genişliğini t ise iş parçası kalınlığını ifade etmektedir.



Şekil 2. Ölçüm alınan bölgeler.

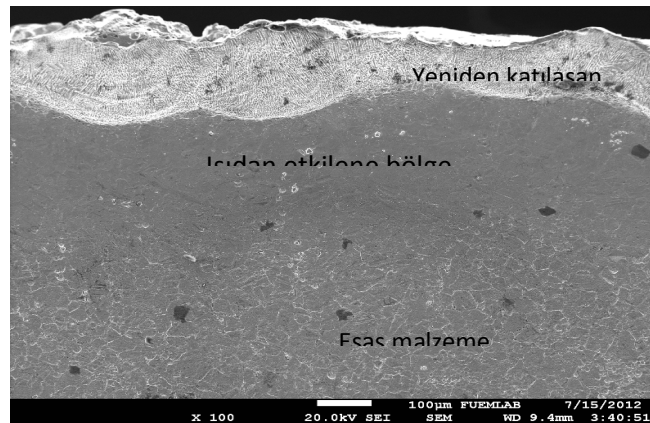
### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

#### 3.1. Metalurjik inceleme sonuçları

##### 3.1.1. Kesme parametrelerinin yeniden katılan tabaka kalınlığına etkisi

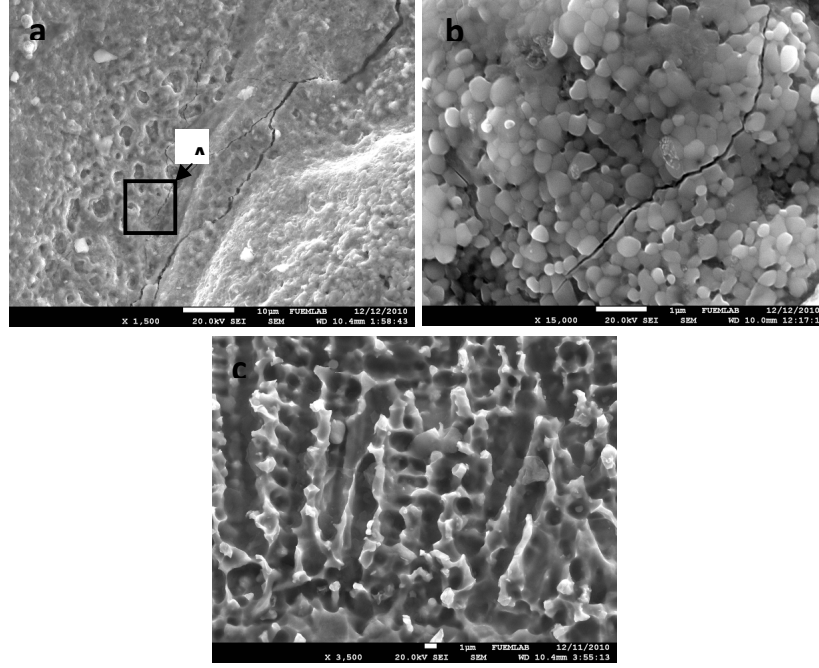
Termal işleme yöntemlerinde, yüzeyin ani ısınmaya ve soğumaya maruz kalması sonucunda kesme yüzeyde ve yüzey altındaki bölgelerde esas malzemeden farklı olarak birtakım yapısal değişiklikler oluşmaktadır. Değişimlerin olduğu bu bölgenin korozyon direnci, mukavemeti ve birçok özellikleri malzemeyi olumsuz yönde etkilemektedir. Bazı uygulamalarda bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için termal yöntemlerle işlenmiş yüzeylere ikinci bir yüzey işlemi yapılmaktadır. Bu yüzden ITAB bölgesinin büyüklüğü üretim maliyetlerini doğrudan etkilemektedir [13].

Plazma arkı ile kesme esnasında meydana gelen temel metalurjik etki, yeniden katılan ve/veya ısıdan etkilene bölgenin formasyonu ve genişliğidir. Şekil 3'de işlenmiş bir yüzeyin komşu yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı görülmektedir. Fotoğraf incelendiğinde, kesme işlemi sonrasında üç farklı bölgenin olduğu görülmektedir. En üstte bulunan yeniden katılan bölgedir (YKB). Bu tabaka, plazma arkı ile kesme esnasında eriyik metalin yardımcı gaz basıncı ile kesme kanalından uzaklaştırılmadan yüzeyde hızlı bir şekilde soğuyup yeniden katılması neticesinde oluşmaktadır. Isıdan etkilenen bölge ise, kesme esnasında ergimenin olmadığı fakat meydana gelen ısının tesiriyle esas metalin mikroyapı değişikliğine uğradığı bölgedir. En altta ise esas malzeme bulunmaktadır.



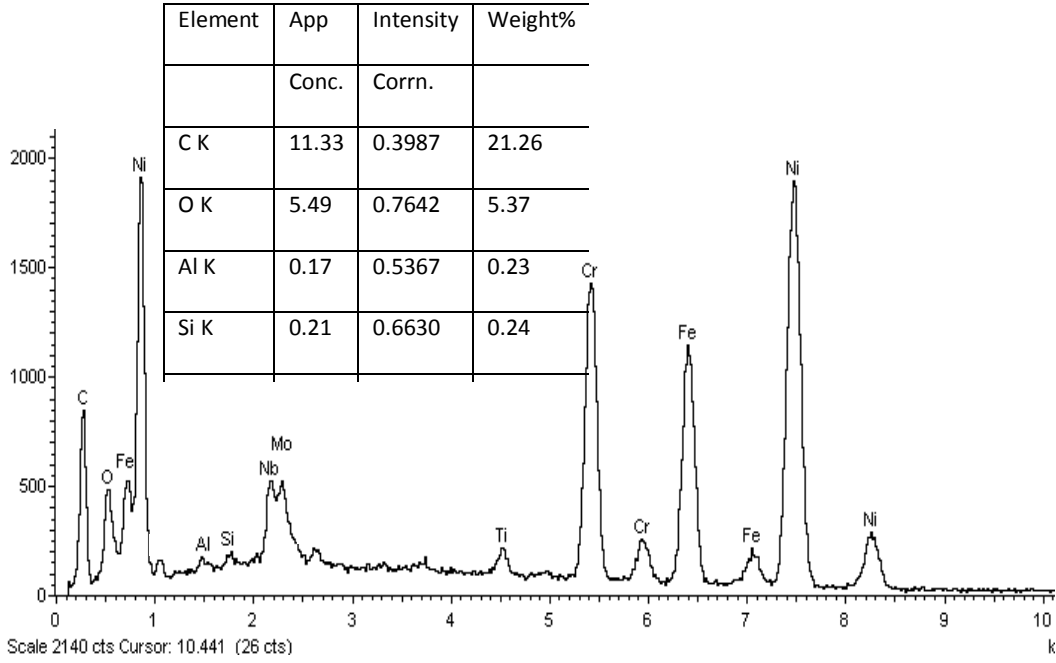
Şekil 3. Plazma arkı ile kesme sonrası malzemede meydana gelen ısıdan etkilenen bölgeler

YKB detaylı bir şekilde incelendiğinde, mikroyapısal karakteristiklerinin ana malzemeden farklı olduğu görülmektedir (Şekil 4). Kesilen yüzeyde erimiş metal ve oksijen gazı arasında meydana gelen oksidasyon reaksiyonundan dolayı oluşan oksit tabakası Şekil 4- a' da açıkça görülmektedir. Bu bölge daha yüksek büyütmelerde incelendiğinde (Şekil 4- b), ergimiş metalin basınçlı gazın etkisiyle küresel hücreler şeklinde topaklanarak katılaşmış ve bu katılaşma esnasında meydana gelen iç gerilmelere bağlı olarak mikro çatlakların oluştuğu göze çarpmaktadır. Yan yüzeyin mikroyapısı ise dendrit şeklindedir (Şekil 4 -c). Dendritik yapı, ana malzemenin eriyik metali soğutma etkisinden dolayı oluşan yönlenmelere bağlanabilir.

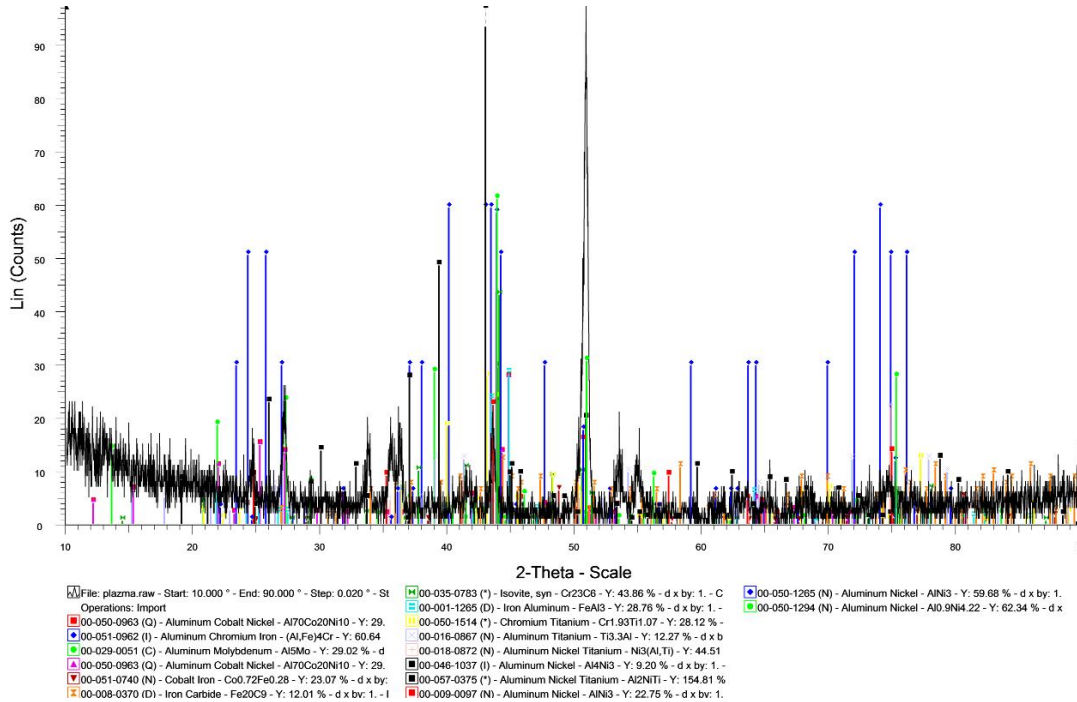


Şekil 4 a) kesme bölgesinin morfolojisi; b) A kesitinin mikroyapısı  
c) yeniden katılaşan bölge (kesilen yüzeye dik) görüntüleri

Şekil 4 a'da A ile gösterilen bölgeden alınan EDS ve XRD analiz sonuçları sırasıyla Şekil 5 ve 6' da verilmiştir. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, YKB içerisinde Fe, Cr ve Ni yoğunluklarının ana malzemeye nazaran azaldığı, diğer yandan bölgenin Ti, Mo, Nb ve C elementleri açısından zenginleştiği tespit edilmiştir. EDS analizinde ayrıca  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  oksitleri de saptanmıştır. XRD analizi değerlendirildiğinde, yüzeyde demir karbürün yanı sıra birçok farklı alüminyum krom bileşiklerinin oluştuğu görülmektedir.



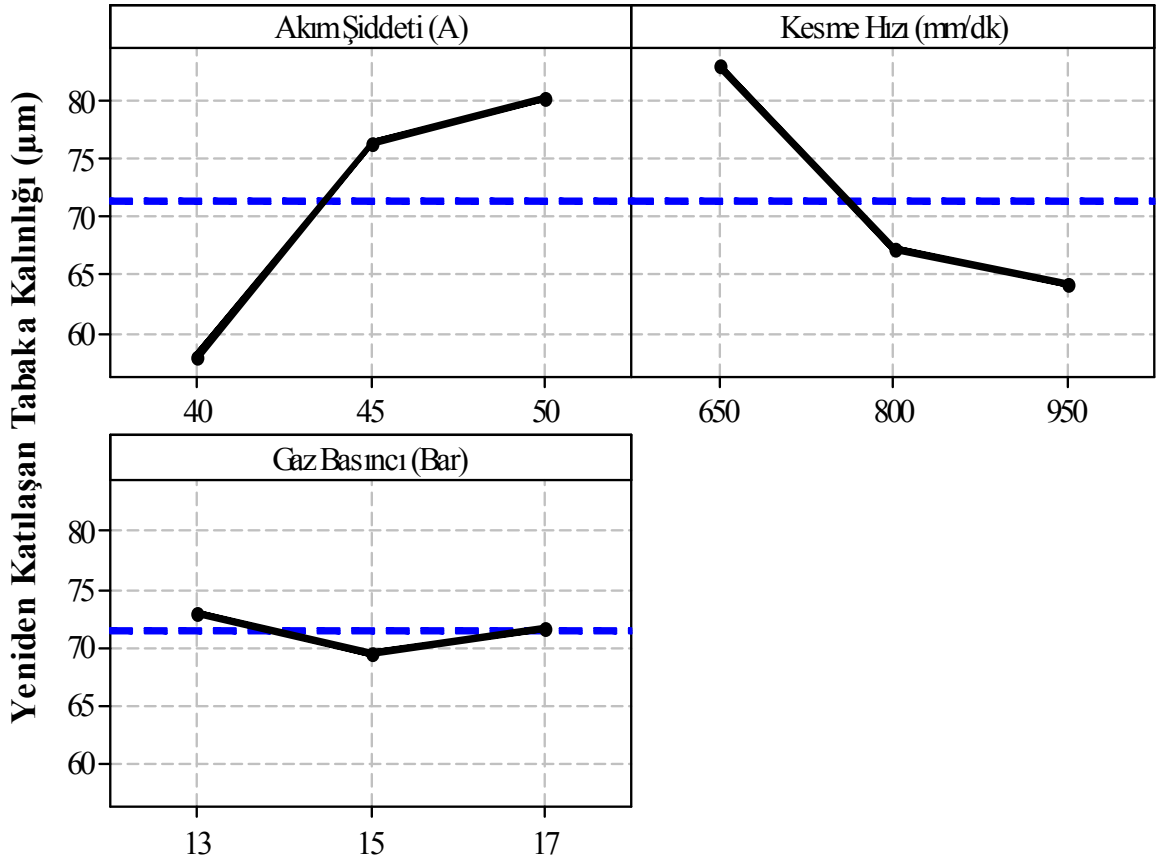
Şekil 5 Plazma arki ile kesilmiş yüzeyden alınan EDS analizi



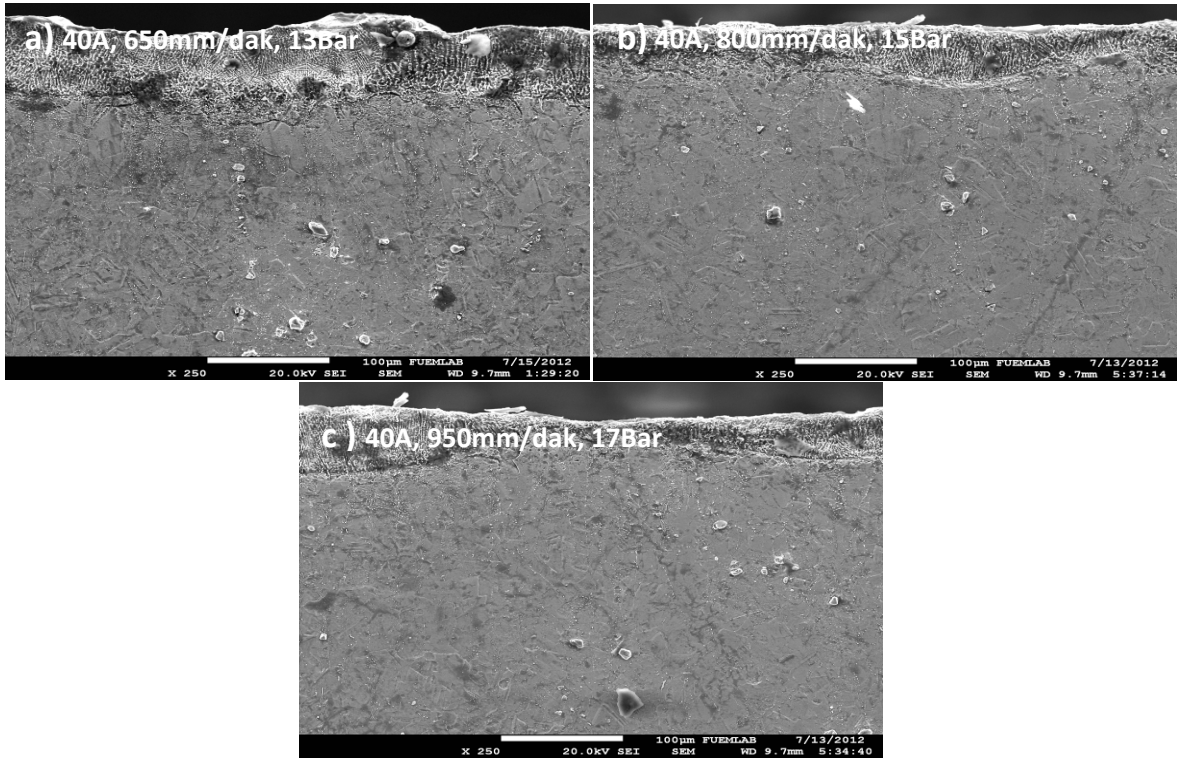
Şekil 6. Plazma arki ile kesilmiş yüzeyden alınan XRD analizi

Şekil 7' de kesme parametrelerinin YKB kalınlığı üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil incelendiğinde, gaz basıncının yeniden katılma tabaka kalınlığı üzerinde fazla bir etkisinin olmadığı, akım ve kesme hızının ise büyük bir etkisinin olduğu görülmektedir. Şekil 8' de farklı kesme şartlarında elde edilen numunelerde oluşan YKB kalınlılarındaki değişim verilmiştir. Akım değerinin sabit olduğu şartlarda, kesme hızının artması ile YKB'nin kalınlığı düşmektedir. Kesme hızının artmasıyla, akım

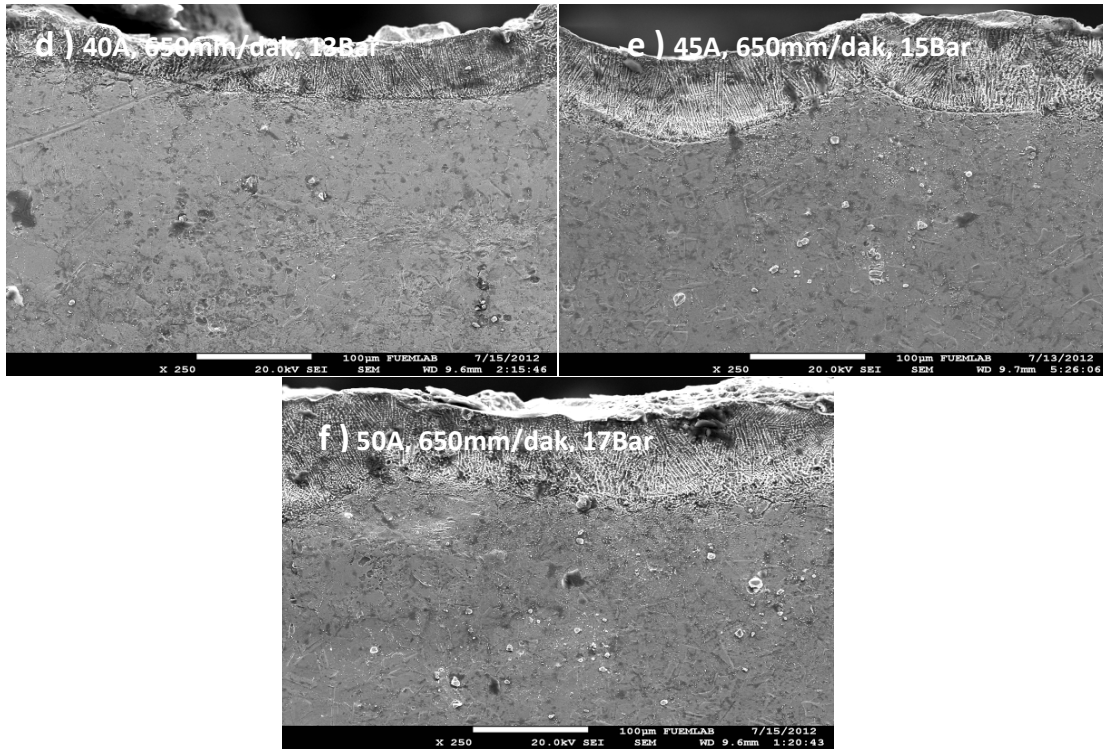
şiddetiyle sabitlenmiş olan plazma arkının oluşturduğu ısı düşmekte, buna bağlı olarak da daha az malzeme ergitilmektedir. Ergiyen malzeme hacmine paralel olarak YKB kalınlığı düşmektedir. Ayrıca, akım şiddetinin artmasıyla YKB'nin kalınlık değerlerinin arttığı tablo ve grafiklerden açıkça görülmektedir. Plazma arkı ile kesmede, akım şiddetiyle plazma arkının yarıçapı ve dolayısıyla arkın gücü de artmaktadır. Akım yoğunluğu ise ark yarıçapı ve arkın akım şiddetiyle belirlenmektedir. Dolayısıyla akım şiddetinin artmasıyla parça üzerinde oluşan enerjinin yoğunluğu artmakta, ilerlemenin artmasıyla da enerji yoğunluğu düşmektedir. Enerji yoğunluğundaki bu değişime paralel olarak ergitilen malzeme miktarı değişmektedir [13].



Şekil 7. PAK parametrelerinin yeniden katılan tabaka kalınlığına etkisi



Şekil 8. Kesme hızının yeniden katılan bölge kalınlığına etkisi

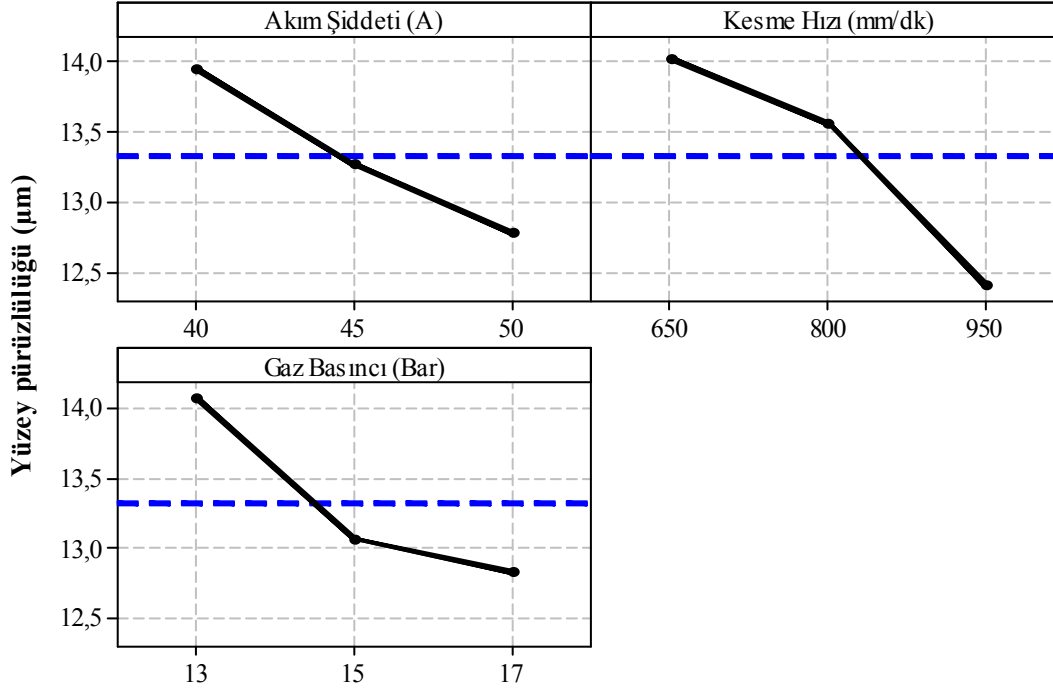


Şekil 9. Akımın yeniden katılan bölge kalınlığına etkisi



### 3.1.2. Plazma arkı ile kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 10' da kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri görülmektedir. Ortogonal deney tasarımı sonucunda elde edilen grafiklerde, her bir faktörün farklı seviyelerindeki etkilerini ayrı ayrı görmek mümkündür.



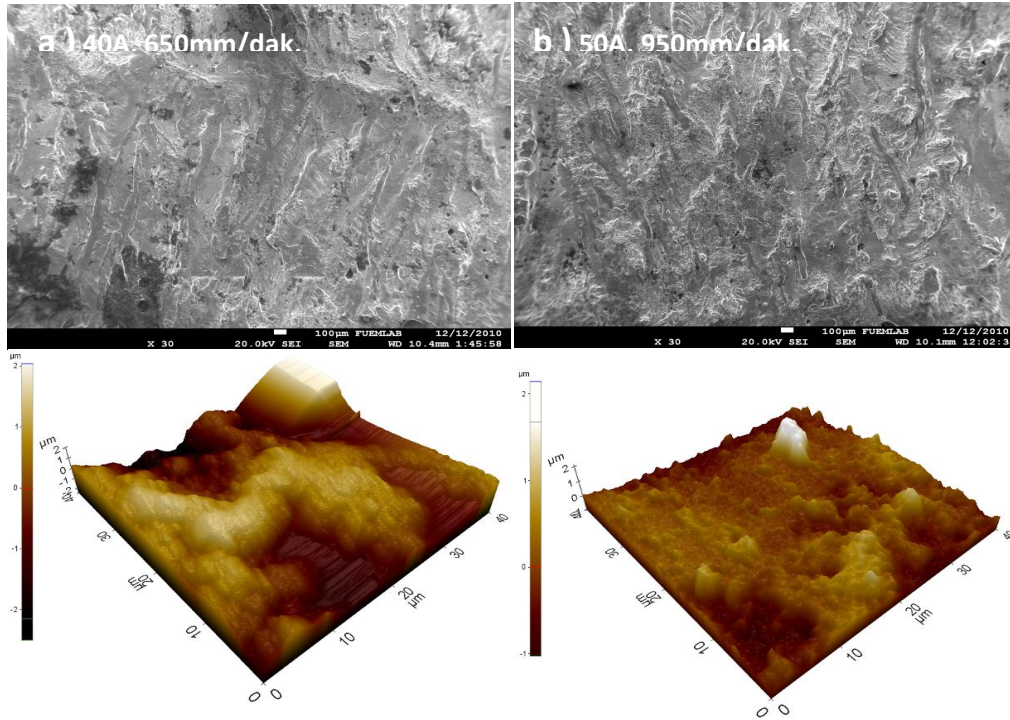
Şekil 10. PAK parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

Tablo 4 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

| D deney no | D deney parametreleri<br>(Akım şiddeti-A, Kesme hızı-<br>mm/dk., Gaz basıncı- Bar) | Ra<br>(µm) |
|------------|--|------------|
| 1          | 40 A, 650 mm/dk, 13 Bar  | 15,49      |
| 2          | 40 A, 800 mm/dk, 15 Bar  | 14,00      |
| 3          | 40 A, 950 mm/dk, 17 Bar  | 12,35      |
| 4          | 45 A, 650 mm/dk, 15 Bar  | 13,53      |
| 5          | 45 A, 800 mm/dk, 17 Bar  | 13,10      |
| 6          | 45 A, 950 mm/dk, 13 Bar  | 13,16      |
| 7          | 50 A, 650 mm/dk, 17 Bar  | 13,04      |
| 8          | 50 A, 800 mm/dk, 13 Bar  | 13,59      |
| 9          | 50 A, 950 mm/dk, 15 Bar  | 11,69      |

Şekil 10 ve Tablo 4 birlikte incelendiğinde, tüm kesme parametrelerindeki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün de belirgin bir şekilde azaldığı görülmektedir. Sabit akım şiddetinde, ilerlemenin 650 mm/dak dan 950 mm/dk' ya yükselmesi ve gaz basıncının artmasıyla, pürüzlülük değerinin düzenli bir şekilde düştüğü görülmektedir. Bilindiği gibi, sabit güç yoğunluğunda malzeme yüzeyinde oluşan ısı, düşük ilerleme hızlarında ara bölgede daha etkin bir şekilde yoğunlaşmaktadır. Böylece, eriyik malzeme hacmi artmakta ve kesilen yüzeyde daha derin ve geniş periyotlu çizikler oluşmaktadır. İlerleme hızının artması ile, oluşan çiziklerin nispeten daha yüzeysel ve kısa periyotlarda meydana

geldiği ve yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği görülmektedir[14]. Ancak, ilerleme hızının ve akım şiddetinin yüksek, gaz basıncının düşük olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğünün nispeten arttığı görülmüştür. Bu durum, yetersiz gaz basıncının, ergimiş metali etkin bir şekilde kesme bölgesinden uzaklaştırması ile ilişkilendirilebilir. Düşük gaz basıncı değerlerinde, yüzeyde katılarak biriken malzeme miktarındaki artış, yüzey pürüzlülüğünü kötüleştirir. Diğer yandan, ilerleme hızının düşük değerlerinde, güç ve gaz basıncının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün de azaldığı görülmektedir. Güç yoğunluğunun ve dolayısıyla akım şiddetinin artmasına bağlı olarak eriyik malzeme daha viskoz hale gelmektedir. Yüksek gaz basıncı ve düşük ilerleme miktarında oluşan mekanik kuvvetler, viskoz malzemeyi yüzeydeki boşluk ve kanallar içerisine itmekte ve gözenekleri doldurarak daha yayvan ve düz yüzeylerin oluşmasına yol açmaktadır. Böylece yüzey pürüzlülüğü iyileşmektedir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri 11,69-15,49  $\mu\text{m}$  aralığında değişmektedir. En kaba yüzey 1 nolu deney sonucunda elde edilirken, pürüzlülüğü en düşük olan yüzey 9 nolu deney sonucunda elde edilmiştir. Bu numunelere ait SEM yüzey ve atomik kuvvet mikroskobu (AKM) görüntüleri Şekil 11’ de verilmiştir. AKM ve SEM görüntüleri birlikte değerlendirildiğinde, 1 nolu deney sonucu elde edilen numunenin 3 boyutlu yüzey yapısında ( $40 \mu\text{m}^2$  alan içerisinde) oluşan yükseklik, girinti ve çıkıntıların daha kaba olduğu açıkça görülmektedir.



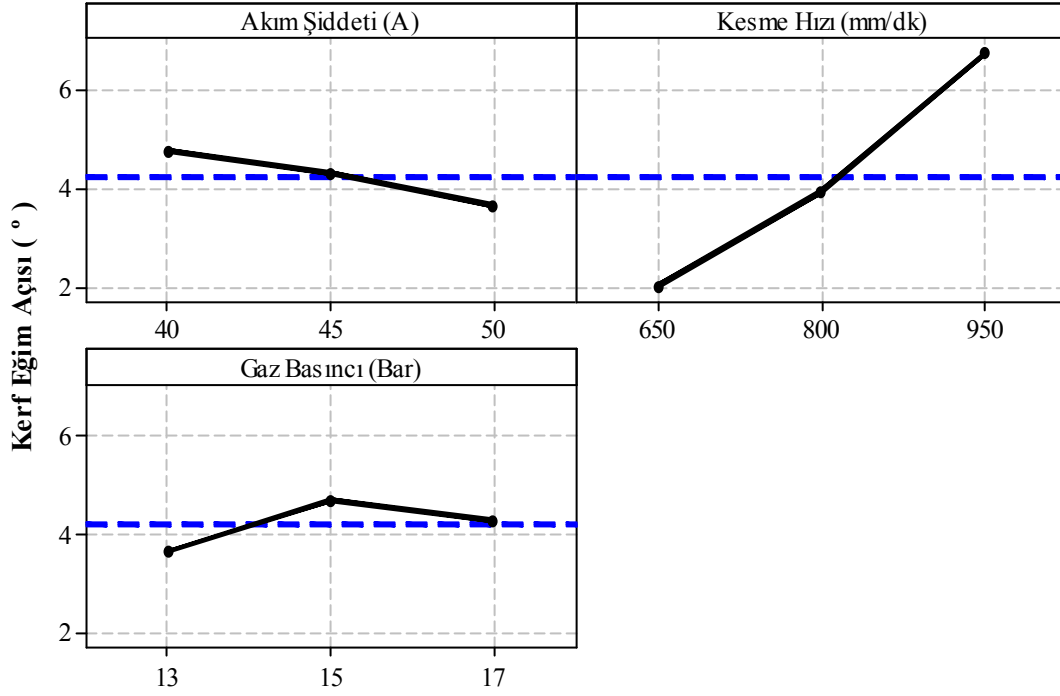
**Şekil 11** yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme

(a: 1 nolu numuneye ait işlenmiş yüzeyin SEM görüntüsü , b: Üç boyutlu AFM görüntüsü, c: 9 nolu numuneye ait işlenmiş yüzeyin SEM görüntüsü , b: Üç boyutlu AFM görüntüsü)

### 3.1.3. Plazma arkı ile kesme parametrelerinin kerf eğim açısına etkisi

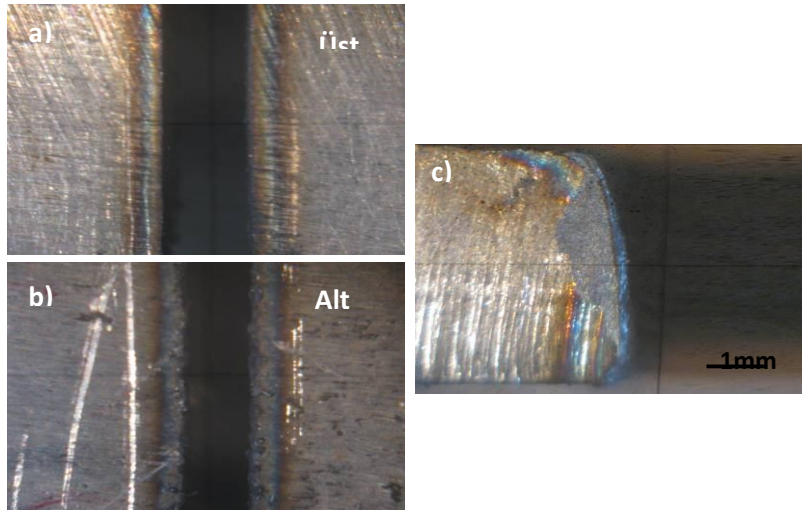
Şekil 12’ de kesme parametrelerinin kerf genişliği ve kerf eğim açısı üzerinde etkileri görülmektedir. Şekilden, en etkin parametrenin kesme hızı olduğu, bunu sırasıyla akım ve gaz basıncının izlediği gözlenmektedir. Kesme hızının artmasına bağlı olarak, kerf eğim açısı artmakta, düşük kesme hızı ve yüksek akım şiddeti değerlerinde ise kerf genişliği azalmaktadır. Kesme hızının artması ve akım şiddetinin azalması ile, kesme enerjisi düşmekte ve kesme yüzeyindeki arkın etkisi zayıflamaktadır. Bu yüzden, alt kerf genişliğindeki azalma oranı, üst kerf genişliğinden daha fazla olmaktadır. Buna bağlı

olarak kerf eğim açısı da artmaktadır. Benzer sonuçlar, Jiayou ve diğ. [15] tarafından da rapor edilmiştir.



Şekil 12. PAK parametrelerinin kerf eğim açısına etkisi

Şekil 13' de YTPA ile kesme sonucu elde edilen tipik bir kerfe ait üst, alt ve yan görünümler verilmiştir. Deneyler sonucunda, en düşük eğim açısı 7 nolu deney sonucunda, 1,426° olarak ölçülürken en yüksek eğim açısı ise 3 nolu deney sonucunda 7,751° olarak ölçülmüştür.



Şekil 13. PAK sonucunda elde edilen tipik bir kesme kanalının; a) üst, b) alt, c) yan görüntüleri

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Çökeltme sertleşmesi ısıl işlemi uygulanmış Inconel 718 süper alaşımının YTPAK sonucunda kesme parametrelerinin, yeniden katılaştıran tabaka, yüzey pürüzlülüğü ve kerf eğim açısı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Plazma arkı akım şiddeti, kesme hızı ve yardımcı gaz basıncı değişken olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Akım değerinin düşük, ilerlemenin yüksek olduğu kesme şartlarında YKTK azalmakta, tersi durumlarda ise artmaktadır.
- Akım şiddetinin azalması ve kesme hızının artmasıyla kerf eğim açısının arttığı görülmüştür.
- Düşük kesme hızlarında, kesme kanalı oldukça dik olurken, kesme yüzeyi pürüzlülüğü artmıştır. Özellikle kesme hızının kerf geometrisi üzerinde büyük bir etkisinin olduğu görülmüştür.
- Yardımcı gaz basıncının, kesme kalitesini belirleyici bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür.
- XRD analiz sonuçlarına göre, kesilen yüzeyde demir karbür ve birçok farklı bileşiklerin oluştuğu tespit edilmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Hsua, C.Y.; Linb, Y.Y.; Leeb, W.S.; Lob, S.P. Machining characteristics of Inconel 718 using ultrasonic and high temperature-aided cutting. *Journal of Materials Processing Technology* 2008, 198, 359–365.
- [2] Ay, M., Çaydaş, U., Hasçalık, A., Effect of Traverse Speed on Abrasive Waterjet Machining, of Age Hardened Inconel 718 Nickel-Based Superalloy, *Materials and Manufacturing Processes*, 25: 1–6, 2010
- [3] Ezugwu, E.O.; Wang, Z.M.; Machado, A.R. The machinability of nickel-based alloys: A review. *Journal of Materials Processing Technology* 1999, 86, 1–16.
- [4] Dudzinski, D.; Devillez, A.; Moufki, A.; Larrouque` re, D.; Zerrouki, V.; Vigneau, J. A review of developments towards dry and high speed machining of Inconel 718 alloy. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 2004, 44, 439–456
- [5] Rao, R., Yadava, V., Multi-objective optimization of Nd:YAG laser cutting of thin superalloy sheet using grey relational analysis with entropy measurement, *Optics & Laser Technology* 41 (2009) 922–930
- [6] Gariboldi, E., Previtali, B., High tolerance plasma arc cutting of commercially pure titanium, *Journal of Materials Processing Technology* 160 (2005) 77–89
- [7] R. Bini, B.M. Colosimo, A.E. Kutlu, M. Mono, Experimental study of the features of the kerf generated by a 200A high tolerance plasma arc cutting system, *journal of materials processing technology* 196 (2008) 345–355
- [8] A. Gullu , U. Atici, Investigation of the effects of plasma arc parameters on the structure variation of AISI 304 and St 52 steels, *Materials and Design* 27 (2006) 1157–1162
- [9] Hoult, A.P., Pashby, I.R., Chan, K., 1995. Fine plasma cutting of advanced aerospace materials. *J. Mater. Process. Technol.* 48, 825–831
- [10] C. WANG, Effect of double aging treatment on structure in Inconel 718 alloy, *Journal of Materials Science* 39 (2 004) 2593 – 2595
- [11] [www.specialmetals.com](http://www.specialmetals.com)
- [12] B. R. Hendricks, Simulation of Plasma Arc Cutting, Master Theses, Peninsula Technikon Faculty of Engineering Center for Research in Applied Technology, January 1999
- [13] D. J. Thomas, The influence of the laser and plasma traverse cutting speed process parameter on the cut-edge characteristics and durability of Yellow Goods vehicle applications, *Journal of Manufacturing Processes* 13 (2011) 120–132
- [14] J. Wang, Z. Zhu, C. He, F. Yang. Effect of dual swirling plasma arc cutting parameters on kerf characteristics. *Int J Mater Form* 4 (2011) 39–43.