



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Co₂B nanopartikülleri ile Kaplanmış S235JRC karbon çelik malzemelerin farklı kesme yöntemleri ile işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması

Investigation of the machinability properties of Co₂B nanoparticles coated S235JRC carbon steel materials with different cutting methods

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa BARIŞ¹, Tuncay ŞİMŞEK², Adnan AKKURT³

ORCID¹: 0000-0002-2119-0697

ORCID²: 0000-0002-4683-0152

ORCID³: 0000-0002-0622-1352

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Barış. M, Şimşek T. ve Akkurt A., “Co₂B nanokristalleri kaplanmış S235JRC karbon çelik malzemelerin farklı kesme yöntemleri ile işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 169-177, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.403990

Co₂B Nanopartikülleri ile Kaplanmış S235JRC Karbon Çelik Malzemelerin Farklı Kesme Yöntemleri ile İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Mustafa BARIŞ¹, Tuncay ŞİMŞEK^{2*}, Adnan AKKURT³

¹Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 06010, Türkiye

²Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, Mersin Üniversitesi, Mersin 33343, Turkey

³Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, 06500, Türkiye

(Geliş/Received : 14.11.2017; Kabul/Accepted : 05.02.2018)

ÖZ

Makine imalat sanayinde makine parçalarına genellikle nihai şekil verildikten sonra kaplama işlemi uygulanmaktadır. Ancak kimi zaman parçaların kesme işlemleri ile yeniden şekillendirilmesi gerekebilmektedir. Bu gibi durumlarda kaplama tabakasına zarar vermeden ya da en az zararlar ile işlemin gerçekleştirilebilmesi için seçilen kesme yöntemi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, mekanokimyasal yöntemle sentezlenen Co₂B nanopartiküller kullanılarak CO₂ lazeri ile S235JRC (St37-2) malzeme yüzeyine kaplama yapılmıştır. Kaplanmış numunelerin işlenebilirlik karakteristiklerini belirleyebilmek amacıyla numuneler sırasıyla aşındırıcı su jeti, tel erozyon, aşındırıcı disk ve lazerle kesilmiştir. Kesme işlemleri ile elde edilen yüzey özellikleri değerlendirildiğinde, Co₂B nanopartikülleri kullanılarak kaplanmış çelik malzemenin işlenmesinde en uygun yöntemin aşındırıcı diskle kesme olduğu tespit edilmiştir. Kaplama karakterizasyonu ve metalografik incelemelerde X ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskopu (SEM), optik mikroskop ve mikrosertlik test cihazı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüzey özellikleri, işlenebilirlik, nano kaplama, Co₂B, mekanokimyasal yöntem

Investigation of the Machinability Properties of Co₂B Nanoparticles Coated S235JRC Carbon Steel Materials with different cutting methods

ABSTRACT

In the machine manufacturing industry, machine parts are generally coated after taking their final shape. However, in some cases it may be necessary to reshape the parts obtained in this way with cutting operations. In such cases, the cutting method chosen is of great importance to carry out the process with minimum damage or without damaging to the coating layer. In this study, Co₂B nanoparticles synthesized by mechanochemical method were coated to the surface of S235JRC (St37-2) material by CO₂ laser. In order to determine the machinability characteristics of the coated layers, samples were cut with abrasive water jet, wire-electrical discharge machining, abrasive disc and laser, respectively. When the surface properties obtained by the cutting process are evaluated, it is determined that the abrasive disc cutting is the most suitable method for Co₂B nanoparticle coated S235JRC (St37-2) materials. The characterization and metallographic investigations of the coating layers were carried out with X-Ray diffraction spectroscopy (XRD), scanning electron microscopy (SEM), optical microscope and micro hardness tester.

Keywords: Surface properties, machinability, nano coating, Co₂B, mechanochemical method.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Malzeme üretim çalışmalarına temel teşkil eden iki önemli parametre yapı ve özelliktir. Malzemenin performansını belirleyen bu iki parametre aynı zamanda işlenebilirliğini de etkilemektedir. Özellikle günümüz imalat sanayinde daha hızlı, kaliteli ve ekonomik işlenebilirlik tercih edilmektedir.

Üretim süreçleri planlanırken en önemli unsurlardan biri malzemenin işlenebilirliğidir. Malzemenin iyi bir

işlenebilirliğe sahip olması, işlem sonrası yüzey özelliklerinin yanı sıra kesici takımın ömrüne minimum olumsuz etki olarak tanımlanabilir. Ayrıca günümüz malzeme bilimine konu olan yeni malzeme geliştirme çalışmalarının endüstriye ve imalata yönelik olması için işlenebilirlik özelliklerinin göz ardı edilmemesi gerekir. Bor ve bor bileşiklerinin malzeme alanında; plastik, seramik ve metal esaslı kompozit malzemelere sağladığı yüksek dayanım, bu malzemelerin uzay, havacılık ve savunma sanayi vb. birçok özel alanda kullanılmasını mümkün hale getirmektedir. Borun ikili ve üçlü bileşikleri korozyon, aşınma ve yüksek sıcaklık dayanımı istenen yüzeylerin kaplama uygulamalarının yanı sıra

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : tuncaysimsek@mersin.edu.tr

benzer özellik gerektiren kompozit malzemelerin elde edilmesinde de kullanılmaktadır [1-2].

Nano boyutta bor bileşikleri elde edilmesine yönelik yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde; Kanomata ve arkadaşları, termal yöntemle Co_2B üretmiş ve manyetik özelliklerini incelemiş ve ürettikleri Co_2B 'nin manyetik özelliğe sahip olduğunu belirlemişlerdir [3]. Petit ve arkadaşları, $\text{Co}(\text{AOT})_2$ ve NaBH_4 başlangıç malzemelerinden yola çıkarak Ar atmosferinde çözelti ortamında Co_2B üretmişlerdir. Deneylerde Co_2B partiküllerinin tane boyutunun, çözelti ekleme hızı ve eklenen çözelti büyüklüğü ile bağlantılı olduğunu gözlemiş ve Co_2B 'lerin tane boyutu küçüldükçe süper manyetik özellikler sergilediğini tespit etmişlerdir [4]. Krishnan ve arkadaşları ise LiCoO_2 'den elde edilen Co_2B 'nin hidroliz için iyi bir katalizör olduğunu, Co_3O_4 'ten elde edilen Co_2B 'nin ise yeterli hidrolizi sağlayamadığını ayrıca katalizör içerisindeki kirliliklerin ve katalizörün kristal yapısının hidrolize önemli ölçüde etki ettiğini göstermişlerdir [5].

Malzeme yüzeyinin kaplanmasına yönelik yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde; Paul ve arkadaşları, ağırlıkça %12 Co içeren WC-Co toz karışımını düşük karbonlu çelik üzerine Nd:YAG lazeri ile kaplamış ve kaplama tabakasını karakterize ederek numuneler üzerinde çatlak ve çukur oluşumu, WC partiküllerinin Co matris içerisindeki ergime oranı gibi konuları araştırmışlardır [6]. Meng ve arkadaşları, ağırlıkça %6 oranında alüminyum, %4 vanadyum ve geri kalanı titanyumdan oluşan Ti-6Al-4V malzemesinin yüzeyini, $\text{NiCrBSi} + \%5 \text{B}_4\text{C}$ seramik-metal toz karışımıyla ön kaplamışlardır. Maksimum gücü 1,5 kW olan CO_2 lazeriyle, 750 W gücünde, 5 mm/s tarama hızında ve 3 mm ışın çapında yaptıkları kaplamalarda gözeneksiz ve çatlaksız, ana metal yüzeyi ile oldukça iyi metalürjik bağ oluşturan kaplama tabakası elde etmişlerdir [7]. Du ve arkadaşları, AISI 1010 çeliğinin yüzeyine %60,73 ferrotitanyum ve %39,27 ferrobordan oluşan toz karışımı lazerle kaplamışlar. Elde ettikleri gözeneksiz ve çatlaksız kompozit kaplamanın, ana metal yüzeyine çok iyi bağlandığını, lazerle kaplama işleminde soğuma esnasında çekirdeklenme büyümesi mekanizmasıyla oluşan sert TiB_2 fazının, sertliği ve aşınmaya karşı direnci önemli oranda arttırdığını tespit etmişlerdir [8]. Anjons ve arkadaşları, SAE 1013 karbon çeliğinin yüzeyini, ASTM S31254 paslanmaz çelik malzemenin tozlarını kullanarak CO_2 lazeri ile kaplamışlardır. Yaptıkları metalürjik incelemelerde Cr, Ni, Mo ve N gibi alaşım elementlerinin kaplama bölgesinde homojen ve hatasız olarak dağıldığını tespit etmişlerdir. Yapının östenit olduğunu ve uzun süreli korozyon testlerinde, kaplamanın ana malzemeye göre daha dayanıklı olduğunu rapor etmişlerdir [9]. Li-li ve arkadaşları, orta karbonlu çelik malzeme yüzeyini %1, %3 ve %5 Co içeren Fe toz karışımlarını ile lazerle kaplamışlar ve yüzeyde $\text{Fe}_{0,64}\text{Ni}_{0,36}$ dentritleri ve $(\text{Fe,Cr})_7(\text{C,B})_3$ interdentrik bileşiklerini içeren sert kaplama tabakası elde etmişlerdir. Metalografik incelemelerde %3 Co içeren tozlarla yapılan kaplamanın, %1 ve %5 Co içeren

tozlarla yapılan kaplamalara göre çelik yüzeyiyle daha iyi bağ dayanımına sahip olduğunu belirlemişlerdir. Kaplama tabakasını oluşturan interdentrik bölgede Co içeriğinin artması ile mikrosertliğin arttığı sonucuna varmışlardır [10].

Nano ve mikron boyutta metal borür bileşiklerini üretiminde solvotermal, magnezotermal, fiziksel buhar biriktirme (PVD), kimyasal buhar biriktirme (CVD), kendiliğinden ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi (SHS) ve karbotermal gibi yöntemlerin kullanıldığı bilinmektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda, bu yöntemlerle üretilen metal borür bileşiklerini ile katalitik aktivasyon ve kaplama uygulamaları yapıldığı, kaplama uygulamalarında birbirinden farklı metal tozlarının ve metal borürlerin karıştırılarak veya tek başlarına metal yüzeylerine başarılı bir şekilde kaplanarak yüzeylerde metal borür içeren kaplama tabakaları oluşturulduğu tespit edilmiştir. Sağladığı üstün özelliklerden dolayı son zamanlarda üretim yöntemi olarak mekanokimyasal yöntemin tercih edildiği çalışmaların arttığı ancak, şu ana kadar literatürde bu yöntemle başlangıç malzemesi olarak oksitlerden yola çıkılarak yapılmış nano boyutta Co_2B üretimi ile ilgili herhangi bir çalışmanın olmadığı belirlenmiştir. Yapılan çalışmada mekanokimyasal yöntemle başlangıç malzemesi olarak oksitlerden yola çıkılarak Co_2B nanopartikülleri üretilmiş ve lazer kaplama uygulamalarında üretilen nanopartiküller kullanılmıştır. Başarılı bir lazer kaplama işleminin, lazer gücü, ilerleme hızı, frekans, lazer cinsi, lazer çapı, kullanılan koruyucu gazın cinsi, basıncı ve ön kaplama işlemleri gibi parametrelere bağlı olduğu tespit edilmiştir. Kaplanmış numunelerin işlenebilirlik karakteristiklerini belirleyebilmek amacıyla numuneler sırasıyla aşındırıcı su jeti, tel erozyon, aşındırıcı disk ve lazerle kesilmiş ve metalografik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Mekanokimyasal yöntemle nano boyutta Co_2B üretim koşullarının optimize edilmesi sonucunda elde edilecek parametrelerin, diğer geçiş metallerinin borür formlarının üretimine de veri sağlayacak nitelikte olacağını yapılan literatür değerlendirmesi ile söylemek mümkündür. Ayrıca üretilen tozun yüzey kaplamada kullanılması ile uygulamaya dönüştürülmesi ve kaplama ile geliştirilen malzemenin işlenebilirliğinin araştırılması ile çalışmanın endüstriyel nitelik kazanacağı ve imalat sanayine kaynak teşkil edecek veriler içereceği düşünülmektedir [11-12].

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Malzeme ve kaplama işlemi (Materials and Coating Process)

Gerçekleştirilen çalışmada; makine imalat sanayi başta olmak üzere birçok alanda yaygın kullanıma sahip EN S235JRC (DIN ST37-2) düşük karbonlu çelik malzeme kullanılmıştır. Malzeme seçimi yapılırken geniş kullanım alanına sahip olmasının yanı sıra, mekanik ve fiziksel özellikleri değerlendirildiğinde diğer nitelikli malzemelere oranla daha yetersiz olmasının yanında,

halen kullanılan birçok sistem bileşenlerinin üretilmesinde benzer özelliklerde karbon çeliklerinin yaygın kullanımı da etkin olmuştur. Ayrıca birçok sistemde kullanılan parçaların tamamının üstün niteliklere sahip malzemeden üretilmesi ekonomik olmayacağı için bölgesel özelliklerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gibi durumlarda da ekonomik olan malzemeler yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu malzemelerden üretilen parçaların belli bölgelerinde kaplama gerekliliği de sektör ihtiyaçlarının yorumlanmasında katkı sunacağı ön görüşü ile malzeme tercihi yapılmıştır.

Uygulamalarda alt malzeme olarak kullanılan S235JRC düşük karbonlu çelik, 5X25X150 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Malzemenin kimyasal kompozisyonu Çizelge 1’ de verilmiştir.

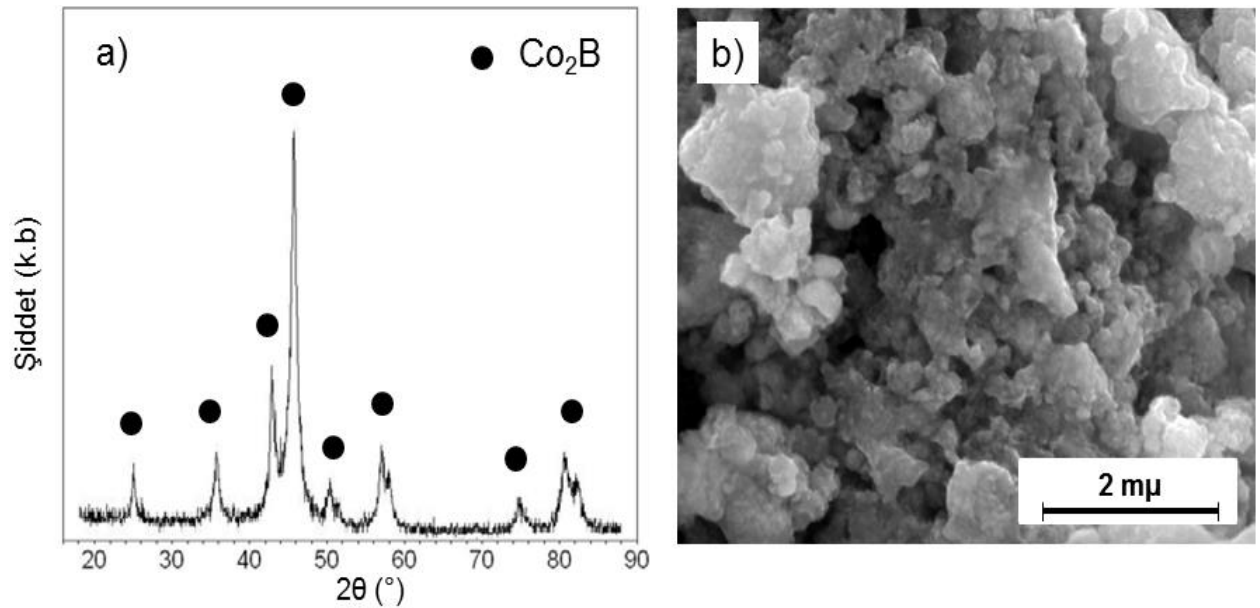
Çizelge 1. S235JRC düşük karbonlu çelik malzemenin kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of S235JRC low carbon steel material)

Kimyasal Bileşim	Ağırlıkça Oranı %
C	0,080
Si	0,241
Mn	0,434
P	0,008
S	0,005
Cu	0,290
N	0,010
Fe	Kalan

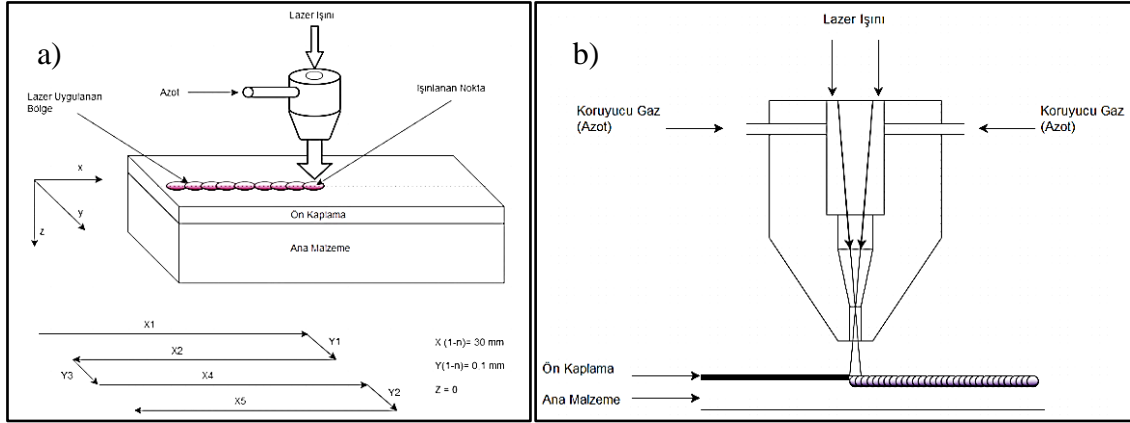
Kaplama malzemesi olarak, geçiş metallere Co elementinin ikili bor bileşiklerinden olan Co₂B, uydu tip yüksek enerjili bilyeli öğütücüde mekanokimyasal yöntemle üretilmiş ve karakterizasyonu yapılmıştır.

Üretilen Co₂B nanopartiküllerin XRD grafiği ve SEM görüntüsü Şekil.1’e verilmiştir. Faz yapısı Rigaku D/MAX-2200 XRD cihazında X-ışını kırınım analizi ile Cu-K α ışın kaynağı kullanılarak dakikada 4° tarama hızında 0-90° 2 θ aralığında yapılan tarama ile, morfolojik yapısı FEI Quanta 200F taramalı elektron mikroskopunda (SEM) belirlenmiştir. Co, B₂O₃ ve Mg başlangıç malzemelerinden, 350 rpm dönme hızında 40:1 bilye toz kütle oranında 15 saat süre ile yapılan yüksek enerjili bilyeli öğütme sonucunda elde edilen Co₂B nanopartikülleri asetik asit liçi ile saflaştırılmıştır. Nanopartikül üretim çalışmalarının ayrıntıları başka bir çalışmamızda verilmiştir [13].

Üretim ve karakterizasyon çalışmalarının tamamlanmasının ardından, S235JRC düşük karbonlu çelik malzeme yüzeyi, Co₂B kullanılarak farklı güçlerde CO₂ lazeri ile kaplama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla; üretim sonrası elde edilen Co₂B ürünü kullanılarak düşük karbonlu çelik malzeme yüzeyine lazer kaplama uygulamaları yapılmıştır. Kaplama öncesi çelik malzemelerin yüzeyleri kumlama işlemi yapılarak temizlenmiştir. Kumlama sonrası malzemeler sırasıyla etanol ve asetonla yıkanıp kurutularak lazer kaplamaya hazır hale getirilmiştir. Kaplama işleminin ve kaplamada kullanılan nozulun şematik gösterimi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Lazer kaplamada kullanılan Co₂B nanopartiküllerin a)XRD grafiği, b) SEM görüntüsü (a) XRD graphs, b)SEM images of the Co₂B nanoparticles used in laser coating) [11]



Şekil 2. a) Kaplama işleminin şematik gösterimi, b) Kullanılan nozulun şematik gösterimi (The schematic view of a) coating process, b) nozzle) [11]

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

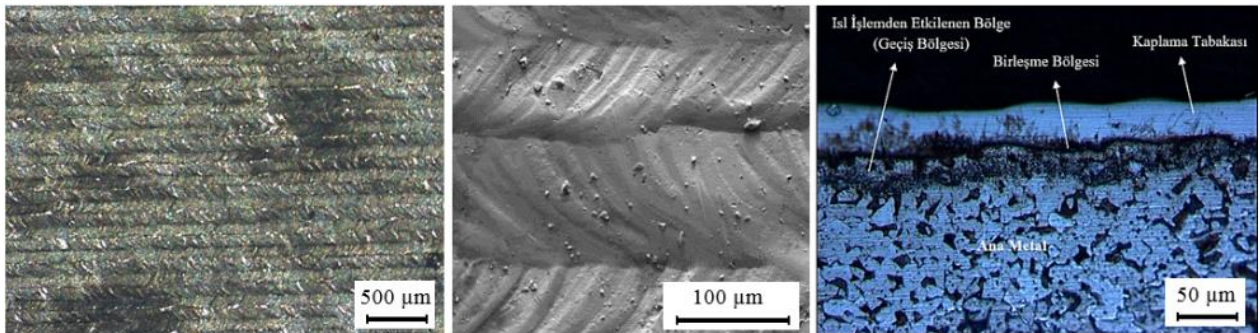
Lazer kaplamaya hazır hale gelen numunelere, 2000 W güce sahip CO₂ lazer cihazında, 600 kPa basınçla beslenen N₂ atmosferi altında, 125-174-220 W lazer güçlerinde üç farklı kaplama uygulaması gerçekleştirilmiştir. Lazer kaplamada uygulanan parametreler literatür dikkate alınarak belirlenmiştir [13].

Lazer kaplama uygulamalarında 10,64 µm dalga boyunda ve 1,5 mm çapında lazer ışını kullanılmıştır. Koruyucu gaz olarak azot beslenen lazer ışınının şekillendirildiği nozulun yüzeye olan mesafesi 0,5 mm olarak, yana kayma mesafesi (örtme mesafesi) 0,1 mm olarak ayarlanmıştır. Kaplama işlemi sonrası numune görüntüsü ve kaplanmış numunenin kesit görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir [13].

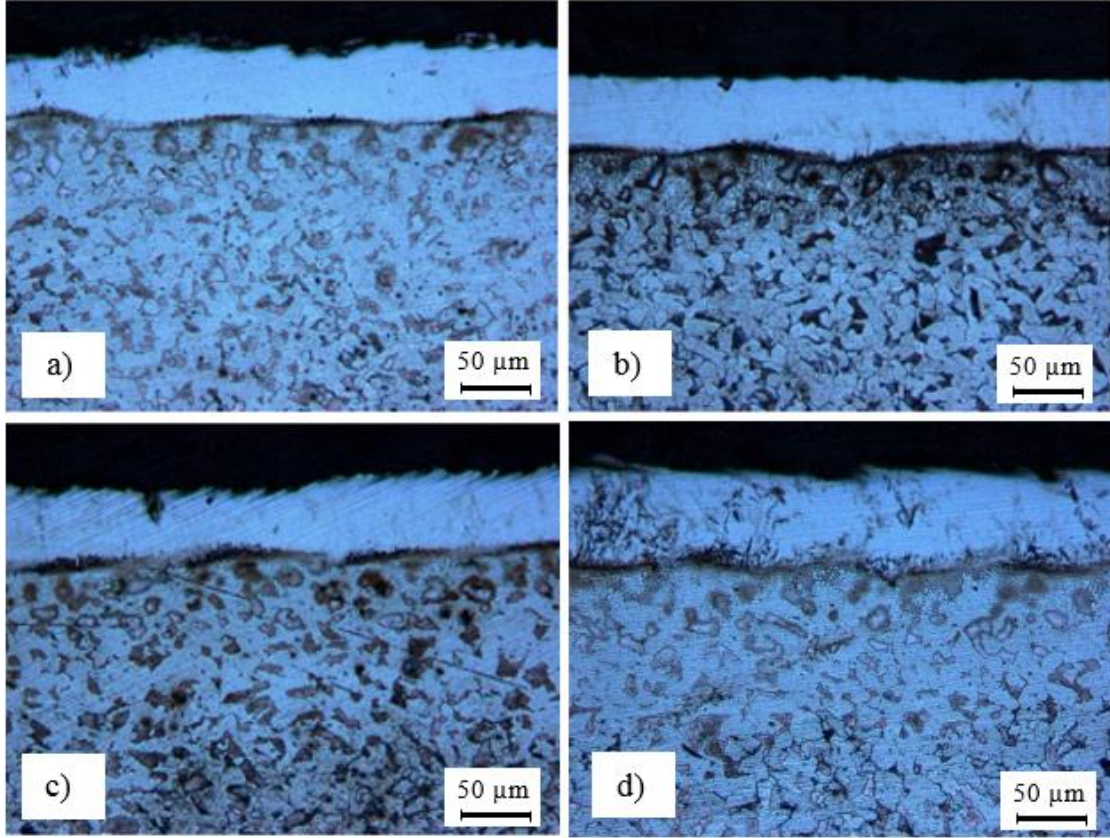
Kaplama kalitesini ortaya koymak için yapılan kesit alma işlemlerinde, seçilen kesme yönteminin etkisinin de olabileceği değerlendirilerek, çalışmada kullanılan dört farklı kesme yönteminden sonra her bir numunede kesit alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu işlemler

sonucunda elde edilen kesit görüntülerinden (Şekil 4) tüm kaplamalarda kaplama tabakası ile alt malzeme arasında bir bağ olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, kaplama tabakası ve ana malzemenin bölgesel yapılarını ortaya koymak için kaplama yapılan malzemeler sıvı azotta yaklaşık 5 dakika süre ile bekletilmiş ve sonrasında kırılmıştır. Kırılan numunelerin SEM görüntüsü Şekil 5'deki verilmiştir. Şekilde ki kesit görüntüsünde malzemenin ana metal (a), geçiş bölgesi (b), birleşme bölgesi (c) ve kaplama tabakasından (d) oluştuğu görülmüştür.

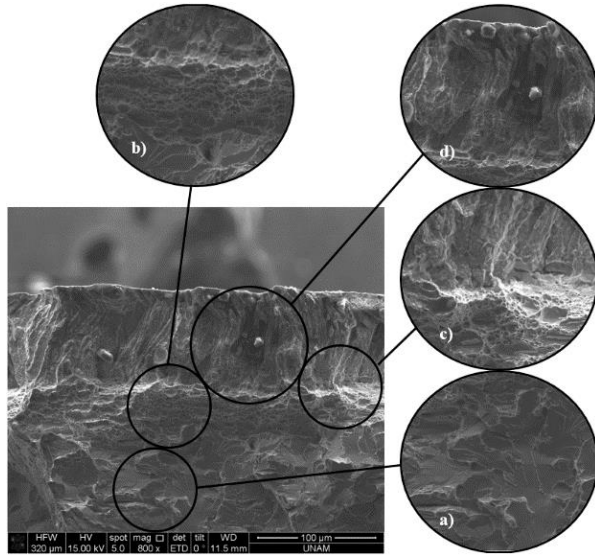
Kırılma sırasında ana metalde (a) gevrek kopmalar yaşandığı, geçiş bölgesinde (b) ise sünek kopmaların meydana geldiği morfolojik yapılardan tespit edilmiştir. Kaplama bölgesinin (d), lazer kaplama sırasındaki yüksek sıcaklıktan kaynaklı ana metalden yüzeye doğru anizotropik yönlü katılma ile sütunsal yapıdan oluştuğu ve kırma sırasında kopmaların sütunlara paralel şekilde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Birleşme bölgesinde (c) ise homojen bağ yapan bölgelerin yanı sıra, ısıl genleşmeden kaynaklanan düzensiz boşluklar meydana geldiği belirlenmiştir.



Şekil 3. Kaplanmış numunenin üst yüzeyinin a) optik mikroskop görüntüsü, b) SEM görüntüsü, c) kesit görüntüsü (The images of the coated surfaces a) optic microscope b) scanning electron microscope c) cross-section image of the coated sample) [11]



Şekil 4. Kaplanan malzemenin kesiti görüntüleri a) Aşındırıcı disk ile kesme, b) Tel Erozyon ile kesme, c) Lazer ile kesme, d) Su jeti ile kesme, (Cross-sectional views of coated material a) abrasive disc, b) wire-electrical discharge machining, c) laser, d) abrasive water-jet cutting)



Şekil 5. Kaplanan malzemenin kırma sonrası SEM görüntüleri (SEM images of coated material after breaking) [11]

2.2. Kaplanmış Numunelerin İşlenebilirliklerinin Araştırılması (Investigation of the Machinability of Coated Samples)

Makine imalat sanayinde yaygın kullanılan aşındırıcı su jeti, tel erozyon, lazer ve aşındırıcı disk ile kesme yöntemlerinin her birinin kendine özgün kesme

özellikleri olduğu ve bu özellikleri işlenen malzemenin temel özelliklerine doğrudan etki ettiği birçok çalışma ile ortaya konmuştur [14-23]. Ancak literatürde nano boyutta partiküller ile kaplanmış yüzeye etkilerini ortaya koyan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Oysa ki imalat sanayindeki teknolojik gelişmeler bu tür uygulamaları zorunlu kılmaktadır. Hedeflenen yapılacak çalışmalar ile bu eksikliğin giderilmesi ön görülmektedir. Kesme işlemlerinin kaplama tabakaları üzerindeki etkisini incelemek amacıyla kaplanmış numuneler, aşındırıcı disk ile kesme işleminin yanı sıra lazer, tel erozyon ve aşındırıcı su jeti ile kesilmiştir. Kaplamalarda meydana gelen tahribatlar optik mikroskop ve SEM analizleri ile belirlenmiştir. Ayrıca, farklı lazer güçlerinde elde edilen kaplamaların kalınlık ve sertlik ölçümleri, lazer, tel erozyon ve aşındırıcı su jeti ile kesme işlemlerinde elde edilen kesitlerde yapılmıştır. Mikroyapı, sertlik ve kalınlık belirleme analizleri öncesi numuneler, aşındırıcı disk ile kesme sonrası yapılan numune hazırlama işlemlerinden geçirilmiştir. CO₂B kaplanmış numunelerin kesildiği yöntemler için seçilmiş olan kesme parametreleri Çizelge 2’de verilmiştir. Parametrelerin seçiminde S235JRC düşük karbonlu çelik malzeme için endüstriyel açıdan en yaygın uygulanan kesme işlemleri ve özellikleri dikkate alınmıştır. Verilen parametrelerle yapılan kesme işlemleri sonrası elde edilen kesme bölgelerinin SEM (X800) ve optik mikroskop (X100) görüntüleri Şekil 6’da verilmiştir.

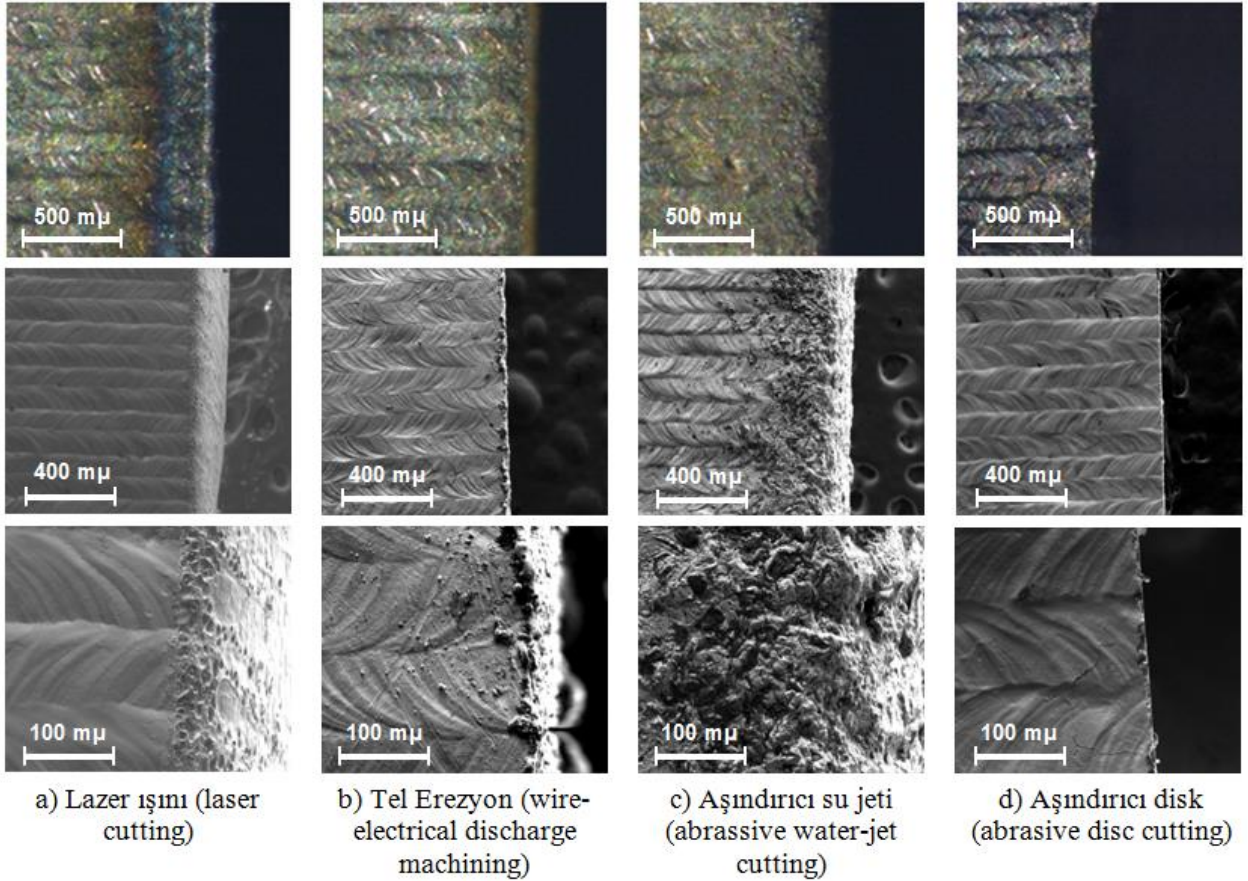
Çizelge 2. İşleme parametreleri (Processing parameters)

Aşındırıcı Disk ile Kesme Parametreleri	
Kullanılan Disk	SiC
Disk Ölçüleri (dış x iç çap x kalınlık)	250x32x1,6 mm
Devir	2840 rpm
İlerleme Hızı	1 mm/s
Kesme Sistemi	Otomatik
Soğutma	Bor yağı katkılı soğutma sıvısı

Lazer ile Kesme Parametreleri	
Lazer Gücü	2000 W
Kesme Hızı	1000 mm/min
Frekans	1000 Hz
Duty	55 %
Ortalama Güç	880 W

Tel Erozyon ile Kesme Parametreleri	
Tel Çapı	0,3 mm
Tel Cinsi	CuZn
Tel Hızı	6 m/min
Kesme Hızı	11 mm/min
Gerginlik	10 Cn
Enerji Verilen Süre	18 ms
Enerji Kesilen Süre	70 ms

Aşındırıcı Su Jeti ile Kesme Parametreleri	
Nozul Çapı	0,75 mm
Kum Debisi	250 g/min
Basınç	4000 bar
İlerleme Hızı	150 mm/min



Şekil 6. Lazerle kaplanmış St37 karbon çeliğinin kesme işlemleri sonrası optik mikroskop ve SEM (X100) görüntüleri (Optical microscope and SEM images of the laser coated St37 carbon steel after cutting processes) (X100)

Kesme işlemleri sonrası elde edilen optik mikroskop ve SEM görüntüleri, seçilen kesme yönteminin malzeme yüzeyinde oluşturduğu tahribatları ve yüzey etkileşimlerini ortaya koymuştur. Farklı yöntemlerle kesilen yüzeylere ait görüntüler değerlendirildiğinde;

- Lazer kesme işlemi uygulanan kesme bölgesinde kaplama bölgesi, geçiş bölgesi ve alt metal üzerinde

tahribatın az olduğu ancak ısıdan önemli ölçüde etkilenme olduğu açık bir şekilde görülmektedir.

- Tel erozyon ile kesme yöntemi ile elde edilen kesik bölgeleri incelendiğinde kaplama, geçiş bölgesi ve alt metal üzerinde ısıdan etkilenmenin daha sınırlı olduğu ancak düşük miktarda da olsa kesme yüzeyinde birikme olduğu gözlenmiştir.

- Su jeti ile kesme işleminde kaplama tabakasında önemli ölçüde tahribat yaşandığı ve kesme işleminde kullanılan aşındırıcı partiküllerin kaplama tabakasından sonraki geçiş bölgesine seyrek aralıklarla da olsa gömüldüğü gözlenmiştir.
- Aşındırıcı diskle kesme işleminde ise ısıdan etkilenme ve tahribatın minimum seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Kesme işlemleri kıyaslandığında lazer ve aşındırıcı su jeti ile kesme işlemlerinin kaplama tabakasında ciddi tahribata neden olduğu, tel erozyonda düşük oranda tahribat yaşandığı, en az tahribatın ise aşındırıcı disk ile kesme işleminde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Kesme yöntemlerinin yüzeye etkileri değerlendirildiğinde ise;

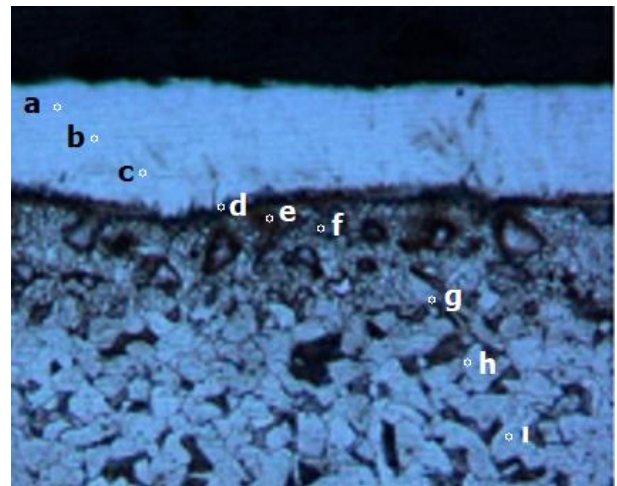
- Lazer ile kesme işleminde ani yüksek ısı girdisi ve ani soğumadan kaynaklı yüzeyde büyük çatlak ve kırıkların yanı sıra ısı yayılımından kaynaklı olarak geniş bir bölgede yapısal bozulmalar görülmüştür.
- Tel erozyon ile kesme yönteminde ise yüzeyde ısı bağlantılı daha küçük çatlak ve kırıklar mevcuttur. Ayrıca lazere kıyasla çok daha küçük bir bölge ısı etkisinde kalmış ve bunun sonucunda yapısal bozulmalar sınırlı kalmıştır.
- Aşındırıcı su jeti ile kesme yönteminde ise ısı girdisinin olmamasından kaynaklı termal deformasyon olmadığı, ancak kesme işleminin başlangıcında yüzeye çarpan su-aşındırıcı karışımının gelişi güzel sıçramaları sonucunda kaplama yüzeyinde belirgin kopma ve aşındırıcı tanecik batmaları ile büyük oranda fiziksel bozulmalar görülmüştür.
- Termal deformasyonlar ve fiziksel tahribatlar birlikte değerlendirildiğinde, aşındırıcı disk ile kesmenin çalışmada uygulanan yöntemler arasında en uygun yöntem olduğu tespit edilmiştir.

CO₂B kaplanmış S235JRC düşük karbonlu malzemelere uygulanan kesme yöntemlerini karşılaştırdığımızda, uygulanan yöntemler arasında en olumsuz yöntemin, neden olduğu yapısal değişikliklerden dolayı lazer ile kesme olduğu belirlenmiştir. Su jeti ile kesme işleminin kaplama tabakasında ciddi tahribata neden olduğu, tel erozyonda düşük oranda tahribat yaşandığı, en az tahribatın ise aşındırıcı disk ile kesme işleminde görüldüğü anlaşılmıştır. Uygulanan yöntemler arasında aşındırıcı disk ve tel erozyon ile kesme, diğer iki yöntemle göre ön plana çıkmaktadır. Fakat kaplamada yapısal değişimin en az olması istenen durumlarda, neden olduğu tahribatta dikkate alınarak, ısı girdisinin olmamasından dolayı su jeti ile kesme yöntemi tercih edilebilir.

Optik mikroskop görüntülerinden her üç kesme yönteminde de düzgün doğrusal yapıların elde edilebildiği ve kesme işlemlerinin başarılı gerçekleştiği anlaşılmıştır. Lazer ile kesme işleminde numunenin

ısıdan önemli ölçüde etkilendiği, yaklaşık 550 µm geçiş bölgesi olduğu ve özellikle kenara yakın bölgede önemli derecede ısıdan etkileşim olduğu görülmüştür. Tel Erozyon ile kesme işleminde geçiş bölgesinin yaklaşık 100 µm, su jeti ile kesme işleminde yüzeyden yansıma ve saçılma ile kaplama tabakasında yaklaşık 500 µm tahribat olduğu belirlenmiştir. Kesme işlemi sırasında en az sıcaklıktan ve tahribattan etkilenen bölge oluşumu yaklaşık 20 µm ile aşındırıcı disk ile kesme işleminde görülmüştür. Termal kesme yöntemleri olan lazer ve tel erozyonu ile kesmede, ısıdan dolayı tahribat meydana gelirken, aşındırıcı su jetinde ise aşındırıcı tanelerin ve basınçlı suyun etkisi söz konusudur. Aşındırıcı su jeti ile kesmede ısıdan dolayı tahribat olmamasına rağmen aşındırıcı tanelerin kaplama yüzeyine gelişigüzel çarpıp sıçraması sonucu kesme bölgesini ciddi şekilde deforme ettiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar yöntemlerin işlem kabiliyetinin uygun olduğu konularda aşındırıcı disk ile kesme yönteminin en uygun kesme yöntemi olduğunu ancak aşındırıcı diskin kullanılmayacağı karmaşık geometrili numunelerde ise tel erozyon yönteminin tercih edilmesi gerektiği ortaya konmuştur.

Kesilen numunelerin, kesitinden mikro sertlik ölçümü yapabilmek amacıyla metalografik uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Numune hazırlama işlemleri neticesinde, kesme yöntemlerinden kaynaklanan tahribat bölgelerinin aşındırıldığı, buna bağlı olarak ölçümlerin numunelerin iç bölgelerinden alındığı ve Şekil 7'de sertlik ölçüm bölgeleri şekil üzerinde gösterilmiştir. Sırasıyla a, b ve c kaplama tabakası, d, e ve f geçiş bölgesi ve g, h ve i ana metal deney numunesi üzerinden sertlik ölçümlerinin yapıldığı yaklaşık alanları göstermektedir. Kesme işlemleri sonrası numunelerin yüzeylerinden ve kesitlerinden ölçülen sertlik değerleri Çizelge 3'te verilmiştir.



Şekil 7. Sertlik ölçüm bölgeleri (Hardness measurement areas)

Çizelge 3. Kaplanmış numunelerin kesitinden alınan mikrosertlik değerleri (Microhardness values of coated samples taken from cross-sections)

İşlem Görmemiş Numune	Kaplama Lazer Gücü	Kesme Yöntemi	Sertlik (HV _{0,05})			
			Ana Metal	Geçiş Bölgesi	Kaplama Tabakası	Kaplama Yüzeyi
199,33 HV _{0,05}	125 W	Ortalama	215,33	308,22	483,66	566,70
		Su Jeti	211	310,3	478,6	564,9
		Tel Erozyon	215,6	312,6	487,6	574,2
		Aşındırıcı Disk	213	311	483	567,1
		Lazer	219	301,6	484,6	578,3
	174 W	Ortalama	222,55	335,55	603,55	660,30
		Su Jeti	217,3	329,3	590,6	648,5
		Tel Erozyon	216	334,3	606,3	667,4
		Aşındırıcı Disk	221,6	335	595,6	651,7
	220 W	Lazer	234,3	343	613,6	681
		Ortalama	217,66	343,88	647,00	687,30
		Su Jeti	212,3	361	641	679
	Tel Erozyon		221	333	658	699,2
		Aşındırıcı Disk	220	338	650,6	688,3
	Lazer		219,6	337,6	662	703,2

Çizelgeden, yapılan ölçümlerde mikro sertlik değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Numune sertliği yaklaşık olarak 125, 174 ve 220 W lazer güçlerinde yapılan kaplamalar için sırasıyla 483,5; 601,58 ve 647,91 HV olarak bulunmuştur.

Genel bir değerlendirme ile test numunelerinin hazırlanmasında kullanılan lazer gücü ile yüzey sertliğinin doğru orantılı olarak arttığı ve kesme yöntemlerinin sertlik değerleri üzerinde etkili oldukları tespit edilmiştir. Bu durum literatürde kesme yöntemlerinin karşılaştırıldığı çalışmalarla paralellik göstermektedir [14-23].

5. SONUÇ (CONCLUSION)

- İşlenebilirlik uygulamalarında kaplama bölgesi değerlendirildiğinde, en az tahribat ve en iyi yüzey özellikleri aşındırıcı diskle kesme ile elde edilmiştir.
- Lazer ile kesme işleminde açığa çıkan yüksek ısıdan dolayı, kaplama tabakasının alt malzemeden kopma eğiliminin azaldığı ancak kesme bölgesinde termal deformasyonların meydana geldiği tespit edilmiştir.
- Aşındırıcı su jeti, aşındırıcı disk ve tel erozyon ile kesme işlemleri sonrası, kesim bölgesinde kaplama tabakasının alt yüzeyden kopma eğiliminde olduğu belirlenmiştir.
- Kesme yüzeyindeki tahribat değerlendirildiğinde aşındırıcı su jetinin kaplama tabakasını en fazla deforme eden yöntem olduğu tespit edilmiştir.

- Kaplanmış yüzeylere uygulanan kesme yöntemlerinin genel olarak sertlikte aşırı bir değişime sebep olmadığı ancak lazer ile kesimin diğer yöntemlere göre kesim bölgesinde düşük miktarda sertliği arttırdığı belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Çalışmaya verdiği destek için Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Garrett D., "Borates: Handbook of deposits, processing, properties and use", 1-452, *Academic Press*, USA, (1998)
- [2] Riedel R., "Handbook of Ceramic Hard Metaterials", Editors: Swain M., Brook R.J., Structure and Properties of Ceramic, *Processing of Ceramics*, Wiley-VCH Verlag GmbH, 1, Germany, (2000)
- [3] Kanomata T., Ise Y., Kumagai N., Haga A., Kamishima K., Goto T., Kimura H.M., Yoshida H., Kaneko T. and Inoue A., "Magnetovolume effect of Co₂B", *Journal of Alloys and Compounds*, 259: L1-L4, 1997.
- [4] Petit C. and Pileni M.P., "Nanosize cobalt boride particles: control of size and properties", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 166: 82-90, (1997)
- [5] Krishnan P., Advani S.G. and Prasad A.K., "Cobalt oxides as Co₂B catalyst precursors for the hydrolysis of sodium borohydride solutions to generate hydrogen for PEM fuel cells", *International Journal of Hydrogen Energy*, 33: 7095-7102, (2008)
- [6] Paul C.P., Alemohammad H., Toyserkani E., Khajepour A. and Corbin S., "Cladding of WC-12Co on low carbon steel using a pulsed Nd:YAG laser", *Materials Science and Engineering A*, 464 (1-2) : 170-176, (2007)

- [7] Meng Q.W., Geng L. And Zhang B.Y., “Laser cladding of Ni-base composite coatings on to Ti-6Al-4V substrates with pre-placed B₄C+NiCrBSi powders”, *Surface and Coatings Technology*, 200 (16-17): 4923-4928, (2006)
- [8] Du B., Zou Z., Wang X. and Qu S., “Laser cladding of in situ TiB₂/Fe composite coating on steel”, *Applied Surface Science*, 254 (20): 6489-6494, (2008)
- [9] Anjos M.A., Vilar R. and Qui Y.Y., “Laser cladding of ASTM S31254 stainless steel on a plain carbon steel substrate”, *Surface and Coatings Technology*, 92 (1-2): 142-149 (1997)
- [10] Li-li G., Xiu-fang B., Yong-sheng T. and Chun-xia F., “Effect of Co on microstructure and interfacial properties of Fe-based laser cladding”, *International Journal of Iron and Steel Research*, 16 (4): 84-88 (2009)
- [11] Barış M., “The Synthesis of Nano Cobalt Boride With High Energy Ball Milling and The Development of Mechanical Properties of Low Carbon Steel Surfaces With Coating”, *PhD Thesis*, Gazi University Graduate School of Natural and Applied Sciences, (2014)
- [12] Simsek T., “Investigation Of The Zirconium Diboride Nanocrystal Coated Different Materials Mechanic And Mechinability Properties”, *PhD Thesis*, Gazi University Graduate School of Natural and Applied Sciences, (2014)
- [13] Barış M., Simsek T., Akkurt A., “Laser surface treatment of S235JRC carbon steel with Co₂B nanocrystals”, *International Journal of Materials Research* 108 (6): 1-9, (2017)
- [14] Akkurt A., “Effect of cutting speed on surface roughness in AWJ cutting applications of comercial pure aluminium and Al-6061 Aluminium alloy”, *Journal of Polytechnic*, 8: 69-79, (2005)
- [15] Akkurt A., “Comparision of cut surface properties obtained from AISI 1030 steel by abresive water jet and by other methodologies”, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 15: 142-152, (2009)
- [16] Dahil L., Dahil İ. and Karabulut A., “Comparison of Advanced Cutting Techniques on Hardox 500 Steel Material And The Effect of Structural Properties of The Material”, *Metallurgija*, 53 (3): 291-294, (2014)
- [17] Akkurt A., “Surface properties of the cut face obtained by different cutting methods from AISI 304 stainless steel materials”, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 16: 373–384, (2009)
- [18] Engel S.L. and Labus T.J., “Industrial applications and comparison of lazer and abrasive waterjet technologies in Fluid Jet Technology” 2nd ed. St. Louis, *Fundamentals and Applications* WJTA, USA, (1993)
- [19] Krajcarz D., “Comparison Metal Water Jet Cutting with Laser and Plasma Cutting”, *Procedia Engineering*, 69: 838 – 843, (2014)
- [20] Harnicarova M., Zajac J. and Stoic A., “Comparison Of Different Material Cutting Technologies In Terms of Their Impact on The Cutting Quality of Structural Steel”, *Technical Gazette*, 17 (3): 371-376, (2010)
- [21] Hilton P.A. and Howse D.S., “Cutting process comparison”, *The Welding*, England, (1997)
- [22] Mukherjee I. and Ray Pn.K., "A review of optimization techniques in metal cutting processes", *Computers and Industrial Engineering*, 50 (1) : 15-34 (2006)
- [23] Akkurt A., “Experimental Investigation of the Surface Properties Obtained by Cutting Brass-353 ($\alpha+\beta$) with an Abrasive Water Jet and other Cutting Methods”, *Materials and Technology*, 48 (5): 725-734, (2014)