DÖKÜM YÖNTEMİYLE 316L PASLANMAZ ÇELİK TAKVİYELİ BI-METAL ÜRETİMİ ve MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Levent Cenk KUMRUOĞLU*, Orhan ÇAKIR, Gülsüm ÇAKIR**, Ali ÖZER***

* Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
** Akdaş Döküm A.Ş.

ÖZET

Bu çalışmada, bi-metal döküm tekniği kullanılarak iki farklı metalin, farklı mekanik özellikleri, korozif direnç özellikleri ve üstünlükleri göz önünde bulundurularak tasarım ve üretim aşamasında kompozit malzeme olarak üretilmesi incelenmiştir. Yüzey kısmında yüksek aşınma direnci ve korozyon direnci; iç kısmında ise tokluk, ekonomik yöntemlerle üretilebilirlik ve yüzey metali ile döküm durumunda ara yüzey yapabilme özelliklerini gerektiren bir dişli tasarlanmış ve üretilmiştir. Üretilen dişlinin yüzey kısmında yüksek aşınma direnci ve korozyon direnci elde edilmiş, iç kısımda ise dökümle üretilebilecek ekonomik açıdan düşük-orta maliyetli alaşımlı dökme çelik başarıyla üretilmiştir. Boyuna takviye malzemesi olarak 316L paslanmaz çubuk kullanılmış, matris malzemesi olarak 30NCD8 (Afnor) döküm çeliği kullanılmıştır. Alaşımlar seçilirken, üretilen dişlinin özellikle gıda sektöründe kullanılan makinelere dişli elemanı olarak seçileceği göz önüne alınarak yüzeyin aşınma özelliğinin iyi olmasının yanında, farklı korozif ortamlardaki oksidasyon direncinin yüksek olması da çok önemli bir detay olarak göz önünde bulundurulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bi-Metal Kompozit Döküm, Aşınma Direnci, Bi-layer döküm, Difüzyon

SUMMARY

In this study, by considering different mechanical properties, corrosive resistance properties and superiorities of two different metal alloys in design and production stages, bi-metal casting technique used for producing composite materials were investigated. A gear was produced, that has good ability of bonding at the interface in as cast situation with surface metal, productive by economic methods, toughness, high wear and corrosion resistance .
At the surface of the produced gear, high wear and corrosion resistances were obtained. The gears were produced by bi-metal casting methods as cost effective. 316 L stainless steel cylindrical rod was used as reinforcement fibre, and 30NCD8 casting alloy steel as matrix. When selecting matrix alloy and reinforcement fibre, it was considered that the gear will genarally be used in food prepearing machines so the gear materials must have high corrosion and wear resistance.

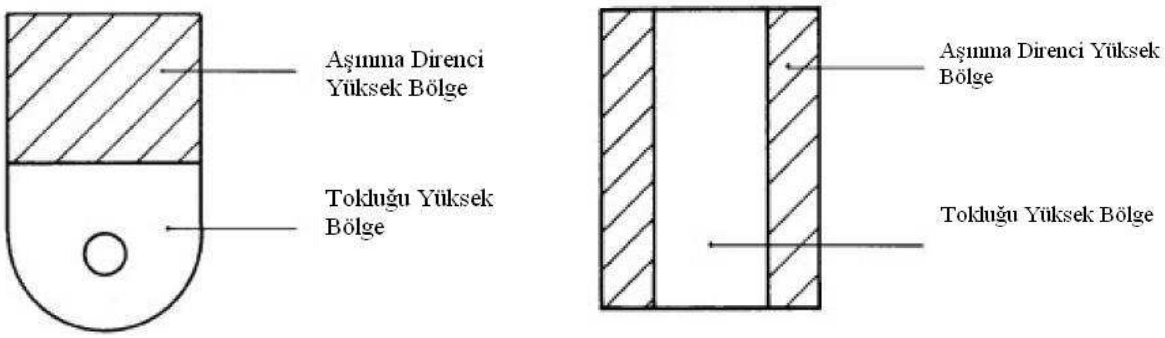
Keywords: Bi-metal composite casting , Wearing resistance, Bi-layer casting, diffusion

1. GİRİŞ

Metal dökümü tarihi bir üretim ağacına sahip olup yıllar boyunca farklı araçlardan yararlanılmıştır ve endüstri devriminde önemli bir rol oynamıştır. Metal dökümü, bilindiği üzere, bir metalin ergime sıcaklığının üzerine ısıtılarak ergitilmesi daha sonrada içerisinde boşluklar ve maçalar içeren kalıba istenen şekil elde edilmek üzere dökülmek suretiyle yapılmaktadır.

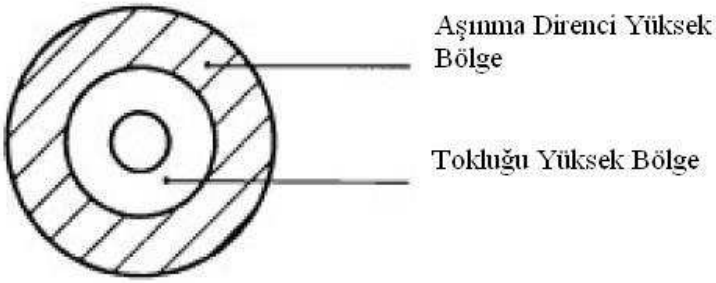
Bi-metaller iki farklı özellikteki metalin beraberce oluşturduğu bir yapı özelliği gösterirler. Örneğin alüminyum-giydirmeli çelik tellerde olduğu gibi, çelik teller mukavemet ve yüksek dayanım özelliklerini sağlar, alüminyum ise korozyon direnci ve elektrik iletkenliği özelliği ile bi – metal bünyesinde görev yapar. Bi- metal üretim mantığı iki farklı metalden, bazı özellikleri kullanıma göre üstünlük sağlayan metalleri bütünleşik ama aynı amaçla kullanmaktır, üretilen parçalar düşük maliyet, hafiflik, yüksek mekanik dayanım, aşınma direnci ve korozyon direnci özelliklerini içermelidir.[1]

Bi-metal üretimi ve ürün tasarımı üzerine bir çok yöntem bulunmaktadır. Şekil 1'de özellikle çekiç üretimi için uygun tasarım gösterilmiştir, çekicin orta bölümünde yüksek tokluk gereksinimi ve alt kısmında da sürekli aşınmaya maruz kalacak olan sert ve aşınma direnci yüksek malzemeye gereksinim duyulmaktadır. [2]



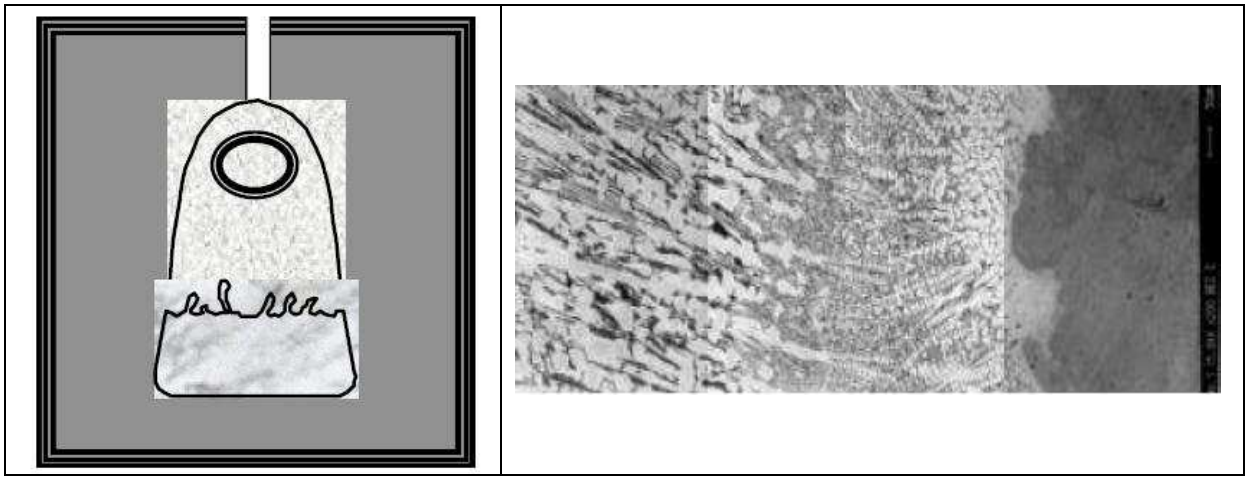
a) **b)**

Şekil 1: a)Aşınmaya mukavim ve tokluğu yüksek Bi-metal çekiç, b)Dış çeperinin aşınma direnci yüksek, iç kısmı tok silindirik hub.



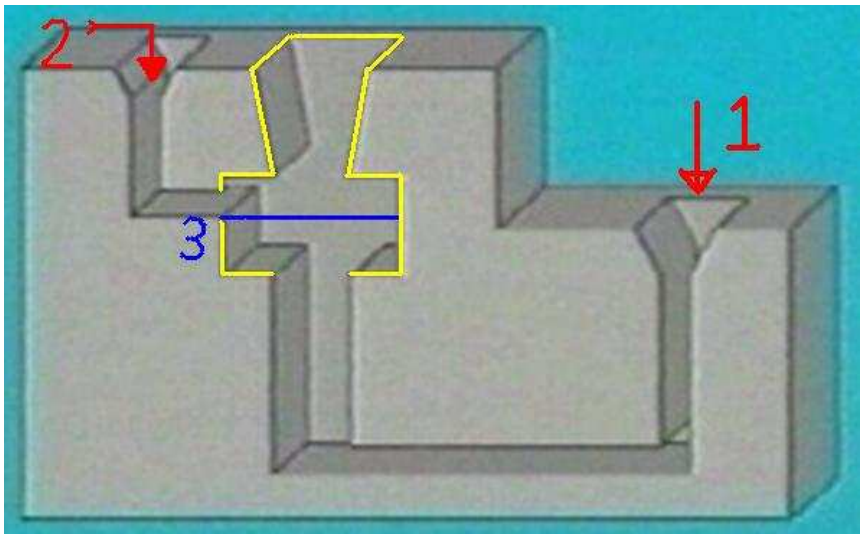
Şekil 2. Dış çeperinin aşınma direnci yüksek, iç kısmı tok silindirik bar, bu özelliği ile ektrüzyon vidası, kırıcı segmanı olarak kullanılabilecek bir bi-metal parçanın kesiti [2]

Bi-metal döküm parçalar bir çok malzemeden üretilebilmektedir. Bunlardan en yaygını aşınma dirençli olanlarıdır. Bu tür dökümler genellikle beyaz dökme demir ve düşük alaşımlı çelikler kullanılarak ve başarılı bir döküm metoduyla sağlanmaktadır. Araştırmalar göstermiştir ki, kömür kırıcı olarak kullanılan konvansiyonel yüksek Mn'lı çeliğe nazaran beyaz dökme demir yüzeyli ve düşük karbonlu altlıklı bi-metal 5 kez daha fazla yaşam çevrimine sahiptir. [3]



Şekil 3. Metalurjik (Döküm) bağlanma ile üretilen beyaz dökme demir ve düşük karbonlu çelik bi-metal çekicin ara yüzey formunun şematik görüntüsü(sol) ve mikro yapı fotoğrafı (sağ) [3]

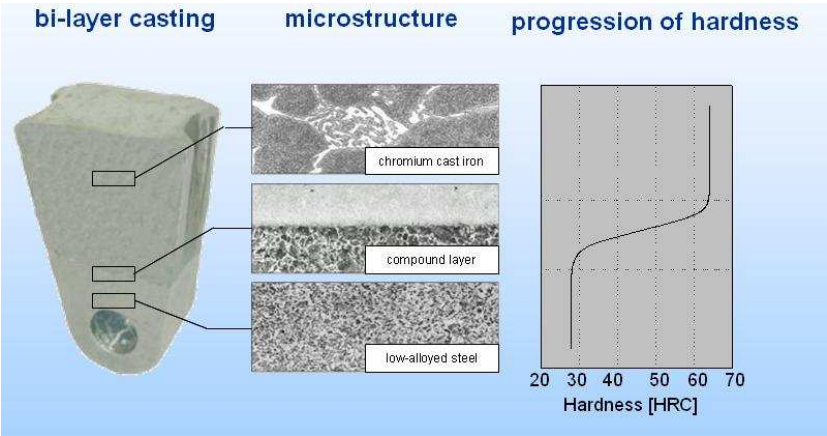
Bi-metal dökümü; santrifüj döküm yöntemi, sürekli döküm[4], hassas döküm (kuyumculuk) yöntemi, maça şeklinde veya kalıp şeklinde yerleştirilmiş ön ısıtma uygulanmış metal parçaların içine ve etrafına dökülmek suretiyle uygulanabilmektedir[5]. Bunlardan başka bir de ekstrüzyon ile döküm yöntemi bulunmaktadır[6].



Şekil 4. Bi-metal dökümü için tasarlanmış bir kalıp

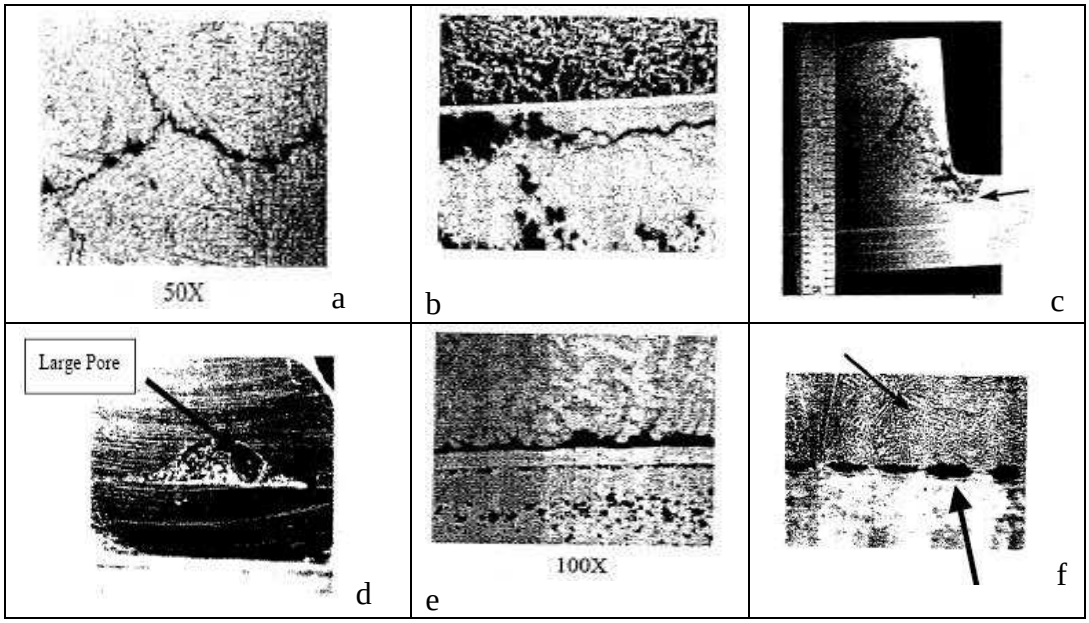
Ticari olarak üretilen bir çok bi-metal döküm parçası olup, bu parçaların geometrik şekline ve aşınma-tokluk alanlarına ve yüzeylerine göre, farklı tip kalıp tasarımları dizayn edilmektedir. Şekil 5 iki farklı alaşımın ergitilmek suretiyle tek bir kalıba dökülüp bi-metal elde etmek için tasarlanmış bir kalıbı göstermektedir. Temel olarak bu sistemin çalışma sistemi şöyledir. 1

numaralı yolluktan altlık malzeme dökülür, döküm 1 numaralı yolluk havşası dolana kadar devam eder, bu seviye metal yaklaşık olarak 3 numara ile gösterilen mavi yatay çizgi seviyesine ulaşır, daha sonra bazı uygulamalarda 2 numaralı yolluktan ara yüzey oluşturması için ikinci bir metal ve takiben yine 2 numaralı yolluktan aşınma direnci yüksek üçüncü metal dökülür, döküm 2. numaralı yolluk havşası dolana kadar sürdürülür. İkinci bir uygulama ise 1. numaralı yolluktan alttık(tokluğu yüksek) metal döküldükten sonra, ikinci yolluktan aşıma direnci yüksek olan malzeme yolluk ağzı dolana kadar dökülmeye devam edilir. Sonuç olarak 3 numaralı mavi çizgi boyunca iki ergime seviyesi ve ergime seviyesinin altında olan iki malzeme difüzyon ve birbiri içinde ergime ve metalurjik olarak karışmak suretiyle bağ oluşturur.



Şekil 5. Bi-metal dökümü ile üretilmiş, kromlu dökme demir ve düşük alaşımlı çelikten oluşan kırıcı çekiç için mikro yapı ve malzemeler arası sertlik geçişi

Şekil 5 de bi-metal dökümü ile üretilmiş kırıcı çekice ait ara tabaka mikro yapısı ve sertlik geçiş diyagramı verilmiştir [7].
Bi-metal dökümünün karmaşık bir proses olmasından dolayı bazı döküm hatalarını da beraberinde getirmektedir, bu döküm hatalarına ait bazı fotoğraflar Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. a:yüzey çatlağı, b:ikincil çatlak, c:büyük çekinti, d:iri por, e:arafaz boyunca çatlak, f:soğuma sırasında hasıl olan arafaz boyunca stres çatlağı

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme-Yöntem

Tablo 1. Bi-metal malzemelerinin ve ara yüzeyin spektrometrik elementel analizi

Matris malzemesi olarak kullanılan çeliğin spektrometrik elementel analizi (Alloy 30NCD8)									
C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo	Cu
0.223	0.235	0.353	0.018	0.014	<0.0001	2.375	2.397	0.527	0.075
Co	N	Sn	Pb	V	Nb	W	Al	Ti	Fe
0.011	0.013	0.003	0.002	0.011	0.006	0.025	0.004	0.004	REM

Takviye malzemesi olarak kullanılan paslanmaz çeliğin spektrometrik elementel analizi (Alloy 316L)									
C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo	Cu
0.025	0.7	1.9	0.037	0.03	1.8	18	11	2.1	0.145
Co	N	Sn	Pb	V	Nb	W	Al	Ti	Fe
----	----	--	---	---	---	---	---	---	REM

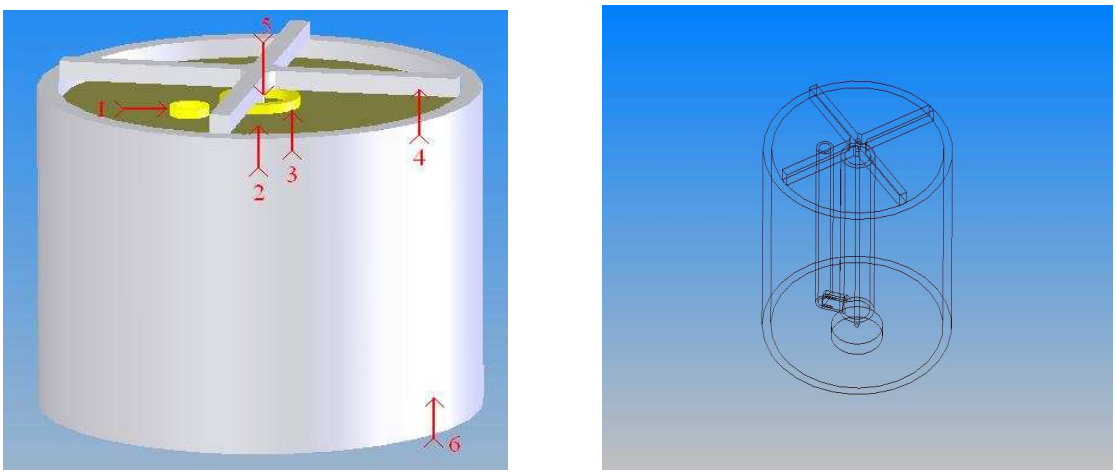
Takviye malzemesi olarak kullanılan paslanmaz çelik ve matris malzemesi olan 30NCD8 alaşımının ara yüzeyinden alınan spektrometrik elementel analiz (Bi-metal ara yüzeyi)									
C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo	Cu
0.139	0.385	0.92	0.025	0.016	<0.02	9.98	6.393	1.282	0.145
Co	N	Sn	Pb	V	Nb	W	Al	Ti	Fe
0.063	0.035	0.009	0.006	0.031	0.017	0.03	<0.001	0.007	REM

2.1.1. Döküm ve Modelleme

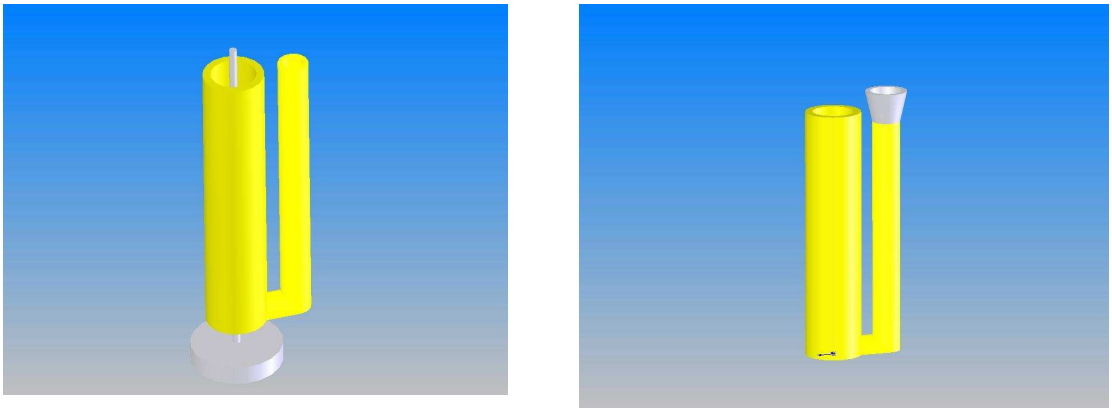
Dökümün sağlıklı yapılabilmesi için çelik boru şeklinde döküm kalıbı (Şekil 7) kesildi, silindirik şekildeki döküm kalıbının üst kısmına x şekilli konstrüksiyon kaynatıldı, x şeklindeki konstrüksiyonun, tam merkez noktasına 5 mm çaplı delik açıldı, ve daha sonraki dişli dökümü için ise x şeklindeki konstrüksiyonun merkezine 30 mm çaplı bir çemberi içten teğet olarak 360 derece dönecek şekilde 5mm çaplı 13 adet delik açıldı. 5 mm çapında ve 150 mm uzunluğunda olan paslanmaz çelik çubuklar 40 mm çaplı, 15 mm et kalınlığındaki disklere dik bir şekilde kaynak yapılmadan sıkı geçme yöntemiyle monte edildi.

Monte edilen paslanmaz çelik çubuklar, disk aşağıda kalacak şekilde düz ve sert bir zeminde sabitlendi, ve diskin üzeri shell kabuk ile kapatıldı, daha sonra shell kumundan imal edilen yolluk ve kalıp paslanmaz çelik çubuk ve çubuklar merkezde kalacak şekilde iç içe konuldu, shell kalıbın etrafı silis kumuyla dolduruldu, yolluk ağzı ve kalıp ağzına 10 mm kala, silis kumu ilavesi bitirildi. Paslanmaz çelik takviye çubukları 350-450 °C sıcaklığa ısıtıldı. Bu sistem standardında yan yana, 5 adet sistem yerleştirildi. İndüksiyon ocağında ergitilen 30NCD8 kodlu alaşımlı çelik, potalarla kalıplara döküldü.

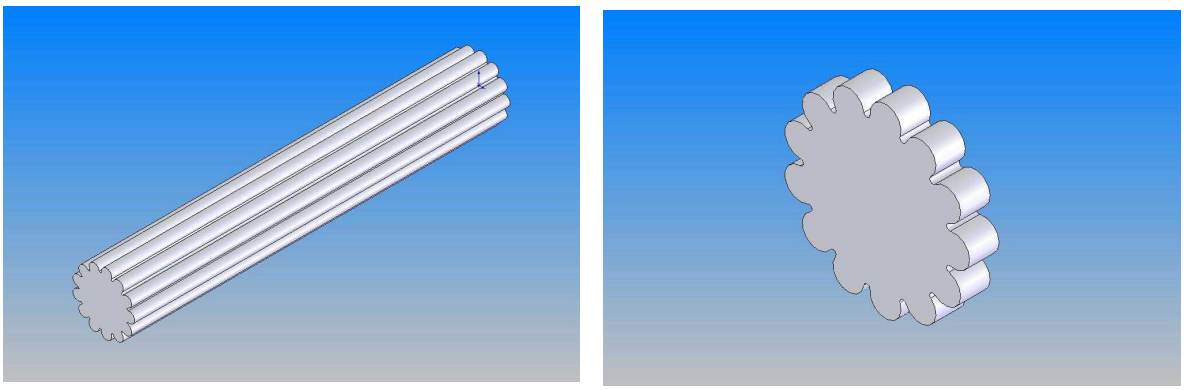
Katılaşmanın ve soğumanın tamamlanmasını takiben kalıplar açıldı, yüzey temizliği yapıldı, takiben numunelere normalizasyon ve gerilim giderme işlemi yapıldı. Isıl işlemden çıkan numuneler, takiben numunelerde olası boşlukları ve çatlakları tespit için ultrasonik muayene yapıldı, ultrasonik muayeneden sonra, döküm parçasından enine kesit şeklinde numune alındı, bu numunelere sıvı penetrant testi uygulandı, paslanmaz çelik çubukların çevresinde oluşabilmesi olağan , soğuma çatlakları arandı, sıvı penetrant muayenesinin ardından DIN125 standardına göre çekme deneyi numunesi olarak işlendi, ve çekme deneyi uygulandı, takiben numunelerin metalografik incelemesi yapıldı.



Şekil 7. Döküm kalıbının katı model ve tel kafes görüntüsü 1) Yolluk girişi 2)Silis Kumu 3) Shell kalıp 4) x şeklinde kaynatılmış parça sabitleme elemanı 5) Paslanmaz çubuk ve çubukların yerleşimde görülen üst kısım 6) Çelik borudan kesilmiş derece



Şekil 8. Shell kumundan hazırlanan yolluk ve döküm boşluğu ile paslanmaz çelik çubuk (çubukların) teknik resmi



Şekil 9. Shell maçanın etrafına yerleştirilmiş paslanmaz çelik döküm parçası ve bu barçadan enine kesilmiş dişli

2.1.2. Çekme ve Sertlik Deneyleri

Çekme deneyi HECHERT 990 marka, 20 tonluk çekme cihazında, sertlik deneyleri ise Bulut Makine Dijirock RB Sertlik Cihazı'nda HRc modunda, 187.5kg ile elmas batıcı uçla, HB modunda ise 2.5 mm çelik bilya ile yine 187.5 kg'da yapılmıştır.

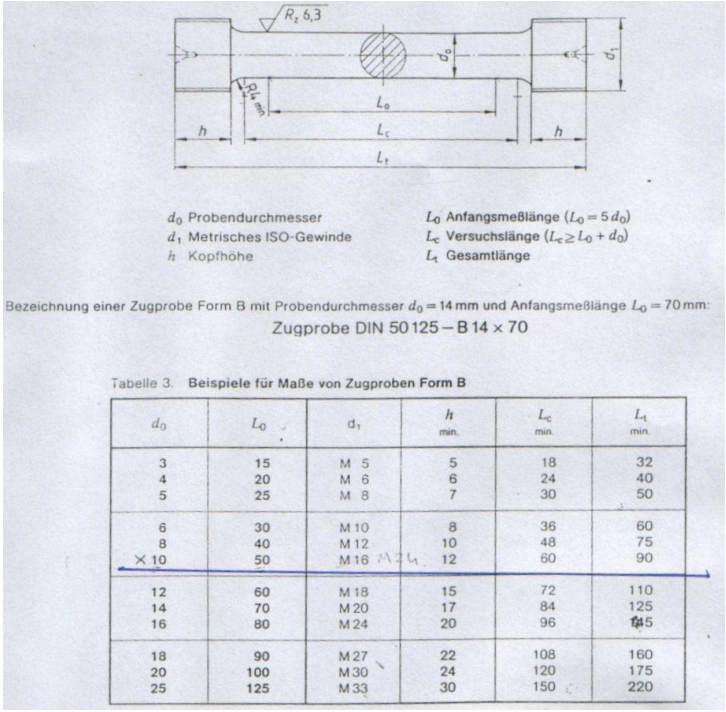
2.1.2.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Tablo 2. Bi-metal kompozit, takviye ve matris malzemelerin mekanik özellikleri

Numuneler	Çekme mukavemeti(MPa)	Uzama	Akma(MPa)
Kompozit	758	%1.40	Gözlenmedi
316L(takviye)	485	%40	170
30NCD8(matris)	1250-1400	%9	1040

Yapılan çekme testlerinde orta kısımda takviyeli malzemeler kullanıldı ve iki malzemenin birleşmesinden dolayı akma gözlenememiş olup çekme mukavemetinde artış görülmüştür.

Çekme deneyi numuneleri DIN 51125 normunda ve Şekil 10 gösterilen ölçü ve toleranslarda işlenmiştir.(lo 50, do 10 mm)



d_0	L_0	d_1	h min.	L_c min.	L_t min.
3	15	M 5	5	18	32
4	20	M 6	6	24	40
5	25	M 8	7	30	50
6	30	M 10	8	36	60
8	40	M 12	10	48	75
× 10	50	M 16	12	60	90
12	60	M 18	15	72	110
14	70	M 20	17	84	125
16	80	M 24	20	96	145
18	90	M 27	22	108	160
20	100	M 30	24	120	175
25	125	M 33	30	150	220

Şekil 10: Çekme numunesi teknik resmi ve standardı

2.1.2.2. Sertlik Değerleri

Tablo 3. Sertlik Değerleri

Sertlik Değeri	316 L	30NCD8
10 Ölçüm ortalaması	200-210 HB	35.9(HRc)

2.1.3. Sıvı Penetrant ve Ultrasonik Muayene Testleri

2.1.3.1. Sıvı Penetrant Testi

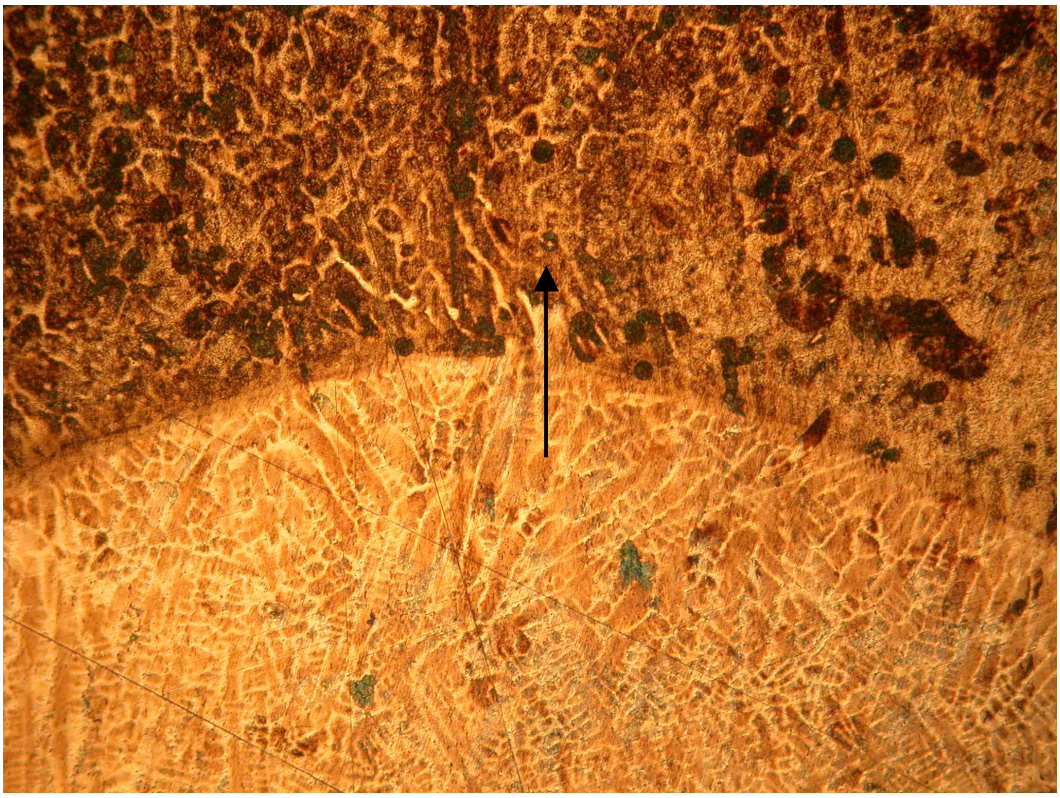
Sıvı penetrant testlerinde Beta Marka, BT-68 WWD kullanıldı, developer olarak BT-70 kulanıldı. Bekleme süresi 20 dakika, gelişme süresi 0-20 dakika, yüzey temizleme kumaş ile yapıldı.

Silindirik numuneden 10 mm aralıklarla enine kesitler alındı ve sıvı penetrant testi yapıldı ve paslanmaz çelik çubukların etrafında yüzey çatlağı gözlemlenmedi.

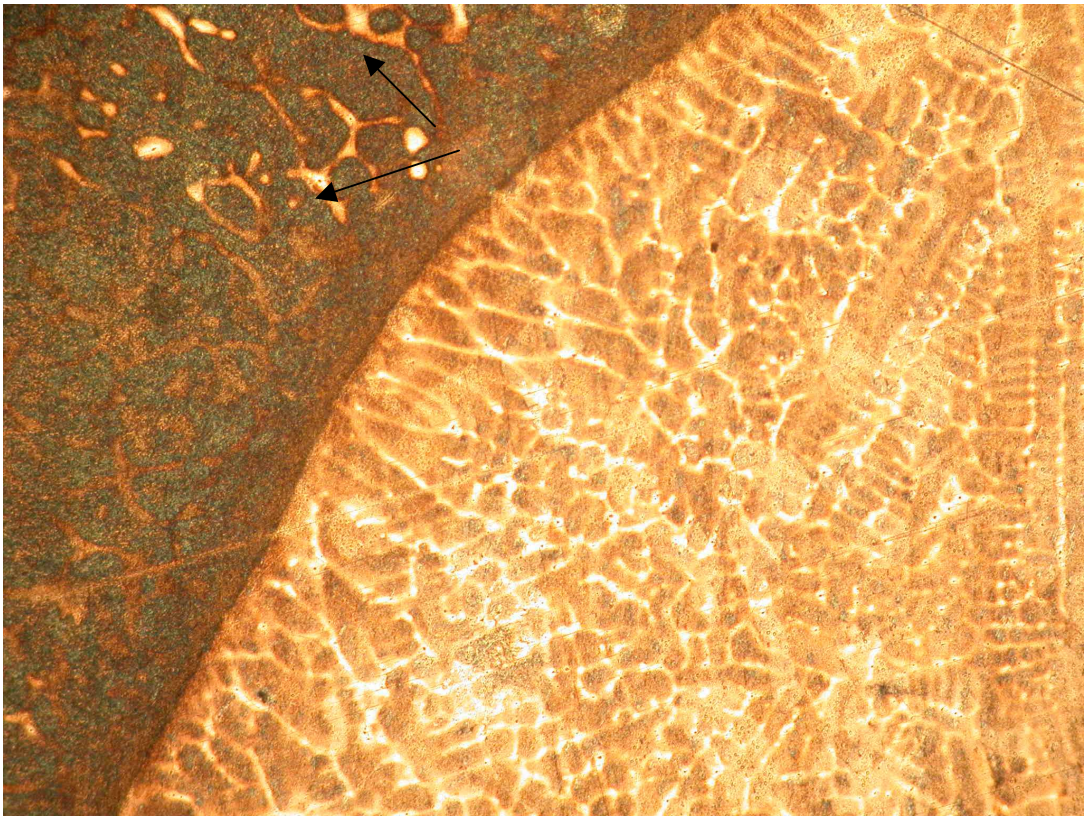
2.1.3.2. Ultrasonik Muayene

Ultrasonik muayene için PANAMETRICS Epoch LT cihazı kullanıldı, prob olarak ise Krautkramer 2 MHz MSEB-2TR kullanıldı, kalibrasyon aralığı 100 mm ve numune kalınlığı 28 mm olarak girilerek test uygulandı. Numunede aranan hata, dökme çelikle paslanmaz çelik ara yüzeyinde boşluk-çatlak olup olmadığı idi. Yapılan tekrarlı testlerde ara yüzeylerde uyumsuzluğa rastlanmadı.

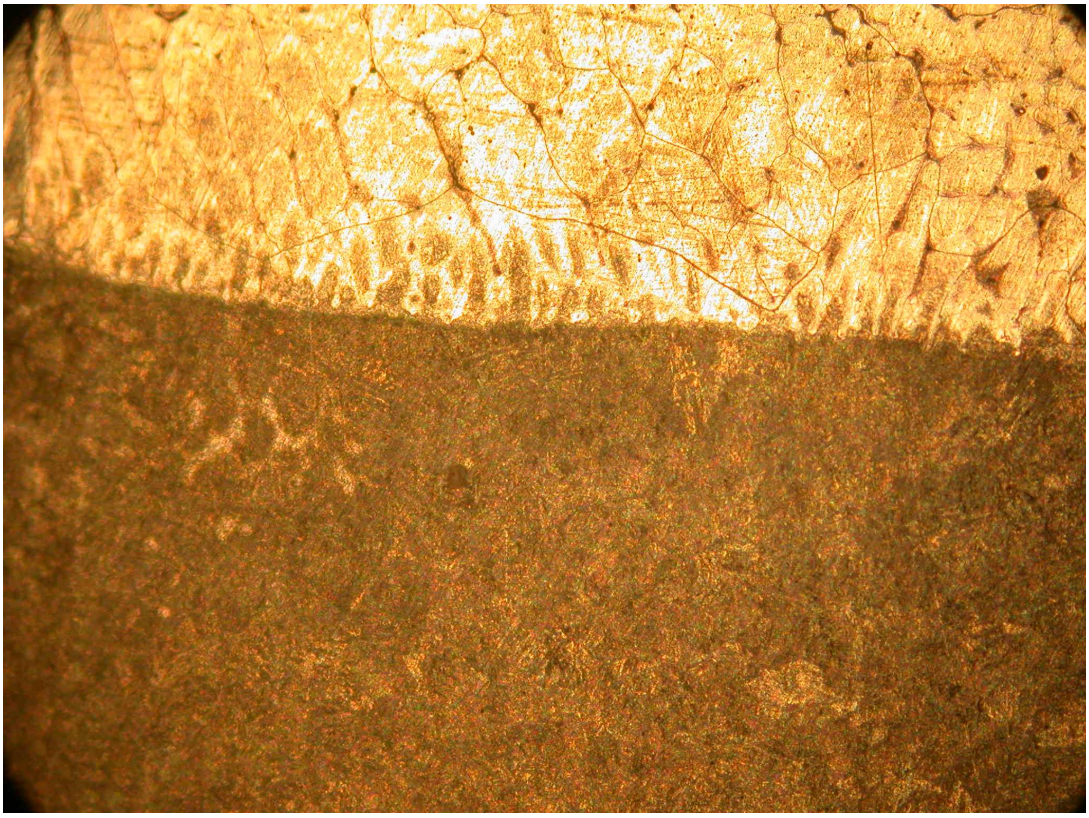
2.1.4. Metalografik İnceleme



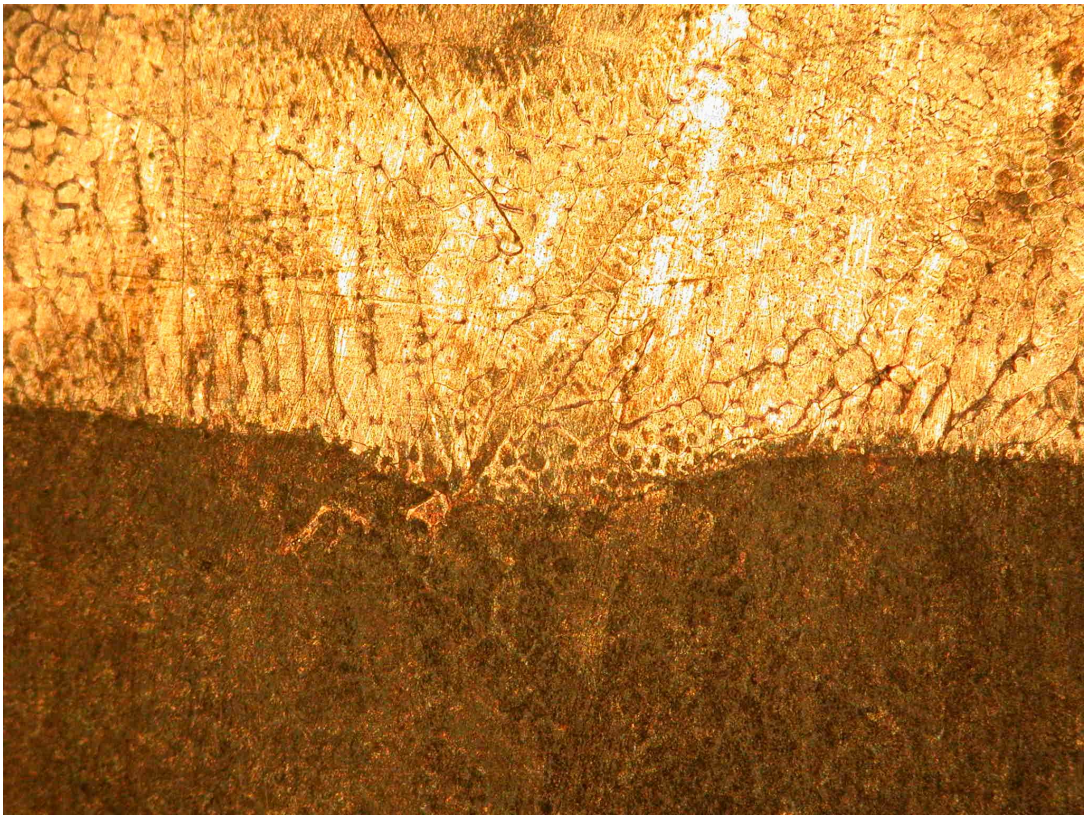
(a) **50X**



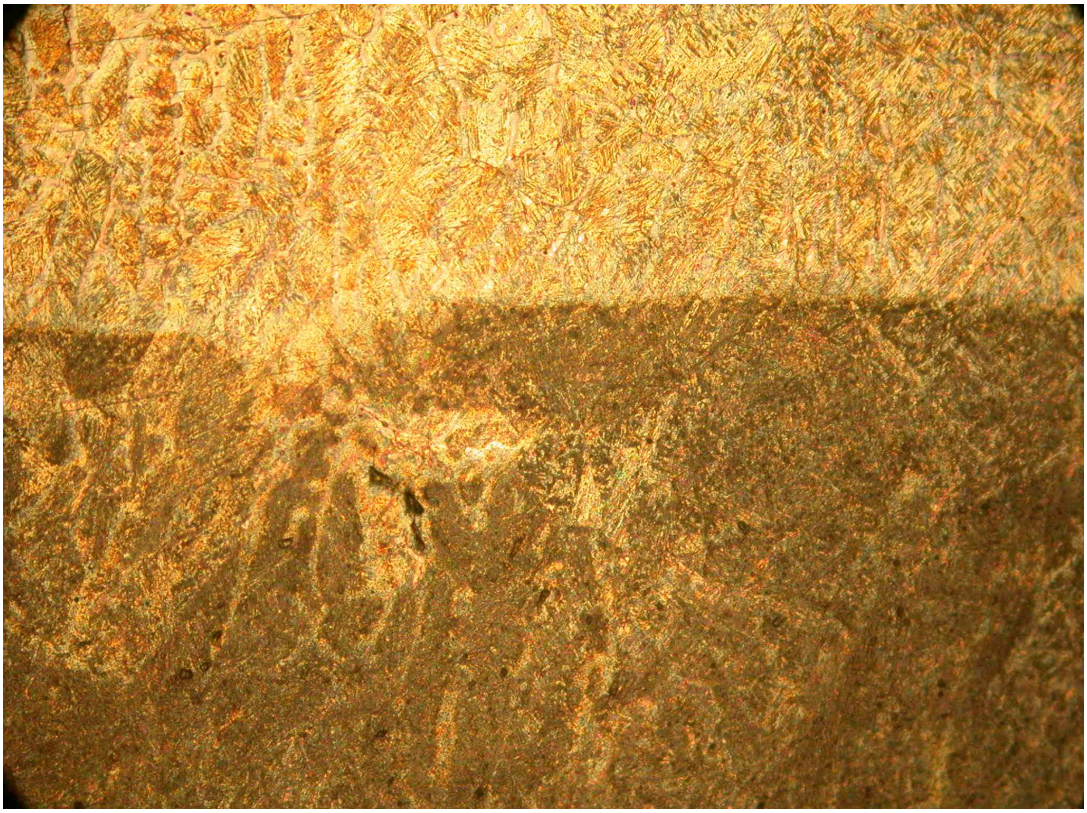
(b) **100X**



(c) **100X**



(d) **100X**



(e) **100X**

Mikro yapılarda Şekil (a) görüldüğü gibi ok yönünde paslanmaz çelikten matris malzemesine doğru yayınma, ve yer yer ergimeye bağlı olarak iki alaşım arası geçiş oluşmuştur. Şekil (b) de görüldüğü gibi paslanmaz çelik ergiyerek 30NCD8 içerisinde kalmış ve matrisin içinde katılaşmıştır, matris yapısı genel döküm yapısı olarak dentritik uzantılar şeklindedir. Şekil (c) de boyuna alınan kesitteki ara yüzeyin, iki malzeme arasında çok iyi şartlarda bağlandığı görülmektedir ve yine 30NCD8 in ara yüzey çizgisinden paslanmaz çelik içine doğru geçiş yaptığı bölge görülmektedir. Bunun nedeni ise döküm esnasındaki yüksek sıcaklıktan dolayı çeliğin de kısmi ergiyerek döküm malzemesine difüze olmasıdır. Bu tip ara yüzeylerden alınan spektro analizlerinde de ortalama metal değerleri ((316L + 30NCD8)/ 2) bulunduğundan böyle bir yargıya varılmıştır. Şekil (d) de gösterilen iki metalin karıştığı alandan alınan spektrometrik analiz bi-metal bileşenlerinin analiz değerlerinin ortalaması bir değere yaklaşacağını göstermektedir.

3. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

1. Bi-metal üretim mantığı, genelde iki farklı metalin, farklı; mekanik, kimyasal, fiziksel, elektriksel özelliklerinin ve üstünlüklerinin göz önünde bulundurularak, tasarım ve üretim aşamasında uygun proses seçilerek, daha uzun ömürlü ve performanslı kompozit malzeme yapma mantığına dayanır. Söz konusu özelliklerde bi-metal üretiminde, üretilen parçanın ekonomik olması da yine önemli bir parametredir. Genel olarak DIN 1681 normunda düşük maliyetle üretilebilen bir çelikle, DIN EN 12513 standardında (aşınma direnci yüksek) yine düşük üretim maliyetli bir dökme demir veya çelik kullanılmaktadır. Söz konusu alaşımlar kırıcı çekiç olarak bi-metal şeklinde üretilebilmekte yüzeyde sertlik ve aşınma değeri yüksek bir malzeme çalışmakta iç kısımda ise ekonomik yöntemlerle üretilebilen bir

malzeme beraberce çalışmaktadır. Bir çok kırıcı çekiç uygulamasında bi-metal parçalar, yüksek mangan içerikli çeliklere nazaran daha uzun aşınma ömrü olduğu gözlenmiştir. Ancak bi-metal parçaların, bazı kullanım alanları vardır ki yüzeyde sertlik özelliğinden daha çok korozyon dayanımı gerektirmektedir. Özellikle gıda ve kimya alanında kullanılan makinelerin bu tür yüksek korozyon dayanımı gerektirmesi zorunludur. Bu mantıkla üretilen bi-metal dişlisinde yüzeyde paslanmaz çelik çubuklar kullanılmıştır. İç kısımda kullanılan 30NCD8 malzeme ise kimyasal bileşiminin 316L paslanmaz çeliğe yakın olması nedeniyle ve dökümle üretilebilirliği nedeniyle tercih edilmiştir.

2. Gıda hazırlama makineleri sektöründe (chloride ortamında) kullanılmak üzere dökümden hariç alternatif üretim yöntemleri incelenmiş ve paslanmaz çelik dişlinin , muhtelif kalınlıklardaki paslanmaz çelik saclardan, laser, tel erezyon, plazma v.b. yöntemler ile kesilebileceği tespit edilmiştir. Ancak bu yöntemlerde (laser) üretilen dişlinin et kalınlığının, mevcut sacların et kalınlığıyla sınırlanacağı ve kesim esnasında nitrojen gazı kullanılmaması durumunda yüzeyde oksidasyon olacağı ve ilave yüzey bitirme işlemleri gerektireceği aşikar olacaktır. Tel erezyonda, kesim işleminin yavaş olacağından maliyetin çok yüksek olacağı, plasma yönteminde ise termal etkiden dolayı yapısının değişeceği ve oksidasyona uğrayan yüzey oluşturacağı da istenilmeyen bir sonuç olarak tespit edilmiştir, yine bu tür işleme yöntemleri çoğunlukla iki boyutta olduğu için, karmaşık geometrili parçaların üretilmesi imkansız hale gelmektedir.
3. Yapılan metalografik inceleme sonucunda takviye malzemesi olarak kullanılan 316L paslanmaz çubuğun etrafında kısmen stres çatlağı gözlenmiştir. Bu çatlağın, iki farklı malzemenin termal genleşme miktarlarının farklılığından olduğu düşünülmektedir.
4. Takviye elemanın boyuna alınan kesitteki mikro inceleme iki farklı malzemenin çok iyi bir kaynak yaptığını göstermiştir.
5. Yapılan deneylerde mekanik özellikler bakımından, kompozit malzeme mantığına uygun bir şekilde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri arasında değerlere ulaşılmıştır.
6. 30NCD8 malzemenin dişli parçasının iç kısmında bulunması, yüksek torklarda yüklemelere karşı dayanım gösterecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, bi-metal dökümleri, mekanik deneyler, ultrasonik muayene ve penetrant testleri Akdaş Döküm bünyesinde yapılmıştır, kendilerine katkılarından dolayı teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

[1] Xiuling Su, 2001 "**Computer Aided Optimization of An Investment Bi-metal Casting Process**", Department of Mechanical, Industrial and Nuclear Engineering of the College of Engineering, Division of Research and Advanced Studies of the University of Cincinnati, PhD Thesis

[2] www.vautid.de/englishversion/pdfdocs/bimetalguss.pdf

[3] Dr. Jae-Young JUNG, "**Bimetallic Casting Wear-Resistant Materials**", Metallic Materials and Coating Process Research Team, Pohang, Korea RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY

[4] E.I. Marukovich a, A.M. Branovitsky a, Young-Sang Na b,*, Jong-Hoon Lee b, Ki-Young Choi a, February 2005 Journal of Materials and Design "**Study on the possibility of continuous-casting of bimetallic components in condition of direct connection of metals in a liquid state**"

[5] J.C. Viala*, M. Peronnet, F. Barbeau, F. Bosselet, J. Bouix, France 2002 , Journal of Composites, "**Interface chemistry in aluminium alloy castings reinforced with iron base insert**s"

[6] B. Vamsi Krishna, P. Venugopal*, K. Prasad Rao, Agust 2004, Journal of Powder Technology "**Analysis of deformation during simultaneous plastic deformation of dissimilar powder metallurgical preforms**"

[7] http://www.fonda.cn/english/www/Manage/img/sms1.rar