



Ti-6Al-4V Alaşımının Şekillendirilmesi İçin Kalıp Malzemesi Seçimi

Kerim Mert Yüksel^{1*}, Ayşegül Akdoğan Eker¹, Ali Avcı², Bedri Onur Küçükyıldırım¹

^{1*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş, İstanbul-Türkiye (ORCID: 0000-0003-4823-1265), mertkerim07@hotmail.com

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş, İstanbul-Türkiye (ORCID: 0000-0003-0212-9230), akdogan@yildiz.edu.tr

² Hakkâri Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Hakkâri-Türkiye (ORCID: 0000-0003-3901-6248), aliavci05@gmail.com

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş, İstanbul-Türkiye (ORCID: 0000-0002-0399-5467), kucukyil@gmail.com

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1084829)

ATIF/REFERENCE: Yüksel K, M., Akdoğan Eker A., Avcı A. & Küçükyıldırım B. O. (2022). Ti-6Al-4V Alaşımının Şekillendirilmesi İçin Kalıp Malzemesi Seçimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 729-732.

Öz

Titanyum ve alaşımları yüksek mukavemet değerleri, iyi korozyon dayanımları ve hafif olmaları gibi özellikleri nedeniyle havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Titanyum alaşımlarının şekillendirilmesinde geri yaylanma etkisi görüldüğü için daha çok sıcak şekillendirme yöntemi tercih edilmektedir. Çalışmanın amacı, 1.2 mm'lik Ti-6Al-4V titanyum sacın sıcak şekillendirilmesinde en uygun kalıp malzemesinin belirlenebilmesidir. Bu amaçla, 3 farklı paslanmaz çelik ve 2 farklı sıcak iş takım çeliğinden küçük ebatlı 5 derin çekme kalıbı üretilmiştir. Üretilen kalıpların sertlik değerleri, yüzey pürüzlülükleri ve ağırlık kayıpları sıcak şekillendirme öncesinde ve sonrasında irdelenerek en uygun malzemenin seçimi yapılmıştır.

Çalışmada, her bir kalıpta 3 farklı Ti-6Al-4V sac 700 °C sıcaklıkta derin çekme yöntemi ile şekillendirilmiştir. Saclar, her çevrim sırasıyla 5 saat ve 10 saat olmak üzere toplamda 45 saatlik 3 çevrime tabii tutulmuştur. Her çevrim sonunda kalıpların sertlikleri, yüzey pürüzlülük değerleri, ağırlık kayıpları incelenmiştir. İncelemeler sırasında paslanmaz çeliklerin performansının daha iyi olduğu belirlenmiştir. Sıcak iş takım çeliklerinin sertliklerinde ve ağırlıklarında ciddi düşüşler gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ti-6Al-4V, Sıcak iş takım çeliği, Titanyumun şekillendirilmesi

Material Selection in Hot Forming Tools of Ti-6Al-4V

Abstract

Titanium and titanium alloys are widely used in the aviation industry due to their high strength values, good corrosion resistance and light weight. Since the springback effect is observed in the shaping of titanium alloys, the hot forming method is mostly preferred. The aim of the study is to determine the most suitable mold material for hot forming of 1,2 mm Ti-6Al-4V titanium sheet. To this purpose, 5 small sized deep drawing tools were produced from 3 different stainless steels and 2 different hot work tool steels. The hardness values, surface roughness and weight losses of the produced tools were examined before and after hot forming, and the most suitable material was selected.

In the study, 3 different Ti-6Al-4V sheets were shaped by deep drawing method at 700 °C in each tool. The sheets were exposed to 3 cycles of 45 hours in total, each cycle being 5 hours and 10 hours, respectively. At the end of each cycle, the hardness, surface roughness values and weight losses of the tools were examined. During the investigations, it was determined that the performance of stainless steels was better. Serious decreases were observed in the hardness and weight of the hot work tool steels.

Keywords: Ti-6Al-4V, Hot work tool steel, Hot forming of titanium

* Sorumlu Yazar: mertkerim07@hotmail.com

1. Giriş

Günümüzde mühendislik alanında sürekli yeni gelişmeler yaşanmaktadır. Değişen teknolojinin de etkisiyle hep daha iyiye ve ileriye gitme çabası içine girilmiştir. Yaygın olarak kullanılan malzemeler ve çelikler yeni teknolojik koşullar karşısında zayıf kalabilmektedirler. Titanyum hem yüksek mukavemet/yoğunluk oranıyla hem mükemmel korozyon direnci ile hem de yüksek ergime sıcaklığı ile yeni nesil endüstriyel ürünlerde oldukça tercih edilmektedir. Bu kadar özellik yanında hafif olmaları da avantaj sağlamaktadır. Titanyumun şekillendirilmesinde kullanılacak en uygun yöntem süper plastik şekillendirme yöntemidir. Proses sıcaklığı, Ti-6Al-4V alaşımları için 870 ila 925°C aralığında olduğundan şekillendirilecek parçanın oksitlenmemesi için koruyucu gaz kullanımı gerekmektedir. Vakumlu bir ortamda uygulanabilir olduğundan zahmetli bir işlemdir (Boyer vd., 1994).

Geniş literatür taraması yapılarak kalıp malzemesi olarak kullanılacak malzemelerin özellikleri ve kullanım kısıtları incelenmiştir. Akdoğan Eker ve arkadaşlarının (Akdoğan Eker vd., 2020) yaptığı çalışmada, kalıp malzemesi olarak sıcak iş takım çelikleri ve paslanmaz çelikler seçilmiştir. Reinhard R. ve Ingolf S'nin (Rahn vd., 2015) yaptıkları çalışmada ise kalıp malzemesi olarak DIN 2344 ve DIN 2367 çelikleri seçilmiştir. Joseph D. ve arkadaşlarının (Joseph vd., 2006) yaptıkları çalışmada sıcak şekillendirme için DIN 2344 ve DIN 2343, süper plastik şekillendirme için ise paslanmaz çeliklerin tercih edildiği görülmüştür. Çalışmamızda, Ti-6Al-4V sacın 700°C'de sıcak şekillendirilmesinde kullanılacak en uygun kalıp malzemesi seçimi için 5 farklı malzemeden üretilmiş kalıplar incelenmiştir. Çalışmamızda sıcak şekillendirme yöntemi üzerinde çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme Seçimi

Yapılan literatür taramasına göre yüksek sıcaklıklarda sıcak şekillendirme için sıcak iş takım çelikleri, paslanmaz çelikler ve seramik malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır (Jiang vd., 2009). Seramik kalıpların seri imalatta kullanımı pek mümkün olmadığından fazla tercih edilmemektedir (Staiano vd., 2017). Paslanmaz çelikler, normal çeliğe oranla içinde bulundurduğu Ni ve Cr sayesinde oldukça iyi korozyon direnci gösterirler. Yüksek sıcaklıklarda bile gevrekleşmeden tokluklarını koruyabilirler (Gao vd., 2005). En önemlisi de uzun ömürlü ve ekonomiktirler. Sıcak iş takım çelikleri ise çok yüksek sıcaklıklarda kararlı kalabilen malzemelerdir. Aşınma dirençleri ve toklukları oldukça iyidir. Ti-6Al-4V sacın şekillendirme koşulları göz önünde bulundurulduğunda sıcak iş takım çeliği ve paslanmaz çeliğin kalıp malzemesi olarak kullanımı uygun gibi görülmektedir. Kalıp malzemesi olarak paslanmaz çeliklerden AISI 310 / AISI 304 / AISI 316 çelikleri seçilmiştir. Sıcak iş takım çeliklerinden ise DIN 2344 ve DIN 2367 çelikleri tercih edilmiştir. Kalıp malzemelerinin kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir. Üretilen kalıpların imalat sonrası genel görünimleri Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kalıp malzemelerinin kimyasal bileşimleri

Malzeme	% C	% Cr	% Mo	% V	% Si	% Mn	% P	% Ni
DIN 2367	0,35-0,4	4,8-5,2	2,7- 3,2	0,4-0,6	0,3-0,50	0,3- 0,5	0,025	X
DIN 2344	0,35-0,42	4,8-5,5	1,2- 1,5	0,85-1,15	0,8-1,2	0,25-0,5	0,025	X
AISI 304	0,05-0,08	18- 20	X	X	0,75	2	0,045	8-10
AISI 316	0,05-0,08	16- 18	2-3	X	0,75	2	0,045	10-14
AISI 310	0,25	24- 26	X	X	1,5	2	0,045	19- 22



Şekil 1. AISI 310 kalıbı

2.2. Termal Çevrim ve Korozyon

Çalışmamızda yapılan denemeler sonucunda 700°C'nin 1,2 mm'lik sacı şekillendirmek için yeterli bir sıcaklık olduğunu gördük. Her kalıpta üç farklı sac, 700°C sıcaklıkta şekillendirilmiştir. Şekillendirme işleminden önce, sac ve kalıba 700°C'de ön ısıtma işlemi yapılmıştır. Ön ısıtma işleminden sonra sac, hidrolik preste şekillendirilmiştir. Her sac sırasıyla 5 saat ve 10 saat olacak şekilde 1 adet çevrime tabii tutulmuştur. Kalıplar toplamda 45 saatlik 3 adet çevrimi tamamlamıştır.

Her çevrim sonrasında kalıptaki korozyon miktarını saptamak için ağırlık kaybı ölçümleri yapılmıştır. Kalıplar yüksek sıcaklık fırınında, belirlenen sürelerde bekletildikten sonra dış ortamda soğumaya bırakılmıştır. Kalıplar %20'lik fosforik asit çözeltisi içine daldırılarak kimyasal temizleme işlemi yapılmış, ilk ve son durumda, kalıpların ağırlık kayıpları hassas terazide ölçülerek korozyon dereceleri belirlenmiştir.

2.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Kalıpların yüzey pürüzlülüğü, üst ve alt kalıbın belirlenen bölgelerinden, örnekleme değerler Mitutoyo SJ-410 marka cihazla ölçülmüştür. Ölçümler, ortalama pürüzlülük değeri (R_a) cinsinden değerlendirmeye alınmıştır.

2.4. Sertlik Ölçümleri

Sertlik ölçümleri Vickers cinsinden değerlendirmeye alınmıştır. Ölçümler, üst kalıp üzerinden belirlenen 12 noktadan alınmıştır.

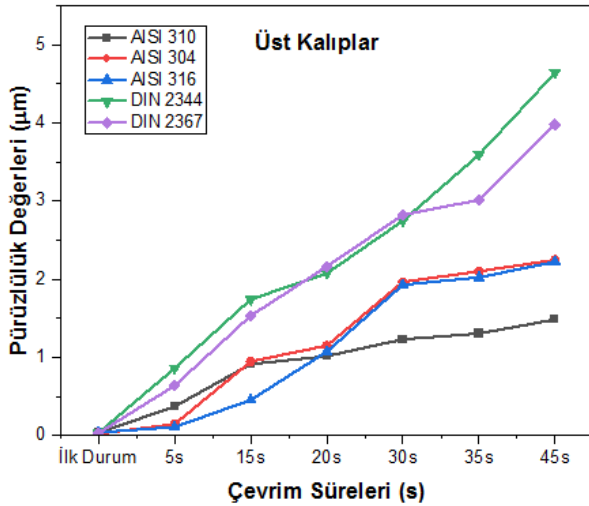
2.5. X-Ray Analizi

Çevrim sonrasında kalıplarda ısıl ve mekanik yorulmalar nedeniyle oluşabilecek çatlakları kontrol etmek için Nordson Quadra 3 X-Ray cihazında röntgen çekilmiştir. İnceleme üst ve alt kalıp özelinde her kalıp için ayrı ayrı yapılmıştır.

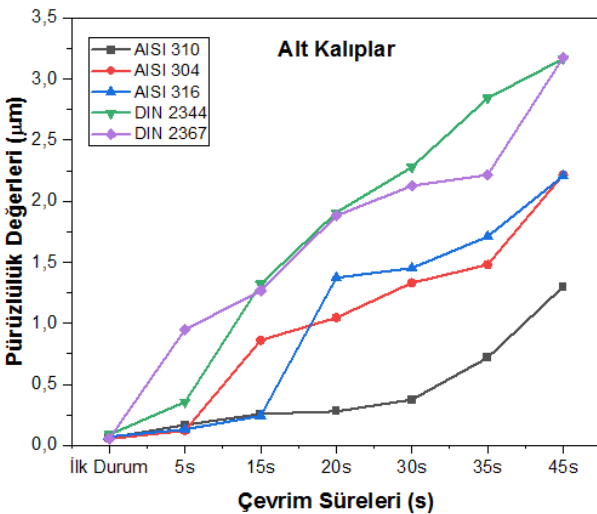
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Yüzey Özellikleri

Yüzey özelliklerini pürüzlülük ölçüm yöntemiyle incelemiştir. Termal çevrimler sonrasında kalıplar üzerinde oluşacak oksidasyon katmanları ve mekanik aşınmalar yüzey pürüzlülük değerlerini doğrudan etkileyecektir. Kalıplar üst ve alt olmak üzere ayrı ayrı incelenmiştir. Şekil 2. ve Şekil 3.'te sırasıyla alt ve üst kalıpların 6 farklı çevrim sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri gösterilmektedir.



Şekil 2. 45 Saatlik çevrim boyunca üst kalıpların ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

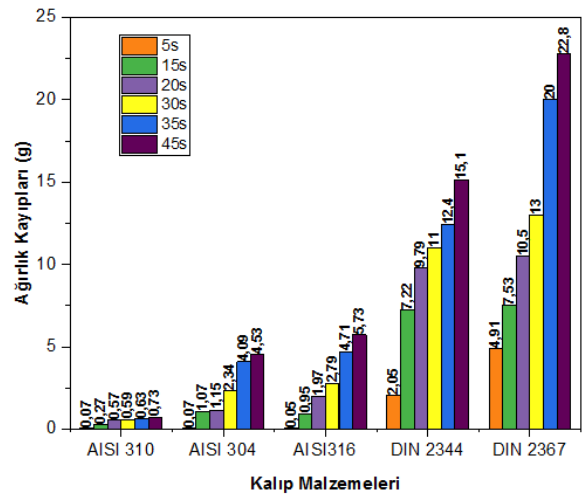


Şekil 3. 45 Saatlik çevrim boyunca alt kalıpların ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

Yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde alt ve üst kalıpların değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Grafikler incelendiğinde sıcak iş takım çeliğinden yapılan kalıpların pürüzlülük değerlerinin oldukça arttığı gözlemlendi. AISI 304 ve AISI 316 çeliklerinden imal edilen kalıpların pürüzlülük değerleri birbirine çok yakın ve sıcak iş takım çeliklerine göre çok daha iyi bir performans sergiledi. AISI 310 paslanmaz çelik kalıp pürüzlülük performansı ise diğerlerine göre oldukça önde görünüyordu.

3.2. Korozyon Dayanımı

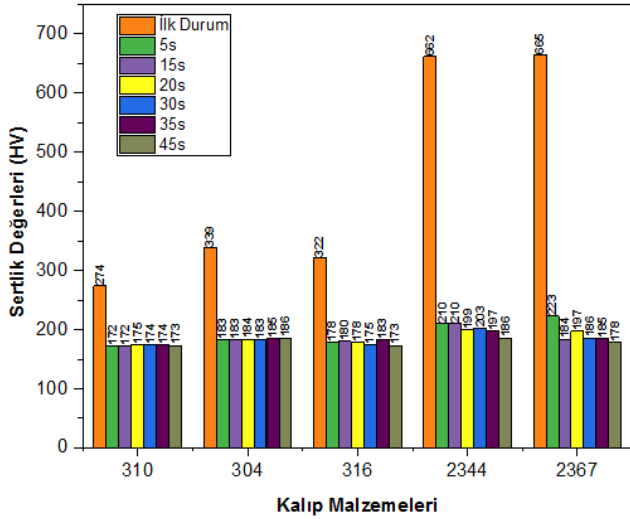
Her çevrim sonrasında kalıplarda meydana gelecek ağırlık kayıplarını inceleyerek, korozyon dayanımı hakkında bilgi edinebiliriz. Kalıpların çevrimlerden önceki ve sonraki ağırlıkları kayıt altına alınarak korozyon seviyeleri belirlendi. Şekil 4'te çevrimler sonrasında kalıpların ağırlık kayıplarını görebilirsiniz.



Şekil 4. Her ısıl çevrim sonrası kalıplarda meydana gelen ağırlık kayıpları

Şekil 4'teki Grafikten de anlaşılacağı gibi en fazla ağırlık kaybı sıcak iş takım çeliklerinde gözlemlenmiştir. Ayrıca kalıpların maruz kaldığı ısı çevrimi arttıkça ağırlık kaybının ve korozyon derecesinin kademeli olarak arttığı hesaplanmıştır. AISI 310 paslanmaz çeliği en yüksek korozyon direncini gösterirken DIN 2367 sıcak iş takım çeliği en düşük korozyon direncini göstermiştir.

Şekil 5. üst kalıplardan örnekleme ile alınan Vickers sertlik ölçüm değerlerini göstermektedir. Özellikle, sıcak iş takım çeliklerinde ciddi bir sertlik düşüşü yaşanmıştır. Sıcak iş takım çelikleri genelde 400-650°C sıcaklık aralığında kullanılmaktadır. 600°C'den sonra kalıp malzemesi aşırı derecede ısınarak sertliğini kaybeder (Deshpande vd., 2011). Sertlik arttığında, çelikteki homojen olmayan krom dağılımı nedeniyle korozyona bağlı çatlak riski artar (Rahn vd., 2010). Çalışmamız 700°C'de yapıldığından sertlik değerlerinde düşüş olması beklenmektedir.

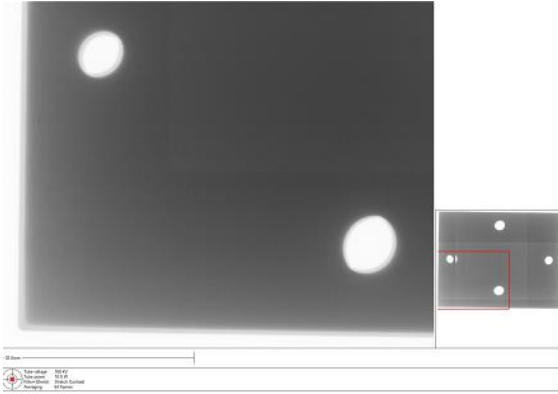


Şekil 5. Her ısıl çevrim sonrası kalıplardaki sertlik ölçüm değerleri

Şekil 5'teki grafiğe göre seçilen tüm çeliklerin çevrim sonunda birbirine yakın sertlik değerleri gösterdiği görülmektedir. İlk durum ve son durumda stabilitesini koruyan en iyi çeliğin AISI 310 olduğu görülmektedir.

3.3. X-Ray Analizleri

45 Saat süren çevrimler sonucunda, kalıplarda oluşabilecek mikro çatlakların tespiti röntgen yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Her kalıp her çevrim sonrasında üst ve alt kalıp ayrı olacak şekilde X-Ray'de taratılmıştır. Şekil 6'da AISI 310 kalıbının X-Ray cihazında kontrol edildiği sırada çekilen fotoğrafı görünmektedir. Çevrimler sonucunda kalıplarda herhangi bir çatlak gözlenmemiştir.



Şekil 6. AISI 310 Üst kalıbının X-Ray cihazında kontrol edildiği sırada çekilmiş fotoğrafı

4. Sonuç

- Çevrimler sonunda DIN 2367 ve DIN 2344 kalıpların yüzey pürüzlülüklerinde ciddi artış olduğu gözlemlenmiştir.
- Paslanmaz çelik kalıplardan AISI 304 ve AISI 316 kalıplarının yüzey pürüzlülük değerleri birbirine çok yakın bulunmuştur.
- Pürüzlülük sonuçlarına bakıldığında en iyi performansı AISI 310 çeliğinden yapılmış olan kalıp göstermektedir.
- Kalıplarda meydana gelen ağırlık kayıplarına bakıldığında en fazla korozyona uğrayan kalıbın DIN 2367

kalıbı olduğu görülmüştür. En iyi performansı AISI 310 çeliğinden yapılmış kalıp göstermektedir.

- Sertlik ölçümlerine bakıldığında sıcak iş takım çeliklerinin titanyum şekillendirme sıcaklıkları için uygun olmadığı görülmüştür. Paslanmaz çelikler proses sıcaklığında daha kararlı sertlik değerleri göstermiştir.
- Sertlik ölçümü sonucunda en kararlı kalıbın AISI 310 olduğu görülmüştür.
- X-Ray kontrolleri sonucunda hiçbir kalıpta çatlak tespit edilmemiştir.
- Sonuçlar toplu olarak değerlendirildiğinde tüm değerlendirme aşamalarında öne çıkan kalıp, AISI 310 paslanmaz çeliğinden imal edilen kalıptır. Pazarda bulunabilirliği kolay olduğundan AISI 310 kalıbı, Ti-6Al-4V alaşımının sıcak şekillendirilmesinde kullanılabilir.

5. Teşekkür

Bu makale, Kerim Mert Yüksel'in Prof.Dr. Ayşegül Akdoğan Eker danışmanlığındaki Yüksek Lisans Tez çalışmasından üretilmiştir.

Kaynakça

- Boyer, R., Welsch, G., Collings, E.W., 1994, Materials Properties Handbook: Titanium Alloys, ASM International, Metals Park, USA
- A. Akdoğan Eker, A. Avcı, H. Aydın, C.S. Aydoğan, E. Erol, Material Selection in Hot Shaping Molds of Titanium Alloys, 18th International Conference Metal Forming 2020, 50 (2020) 723–728
- Rahn, R., Schruoff, "The selection of tool steels for hot stamping tools with respect to increased loads", 2015
- Joseph DB, Rodney B, Daniel, The Boeing Company, Forming of Titanium and Titanium Alloys, Metalworking: Sheet Forming (ASM Handbook), 2006
- JIANG Shao-song, ZHANG Kai-feng, "Superplastic forming of Ti6Al4V alloy using ZrO₂-TiO₂ ceramic die with adjustable linear thermal expansion coefficient", National Key Laboratory for Hot Processing of Metals, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China Received 10 June 2009; accepted 15 August 2009
- A. Staiano, W. Ion, L. O'Hare, N. Zuelli, "Protective coatings for ceramic superplastic forming dies: An initial study on protective coating Performance", Mat. -wiss. u. Werkstofftech. 2017, 48, 1009–1016
- C. Y. Gao, P. Lours, and G. Bernhart, "Thermomechanical stress analysis of superplastic forming tools," Journal of Materials Processing Technology, vol. 169, pp. 281–291, 2005
- M. Deshpande, T. Altan, "Selection of Die Material and Surface Treatments for Increasing Die Life in Hot and Warm Forging", Paper no:644-FIA Tech Conference, April 2011