Doğa ve Mühendislik Bilimlerinde Güncel Tartışmalar

4

Hikmet Y. ÇOĞUN
Zeynel KARACAGİL
Suna KIZILYILDIRIM



Biyel Kollarına Uygulanan Isıl İşlem Parametrelerinin Yapıya ve Mekanik Özelliklere Etkilerinin Araştırılması

Onur Cihan BOYUNEĞMEZ[1]
Gizem KARABULUT[2]
Nuray BEKÖZ ÜLLEN[3]

Giriş

Otomobiller hayatımızın her anında kullandığımız vazgeçilmez araçlar haline gelmiştir. Otomobil üretiminde kullanılan malzeme ve teknolojiler istenen tüm özellikleri karşılamak için sürekli gelişme eğilimindedir. Bu anlamda araçlarda en kapsamlı ilgilenilen bölüm motor parçalarının malzemeleri ve üretim teknolojileridir. Otomobil motorları artan pazar rekabetinde müşterilerin seçeneği olabilmek adına iyileştirme sürecini devamlı sürdürür. Bu gelişmeler yakıt tasarrufunu arttırmak, motor ömrünü uzatmak, daha çevreci hale getirmek, yüksek performans ve yüksek verim elde etmek amacına odaklanarak yapılmaktadır . Müşteri açısından yapılan bu geliştirmelerin yanında üreticiler için de üretim maliyeti ve ürün kalitesi önem arz etmektedir. Üreticiler bu kriterleri elde etmek için sürekli yenilenen üretim teknolojilerini proseslerine entegre etmektedirler (Khurmi ve Gupta, 2005: 435). Otomobil motorlarında kuvvet aktarımını sağlayan başlıca parçalar piston, piston pimi, biyel kolu ve kranktır. Yanma odasında hava ve yakıt karışımının yanması sonucu oluşan basıncı pistondan krank miline aktaran biyel kolları sürekli değişen yönlerde kuvvetlere maruz kalmaktadır ve bu nedenden dolayı piston pimi ve krank mili arasında sürekli sürtünme oluşmaktadır. Temelde piston hareketleriyle ivme kazanan biyel kolu doğrusal hareketi dairesel harekete çevirerek bağlantı noktaları oluşturmaktadır. Bu gibi nedenlerden dolayı biyel kollarının deformasyon kabiliyetini doğrudan etkileyen malzeme seçimi ve tasarımı çok önemlidir (Myagkov vd., 2014: 378; Şahin vd., 2022; 71-72).

Biyel kolu üretiminde sektörde kullanılan başlıca üç yöntem vardır. Bu yöntemler; dövme, döküm ve toz metalürjisi teknikleridir (Özdemir, 2013). Dövme ile biyel kolu üretimi gözenekliliği en aza indiren yöntem olduğundan mukavemetin iyileştirilmesi ve yorulma dayanımını olumlu yönde etkilediği için tercih sebebidir. Dövme prosesi yoluyla üretilmiş biyel kolları yorulmaya karşı direnç göstererek motorların daha uzun ömürlü olmalarını sağlar. Dövme biyel kolları yanal kuvvetleri de azaltır ve motorun daha fazla hareket gücü üretmesine yardım eder. Yapılan çalışmalarda dövme ile üretilen biyel kollarının yorulma dayanımının % 25-30 oranında daha iyi olduğu gözlemlenmiştir (Kaya, 2012). Biyel kollarının motor içerisinde çalışma koşulları çok düşük toleranslara izin verdiğinden bu üç üretim yönteminden sonra talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak malzemeye son şekli verilir.

Genellikle biyel kollarının üretildiği başlıca malzemeler; küresel grafitli dökme demirler, C70S6, SMA40 ve FRACTIM gibi çeliklerdir (Hye vd., 2010). Günümüzde biyel kolları için teknolojik ve ekonomik alternatifleri bakımından çelik alaşımları sektörün büyük bir bölümünde kabul görmüştür (Özdemir vd., 2012: 119-121). Çelik alaşımı kullanılmasının başlıca birkaç nedeni vardır. Bunlardan ilki biyel kolunu uygun forma sokabilmek için işlenebilir bir malzemeden

[1] Öğrenci, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Orcid: 0000-0003-4312-3951
[2] Araş. Gör., İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Orcid: 0000-0003-0930-5380
[3] Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Orcid: 0000-0003-2705-2559

üretilmesi gerekliliğidir. Maliyet ve ağırlık kriterleri de ele alındığında çelik alaşımları biyel kolu üretiminde önemli bir yere sahiptir (Myagkov vd., 2014: 380). Biyel kollarına istenilen özellikleri katmak için çelik alaşımlarının içerisinde bulunan alaşım elementleri, yapıda bulunma oranları çok önemlidir. Uygun alaşım elementi elde edildikten sonra ve şekillendirme işleminin ardından biyel kollarının istenilen mekanik özellikleri kazanabilmesi için bazı prosesler uygulanır. Bu işlemlerin başında ısıl işlem gelmektedir. Isıl işlem biyel malzemesinin iç yapısını ve yüzey yapısını değiştirerek malzemede çekme dayanımı, basama dayanımı, sertlik, gevreklik ve süneklik, yaşlanma ömrü gibi birçok özelliğin kazandırılmasını sağlar (Myagkov vd., 2014: 380). Uygulanan ısıl işlemin mekanik özelliklere etkisi yalnızca motorun çalışma süresince gerekli özellikler için değil üretim aşamasında da bazı durumlarda istenen özellikleri elde etmemizi sağlar. Biyel kolu üretiminde son yıllarda kullanılan çentikli kırma yöntemi biyel kolunun baş kısmının ikiye ayrılması amacıyla yapılır. Bu işlemin talaşlı imalat yöntemleri yerine kullanılmasıyla biyel kolu üretiminde üretim maliyetini %25 oranında düşürmektedir. Ayrıca kırarak ikiye ayırma yöntemiyle imal edilen C70S6 çelikleri geleneksel çeliklere göre yüzey yorulma dayanımında %30 ve ağırlık konusunda %13 daha avantajlıdır (Aksoy vd., 2012:45-58). Üretim maliyetinin ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesinde önemli rol oynayan bu yöntemin uygulanabilmesi için biyel kollarında bazı özelliklerin bulunması gerekmektedir. Kırma işlemi için gereken özelliklerin sağlanabilmesi için de bazı ısıl işlemler uygulanmaktadır. Bu özelliklerin başında kırma işlemine izin verecek derecede gevreklik gelmektedir. Bu açıdan bakıldığında biyel kollarına yalnızca motor kullanım sürecinde istenen özellikler için değil aynı zamanda üretim için de ısıl işlem uygulanması dikkat çekmektedir. Biyel kollarının piston pimi ve krankla çok küçük toleranslara izin verilerek temas etmesi bu malzemelerin kullanım boyunca sürekli sürtünmeye maruz kalmalarına neden olmaktadır. Değişen kuvvet yönlerinin ve büyüklüklerin de etkisiyle bu sürtünme malzeme yüzeyinde önemli deformasyonlara neden olabilir. Bu deformasyonlar zamanla büyüyerek yorulma dayanımının düşmesi gibi bazı durumları doğurabilir. Bu gibi durumlara maruz kalmamak için biyel kollarının temas yüzeyleri yüzey sertleştirme işlemlerine tabii tutulmaktadır. Yüzey sertleştirme bölgesel ve yalnızca yüzeyde istendiği için ısıl işlemler bu aşama için de oldukça önemli bir prosestir. Bu çalışmada; biyel kollarına istenilen mekanik özelliklerin kazandırılması için hangi ısıl işlemlerin uygulandığı ve bu ısıl işlemlerin değişen parametrelerinin biyel koluna ne gibi etkilerinin olduğu literatür ışığında araştırılmıştır.

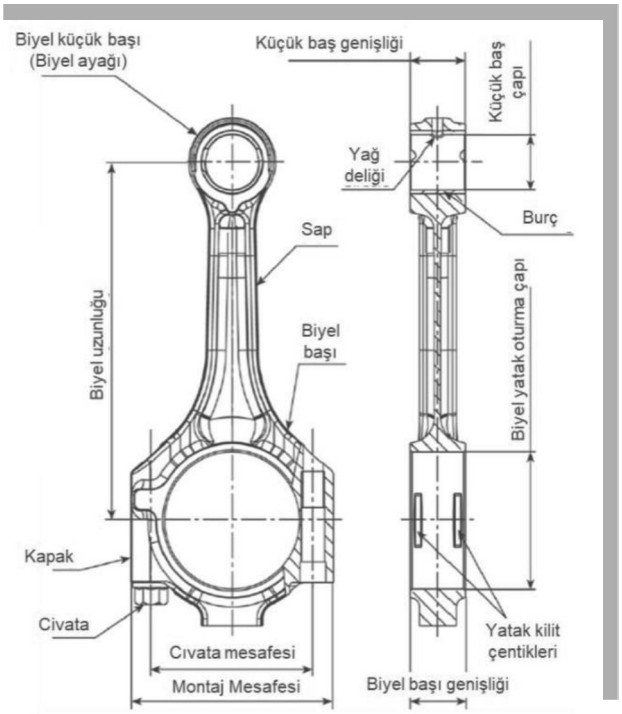
BİYEL KOLLARI

Biyel kolları içten yanmalı motorlu araçlarda yakıt ve hava karışımının ateşlenmesi sonucu meydana gelen patlama sonucunda pistonda oluşan doğrusal hareketi krank miline dönme hareketi olarak aktaran kritik öneme sahip bir parçadır (Khurmi ve Gupta, 2005: 440). Şekil 1'de biyel kolunun motor içerisindeki konumu gösteren şematik bir görsel verilmiştir.

Biyel kolu doğrusal yöndeki kuvveti açılı bir şekilde dönen krank miline aktarabilmesi için piston pimi ile biyel kolu arasında ve krank mili ile biyel kolu arasında sabit olmayan bağlantı oluşturulur (Ayhan vd.; 2018a: 819). Hareketli bağlantı noktaları ani yön değiştiren yüksek kuvvetleri aktardığı için iki malzeme arası temas toleransı çok düşüktür ve bu durum sürtünme olayından dolayı malzemelere en az hasar verecek şekilde ayarlanmalıdır. Sürtünmeye karşı direnci yüksek malzemelerin kullanılması bu durumu iyileştirmek adına önemlidir. Şekil 2'de biyel kolunun yapısını gösteren şematik bir görsel verilmiştir.



Şekil 1. Biyel kolunun motor içerisindeki konumu (Çetinerler, E., Erişim Tarihi (22.04.2022), (http://www.havaciyiz.com/Kutuphane03-Piston.htm)



Şekil 2. Biyel kolu yapısı (MAHLE, 2016).

Biyel kollarına etkiyen bir diğer kuvvet ise yanma odasında gerçekleşen patlama sonucu biyel koluna aktarılan basma kuvvetidir (Özdemir, 2013: 1). Basma kuvvetine karşı deformasyona uğramadan çalışabilmesi için basma dayanımı biyel kollarında aranan en önemli özelliklerden biridir. Motorun çalışma prensibi incelendiğinde biyel kolunun patlama sonucunda basma kuvvetine maruz kalarak harekete başladığı görülür. Bu hareket krank milinin 180° dönmesiyle birlikte sonlanır ve zıt yönde harekete geçmesiyle başlangıç noktasına döner (Ayhan vd.; 2018a: 820). Burada bahsettiğimiz hareketin zıt yönde başlamadan önceki durma anında biyel kolu üzerindeki basma kuvveti sıfırlanır ve çok kısa bir zaman aralığında zıt yönde çekme kuvveti oluşur. Bu nedenden dolayı biyel kollarında çekme dayanımı da çok önemlidir. Krank millerinin bahsettiğimiz dönme hareketini yapmasıyla biyel kolları açısal kuvvetlere maruz kalarak çalışır. Farklı yönlerde, krank milinin her dönme açısıyla birlikte değişen kuvvetlerin olması biyel kolunda burkulma dayanımının

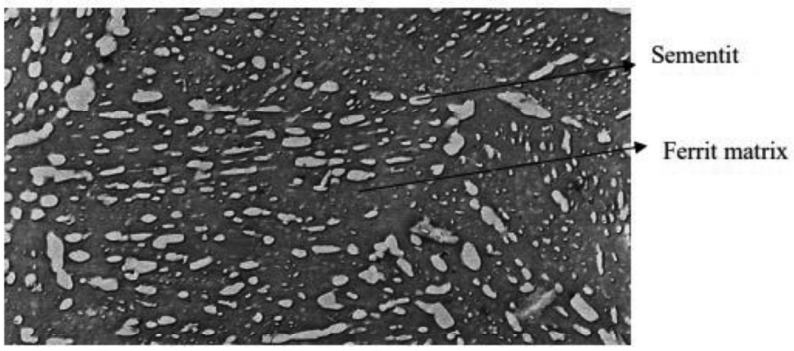
yüksek olması zorunluluğunu ortaya çıkartır. Ele aldığımız tüm bu kuvvetler motorun rölanti halde çalışırken 900 devir/dak, araç hareket halindeyken ise 2000 ila 6000 devir/dak arasında tekrarlanan hareketler neticesinde ortaya çıktığı düşünüldüğünde deformasyona uğramadan sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için ne denli yüksek dayanımlara sahip olması gerektiği görülebilmektedir. Motor içerisinde çok önemli bir kuvvet aktarım görevine sahip olan biyel kolunun zarar görmesi halinde yenilenme maliyeti çok yüksektir. Bunun başlıca nedenlerinden biri; motor içerisindeki piston, sübap, yataklama elemanları ve piston gömleği gibi malzemelerin de zarar görmesi ve yenilenmesi gerektiğidir. Yüksek yenileme maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda, fabrikada ilk montaj malzemesinin maliyetinin daha kaliteli ve istenilen özellikleri karşılayan malzemeler seçilerek yüksek olması, sonradan zarar gören malzemeleri yenilemeye harcanacak miktardan çok daha ekonomiktir (Özdemir, 2013: 1-10). İstenilen tüm özellikler göz önüne alındığında biyel kollarının sadece alaşım elementi ve oranlarına göre değil üretim sonrası ikincil işlem olan ısıl işlem prosesinin de uygulanarak gerekli duruma getirilmesi önem arz etmektedir.

BİYEL KOLLARINA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

Biyel kollarına istenen özelliklere göre farklı ısıl işlemler uygulanmaktadır. En genel kapsamda bakıldığında biyel kollarına sertleştirme, tavlama, mertenzitleme ve temperleme ısıl işlemleri uygulandığı görülmektedir. Biyel kolu malzemesinin mekanik özellikleri yapı içerisindeki ferrit fazının oranı, sertliği ve tane boyutu gibi mikroyapısal özelliklere bağlıdır. Bu özelliklerin değiştirilmesi ve mekanik özelliklerin geliştirilmesi için ısıl işlemler en uygun proseslerdir (Özdemir vd.; 2013: 2).

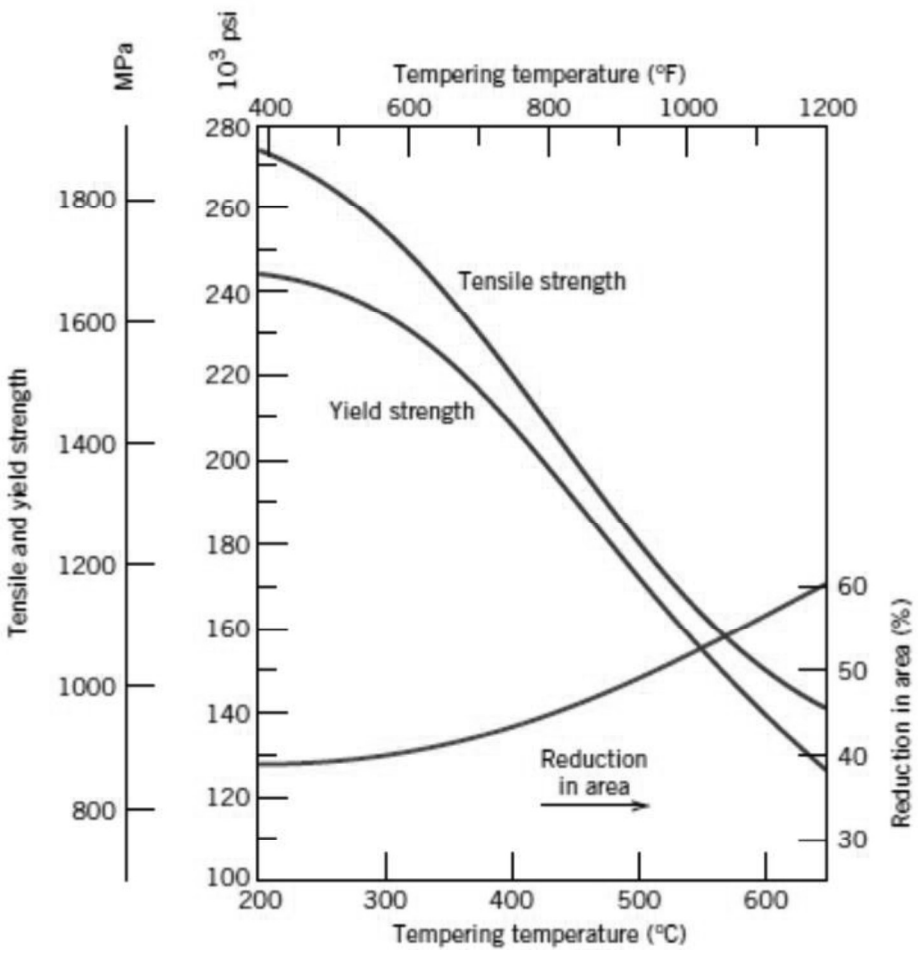
Martenzit yapı 700-800°C gibi östenitleme sıcaklıklarından oda sıcaklığına çok hızlı bir şekilde su verilen çelik alaşımlarının dengesiz ve kararsız yapıda olmasıdır. Oda sıcaklığına hızlı bir şekilde soğutulan martenzit yapıdaki çelikler çok sert ve kırılgan yapıdadırlar. Bu özelliklerin yanında yapıda bulunan iç gerilmeler de malzemenin bir diğer olumsuz özelliğidir. Bu nedenden dolayı biyel kollarında doğrudan kullanımları yoktur. Kullanım için martenzit yapıdaki çelik toklaştırma ve iç gerilemelerin giderilmesi işlemlerine tabi tutulmalıdır. Temperleme yani menevişleme işlemi yapının tokluk değerini ve sünekliğini arttırır. Menevişleme işlemi ayrıca iç gerilmelerin yok edilmesini sağlar. Temperleme işlemi 250-650°C arasında malzeme kalınlığına göre değişen sürelerde tutularak yapılır. Bu yüksek sıcaklıkların yanında 200°C'de dahi iç gerilmelerin giderilebileceği vurgulanmıştır. Temperleme işlemi sonucu malzeme yapısı denklem (1)'de görüldüğü gibi değişir. Callister ve Rethwisch (2020) yaptığı çalışmada; martenzitik yapının 594°C'de temperlenmesi sonucu oluşan terperlenmiş martenzitik mikroyapı Şekil 3'te görülmektedir.

Hacim Merkezli Tetragonal tek faz yapı → α ferrit + Fe_3C (sementit) fazları (1)



Şekil 3. Temperlenmiş yapıdaki sementit (Fe3C) ve ferrit (α) fazları (Özdemir vd.; 2016: 53)

Callister ve Rethwisch (2020) yaptıkları çalışmada; yağda su verilmiş 4340 çeliğinin farklı sıcaklıklarda yapılan temperleme işlemi malzemenin çekme ve akma dayanımını etkilediği belirtilmiştir. Temperleme sıcaklığının mekanik özellikler üzerindeki etkisi Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Temperleme sıcaklıkğının çekme ve akma dayanımları üzerine etkisi (Özdemir vd.;2018b: 80)

Biyel kollarına uygulanan bir başka ısıl işlem ise indüksiyonla sertleştirmedir. İndüksiyonla sertleştirme işleminde malzemenin çekirdek yapısını değiştirmeden dış yüzey sertleştirmesi yapılır. Bu işlemin biyel kolunda uygulama bölgesi krank mili ve piston pimi ile temas halinde olan biyel baş kısımlarıdır. Sertleştirilen yüzey sayesinde aşınma direnci ve yorulma ömrü arttırılmış olur.

DEĞİŞEN ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN ÖZELLİKLERE ETKİLERİ

Özdemir vd. (2018b) yaptığı bir çalışmada; C70S6 alaşımından imal edilmiş biyel koluna tavlama, temperleme ve sertleştirme işlemleri uygulanmış ve biyel kollarının içyapılarındaki değişiklikleri inceleyerek en uygun ısıl işlem prosesini belirlemeye çalışmıştır. Çalışmada öncelikle biyel kolu 800°C'ye ısıtılarak tavlanmış ve havada soğutularak perlit-ferrit yapısı elde edilmiştir. Elde edilen yapı incelendiğinde; büyük bir kısmın lamelar ve sferoid kaba perlitten oluştuğu görülmüş ayrıca kalıntı ferrit de gözlemlenmiştir. Yapılan testlerde malzemenin sertliği 190 HB olarak ölçülmüştür. Yapının endüstride kullanımı yüksek yumuşaklık ve düşük mukavemeti nedeniyle uygun olmadığı düşünülmektedir. Bunların yanında biyel kolunun çentikli kırma yoluyla ayrılması

işleminin uygulanabilirliği test edilmiş ve yapının çarpılma eğiliminde olduğu, kırılmanın uygun gerçekleşmemesi ve kırıcı takım ile temas noktasında ezilmeler gözlemlendiğinden dolayı bu prosese de uygun olmadığı kanısına varılmıştır. Aynı çalışma içinde; biyel kolunda temperlenmiş martenzitik yapı elde etmek için, 780°C'ye ısıtılarak östenitleme yapılmış ve suda 45 dakika bekletilmiştir. Ardından 450°C'de fırında 30 dakika bekletilerek havada soğutulmuştur. Bu işlemler sonucunda biyel kolunun temperlenmiş martenzit yapısında dönüşmemiş ferrit fazı tespit edilmiştir. Bu yapıdaki biyel kolu yapılan deneylerde 306 HB olarak bulunmuştur. Elde edilen mekanik özelliklerin endüstride kullanılan biyel kollarıyla yakın değerlere sahip olduğu gözlemlenmiş ve biyel kolu üretiminde çentikli kırma yönteminin de kullanılarak üretimde kullanılabilir olduğu düşünülmüştür. Aynı çelik alaşımında martenzitik yapı elde etmek için iki ısıl işlem yöntemi uygulanmıştır. Birinci yöntemde; biyel kolu 800°C'de 45 dakika östenitlenmiş ve suda soğutulmuştur. İşlem sonunda yapılan deneylerde biyel kolunun sertliğinin 352 HB olduğu hesaplanmıştır. Mikroyapının martenzitik yapı olduğu ve ferrit kalıntılarının varlığı gözlemlenmiştir. Biyel kolunun sertliğinin yüksek olması malzemenin motor içerisinde kullanımını engellerken aynı zamanda üretimde çentikli kırma metodu test edildiğinde çarpılmalar görülmüş ve çarpılma kaynaklı süreksiz kırılmalar tespit edilmiştir. Bu nedenden dolayı biyel kolu için uygun bulunmamıştır. Martenzitik yapı elde etmek için yapılan ikinci uygulamada ise biyel kolu 800°C'de 45 dakika östenitlenmiş fakat bu denemede soğutma %10 NaCl çözeltisinde yapılmıştır. Yapılan ısıl işlem sonucunda yapının kaba martenzit taneli olduğu gözlemlenmiştir. Ölçülen sertlik değeri 612 HB çıkmıştır ve bu değer yapının çok fazla kırılgan olduğunu gösterir. Yapılan çentikli kırma deneylerinde de yapının süreksiz kırılmasında dolayı bu uygulama biyel kolu için uygun bulunmamıştır. Özdemir vd. (2018b) yaptığı çalışma sonucu her bir ısıl işlem için elde edilen mekanik özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Uygulanan çentikli kırma deneyleri sonucunda belirlenen mekanik özellikler için en uygun ısıl işlemin 780°C sıcaklıkta östenitlendirmenin ardından 18°C sıcaklıktaki suda su verilmesi ve ardından 450°C'de 3 saat östenitlenip havada soğutularak elde edilen yapı olduğu belirtilmiştir.

Tablo 1 - Farklı ısıl işlem parametreleri sonucunda elde edilen mekanik özellikler (Özdemir, 2013).

Deney Parçası	**σ Akma (MPa)**	**σ Maks. (MPa)**	**Sertlik (HRB)**	**%ε Uzama**
C70S6 (Perlitik)	560	850	280	10
C70S6 (Perlitik-Ferritik Yapı) Havada su verme	380	570	190	12
C70S6 (Temperlenmiş Martenzit) Suda su verme	703	1009	306	10
C70S6 (Martenzit) Havada su verme	810	1160	351	7
C70S6 (Martenzit) %10 NaCl çözeltisinde su verme	1407	2007	612	5

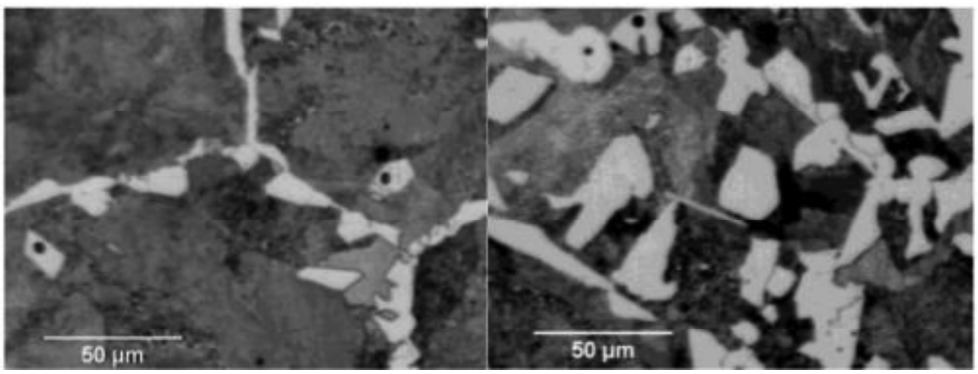
Cryderman vd. (2015: 769) tarafından yapılan bir çalışmada; sıcak dövme ile üretilmiş dört faklı alaşım grubundan imal edilen biyel kollarının, çentikli kırma yöntemiyle ayrılarak üretilmesinde ısıl işlemlerin mekanik ve mikroyapı özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Testlerde kullanılan alaşımların kimyasal kompozisyonları Tablo 2'de verilmiştir. D, E, F ve G kodları ile isimlendirilen

biyel kolları 900°C ve 1200°C'ye ısıtılarak saniyede 1,5 °C soğutma hızı ile havada soğutulmuştur. Seçilen alaşımlar ile karşılaştırma amacıyla, ticari adıyla C70 olarak bilinen alaşım da 950'de normalize edilmiş ve 1.5 °C/s hız ile soğutulmuştur. Isıtma sıcaklıklarının yanında soğutma farklılıklarının da incelenmesi için yapılan çalışmada dövme ile üretilmiş dört farklı alaşım (A, B, C ve H) 1260°C'ye ısıtılmış ve dört farklı yöntemle soğutulmuştur.

Tablo 2 - Alaşımların kimyasal kompozisyonları (ağ. %maks.) (Cryderman vd.; 2015: 766).

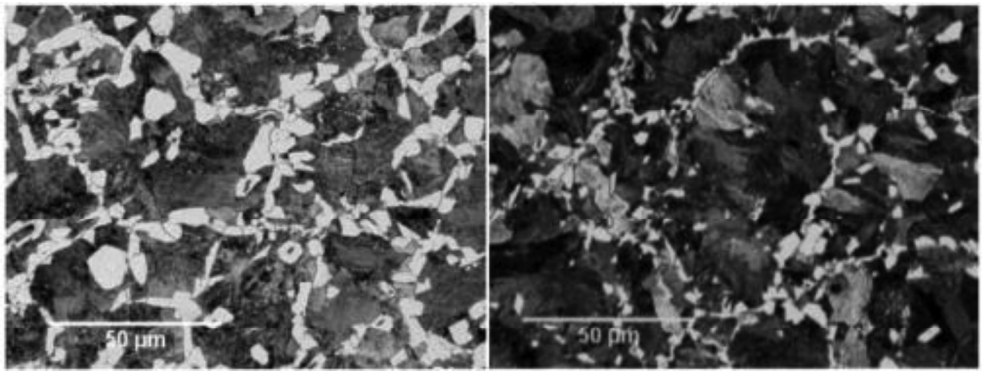
Çelik	C	Mn	Cr	P	S	Si	V	N
A	0.31	1.33	0.19	0.06	0.068	0.75	0.302	0.010
B	0.41	0.96	0.11	0.07	0.054	0.6	0.097	0.0154
C	0.42	1.37	0.21	0.076	0.058	0.86	0.243	0.0198
D	0.38	1.04	-	0.077	0.063	0.62	0.102	0.0090
E	0.4	1.03	-	0.067	0.066	0.58	0.193	0.171
F	0.38	1.41	-	0.076	0.061	0.6	0.095	0.0090
G	0.4	1.01	-	0.067	0.058	0.86	0.098	0.0094
H	0.27	1.31	1.28	0.066	0.041	0.82	0.149	0.0172
C70	0.69	0.54	0.15	0.014	0.064	0.17	0.037	0.0087

Cryderman vd. yaptığı çalışmada; 1200°C'ye ısıtılan ve havada soğutulan alaşımlarda küçük ferrit tanelerinin varlığıyla birlikte çok geniş tane boyutuna sahip östenitler elde edilmiştir. Bu durum Şekil 5'te verilen mikroyapı resimlerinde görülmektedir.



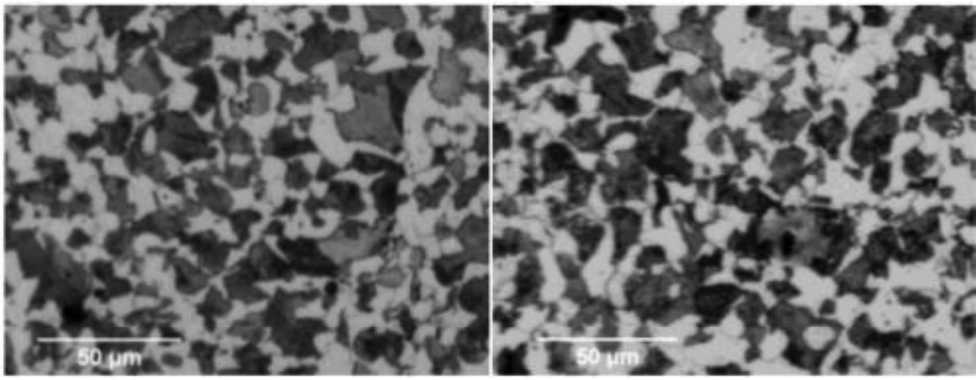
Şekil 5. 1200°C'de ısıtılmış F alaşımı (sol) ve E alaşımı (sağ) (Cryderman vd.; 2015: 768).

Aynı çalışmada; 1260°C'ye ısıtma ve sıcak haddeleme ile artan bir ferrit faz oluşumu ve bir miktar östenit faz oluşumu tespit edilmiştir. Elde edilen mikroyapılar Şekil 6'da görülmektedir.



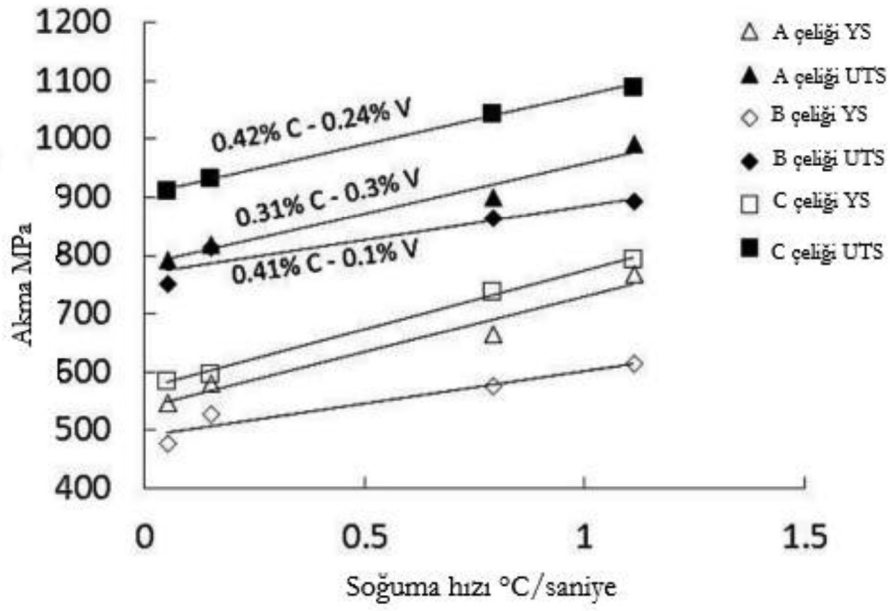
Şekil 6. Fanla soğutulmuş sıcak hadde B alaşımı (sol) ve C alaşımı (sağ) (Cryderman vd.; 2015: 768).

Aynı çalışmanın devamında; 900°C'ye yeniden ısıtma ve ardından haddeleme yapılan alaşımlarda daha küçük tane boyutunda östenit faz oluşumu ve ferrit faz fraksiyonunda artış rapor edilmiştir. Şekil 7'de bu alaşımlara ait mikroyapılar verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda ilk ısıtma sıcaklığının 900°C'den 1200°C'ye arttırılması östenit tane boyutunu arttırmış ve ferrit çekirdekleşmesini ve ferrit fraksiyonunu azaltmıştır. Haddeleme veya dövme işleminden sonra soğutma hızının arttırılması ferrit çekirdekleşmesi ve büyümesi için süreyi azaltarak ferrit fraksiyonunu azalttığı belirtilmiştir. Genel olarak çalışmada elde edilen sonuçlara göre; ısıl işlemde soğutma hızının ferrit faz fraksiyonuna etkisi olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7. 900°C'de yeniden ısıtılmış F alaşımı (sol) ve E alaşımı (sağ) (Cryderman vd.; 2015: 768).

Aynı çalışmanın mekanik test sonuçlarında tüm alaşımlarda artan soğutma hızının çekme ve akma dayanımlarını arttırdığı rapor edilmiştir. Soğutma hızı ile mekanik özelliklerde yaşanan değişimler Şekil 8'de verilmiştir. Kaçal vd. (2009) ve Çakır vd., (2005) yaptıkları benzer çalışmalarda, mekanik özelliklerin, alaşım elementlerinin yanı sıra ısıl işlem sıcaklıkları ve bekleme süreleri ile doğrudan ilişkili olduğunu rapor etmişlerdir.



Şekil 8. Farklı soğutma hızlarının çekme (UTS) ve akma (YS) dayanımına etkisi (Cryderman vd.; 2015: 768).

GENEL DEĞERLENDİRME

Yüksek kaliteye sahip biyel kolları motor performansını ve güvenliğini arttırır. Biyel kolları aracın ömrü boyunca çok büyük gerilmelere dayanmalıdır ve bu parçaların arızalanması motor hasarlarının oluşmasında en sık görülen sebeplerden biridir. Biyel kolu hakkındasadece malzemesinin bileşimini değil aynı zamanda mekanik özellikleri şüphesiz etkileyen üretim prosesini ve ısıl işlemi de tanımlayarak daha kesin bir tanım elde edilebilir. Aşağıda ısıl işlem sürecinin özellikler üzerine etkisi maddeler halinde özetlenmiştir.

- Alaşım elementlerinden (vanadyum, nitrojen vb.) en iyi verimi alabilmek için dövmede yeniden ısıtmanın 1200°C'de yapılması gerektiği belirtilmiştir.
- Dövme ile üretim işleminden sonra hızlandırılmış soğutma hızıyla birlikte yüksek ilk ısıtma sıcaklıkları mikro yapıdaki ferrit miktarını sınırlayarak ve ferrite alaşım elementlerinin çökelmesini sağlayarak en iyi mukavemet ve çentikli kırma ile ayırma durumlarını oluşturduğu rapor edilmiştir.
- Dövme ile üretimden sonra 900°C'de normalleştirmenin artan ferrit fraksiyonu ve sınırlı çökelme nedeniyle daha düşük mukavemet ve zayıf çentikli kırma ile ayırma ile sonuçlandığı belirtilmiştir.
- Temperlenmiş martenzitik yapıdaki sementit taneleri sertliği arttırmaktadır. Artan sertliğin kalıntı ferrit nedeniyle düşmesi sertliği optimal değerlere yaklaştırır ve endüstride kullanılan ideal biyel kolu sertliğine getirdiği belirtilmiştir.
- Biyel kollarında kullanılan perlitik yapıya alternatif olarak temperlenmiş martenzitik yapının kullanılabileceği rapor edilmiştir.

KAYNAKLAR

Aksoy, Z., Özdemir, Z. ve Özdemir, T. (2012). *A metallographic examination of fracture splitting C70S6 steel used in connecting rods*. Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 24(2), 45-58.

Ayhan, İ. İ., Dürger, N. B., Parmaksızoğlu, B., ve Erişir, E. (2018). Biyel Kolları İçin Yüksek Mukavemetli Yeni Mikroalaşımlı Çelik. *19. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi* (s. 819-823). istanbul: TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Eğitim Merkezi.

Callister Jr, W. D., ve Rethwisch, D. G. (2020). *Fundamentals of materials science and engineering: an integrated approach*. John Wiley & Sons.

Cryderman, R., Rickert, D., Puzak, K., Speer, J., Matlock, D., ve Burnett, M. (2015). Effects of chemical composition, heat treatment, and microstructure in splittable forged steel connecting rods. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, *8*(3), 765-773.

Çakır, M. C., Bayram, A., Işık, Y., ve Salar, B., "The effects of austempering, temperature and time on to the machinability of austempered ductile iron", *Materials, Science & Engineering*, 2005.

https://www.bodycote.com/tr/hizmetler/isil-islem/sertlestirme-ve-menevis/induksiyonla sertlestirme/ (Erişim Tarihi: 19.04.2022)

Çetinerler, E. Uçak Piston Motorları. http://www.havaciyiz.com/Kutuphane03-Piston.htm (Erişim Tarihi: 19.04.2022)

Hye, K., Tae, K., Tai-Joo, C., Hyun, Kim. ve Soon-Jik, H., "Fatigue Characteristics of High Strength C70S6 and SMA40 Steels". *Materials Science and Engineering*, 527, 2813–2818, (2010).

Kaya, T. (2012*). Biyel Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kaçal, A. ve Gülesin, M., "Küresel grafitli dökme demirlerin son bitirme operasyonlarının analizi üzerine bir çalışma", *5. Uluslararası ileri teknolojiler sempozyumu*, (IATS'09), 13-15 Mayıs, Karabük, 2009.

Khurmi, R. S., ve Gupta, J. K. (2005). *A textbook of machine design*. S. Chand publishing

MAHLE GmbH. (2016). Cylinder components: Properties, applications, materials, ATZ/MTZ-Fachbuch, Vieweg+Teubner

Myagkov, L. L., Mahkamov, K., Chainov, N. D., ve Makhkamova, I. (2014). Advanced and conventional internal combustion engine materials. In *Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance* (pp. 370-408e). Woodhead Publishing.

Özdemir, T. (2013). *Motor biyel kolunun baş kısmının kırılmasının sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik analizi üzerine bir çalışma*, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özdemir, Z., Aksoy, Z. ve Özdemir, T. (2012). Kırılarak iki parçaya ayrılabilen biyel kollarının ayrılma parametreleri üzerine bir inceleme. *Sakarya University Journal of Science*, *16*(2), 113-122.)

Özdemir, Z., Türkbaş, O. S., ve Özdemir, T. (2013). C70S6 çeliğinden imal edilen biyel kolunun çentikli kırma yöntemi ile imalatı esnasında ısıl işlem parametrelerinin kırılmaya etkisi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi,* 10 (2), 49-58.

Özdemir, Z., Özdemir, T., Aksoy, Z., ve Eruslu, S. O. (2013). An examination of different heat treatment effects to the fracture parameters of connecting rod made from C70S6 steel. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, *25*(2), 75-90.

Şahin, E., Cesur, İ., ve Kahraman, H. Çift Silindirli Su Soğutmalı Bir Motorun Biyel Kolu Yapısal Analizi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 11(1), 71-79.