

SOĞUK DÖVME KALIPLARINDA ÖMÜR ARTIŞI ELDE ETMEK İÇİN BASKIN HASAR MEKANİZMASININ BELİRLENMESİ

*M. Burak TOPARLI**

Alınma: 03.01.2019; düzeltme: 29.04.2019; kabul: 29.04.2019

Öz: Bu çalışma kapsamında soğuk dövme yöntemiyle üretilen M10x16 konik kafa T50 soketli bağlantı elemanının üretiminde kullanılan soğuk dövme kalıpları ele alınmıştır. Üretim hattında düşük çevrimde kırıldığı tespit edilen zımba adaptörü için detaylı çalışmalar yürütülmüştür. Üretimden alınan hasarlı kalıplar incelenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak şekillenme ve kalıp analizi simülasyonları gerçekleştirilmiştir. İlgili çalışmalar göz önünde bulundurularak kalıp tasarımı revize edilmiş ve kalıp ömründe yaklaşık 20 kat iyileşme elde edilmiştir. Revize edilen ve üretimde kullanılmış hasarlı kalıplar için incelemeler tekrarlanmış ve baskın hasar mekanizmasının değiştiği tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar kapsamında, soğuk dövme kalıplarında ömür artışı elde edilmesi için baskın hasar mekanizmasının ortaya çıkarılması ve karşı tedbir alınması gerektiği ve bu döngünün hedeflenen kalıp ömrü elde edilene kadar devam edilmesi gerektiği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Soğuk dövme, hasar mekanizmalarının incelenmesi, sonlu elemanlar yöntemi, kalıp gerilme analizi

Determination of Effective Failure Mechanism to Improve Tool Life of Cold Forging Dies

Abstract: In this study, production tools of cold forged M10x16 conic head fasteners with T50 socket were investigated. Punch adapter, one of the production tools of the investigated fastener, was examined due to early failure observed during production. Failed punch adapters were examined and finite element simulations were carried out. Based on the detailed examination, the design of the punch adaptor was revised and approximately 20 times life enhancement was achieved. The failed punch adaptor after design improvement was re-investigated and it was shown that the effective failure mechanism acting on the punch adaptor was changed. According to investigations carried out in this study, it was shown that tool life enhancement could be obtained by determining the effective failure mechanism and applying countermeasures. This procedure has to be carried out until the target service life is achieved.

Keywords: Cold forging, failure analysis, finite element method, tool stress analysis

1. GİRİŞ

Soğuk dövme, özellikle otomotiv gibi üretilen parça adetlerinin çok fazla olduğu sektörlerde yaygın olarak kullanılan metal şekillendirme yöntemlerindedir. Soğuk dövme prosesinde kangal şeklinde tedarik edilen malzemeler, ürün ve geometriye uygun preslerde dövülmektedir. Şekil verme işlemi silindirik olarak kesilen iş parçasının genellikle birden çok istasyonda farklı

* NORM Ar-Ge Merkezi, İ.A.O.S.B. Çiğli, İzmir, Türkiye
İzmir Ekonomi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Balçova, İzmir, Türkiye
Sorumlu Yazar: M. Burak TOPARLI, burak.toparli@norm-fasteners.com.tr

yapı ve geometride kalıplar kullanılarak malzemenin plastik deformasyonu ile sağlanmaktadır. Konvansiyonel talaşlı imalat yöntemleri ile karşılaştırıldığında, adetli üretimler dövme yöntemi ile daha ekonomik ve hızlı bir şekilde yapılabilir. Ayrıca, malzemenin talaş almadan şekil verildiği için dövme sonucu malzeme içerisindeki akış eğrileri kesintisiz olduğundan yapısal bütünlüğü daha yüksek ürünler elde edilebilmektedir. Talaşlı imalat ile üretilen ürünlerde malzeme akışı kesik olduğundan dolayı, bu bölgelerde çatlak oluşum riski daha yüksek olmakta ve bu durum özellikle malzeme yorulma ömrüne olumsuz etki yapmaktadır. Son ürün geometrisi düşünüldüğünde, talaşlı imalat yöntemleri ile daha dar toleransta ve geometrik olarak daha karmaşık ürünler üretilmektedir. Çevreye olan etki düşünüldüğünde, konvansiyonel talaşlı imalat yöntemlerinde adet başına daha çok enerji tüketilmekte ve daha çok sera gazı salınımı yapılmaktadır. Dövme ve talaşlı imalat yöntemlerinin karşılaştırılması ile alakalı daha fazla bilgi için (Yurtdaş et al., 2018) incelenebilir.

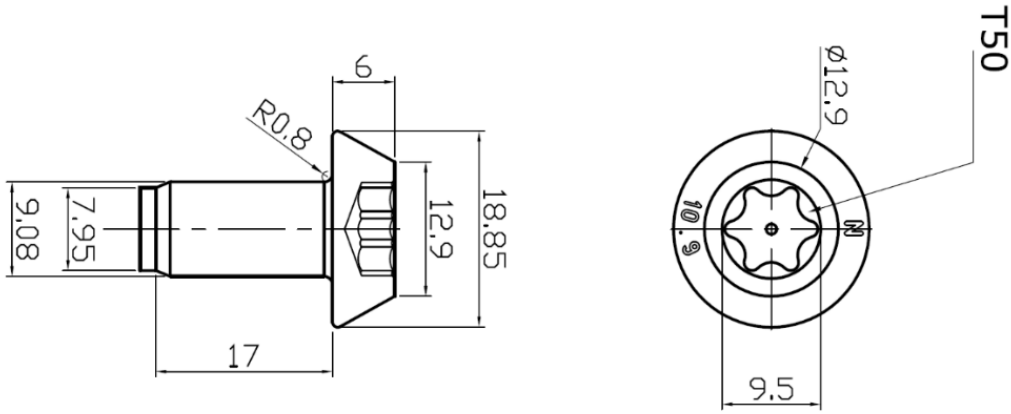
Soğuk dövme prosesiyle şekil vermede üretilen malzeme türüne ve geometrisine bağlı olarak kalıplara oldukça fazla yük binmekte ve düşük çevrimlerde kalıp kırılmaları meydana gelebilmektedir. Sıcak ve soğuk dövmede kullanılan kalıp hasarlarının nedenleri incelendiğinde başlıca mekanizmalar yıpranma (Behrens, 2008), çatlak oluşumu ve yorulma (Knoerr et al., 1994) ve plastik deformasyon (Kim et al., 2005) olarak sıralanabilir. Yıpranma kaynaklı hasarlar aşınma ve yapışma olarak ayrıştırılabilir. Bu mekanizmalar, yanlış malzeme seçimi, uygun olmayan kalıp tasarımı, ısıl işlem eksikliği/hatası, sürtünme, yağlama gibi proses koşullarının optimum olmaması gibi nedenlerle tetiklenmektedir. Yük altında belirtilen mekanizmalardan çoğu kalıplar üzerine etki etmekte, ancak genelde baskın mekanizma sonucu kalıplar kullanılamaz hale gelmektedir (Summerville et al., 1995, Alimi et al., 2016). Kullanılan kalıp malzemesinde değişiklik yapılması kalıp ömrünü artırmak için kullanılacak yöntemlerden bir tanesidir. Örneğin, aşınma sonucu kullanılamaz hale gelen kalıp için daha sert malzeme kullanılması ya da pullanma ve ufalanma sonucu hasar gören kalıplar için daha tok malzeme tercih edilmesi kalıp ömrüne pozitif etki yapacaktır. Ayrıca, dövme işleminde kullanılacak kalıplara farklı yüzey işlemleri uygulayarak ömür artışı elde etmek de mümkündür (Chang et al., 2008, Wagner et al., 2008). Çatlak ve yorulma sonucu hasar gören kalıplarda ise kalıp tasarımında değişiklik yapılarak çatlak oluşumunun engellenmesi veya geciktirilmesi kalıp ömrünün uzatılması için tercih edilebilecek diğer bir alternatiftir (Nagao et al., 1994, Vazquez et al., 2000, Behrens et al., 2016). Özellikle tasarımsal değişikliklerde deneme-yanılma yerine sonlu elemanlar tabanlı sayısal simülasyon çalışmalarının yapılması zaman ve maliyet azaltma konusunda kullanılabilir etkin bir yöntemdir (Altan et al., 1992, McCormack et al., 2001, Lee et al., 2003). Ancak, farklı yöntemler kullanılarak yapılacak tasarım, malzeme vb. değişiklikler kalıba etki edecek tüm hasar mekanizmalarını ortadan kaldırmak için yeterli olmayacaktır. Yapılan iyileştirmeler, baskın hasar mekanizması etkinliğinin azalmasına veya kalıbın daha uzun çevrimlerde çalışmasına imkan verecek farklı bir hasar mekanizmasının etkin rol oynayacağı bir durum ortaya çıkmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmada, soğuk dövme yöntemi ile üretilen M10x16 konik kafa T50 soketli bağlantı elemanı detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmalar kapsamında ilgili ürünün soğuk dövme ile şekillendirme prosesi takip edilmiş ve çalışma ömrü en düşük kalıp olan zımba adaptörü detaylı inceleme için ele alınmıştır. Kalıpta meydana gelen hasar mekanizmaları ve nedenlerinin bulunması için üretim sürecinde kullanılamaz hale gelen kalıplar incelenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Kırılmanın kök nedenleri bulunduğundan sonra simülasyon çalışmaları göz önünde bulundurularak kalıp tasarımı revize edilmiş ve simülasyon çalışmaları tekrarlanmıştır. Revize edilen kalıplara ait simülasyon bulguları sonucunda zımba adaptörü üzerine etki eden gerilmelerde ciddi azalma olduğu teyit edilmiştir. Gerçek üretim koşullarında revize kalıplar kullanılarak üretim denemesi yapılmış ve yeni durum için kalıp ömürleri tespit edilmiştir. Üretim hattından alınan sonuçlara göre revize kalıplarda yaklaşık 20 kat ömür artışı elde edilmiştir. Ayrıca hasar gören revize kalıplar için detaylı

inceleme tekrarlanmış ve kalıp kırılmasını tetikleyen etkin hasar mekanizmasının değiştiği ortaya konmuştur.

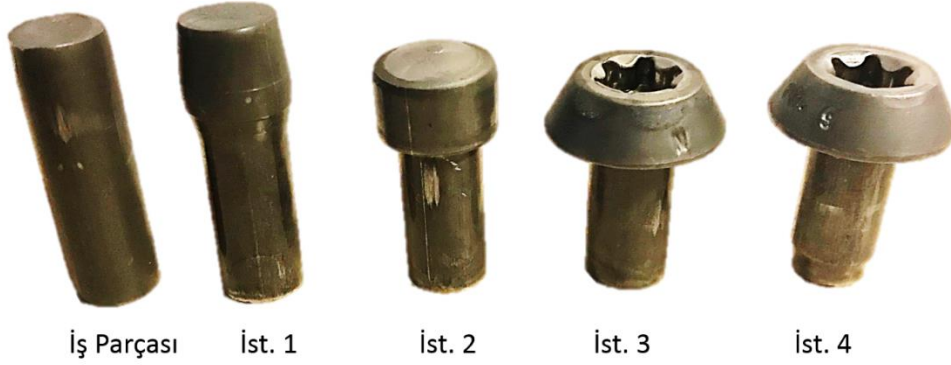
2. DENEYSSEL METOT

Bu çalışma kapsamında M10x16 konik kafa T50 soketli bağlantı elemanı üretiminde kullanılan kalıplar incelenmiştir (Şekil 1). İlgili ürün NORM Cıvata İzmir fabrikasında toplam 4 istasyonda üretilmektedir. Kullanılan soğuk dövme yöntemi doğası gereği her istasyonda sabit ve hareketli kalıp sistemleri kullanılmaktadır. Hareketli kalıplar bağlı oldukları krank mili hareketi sayesinde senkron bir şekilde sabit kalıplara doğru hareket etmekte ve her bir istasyonda yer alan iş parçasının plastik deformasyonu ile şekillenme gerçekleştirilmektedir. Daha sonra parmaklar yardımıyla her iş parçası bir sonraki istasyona aktarılmakta, son istasyondaki ürün ise diş çekme işlemi için başka bir makinaya alınmaktadır. İncelenen ürün için ilk istasyonda armudi form oluşturulmakta olup ikinci istasyonda kafa formu için hazırlık yapılmaktadır. Üçüncü istasyonda kafa geometrisi nihai hale getirilmekte ve son istasyonda ise uç sivirtme işlemi gerçekleştirilmektedir. Tüm istasyonlara ait üretimden elde edilen numuneler Şekil 2 ile verilmiştir. Soğuk dövmede kullanılan 10 mm çaplı 23MnB4 çelik malzemelere, soğuk dövme öncesi küreselleşme tavlama uygulanarak üretim geçmişi kaynaklı gerinim sertleşmesi ve kalıntı gerilmeler normalize edilmektedir (Toparli et al., 2018). Bu sayede plastik deformasyon ile şekillenme için malzeme en uygun koşula getirilmekte, ısıl işlem öncesi duruma göre daha sünek ve dövme için uygun malzeme yapısı elde edilmektedir. Bu durum, kalıpların daha az yük altında çalışmasına da imkan vermekte ve presin daha az zorlanmasını sağlamaktadır. Ürünlerin soğuk şekillendirilmesinin ardından istenen mekanik özelliklerin elde edilebilmesi için su verme ve menevişleme ısıl işlemleri uygulanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan bağlantı elemanlarının kalitesi ısıl işlem sonrası 10.9 olarak elde edilmiştir. Bağlantı elemanının kalitesini ve üreticinin logosunu içeren damgalar özellikle otomotiv sektöründe kullanılan bağlantı elemanlarında olması gereken unsurlar arasında yer almaktadır.



Şekil 1:
M10x16 Konik Kafa T50 soketli bağlantı elemanı

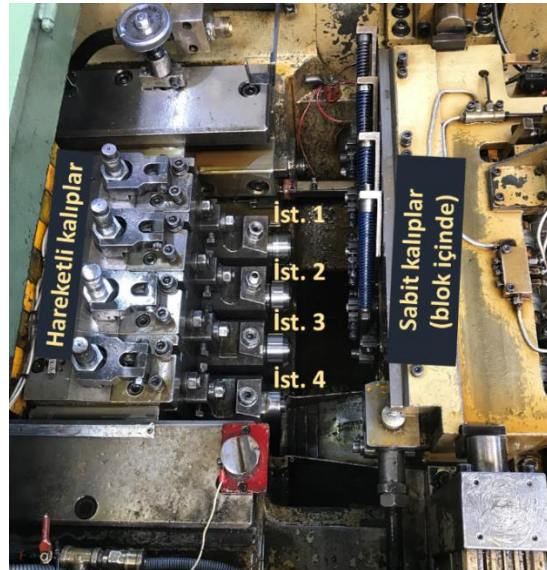
Toparlı M.B. : Soğuk Dövme Kalıp. Ömür Artış. Elde Etmk. İçin Baskın Hasar Mekaniz. Belirl.



Şekil 2:

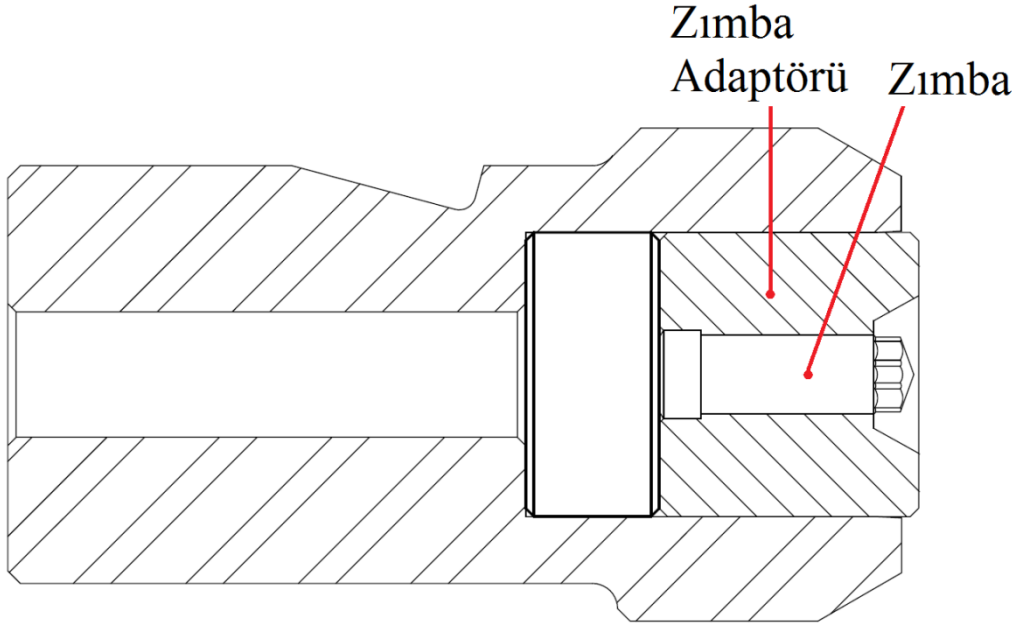
M10x16 konik kafa T50 soketli bağlantı elemanına ait istasyon numuneleri. Son ürün maksimum kafa çapı 18,85 mm, shaft boyu 17,00 mm'dir.

Çalışma kapsamında incelenen ve en çok kırılma yaşanan üçüncü istasyon hareketli kalıbında yer alan zımba adaptörü için detaylı incelemeler gerçekleştirilmiştir. Ele alınan ürünün üretildiği pres ve kalıp sistemi Şekil 3 ile gösterilmiştir. İlgili zımba adaptörü ve zımbanın olduğu 3. istasyon hareketli kalıp sistemi Şekil 4 ile verilmiştir. Zımba adaptörü, yüksek karbon - yüksek krom, molibden ve vanadyum alaşımli 1.2379 (X153CrMoV12) soğuk iş takım çeliklerinden üretilmiştir. Bu malzeme yüksek aşınma direnci ve yüksek tokluğu sayesinde soğuk dövme kalıplarında sıkça kullanılmaktadır. Zımba adaptörü ısıtım işlem sonrası 54-56 HRC sertlik değerine getirilerek kullanılmaktadır. Üretim sırasında elde edilen bilgilere göre zımba adaptöründe ortalama 2.000 adetlik bir üretim sonrasında çatlak oluşmaktadır. Zımba adaptörü ile beraber kullanılan zımba 1.3247 yüksek hız çeliklerinden üretilmektedir. Isıtım işlem sonrası 64-66 HRC sertlik değeri elde edilen zımba daha sonra TiN ile kaplanmaktadır. Zımba adaptörü ve zımbada kullanılan malzemelere ait aşım elementlerinin kompozisyon bilgisi Tablo 1 ile verilmiştir. Kalıp ömürlerine yönelik yapılan deneysel çalışmalar gerçek üretim koşullarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3:

Soğuk dövme kalıp sistemi. İncelenen zımba adaptörü 3. İstasyon hareketli blokta yer almaktadır.



Şekil 4:

Soğuk dövme prosesi üçüncü istasyon hareketli kalıp sistemi. Kırılma yaşanan zımba adaptörü ve ilgili zımba kırmızı ile işaretlenmiştir.

Tablo 1: (a) Zımba (1.3247) ve (b) zımba adaptöründe (1.2379) kullanılan malzemelere ait alaşım elementleri

(a)	C / %	Cr / %	Mo / %	V / %	Si / %	W / %	Co / %
1.3247	1,05 -	3,50 -	9,00 -	0,90 -	Mak.	1,20 -	7,50 -
	1,15	4,50	10,00	1,30	0,70	1,90	8,50

(b)	C / %	Cr / %	Mo / %	V / %	Si / %	Mn / %	S / %	P / %
1.2379 (X153CrMoV12)	1,45 -	11,00 -	0,70 -	0,70 -	0,15 -	0,20 -	Mak.	Mak.
	1,60	13,00	1,00	1,00	1,60	0,60	0,03	0,03

3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ DESTEKLİ KALIP ÇALIŞMALARI

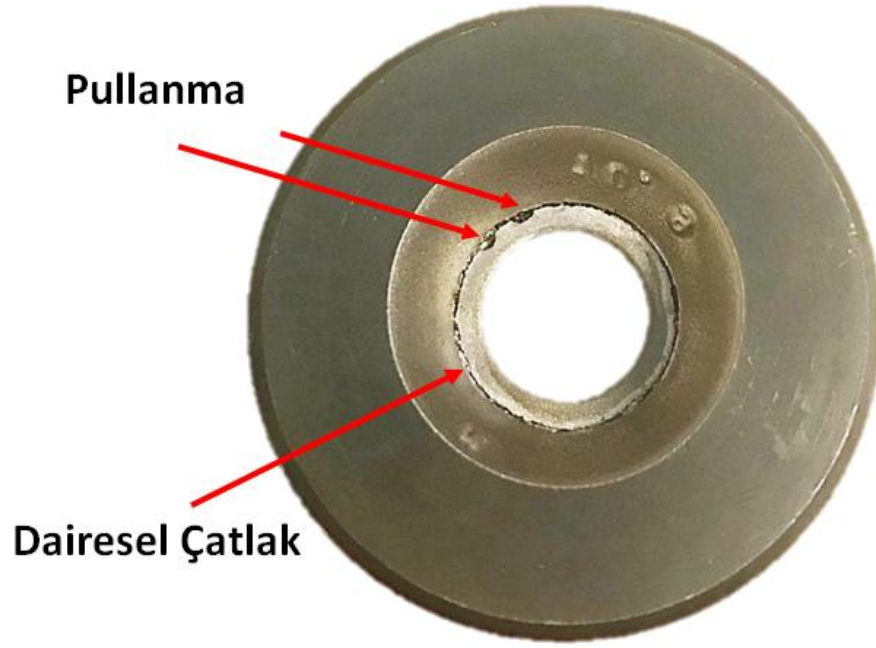
İncelenen bağlantı elemanına ait soğuk dövme proses simülasyonu ve kalıp analizleri Simufact.forming sonlu elemanlar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyon çalışmalarında iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Öncelikle istasyonlarda şekillenme ile alakalı bir problem olup olmadığına yönelik termo-mekanik analizler yapılmış ve bu nedenle ilk üç istasyon için ayrı modelleme ve simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar analizlerinde üretimden daha önce elde edilen malzeme ve sürtünme modelleri ile pres bilgileri kullanılmıştır. Prese ait bilgilerin özellikle soğuk şekillendirme esnasında gerinim hızını etkileyeceği için gerçekçi olması önemlidir. Ürün için kullanılan 23MnB4 malzemesine ait deneysel elde edilen akış eğrileri modellemede kullanılarak daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesi sağlanmıştır. İstasyon numunelerinin geometrilerinden dolayı ilk iki istasyon aksisimetrik, üçüncü istasyon 3 boyutlu olarak modellenmiştir. 3 boyutlu analizlerde eleman

sayısını azaltarak hesaplama sürelerini kısaltmak için iş parçasının yarısı modellenmiştir. Aksisimetrik modellemelerde quad, 3 boyutlu modellemede ise heksahedral eleman tipleri kullanılmıştır. Şekillenme analizleri için iş parçası elastik-plastik, diğer kullanılan kalıplar rijit olarak tanımlanmıştır.

Şekillenme modellemelerinin ardından kalıp analizleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen kalıp analizlerinde hesaplama sürelerini azaltmak için kalıplar ve iş parçasının yarısı modellenmiştir. Kalıp ve iş parçası için heksahedral eleman tipi tercih edilmiştir. Şekillenme simülasyonlarında olduğu gibi sürtünme ve pres bilgileri gerçek durumu yansıtacak şekilde kullanılmıştır. Kalıp malzemeleri elastik olarak modellendiği için akış eğrilerine ihtiyaç olmadan sadece Elastik Modulus ve Poisson oranı bilgileri kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. İş parçası için şekillenme analizlerinde de kullanılan 23MnB4 malzemesine ait akış eğrileri kullanılmıştır. Kalıp analizlerinde zımba adaptörü ve zımba elastik, iş parçası elastik-plastik ve sabit kalıp rijit olarak modellenmiştir.

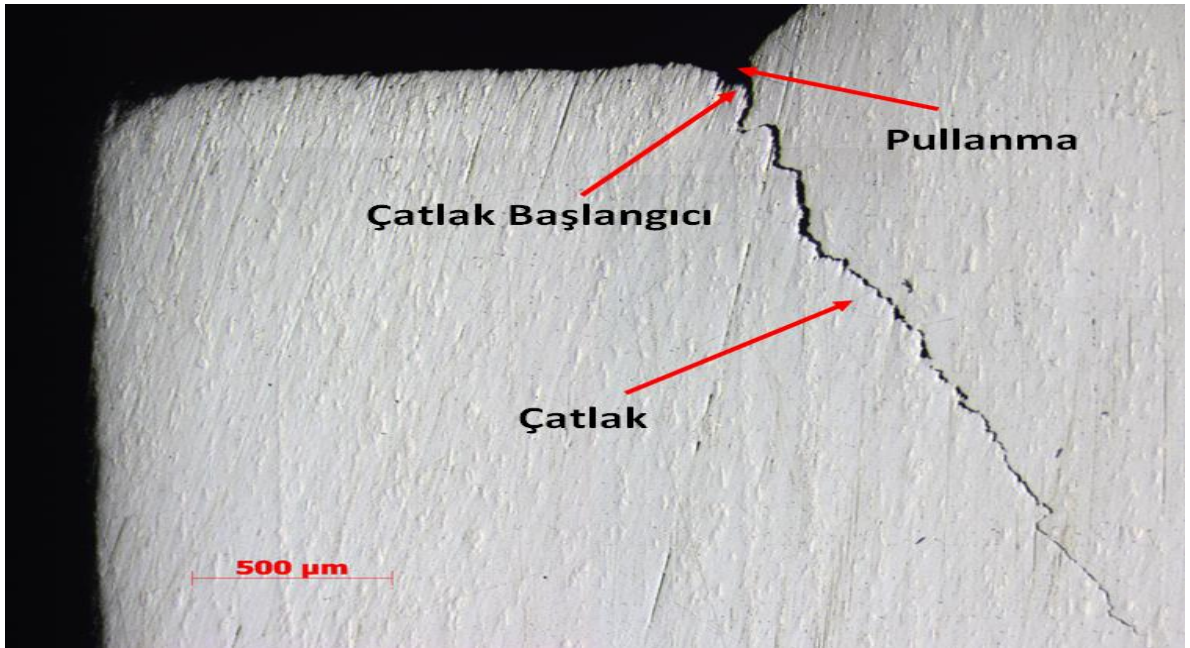
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Üretim esnasında kırılan iki adet zımba adaptörü detaylı olarak incelenmiştir. Öncelikle, zımba adaptörü üretimi sırasında ısıl işlem ile istenen sertlik değerinin elde edilip edilemediğini tespit etmek için sertlik testleri yapılmıştır. 3 adet sertlik testinin ortalaması 56 HRC olarak istenen değerde elde edildiği doğrulanmış ve ısıl işlemde bir problem olmadığı ortaya konmuştur. Daha sonra elde edilen hasarlı zımba adaptörleri incelenmiş ve iki adaptörde de benzer çatlak morfolojisi olduğu saptanmıştır. Bu durum, kırılmaların kalıp bazlı olmadığı ve sistematik bir problem olduğu ihtimalini güçlendirmiştir. Çatlak yeri ve morfolojisi incelendiğinde, zımba adaptörü geometrisinin dövme yönünde ani değişim gösterdiği bölgede dairesel çatlak oluşumu tespit edilmiştir (Şekil 5). Çatlak oluşumu ile beraber, bazı bölgelerde lokal olarak malzeme kopması (pullanma) da gözlenmiştir. Daha sonra çatlak oluşumunun detaylı incelenmesi için zımba adaptörü tel erozyon ile kesilmiş ve optik mikroskop kullanılarak detaylı incelenmiştir (Şekil 6). Yapılan incelemede, zımba adaptöründe ani geometri değişkenliği olan bölgede çatlak oluşumu doğrulanmıştır. Ayrıca, çatlak oluşumu esnasında bazı bölgelerde lokal malzeme kopması (pullanma) yaşandığı da optik mikroskop ile yapılan inceleme sonucu saptanmıştır. Üretim esnasında yağlama ve soğutma amaçlı sıvılar kullanılmaktadır. Çatlak ilerleme profili incelendiğinde, dinamik üretim koşulları, çatlak oluşumu sonrası değişen yükleme – malzeme tokluğu kombinasyonu, kullanılan sıvıların kalıp ve malzeme arasında sıkışması ve bu durum sonucunda zımba adaptörüne uyguladığı hidrodinamik kuvvetler ile lokal ve genel malzeme özellikleri ve kusurları gibi faktörlerin kombine etkisi altında çatlağın ilerlediği değerlendirilmektedir.



Şekil 5:

Kırılan zimba adaptöründe gözlenen çatlak oluşumu. Zimba adaptörü iç çapı 9,50 mm, dış çapı 34,00 mm'dir.







Şekil 6:

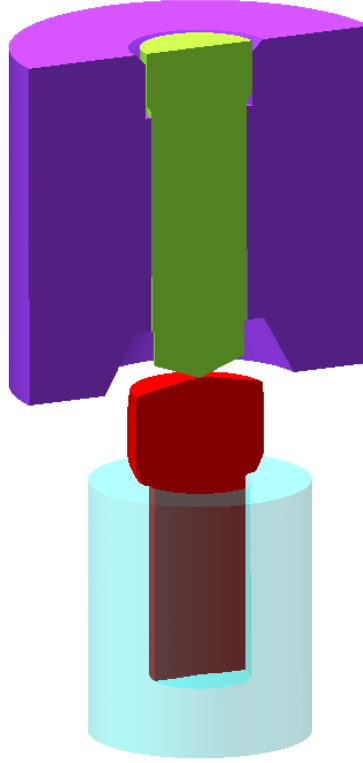
Çatlak oluşumu gözlenen zimba adaptörünün tel erozyon ile kesilerek incelenmesi. Çatlak başlangıcında pullanma malzeme kopması gözlenmiştir.

Simülasyon çalışmaları kapsamında oluşturulan sonlu elemanlar modeli Şekil 7 ile verilmiştir. Şekillenme çalışmaları sonucu elde edilen istasyon numuneleri Şekil 8 ile

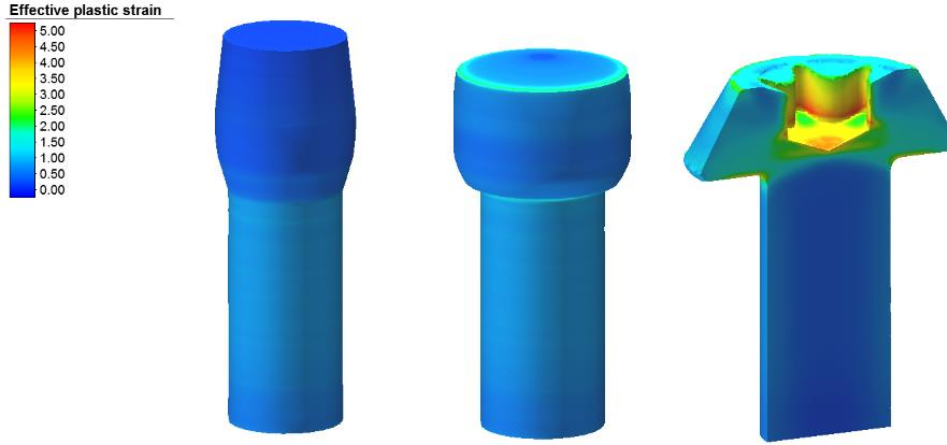
verilmiştir. Modelleme çalışmalarına göre şekillenme sırasında katlanma, set oluşumu gibi herhangi bir soğuk şekillendirme kusuruna rastlanmamış, tasarıma uygun istasyon numuneleri elde edilmiştir. Şekillenme simülasyonları sonrası mevcut durum için kalıp analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre zımba adaptörünün çekme gerilmelerinden dolayı kırıldığı ve bu nedenle maksimum asal gerilmelerin kritik olduğu değerlendirilmiştir. Simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum asal gerilmeler, gerçekte kırılmanın yaşandığı bölgede ve zımba adaptöründe kullanılan 1.2379 malzemenin akma değerinin (~ 2.500 MPa) üstünde elde edilmiştir (Şekil 9). Simülasyon çalışmaları sonucu elde edilen gerilme profili ile kalıp kırılmasına neden olan çatlak oluşum morfolojisi birbirlerine çok benzer elde edilmiştir (Şekil 10). Bu karşılaştırma, yapılan simülasyon çalışmalarının da doğruluğunu teyit eder niteliktedir. Simülasyon çalışmaları ve zımba adaptöründeki çatlak yeri ve morfolojisi göz önünde bulundurularak oluşan hasarın kök nedeni ortaya konmuştur. Kalıp tasarımından dolayı üretim esnasında yük altında geometrinin ani değişkenlik gösterdiği yerde gerilme birikmesi olduğu ve bu durumun zımba adaptöründe çatlak oluşumuna neden olduğu saptanmıştır. Bu durumda, zımba adaptörü tasarımının revize edilerek kalıp ömründe iyileştirme elde edilmesi gerektiği ortaya konmuştur.

Model legend

	Zimba
	IsParcasi
	ZimbaAdaptor
	SabitKalip

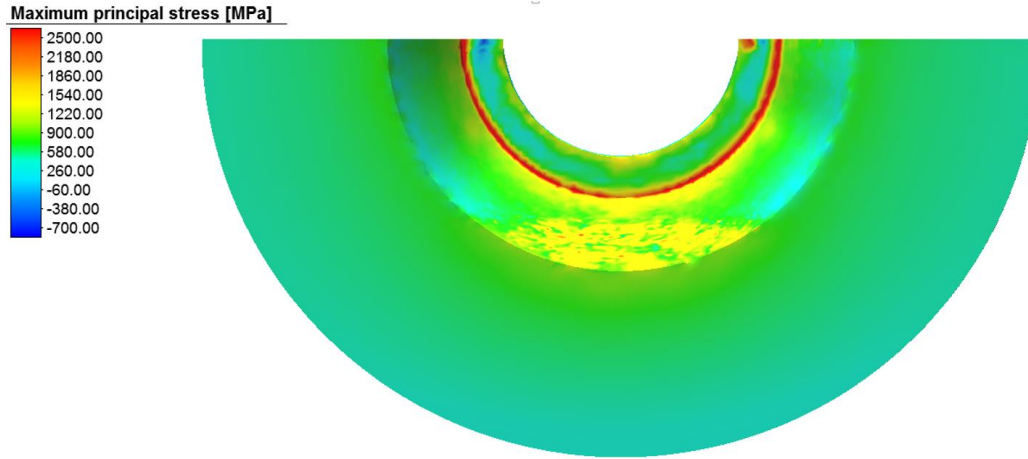


Şekil 7:
Oluşturulan sonlu elemanlar modeli



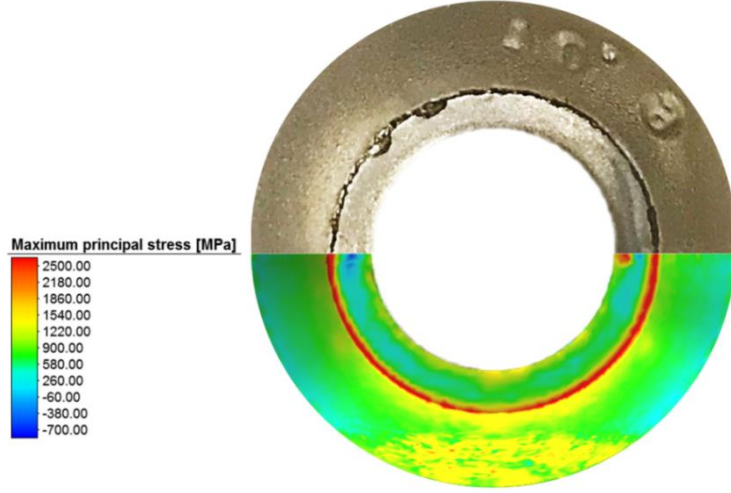
Şekil 8:

İlk 3 istasyon için yapılan şekillenme simülasyonları sonucu elde edilen ara istasyon ürün formları



Şekil 9:

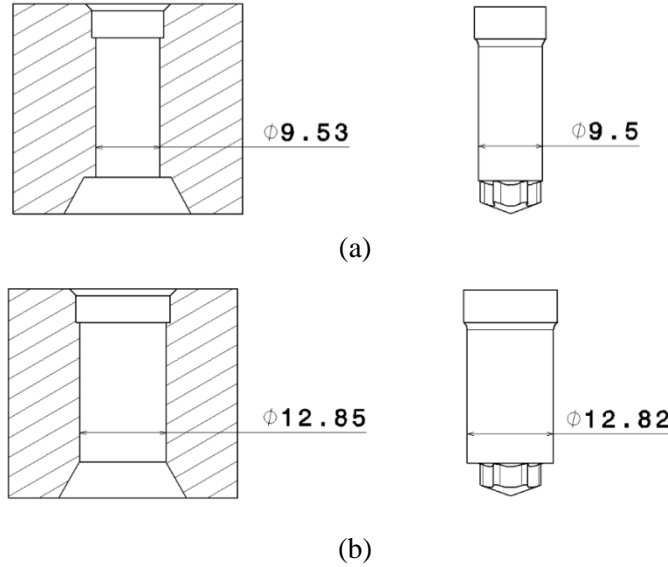
Kırılma yaşanan zimba adaptöründe elde edilen maksimum asal gerilmeler



Şekil 10:

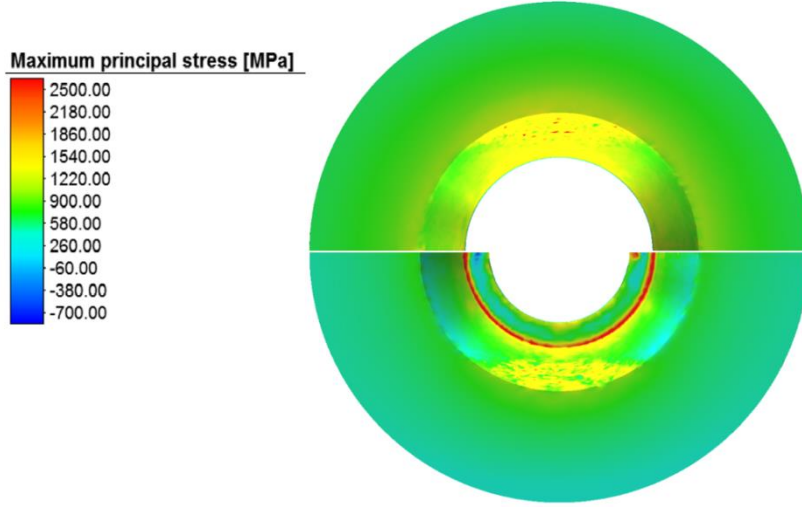
Kırılma yaşanan zımba adaptöründeki çatlak morfolojisi ile simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum asal gerilmelerin karşılaştırılması

Zımba adaptörü için yapılan tasarım çalışmalarında gerilme yığılmasını önleyecek modifikasyonlar değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, gerilme birikmesini önleyecek bir zımba adaptör formu ortaya çıkarılmıştır. Bu değişiklik ile zımba adaptörü ile beraber kullanılan zımba tasarımında da değişiklik yapılmıştır (Şekil 11). Revize edilen zımba adaptöründen kaynaklı olarak malzeme şekillenmesinde herhangi bir değişiklik olmadığı için sadece elastik kalıp analizleri tekrarlanmıştır. Mevcut ve revize zımba adaptörlerine ait maksimum asal gerilme karşılaştırması Şekil 12 ile verilmiştir. Revize tasarım ile yüksek elde edilen maksimum asal gerilmelerde iyileşme sağlanmış ve gerilme birikmesi önlenmiştir. Bu durumda kırılmaların yaşandığı bölgede gerilme birikmesi ortadan kalktığı için kalıp ömürlerinde ciddi artış elde edileceği ortaya konmuştur.



Şekil 11:

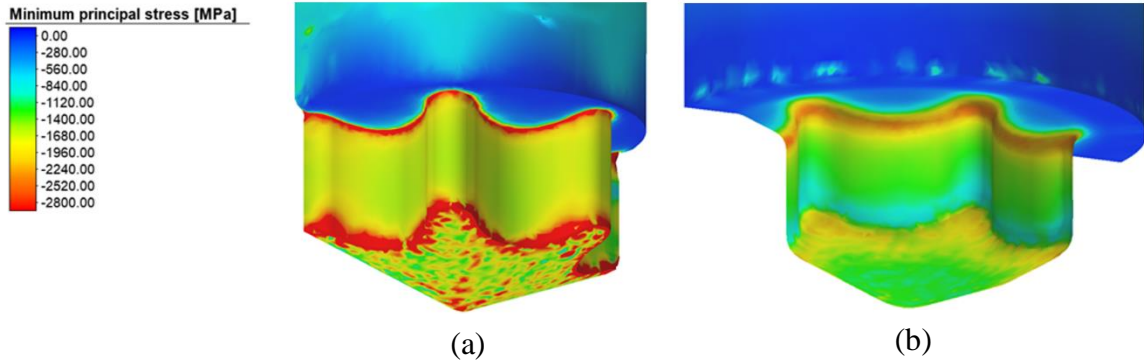
(a) Mevcut zımba adaptörü ve zımba ve (b) revize edilmiş zımba adaptörü ve zımba. Şekilde nominal ölçüler verilmiştir.



Şekil 12:

Mevcut (altta) ve revize edilmiş (üstte) zımba adaptörlerine ait maksimum asal gerilmeler

Zımba adaptöründeki tasarım revizesi sonrası zımbada da güncelleme yapılmıştır. Bu durumda kalıp analizleri zımba için de yapılmış ve sonuçları Şekil 13 ile verilmiştir. Zımba için yapılan modelleme çalışmalarında, zımbanın yüksek basma gerilmelerine maruz kaldığı ve bu nedenle minimum asal gerilmelerin kritik olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, yapılan simülasyonlar sonrası gerilme yığılması gözlenen soket-şaft geçiş kısmına 0,5 mm radyus tanımlanmıştır. Revize edilen zımba tasarımı ile minimum asal gerilmelerde yaklaşık %30 iyileşme elde edilmiştir.



Şekil 13:

Mevcut (a) ve revize edilmiş (b) zımbaya ait minimum asal gerilmeler

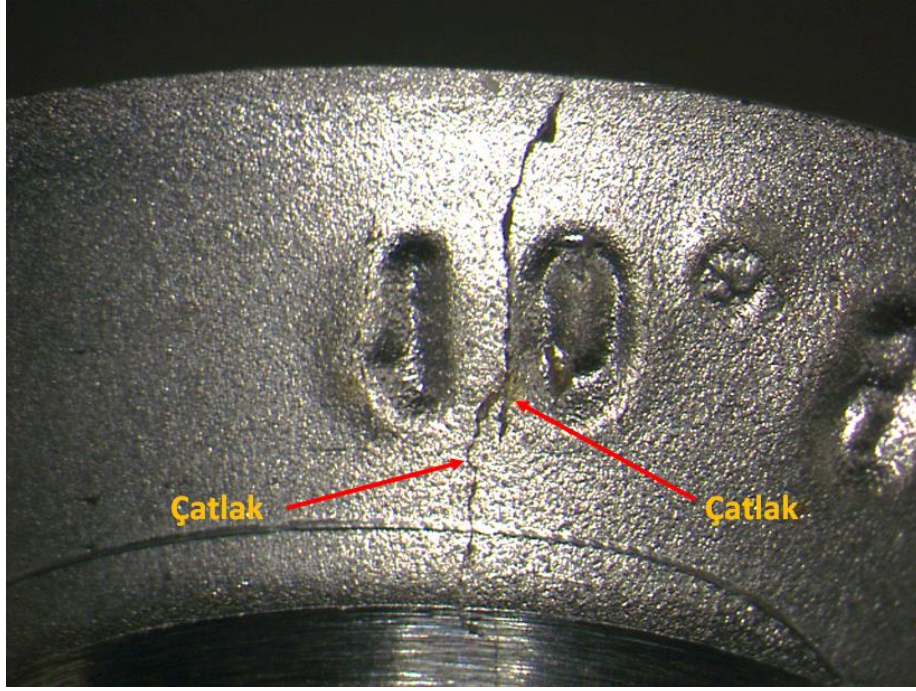
Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlara göre tasarımları revize edilen zımba ve zımba adaptörü için üretim hattında denemeler gerçekleştirilmiştir. Üretim esnasında elde edilecek gerilme hızı gibi pres kaynaklı bir farklılık olmaması için ilk üretimde kullanılan pres revize tasarımlar için de tercih edilmiştir. Toplam 355.000 adetlik üretim esnasında revize edilen zımba ve zımba adaptörleri takip edilmiştir. Üretim esnasında zımba adaptörü değiştiği durumda tedbir amaçlı zımba da değiştirilmiştir. Üretimde kullanılan zımba ve zımba adaptörlerinden bir set Şekil 14 ile verilmiştir. Üretimler esnasında zımba ile alakalı bir probleme rastlanmamıştır. Toplam üretimde 9 adet zımba adaptörü kullanılmış ve ortalama 39.500 adetlik ömür elde edilmiştir.



Şekil 14:

Üretim denemelerinde kullanılan revize zımba ve zımba adaptörü

Kullanılamaz hale gelen revize kalıplarda etkin hasar mekanizmalarının ortaya çıkarılması için ilgili kalıplar detaylı olarak incelenmiştir. Öncelikle zımba adaptörünün çatlak oluşumu ile hasar gördüğü anlaşılmış ve çatlak oluşumunun nedenleri araştırılmaya başlanmıştır. İncelenen zımba adaptörlerinde çatlak oluşumunun üretici ve ürün kalitesini gösteren unsurların olduğu yerlerde başladığı ve çatallanarak ilerlediği ön örülmüştür (Şekil 15). Çatallanan çatlak profili incelendiğinde çatlak başlama yeri hakkında bilgi vermesine rağmen kesin başlama yeri ve şeklinin anlaşılması için hasarlı zımba adaptörleri pres altında kırılmıştır. Elde edilen yüzeyler incelendiğinde konik kafa formunun verildiği zımba adaptörünün konik kısmında yer alan üretici ve ürün kalitesini gösteren unsurların olduğu bölgede çoklu çatlak oluşumu ve yük altında çatlakların buradan ilerlediği tespit edilmiştir (Şekil 16). Zımba adaptörü, talaşlı imalat ile istenen forma getirilmekte ve konik kısımda yer alan ve bağlantı elemanı üreticisi ve kalitesini gösteren unsurlar dalma erozyon yöntemi ile ortaya çıkarılmaktadır. Uygulanan yöntem doğası gereği talaşlı imalata göre yüzey pürüzlülüğü daha yüksek yüzeyler elde edilmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün artması ile beraber özellikle üretici ve ürün kalitesini gösteren unsurlardaki lokal yüzey profil değişikliği olan yerlerden yük altında çoklu çatlak oluşumu özellikle Şekil 16 ile elde edilen yüzey sonucu anlaşılmıştır. Özellikle çevrimli yük altında yüzey pürüzlülüğü fazla olan malzemelerde bu bölgelerin çatlak başlama yeri olarak davrandığı ve yorulma ömrüne negatif etki yaptığı bilinmektedir (Peyre et al., 1996, Luong et al., 2009).



Şekil 15:
Revize edilen kalıplarda çatalı çatlak oluşumu. Bağlantı elemanı kalitesini (10.9) gösteren unsurlardan "1" uzunluğu yaklaşık 1,80 mm'dir.



Şekil 16:
Revize edilen kalıpta çatlak başlama yerlerinin anlaşılması için pres ile kırılması sonucu elde edilen yüzey. Çatlak oluşumunun başladığı konik yüzey kesit uzunluğu 6,70 mm'dir

Bu çalışmada kullanılan mevcut ve revize kalıpların üretim yönteminde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. İki tasarımda da kalıp üzerindeki üretici ve bağlantı elemanının

kalitesini gösteren unsurlar dalma erozyon yöntemi ile oluşturulmuştur. Mevcut zımba adaptörünün konik yüzey pürüzlülüğü ve üretici logosuyla bağlantı elemanı kalitesini gösteren unsurlar Şekil 5 ile görülmektedir. Ancak, yapılan deneysel ve simülasyon çalışmaları kapsamında mevcut tasarımda gerilme birikmesi sonucu çatlak oluşumunun baskın hasar mekanizması olduğu ortaya çıkarılmıştır. Yapılan iyileştirmenin ardından üretimde denenen revize kalıpların incelemesi sonucunda kalıp ömründe iyileşme elde edilmiş ve aynı zamanda zımba adaptörüne etki eden baskın hasar mekanizmasının değiştiği tespit edilmiştir. Mevcut tasarımda da olan ve dalma erozyon sonucu ortaya çıkan yüzey pürüzlülüğü nedeniyle çevrimli yük altında çatlak oluşumunun revize edilen kalıplarda baskın hasar mekanizması olduğu ortaya konmuştur. Yapılan tasarım değişikliği sonucu elde edilen baskın hasar mekanizması değişimi kalıp ömrüne yaklaşık 20 katlık bir iyileşme olarak yansımıştır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, soğuk dövme yöntemiyle üretilen M10x16 konik kafa T50 soketli bağlantı elemanı prosesinde kullanılan 3. istasyon hareketli kalıpları detaylı olarak incelenmiştir. Üretimden alınan hasarlı kalıplar ve modelleme çalışmaları değerlendirildiğinde zımba adaptörünün tasarımından dolayı yük altında gerilme birikmesi meydana geldiği ve sonuç olarak kalıplarda düşük çevrimde çatlak oluşumu yaşandığı ortaya çıkarılmıştır. Simülasyon sonuçları göz önünde bulundurularak zımba ve zımba adaptörü revize edilmiş ve gerçek üretim koşullarında denenmiştir. Mevcut duruma göre revize edilen zımba adaptörü kalıp ömründe yaklaşık 20 kat iyileşme sağlanmıştır. Üretim sonrası elde edilen mevcut ve revize edilen kalıplar detaylı incelenmiş ve baskın hasar mekanizmasının değiştiği tespit edilmiştir. Mevcut tasarımda hasara neden olmayan dalma erozyon sonucu elde edilen yüzey pürüzlülüğü etkisi ile yük altında çatlak oluşumunun, revize tasarımda baskın hasar mekanizması olduğu ortaya çıkarılmıştır. Soğuk dövme kalıplarının kompleks ve birbirinden çok farklı hasar mekanizmalarına maruz kaldığı bilinmektedir. Kalıp ömürlerini arttırmak için yapılması gereken baskın hasar mekanizmasının belirlenmesi ve alınacak karşı önlemler sonucu ilgili hasar mekanizması etkisinin tamamen ortadan kaldırılması veya azaltılmasıdır. Çalışmalar neticesinde elde edilen kalıp ömrü hedeflenen değerlere ulaşana kadar baskın hasar mekanizmasının belirlenmesi ve karşı tedbirlerin devreye alınma süreci devam ettirilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Alimi, A., J. Fajoui, M. Kchaou, S. Branchu, R. Elleuch and F. Jacquemin (2016) Multi-scale hot working tool damage (X40CrMoV5-1) analysis in relation to the forging process, *Engineering Failure Analysis*, 62, 142-155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.11.031>.
2. Altan, T. and M. Knoerr (1992) Application of the 2D finite element method to simulation of cold-forging processes, *Journal of Materials Processing Technology*, 35(3), 275-302. DOI: [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(92\)90323-K](https://doi.org/10.1016/0924-0136(92)90323-K).
3. Behrens, B. A. (2008) Finite element analysis of die wear in hot forging processes, *CIRP Annals*, 57(1), 305-308. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2008.03.087>.
4. Behrens, B. A., A. Bouguecha, M. Vucetic, M. Bonhage and I. Y. Malik (2016) Numerical Investigation for the Design of a Hot Forging Die with Integrated Cooling Channels, *Procedia Technology*, 26, 51-58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.008>.
5. Chang, S.-H., S.-C. Lee and T.-P. Tang (2008) Effect of Shot Peening Treatment on Forging Die Life, *Materials Transactions*, 49(3), 619-623. DOI: [10.2320/matertrans.MER2007622](https://doi.org/10.2320/matertrans.MER2007622).

6. Kim, D. H., H. C. Lee, B. M. Kim and K. H. Kim (2005) Estimation of die service life against plastic deformation and wear during hot forging processes, *Journal of Materials Processing Technology*, 166(3), 372-380. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.07.103>.
7. Knoerr, M., K. Lange and T. Altan (1994) Fatigue failure of cold forging tooling: causes and possible solutions through fatigue analysis, *Journal of Materials Processing Technology*, 46(1), 57-71. DOI: [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(94\)90102-3](https://doi.org/10.1016/0924-0136(94)90102-3).
8. Lee, R. S. and J. L. Jou (2003) Application of numerical simulation for wear analysis of warm forging die, *Journal of Materials Processing Technology*, 140(1), 43-48. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00723-4](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00723-4).
9. Luong, H. and M. R. Hill (2009) The effects of laser peening and shot peening on high cycle fatigue in 7050-T7451 aluminum alloy, *Materials Science and Engineering: A*, 527(3), 699-707. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2009.08.045>
10. McCormack, C. and J. Monaghan (2001) A finite element analysis of cold-forging dies using two- and three-dimensional models, *Journal of Materials Processing Technology*, 118(1), 286-292. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)00960-8](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)00960-8).
11. Nagao, Y., M. Knoerr and T. Altan (1994) Improvement of tool life in cold forging of complex automotive parts, *Journal of Materials Processing Technology*, 46(1), 73-85. DOI: [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(94\)90103-1](https://doi.org/10.1016/0924-0136(94)90103-1).
12. Peyre, P., R. Fabbro, P. Merrien and H. P. Lieurade (1996) Laser shock processing of aluminium alloys. Application to high cycle fatigue behaviour, *Materials Science and Engineering A*, 210(1-2), 102-113. DOI: [https://doi.org/10.1016/0921-5093\(95\)10084-9](https://doi.org/10.1016/0921-5093(95)10084-9)
13. Summerville, E., K. Venkatesan and C. Subramanian (1995) Wear processes in hot forging press tools, *Materials & Design*, 16(5), 289-294. DOI: [https://doi.org/10.1016/0261-3069\(96\)00010-6](https://doi.org/10.1016/0261-3069(96)00010-6).
14. Toparli, M. B., S. Yurtdaş, E. Kılınçdemir and B. Tanrıku (2018) Residual Stresses: Friend or Foe? FORGE Magazine.
15. Vazquez, V., D. Hannan and T. Altan (2000) Tool life in cold forging – an example of design improvement to increase service life, *Journal of Materials Processing Technology*, 98(1), 90-96. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(99\)00309-X](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(99)00309-X).
16. Wagner, K., R. Völkl and U. Engel (2008) Tool life enhancement in cold forging by locally optimized surfaces, *Journal of Materials Processing Technology*, 201(1), 2-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.11.152>.
17. Yurtdaş, S., M. B. Toparli, T. Damla, B. Tanrıku, E. Kılınçdemir, U. İnce and L. Aydın (2018) A Comparative Study of Metal Shaping Processes Between Forging and Machining The Most Recent Studies in Science and Art, H. Arapgirlioglu, A. Atik, S. Hiziroglu, R. Elliott and D. Atik. Ankara, Turkey, Gece Publishing. 2: 1462-1471.

