

Sıvama ile Monte Edilen Mekanizmalarda Oluşan Sıkıştırma Kuvvetlerinin Saptanması

Determination of Residual Forces in Mechanisms Assembled by Edge-Form Rolling

K. Turgut GÜRSEL*, Serkan ÇAKIR

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 35100, Bornova, İzmir

Geliş Tarihi/Received : 25.06.2010, Kabul Tarihi/Accepted : 04.11.2011

ÖZET

Taşıtlarda kullanılan yönlendirme ve süspansiyon sistemleri, taşıtların sürüş güvenliğini sağlayan elemanlardır. Bu sistemlerin mekanizmalarının kusursuz olarak çalışabilmesi, içerdikleri farklı işlevlere sahip birçok küresel yatağa bağlıdır. Küresel yataklar boşluksuz olarak, hatta bir miktar sıkı birleştirilerek ilgili sisteme montajları yapılır. Diğer yandan aşırı sıkılık, yüksek moment değerlerine ve dolayısıyla ek işlemlere neden olurken; düşük sıkılık mafsal içerisinde boşluk oluşturmaktadır. Her ikisi de istenmeyen durumlardır. Uzun ömürlü, az sürtünmeli ve istenen çalışma açılarını her yol koşulunda sağlayacak küresel yatak tasarımı, uzun test süreçleri ve birçok tekrar içeren örnek imalatların sonrasında elde edilebilmektedir. Taşıtların yönlendirme sistemlerinin önemli bir uzvu olan rotiller de, küresel yatak tasarımlarının sonrasında, imalat yöntemlerinden plastik şekil verme ile montajı yapılarak üretilir. Bu çalışmada, hareket iletimini sağlayan parçanın (rotil) imalatı sırasında kullanılan, plastik şekil vermeyi temel alan imal yöntemlerinden haddeleme işleminin özel bir alt bölümü olan sıvama prosesi incelenmiştir. Sıvama işlemi sonucu yatak sistemleri içerisinde oluşan basma kuvvetleri, belirli sayısal simülasyonlar aracılığıyla sıvama anma basıncı değiştirilerek farklı değerlerdeki etkileri irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler : *Plastik şekil verme, Sıvama, Sıkıştırma kuvveti, Rotil, Küresel yatak.*

ABSTRACT

Steering and suspension systems are components that supply driving safety in vehicles. For a correct working the mechanisms of these systems consist of many ball-joints that have different functions. Generally the ball-joints are assembled to systems in press-fit without any gaps, but even with residual forces. On the other hand excessive tightness causes high moments, which requires additional processes of manufacturing. But low tightness also creates gaps in joints. None of these conditions are desired. Manufacturing a ball-race that has long-life, low-friction and provides required working angles in every road condition, can be designed after long test processes and sample productions including lots of improvements. An important element of steering systems in vehicles is suspension ball-race that can be manufactured by assembling with plastic deformation after designing the ball-joint. In this study, during the manufacturing of the suspension ball-race supplying the motion transmission, the edge-form rolling process that is a subsection of rolling process of manufacturing methods based on plastic deformation was examined. Effects of pressure forces occurring after edge-form rolling in bearing systems at different values were studied by changing operation pressure of edge form rolling by means of specific numerical simulations.

Keywords : *Plastic deformation, Edge-form rolling, Residual forces, Suspension ball-race, Ball-joint.*

* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : turgut.gursel@ege.edu.tr (T. K. Gürsel)

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Yönlendirme ve süspansiyon sistemleri, taşıtların sürüş güvenliğini ve sürüş konforunu sağlayan elemanlardır. Bu sistemlerin mekanizmaları kusursuz çalışabilmek için, farklı işlevlere sahip birçok küresel mafsalları içerir. Bu küresel mafsalların içerisinde yataklama görevi yapan POM (polioksimetilen) malzemeden yapılmış parçalar mevcuttur (Şekil 1-2). Küresel yataklar boşluksuz, hatta bir miktar sıkı birleştirilerek sisteme montajları yapılır. Diğer yandan aşırı sıkılık yüksek moment değerlerine ve dolayısıyla ek işlemlere neden olurken; zayıf sıkılık mafsalları içerisinde boşluk yaratmaktadır. Her iki durumda da küresel bağlantının ömrü azalır ve araç, emniyet açısından riskli hale gelebilir.



(a) Küresel mafsalları mil ve pom malzeme.



(b) Küresel mafsalları mil ve gövde.

Şekil 1. Rotili oluşturan elemanlar.



(a) Montajı tamamlanmış rotill.

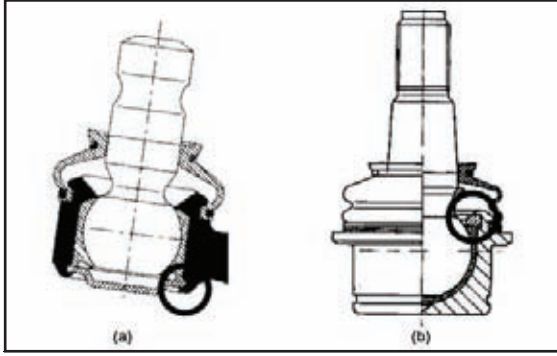


(b) Montajı tamamlanmış rotillin enkesiti.

Şekil 2. Rotil montajı.

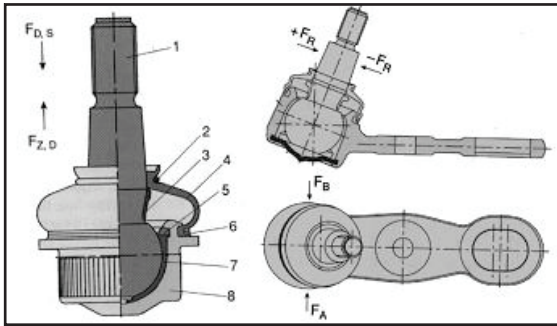
Bu araştırma kapsamında, bir yönlendirme ve süspansiyon elemanı olup hareket iletimini sağlayan rotillin imalatı, özellikle montajı sırasında plastik şekil vermeyi temel alan imal yöntemlerinden haddeme işleminin özel bir alt bölümü olan sıvama işlemi sonrası küresel yatak ile rotill kapakçığı arasında oluşmuş basınç (artık) gerilmelerinin, küresel yatak ve mafsalları sistemine olan etkisinin bulunması amaçlanmıştır (Şekil 3). Bu bağlamda küresel yatak ve mafsalları sisteminin fazla sıkıştırılması yüksek moment değerleri oluştururken, sürüş konforunu önemli oranda azaltır. Fakat düşük moment değerleri ise sürüş güvenliğini giderek azaltmaktadır.

Küresel bağlantılara değişik doğrultularda ve boyutlarda yükler gelir. Örneğin, araçtaki konumu itibarı ile Şekil 4'deki rotill elemanı yol koşullarının yarattığı dinamik yüklerin yanı sıra, değişken iklim ve çevre koşullarının da etkilerine maruz kalmaktadır. Tüm bu yükler parça üzerindeki en zayıf "halka" olan ve Şekil 4'de "7" numara ile gösterilen plastik yatak tarafından taşınabilmelidir (Kırlı, 2009).



(a) Eksenel çekiye çalışan rotiller; (b) Eksenel basıya çalışan rotiller.

Şekil 3. Sıvama işlemi sonrası sıkıştırma kuvvetlerinin oluştuğu bölgeler.



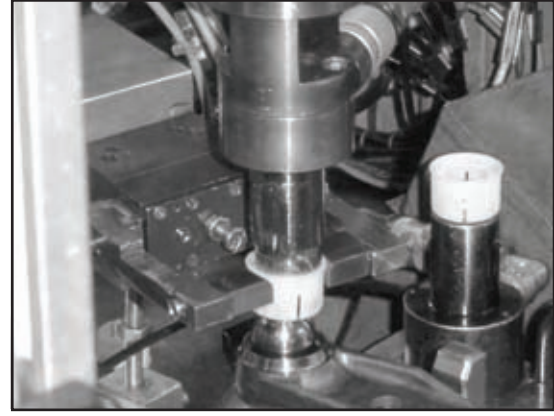
Şekil 4. Rotile gelen yükler.

Taşıt, yollardaki çukur ve tümseklerden geçerken, rotin $F_{D,S}$ ve $F_{Z,D}$ yüklerine, virajlarda $+F_R$ ve $-F_R$ yüklerine, ivmelenme ve frenleme durumlarında ise F_A ve F_B yüklerine maruz kalmaktadır (Kırlı, 2009).

Günümüzde rotin dizaynı ve imalatında izlenen yöntem, çok sayıda tekrar içeren örnek imalatlar aracılığıyla, yani deneme-yanılma yoluyla belirli tecrübeler sonucu elde edilen değerlere ulaşılmasına dayanmaktadır. Bu nedenle küresel bağlantının sıkıştırılma kuvvetinin (basınç gerilmelerinin) optimizasyonu, hem parçanın ömür süresi hem de araç, dolayısıyla can ve mal güvenliği açısından büyük önem teşkil etmekte ve konunun ayrıntılı bir şekilde incelenmesini gerekli kılmaktadır.

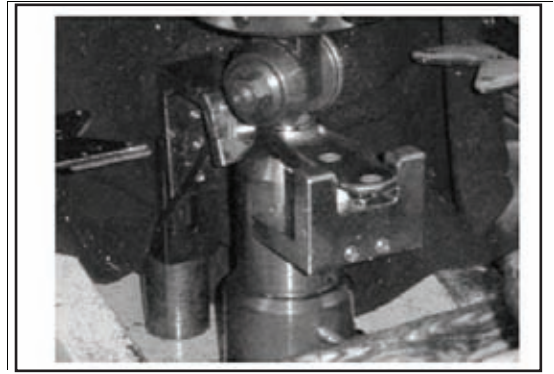
1. 2. Küresel Bağlantılarda İmalat Süreci

Araçlarda bulunan küresel bağlantılar çok değişik tasarımlara ve kullanım yerlerine sahip olmalarına rağmen, birbirlerine benzer imalat süreçlerinden geçerler. İlk olarak dövme ile veya döküm yoluyla imal edilen gövdeler talaşlı imalat ile işlenip, uygun toleranslarda şekillendirildikten sonra POM küresel yatak montajı yapılır (Şekil 5).



Şekil 5. POM Küresel yatak montajı.

Mafsal mili ile gövde arasını dolduran POM küresel yatağın montajı yapıldıktan sonra, yatak tasarımına göre değişen alt kapak veya kapama halkasının sıvama işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem, özel olarak tasarlanmış sıvama tezgâhlarında yapılır (Şekil 6).



Şekil 6. Sıvama tezgâhı.

Sıvama, gövde ve mafsal mili arasına yerleştirilen POM yatağı kapakçık ile sıkıştırarak gövde kenarları üzerine plastik şekil verme yoluyla monte etme işlemidir. Sıvama, plastik şekil verme işlemlerinden haddeleme işlemine benzerlik göstermekte, fakat yapısal olarak farklılık arz ettiğinden haddeleme işleminin bir alt konusu olarak incelenmektedir. Haddeleme işleminin mekaniği matematiksel olarak modellenenirken, henüz literatürde sıvama (edge-form rolling) işlemi hakkında ayrıntılı bilgilere rastlanamamaktadır (Schey, 1987 ve Dieter, 1988).

Gövdesi üzerine kapakçık yerleştirilen rotin, sıvama tezgâhına konarak, malafa üzerine yerleştirilir ve plastik şekil verme (sıvama) işlemine başlanır (Şekil 7). İşlem başladıktan sonra elektrik motoruna bağlı röleler, motor gücü ile orantılı olarak 490 devir/dakika hızla kendi eksenleri etrafında döner. Aynı süre zarfında hidrolik sistemden

gelen basınç ile 8.3–9.6 kN arasında bir kuvvetin rölelere uygulanması sağlanarak plastik şekil verme işleminin ilk safhası gerçekleştirilir. Bu arada sıvanan parça üzerinde çatlama, kırılma vs. gibi durumlar ile karşılaşılmadığında sıvama anma basıncı, 30 kN'a kadar kuvvet oluşturacak şekilde yükseltilerek "ütüleme" işlemi adı verilen son sıvama (sıkıştırarak tam kapatma) işlemi gerçekleştirilerek montaj tamamlanmaktadır. Bu değer, makinenin uygulayabileceği maksimum sıvama kuvveti olup, genel olarak son sıvama (ütüleme) işlemi, kullanılan malzemenin mekanik özelliklerine göre 10 ile 30 kN değerleri arasında bir kuvvet gerektirmektedir. İşlem yaklaşık olarak 1 saniye içerisinde tamamlanmakta ve soğuk şekil verme ile gerekli form elde edilmektedir (Şekil 8).



Şekil 7. Sıvandırmaya hazır küresel yatak.



Şekil 8. Başarılı şekilde sıvandırmış küresel yatak.

Sıvama tezgâhında küresel yatağın sıvama işlemi bittikten sonra montaj hattında işlem devam eder. Sıvandırmış rotül üzerine toz lastiği ve lastiği tutan halkalar monte edilir. İmalat sürecinde, POM yatağın ve sıvama kapağının montajı esnasında küresel POM yatak üzerinde elastik ve plastik deformasyona sebep olacak yükler gelir.

Bu işlemler yatağın, mafsal mili ve gövde arasında sıkışmasına ve ön yüklemeli olarak çalışmasına neden olmaktadır. Bu nedenle montajı yapılmış rotüller, bir süre fırınlanarak POM yatağın, montaj yükleri altında plastik olarak deforme olması sağlanır ve ön yüklemenin etkisi azaltılır.

2. MODELLEME VE ANALİZ

Sonlu elemanlar yönteminin genel uygulanabilirliği, onu geniş bir sahada problemler için güçlü ve esnek bir kullanım aracı haline getirmiştir. Bu nedenle yapısal ve mekanik problemlerin çözümü için çok sayıda yapısal program geliştirilmiştir. Herhangi bir probleme yaklaşım yapılırken dikkat edilecek en önemli husus, kullanılan sayısal analiz programının ve algoritmasının problem tipine uygunluk sağlamasıdır (Owen ve Hinton, 1982; Kwon ve Bang, 2000; Reddy, 2003). Sürekli olarak geliştirilen ve yenilenen farklı analiz programları, mühendisliğin hemen her dalındaki farklı problem tiplerinde (implicit, explicit, lineer, non-lineer v.s.) kullanılabilir (Kobayashi v.d., 1989; Cook v.d., 1989). Bu bölümde, bir rotülün ve bunun sıvama işleminin modellenmesi ve analizindeki aşamalar incelenmektedir.

2. 1. Elemanların Modellenmesi

Öncelikle geriye mühendislik (reverse-engineering) yöntemi ile üzerinde çalışılması uygun görülen rotül (Şekil 9), Şekil 10'daki gibi aslına uyum olarak modellenmiştir.

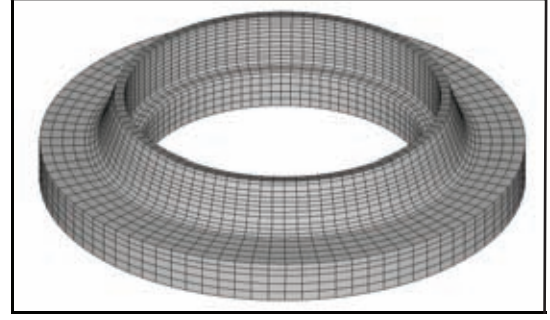


Şekil 9. Rotül gövdesi.

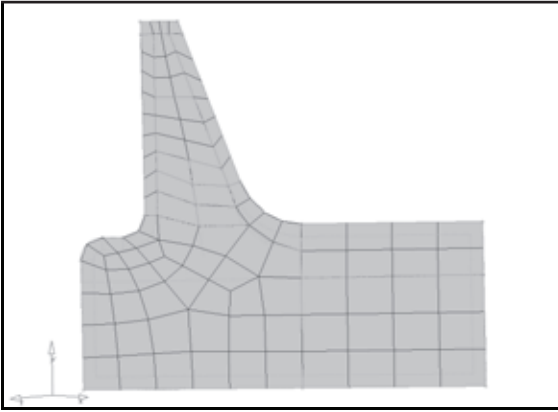
Sıvama işleminde sıvanan rotül gövdesinin (housing), Altair HyperMesh programında iki boyutlu olarak ağ yapısı oluşturulmuştur. Fakat, sıvama işleminin ilerideki safhalarında, (çeşitli iterasyonlar sonucu) özellikle sıvanan bölgenin aşırı deformasyona uğraması nedeniyle eleman hataları oluşmaması için farklı bir ağ yapısı geliştirilmiştir (Şekil 11).



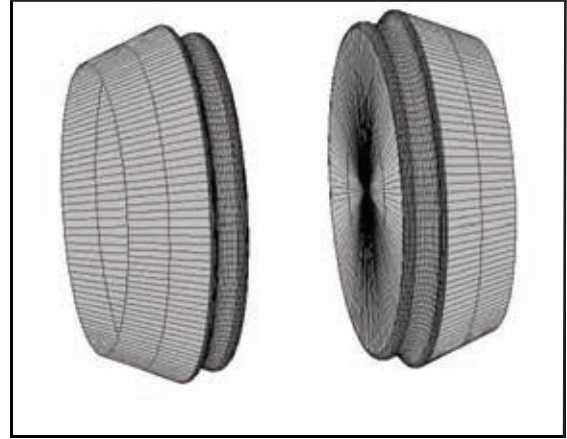
Şekil 10. Rotil gövdesi modeli.



Şekil 12. Üç boyutlu ağ yapısı oluşturulmuş rotul gövdesi (Housing).



Şekil 11. Rotil gövdesinin (Housing) iki boyutlu ağ yapısı.

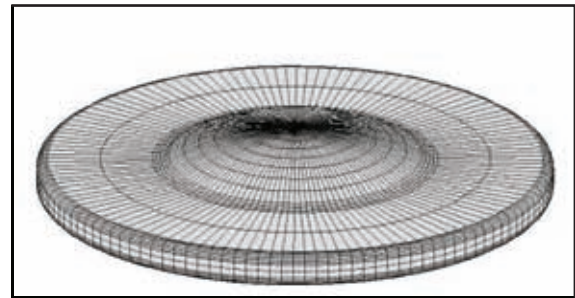


Şekil 13. Sıvama işlemi sırasında kullanılan röle 06'nın üç boyutlu modeli.

Analizde sırasında işlemlerin daha hızlı ilerleyebilmesi amacı ile gerilme ve birim şekil değiştirmelerin oluşmadığı bölgeler sisteme dâhil edilmemiştir. Böylece modelleme yapılırken optimum eleman sayısına ulaşılmaya çalışılmıştır. Ağ yapısı oluşturulan iki boyutlu model, HyperMesh yazılımı yardımıyla ağ yapısı oluşturulmuş üç boyutlu modele dönüştürülmüştür (Şekil 12). Sadece sıvanan bölgede ağ yapısı oluşturularak, rotul gövdesinde Hex8 (6 kenarlı ve 8 düğüm noktalı hexagonal eleman ve full-integration) tipinde ve toplam 6.000 eleman kullanılmıştır.

POM küresel yataklar, araçların tipine ve araçta kullanım yerlerine göre farklılık gösterdiğinden sıvama röleleri de farklılık göstermektedir. Söz konusu araştırmada, binek araçlarının süspansiyon sisteminde kullanılan X90 SBJ (Suspension Ball-Joint) rotul tipleri simülasyonda kullanılmıştır. Buna bağlı olarak da bu tip rotul gövdeleri, sıvama tezgâhında Röle 06 kodlu röleler (Şekil 13) kullanılarak sıvanmaktadır. Genel olarak sıvama işlemi sırasında rölelerde şekil değişiminin olmadığı kabul edilir. Analizin de hızlı bir şekilde gerçekleşmesini (eleman sayısını azaltarak katılık matrisinin küçültülmesini) sağlamak amacıyla röleler analizde rijit olarak kabul edilmiştir.

Sıvanan bölge ile POM yatak arasındaki teması engelleyerek küresel yatakları sıkıştıran rotul kapakçığı, gerekli toleranslar dâhilinde üç boyutlu model haline getirilir. Önceki araştırmalara dayanılarak ve ayrıca rotul üzerinden alınan kesitler incelenerek, sıvama sonrası rotul kapakçığının kalınlığında azalma olmadığı, diğer bir ifade ile sıvama işlemi sonrasında sıkıştırma kuvvetlerinin kapakçık malzemesinin akma sınırına ulaşmadığı saptanmıştır. Bu nedenle analizin daha hızlı ilerleyebilmesi için rotul kapakçığı da rijit kabul edilerek modellenmiştir (Şekil 14-15).



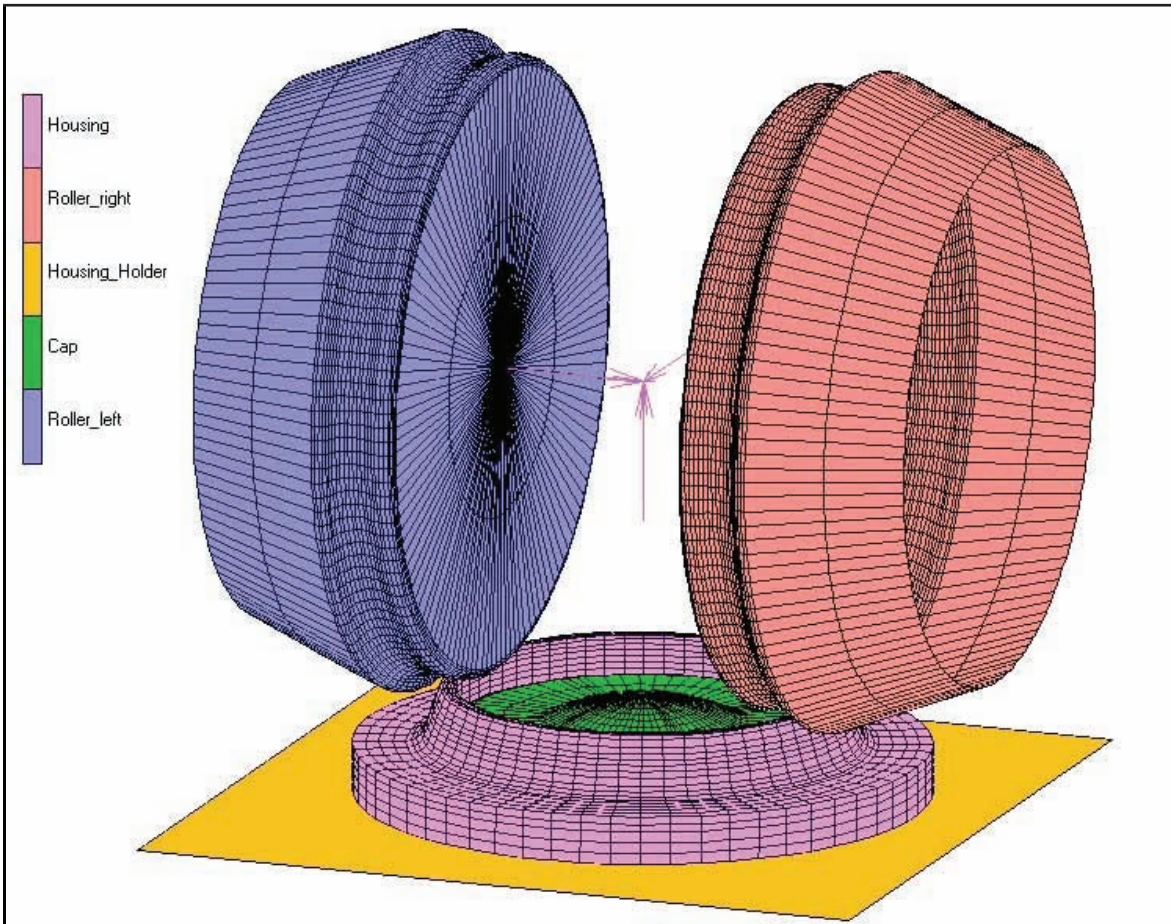
Şekil 14. Rotil gövde kapağının (cap) üç boyutlu modeli.



Şekil 15. Rotilin gövde kapağı (Cap).

2. 2. Sistemin Modellenmesi

Ön işleme safhasında, modelleme işlemi sonrasına röle, rotil gövdesi ve rotil kapakçığı sisteme dahil edilip gerçek sıvama işleminde olduğu gibi koordinat sistemi değerleri girilerek analizin modelleme safhası tamamlanır (Şekil 16). Modelleme kısmında da belirtildiği gibi simülasyonun hızlı bir şekilde ilerleyebilmesi için sadece şekil değişiminin olduğu bölgeler sonlu elemanlara ayrılmış, diğer bölgeler rijit olarak kabul edilmiştir. Bu bağlamda sıvama işleminde elemanların ve rijit kabul edilen yüzeylerin tanımlandığı temas tabloları (contact table) oluşturulmuştur (MSC.Marc, 2007, Kobayashi v.d., 1989; Cook v.d., 1989).



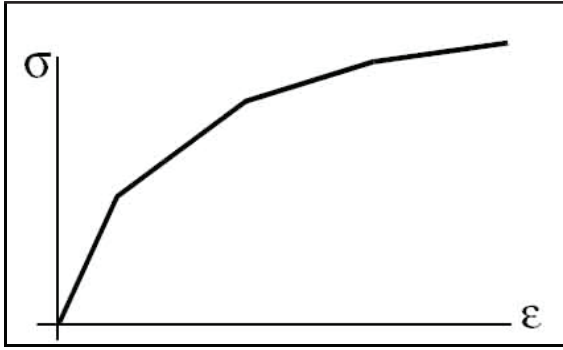
Şekil 16. Modellenen sıvama sistemi.

Modellenen sistemde MSC Superform'da nonlinear bir problem (malzeme nonlineerliği) olan sıvama işlemine implicit yaklaşım uygulanmaktadır. Bu tip nonlinear problem çözümlerinde bilindiği üzere, sonlu eleman yöntemi ile yaklaşım yapılırken, lineer problemlerden farklı olarak her adımda katılık matrisi oluşturulmaktadır. Buna bağlı olarak non-linear problemlerin çözülmesinde explicit yaklaşım yapılması zaman açısından

(örneğin her zaman aralığında katılık matrisinin değiştirilmesi gerekmediğinden) önemli bir üstünlük sağlar. Fakat, explicit problemlerin modellenmesinde zaman-adım integrasyonunun (timestep integration) zorluğu dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır. Örneğin, sıvama işlemi implicit yöntem ile çözüldüğünde, adım sayısı yaklaşık olarak 1800'e ulaşmaktadır (MSC.Marc, 2007).

2. 3. Malzeme Modeli

Genel olarak metallerin doğrusal olmayan sonlu elemanlar simülasyonlarında kullanılan "piecewise linear plasticity" malzeme modelini tanımlamak için elastisite modülü, Poisson oranı ve malzemenin plastik bölgesinin gerçek gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi gereklidir (Şekil 17). Test sonuçlarından elde edilen mühendislik gerilmesi-birim şekil değiştirmesi "piecewise doğrusal elastik" ve doğrusal olmayan plastik malzeme modeli tanımı için gerçek gerilme-birim şekil değiştirme eğrisine dönüştürülmelidir. Bu malzeme modelinde, malzemenin elastik bölgesi elastisite modülü ile doğrusal olarak tanımlamakta, plastik bölge ise test sonuçlardan elde edilen ve başlangıç noktası malzemenin akma sınırı olan bir eğri ile tanımlanmaktadır.



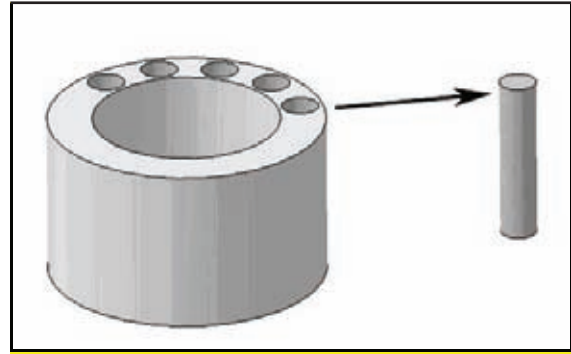
Şekil 17. "Piecewise linear plasticity malzeme" modelinin grafik gösterimi.

Sıvama işlemi gibi büyük şekil değiştirmeler içeren bir sonlu elemanlar analizinde, "piecewise malzeme" modellemesi kullanılırken, sıvama işlemi esnasındaki sıcaklık ve hızlarda elde edilen test sonuçları kullanılmak zorundadır. Bu iki parametre, malzemenin plastik şekil değiştirmesini etkileyen önemli faktörlerdir. Malzemeye ait (plastik bölgedeki) gerçek gerilme ve gerçek birim şekil değiştirme değerlerinin elde edilmesinin ardından, malzemenin elastik bölgesi için yine bu sıcaklıktaki elastisite modülü ve akma sınırı değerleri literatürden alınarak girilir. Plastik bölgedeki gerçek gerilme ve birim şekil değiştirme eğrisindeki akma değerine denk gelen noktaya kadar olan veriler silinir ve bu eğrinin akma noktası ötelenerek literatürden elde edilen elastik bölge eğrisi ile çakışması sağlanır. Böylece bilgisayar ortamında tanımlanan malzeme, gerçek malzeme modeline benzetilmiş olur.

Malzemenin gerçek gerilme-birim şekil değiştirme değerlerini saptayabilmek içinse rotill üzerinden numune alınması düşünülmüştür. Çünkü, rotill gövdesi imalat aşamasından önce, belirli bir

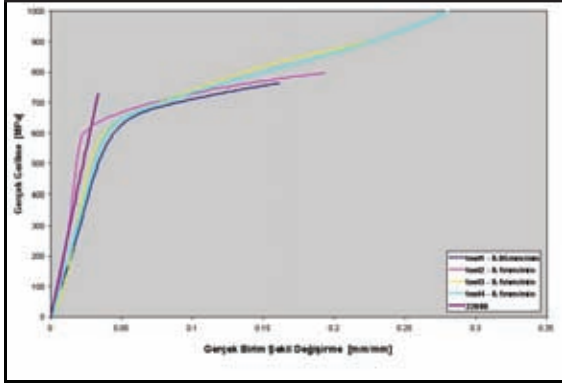
miktar dövülmektedir. Bu durum, özelliklerinin belirlenmesi hedeflenen numunenin, herhangi bir malzemedan yapılamayacağını göstermektedir. Diğer bir ifade ile standartlara uygun bir basma testi yapılabilmesi için, ya rotill üzerinden numune alınmalı veya aynı oranda dövülmüş malzemedan test numunesi çıkarılmalıdır. Genel olarak, rotill gövdesinin nasıl ve ne kadar dövülerek şekil verildiği bilinmediğinden ve ayrıca rotill enkesiti de çok küçük olduğundan standartlara uygun numuneler çıkarılmadığı için, rotill malzemesinin özelliklerini saptamak amacıyla aşağıdaki yöntem geliştirilmiştir.

Bu çalışmada ilk olarak rotill gövdesi, üzerinden numune alınabilmesi için üniform hale getirilmiştir. Burada temel amaç, rotill üzerinden minimum miktarda talaş kaldırılarak maksimum hacmin elde edilmesidir (Şekil 18). Böylelikle rotill üzerinden ASTM basma standartlarına uygun test numuneleri çıkarılabilmektedir. Bu numunelerde basma testi esnasında burkulma oluşmasını önlemek amacıyla, her numunenin boy/çap oranının 2'ye yakın bir değerde bulunması sağlanmıştır. Bu şekilde, rotill üzerinden ilgili standartlara uygun olarak 5 adet test numunesi lazer kesme yöntemi ile alınarak basma testine hazır hale getirilmiştir (Şekil 18).



Şekil 18. Rotill gövdesi üzerinden alınan astm standartlarına uygun basma testi numuneleri.

Hazırlanan test numuneleri basma deneyine tabi tutularak malzemeye ait karakteristik veriler elde edilmiştir. Fakat sıvama analizinde şekil değişimine daha doğru bir yaklaşım yapabilmek için, ilgili mühendislik gerilme - birim şekil değiştirme verileri dönüşüm formülleri yardımıyla gerçek gerilme - birim şekil değiştirme değerlerine dönüştürülmüştür. Böylelikle 5 numuneye ait test aracılığıyla, gerçek gerilme - birim şekil değiştirme diyagramları elde edilmiştir (Şekil 19). Analizin malzeme modellemesi aşamasında, elastisite modülü, literatürden alınarak (210000 MPa) plastik bölgede basma testinden elde edilen verilerle birleştirilmiş ve malzemeye ait plastisite eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 19. Rotil üzerinden elde edilen 5 adet basma testi numunelerine ait gerçek gerilme-gerçek birim şekil değiştirme eğrileri.

Yapılan basma testleri, malzemede birim şekil değiştirme hız (strain-rate) faktörünün sıvama sırasında etkili olmadığı sonucuna varılmasını da sağlamıştır. Şekil 19'da görüldüğü gibi, yaklaşık olarak 600 MPa değerinde akma gösteren C15 E malzemesi, birim şekil değiştirme hızının değişimi ile akma mukavemetinde belirgin bir değişim göstermemektedir. Bu durum, sıvama işleminde kullanılan C15 E malzemesinin birim şekil değiştirme hızından etkilenmediğinin kanıtı olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, analizi gerçekleştirebilmek için oluşturulan malzeme modeli; elastik bölgedeki elastisite modülü ve Poisson oranından oluşan elastisite eğrisi ile, plastik bölgedeki plastisite eğrisinden oluşur. Her iki bölge için dikkat edilmesi gereken nokta, oluşturulan bu modelin yalnızca sıvama işleminin yapıldığı sıcaklıkta geçerli olduğudur.

2. 4. Sürtünme Modeli

Sıvama simülasyonunun geliştirilmesi aşamasında, çeşitli sürtünme modelleri kullanılmıştır. Bu analiz, diğer analiz türlerine göre, elemanların aşırı deformasyonuna (ezilmelerine) dayalı bir metal şekillendirme simülasyonudur. Bu nedenle uygun sürtünme modeli de, yapılan iterasyonlar sonucu elde edilen en iyi sonuca göre seçilmiştir.

Gerçekleştirilen incelemeler sonrasında, "shear friction" sürtünme tipine dayalı sıvama simülasyonu sürtünme modeli oluşturulmuştur. Bu model, genellikle plastik şekil değişiminden dolayı sürtünme miktarını sınırlandırmak için metal şekillendirme uygulamalarında kullanılmaktadır.

Sıvama analizinde röle ve elemanların birbirine göre hareketleri (diğer bir ifade ile dönmeleri) analiz için önemli olduğundan, "arctangent" nümerik modeli eşik değerinde tutularak iterasyonlar sonucunda istenilen form sağlanmıştır.

3. ANALİZ SONUÇLARI

Sıvama işlemi çeşitli analiz programlarında (Dytran, Marc) simüle edilmeye çalışılmış, fakat yeterince iyi sonuçlara ulaşılamamıştır. Bunun üzerine, bu proses metal formlama işlemi olduğu için, şekil verme tabanlı bir simülasyon programı olan farklı bir algoritmaya sahip MSC Superform yazılımında simüle edilmiş ve farklı parametrelere dayalı sıvama simülasyonları başarıyla gerçekleştirilmiştir. Çeşitli sıvama basınçları sonrasında elde edilen kalıcı deformasyon etkileri aşağıda gösterilmiştir.

3. 1. Sıvama Kuvveti 8500 N

Uygulamada, sıvama tezgâhında ilk olarak 8.6 – 9.3 kN arasında bir kuvvet rotil gövdesine uygulanır ve alınan reaksiyona göre (herhangi bir çatlama veya kırılma belirtisi yoksa) yaklaşık 30 kN'a kadar çıkan sıvama kuvvetleri ile sıvama işlemi gerçekleştirilir. Simülasyonda da önce 8500 N uygulanarak sıvama işlemi incelenmiştir. Şekil 20'de görüldüğü gibi ilgili kuvvet değerinde sadece sıvama işleminin ilk aşaması gerçekleşirken, "ütüleme" işleminin gerçekleşmesi için gerekli olan kuvvet değerlerine ulaşamadığından kapak üzerinde yeterli sıkıştırma kuvveti oluşmamaktadır.

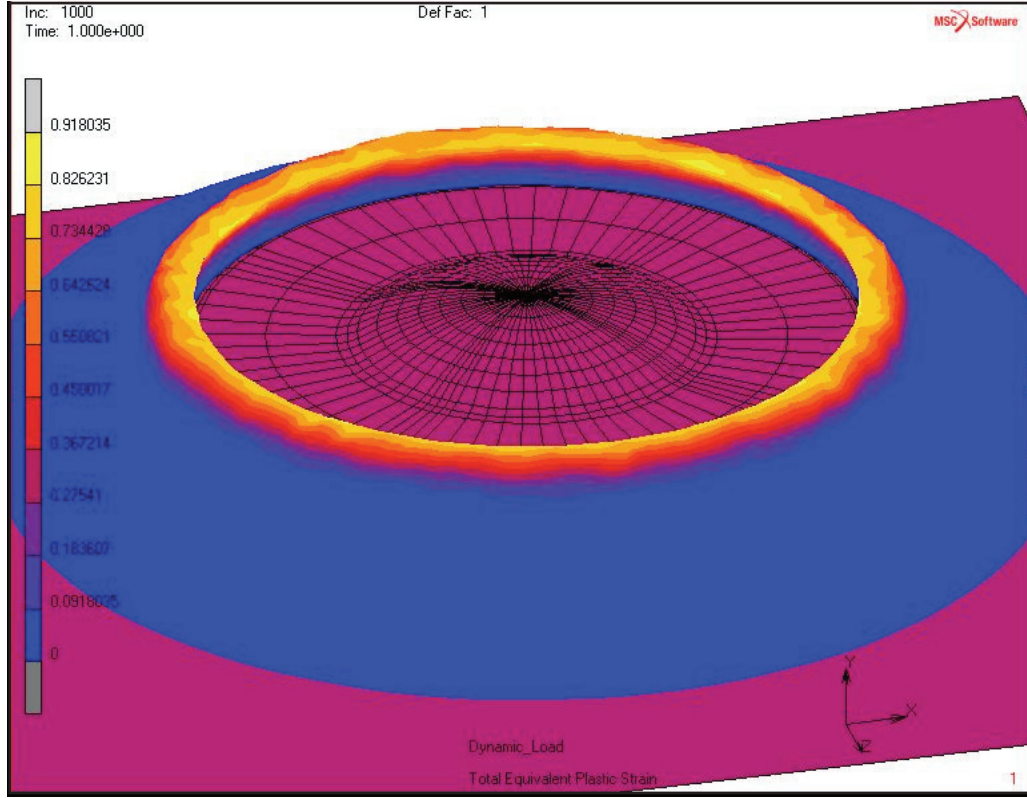
3. 2. Sıvama Kuvveti 25000 N

Sıvama işleminde gerekli basıncı sağlayacak kuvvetin biraz altında bir kuvvet uygulanmış, sıvama işlemi gerçekleşmiş ve "ütüleme" işleminin belirli bir safhasına ulaşılmıştır. Fakat yeterli miktarda kuvvet uygulanarak sıvama yapılamadığından ilgili norm (kapatarak sıkıştırma) sağlanamamıştır (Şekil 21).

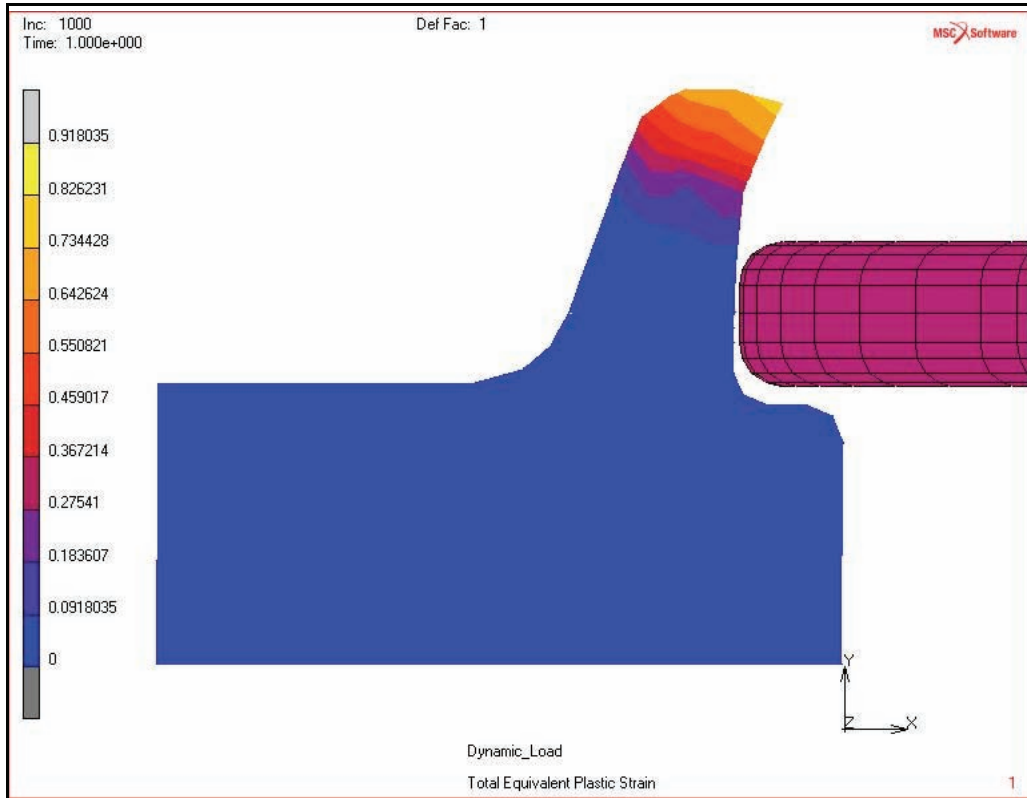
3. 3. Sıvama Kuvveti 35000 N

Sıvama tezgâhı üzerinde sıvama basıncının üzerinde bir kuvvet uygulanmış ve istenilen form Şekil 22'de görüldüğü gibi elde edilmiştir.

Analiz sürecinde de görüldüğü gibi sıvama ve "ütüleme" işlemlerinin gerçekleşebilmesi için belirli bir kuvvetin uygulanmasının zorunlu olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 22-23).

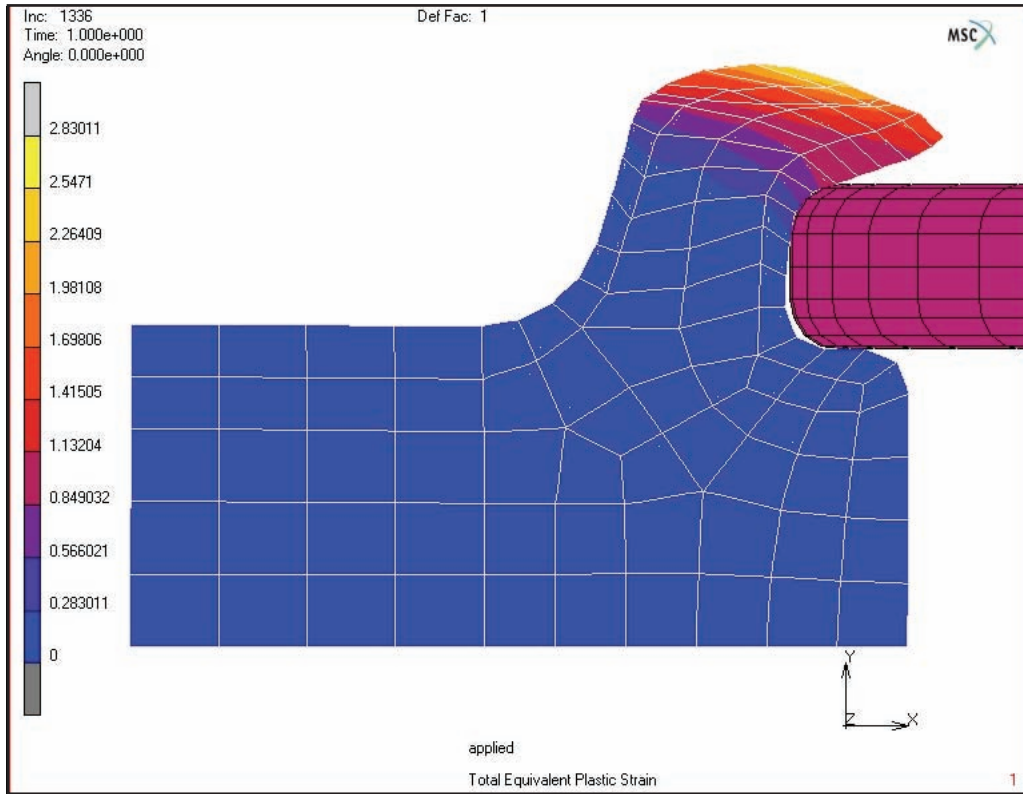
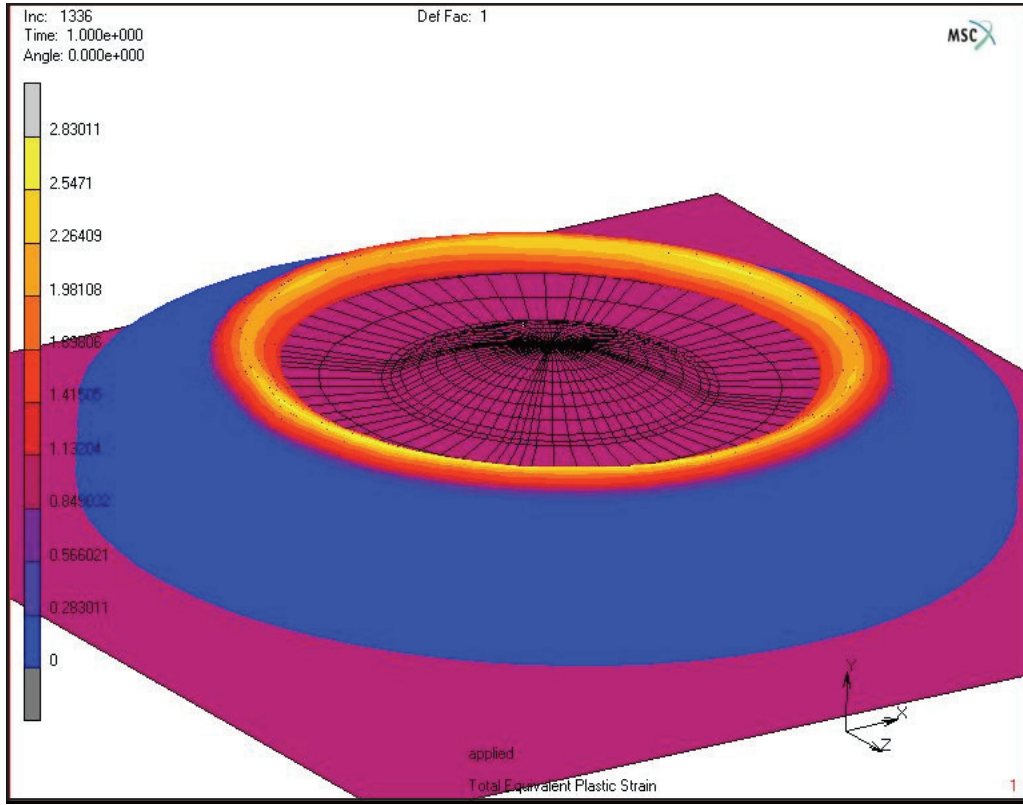


(a) Sıvanan rotill gövdesi.

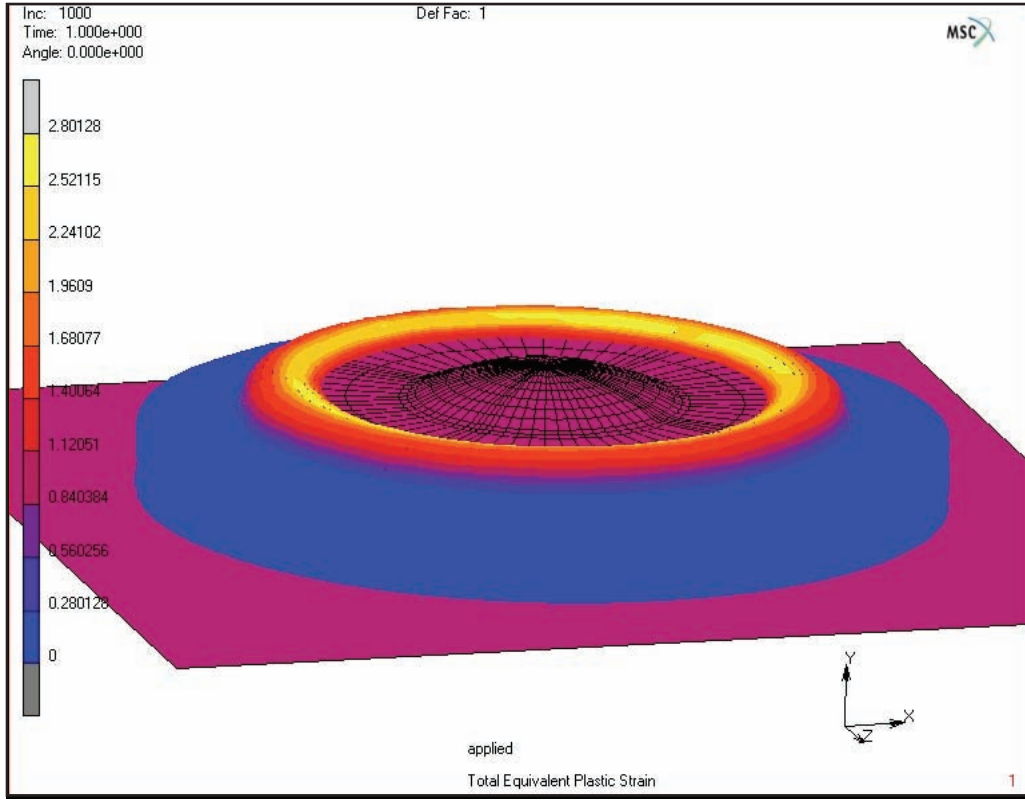


(b) Sıvanan rotill gövdesinin en kesiti.

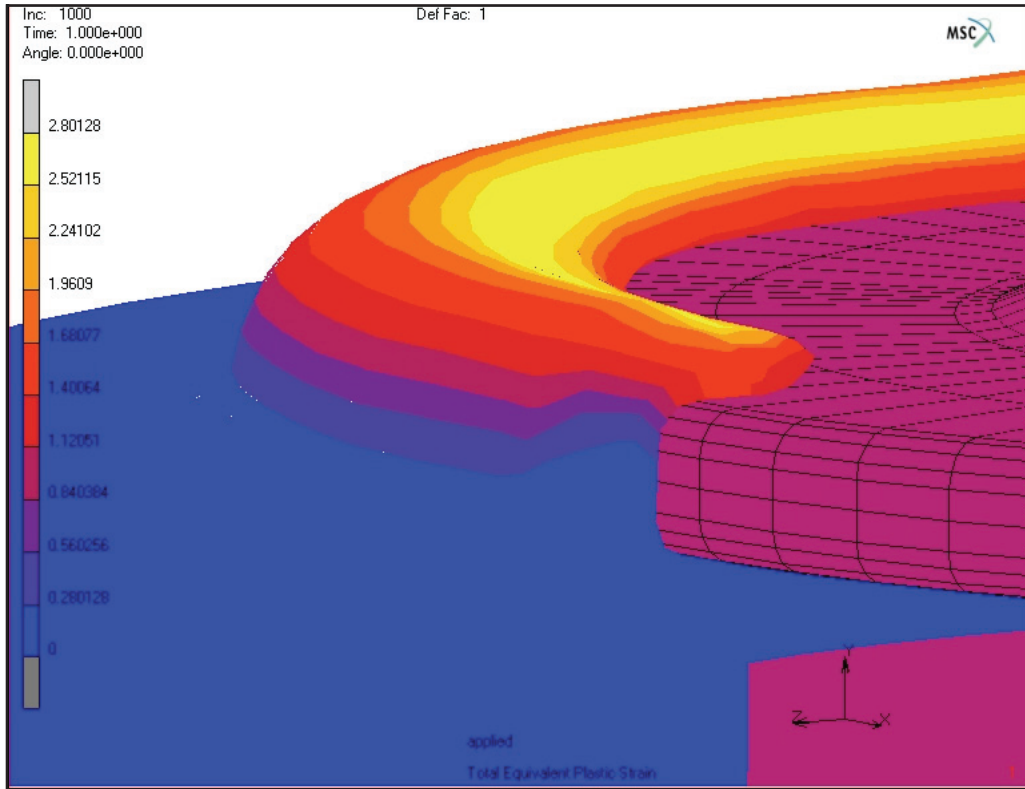
Şekil 20. 8500 N sıvama kuvveti sonrası rotill gövdesi üzerinde oluşan şekil değıştirmeler.



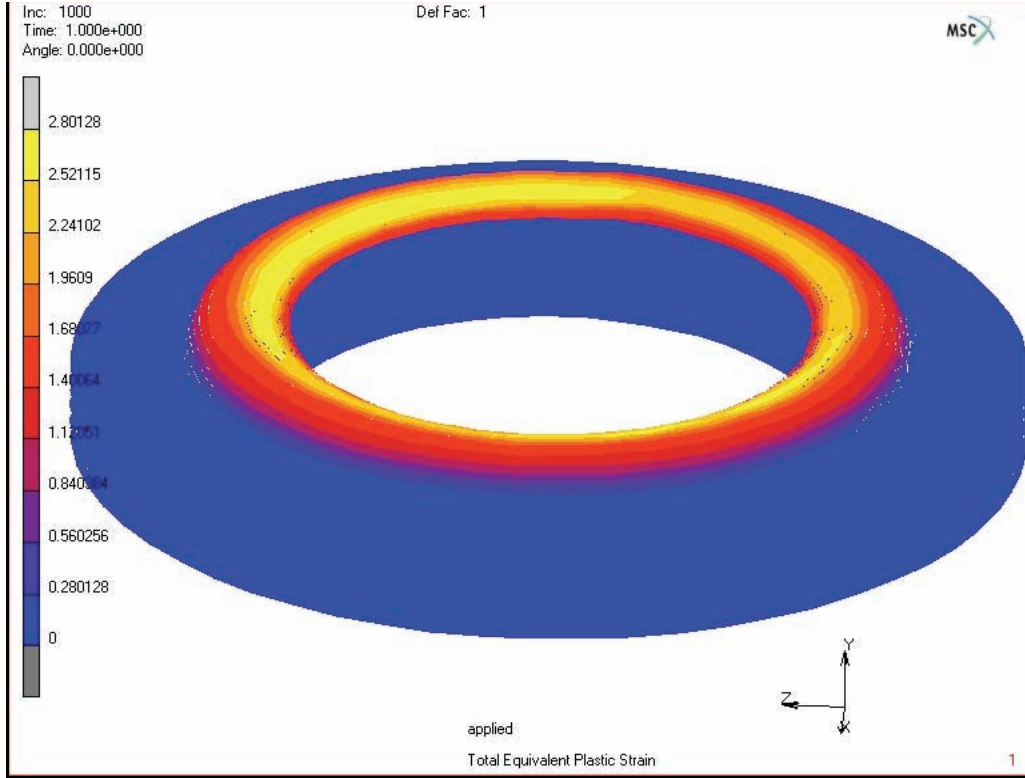
Şekil 21. 25000 N Sıvama kuvveti altında rotli gövdesindeki şekil değıştirmeler.



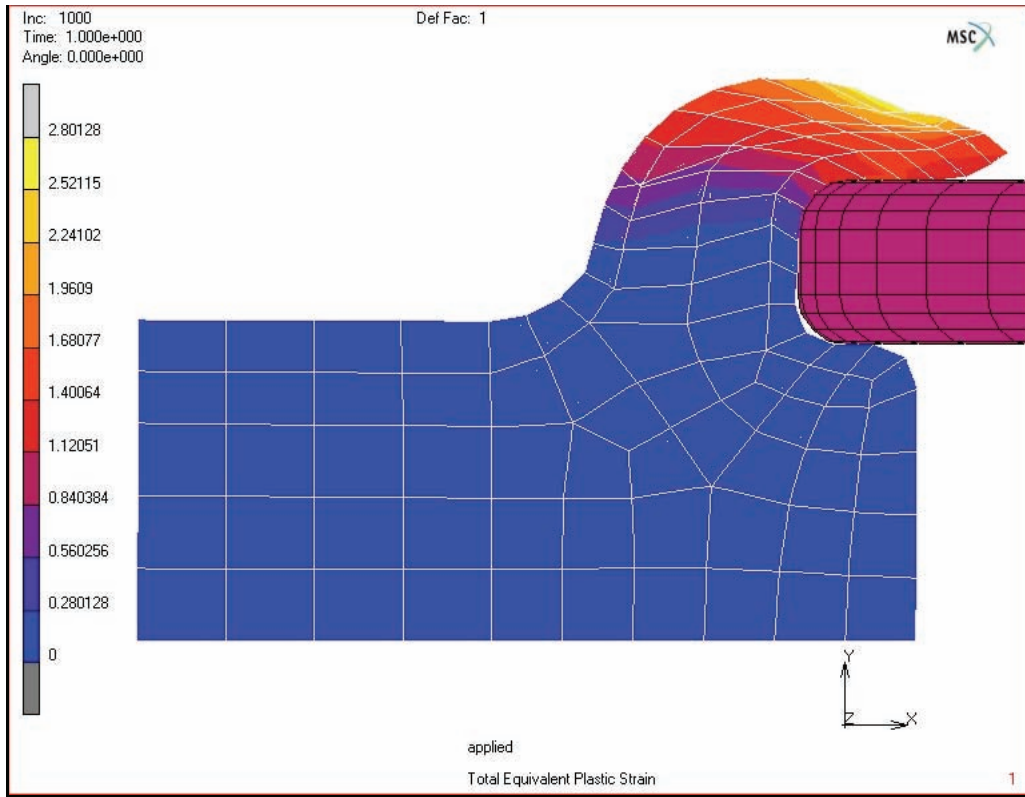
(a) Sıvanan rotül gövdesi.



(b) Sıvanan rotül gövdesinin kesit görünüşü.

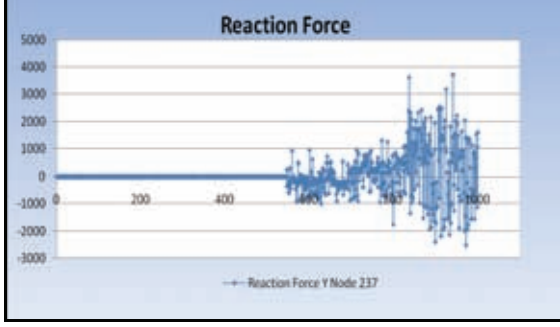


(c) Şekil değiştirmeye maruz kalan bölgeler.



(d) Sıvanan rotül gövdesi üzerinden alınan en kesit.

Şekil 22. 35000 N sıvama kuvveti altında deformasyona uğrayan rotül gövdesinde birim şekil değiştirmeler.



Şekil 23. Sıvama esnasında kapakta oluşan reaksiyon kuvvetleri.

4. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan analizler sonucu, rotill gövdesinin sıvama işleminde, sıvama basıncının azalması ve artışı ile plastik deformasyon sonucu oluşan sıkıştırma kuvvetlerinde aynı şekilde belirli bir azalış ve artış gözlemlenmiştir (Tablo 1). Sıkıştırma kuvveti ile sıvama basıncı arasındaki korelasyon (lineer, logaritmik v.s.), sıvama basıncı değişim aralığı daha hassas alınarak saptanabilecektir.

Tablo 1. Sıvama işlemi sıkıştırma kuvvetleri ve etkileyen parametreler.

Sıvama Kuvveti (N)	Röle Dairesel Hız (devir/s)	Malzeme Tipi	Analiz Süresi (s)	Oluşan Sıkıştırma Kuvveti (N)
8500	5	DIN 1652-3 (C 15 E)	1	0
10000	5		1	0
15000	5		1	0
20000	5		1	13,99
25000	5		1	315,76
30000	5		1	1373,4
35000	5		1	1615,2

Araştırmada nominal sıvama basıncının (uygun sıvama işleminin gerçekleştiği sıvama basıncı) alt ve üst değerlerindeki değişimin sıkıştırma kuvvetine olan etkisi kısmen incelenmiştir. Çalışmanın ilerleyen safhalarında sıvama basıncının alt ve üst değer aralıkları daha ayrıntılı incelendikten sonra sıvama basıncının sabitleştirilerek röle tur sayısının sıkıştırma kuvvetine olan etkisinin bulunması hedeflenmektedir.

Ayrıca rotillin üretim aşamasında, uygulanan 30 kN sıvama kuvvetinin maksimum değer olduğu bilinmektedir. Üretim esnasında, daha düşük basınçlarda şekil değişiminin sağlandığı belirlenmiştir. Sıvama simülasyonunda

ortaya çıkan bu kuvvet farklılığı, malzeme modelinden kaynaklanmaktadır. Çalışmanın ilerleyen safhalarında, daha düşük sıvama basınç kuvvetlerinde şekil değişiminin sağlanıp sağlanmadığı araştırılacaktır. Test numunelerindeki boyut değişimi ve basma deneyi esnasında alt ve üst yüzeylerde oluşan kaymaları en aza indirebilecek test numunesi tasarımı ile, numunelerin, sıvama işleminde kullanılan rotill gövdesinin şekillendirme anındaki plastik şekil değiştirme davranışına daha benzer davranışlar göstermesi beklenmektedir.

Çalışma kapsamında incelenen rotillerin montajı sırasında yatak ve mafsal sistemlerinde oluşan sıkıştırma kuvvetleri ve bunları etkileyen parametreler, geliştirilen deney düzeneği ve simülasyon yöntemiyle yüksek keskinlik dereceleriyle belirlenebilecektir. Bunun sonucunda;

1. Küresel yatak-mafsal sisteminde değişiklik,
2. Rotill tasarımında optimizasyon,
3. Rotill boyutlarında, malzeme seçiminde ve imalat proseslerinde optimizasyon,
4. Binek ve ticarî taşıt araçlarının süspansiyon sistemlerinde yenilikler.

gibi birçok sürüş konfor ve güvenliğini etkileyen parametrenin yeniden incelenme ve geliştirilme olanağı bulunacaktır. Ayrıca, bu yenilikler aracılığıyla tasarım ve imalat süreçlerinin kısaltması ve buna bağlı olarak üretim maliyetlerinin düşmesi de beklenmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 1002 Hızlı Destek Programı'ndan alınan katkılarla gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

ASTM (American Society for Testing and Materials) International Standards, 2010.

Cook, R. D., Malcus, D. S. Plesha, M. E. 1989. Concepts and Applications of Finite Element Analysis, John Wiley&Sons Inc., USA.

Dieter, G.E. 1988. Mechanical Metallurgy, McGraw Hill Book Company, London, 1988.

Kırlı, O. 2009. Yönlendirme Sistemlerinin Yataklarında Kullanılan Acetal/Polyoxymethylene (POM) Malzemesinin Farklı Sıcaklarda, Bası Yükü Altında Mekanik Özelliklerinin Değişiminin Deneysel ve Sayısal Simülasyonu, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi.

Kobayashi, S., Oh, S. and Altan, T. 1989. Metal Forming and the Finite Element Method, Oxford University Press.

Kwon Y.W. and Bang, K. 2000. The Finite Element Method Using MATLAB, 2000.

Moaveni, S. 1999. Finite Element Analysis: Theory and Applications with ANSYS, Prentice Hall.

MSC.Marc Help Documents, Volume A: Theory and User Information, 2007.

Owen, D.R.J. and Hinton, E. 1982. Finite Elements in Plasticity Theory and Practice, Pineridge Press Limited.

Reddy, J.N. 2003. An Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis, Oxford University Press.

Schey, J.A. 1987. Introduction to Manufacturing Processes, McGraw Hill Book Company, New York.