

İKİ VE ÜÇ MAKARALI ROTBAŞI SIVAMA PROSESİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Hakan KUTLAK^{1,2} İlyas UYGUR³

¹ Makine Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

² Teknorot Otomotiv Ürünleri ve San. Tic. A.Ş., Düzce, TÜRKİYE

³ Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE
*hakan.kutlak@teknorot.com, ilyasuygur@duzce.edu.tr

Özet- Rotbaşı araç öndüzen sistemlerinde emniyet ve güvenlik en önemli unsurlardan birisidir. Rotil ve rotbaşlarının montaj işleminde kritik bir rol oynayan gövde sıvama işlemi genellikle iki makaralı sıvama aparatı ile yapılmaktadır. Ancak iki makaralı sıvama aparatı ile yapılan sıvama işlemi, sıvama kenarlarının kapak üzerine tam kapanmamasına, sıvama formunda çatlak, çizik, ezik ve yırtılma gibi problemlere neden olmaktadır. Bu problemler araç çukura girdiğinde rotbaşına ani olarak dikey yönde gelen kuvvetlerden dolayı kapağın sıvama formundan ayrılmasına neden olabilmektedir. Sıvama formunun yeterli mukavemette olmaması durumunda kapak rotbaşı gövdesinden ayrılarak aracın kaza yapmasına neden olabilmektedir. Bu bağlamda, yapılan çalışmada, iki ve üç makaralı sıvama aparatı ile yapılan sıvama işlemi esnasında sıvama formunda meydana gelen gerinim ve sıcaklık sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak Simufact Forming® programı ile analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Gerinim ve Sıcaklık Analizi, Rotbaşı, Sıvama

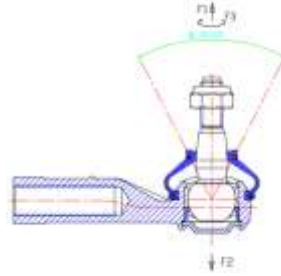
COMPARISON OF THE EDGE-FORM ROLLING PROCESS WITH THREE ROLLERS AND TWO ROLLERS

Abstract- Tie rod end of a component of steering and suspension system is one of the most important safety element of vehicles. The edge-form rolling process which is critical during assembly process of the tie rod ends and the ball joints is generally performed by the edge-form rolling apparatus with two rollers. However, the edge-form rolling process which is made by the two roller apparatus causes problems such as crack, crush and tear on the edge-form. Besides, it may cause an unclosed edge-form. These kinds of defects may cause the sheet cover to get seperated from the edge-form because of vertical forces which immediately occur when a vehicle drives into a hole on road. In the case of the sheet cover gets seperated from the housing of the tie rod end due to lack of enough strength of the edge-form, a vehicle accident may occur. Within the scope of this research, strain and temperature of the housing which occur during the edge-form rolling process were analyzed by using the two and three roller apparatuses. For this study, the finite element method with Simufact Forming software is used.

Key Words- Strain and Temperature Analysis, Tie Rod End, Edge-Form Rolling

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Direksiyon 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). Küresel bağlantılara değişik doğrultularda ve boyutlarda yükler gelir. Örneğin, araçtaki konumu itibari ile Şekil 1'deki rotbaşı 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 1'de gösterilen kapak tarafından karşılanabilmelidir. Taşıt, yollardaki çukur ve tümseklerden geçerken, rotül F1 ve F2 yüklerine, virajlarda aşık \pm F3 dönme momentine ve ivmelenme yüklerine maruz kalmaktadır. F3 dönme momenti rotilin çalışma torkunu belirleyen değerdir ve ayrı olarak analiz edilir. F2 kuvveti sıvamanın mukavemetini analiz etmek için uygulanır ve ayrı olarak analiz edilir. Günümüzde rotül tasarımı ve imalatında izlenen yöntem, çok sayıda tekrar içeren örnek imalatlar aracılığıyla, yani deneme-yanılma yoluyla belirli tecrübeler sonucu elde edilen değerlere ulaşılmasına dayanmaktadır [1]. Sıvamanın mukavemet değerleri, parçanın ömür süresi açısından önem teşkil etmekte ve konunun ayrıntılı bir şekilde incelenmesini gerekli kılmaktadır.



Şekil 1. Rotbaşına gelen kuvvetler (Forces applied to the tie rod end) [2]

Bu çalışmada, bir yönlendirme ve süspansiyon elemanı olan ve hareket iletimini sağlayan rotbaşının imalatı esnasında, plastik şekil vermeyi temel alan imalat yöntemlerinden haddeleme işleminin özel bir alt bölümü olan sıvama (kenar form verme) işlemi incelenmiştir. Bu araştırma kapsamında, üç makaralı sıvama aparatı tasarlanmış, Simufact Forming® programı ile iki ve üç makaralı sıvama aparatı ile rotbaşının sıvama operasyonunun sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Üç makaralı sıvama aparatının, iki makaralı sıvama aparatına göre avantajları belirlenmiştir. Plastik şekillendirme esnasında ortaya çıkan gerilim ve gerinim analizleri yapılmış ve ayrıca rotbaşının sıvama formunda meydana gelen kesit incelmeleri analiz edilmiştir [2].

2. YÖNTEM (METHOD)

Sonlu elemanlar metodu ile tasarım aşamasında bir çok mekanik ve fiziksel değerler analiz edilerek, öngörülü imalat yapılarak, deneme yanılma yöntemiyle ortaya çıkacak zaman, enerji ve güç kaybı önlenmektedir. Çok farklı imalat sektöründe farklı makine parçalarının analizleri sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmaktadır.

Simufact Forming® programının sonlu elemanlar çözücü programı Marc®'dir. Marc® yer değiştirme metodunu temel alınarak geliştirilmiştir. Marc®'da kullanılan rijitlik metodolojisi, sistemin rijitliği sayesinde kuvvet-yer değiştirme ilişkilerini adresler. Doğrusal statik problem için kuvvet yer değiştirme ilişkisi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$Ku = f \quad (1.1)$$

K rijitlik matrisi, u düğüm yer değiştirmesi ve f kuvvet vektörüdür.

Yapının, hem yer değiştirme hem de kuvvetlerde sınır koşullarını belirttiği varsayılarak, 1.2 nolu ana denklem aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} \quad (1.2)$$

u_1 bilinmeyen yer değiştirme vektörüdür, f_1 belirtilmiş kuvvet vektörüdür, u_2 belirtilmiş yer değiştirme vektörüdür ve f_2 reaksiyon kuvvet vektörüdür. Yer değiştirme vektörü u çözüldükten sonra, herbir elementteki gerinimler, element düğüm yerdeğişimi açısından gerinim yer değiştirme ilişkisi aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

Yapısal sistemin sadeleştirilmiş sonlu elemanlar hareket denklemi:

$$Ma + Dv + Ku = F \quad (1.3)$$

M kütle matrisi, a ivme, D sönümlenme matrisi, v hız, K rijitlik matrisi, u yer değiştirme, F kuvvet olarak ifade edilir [3].

Jia ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, bölgesel çok noktalı şekillendirme ile çok büyük boyutlardaki sac metal parçaların şekillendirilmesine yeni bir yaklaşım getirmişlerdir. Bu metod ile büyük sac metal parçaların şekillendirilmesi kademeli olarak MPF presi ile yapılmaktadır [4-7].

Liu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, çok noktalı şekillendirme tiplerinden olan gererek şekillendirme yöntemi ile sac parça üretiminin sanal analizleri gerçekleştirilmiştir. Elastik yastık kullanımı ve geri esneme telafisinin gererek şekillendirmede nasıl kullanıldığı ve verimi araştırılmıştır. Elastik yastığın kalınlığı 8 mm, sürtünme faktörü ise 0,1'dir [8].

2. 1. Parçaların Modellenmesi (Modeling of Components)

Rotbaşı ve ikili makara düzeni Şekil 2 a, b, c ve d'de gösterildiği gibi orijinal parçaların ölçülerine göre Siemens NX® yazılımı ile modellenmiştir. Sonlu elemanlar analizi esnasında çözüm süresini kısaltmak için Şekil 1'deki rotbaşı gövdesinin sap kısmı ile yarık bölgesi ve makaraların form verme işlemini gerçekleştiren bölgesi hariç diğer yataklama bölgeleri 3 boyutlu katı modellerden çıkarılmıştır [2].



(a) Gövde katı modeli

(b) Kapak katı modeli

(c) İkili makara katı modeli

(The housing 3D model) (The cover 3D model) (The roller 3D model)



(d) Rotbaşının ikili makara ile birlikte montaj katı modeli
(A 3D model of the assembled tie rod end with the two roller apparatus)
Şekil 2. Rotbaşının ve ikili makara düzeninin 3 boyutlu modelleri
(A 3D models of the tie rod end and the two roller apparatus) [2]

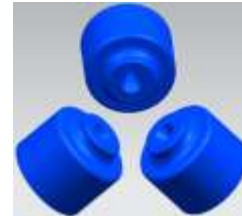
Rotbaşı ve üçlü makara düzeni Şekil 3 a, b, c ve d'de gösterildiği gibi orijinal parçaların ölçülerine göre Siemens NX® yazılımı ile modellenmiştir. Sonlu elemanlar analizi esnasında çözüm süresini kısaltmak için Şekil 3'deki rotbaşı gövdesinin sap kısmı ile yarık bölgesi ve makaraların form verme işlemini gerçekleştiren bölgesi hariç diğer yataklama bölgeleri 3 boyutlu katı modellerden çıkarılmıştır [2].



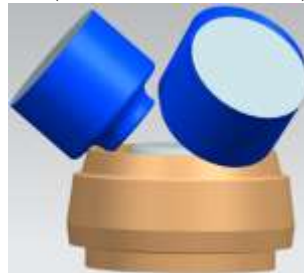
(a) Gövde katı modeli
(The housing 3D model)



(b) Kapak katı modeli
(The cover 3D model)



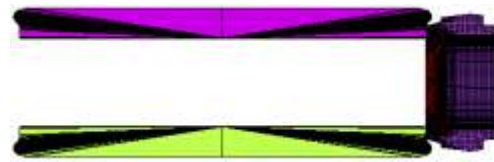
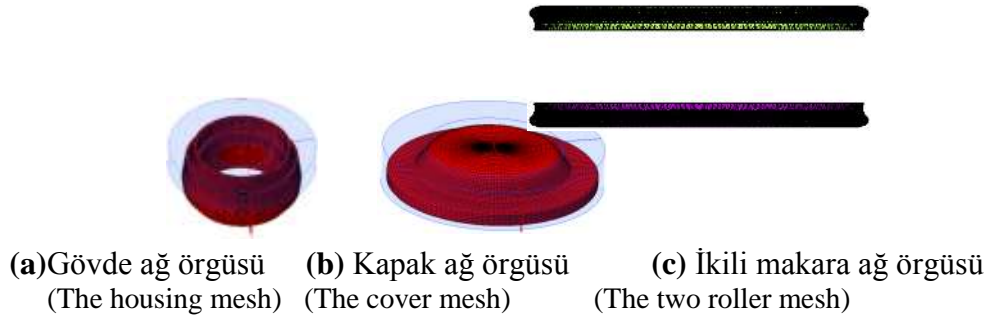
(c) Üçlü makara katı modeli
(The three roller 3D model)



(d) Rotbaşının üçlü makara ile birlikte montaj katı modeli
(A 3D model of the assembled tie rod end with the three roller apparatus)
Şekil 3. Rotbaşının ve üçlü makara düzeninin 3 boyutlu modelleri
(A 3D models of the tie rod end and the three roller apparatus) [2]

2. 2. Rotbaşına ve Makaralara Ağ Örgüsü (Mesh) Atama (To Assign Mesh to The Tie Rod End and The Rollers)

Rotbaşının gövdesine Simufact Forming® programında, makaralara Siemens NX® programında ağ örgüsü (mesh) ataması yapılmıştır. Ancak ağ örgüsünün boyutunu küçültmek çözüm işleminin süresini artırmasına rağmen çözüm sonucunun doğruluğunu arttırmaktadır. Bu nedenle daha sık bir ağ örgüsü oluşturulmuştur. Bu çalışmada Şekil 4 a ve b’de gösterildiği gibi gövde ve kapak için özel bir ağ örgüsü türü olan Ring Mesh Hexahedral element tipi atanmıştır ve gövde ağ elemanlarının boyutu 0,7 mm’dir. Analizler esnasında programın yeniden ağ oluşturma (remesh) özelliğini kullanabilmek için sıvama formunun gerçekleştirileceği sıvama kenarı bölgesinde Şekil 4 a ve b’deki mavi renkli kafes bölgesindeki ağ elemanlarının boyut 0,35 mm olarak atanmıştır. Şekil 4 c’de gösterilen makaraların ağ ataması Siemens NX® programında Tetrahedron ağ örgüsü ve ağ elemanlarının boyutu 0,01 mm olarak yüzey ağ örgüsü olarak atanmıştır [2].



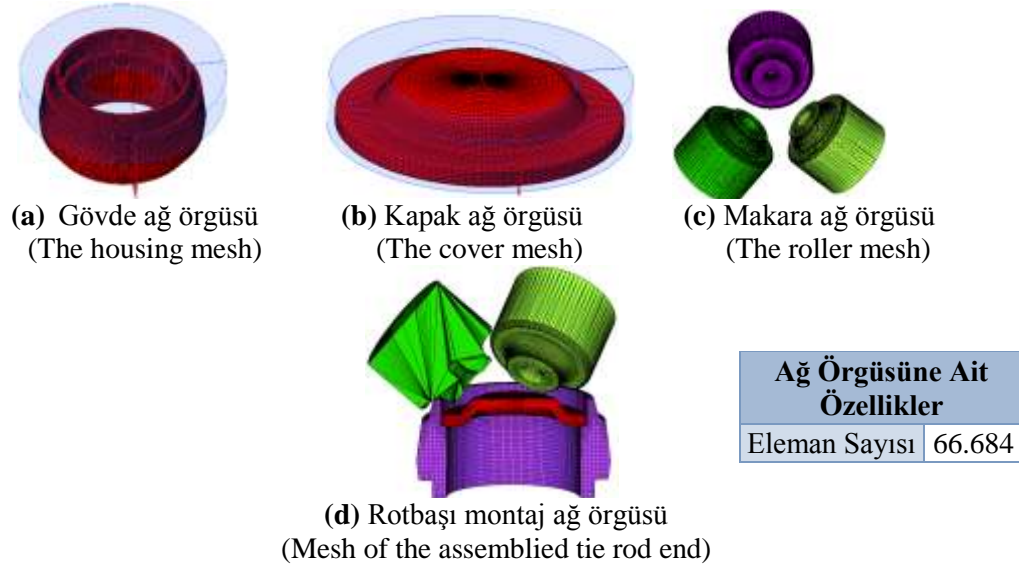
Ağ Örgüsüne Ait Özellikler	
Eleman Sayısı	66.684

(d) Rotbaşı montaj ağ örgüsü
(Mesh of the assembled tie rod end)

Şekil 4. Rotbaşının ve ikili makara düzeninin sonlu elemanlar analizi için matematiksel ifadesi
(Mathematical expression for finite element analysis of the tie rod end and the two roller apparatus) [2]

Rotbaşının gövdesine Simufact Forming® programında, makaralara Siemens NX® programında ağ örgüsü (mesh) ataması yapılmıştır. Ancak ağ örgüsünün boyutunu küçültmek çözüm işleminin süresini artırmasına rağmen çözüm sonucunun doğruluğunu arttırmaktadır. Bu

nedenle daha sık bir ağ örgüsü oluşturulmuştur. Bu çalışmada Şekil 5 a ve b’de gösterildiği gibi gövde ve kapak için özel bir ağ örgüsü türü olan Ring Mesh Hexahedral element tipi atanmıştır ve gövde ağ elemanlarının boyutu 0,7 mm’dir. Analizler esnasında programın yeniden ağ oluşturma (remesh) özelliğini kullanabilmek için sıvama formunun gerçekleştirileceği sıvama kenarı bölgesinde Şekil 5 a ve b’deki mavi renkli kafes bölgesindeki ağ elemanlarının boyut 0,35 mm olarak atanmıştır. Şekil 5 c’de gösterilen makaraların ağ ataması Siemens NX® programında Tetrahedron ağ örgüsü ve ağ elemanlarının boyutu 0,01 mm olarak yüzey ağ örgüsü olarak atanmıştır [2].



Şekil 5. Rotbaşının ve üç makara düzeninin sonlu elemanlar analizi için matematiksel ifadesi
(Mathematical expression for finite element analysis of the tie rod end and the three roller apparatus) [2]

2. 3. Parçalara Simufact Forming Programında Malzeme Atama (To Assign Material to Components on Simufact Forming Software)

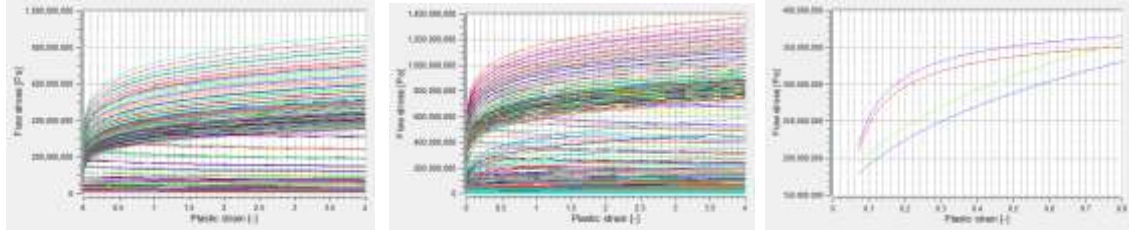
Gövdeye malzemenin kimyasal özellikleri ve akma dayanımından hareket ile JMatPro programında oluşturduğumuz C45 (1045) ve 1040 malzeme atamaları yapılarak simülasyon sonuçları incelenmiştir. Tablo 1 ve 2’de C45 (1045) ve 1040 malzemelerin kimyasal özellikleri verilmiştir. Kapak içinde Erdemir’in 6223 kalite sacının uluslararası karşılığı olan DD12 malzemesinin ataması yapılmıştır. Şekil 6’da C45, 1040 ve DD12 malzemelerinin Gerilim-Gerinim Eğrileri verilmiştir [2].

Tablo 1. C45 JMatPro malzemesinin kimyasal özellikleri tablosu
(A chart of chemical properties of C45 JMatPro material) [2]

C	Mn	Si	Cr	S	P	Kalan
0,44	0,66	0,22	0,15	0,029	0,022	98,479

Tablo 2. 1040 JMatPro malzemesinin kimyasal özellikleri tablosu
(A chart of chemical properties of 1040 JMatPro material) [2]

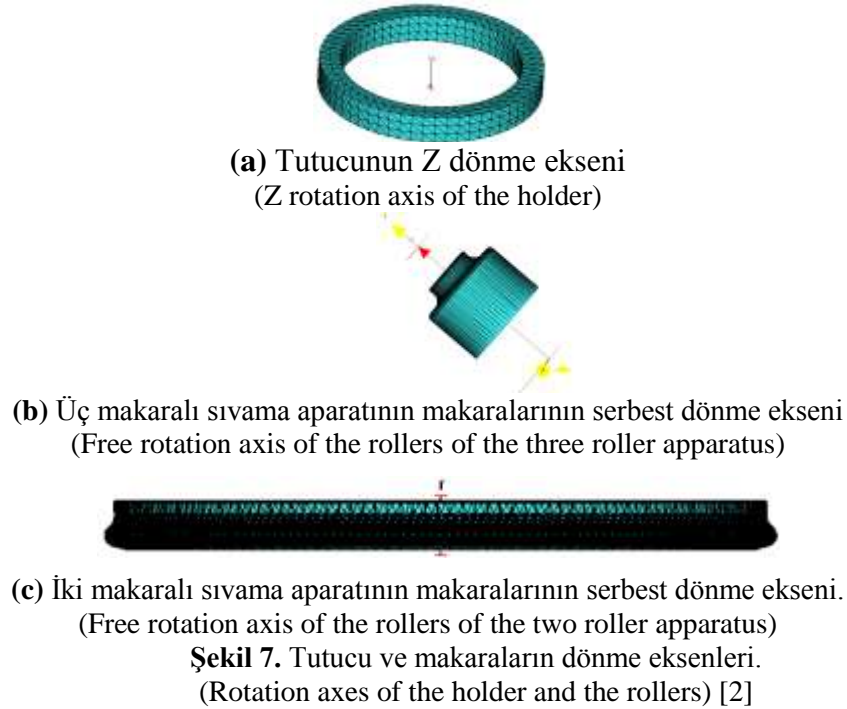
C	Mn	Si	Cr	S	P	Kalan
0,391	0,77	0,242	0,191	0,0087	0,0089	98,388



(a) C45 JMatPro malzeme (C45 JMatPro material) (b) 1040 JMatPro malzeme (1040 JMatPro material) (c) DD12 malzeme (DD12 material)
Şekil 6. C45 JMatPro, 1040 JmatPro ve DD12 malzemelerinin gerilim-gerinim eğrileri (Stress and strain (flow) curves of C45 JMatPro, 1040 JMatPro and DD12 materials) [2]

2. 5. Sonlu Elemanlar Analizi İçin Yükleme ve Sınır Şartları (Loading and Limit Conditions for Finite Element Analysis)

Simülasyonun ilk aşamalarında çözüm süresini kısaltmak için rotbaşının dönme devri 100 rpm girilerek sonlu eleman çözüm sonuçları elde edilmiştir. Optimum ilerleme miktarı belirlendikten sonra üç makaralı sıvama aparatında rotbaşının dönme devri 1000 rpm iki makaralı sıvama aparatında ise 700 rpm olarak girilerek tekrar sonlu elemanlar çözüm sonucu elde edilmiştir. Gerçek durumda dönme işlemi sıvama aparatları yapmaktadır ancak makaralara hem kendi ekseninde serbest dönüşü hemde tüm makaraların ortak ekseninde döndürebilmesine program izin vermediği için Şekil 7’de görüldüğü gibi aparat yerine gövde döndürülmüştür. Gövdeye dönme hareketi, gövdeye aynı zamanda ilerleme hareketini ileten tutucu tarafından iletilmektedir [2].



İlk analizlerde kapak rijit olarak kabul edilmiştir. Ancak son yapılan analizde kapak deforme edilebilir olarak tanımlanmıştır ve gövde ile kapak arasına dokunma kontak tipi tanımlanarak analiz gerçekleştirilmiştir. Rotbaşını oluşturan tüm parçaların kontak tablosu aşağıdaki Tablo 3’de verilmiştir [2].

Tablo 3. Rotbaşını oluşturan parçaların kontak tablosu

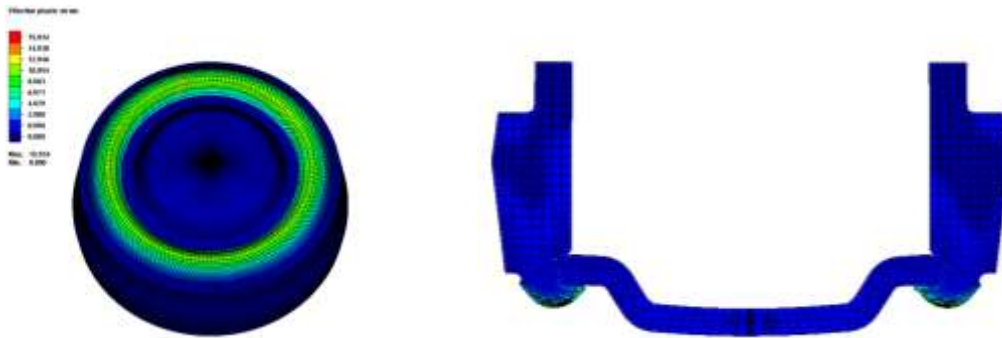
(A contact chart of the components which the tie rod end constitutes) [2]

GÖVDE	KONTAK KURULAN PARÇA	KONTAK YÖNÜ	KONTAK TİPİ
Gövde	Tutucu	1. 2. ye	Yapışık
Gövde	Makara1	1. 2. ye	Dokunma
Gövde	Makara2	1. 2. ye	Dokunma
Gövde	Makara3	1. 2. ye	Dokunma
Gövde	Kapak	1. 2. ye	Dokunma
Kapak	Gövde	1. 2. ye	Dokunma

Simülasyon 20 °C'lik oda sıcaklığı koşullarında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca rotbaşının içine sıkılan yağın sıvama operasyonu esnasından taşarak sıvama kenarlarına gelmesinden dolayı malzeme akış gerilimini aşmayan kontak gerilimleri ile sürtünme koşulları tanımlamak için kullanılan Coulomb sürtünme kanununa göre 0,1 'lik sürtünme katsayı tanımlanmıştır [2].

3. BULGULAR (FINDINGS)

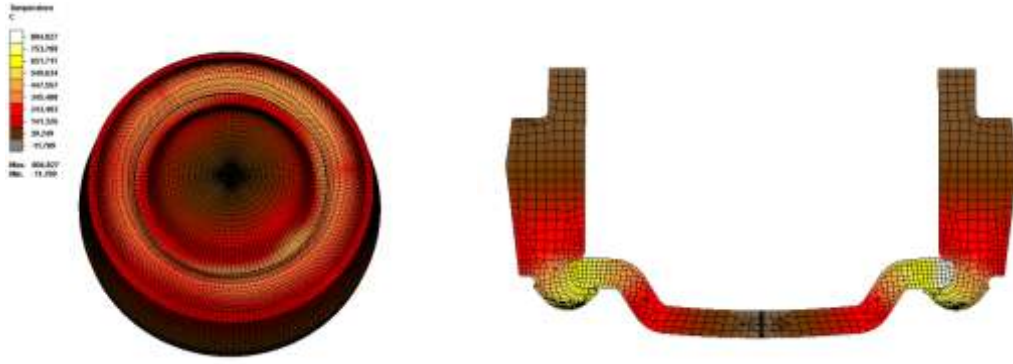
Şekil 8'de üç makaralı sıvama aparatı ile sıvanmış rotbaşının simülasyonu sonucunda elde edilen 15,934 mm efektif plastik gerinim değeri verilmiştir ve kırmızı renkteki bölgeler maksimum efektif plastik gerinimin olduğu bölgeleri göstermektedir. Gürsel ve Çakır iki makaralı sıvama aparatı ile bir rotül sıvama operasyonunu inceleyerek sıvama ile monte edilen mekanizmalarda oluşan sıkıştırma kuvvetlerinin saptanması konusunda yaptıkları çalışmada 0,1 mm/dk hızda sıvadıkları C15E malzemesinden imal edilen rotülün 4 nolu testinde maksimum 1000 MPa efektif gerilimde yaklaşık 0,275 mm'lik gerinim değeri elde etmiştir [1].



Şekil 8. Üç makaralı sıvama aparatı ile sıvanmış rotbaşının simülasyon sonucu elde edilen efektif plastik gerinim değeri

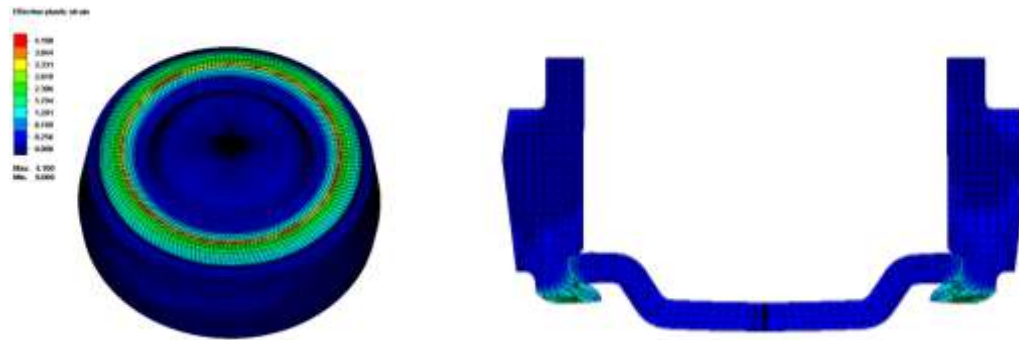
(An effective plastic strain value of simulation result of the tie rod end which was formed by using the three roller apparatus) [2]

Şekil 9'da üç makaralı sıvama aparatı ile sıvanmış rotbaşının simülasyon sonucunda elde edilen 804,827 °C maksimum sıcaklık değeri verilmiştir ve beyaz renkteki bölgeler maksimum sıcaklığa ulaşan bölgelerdir. Burada yoğun deformasyon bölgelerinde sıcaklık 500-800 °C arasında değiştiği görülmektedir [2].



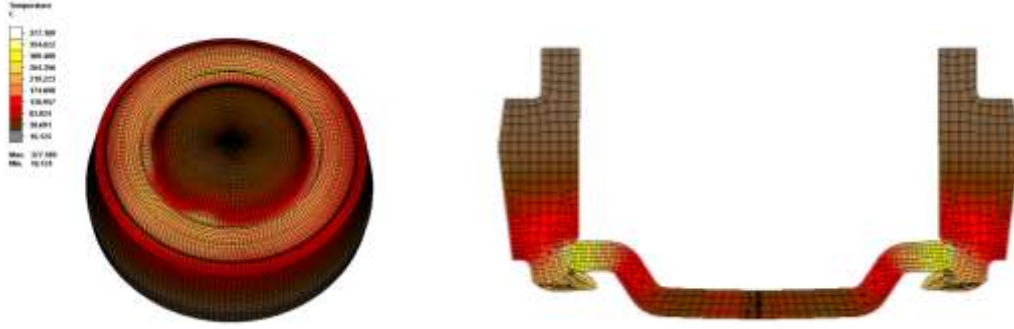
Şekil 9. Üç makaralı sıvama aparatı ile sıvanmış rotbaşının simülasyon sonucu elde edilen maksimum sıcaklık değeri
(A temperature value of simulation result of the tie rod end which was formed by using the three roller apparatus) [2]

Yukarıdaki üçlü sıvama aparatı için yapılan tüm analizler ikili sistem içinde yapılmıştır. İki makaralı sıvama aparatı ile sıvanmış rotbaşının simülasyon sonucunda elde edilen 4,10 mm efektif plastik gerinim değeri Şekil. 10'da gösterilmiştir ve kırmızı renkteki bölgeler maksimum efektif plastik gerinimin olduğu bölgeleri göstermektedir Gürsel ve Çakır iki makaralı sıvama aparatı ile bir rotül sıvama operasyonunu inceleyerek sıvama ile monte edilen mekanizmalarda oluşan sıkıştırma kuvvetlerinin saptanması konusunda yaptıkları çalışmada 0,1 mm/dk hızda sıvadıkları C15E malzemesinden imal edilen rotülün 4 nolu testinde maksimum 1000 MPa efektif gerilimde yaklaşık 0,275 mm'lik gerinim değeri elde etmiştir [1].



Şekil 10. İki makaralı sıvama aparatı ile sıvanmış rotbaşının simülasyon sonucu elde edilen efektif plastik gerinim değeri
(An effective plastic strain value of simulation result of the tie rod end which was formed by using the two roller apparatus) [2]

Ayrıca iki makaralı sıvama aparatı ile sıvanmış rotbaşının sıcaklık simülasyon sonucunda elde edilen 377,189 °C maksimum sıcaklık değeri elde edilmiştir ve beyaz renkteki bölgeler maksimum sıcaklığa ulaşan bölgelerdir (Şekil 11) [2].



Şekil 11. İki makaralı sıvama aparatı ile sıvanmış rotbaşının simülasyon sonucu elde edilen maksimum sıcaklık değeri

(A temperature value of simulation result of the tie rod end which was formed by using the two roller apparatus) [2]

İkili ve üçlü sıvama aparatının tipik analiz karşılaştırma değerleri Çizelge 3'te özet olarak verilmiştir. Çizelge 3'te görüldüğü gibi ikili sistemde en yüksek şekillendirme deformasyonu 4 mm civarında, üçlü sıvama aparatında ise 16 mm civarındadır. Bu durum yaklaşık üç kattan daha fazla deformasyonun olduğunu göstermektedir. Bir başka deyişle ikili sıvama aparatında aynı deformasyon miktarını elde etmek için çok daha fazla deformasyon gücüne ihtiyaç olduğu söylenebilir. Ayrıca artan sabit sürtünme elemanı sayısı sıcaklık değerlerindeki artışı, bu durum malzeme akma dayanımını düşürmek suretiyle her iki yöndeki deformasyon miktarını önemli ölçüde artırmıştır [2].

Çizelge 3. Rotbaşının İki ve Üç Makaralı Sıvama Aparatlarının Simülasyon Sonuçları (Simulation results of tie rod ends which were formed by using the two and three roller apparatuses) [2]

Karşılaştırma Kriterleri	İkili Sıvama Tasarım Analiz Değerleri	Üçlü Sıvama Tasarım Analiz Değerleri
Maximum Deformasyon (mm)	4,1	15,934
Maximum Sıcaklık (°C)	337,189	804,827

Çizelge 3'teki sonuçlara göre, iki makaralı sıvama aparatı haddeleme işlemi yaparak sıvama formunu oluşturmaktadır. Haddeleme yapılarak oluşturulan sıvama formunda sıvama kenarlarında çatlak ya da yırtılma görülme riski yüksektir. Ancak üç makaralı sıvama aparatında, istenildiği gibi yaklaşık R3 mm'lik bir radüs oluşturularak plastik şekil verme işlemi gerçekleştirildiği için rotbaşının sıvama formuna mukavemet kazandırmaktadır. Ayrıca üç makaralı sıvama aparatı ile yapılan sıvama ezik, çatlak, yırtılma, sıvama formunun tam oluşmaması gibi sıvama hatalarının oluşmasına da engel olarak rotbaşının üretim kalite seviyesinin artmasına olanak sağlamaktadır [2].

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Bu çalışmada üç makaralı sıvama aparatının tasarım ve imalatı yapılmış ve iki makaralı sıvama aparatına göre avantajları ve üstünlükleri belirlenmiştir. Bu bağlamda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Yapılan analizlerde ikili ve üçlü tasarımlarda yaklaşık aynı gerilim değerlerinde; iki makaralı sıvama aparatı için en yüksek 4,1 mm deformasyon değeri, en yüksek 337 °C lik sıcaklık değeri elde edilirken, üç makaralı sıvama aparatı

tasarımda bu değerler 16 mm ve 805 °C olmaktadır. Bu daha düşük şekillendirme kuvvetine ihtiyaç duyulacağı anlamına gelmektedir.

2. Üç makaralı sıvama aparatı ile ezik, çatlak, yırtılma, sıvama formunun tam oluşmaması gibi sıvama hatalarının oluşmasına da engel olunmuş ve rotbaşının üretim kalite seviyesinin artmasına olanak sağlanmıştır.

TEŞEKKÜR (THANKS)

Bu çalışma kapsamında sunduğu lisanlı yazılım, eğitim ve teknik destekten dolayı Netform Mühendislik ve Teknorot Otomotiv Ürünleri San. ve Tic. A.Ş. şirketine ve 1040 malzeme verisini oluşturmamıza yardımcı oldukları için Onatus şirketine teşekkür ederiz.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Gürsel, K.T., ve Çalır, S., (2011). Sıvama ile Monte Edilen Mekanizmalarda Oluşan Sıkıştırma Kuvvetlerinin Saptanması, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Pamukkale Üniversitesi, Cilt 17, (3) 143-156.
- [2] Kutlak, H., (2015). Rotbaşı Sıvama İşleminin Tasarımı ve Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [3] Finite Element Technology in Marc, *Marc® 2013 Volume A: Theory and User Information*, 829-830.
- [4] Liu, W., Jia, S.S., Zhang, C. M., Li, M. Z., (2007). Generation and Suppression of Local Severe Plastic Deformation in Sectional Multi-Point Forming, *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32, 705-710.
- [5] Kormaz, Z., Gavas, M., (2005). Sac Metallerin Çok Noktalı Derin Çekme Yöntemiyle Şekillendirilmesi, *Teknoloji Uluslararası Uygulamalı Mühendislik Dergisi*, 3, 271-278.
- [6] Jurisevic, B., Kuzman, K., Junkar, M., (2006). Water Jetting Technology: A Alternative in Incremental Sheet Metal Forming, *Journal of Materials Processing Technology*, 31, 18-23.
- [7] Okoye, C. N., Jiang, J. H., Hu, Z. D., (2006). Application of Electromagnetic-Assisted Stamping (EMAS) Technique in Incremental Sheet Metal Forming, *Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46, 1248-1252.
- [8] Liu W., Yang, Y.Y., Li, M. Z., Numerical Simulation of Multi-Point Stretch Forming and Controlling on Accuracy of Formed Workpiece, *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50 (2010) 61-66.