

ÜÇ MAKARALI SIVAMA APARATI İLE ROTBAŞININ SIVAMA PROSESİ ANALİZİ

Hakan KUTLAK^{a,b}, İlyas UYGUR^c

^a Makine Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

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

^c Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

*hakan.kutlak@teknorot.com, ilyasuygur@duzce.edu.tr

Özet- Taşıtlarda kullanılan ön düzen ve süspansiyon sistemi; konfor ve güvenlik için gerekli elemandır. Bu sistemin mükemmel bir şekilde tasarlanması ve üretilmesi, diğer sistemler ile birlikte senkronize bir şekilde çalışması zorunludur. 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, gövdenin malzemesi ve üç makaralı sıvama aparatının ilerleme miktarı değiştirilerek rotbaşının sıvama operasyonu Simufact Forming® programı ile analiz edilmiştir. Plastik şekillendirme esnasında ortaya çıkan gerilim ve gerinim analiz sonuçları elde edilmiş ve gerçek durum ile karşılaştırılmıştır. Bu araştırma kapsamında, mevcut durumda rakip firmalarda ve firmamızda ikili sıvama topu ile haddeleme işlemi ile kenar formu ezilerek şekillendirilen rotbaşı için yeni üçlü sıvama topu tasarımı yapılmış ve kenar form verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Plastik şekillendirme esnasında ortaya çıkan gerilim ve gerinim analizleri yapılmış ve ayrıca parçada meydana gelen kesit incelmeleri analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Rotbaşı, Sıvama, Gerilim ve Gerinim Analizi, Simufact Forming®

ANALYSIS OF EDGE-FORM ROLLING PROCESS OF TIE ROD END BY USING AN EDGE-FORM ROLLING APPARATUS WITH THREE ROLLERS

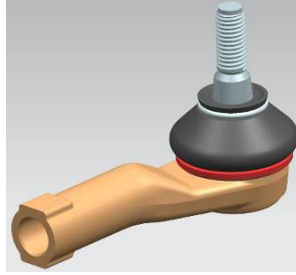
Abstract- Steering and suspension systems are components of the vehicles which provides driving safety. This system needs to be perfectly designed and produced in order to work synchronized with other systems. During the manufacturing of a tie rod end supplying the motion transmission, the edge-form rolling process which is a subsection of rolling process of manufacturing methods based on plastic deformation was examined. Within the scope of this research, the edge-form rolling process of the tie rod end changing progress positions of the edge-form rolling apparatus with three rollers and a material of a housing of a tie rod end was analysed by using Simufact Forming® software. Analysis results of stress and strain emerging during plastic deformation were obtained and the analysis results were compared with a genuine edge-form of the tie rod end.

Key Words- Tie Rod End, Edge Forming, Stress and Strain Analysis, Simufact Forming®

*hakan.kutlak@teknorot.com

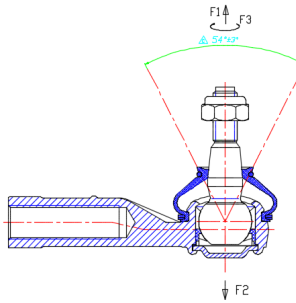
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Direksiyon ve süspansiyon sistemleri, taşıtların sürüş güvenliğini ve sürüş konforunu sağlayan elemanlardır. Bu sistemlerin mekanizmaları kusursuz çalışabilmek için, farklı işlevlere sahip birçok küresel mafsali içerir. Bu küresel mafsalların içerisinde yataklama görevi yapan POM (polioksümetilen) malzemeden yapılmış parçalar mevcuttur (Şekil 1). 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 mafsali içerisinde boşluk yaratmaktadır. Her iki durumda da küresel bağlantının ömrü azalır ve araç, emniyet açısından riskli hale gelebilir [1]. Bu çalışmada sıvama operasyonu incelenmiş olan rotbaşının Siemens NX® programında çizilmiş modeli aşağıdaki Şekil 1 'de verilmiştir.



Şekil 1. Sıvama operasyonu incelenen rotbaşı (The tie rod end which the edge-form rolling process is examined)

Küresel yatak ve mafsali sisteminin fazla sıkıştırılması yüksek moment değerleri oluştururken, sürüş konforunu önemli oranda azaltır. Fakat düşük moment değerleri ise sürüş güvenliğini giderek azaltmaktadır [1]. Küresel bağlantılara değişik doğrultularda ve boyutlarda yükler gelir. Örneğin, araçtaki konumu itibari ile Şekil 2'de gösterilen 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 2'de gösterilen kapak tarafından karşılanabilmelidir. Taşıt, yollardaki çukur ve tümseklerden geçerken, rotli F1 ve F2 yüklerine, virajlarda aşık $\pm F3$ dönme momentine ve ivmelenme yüklerine maruz kalmaktadır. F3 dönme momentini rotlin çalışma torkunu belirleyen değerdir ve ayrı olarak analiz edilir. F2 kuvveti sıvamanın mukavemetini analiz etmek için uygulanır ve ayrı olarak analiz edilir. Günümüzde rotli 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, hem parçanın ömür süresi açısından önem teşkil etmekte ve konunun ayrıntılı bir şekilde incelenmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışma kapsamında üç makaralı sıvama aparatı ile rotbaşının gövde malzemesi ve üç makaralı sıvama aparatının ilerleme miktarı değiştirilerek sıvama formunun oluşumu incelenmiştir.



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

2. YÖNTEM (METHOD)

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 [2]. Sürekli olarak geliştirilen ve yenilenen farklı analiz programları, mühendisliğin hemen her dalındaki farklı problem tiplerinde (implicit, explicit, linear, non-linear v.s.) kullanılabilir [3]. Bu bölümde, bir rotilin Siemens NX® temel tasarım aracında modellenmesi ve Simufact Forming® sonlu elemanlar paket programının Rolling modülünde sıvamanın gerilim ve gerinim değerleri incelenmektedir.

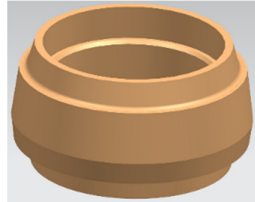
Yapısal sistemin sonlu elemanlar hareket denklemi:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F \text{ 'dir.} \quad (1)$$

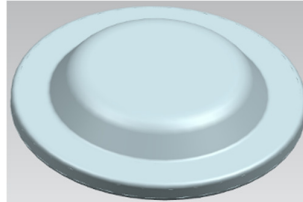
M kütle matrisi, a ivme, C sönümlenme matrisi, v hız, K rijitlik matrisi, u yerdeğiştirme, F kuvvet olarak ifade edilir. Simufact Forming® programının sonlu elemanlar çözücü programı Marc®'dir [4].

2. 1. Parçaların Modellenmesi (Modeling of Components)

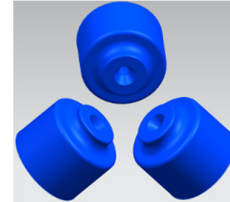
Rotbaşı ve makaralar Şekil 3a, b, c ve d'de gösterildiği gibi orjinal parçaların ölçülerine göre Siemens NX® yazılımı ile modellenmiştir. Sonlu elemanlar analizi esnasında çözüm süresini kısaltmak için Şekil 1'deki gövdenin sap kısmı ile yarık bölgesi ve makaraların form verme işlemini gerçekleştiren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



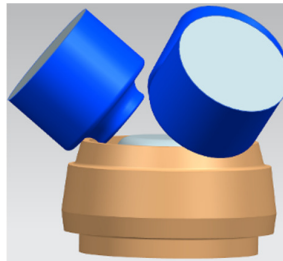
(a) Gövde katı modeli
(The housing 3D model)



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



(c) Makara katı modeli
(The roller 3D model)

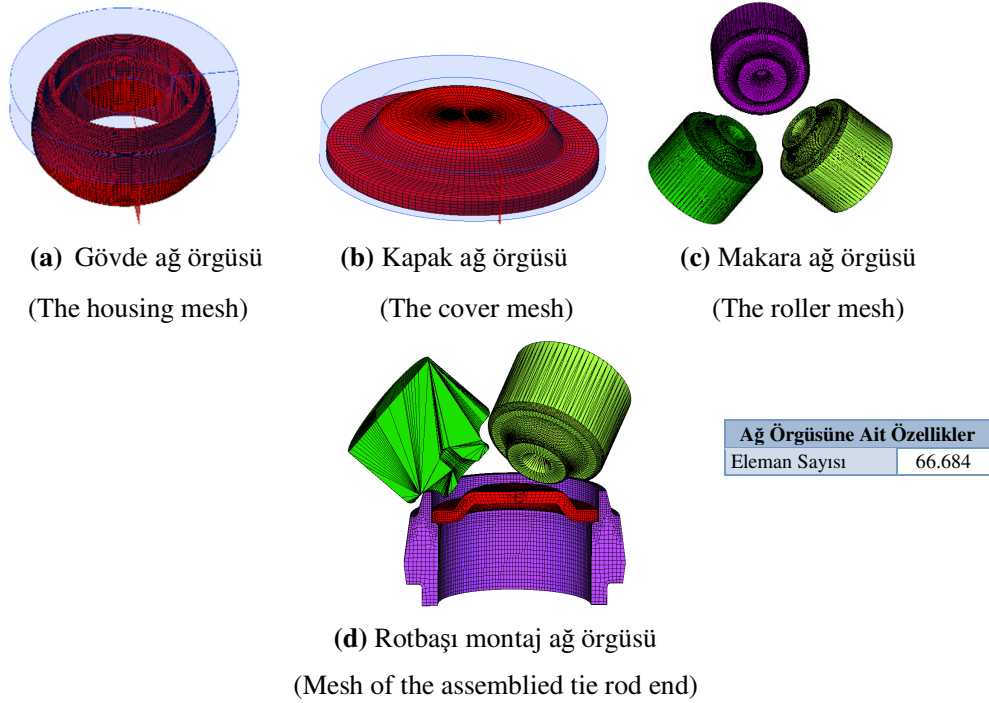


(d) Rotbaşının montaj katı modeli
(A 3D model of the assembled tie rod end)

Şekil 3. Rotbaşının 3D modelleri (3D models of the tie rod end)

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 Şekilde 4a ve 4b’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 olarak tanımlanmıştır. Analizler esnasında programın yeniden ağ oluşturma (remesh) özelliğini kullanabilmek için sıvama formunun gerçekleştirileceği sıvama kenarı bölgesinde Şekil 4a ve 4b’deki mavi renkli kafes bölgesindeki ağ elemanlarının boyutu 0,35 mm olarak atanmıştır. Şekil 4c’de gösterilen makaraların mesh ataması Siemens NX® programında Tetrahedron ağ örgüsü ve ağ elemanlarının boyutu 0,01 mm olarak yüzey ağ örgüsü olarak atanmıştır.



Şekil 4. Rotbaşının sonlu elemanlar analizi için matematiksel ifadesi (ağ örgüleri)
(Mathematical expression (mesh) for finite element analysis of the tie rod end)

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

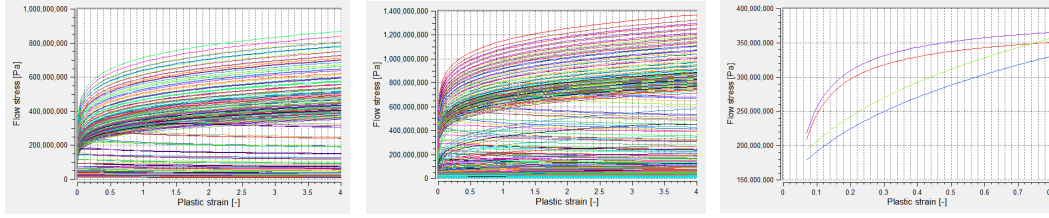
Gövdeye malzemenin kimyasal özellikleri ve akma dayanımından hareket ile JMatPro programında oluşturduğumuz C45 (1045) ve 1040 malzeme atamaları yapılarak simülasyon sonuçları incelenmiştir. Tablo 1 ve 2’de C45 (1045) ve 1040 malzemelerin kimyasal özellikleri verilmiştir. Kapak içinde Erdemir’in 6223 kalite sacının uluslararası karşılığı olan DD12 malzemesinin ataması yapılmıştır. Şekil 5’de C45, 1040 ve DD12 malzemelerinin Gerilim-Gerinim Eğrileri verilmiştir.

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

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

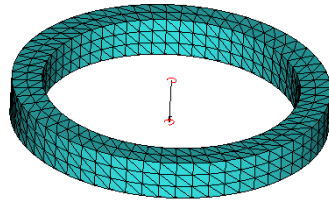
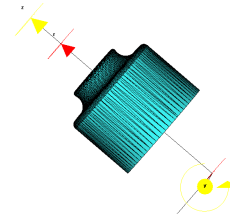
Tablo 2. 1040 JMatPro malzemesinin kimyasal özellikleri tablosu (A chart of chemical properties of 1040 JMatPro material)

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 5.** C45 JMatPro, 1040 JmatPro ve DD12 malzemelerinin gerilim-gerinim eğrileri (Stress and strain (flow) curves of C45 JMatPro, 1040 JMatPro and DD12 materials)

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

-Z yönünde aşağıdaki Tablo 3'de verilen ilerleme miktarları Simufact Forming programına girilerek optimum ilerleme miktarı belirlenmiştir. Simülasyonun ilk aşamalarında çözüm süresini kısaltmak için rotbaşının dönme devri 100 Rpm girilerek sonlu eleman çözüm sonuçları elde edilmiştir. Optimum ilerleme miktarı belirlendikten sonra rotbaşının dönme devri 1000 Rpm olarak girilerek tekrar sonlu elemanlar çözüm sonucu elde edilmiştir. Gerçek durumda dönme işlemi üç makaralı sıvama aparatı yapmaktadır ancak makaralara hem kendi ekseninde serbest dönüşü hemde üç makarayı aynı üç makaranın ortak ekseninde döndürebilmemize program izin vermediği için aparat yerine gövde döndürülmüştür. Gövdeye dönme hareketi, gövdeye aynı zamanda ilerleme hareketini ileten tutucu tarafından iletilmektedir. Aşağıda verilen Şekil 6'deki çizimlerde tutucu ve makaranın dönme eksenleri verilmiştir.

**(a)** Tutucunun Z dönme eksenini (1000 Rpm)
(Z rotation axis of the holder)**(b)** Makaranın dönme eksenini (serbest dönüş)
(Rotation axis of the roller)**Şekil 6.** Tutucu ve makaranın dönme eksenleri (Rotation axes of the holder and the roller)

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.

Tablo 3. Rotbaşını oluşturan parçaların kontak tablosu (A contact chart of the components which the tie rod end constitutes)

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.

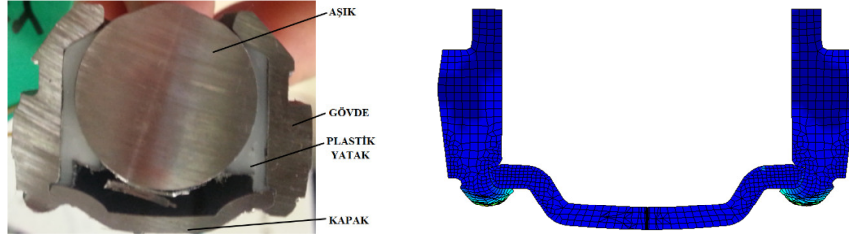
3. BULGULAR (FINDINGS)

Rotbaşının simülasyon sonuçları aşağıdaki Tablo 4’de verilmiştir. 4. simülasyonda istenilen sonuçlar elde edilmiştir. Ancak gerçek sıvama operasyonunda kapakta deforme olduğu tespit edildiğinden, 5. simülasyonda kapak deforme edilebilir olarak ayarlanmıştır. Ayrıca gerçek durumda kullanılmakta olan 1040 malzemesinin kimyasal özelliklerinden ve akma dayanımından hareket ile JMatPro® programında malzemenin herbir farklı sıcaklık durumundaki gerilim-gerinim eğrilerinin çıkarıldığı malzeme verisi oluşturularak yeniden simülasyon yapılmıştır. Bu simülasyon sonucunda gerçekte sıvamadığımız rotbaşları ile aynı sıvama formu sağlanabilmiştir.

Tablo 4. Rotbaşının simülasyon sonuçları tablosu (A chart of simulation results of the tie rod end)

SIRA NO	ZAMAN (s)	2 YÖNÜNDEKİ HIZ (mm/s)	AÇISAL HIZ (Rpm)	MALZEME	KAPAK KALIP TİPİ	MAKSİMUM EFEKTİF GERİNİM DEĞERİ (mm/mm)	MİNİMUM EFEKTİF GERİLİM DEĞERİ (MPa)	MAKSİMUM EFEKTİF GERİLİM DEĞERİ (MPa)	EFEKTİF GERİLİM DEĞERİ	SONUÇ
1	0,0	0	100	C45 (JMatPro)	İSİ İLETTİMİ OLMAMAKSIZIN RÜJİT KALIP	4,393	38,296	613,830		İLERLEME MİKTARI YETERLİ GELMİŞTİR. ANCAK AÇISAL HIZ (DÖNME HIZI) YETERLİ OLMAMASINDAN DOLAYI MAKARALAR GÖVDE ÜZERİNDE TAM 1 TURU TAMAMLAYAMADIĞI İÇİN GERÇEK DURUM İLE AYNI SIVAMA İŞLEMİ VE PLASTİK DEFORMASYON GERÇEKLEŞTİRİLEMEMİŞTİR.
	0,1	-2,12	100							
	1,0	-2,12	100							
	1,1	0	100							
	1,6	0	100							
2	0,0	-2,25	100	C45 (JMatPro)	İSİ İLETTİMİ OLMAMAKSIZIN RÜJİT KALIP	5,079	18,568	644,418		İLERLEME MİKTARININ VE AÇISAL HIZIN (DÖNME HIZININ) YETERLİ OLMAMASINDAN DOLAYI İSTENİLEN KAPAMA İŞLEMİ VE PLASTİK DEFORMASYON GERÇEKLEŞTİRİLEMEMİŞTİR.
	0,8	-2,25	100							
	0,8	0	100							
	1,3	0	100							
	1,6	0	100							
3	0,0	0	1000	C45 (JMatPro)	İSİ İLETTİMİ OLMAMAKSIZIN RÜJİT KALIP	11,368	36,159	586,869		İLERLEME MİKTARININ FAZLA OLMASINDAN DOLAYI MALZEME MAKARALARIN UCUNDAN DIŞARI DOĞRU AKMIŞTIR. İSTENİLEN SIVAMA İŞLEMİ VE PLASTİK DEFORMASYON GERÇEKLEŞTİRİLEMEMİŞTİR.
	0,1	-2,12	1000							
	1,0	-2,12	1000							
	1,1	0	1000							
	1,6	0	1000							
4	0,0	0	1000	C45 (JMatPro)	İSİ İLETTİMİ OLMAMAKSIZIN RÜJİT KALIP	16,674	16,518	593,741		İLERLEME MİKTARI VE AÇISAL HIZ (DÖNME HIZI) YETERLİ OLDUĞUNDAN İSTENİLEN SIVAMA İŞLEMİ VE PLASTİK DEFORMASYON GERÇEKLEŞTİRİLMİŞTİR.
	0,1	-1,97	1000							
	1,0	-1,97	1000							
	1,1	0	1000							
	1,6	0	1000							
5	0,0	0	1000	1040 (JMatPro)	DEFORME EDİLEBİLİR KALIP	15,934	7,875	844,783		GERÇEK DURUMDA KAPAĞINDA DEFORME OLDUĞU TESPİT EDİLDİĞİNDEN VE GERÇEK DURUMDA KULLANILAN 1040 MALZEMESİ KİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE AKMA DAYANIMINDAN HAREKET İLE JMATPRO PROGRAMINDA MALZEME VERİSİ OLUŞTURULMUŞTUR. İLERLEME MİKTARI VE AÇISAL HIZ (DÖNME HIZI) YETERLİ OLDUĞUNDAN İSTENİLEN SIVAMA İŞLEMİ VE PLASTİK DEFORMASYON %100 GERÇEKLEŞTİRİLMİŞTİR.
	0,1	-1,97	1000							
	1,0	-1,97	1000							
	1,1	0	1000							
	1,6	0	1000							

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)



(a) Rotbaşının gerçek sıvama fotoğrafı

(b) 5. Simülasyonun sonucu

(A photograph of real edge-form rolling of the tie rod end)

(5th Simulation result)

Şekil 7. Rotbaşının gerçek sıvama fotoğrafı ve 5. simülasyonun sonucu

(A photograph of real edge-form rolling of the tie rod end and 5th simulation result)

Dongsheng Qian ve arkadaşları Simufact Forming® yazılımı ile büyük küre şeklindeki valf gövdesinin proses optimizasyonunu sonlu elemanlar yöntemi ile yapmıştır [5]. Berkay Şanay yüksek lisans tezinde Pam-Stamp 2G sonlu elemanlar yazılımı ile Nakazima testi simülasyonu yaparak sac metal şekillendirmesinde plastik kararsızlık ve şekillendirme limitlerinin belirlenmesi konusunu incelemiştir [6]. K. Turgut Gürsel ve Serkan Çakır iki makaralı sıvama aparatı ile bir rotli sıvama operasyonunu inceleyerek sıvama ile monte edilen mekanizmalarda oluşan sıkıştırma kuvvetlerinin saptanması konusunda bir çalışma gerçekleştirmişler [1].

Rotbaşının sıvama işleminin gerçek sıvama durumu ile aynı durumu yansıtabilmesi için analizde kullanılacak olan malzemenin tüm özelliklerinin simülasyon içerisinde kullanılan malzeme verisine yansıtılması gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca üç makaralı sıvama aparatı ile sıvanmış olan rotbaşında göreceğiniz gibi sıvama işlemi esnasında kapakta da deformasyon gerçekleşmektedir. Bu tespit son analizde uygulanmış ve kapakta gözlemlenen deformasyonun gerçek durum ile aynı olduğu tespit edilmiş ve Şekil 7’de gösterilmiştir. Bununla birlikte bu simülasyon çalışması sonucunda sıvama işlemini gerçekleştirmek için 23 kN’luk kuvvete ihtiyaç olduğu belirlenmiştir. Yeni bir makine yatırımı yapılmak istendiğinde gerekli olan pres kuvvetini belirlemek için bu tarz simülasyon yazılımları yararlı olmaktadır. Son analizde 844,783 Mpa Gerilim ve 7,875 mm/mm gerinim değeri sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmanın neticesinde üç makaralı sıvama aparatı makaralarının radüslerinde tasarım doğrulaması yapılmıştır. Makaranın radüs ölçülerinin sıvama formunun oluşumuna etkileri saptanmış ve analizden elde edilen sonuçlar ile makaraların tasarımında geliştirme çalışmaları gerçekleştirilebileceği bulgusuna ulaşılmıştır.

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*, 17 (3), 143-156.
- [2]. Owen, D.R.J., and Hinton, E., (1982). *Finite Elements in Plasticity Theory and Practice*, Pineridge Press Limited.
- [3]. Kobayashi S., Oh, S., and Altan, T., (1989). *Metal Forming and the Finite Element Method*, Oxford University Press.
- [4]. Simufact Engineering GmbH, (2013). *Simufact Forming Basic*, 95-96.
- [5]. Qian, D., Mao, H., Deng, J., and Yue, J., (2014). Processing Optimization for Large Spherical Valve body based on FE Simulation, *Procedia Engineering*, 81, 2481-2487.
- [6]. Şanay, B., (2010). *Sac Metal Şekillendirmesinde Plastik Kararsızlık ve Şekillendirme Limitlerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.