

Sıkı Geçme Bağlantısı Yapılan GGG-60 Döküm Malzeme ile S275JR ve S355JR Çeliğinin Malzeme Etkisinin Deneysel ve Sonlu Elemanlar Metodu ile İncelenmesi

Kadir GÜNDOĞAN¹, Mustafa GİTMİŞ²

¹Uşak Üniversitesi; kadir.gundogan@usak.edu.tr

²Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Özet

Güç ve hareket iletiminde montajlama uygulamaları esnasında en fazla yapılan birleştirme işlemlerinden biri sıkı geçme bağlantılarıdır. Bu birleştirme mil ile göbek arasında sürtünme kuvvetinden oluşan basınç ile sağlanır. Üretim sahalarında kolay ve ekonomik olmasından dolayı tercih edilir. Özellikle otomotiv parçalarının montajlanmasında sıkça kullanılmaktadır. Bu çalışmada, GGG-60 küresel grafitli dökme demirin içyapısı incelenmiş olup, S275JR ve S355JR çelikten üretilmiş iki farklı malzeme ve sıkı geçme ile birbirine bağlanmıştır. Sıkı geçme bağlantılarının birbirinden ayrılma dayanımları basma – çekme testi ile deneylenmiştir. Yapılan deneyde ise farklı sıklık oranında en iyi sıklığın 0,17 – 0,23 arasında olduğu görülmüştür. Bu test verileri ile sonlu elemanlar metodu kullanılarak doğrulamaya gidilmiştir. Günümüzde üretim sahalarında montaj işlemleri için kullanılan akıllı (yük kontrollü) preslere uygun sıklık ve yüzey pürüzlülük değerleri verilerek iyi sonuçlar alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: S275JR çelik, S355JR çelik, GGG-60 dökme demir, Sıkı geçme bağlantısı, Sonlu elemanlar metodu, Yüzey pürüzlülüğü

Investigation of Material Effect on GGG-60 Casting Material AND S355JR Steel with Tight Junction

Abstract

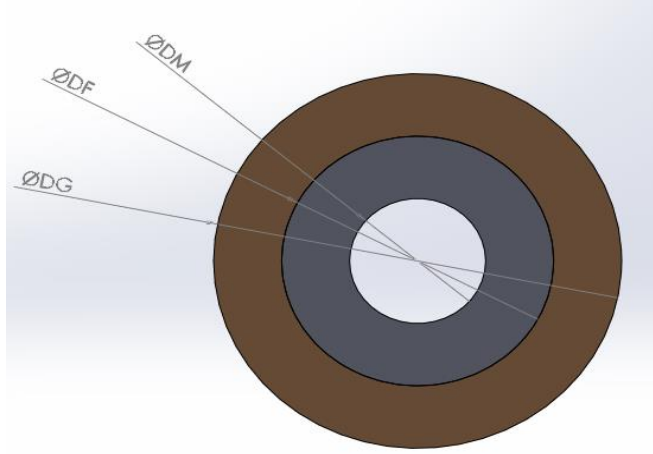
Tight junctions are generally preferred in production areas for easy and economically. Specially, mounted of automotive parts tight junctions are frequently used for merging operations. This operation provided between shaft and hub by friction composed on surface pressure. The minimum diameter of shaft must be bigger than maximum diameter of hole. The another meaning of this is that the lower limit of shaft tolerance bigger than upper limit. Tight functions have some tolerance about thick-walled pressure tube theorem. Different materials have different properties and for this reason these tolerances caused mistakes on production areas and returned items on markets. In this paper, structure of GGG-60 spherical graphite cast iron was studied and it was used in crankshaft. Two different materials were made of S275JR and S355JR steels and mounted by tight junctions with GGG-60. Also, before attachment dimensional measurements were done. When analyzed to experimental and finite element method done for tight junctions, there were differences on material type and surface porosity. According to finite element method, tightness ratio of three different materials were shared as analyze results. It was imported that for using tight junctions design it must be friction coefficient. For this reason, analyze result which was done on crankshaft were suggested. Also, experimental methods and finite element method were compared.

Key Words: S275JR steel, S355JR steel, GGG-60 casting iron, the tight fit connection, the finite element method, Surface roughness

1. Giriş

Güç ve hareket iletiminde kullanılan sıkı geçme bağlantıları otomotiv parçalarının montajlama işleminde kullanılır. Uygulamanın kolay ve ekonomik olmasından dolayı tercih edilmektedir. Mil ve göbek bağlantılarının malzeme elastikiyeti yüzünden birbirlerine sıkı geçerken basınç nominal olarak dağılım gösterir. İki yüzeyin sürtünme kuvvetinden oluşan basınç ile ortaya çıkar (Topçu & Karakaya, 1998). Bu basınç ise yüzeyin pürüzlülüğüne, sıkı geçme oranına, malzemenin yapısı gibi birçok etken neden olmaktadır. Bağlantı sırasında oluşan aksel ve radyal kuvvetleri karşılama mümkün kılınır. Bu basınç kalın cidarlı basınçlı tüpler teoremine dayanarak hesaplanmaktadır (Budynas & Nisbett, 2006).

Sürtünme kuvvetinden yanı sıra malzeme yüzeylerine basınç kuvveti olması gerekir. Sıkı geçmede milin minimum çapı deliğin maksimum çapından daha büyük olması gerekir. Bir başka anlamda mil toleransının alt sınırı delik toleransının üst sınırından daha büyüktür. Sıkı geçme bağlantıları, kalın cidarlı basınçlı tüpler teoremine göre uygulamaya alındığı ve sıkı geçme için belirli toleranslar bulunduğu bilinmektedir. Fakat bu toleranslar için malzeme farklılıkları gözetilmemiştir. Buna istinaden farklı malzemelerin, farklı sürtünme katsayıları olduğundan dolayı bu toleranslar, üretim sahalarında hatalara sebep olmakla birlikte otomotiv yan sanayi üreticilerinin (aftermarketing) ürünlerinde iade gelmesine sebep olmaktadır.



Şekil 1. Sıkı Geçme Bağlantılarında Boyutlar

$$p = \frac{Z_{min}}{D_F \left[\frac{1}{E_G} \left(\frac{D_G^2 + D_F^2}{D_G^2 - D_F^2} + \nu_G \right) + \frac{1}{E_M} \left(\frac{D_F^2 + D_M^2}{D_F^2 - D_M^2} - \nu_M \right) \right]} \quad (1)$$

Yukarıda bulunan eşitlik (Denklem 1) dikkate alındığında malzeme özelliklerinin sıkı geçme bağlantılarında önemli bir durum olduğunu dile getirmiştir. Fakat bu eşitlikte yüzey pürüzlülüğü dikkate alınmamış ve malzeme bağlı yüzey pürüzlülüğünün önemli bir durum olduğu bir araştırma ile doğrulanmıştır (Rende & Güven, 2015).

Sıkı geçme bağlantılarının tork iletimi esnasında oluşan basınç yüzeylere uygulanan basınç ile malzeme yorulup kırılabilir. Bu nedenle malzemeye uygulanan basıncın emniyetli bir şekilde tork iletebilmesi için Denklem 2 eşitliği ortaya çıkacaktır. Tork iletimi için minimum yüzey basıncı ve göbek dış çapının boyutsal ölçüleri önemli yer teşkil etmektedir (Moore, 1948).

$$T = p_{min} \cdot \pi \cdot D_F^2 \cdot l_f \quad (2)$$

Dobromitski ve Smith, 1986 yılında aksenal yüklerle maruz kalmış bir mil ve göbeğin aşınma yorgunluğuna maruz bırakarak gerilim dağılımını hesaplamıştır. Bu çalışmada hem kontak bağlantı hem de sürtünme nedeniyle oluşan kayma gerilme sonlu elemanlar metoduyla modellenmiştir (Dobromitski & Smith, 1986).

2. Yöntem

Sıkı geçme bağlantılarında malzemenin özelliklerinden elastiklik modülü ve poisson oranı önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu çalışmada mil olarak GGG – 60 küresel grafitli dökme demir ile S275JR ve S355JR çeliklerden üretilmiş iki farklı malzemenin yüzey pürüzlülüğü de esas alınarak sıkı geçme bağlantıları yapılmıştır. Bağlantılar yapılmadan önce sıklık değerlerini belirlemek için üç boyutlu koordinat sistem ölçüm cihazı (MITUTOYO CrystaApex C 574) ile üç farklı noktadan alınarak çap ve ovalliklerine bakılmıştır.

Mil olarak kullanılacak olan GGG – 60 dökme demirin 215 – 220 HB arasında sertlik olduğu ve iç yapısı incelendiğinde (Bkz. Resim 1.) ferrit yapıda olduğu görülmektedir. Kimyasal analizi ise Tablo 1. 'da % element sistemine göre, Tablo 2. 'de ise döküm malzemenin mekanik özelliklerine yer verilmiştir.



Şekil 2. GGG – 60 Küresel Grafitli Dökme Demir İçyapı (SEM) Görüntüsü

Tablo 1. GGG – 60 Dökme Demir Kimyasal Analizi

GGG - 60 Dökme Demir Kimyasal Analizi							
%C	%Si	%P	%S	%Mn	%Cu	%Mg	%Cr
3,6	2,388	0,022	0,01	0,462	0,516	0,058	0,046
%Ni	%Al	%Co	%Ti	%Nb	%V	%Mo	%Fe
0,043	0,007	0,009	0,011	0,001	0,007	0,026	92,794

Tablo 2. GGG – 60 Dökme Demir Mekanik Özellikleri

GGG - 60 Dökme Demir Mekanik Özellikleri	
Elastikiyet modülü (N/mm ²)	1,20E+20
Poisson oranı (N/A)	0.26
Yırtılma modülü (N/mm ²)	6500000000
Kütle yoğunluğu (kg/m ³)	7250
Gerilme mukavemeti (N/mm ²)	600000000
Akma mukavemeti	370000000
Termal genişleme katsayısı (1/K)	1.15e-005
Termal iletkenlik (W/(m·K))	58
Özgül ısı (J/(kg·K))	460

Göbek olarak kullanılan S275JR ve S355JR iki farklı malzemenin kimyasal yapısı Tablo 3. ve mekanik özellikleri Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 3. S275JR ve S355 JR Çeliklerin Kimyasal Analizi

S275JR ve S355JR Çelik Kimyasal Analizi		
%	S275JR Sıcak Çekim Boru	S355JR Soğuk Çekim Boru
C max.	0,24	0,27
Si max.	0,55	0,55
P max.	0,035	0,35
S max.	0,035	0,35
Mn max.	1,50	1,60
Cu	0,55	0,55
N	0,012	0,12

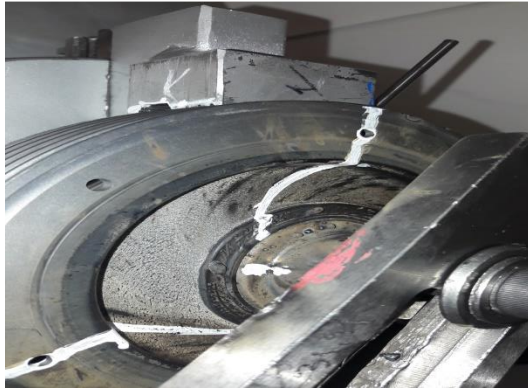
Tablo 4. S275JR ve S355JR Mekanik Özellikleri

S275JR ve S355JR Çelik Kimyasal Analizi		
Özellikler	S275JR	S355JR
Elastikiyet modülü (N/mm ²)	2,10E+20	2,10E+20
Poisson oranı (N/A)	0.28	0.28
Yırtılma modülü (N/mm ²)	7.9e+010	7.9e+010
Kütle yoğunluğu (kg/m ³)	7,80E+03	7,80E+03
Gerilme mukavemeti (N/mm ²)	3,60E+08	4,50E+08
Akma mukavemeti	2,35E+08	2,75E+08
Termal genişleme katsayısı (1/K)	1.1e-005	1.1e-005
Termal iletkenlik (W/(m·K))	1,40E+01	1,40E+01
Özgül ısı (J/(kg·K))	4,40E+02	4,40E+02

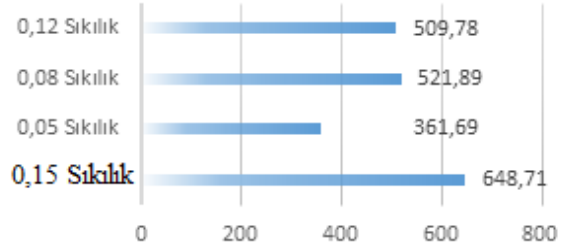
2.1. Deney Numuneleri

Krank kasnak imalatında kullanılan sıkı geçme bağlantıları önemli bir yer teşkil etmektedir. Deney numuneleri hazırlanırken Ford Focus, Mondeo, S-Max, Tourneo Connect gibi araçlarda kullanılan TVD kasnakta bulunan döküm göbek ve sac göbek farklı numuneler

olarak yük kontrollü preslerde montajlanmış ve daha sonra çekme – basma testi (LLOYD 5 – 50 kN kapasiteli) yapılarak sıkı geçme bağlantıları demontaj edilip ayrılmıştır.

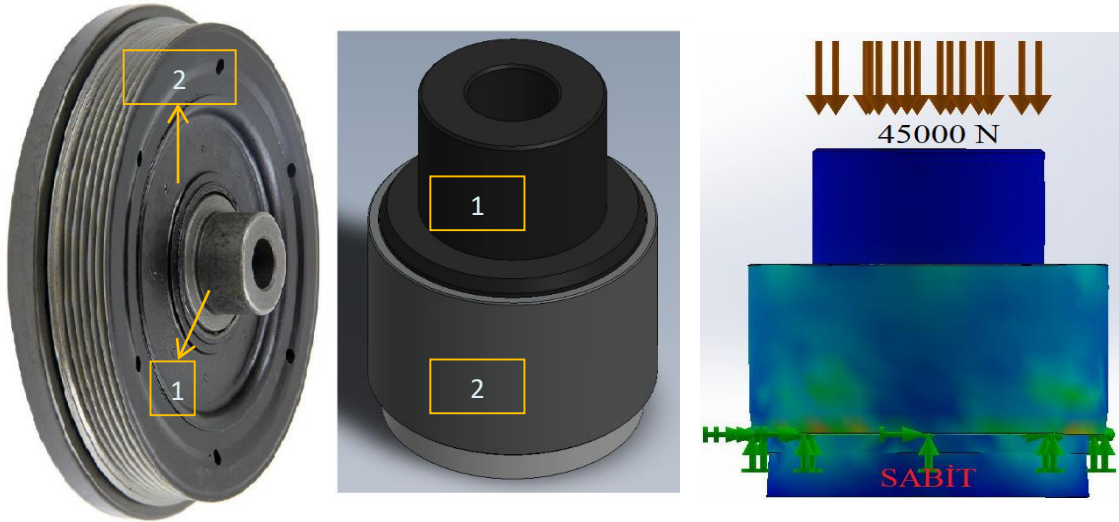


KAYMA TORKU (N)



Şekil 3. Torsional Vibration Damper Kayma Testi ve Kayma Torku Grafiği

Kasnağa uygulanan kayma testi Şekil 3.'deki gibi uygulanmış ve kayma torku grafiği verilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi önce kauçuk burulmaya başlamış ve daha sonra döküm göbek sac göbeğin içinde dönme momenti sağlamaya çalışılmıştır.



Şekil 4. Numune modeli (1. GGG – 60 Döküm Göbek; 2. Boru Göbek)

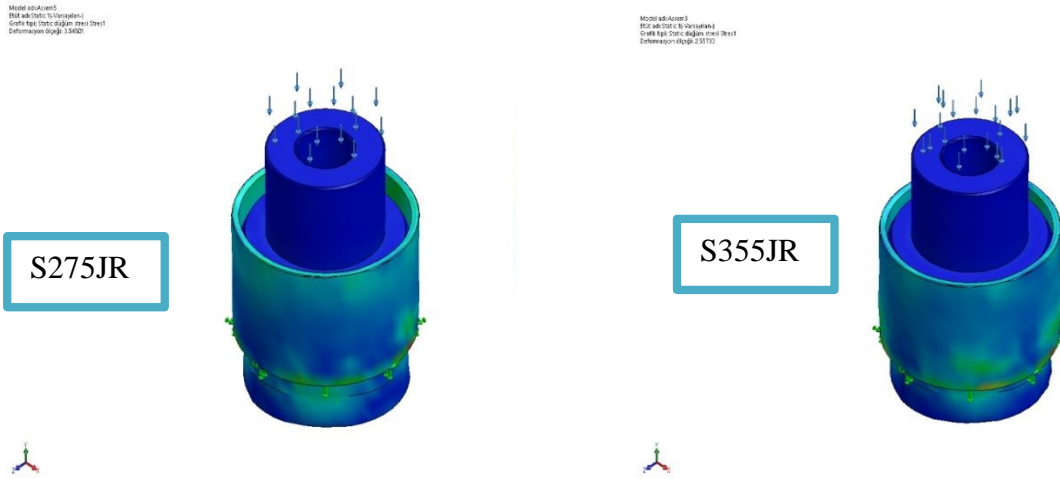
Şekil 4'te gösterilen modellerde döküm göbek (1) motora bağlantı yeri olduğundan mil görevini üstlenmektedir. Boru göbek ise burulma ve titreşimleri sönmülemek amacıyla kullanılan kauçuk ve kanallı ile döküm göbeğe birleşmesi sağlamıştır. Kayma testine tabi tutulduğunda öncelikle kauçuğun burulacağını ve daha sonra toplanması için flans ile bağlı döküm göbeğin toplanması gerekmektedir. Fakat uygun sıkılık olmadığı zaman boru göbek döküm göbeğin içerisinde dönme momenti gerçekleştirecek ve malzeme yorulmasına sebep olacaktır (Bkz. Şekil 3).

3. Bulgular ve Tartışma

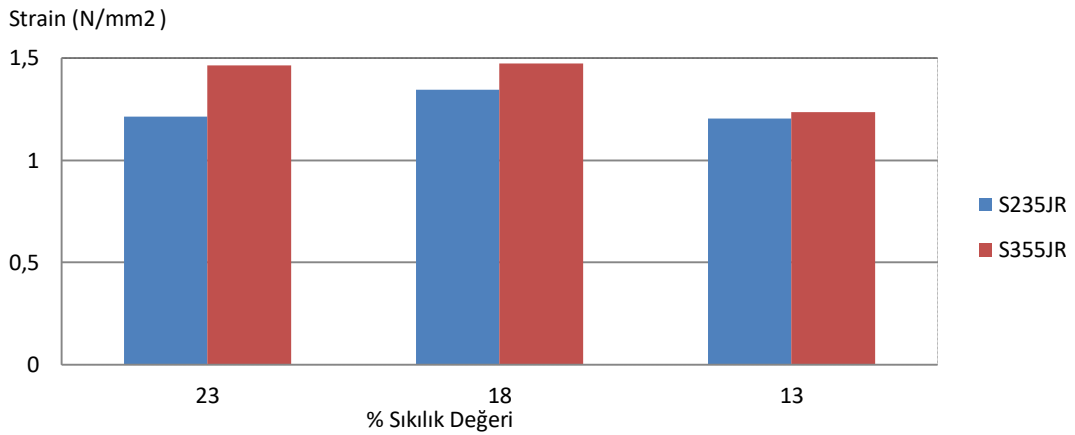
Deneysel verilere ulaşmadan önce en iyi sıkılık oranı sonlu elemanlar analizi ile bulunmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada SolidWorks çözümleyicisi kullanılmıştır. Çözünün deplasman değerleri ise boru göbekler sabitlenerek ortam sıcaklığında 45kN GGG – 60 dökme demirden –y ekseninde bir kuvvet uygulanmıştır. Çıkan bu sonuçlara göre de aynı deney çekme – basma testinde uygulanması ile doğrulamaya gidilecektir (Bkz. Şekil 4).

3.1. Sıkılık Oranı %23 Olan S275JR ve S355JR Malzemenin Gerilme ve Farklı Sıkılık Değerlerinin Gerilim Dağılımları

GGG – 60 dökme demirden imal edilen dış çap ölçüsü $\varnothing 42,33$ olan döküm göbek ile iki farklı akma ve çekme mukavemeti olan boru göbekler sonlu elemanlar metoduyla incelenmiştir. Von – Misses gerilmesine baktığımız zaman S275JR boru göbeğin dayanımı $2,67 \text{ N/mm}^2$ iken S355JR boru göbeğin dayanımı $5,060 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Ayrıca farklı sıkılık değerleri ile gerilim grafikleri ise Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. S275JR ve S355JR Boru Göbeklerin Von – Misses Gerilme Diyagramları

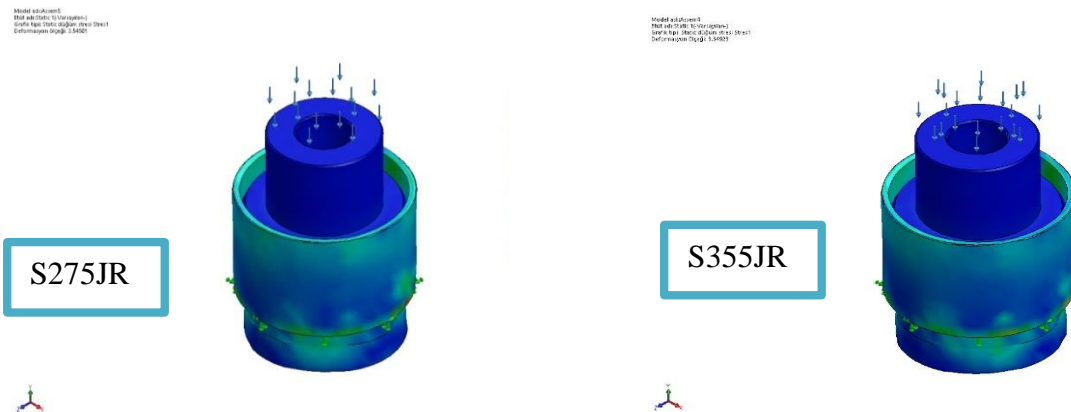


Şekil 6. S275JR ve S355JR Malzemelerin FEA Metoduyla Gerilim Değerleri

Şekil 6'da görüldüğü üzere sıklık değeri düştükçe gerilim değeri de iki farklı tip malzemede de düşmektedir. Gerilim malzeme için istenen bir durum değildir. Bu nedenle gerilim değerinin düşmesini gerilme dayanımının yüksek olmasını bulunmalıdır.

3.2. Sıklık Oranı %18 olan S275JR ve S355JR Malzemenin Gerilme Dağılımı

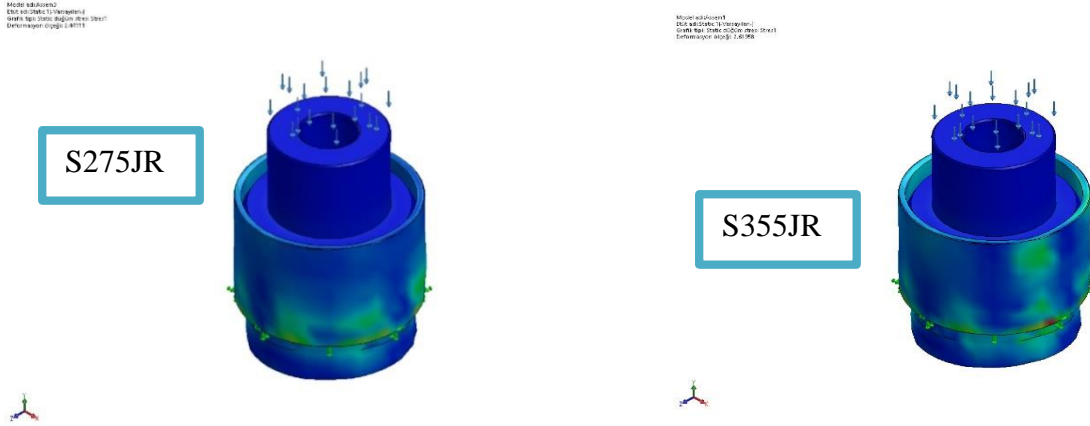
GGG – 60 dökme demirden imal edilen dış çap ölçüsü $\varnothing 42,33$ olan döküm göbek S275JR ve S355 JR 'den üretilmiş olan boru göbekler sonlu elemanlar metoduna göre 0,18 sıklık oranında Von – Misses gerilmesi S275JR boru göbeğin dayanımı max.3,072 N/mm² iken S355JR boru göbeğin dayanımı max. 4,125 N/mm²'dir.



Şekil 7. S275JR ve S355JR Boru Göbeklerin Von – Misses Gerilme Diyagramları

3.3. Sıklık Oranı %13S275JR ve S355JR Malzemenin Gerilme Dağılımı

GGG – 60 dökme demirden imal edilen dış çap ölçüsü $\varnothing 42,33$ olan döküm göbek S275JR ve S355 JR 'den üretilmiş olan ve iç çap ölçüsü $\varnothing 42,20$ boru göbekler sonlu elemanlar yöntemi ile Von – Misses gerilmesi S275JR boru göbeğin dayanımı maksimum 3,041 N/mm² iken S355JR boru göbeğin dayanımı maksimum 5,02 N/mm²'dir.



Şekil 8. S275JR ve S355JR Boru Göbeklerin Von – Misses Gerilme Diyagramları

Sıkı geçme bağlantısı yapılan S275JR boru göbekleri yüzey pürüzlülüğü dikkate alınarak aşağıda bulunan Tablo 5'te maksimum ayrılma mukavemetleri ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 5. GGG – 60 Dökme Demir ve S275JR Boru Göbeğinin Yüzey Pürüzlülüğü Sıkı Geçme Sonrası Çekme – Basma Mukavemet Değerleri

Numune	GGG-60 Döküm Göbek(mm)	S275JR Boru Göbek(mm)	Sıklık Değeri	Yüzey Pürüzlülüğü (R _a - µm)	Max. Yük (N)	Ortalama Yük (N)
1	42,33	42	0,33	1,162	15579	15056,0
2	42,33	42,002	0,33	0,849	15403	
3	42,33	42,006	0,32	1,072	14186	
4	42,33	42,042	0,29	0,919	15861	15206,7
5	42,32	42,043	0,28	1,505	14913	
6	42,32	42,046	0,27	0,827	14846	
7	42,32	42,103	0,22	1,53	15982	16034,3
8	42,33	42,103	0,23	1,026	16028	
9	42,33	42,099	0,23	1,058	16093	
10	42,33	42,152	0,18	1,085	16288	16350,0
11	42,33	42,148	0,18	1,055	15768	
12	42,33	42,138	0,19	1,302	16994	
13	42,33	42,204	0,13	0,963	15863	15799,0
14	42,33	42,199	0,13	1,144	14978	
15	42,33	42,202	0,13	1,507	16556	
16	42,33	42,25	0,08	1,016	10026	9181,7
17	42,33	42,247	0,08	0,798	8920,7	
18	42,33	42,264	0,07	0,997	8598,3	
19	42,33	42,31	0,02	0,885	4699,4	4787,2
20	42,33	42,305	0,02	1,024	4279,3	
21	42,33	42,309	0,02	1,075	5382,8	

Tablo 6. GGG – 60 Dökme Demir ve S355JR Boru Göbeğın Yüzey Pürüzlülüğü Sıkı Geçme Sonrası Çekme – Basma Mukavemet Değerleri

Numune	GGG-60 Döküm Göbek(mm)	S355JR Boru Göbek(mm)	Sıklık Değeri	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra- µm)	Max. Yük (N)	Ortalama Yük (N)
1	42,33	41,995	0,34	0,976	16415	17611
2	42,33	42,001	0,33	0,99	17895	
3	42,3	41,995	0,31	1,034	18522	
4	42,32	42,039	0,28	1,02	17219	18985
5	42,33	42,044	0,29	0,939	19336	
6	42,34	42,036	0,30	1,015	20401	
7	42,33	42,089	0,24	1,071	18274	19442
8	42,33	42,102	0,23	0,894	18976	
9	42,33	42,096	0,23	1,057	21075	
10	42,33	42,148	0,18	0,981	17441	17764
11	42,33	42,129	0,20	1,099	17652	
12	42,32	42,145	0,17	0,933	18199	
13	42,33	42,194	0,14	1,07	14412	15415
14	42,33	42,178	0,15	1,069	16907	
15	42,33	42,174	0,16	1,373	14927	
16	42,32	42,255	0,06	0,794	12426	12303
17	42,32	42,253	0,07	1,406	11289	
18	42,33	42,251	0,08	0,965	13194	
19	42,33	42,302	0,03	1,421	9202	7808
20	42,33	42,306	0,02	1,506	5170,2	
21	42,33	42,294	0,04	0,903	9052	

Yukarıda belirtilen Tablo 6'da dökme demir GGG – 60 ile S355JR sac boru göbeğın yüzey pürüzlülüğüne bağılı birbirinden ayrılma mukavemetleri verilmiştir. Bu sonuçlara göre kontrollü preslerde S355JR malzemenin daha iyi olduğı görülmüş ve smart (yük kontrollü) preslerde sonuçlara bakılmıştır (Bkz. Tablo 7).

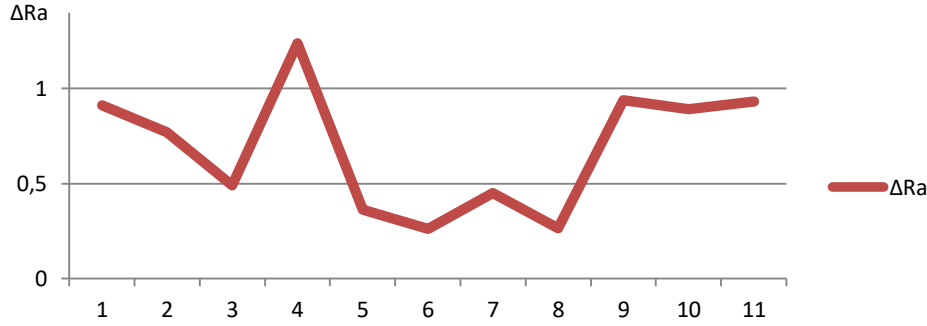
Tablo 7. GGG – 60 Dökme Demir ve S355JR Boru Göbeğın Yük Kontrollü Preslerde Montajlama Esnasında Oluşan Yük Değerleri

Numune	GGG 60 Döküm Göbek(mm)	S355JR Boru Göbek(mm)	Sıklık Değeri	Kontrollü Preste Basma Yüğü (kg)	Ortalama Pres Yüğü (kg)
1	42,33	41,995	0,34	1713	1650,33
2	42,33	42,001	0,33	1628	
3	42,3	41,995	0,31	1610	
4	42,32	42,039	0,28	1690	1687
5	42,33	42,044	0,29	1513	
6	42,34	42,036	0,30	1858	
7	42,33	42,089	0,24	1737	1720
8	42,33	42,102	0,23	1702	
9	42,33	42,096	0,23	1721	
10	42,33	42,148	0,18	1419	1447,33
11	42,33	42,129	0,20	1421	
12	42,32	42,145	0,17	1502	
13	42,33	42,194	0,14	1160	1152,33
14	42,33	42,178	0,15	1122	
15	42,33	42,174	0,16	1175	
16	42,32	42,255	0,06	1066	915,33
17	42,32	42,253	0,07	830	
18	42,33	42,251	0,08	850	
19	42,33	42,302	0,03	422	532,33
20	42,33	42,306	0,02	576	
21	42,33	42,294	0,04	599	

S355JR soğuk çekilmiş boru göbeklerin yük kontrollü akıllı preslerde montajlama esnasında oluşan yükler Tablo 7’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Ayrıca bu işlemten sonra tekrar demontaj edilen en fazla yük çeken numuneler için Tablo 8’de sıklık değerlerinin yüzey pürüzlülüğünde değişim ve Şekil 9’da değişim farkının grafiksel yorumu verilmiştir.

Tablo 8. S355JR Boru Göbeğın Sıkı Geçme Bağlantısından Önce ve Sonrasında Değişen Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Numune	Sıklık %	$R_{a,i}(\mu\text{m})$	$R_{a,i}(\mu\text{m})$	$\Delta R_a(\mu\text{m})$
1	0,33	1,162	0,252	0,910
2	0,33	1,076	0,306	0,770
3	0,32	1,072	0,583	0,489
4	0,29	1,505	0,267	1,238
5	0,28	0,827	0,465	0,362
6	0,23	1,026	0,766	0,260
7	0,23	1,058	0,609	0,449
8	0,17	1,109	0,845	0,264
9	0,19	1,193	0,253	0,940
10	0,13	1,507	0,615	0,892
11	0,12	1,230	0,300	0,930



Şekil 9. S355JR Boru Göbeğın Sıkı Geçme İşlemleri ile Değişen Yüzey Pürüzlülüğü

Montaj öncesi ve sonrası yapılan boyutsal (çapsal) bir değişim olup olmadığı ve değişim farkını ise Tablo 9’da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 9. S355JR Boru Göbeğın Sıkı Geçme Bağlantısından Önce ve Sonrasında Değişen Boyutsal Değişimler

Numune	Montaj Öncesi Ø S355JR	Montaj Sonrası Ø S355JR	ΔØ S355JR
1	42,000	42,26	-0,260
2	41,998	42,226	-0,228
3	42,006	42,253	-0,247
4	42,043	42,239	-0,196
5	42,046	42,222	-0,176
6	42,103	42,218	-0,115
7	42,099	42,219	-0,120
8	42,162	42,316	-0,154
9	42,141	42,205	-0,064
10	42,202	42,229	-0,027
11	42,206	42,236	-0,030

4. Sonuç

Otomotiv sektöründe birçok parçanın montajı sırasında uygulaması kolay ve ekonomik olmasından dolayı tercih edilmelidir. Sıkı geçme bağlantılarında yapılan sonlu elemanlar metodu hem de deneysel veriler incelendiği zaman malzeme tipine göre farklılıklar

olduğu ortaya konmuştur. Bu farklılıklar elastikiyet ve poisson oranı aynı (Tablo 2 ve Tablo 4) fakat akma ve çekme mukavemetleri farklı olan malzemelerde bile farklılık göstermektedir. Tablo 5. ve Tablo 6. ayrıntılı olarak incelendiği zaman ortalama yükün nominal sıklıktan sonra düştüğünü ve malzemelerin yüzeylerinden aşınarak sıkı geçme olduğu ve bu durumdan dolayı yorulduğu anlaşılmaktadır.

Sonlu elemanlar metoduna göre malzemelerin farklı sıklık oranlarında farklı gerilme – gerinme – yer değiştirmelere maruz kaldığı görülmektedir. Sonlu elemanlar yönteminde shrink – fit (sıkı geçme) bağlantısının olmaması global connection (normal bağlantı – aksenal temas) olması durumunda sonuçların değişkenlik göstereceği aşıkardır. Bu durumdan dolayı muhakkak sıkı geçme tasarımlarında analiz kullanılacaksa shrink – fit kullanılmalı ve sürtünme katsayısı belirtilmelidir.

Tablo 10. S275JR Sıkı Geçme Bağlantısında FEA ve Deneysel Yöntemin Karşılaştırması

Sıklık Değeri (%)	S275JR		
	Deneysel Yer Değiştirme (mm)	FEA Yer Değiştirme (mm)	%Hata
23	1,79	1,67	6,70
18	2,16	2,05	5,09
13	2,52	2,41	4,37

Tablo 11. S275JR Sıkı Geçme Bağlantısında FEA ve Deneysel Yöntemin Karşılaştırması

Sıklık Değeri (%)	S355JR		
	Deneysel Yer Değiştirme (mm)	FEA Yer Değiştirme (mm)	%Hata
23	2,21	2,13	3,62
18	2,64	2,426	8,11
13	2,43	2,25	7,41

Tablo 10. ve Tablo 11’de görüldüğü üzere S275JR ve GGG – 60 dökme demirin sonlu elemanlar ve deneysel metotla en fazla %6,70, S355JR ‘de ise %8,11 gibi bir değerin geldiği ve bu değerin yüzey pürüzlülüğü nedeniyle olduğu tespit edilmiştir. Analizde her iki malzeme tipinde sürtünme katsayısı 0,05 olarak belirlenmiştir. Fakat deneysel yöntemlerde farklı yüzey pürüzlülüğü olduğundan dolayı ortalama değerlerde hata oranı çıkmıştır.

Sonlu elemanlarda görülen gerinim değerlerin ise nominal sıklıktan sonra düştüğünü ve bu değerin aslında gerçek sıklıkla bağlantı olacağı görülmektedir. Şekil 6 incelendiğinde %18 sıklık oranının en iyi sıklık değeri olduğu ve bu değerin üstüne çıktığı zaman malzemede gerinme değerinin düştüğünü görmekteyiz.

Deneysel yöntemler ile bulunan birbirinden ayrıla değerlerinde ise yüzey pürüzlülüğünden ve sıklık oranı ile değişkenlik göstermektedir. Örneğin aynı sıklık oranına sahip numune yüzey pürüzlülüğü R_a yüksek olanın daha fazla mukavemet gösterdiği görülmektedir. Bu durumda üretim sahalarında kullanılması gereken en iyi sıklık oranı belirtilirken yüzey pürüzlülüğü de düşünülerek tolerans verilmesi gerekir.

Tablo 12. S355JR Sıkı Geçme Bağlantısının Yük Kontrollü Preslerde ve Basma Çekme Testinde % Hassasiyetleri

Numune	Yük Kontrollü Preslerde Ortalama Basma Yüğü (N)	Basma - Çekme Testinde Ortalama Basma Yüğü (N)	% Hassasiyet
1	16189,77	17611	0,01
2	16549,47	18985	0,01
3	16873,2	19442	0,01
4	14198,34	17764	0,01
5	11304,39	15415	0,01
6	8979,42	12303	0,01
7	5222,19	7808	0,02

Tablo 12’da görüldüğü üzere yük kontrollü preslerde kg cinsinden sonuç verdiği için fakat çekme – basma test düzeneğinde ise N değerler vermektedir. Burada değişkenliğin temel nedeni budur. Bu değişkenlikler ve deneysel veriler neticesinde yük kontrollü preslerde bu kasnak montaj işlemine tabi tutulduğunda minimum değer 1400 kg maksimum yük ise 1700 kg (Bkz. Tablo 7) olarak en iyi sıklık POKE – YOKE yöntemi ile parçaların boyutsal ölçüleri kontrol edilebilir.

Sıklık değerlerinin değişimi içerisinde sıkı geçme bağlantısından sonra yüzey pürüzlülük değerleri değişkenlik göstermektedir. Bu durum Tablo 8. incelendiğinde Ra değerinde düşmelere sebep olmaktadır. Şekil 9' da ise sıklık oranında bağımsız bir yüzey pürüzlülüğün değiştiğini görmekteyiz.

Sıklık değerinin değişmesiyle Tablo 9. 'da görülen boyutsal (çapsal) değişimler olmaktadır. Bunun nedeni ise sıkı geçme yapılan milin iç çapının malzemeyi genişleterek geçmesi durumudur. Sıklık oranı azaldıkça boyutsal değişmelerde azalacaktır. $\varnothing 42,33$ ölçüsü olan GGG – 60 dökme demirin, $\varnothing 42,00$ – $\varnothing 42,30$ arasında değişen çapları $\varnothing 42,20$ – $\varnothing 42,26$ arasında değişmesini sağlamıştır. S355JR ile üretilen boru göbeklerde bu değişimin olması numunelerin genişlemesine ve yüzey pürüzlülüğünün değişmesine neden olmuştur.

Sıkı geçme bağlantı analizlerinde çıkan hatalarda göz önüne alınarak, deneysel yöntemler kullanılmadan önce analiz edilmesi durumunda zaman, işçilik ve maliyet gibi kazançların olacağı unutulmamalıdır.

Krank kasnağı gibi ürünlerin krank miline bağlanmasında ISO – 286 gibi standartların uygulamasının yerine kullanılan malzeme tipinin ve kullanım yerinin önemli olduğu bu durumda ise aftermarketing gibi çalışan firmalara iade oranının düşmesi beklenmektedir.

GGG – 60 dökme demir üzerinin mangan fosfat yerine dikatyum fosfat ya da uçucu bir yağ ile yağlanması farklı sonuçlar doğurduğu düşünülmektedir.

Terminoloji

p : Yüzey Basıncı

D_F : Göbek Dış Çapı

E_G : Göbek Elastide Modülü

E_M : Mil Elastide Modülü

ν_G : Göbek Poisson Oranı

ν_M : Mil Poisson Oranı

Z_{min} : Minimum Sıklık Oranı

R_a : Yüzey Pürüzlülüğü

T: İletilmesi Gereken Tork

p_{min} : Minimum Yüzey Basıncı

l_f : Geçme Temas Uzunluğu

S275JR: St 44 Çelik Sac Boru, A.283 Gr. D-A, 1.0143, SAE 1020,

S355JR: St 52 Çelik Sac Boru, A.678 Gr. D-A, 1.0045

GGG – 60: EN – GJS – 600, DDK 60, ASTM 80 – 60 – 03

5. Kaynakça

Topcu, M., ve Karakaya H. (1998). Kompozit malzemeden yapılmış makine parçalarının sıkı geçme durumunda gerilme analizi. *PAÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(3), 699 – 707.

Budynas, R. G. ve Nisbett, J. K. (2006). *Shigley's Mechanical Engineering Design*. USA:McGraw-Hill.

Rende, H. ve Güven, F. (2015). Sıkı geçme bağlantılarında malzemeye bağlı yüzey pürüzlülüğü kayıp katsayısının belirlenmesi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 56(665), 46 – 52.

Moore, A. J. W., (1986). *Deformation of Metals in Static and in Sliding Contact*. Proc. R. Soc. London, 195, 231-244.

Dobromitski, J. ve Smith, I. O. (1986). A Stress Analysis of a Shaft with a Press-Fitted Hub Subjected to Cyclic Axial Loading. *Int. J. Mech. Sci.*, 28(1),41-52.

Ike H., ve MakinouchiA. (1990). Effect of Lateral Tension and Compression on Plane Strain Flattening Processes of Surface Asperities Lying Over a Plastically Deformable Bulk, *140(1)*, 17 – 38.

Çetintav, I. (2014). *Farklı malzemeler kullanılarak üretilmiş bimetalik malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Trakya Üniversitesi FBE, Edirne.

Turan K. ve Gür, M. (2012). Pim bağlantılı tabakalı kompozit levhalarda ilerlemeli hasar analizi. *Dicle Üniv. Müh. Mühendislik Dergisi*, 3(2), 91 – 99.

Hirakawa, K., Toyama, K. ve Kubota, M., (2005). The analysis and prevention of failure in railway axles, *Int. J. Fatigue*, 20(2), 135-144.

Smith, R.A. (2005). Railway fatigue failures: An overview of a long-standing problem, *Mat. – wiss.u. Werkstofftech*, 36, 11.

Ekberg, A. (2004). Fretting Fatigue of Railway Axles-A Review of Predictive Methods and an Outline of a Finite Element Model, *Proc. Instn. Mech. Engrs., Part E*, 218.

Extended Abstract

One of the most common joining processes during power and motion transmission assembly applications is tight junctions. This coupling is provided by the pressure created by the frictional force between the shaft and the hub. It is preferred because of its easy and economical production on the fields. It is frequently used especially for the assembly of automotive parts. Apart from the frictional force, there must be a pressure force on the material surfaces. The minimum diameter of the shaft must be greater than the maximum diameter of the hole. In other words, the lower limit of the shaft tolerance is greater than the upper limit of the hole tolerance. It is known that tight fitting connections are applied according to the thick-walled pressure tube theory and there are certain tolerances for tight fitting. However, material differences have not been observed for these tolerances. Due to the different friction coefficients of different materials in this context, these tolerances lead to faults in the production areas and to be returned in the products of automotive aftermarketing. In this study, the internal construction of GGG-60 spheroidal graphite cast iron was investigated and bonded with two different materials produced from S275JR and S355JR steel and tight fit. The modulus of elasticity and the ratio of poisson are important factors in the properties of materials in the tight junctions. In this study, two different materials made from GGG - 60 spherical graphite cast iron and S275JR and S355JR steel were used as the shaft, and the surface roughness of the two different materials was tightly connected. Before the connections were made, the diameter and ovality were measured from three different points with a three-dimensional coordinate system measuring instrument (MITUTOYO Crysta Apex C 574) to determine the tightness values. While the test samples were being prepared, the casting hub and the steel hub in the TVD pulley used in vehicles such as Ford Focus, Mondeo, S-Max and Tourneo Connect were assembled in load-controlled presses as different samples and then subjected to a pull-out test (LLOYD 5 to 50 kN capacity) the connections have been disassembled and separated. The separation strengths of the tight - fitting connections were investigated experimentally by compression - pull test. In the experiment, it was found that the best tightness in different tightness ratio is between 0.17 - 0.23. This test data was used to validate using the finite element method. In this study, the SolidWorks package program was used for end-of-line element analysis. The surface roughness values vary after tight fitting in the variation of the tightness values. This causes a decrease in Ra. At the same time, an independent surface roughness has been changed in the tightness ratio. Dimensional changes occur due to the change in the value of the firmness. The reason for this is that the inner diameter of the tightened shaft is widening the material. As the tightness rate decreases, the dimensional changes will decrease. GGG - 60 cast iron with dimensions $\varnothing 42,33$, $\varnothing 42,00$ - $\varnothing 42,30$ varying diameters between $\varnothing 42,20$ - $\varnothing 42,26$. This change in pipe core produced with S355JR caused the samples to expand and the surface roughness to change. Taking into account the mistakes in the rigorous connection analysis, it should not be forgotten that when analyzed before using experimental methods, there will be gains such as time, labor and cost. Today, good results have been obtained by giving appropriate tightness and surface roughness values to intelligent (load-controlled) presses used for assembly operations in production areas.