

Sıcak Pres Birleştirme Yöntemi ile Kilitlenen Bölgelerde Dayanımın İyileştirilmesi

Sanayide ve literatürde presle sıcak birleştirme (kilitleme) olarak adı geçen mil ve borunun birbirine rijit bağlanmasını sağlayan yöntemde borunun mil ile kilitlenmesi plastik şekillendirme ile yapılmaktadır. Bu çalışmada iç mil malzemesi olarak C45 (Ç1050) çelik ve boru malzemesi olarak S355 (ST-52) malzeme kullanılarak numuneler hazırlanmıştır. Plastik şekillendirme esnasında oluşan gerilme yığılmaları ve çatlaklar malzemenin ömrüne doğrudan etki etmekte ve ömrünü kısaltmaktadır. Sıcak şekillendirme, malzemenin östenitleme sıcaklığına kadar ısıtılıp, bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletildikten sonra pres altında form verilip soğutulması adımlarından oluşmaktadır. Proses, Türkiye otomotiv sanayisi için yeni bir yöntemdir. Bu yöntemde sıcak şekillendirme prosesinde kullanılan malzemelerin karakterleri iyi tanınmalıdır. Sıcak Pres birleştirme ile üretilmiş hasarlı parçalar incelendiğinde, kilitleme bölgesinden kırılma, çatlama ve kopmaların olduğu tespit edilmiştir. Bu araştırmada kilitleme bölgesinde gözlenen zayıflatıcı etkilerin önüne geçilerek prodesten ve yöntemden doğan eksikliklerin giderilmesi, mukavemet ve ömrü artırmak için gerekli iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle bilgisayar destekli analiz yöntemleri kullanılarak en uygun kilitleme profilinin tasarlanması, sıcak presleme prosesi için optimum sıcaklık ve ısıtma/soğuma hızlarının belirlenmesi, alternatif parametrelerle üretilmiş gerçek (otomotiv üzerinde çalışan) parçalar üzerinde test ve analizler yapılması suretiyle belirlenen profil ve plastik şekillendirme parametrelerinin üretim sonrasında oluşan iç gerilme, çatlak, sertlik ve mekanik mukavemet değerlerine etkisi belirlenerek optimum değerler tespit edilerek kilitleme bölgesi mukavemeti artırılmıştır.

Bu proje TÜBİTAK ARDEB 3001 projesi kapsamında 214M346 proje kodu ile desteklenmiştir.

Anahtar kelimeler: Sıcak Presle Birleştirme, Presle Kilitleme, Sıcak Kilitleme, Sıcak büzme, Sıcak Şekillendirme

Mustafa Göz

mustafagoz@windowslive.com,
mustafa.goz@sampa.com

Sampa Otomotiv San. ve Tic. A.Ş.
Samsun, 05434627121

1 GİRİŞ

Otomotiv yan sanayi sektöründe yeni malzemeler, ileri tasarım ve yapım teknolojilerinin kullanımı, yeni üretim süreçleri ülke ekonomisi açısından olduğu kadar çevre ve yaşam kalitesi açısından da büyük önem taşımaktadır. Yeni malzemeler, ileri tasarım ve yapım teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulamada hayata geçirilebilmesi için bu konularda Araştırma-Geliştirme çalışmalarının yapılması kaçınılmazdır.

Son yıllarda gelişmiş ülkelerin otomotiv yan sanayi sektöründe Ar-Ge çalışmalarının önemi, sektörün verimliliği ve uluslararası rekabette

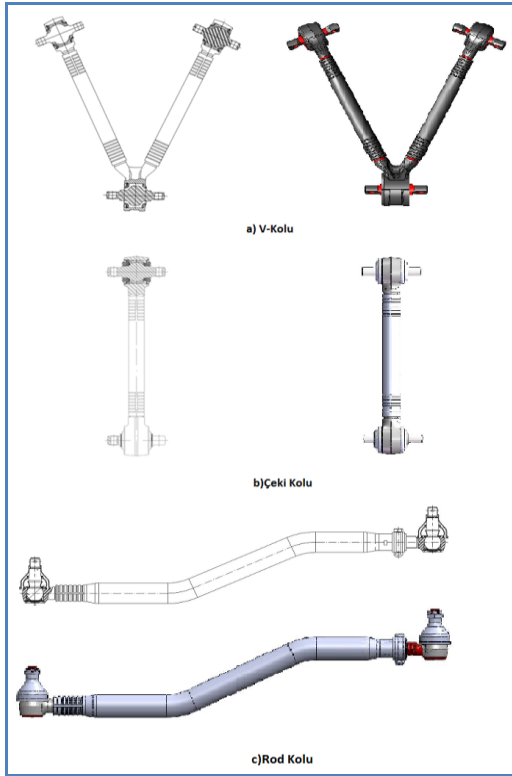
sağlayabileceği avantajlar daha iyi kavranmaya başlanmıştır. Firmalar rekabet güçlerini arttırabilmek için her geçen gün piyasaya özgün ürünler sunmaktadırlar.

Otomotiv sektöründe, özellikle de ağır vasıtalarda (kamyon, otobüs, çekici vb.) kullanılan ve sürüş esnasında büyük yüklerle karşı çalışan V-Kolları yüksek çekme, basma, burulma ve eğilme gerilmelerinin tamamına maruz kalmaktadır. Bu çalışmada, yüksek mukavemete sahip, yol dışı (off-road) şartlarda çalışabilen V-Kollarının yerli kaynaklarla ve sektörden gelen teknik istekler doğrultusunda geliştirilerek üretilmesi amaçlanmaktadır.

V – Kolu: Taşıtın hareket etmesi sonucu, yoldaki zeminin formuna bağlı olarak tekerleklerde oluşan kontrolsüz aksel, radyal ve torsional hareketler aks gövdesine taşınır. Aks ile taşıt gövdesi arasına bağlanan V-kolu, istenmeyen bu kontrolsüz hareketleri taşıt gövdesinde genliği düşük kontrollü ve limitli salınım hareketlerine dönüştürmektedir.

Çeki Kol: Taşıtın hareket etmesi sonucu yoldaki zeminin formuna bağlı olarak araç eksenini boyunca tekerleklerde oluşan aksel kontrolsüz hareketler aks gövdesi üzerinden araç şasesine taşınır.

Rot kolu: Rot kolu iki rot başını birbirine bağlayan uzun bir çubuktan oluşur ve direksiyon dişli kutusundan aldığı hareketi tekerleklerle ileterek aracın sağa - sola yürütülmesini sağlar.



Resim 1. a) V-Kolu, b) Çeki Kolu, c) Rod Kolu

Yapılan çalışmaların gerçek ağır otomotiv sanayi parçaları (V kolu, çeki kolu, rod kolu) üzerinde gerçekleştirilmiş olmasıyla, proje sonucunda oluşan bilgi ve deneyimin daha ileri bir noktaya taşınması ve Türkiye'nin bu konuda takip eden değil edilen konumuna erişmesi için proje kapsamında edinilen bilgi birikiminin yaygınlaştırılması da amaçlanmaktadır.

A. Serdar Önal [20] tarafından hazırlanan makalede sıcak şekillendirme işleminin otomotiv sanayiinde kullanımı ve uygulanma şekilleri hakkında genel bilgiler içermektedir. Ayrıca makalede plastik şekillendirme sonrasında içyapı değişimleri ve sıcak şekillendirme yöntemleri hakkında bilgi de vermektedir. Ayrıca yapılan çalışmada sıcak şekillendirme prosesinde kullanılan malzeme özellikleri açıklanmakta, sıcak şekillendirme yönteminin soğuk şekillendirme yöntemine göre üstünlükleri ve prosesin dezavantajları belirtilmektedir. Zakir Taş [24] yaptığı çalışmada termo-mekanik haddeleme sonrasında hızlı soğutma ile kombine edilmiş yöntemin, termo-mekanik haddeleme ve normal tavlama yöntemi ile karşılaştırıldığında daha yüksek akma mukavemetine ulaşabildiğini göstermektedir. Böylelikle belli bir akma veya çekme mukavemetinde, daha az alaşım, yani daha hesaplı (ucuz) kimyasal bileşime ulaşılabilir ve aynı zamanda daha düşük karbon eşdeğerliliğinden ötürü kaynaklanan düşük akma mukavemeti özelliğinin ve kusurların iyileştirilir olduğu sonucuna ulaşmıştır. Ş. Y. Güven [11], AISI 1030 çeliğinin optimum deformasyon sıcaklığını ve deformasyon hızının saptanması amacı ile 700 °C, 730 °C ve 980 °C deformasyon sıcaklıklarında ve 0.1 ile 2.0 cm/dk. çekme hızı aralığında çekme cihazında çekme deneylerini yapmışlar ve deney sonuçlarının değerlendirmesi sonucunda AISI 1030 çeliği için uygun deformasyon şartları saptanması için çalışmış ve AISI 1030 çeliğinden üretilen yuvarlak çubuklarda küçük taneli bir içyapı oluşturulduğu takdirde, bu çeliklerde de süper-plastik özelliğin elde edilebileceği sonucuna varmışlardır. D. H. Kim ve arkadaşları [14] aşınma ve sıcak dövme işlemlerinde, kalıp plastik deformasyonuna dayalı, kalıp ömrünün tespit edilmesi yöntemi üzerine çalışmışlardır. Kalıp ömrünün yüksek ısı yükü ve uzun temas süresi nedeni ile önemli ölçüde deforme olduğundan ve malzeme üzerinde termal yumuşama meydana geldiğinden bahsedilmiştir. Önerilen metotların uygulamaları sayesinde yerel sıcaklık yükselmesinden dolayı kalıpta termal yumuşama meydana gelmektedir ve sıcak dövme servis ömrünü plastik deformasyon aşınmadan daha çok azaltmaktadır, sonucuna varmışlardır. Kejanlı H. , Çalgılı U. arkadaşları [5-12-13-15] kaynak yöntemleri ve difüzyon kaynağının bağlantı üzerine etkileri ile ilgili çalışmalar yürütmüşler ve difüzyon kaynağının ve süresinin bağlantı karakteristiğine etkileri üzerine çalışmışlardır. Ayrıca B. Kurt ve arkadaşları [4-16-19] difüzyon kaynağı yöntemi ile farklı malzeme çiftleri için ara yüzey mikro yapı incelemeleri gerçekleştirmişlerdir, bu yöntem kullanılarak yapılan bütün birleştirmelerde, artan sıcaklığa ve süreye paralel olarak kaynağın mekanik özelliklerinin iyileştiği tespit edilmiştir

Yine Literatürde teorik analiz yazılımlarının da metal şekillendirme üzerinde etkin bir şekilde kullanıldığı görülmektedir [22]. Arif Gök ve arkadaşları [9] tarafından yapılan çalışmada non-linear sonlu elemanlar yazılımı (DYNAFORM 5.0) kullanılarak, AISI 1017 çelik sac malzemenin derin çekilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda analiz şartları ile benzer deneysel derin çekme işlemi gerçekleştirilmiştir. Analiz ve deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, DYNAFORM yazılımı ile deneysel sonuçlar arasındaki tutarlılık belirlenmiştir. Yanjin Guan ve arkadaşları [10] visko plastik metalleri Galerkin yöntemine göre simülasyonlarını yaparak metallerin analizlerini yapmışlardır. Bu çalışmada FEM yöntemi ve meshsiz “ağırsız” yöntemleri ile plastik deformasyon işlemi uygulayarak farklı iki yöntemde 12mm lik strok da elde edilen etkin gerilim dağılımı incelenmiştir. Elde edilen veriler ile FEM yöntemi ile yapılan analiz ile ağırsız analiz yöntemi ile yapılan analiz yöntemlerinin örtüşmekte olduğu ve birbirlerini doğruladıklarını tespit etmişlerdir, Ping Lu vd. [17] visko plastik metalleri Galerkin yöntemine göre simülasyonlarını yapmıştır, metal şekillendirme sürecinin sayısal örnekler rigid-plastic/viscoplastik malzemelerin akışı, alan değişken dağılımları Galerkin yöntemine göre analiz edilmiştir. Sonlu eleman yöntemi metodu ile elde edilen sayısal analiz sonuçları ve deneysel olarak elde edilen sonuçların uyum içinde olduğunu tespit etmişlerdir. K. Mori [18] sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapmış olduğu çalışmada, metallere plastik deformasyon ile diyagonal matris uygulayarak metal şekillendirme prosesini simüle etmişlerdir. Bu yöntemde, her bir düğüm noktasında bağlanmamış denge denklemleriyle art-arda büyük küresel matrisler hesaplamışlardır. Bu düğüm noktalarının sayısı ile işlem zaman hızındaki azalmaya yol açtığı sonucuna ulaşmışlardır. Stanislaw Stupkiewicz [23] yaptıkları çalışmada metal şekillendirme üzerine plastik deformasyon hesabı ile gerçek temas alanı değişim olgusunun modellenmesi üzerine model deformasyonları yaparak sertliğin deformasyona etkilerini ve yüzey tabakasının zayıflama etkilerini ortaya koymaya çalışmışlardır. Stanislaw Stupkiewicz ve Zenon Mro’z, pürüzlü yüzeyin düzleşmesi, metal şekillendirme işlemlerinde gerçek temas alanının değişimi ve plastik deformasyon etkisinin tanımlanması için yeni bir yaklaşım ileri sürmüştür. Bulk gerilmesine bağlı olarak gerçek temas alanı değişim öngörülerini ile mikro-mekanik modellerin öngörülerini deneysel çalışmaların sonuçları karşılaştırılarak modelin uygulanabilirliği örneklenmiştir.

Yapılan literatür araştırmaları neticesinde konuyla ilgili çalışmaların 2000 yılı sonrasında yoğunluk kazandığı ve artarak devam ettiği gözle

çarpılmaktadır. Yapılan çalışmaların büyük bir kısmının sac metallere, sac metallerin şekillendirilmesi ve birleştirme teknikleri/parametreleri üzerine yoğunlaştığı, sıcak pres birleştirme yöntemi ve bunun endüstriyel uygulamaları ile ilgili deneysel çalışmaların ise sınırlı kaldığı dikkat çekmektedir. Ayrıca, sıcak pres birleştirme yöntemi kullanılarak düşük alaşımlı imalat çeliklerinin plastik şekillendirilmesi ve sonlu elemanlar analiz yöntemleri kullanılarak profil optimizasyonu sağlayacak teorik ve deneysel çalışmaların birlikte gerçekleştirildiği bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda sıcak presle birleştirme konusunda önemli bir boşluğun olduğu görülmüştür ve proje kapsamında gerçekleştirilecek çalışmaların bilim ve sanayi uygulamalarına önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu birleştirme/kilitleme işlemi farklı yöntemler ile de üretilebilir özellikle olsa da diğer yöntemlere kıyas ile avantajları göz önüne alındığında belirgin farklar ortaya çıkmaktadır. Aynı kilitleme işlemi sürtünme kaynağı, diğer kaynak yöntemleri uygulanarak ve farklı imalat yöntemleri kullanarak da imal edilebilir. Fakat sürtünme kaynağı yönteminde yeni makine maliyeti ve simetrik, silindirik olmayan malzemelerin kaynağına imkan vermemesi, imalatın dinamik kuvvetlere dayanımının az olması gibi dezavantajları mevcuttur. Diğer imalat yöntemlerinden olan döküm ve dövme yöntemleri ile ürünün yekpare üretilmesi mümkündür fakat maliyet açısından ve ayrıca parça ağırlığının yüksek olması nedenlerinden dolayı sıcak pres birleştirme yöntemine kıyasla dezavantajları söz konusudur. Bu diğer imalat yöntemleri ile kıyaslandığında, sıcak pres birleştirme yöntemi; hafiflik, maliyet ve kalite açısından öne çıkan bir imalat yöntemidir.

2 MATERYAL ve YÖNTEM

Son yıllarda plastik şekil verme metodları diğer üretim metodlarında olduğu gibi bir sürekli gelişme içindedir. Malzeme, işçilik ve enerji fiyatlarında artış, takım yapımı ve tasarım aşamasında kişiye bağlılığın dolayısı ile hataların azaltılması ve tabii ki bilgisayar teknolojisi plastik şekil verme metodlarında gelişmeye sebep olan en önemli etkenlerdir. Yüksek dayanımlı malzemelerin gelişimi ve bu tip malzemeleri kullanarak yapılan imalatta esnekliği artırmanın ve rekabet ortamında maliyeti düşürmenin en önemli yolu üretim girdilerini azaltmaktan geçtiği için, malzeme enerji tasarrufu açısından oldukça önemli faydalar sağlayan ancak eskiden kullanılmakta olan artımlı ve lokalize şekil verme metodları yeniden gündeme gelmiştir [6].

Sıcak Pres Birleştirme Yöntemi, özellikle V kolu, Çeki kolu ve Rod kolu gibi (Resim 1) otomotiv parçası ürünlerde kullanılan bir kilitleme-birleştirme yöntemidir. Bu yöntem ısıtılan parça/parçaların, açık kalıpta presleme yöntemi ile plastik şekillendirilmesi esasına dayanan bir birleştirme/kilitleme yöntemidir (Resim 3). Bu çalışmada iç mil malzemesi olarak C45 (Ç1050) çelik ve boru malzemesi olarak S355 (St-52) yapı çeliği malzeme kullanılarak numuneler hazırlanmıştır, kullanılan malzemelere ait kimyasal özellikler ve mekanik özellikler Tablo.1 ve Tablo.2 de paylaşılmıştır.

Tablo 1. Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Malzeme	Sınıf	Akma Mukavemeti	Çekme Dayanımı	%Uzama Min.
St-52 (S355)	Yapı Çeliği	355	510-650	20
C45 (Ç1050)	İslah Çeliği	330	590-735	17

Tablo 2. Kullanılan Malzemelerin Kimyasal Özellikleri

Sınıf	C	Si	Mn	P	S	N
St-52 (S355)	0,1 5 0,2 0	0,2 0,4	1,2 1,5	0,0 4	0,0 4	0,009
C45 (Ç1050)	0,4 2 0,5 0	0,4 0	0,5 0 0,8 0	0,0 45	0,0 45	-

Bu birleştirme/kilitleme işlemi farklı yöntemler ile de üretilebilir özellikte olsa da diğer yöntemlere kıyas ile avantajları göz önüne alındığında belirgin farklar ortaya çıkmaktadır. Aynı kilitleme işlemi sürtünme kaynağı, diğer kaynak yöntemleri uygulanarak ve farklı imalat yöntemleri kullanarak da imal edilebilir. Fakat sürtünme kaynağı yönteminde yeni makine maliyeti ve simetrik, silindirik olmayan malzemelerin kaynağına imkan vermemesi, imalatın dinamik kuvvetlere dayanımının az olması gibi dezavantajları mevcuttur. Diğer imalat yöntemlerinden olan döküm ve dövme yöntemleri ile ürünün yekpare üretilmesi mümkündür. Fakat maliyet açısından ve ayrıca parça ağırlığının yüksek olması nedenlerinden dolayı sıcak pres birleştirme yöntemine kıyasla dezavantajları söz konusudur. Bu diğer imalat yöntemleri ile kıyaslandığında, sıcak pres birleştirme yöntemi; hafiflik, maliyet ve kalite açısından öne çıkan

bir imalat yöntemidir. Fakat plastik şekillendirmeden kaynaklı düzensizliklerin ve farklı malzeme çiftleri için uygun parametrelerin bilinmemesinden dolayı ürünlerde kırılmalar, çatlaklar vb. kusurlar meydana gelebilmektedir (Resim 2).



Resim 2. V-Kolu Kırılma Örnekleri



Resim 3. Sıcak Pres Birleştirme Yöntemi

Sıcak pres birleştirme yönteminde mil ile borunun birbirine kenetlenmesi için dalgalı bir form kullanılmakta ve bu form üzerinden boru yüzeyi ile birleştirilecek milin birbirine kilitlenmesi plastik şekillendirme ile sağlanmaktadır. Bu profilin yüzeyi, kenetleme alanının artırılması ve çekme-basma gerilmelerine maruz kalındığında ürünü oluşturan elemanların birbirinden ayrılmasına engel oluşturmak için kullanılmaktadır. Profili oluşturan dalga formu için yaygın olarak yarım daire şeklinde bir dalga formu kullanılmasının temel sebebi, birleştirmeyi oluşturan elemanların birleştirme bölgelerindeki çentik etkisini azaltmaktır. Ancak, kırılma, çatlak vb. kusurların hala bu bölgede yoğunlaşıyor olması bu profilin de sorgulanması/iyileştirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu kusurların giderilmesi ve daha kaliteli üretimin gerçekleştirilmesi için bu araştırma kapsamında çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Birleştirme bölgesinde kullanılan yarım daire şeklindeki dalga formu için boğum sayısı, boğum boyu ve profil yarıçapı parametreleri üzerinde yapılacak çalışmalarla ideal profilin belirlenmesi sağlanmıştır.

V-Kolları çalışma esnasında yüksek kuvvet ve yüklere maruz kalmaktadır. Bu kolların kullanıldığı ağır vasıtalarda, araçların 10 - 15 tonluk kendi ağırlıklarına ilave 30 - 35 tona ulaşan istiap haddi ile toplam 40 - 50 ton gibi büyük statik yükler söz konusudur. Hareket sırasında ise yol şartlarına da bağlı olarak bu yüklerin dinamik etkileri ortaya çıkmaktadır. V-Kollarında ortalama 100 - 150 KN' luk çeki ve bası kuvvetlerinin oluştuğu bilinmektedir. Dinamik

yüklerle birlikte etkili olan yorulma faktörü de bağlantının ömrünü olumsuz etkilemektedir. V-Kolları çalışma esnasında yüksek çekme, basma, burulma ve eğilme kuvvetlerinin tümüne maruz kalabilmektedir. Bu yüksek değerdeki yükler, özellikle sıcak preslemeyle şekillendirilmiş bağlantı bölgesinde, profili saran boru malzemesi üzerinde kritik öneme sahiptir. Profil geliştirme faaliyetleri ile belirlenen alternatif profiller üzerinde, ürüne ve bağlantıya etki eden kuvvetler Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ile analiz edilecektir. İlk aşamada CAD ile oluşturulmuş olan profil modelleri Solidworks simulation FEM yazılımına aktarılarak (export) kritik noktaların tespiti ve buna bağlı profil optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Sıcak şekillendirme prosesinde kullanılan malzeme özellikleri ve sıcaklığa bağlı mikroyapı değişimleri, bağlantının başarısını önemli ölçüde etkilemektedir [20]. Sıcak birleştirme tekniklerinin uygulandığı farklı malzemeler üzerinde yapılan çalışmalar mikro yapının önemli bir parametre olarak dikkate alındığını göstermektedir [12,16]. Liming, Kejanlı, Çalgılı, Ozan, Kurt ve Orhan [12-13]. Proje kapsamında birleştirme ve hasar bölgelerinde yapılacak mikro yapı çalışmaları ile, mikro yapı değişimlerinin hasar büyüklüğü ve tipi üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

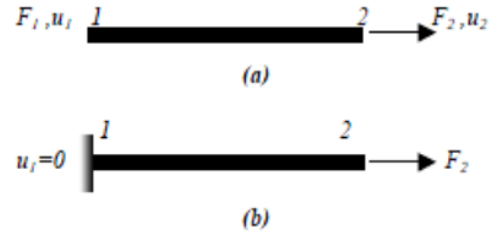
Yapılan analizlerden görülmüştür ki boğum sayısı arttıkça boğumlara düşen gerilmeler azalmaktadır. Bu ifadeden yola çıkarak yeni tasarlanacak olan kilitleme profilinin boğum sayısının 7 boğumlu yapıya uygun olacak şekilde tasarlanmasına karar verilmiştir.

Bütün bu testler sonucunda hangi birleştirme profillerinin daha iyi ve kullanışlı olduğu, sonlu Elemanlar Analizi ile değerlendirilerek optimum çıktılar belirlenecektir. Sıcak kilitleme sisteminde bu parametrelerinin tespitiyle teknolojik yeterlik ve bilgi birikiminin artırılması, kalite ve imalat tekniğinin geliştirilmesi sağlanacaktır.

3 DİZAYN OPTİMİZASYONU ve FEM ANALİZLERİ

3.1 Kilitleme Bölgesinde Yapılan Fem Analizleri

Her problemin tabii olarak yada yapay sınır şartları vardır. Sınır şartları, cismin çeşitli kısımlarındaki elastik yer değiştirmelerin ölçülebileceği bir referans sağlar. Bu eleman için bir sınır şartı tanımlanmazsa, etki eden düğüm kuvvetlerinin büyük, küçük yada eşit olmasına göre hareket eder ve deplasman $u_1 = u_2$ olarak çubukta rijit cisim hareketi gözlenir [22].



Resim 4. Konsol giriş sonlu eleman modeli

Birinci durumdaki rijit cisim hareketi genel direngenlik matrisinin tekil olmasına sebep olur. Bu durum u_1 ve u_2 'nin ölçüleceği bir referans noktasının belirlenmemiş olmasına bağlanabilir. Gerçekte bir referans noktası sağlanmak zorundadır. Aynı çubuğu (Şekil 1b.) deki gibi düşündüğümüzde;

$$u_2 = F_2/k \quad (1)$$

şeklinde ifade edebiliriz. Çünkü $u_1 = 0$ çubuğun sınır şartıdır. Böylece sınır şartları; cismin belli parçasında veya parçalarındaki yer değiştirmelerde yapılan kısıtlamalardır denilebilir. Bu kısıtlamalar, cismin rijit yer değiştirmesine engel olur ve uygulanan dış yüklerin cisim tarafından taşınmasını sağlar [22].

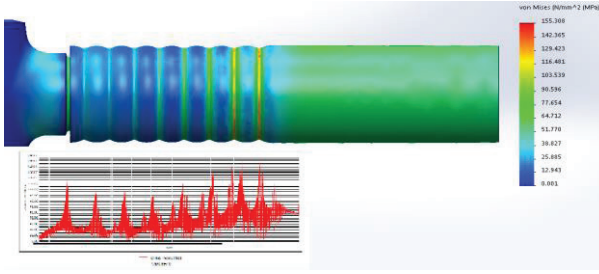
Statik çekme analizleri borunun serbest ucundan çekme kuvveti ve yataklama bölümünden sabitleme yapılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Parçanın kullanılmakta olduğu mevcut düzende yol şartları ve tasarımdan kaynaklı olarak parça üzerine maksimum 50 kN kuvvet geldiği bilinmektedir, bu nedenle aynı kuvvet değerini simüle etmek için yapılan çekme testleri 50 kN olarak belirlenmiştir. Mevcut 7, 6, 5, 4 boğumlu kilitleme yapıları, yeni geliştirilmiş olan kilitleme profili dizaynı kullanılarak FEM analizleri yapılarak boğum yapılarında oluşan stres, gerinim ve yer-değiştirme davranışları incelenmiştir.

Von-Mises Gerilme Hesabı

$$= \sqrt{\frac{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{11} - \sigma_{33})^2 + 6(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2)}{2}} \quad (2)$$

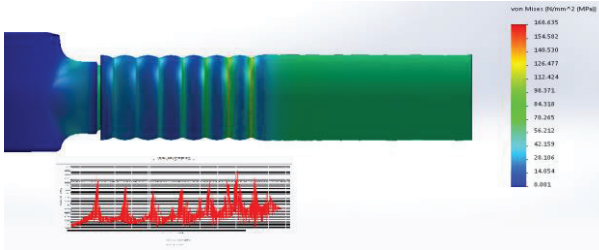
Gerçekleştirilen analizler sonucunda görülmüştür ki; kilitleme bölgesinin son boğumlarında stresler yoğunlaşmakta ve maksimum gerilmelerin bu bölgede olduğu ortaya çıkmaktadır. Sahada çalışmış olan araçlarda kullanılan V kolu ve çeki kollarından toplanan geri dönüşlerden Resim 2 de görüldüğü gibi kilitleme bölgesinin son boğumunda kırılmalar meydana gelmektedir. Yapılan analizler de bunu doğrularak renk skalası ve maksimum gerilme değeri incelendiğinde en kritik noktanın bu son iki boğum olduğu kanısına varılmıştır.

3.1.1 7 Boğumlu Yapı – Statik Çekme Testi



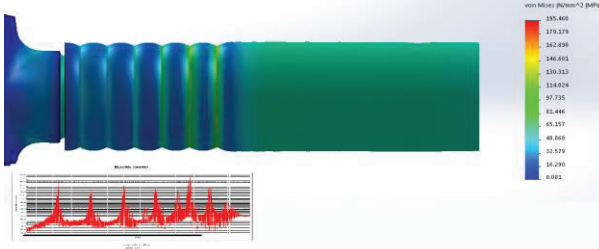
Resim 5. 7 Boğumlu Yapı – Statik Çekme Testi

3.1.2 6 Boğumlu Yapı – Statik Çekme Testi



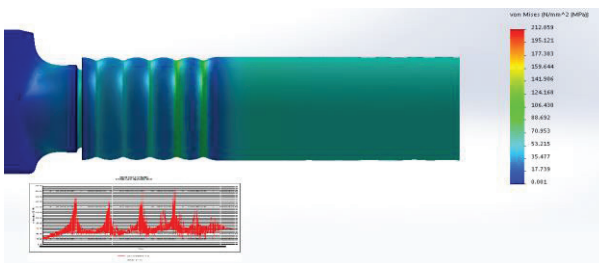
Resim 6. 6 Boğumlu Yapı – Statik Çekme Testi

3.1.3 5 Boğumlu Yapı – Statik Çekme Testi



Resim 7. 5 Boğumlu Yapı – Statik Çekme Testi

3.1.4 4 Boğumlu Yapı – Statik Çekme Testi



Resim 8. 4 Boğumlu Yapı – Statik Çekme Testi

Projenin bundan sonraki kısmında; yeni tasarımda bu noktaya düşen stresin boğum yapısının geneline yayılarak eşit stres dağılımının elde edilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Gerçekleştirilecek olan stresin eşit şekilde boğumlara dağılmasını çalışmasında 7 boğumlu yapı referans alınarak

profiller oluşturulmuştur. Boğum sayısı arttıkça toplam stresin boğum sayısına oranla dağılması nedeniyle maksimum stresin daha az olmasından dolayı yeni tasarımda 7 boğumlu yapı seçilerek tasarım çalışmaları yürütülmüştür.

3.2 Profil Tasarımı Hesaplamaları

Kilitleme profilinin tasarımı; kilitleme bölgesinin uzunluğu, kilitleme bölgesinin genişliği ve boğum sayısının birer fonksiyonu olarak düşünüldüğünde aşağıdaki sinüs formuna bağlı bir denklem oluşturulmuştur. Oluşturulan bu denklemin solidworks tasarım programı içerisinde bulunan «Equation Driven Curve» modülü ile sinüs eğrisi çizilerek kilitleme profili oluşturulmuştur.

$$f(x) = \sin \left[e \left[\left(\frac{-x}{b} \right) \right] * x \right]$$

$$w(x) = e^{\left(\frac{-x}{b} \right)}$$

$$\sin(n * \pi) = 0$$

$$e^{\left(\frac{-x}{b} \right)} * x = n * \pi$$

$$\frac{-x}{b} + \ln(x) = \ln(n * \pi)$$

$$\frac{-x}{b} = \ln\left(\frac{n * \pi}{x}\right)$$

$$\frac{x}{b} = -\ln\left(\frac{n * \pi}{x}\right)$$

$$\frac{x}{b} = \ln\left(\frac{x}{n * \pi}\right)$$

$$b = \frac{x}{\ln\left(\frac{x}{2 * n * \pi}\right)}$$

$n = 7$ adet boğum için,

$x = 84$ mm. boğum boyu için,

$$b = \frac{x}{\ln\left(\frac{x}{2 * n * \pi}\right)}$$

$$b = \frac{84}{\ln\left(\frac{84}{2 * 7 * \pi}\right)} = 129.82998$$

$b = 129.82998$ için,

$x_1 = 0$ dan $x_2 = 84$ e kadar,

$$f(84) = \sin \left[e \left[\left(\frac{-84}{129.82998} \right) \right] * 84 \right]$$

Oluşturulan profilin boyu, standartta kullanılan 7 boğumlu kilitleme yapısındaki boğumların oluşturduğu toplam uzunluk ve 7 boğum olacak şekilde formülde yerine koyularak profilin tasarımı çizdirilmiştir.

Fonksiyonunun formu aşağıdaki gibidir:



Resim 9. Kilitleme profil boğum yapısı

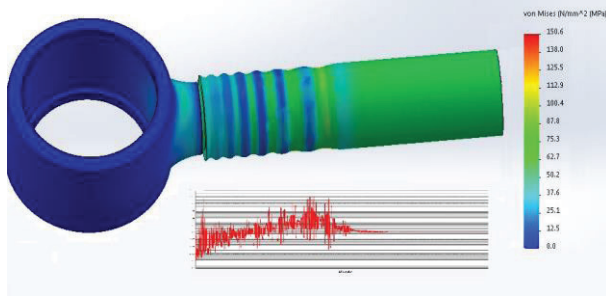
Resim 8 de çizilmiş olan fonksiyonun formunda kilitleme bölgesi tasarlanarak Resim 9 da görüldüğü gibi kilitleme tasarımına entegre edilerek boru – mil kilitleme çizimi tamamlanmıştır.



Resim 10. Kilitleme Bölgesinin Yapısı

Yeni tasarlanan kilitleme boğum yapısına sahip boru-mil çifti statik çekme testi analizine tabi tutularak gerilme değerleri incelenmiştir (Resim 10).

3.2.1 Yeni Dizayn Boğum – Statik Çekme Testi



Resim 11. Yeni Dizayn Boğum – Statik Çekme Testi

Yeni tasarlanmış olan kilitleme boğum yapısının analizi sonucunda Resim 10 da görüldüğü gibi son iki boğum renk skalası incelendiğinde kırmızılıkların azaldığı yani gerilmelerin bu bölgelerden düşürülerek oluşan gerilmenin diğer boğumlara dağılması sağlanmıştır.

3.3 FEM Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tüm analizlerin sonuçları tablo 1 “FEM analiz sonuçları karşılaştırma tablosu” altında toplanarak incelenmiştir:

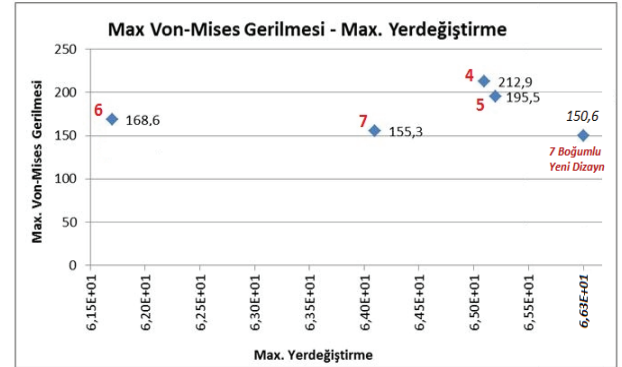
Tablo 3 FEM analiz sonuçları karşılaştırma tablosu ve Resim 11 birlikte incelendiğinde, en yüksek von-mises gerilmesinin 4 boğumlu en düşük 7 boğumlu yapıda olduğu, en düşük yer değiştirmenin 6 boğumlu en büyük yer değiştirmenin 5 boğumlu yapıda olduğu görülmüştür. Yeni tasarım 7 boğumlu yapı incelendiğinde ise max. yer değiştirmenin en fazla

olduğu ve gerilmenin en düşük olduğu en ideal kilitleme yapısına ulaşıldığı görülmüştür.

Yeni tasarım ile birlikte parça üzerinde %3.2 lik bir iyileşme sağlanmıştır.

Tablo 3. FEM analiz sonuçları karşılaştırma tablosu

Boğum sayısı	Uygulanan Çekme Kuvveti (KN)	Max. Von-Mises Gerilmesi (MPa)	Maksimum Yer Değiştirme (mm)
4	50	212.9	6,51E+01
5	50	195.5	6,52E+01
6	50	168.6	6,17E+01
7	50	155.3	6,41E+01
Yeni Dizayn	50	150.6	6,63 E+01



Resim 12. Max. Von-Mises Gerilmesi – Max. Yer değiştirmesi Grafiği

4 SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER

FEM analizlerinde çıkan sonuçlar (grafik ve gerilme renk skalası) karşılaştırıldığında şu sonuçlar ortaya çıkmıştır;

- Boğum sayısı arttırıldıkça boru üzerinde boğumlarda oluşan maksimum Von-Mises gerilmeleri azalmaktadır.
- En yüksek Von-Mises gerilmesi 4 boğumlu yapıda oluşurken, en düşük Von-Mises gerilmesi 7 boğumlu yapıda oluşmaktadır.
- Von-Mises gerilmesi son üç boğum bitiminde ve hatta özellikle son iki boğum bitiminde en yüksektir. Kırılma noktasının bu son iki boğum bitim noktalarından olacağı net bir şekilde görülmektedir.
- Maksimum eş değer gerilme değeri boğum sayısı ile ters orantılıdır, boğum sayısı arttıkça eş değer gerilme azalmaktadır.

- Boru kilitlenmiş kısmın uç kısmından borunun ortasına doğru gidildikçe yer değiştirmenin genellikle arttığı görülmüştür.
- Uygulanmakta olan kitleme profilleri Tablo 1’ de incelendiğinde 7 boğumlu kitleme sisteminde hem sünek davranışın yani yer değiştirmenin hem de düşük gerilmenin oluşması en ideal kitlemenin 7 boğumlu yapıda oluştuğunu göstermektedir.

DURABILITY IMPROVEMENT ON LOCKING AREAS WHICH ARE MERGED WITH HOT CRIMPING METHOD

The system as known hot-crimping in the industry and in literature provides a rigid bonding between pipe and shaft and locking between pipe and shaft by plastic forming. Stress concentration and cracks which occur during plastic forming affect directly the life of material and reduces it. In this study, sample were prepared using internal shaft material C45 (Ç1050) steel and pipe material S355 (St-52). Hot stamping process consists of steps that are heating the material to austenite temperature and waiting at that temperature for a certain time, then quenching and forming under press. This process is a new method in the automotive industry of Turkey. The properties of the selected materials should be well defined for this method. There are breaking and cracking at locking areas detected when the damaged parts produced by hot crimping are examined. The aim of this research is to prevent the debilitating effect that occurs during this process and realizing needed improvement work to increase the strength and life. For this purpose, first of all, the most suitable design of the locking profile will be provided and the optimum temperature for the hot pressing process and the heating/cooling rate will be determined by using computer-aided analysis methods. The effect of determined locking profile and plastic forming parameters to the internal stress, cracks, hardness and mechanical strength values which occur after post-production will be determined and optimum values will be identified by testing and analyzing on real (working on automotive) parts that are produced with an alternative parameter. The parameters calculated by the analyzes were defined and optimum values were obtained and the strength of the locking zone was increased.

This project was supported by project code 214M346 within the scope of TUBITAK ARDEB 3001 project.

Keywords: Hot presses joining, press locking, hot locking, hot-crimping, hot forming

5 TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından ARDEB 3001 Projesi olarak 214M346 proje numarası ile desteklenmiştir. Vermiş olduğu destekten dolayı TÜBİTAK’a teşekkürleri bir borç bilirim.

KAYNAKÇA

1. Atlıhan G., Topçu M., Çalhoğlu H. , Altan G. 2007. “Calculation Of Residual Stresses Resulting From Bending Of Cold Formed Steel Bars” , 13, 1.
2. Bardelcik A. , Salisbury C. P. , Winkler S., Wells M. A. , Worswick M. J. , 2010. “Effect Of Cooling Rate On The High Strain Rate Properties Of Boron Steel” , 37, 694-702 .
3. Bok H. H. , Choi J. W. , Barlat F. , Suh D. W. , Lee M. G., 2013. “Thermo-Mechanical-Metallurgical Modeling For Hot-Press Forming In Consideration Of The Prior Austenite Deformation Effect” International Journal of Plasticity, 4, 2013.
4. Çalığılülü, U. ve Taşkın, M., 2006. Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretilmiş AlSiMg-SiCp Takviyeli Kompozitlerin Difüzyon Kaynağında Basıncın Birleşme Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Metal Makine Dergisi, Cilt:159, ss:526-530.
5. Çalığılülü U. , Dikbaş H., Taşkın, M., 2006. “Sıcak Presleme Yöntemiyle İmal Edilmiş SiCp Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Difüzyon Kaynağında Sürenin Birleşme Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”
6. Çan Y. , Altınbalık M. T. , Akata H. E., 2002. “Tüp Sıvamada Kuvvet Ve Malzeme Akışının Ve Üretim Esnekliğinin İncelenmesi” Denizli: 9. Denizli Malzeme Sempozyumu , Pamukkale Üniversitesi.
7. Djabella, H., Arnell, R. D., “Finite Element Analysis Of The Contact Stresses in Elastic Coating/Substrate Under Normal and Tangential Load”, Thin Solid Film, 223, pp.87-97, 1993
8. Erişir, Yrd. Doç. Dr. Ersoy, 2013. “Plastik Şekillendirme Yöntemleri”, Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi, 2013-2014.
9. GÖK A. , Demirci H. İ. , Gök K. , 2009. “Application of Finite Elements Method on Industrial Genuine Blank.» Karabük: 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu.
10. Guan Y. , Zhao G., Wu X. , Lu P. , 2007. “Massive Metal Forming Process Simulation Based On Rigid/Visco-Plastic Element-Free Galerkin Method” 187-188, 412-416.
11. Güven Ş. Y. 2008. “1030 Çeliğinden Üretilen Yuvarlak Çubuklarda Optimum Deformasyon Sıcaklığının Ve Deformasyon Hızının

- Saptanması”, C.B.Ü Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 2, 10.
12. Kejanlı H., Çalgılı U., Kolukısa S., 2008. “Ti45.2Ni49.1Cu5.7 Kompozitinin 910-940-970°C Sıcaklıklarda Cu-Ni Folyolu Difüzyon Kaynağında Sıcaklık Ve Sürenin Birleşmeye Etkisinin Araştırılması” e-Journal of New World Sciences Academy, Article Number: A0092 , Volume: 3, Number: 3.
 13. Kejanlı H.*, Taşkın M.*, Çalgılı U., “Ti45.0Ni49.6Cu5.4 Kompozitinin Cu ve Ni Aratabaka Kullanılarak Difüzyon Kaynağı ile Birleştirilmesinde Kaynak Sıcaklığının ve Süresinin Bağlantı Karakteristiği Üzerine Etkisi” Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 200X, X(X) X-X
 14. Kim D. H. , Lee H. C. , Kim B. M., Kim K. H. , 2005 “Estimation Of Die Service Life Against Plastic Deformation And Wear During Hot Forging Processes” Journal of Materials Processing Technology 166, 372–380.
 15. Kurt B. ve Orhan N. , (2005).”Difüzyon Kaynağı ile Birleştirilmiş Ti-6Al-4V Alaşımı Ve 316 Paslanmaz Çelik Çiftinin Ara Yüzey Mikroyapısının İncelenmesi”, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları.
 16. Liming L., Meili Z., Longxiu P., Lin W. ,2001. “Studying Of Micro-Bonding In Diffusion Welding Joint For Composite” Materials Science and Engineering A315, 103–107
 17. Lu P. , Zhao G., Guan Y. , Wu X. 2008. “Bulk Metal Forming Process Simulation Based on Rigid-Plastic/Viscoplastic Element Free Galerkin Method” , 479 , 197-212.
 18. Mori K. , Yoshimura H. 2000. “Three-Dimensional Rigid-Plastic Finite Element Method Using Diagonal Matrix For Large-Scale Simulation Of Metal-Forming Processes”, 42, 1821-1834.
 19. Ozan S., Çalgılı U., Taşkın M., Gür A.K., Dikbaş H. and Çay V.V., 2006. “Sıcak Presleme Yöntemiyle İmal Edilmiş Sıcak Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Difüzyon Kaynağında Sıcaklığın Birleşme Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü 23119 ELAZIĞ/TÜRKİYE, FÜBAP Proje No: 983.
 20. Önal A. S. 2012 “Hot Stamping Process” . TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi cilt 53, sayı 626, s.66-70.
 21. Taşgetiren, S., “Thermo Mechanical Analysis Of Bimaterials With An Interfacial Crack” Ph. D. Thesis, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 1997
 22. Sezer A. , Karaoğlanlar Ö. F. , 2012. “Kalıpcılık ve Metal Şekillendirmede Farklı Malzemelerin Gerilme Analizi”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İzmir: 2012.
 23. Stupkiewicz S. , Mro’z Z. 2003. “Phenomenological Model Of Real Contact Area Evolution With Occount For Bulk Plastic Deformation In Metal Forming”, International Journal of Plasticity 19, 323-344.
 24. Taş Z. , 2012. “Yüksek Dayanımlı Düşük Alasımlı Çeliklerde Metalürjik Mukavemet Artırma” Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, cilt 28, no. 2, pp. 97-101.
 25. Dr. Cihan DEMİR “Makine Mühendisliğinde Sonlu Elemanlar Yöntemi” Yıldız Teknik Üniversitesi.