

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE UYGULANILABİLİRLİĞİ ve MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Fevzi BEDİR, Ertuğrul DURAK, Kamil DELİKANLI
Süleyman Demirel Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu çalışmada alüminyum alaşımlarının otomotiv sektöründe gövde panel ve makina parçalarında etkin olarak kullanımı ile ilgili literatür araştırması yapılmıştır. Özellikle gövde konstrüksiyonu ve ilgili bağlantı elemanları üzerinde durulmuştur. Alüminyum alaşımları düşük yoğunluklu, yüksek mukavemetli ve mükemmel korozyon dayanımı nedeni ile otomobillerin gövde panel uygulamalarında oldukça ilgi çekmektedir. Gövde panel uygulamalar için alüminyum-bakır, alüminyum magnezyum, alüminyum-magnezyum-silisyum olmak üzere üç farklı alüminyum alaşımı kullanılmaktadır. Otomotiv panel ve montajında alüminyumun etkili ve ekonomik kullanılması için onun özellik ve karakteristiğine göre her bir parçanın optimize edilmesi gerekmektedir. Bunun için alaşımların hem fiziksel hem de mekanik aynı zamanda şekillendirilebilme ve birleşme özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bir otomobil paneli tasarırken bileşenlerin performansını da dikkate almak gerekmektedir. Çökertme direnci, bölgesel rijitlik, burulma ve bükme rijitlikleri iyi tanımlanmalıdır. Panel dayanımı ve titreşim etkileri tasarım kriterlerinin üzerinde olmalıdır. Böylece çelik panelin performansına sahip alüminyumdan yapılmış hafif bir yapı elde edebilir. Alüminyum malzemeye göre optimize edilmiş bir otomobil panel tasarımı çeliğe ağırlık olarak %65'e varan kazanım sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum alaşımları, otomotiv gövde panelleri, mekanik özellikleri

ABSTRACT

In this study, the literature-resources were researched about effectively using of aluminium alloys in automotive industry as body panel or assemblies. A combination of low density, high strength and excellent corrosion resistance make aluminium alloys attractive for many automobile body panel applications. While a number of aluminium alloys may be used for such applications, several alloys have emerged as being particularly attractive for body panel design. These alloys are available for body panel applications, aluminium-copper alloys, aluminium-magnesium alloys, aluminium-magnesium-silicon alloys. For the most efficient and economical application of aluminium for automotive panels or assemblies, it is necessary to optimize the design of the part specifically for the properties and characteristics of aluminium. This required knowledge of the physical and mechanical properties of aluminium alloys. When designing an automotive panel or assembly, the performance requirements for the component must be considered. Issues such as dent resistance, local stiffness, and overall torsion and bending should be addressed, and panel strength and vibration effects must meet or exceed design criteria. Therefore it is possible to get a lightweight aluminium panel with performance equivalent to that of the steel panel. A design optimized for aluminium has provided weight saving up to 65% over a comparable steel panel.

Keywords: Aluminium alloys, automotive body panels, mechanical properties.

Giriş

Alüminyum alaşımları malzeme özelliklerinden dolayı oldukça ilgi çekmektedir[1]. Geçmiş yıllarda dünyanın farklı yerlerindeki alüminyum gövde panel sacları otomotiv endüstrisinde sadece özel uygulamalar için kullanılmaktaydı. Dünya genelinde ise alüminyum paneller büyük oranlarda özel araçlar için kullanılmaktadır. Alüminyumun çeliğe nazaran daha hafif olması aracın toplam ağırlığında %40 ile %60 oranlarında bir geri kazanım sağlamaktadır[2-6]. Orta büyüklükte sedan bir araç için sadece kaput dikkate alındığında yaklaşık 11 kg.lık bir hafiflik ve geri kazanım sağlamaktadır. Hava yastığı ve ABS fren sistemi gibi fonksiyonel gelişmeler

araçların güvenli seyrine katkı sağlarken, son yıllarda ağırlık tasarrufu araçların belirli ağırlık grubunda tutulmasını sağlamaktadır. Alüminyum alaşımlarının sağladığı ağırlık tasarrufu ve sonucu olarak sağladığı yakıt tasarrufu otomotiv endüstrisinde önemli bir kazanım olduğu kabul edilmektedir. Fren ve süspansiyon gibi diğer sistemlerin tasarımı aracın ağırlığında ilave kazanımlar sağlarken alüminyumun daha fazla kullanımı için fikrî ve tasarım süreçlerinden geçmektedir.

Otomotiv endüstrisinde alüminyum malzemelerin kullanımında birçok avantajlar bulunmaktadır. Alüminyum malzeme olarak çeliğe nazaran farklı karakteristik özellikler sahip olmasına rağmen alüminyum panellerin taşınması,

şekillendirilmesi, kaynaklanması, mamul hale gelmesine kadarki aşamalarda birçok sistem ve ekipmanların, çelik panellerde kullanılanlar ile aynı olması büyük bir avantaj olarak görülmektedir[7-9].

Bu çalışmada alüminyum alaşımlarının otomotiv endüstrisinde kullanılabilirliği, şekillendirilebilirliği, tasarım faktörleri, derin çekme ve şekillendirilebilme özellikleri üzerine daha önce yapılan çalışmalar derlenerek bir literatür araştırması yapılmıştır.

OTOMOBİL GÖVDE PANEL UYGULAMALARINDA KULLANILAN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

Birçok alüminyum alaşımı 0.8 mm kalınlıktan 1,3 mm kalınlığa kadar değişen levha sactan mamul parçalar şeklinde otomobil gövdesinde kullanılmaktadır. Sac levhaların şekillendirilebilirliği, kimyasal kompozisyona, özelliklerine ve alaşımın yapısına, tane büyüklüğüne ve şekline, tanelerin homojenliğine, metaller arası partiküllerin büyüklüğüne morfolojisine, mekanik özelliklerin isotropik değerine ve metalin deformasyon sertleşmesine yaşlanma kapasitesine bağlı olarak değişir[10-12]. Birçok araştırmacıya göre alüminyum sac levhalardaki tane büyüklüğü 50 μm geçmemelidir ve 1,5-50 μm sınırlarında olmalıdır[13]. İri taneli yapı deforme edilmiş yüzey bölgesinde kaba görüntüye neden olur. Bu durum hem görüntüyü bozar hem de derin çekme esnasında çatlak oluşumuna neden olur.

Optimum değerlere bağlı olarak tane büyüklüğü arttıkça şekil değiştirme direnci ve metalin şekil değişim esnasındaki yaylanması artar[1]. Metalin yaylanması büyük ölçüde şekillendirilmiş bölgenin hassasiyetini etkiler ve kalıbın çalışan yüzeyinin aşınmasını artırır.

İyi şekillendirilebilirliğe ilave olarak levha sac alaşımları yeterli yüksek mukavemete, dispersiyon sertleşmesine ve korozyon direncine sahip olmalıdır. Bu

açıdan akma noktası önemli bir parametredir. Kalıpta gerekli şekillendirilebilme ve yaylanmayı sağlamak için şekillendirme şartlarından önce akma noktası yeterince düşük olmalıdır. Şekillendirme ve vernikleme prosesinden hemen sonra uygulanan fırınlama işlemi parçanın yeterli rijitlik ve presleme direncini sürdürebilmesi için yüksek akma mukavemeti gerekmektedir[1].

Alüminyum alaşımları düşük yoğunluklu, yüksek mukavemetli ve mükemmel korozyon dayanımı nedeni ile otomobillerin gövde panel uygulamalarında oldukça çok ilgi çekmektedir. Gövde panel uygulamalar için alüminyum-bakır, alüminyum magnezyum, alüminyum-magnezyum-silikon, olmak üzere üç çeşit alüminyum alaşımı kullanılmaktadır.

2000 (Al-Cu) Serisi Alüminyum Alaşımları

2008, 2010 ve 2036 gövde panel uygulamalarında kullanılan başlıca alaşımlardır. Bu alaşımlar ısıtma işlemi uygulanabilir ve tabii yaşlanabilirler. Bu durumda 2008 ve 2010 alaşımları otomobilin fırınlama çevriminde bir miktar mukavemetini kaybederler. Bu alaşımlardan 2036 alaşımı en yüksek mukavemete sahiptir. 2008 ve 2010 alaşımları 2036'nın üzerine şekillendirilebilirliği artırmak amacı ile tasarım yapılır ve oldukça yüksek korozyon direncine sahiptirler.

5000 (Al-Mg) Serisi Alüminyum Alaşımları

Otomobil panelleri için kullanılan diğer alaşımlar 5182, 5454 ve 5754 alaşımlarıdır. Bu alaşımlar aynı zamanda mangan elementi de ihtiva ederler. Bu alaşımlar çökeltme sertleşmesi göstermezler ve ısıtma işlemi esnasında mukavemetleri de artmaz. Bu alaşımlara şekil verme yolu ile ilave mukavemet kazandırılabilirler. Fakat bu özelliklerini de fırınlama çevrimi esnasında kaybederler. Bu nedenle "-O" ısıtma işlemi özellikleri alaşımın mukavemetinin daha uygun hale gelmesine yardımcı olur.

5000 alaşımları istisna olarak şekillendirilir ve yüksek korozyon dayanımına sahiptirler. Bu alaşımlar

deformasyon esnasında Lüders bantlarının oluşumuna hassas olmalarından dolayı, dış gövde panel konstrüksiyonunda tercih edilmezler. Ayrıca 5182 alaşımı yaklaşık %3'ün üzerinde magnezyum ihtiva ettiklerinden şekillendirme ve daha sonra ekzo ve katalitik sistem gibi parçalara yakın uygulamalarda uzun süreli 65 °C'nin üzerinde sıcaklığa maruz kaldıklarından gerilme-korozyon çatlmasına maruz kalabilirler. Gerilme-korozyon hassasiyeti genellikle gövde panel uygulamaları için pratik görülmemektedir.

6000 (Al-Mg-Si) Serisi Alüminyum Alaşımları

6009, 6022 ve 6111 Al-Mg-Si alaşımlarıdır. 6000 serisi alaşımlar gövde panel alaşımlarıdır ve ısıtım işlemi uygulanabilen alaşımlardır. Özellikle fırınlama çevrimi esnasında çökme sertleşmesine karşı oldukça

duyarlıdır. Bu alaşımlardan 6111 en yüksek mukavemete sahiptir. Bunun yanında 6111 üstün uzama şekillendirme kabiliyetine sahipken 6009 bükme şekillendirme özelliği bir miktar daha diğerlerine göre iyidir [14, 15].

Özellikleri

Alüminyum gövde panel alaşımlarının tipik mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Bazı alaşımların yorulma özellikleri de Tablo 2'de ve Şekil 1'de verilmiştir.

R: gerilme oranı, her bir yorulma çevrimindeki min. gerilme/maks. gerilme

K: teorik gerilme yığılma faktörü

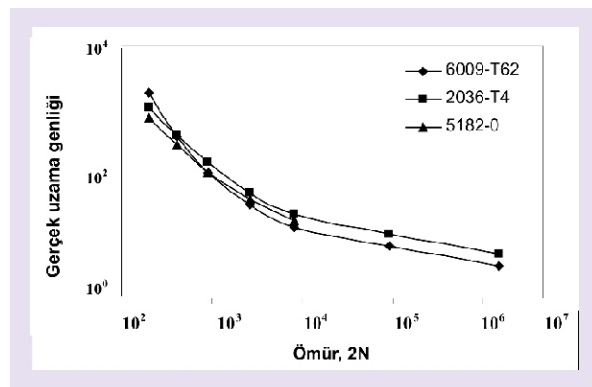
10-50 milyon yük çevrimindeki ortalama sınır dayanımı

Tablo 1. Alüminyum Gövde Panel Alaşımlarının Modelleme Değerleri [16]

Alaşımlar ve ısıtım işlemi	Orijinal Malzeme			Ön gerilmemiş fırınlanmış		
	Maks. Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	%u zama, 50 mm için	Maks. Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma mukavemeti (MPa)	% uzama, (50 mm için)
2008-T4	250	125	28	255	145	26
2010-T4	240	130	25	235	130	26
2036-T4	340	195	24	315	180	28
5182-O	275	130	21	275	130	21
5454-O	250	115	22	250	115	22
5754-O	220	100	26	220	95	26
6009-T4	255	125	25	275	180	22
6022-T4	290	150	26	275	170	26
6111-T4	290	150	26	310	200	24

Tablo 2. Alüminyum Gövde Sac Alaşımlarının Yorulma Özellikleri

Alaşım	Limit yorulma dayanımı (MPa)		
	Sac eğilme R=-1	Eksenel gerilme R=0.10	Çentikli (K _c =3) eksenel gerilme R=0.10
2008-T4	-	-	-
-T6	-	200	62
2010-T4	-	-	-
2036-T4	125	-	-
5182-O	105	-	-
5454-O	105	-	-
5754-O	80	-	-
6009-T4	115	186	69
6111-T4	-	186	69
-T62	-	214	69



Şekil 1. Alüminyum Paneller İçin Uzama Ömür Diyagramı, Tersinir

TASARIM FAKTÖRLERİ

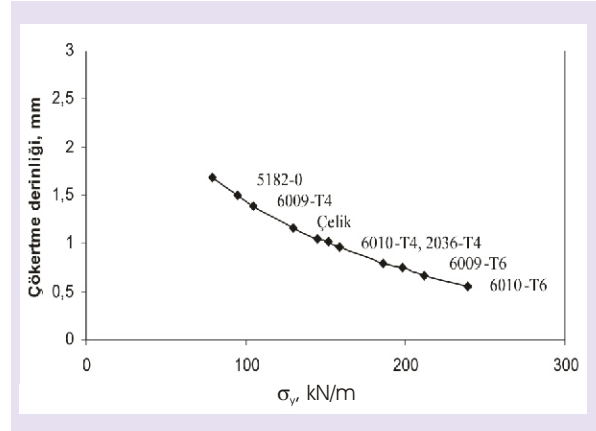
Otomotiv panel uygulamalarında alüminyumun en etkili ve ekonomik kullanılmasında onun özellik ve karakteristiğine göre her bir parçanın optimize edilmesi gerekmektedir. Bunun için alaşımların hem fiziksel hem de mekanik aynı zamanda şekillendirilebilme ve birleşme özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Otomotiv paneli veya bileşenleri tasarlarken bu bileşenlerin performans ihtiyacı dikkate alınmalıdır. Çökertme direnci bölgesel rijitlik, burulma ve bükme rijitlikleri iyi tanımlanmalıdır. Panel dayanımı ve titreşim etkileri tasarım kriterlerinin üzerinde olmalıdır.

Genel olarak alüminyum hafif olmasından dolayı dikkat çekmektedir. Bazı durumlarda mevcut çelik panel tasarımında dikkate alabilir ve elastisite modülünü dengelemek için kalınlık ve kesit alanı üzerinde küçük modifikasyonlar yapılabilir. Böylece çelik panelin performansına sahip alüminyumdan yapılmış hafif bir yapı elde edebilir. Ancak ağırlıktan maksimum kazanım elde etmek için başlangıçta doğru karar vererek uygun bir tasarım yaklaşımında bulunmak gerekmektedir. Yaklaşık %40-50 ağırlık kazanımı elde etmek için mevcut çelik konstrüksiyonu alüminyum konstrüksiyona çevirmektir. Alüminyuma göre optimize edilmiş tasarım çelik panele göre %65'e varan kazanım sağlayabilir. Aynı zamanda tasarım aşamasında üretim faktörlerini de dikkate almak önem kazanır [17-20].

Çökertme direnci

Özellikle çarpma ve darbe altında oluşan çökertme direnci karışık bir konudur[20]. Dış panelin çökertme direnci malzemenin akma mukavemeti, kalınlığı, şekli ve yüzey alanı ile ilgilidir. Dış panel tasarımı aynı kaldığı durumda malzeme kalınlığı ve akma mukavemeti önemli parametreler olarak görülmektedir. Böyle durumda çelik ile alüminyum arasındaki eşdeğer çökertme direncini dikkate almak gerekmektedir ve

$$\frac{t_a}{t_s} = \frac{\sum_{ys}}{\sum_{ya}}$$



Şekil 2. Tam Ölçülendirilmiş Küçük Bir Kaput Elemanının Çökertme Derinliği

kullanılabilir. Burada t_a ve t_s kalınlık, \sum_{ys} , \sum_{ya} malzemelerin akma mukavemetleridir. Otomotiv gövde panellerinin çökertme performanslarını karşılaştırmanın iki yolu vardır; başlangıç hızı ve eşdeğer çökertme derinliğidir. Başlangıç hızı, farkına varılabilir bir çökertmenin oluşabilmesi için gerekli olan minimum hızdır. Bu değer genellikle deneysel olarak tespit edilir. Simülasyon ve gerçek panel yüzeyine çelik bilyeler kullanılarak çarpma etkisi laboratuvar şartlarında denenecek yapılır. Çelik bilyelerin hızları 30 km/h ten 95 den daha büyük değerler kadar denenmektedir. Bu sonuçlar panelin çökertme direncini panel kalınlığını optimize etmek için incelenmektedir.

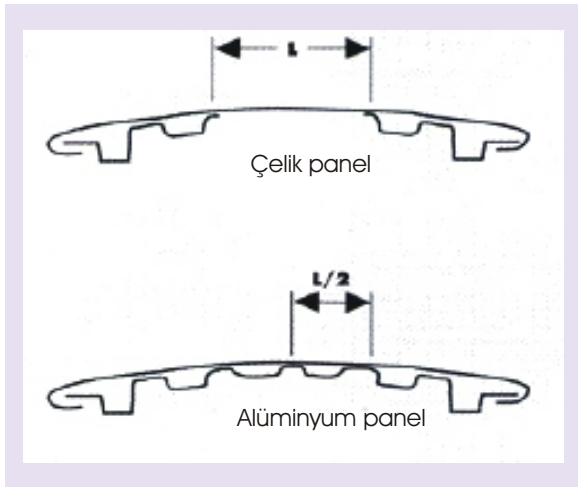
Çökertme performansını değerlendirmek için kullanılan diğer bir teknik verilen bir hızda ve kütlede çökertme derinliğinin değerlendirilmesidir.

Panelin Sehimi

Dış panel uygulamalarında, yükün panelde oluşturduğu sehimi tasarım için önemli bir faktördür. Genel olarak yük altında parçaların sehimi diğer bağlantılı parçaların etkilenmemesine dikkat edilmelidir. Müşterinin panel üzerine uyguladığı yük neticesinde oluşan sehimi aynı ölçüde önemlidir. Dış panel geometrisi iç panelin geometrisi ile beraber tasarlanması bölgenin rijitlik için önemli bir faktör oluşturmaktadır. Panelin baştanbaşa sehimi, girişler arası

açıklığı ve panel kalınlığı iç panel tasarımında bir bütün olarak dikkate alınmalıdır.

Sehimi azalmanın iki yol vardır. Dış panelin kalınlığını artırmak veya iç panel destekleme kirişlerinin açıklığını azaltmaktır. İkinci yaklaşım diğerine göre çok daha etkilidir. Eşit kalınlıklardaki alüminyum kirişler arası açıklığının %70 oranına düşürürsek çelik paneldekine eşdeğer bir sehimi elde edilebilir. İç panel kirişinin derinlik



Şekil 3. Alüminyum ile Çeliğin Konstrüktif Karşılaştırılması

ve genişlik olarak değişmesini gerektirmemektedir. Şekil 3'te iki destek açıklığı %50'ye kadar azaltılmasının etkisi görülmektedir.

$$\text{Çelik panelin sehimi: } d_{st} = \frac{KPL^3}{E_{st}I}$$

$$\text{Alüminyumun sehimi: } d_{al} = \frac{KP(L/2)^3}{E_{al}I} = \frac{KPL^3}{\left(\frac{8E_{st}I}{3}\right)}$$

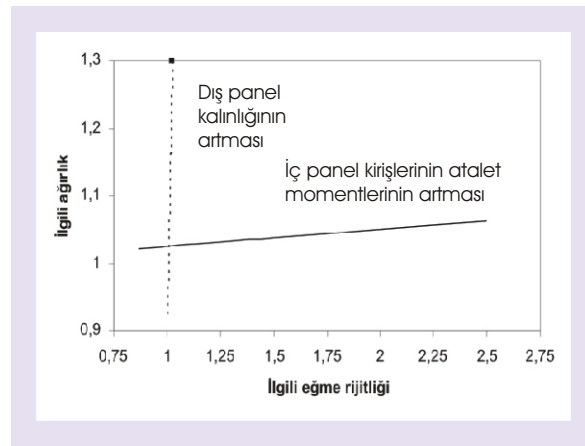
Burada, K, yük ve mesnetleme şartlarına bağlı faktör. $D_{al} = 0.375d_{st}$ elde edilir.

Eğme ve Burulma Rijitliği

Otomotiv paneli veya diğer benzeri eleman gruplarının performans kriteri eğme ve burulma rijitliğidir. Bir bütün olarak her bir panelin yeterli rijitliğe sahip olması gerekmektedir. Kaput, tavan ve kapı gibi elemanların bütün olarak rijitliği dikkate alınmalıdır. Eğme ve burulma rijitliği panel kalınlığına, kirişlerin kesit

geometrisine ve kiriş tipine bağlıdır. Çamurluk veya dörtte birlik panel uygulamalarda iç destekleyici panel yoktur. Bu durumlarda mühendis panel kalınlığını artırarak panel rijitliğini artırılabilir. Basit olarak destekli bir panel dikkate alınırsa, aynı dayanımı elde etmek için alüminyumun kalınlığını çeliğe göre yaklaşık %44 oranında artırmak gerekmektedir. Bu durum %50 oranında ağırlık tasarrufu sağlar.

İç panel veya destekli uygulamalarda kirişin kesit alanına ait atalet momentini artırarak yeterli eğme ve burulma rijitliği sağlanabilir. Bu yöntem panelin basit olarak kalınlığını artırmaktan daha etkili olur. Şekil 4'de her iki metodun uygulanması durumunda sonuçlarını göstermektedir.

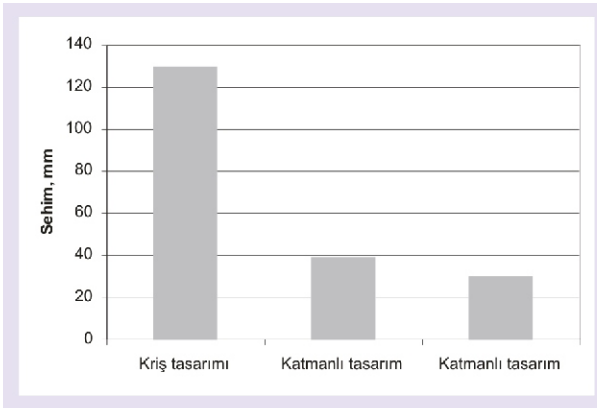


Şekil 4. Dış Panel Kalınlığı ve İç Panel Kiriş Genişliğine Bağlı Olarak Eğme Rijitliği ve Ağırlığın Değişimi

Çelik ile karşılaştırılırsa, alüminyum tasarım için etkili atalet momenti üç faktör yardımı ile artırılabilir.

1. Parça derinliğini çeliğin performansı ile karşılaştırıldığında yaklaşık %44 kadar artırmak gerekmektedir. Bu durum bazı durumlarda mümkün olmayabilir. Bu uygulamalarda ya parça açıklığını ya da malzeme ölçüsünü artırmak gerekmektedir.

2. Çelik panelin performansına eşit bir panel elde etmek için kirişin kesit alanı genişliğini yaklaşık %50 artırmak gerekmektedir. Bu değişim aynı eğme ve burulma rijitliği için yaklaşık %50-60 ağırlıktan tasarruf sağlayacaktır.



Şekil 5. Burulma Altında Kirişlerde Oluşan Yer Değişimi

3. Eğme ve burulma rijitliği için katmanlı tasarım dikkate alınmaktadır. Aynı panel kalınlığı için katmanlı tasarım bilinen tasarıma göre daha az sehim gösterir. Şekil 5'te her iki tasarım içinde burulma yüklemesinin sonuçlarını göstermektedir. Şekil 5'ten elde edilen sonuçlar önceki ifadeyi doğrular şöyle ki, katmanlı alüminyum tasarım için genellikle tasarım ebatlarını azaltmak mümkündür. Çelik tasarım ile karşılaştırıldıklarında, çok katmanlı alüminyum tasarım %50-55 oranlarında ağırlıktan tasarruf sağlayabilir.

Titreşim

Aşırı panel titreşimleri veya dalgalanmalar, otomobil dış paneller tasarımında özellikle yatay panel uygulamalarında önemli diğer bir faktördür. Parça titreşimlerinin tabii frekansları serbest konumlarında rijitlik ile orantılı, kütle (m) ile ters orantılıdır. Rijitlik hem panel geometrisine hem de kullanılan malzemenin elastisite modülüne bağlıdır. Elastisite modülü ve alüminyumun yoğunluğu çeliğin üçte biri nispetinde olduğundan tabii frekansı hesaplamada kullanılan oran k/m etkili değildir. Böylece serbest konumdaki aynı geometriye ve kalınlığa sahip alüminyumun ve çelik parçaların titreşim davranışı tanımlıdır. İster alüminyum kullanılsın isterse çelik kullanılsın parça geometrisi ve pres kalıp tasarımı titreşim ve yalpalanmada önemli bir faktör olarak tanımlanmalıdır.

Yorulma

Tekrarlı yüklerle maruz kalan parçalar yorulma hasarına karşı kontrol edilmelidir. Tablo 2'de minimum 5 milyon çevrimli alüminyum alaşımları için güvenli sınır bölge verilmiştir[21]. S-N diyagramı alüminyum alaşımlarının yorulma dayanımı için gerekmektedir. Dikkatli bir tasarım için yüksek gerilme bölgeleri yok edilmelidir. Gerilme yığılmalarının olduğu bağlantı bölgeleri, delikler veya diğer bölgeler hasara maruz kalan alanlardır. Parça bağlantıları bölgelerinde uygun geçiş, parçaların yorulma ömürlerini artırdığı için farklı kesit alanları arasındaki tüm geçişler uygun hale getirilmelidir. Yorulmanın değerlendirilmesinde bağlantı bölgelerinin mevcut deney verilerinin karşılaştırılması faydalı olur.

MALZEME ÖZELLİKLERİ VE DENEYLERİ

Şekillendirilebilirliği belirlemek için yapılan deneyler iki ana grupta toplanabilir: (1) Malzeme özelliklerini ölçmek; (2) gerçek şekillendirme şartlarını simüle etmektir. Malzeme deneyleri kalınlık ve sürtünme şartlarından bağımsız olarak bilgi verirler. Örneğin, çekme, sehim, sertlik, düzlemsel çekme ve iki eksenli germe deneyler. Simülatif deneyler genellikle sürtünme şartlarına malzeme kalınlığına ve geometrisine ve şekillendirme tipine bağlı olarak bilgi verirler. Eğme deneyi, germeli bükme deneyi, delik genişletme deneyi, sınır haddeme deneyi ve katlama ve buruşturma deneyi, derin çekme deneyi, Englehard derin-çatlak deneyi, Olsen bombe deneyi, Erichsen deneyi, sınır bombe yüksekliği, Fukui deneyi, Marciniak deneyi simülatif deneylerden bazılarıdır. Endüstriyel uygulamalarda şekillendirilebilirliğin değerlendirilmesi sınırlıdır. Kullanılacak olan farklı malzemelerin verilerini karşılaştırmak içindir. Bu sınırlamanın ana nedeni, preslemenin değişik aşamalarında metal akışının ve

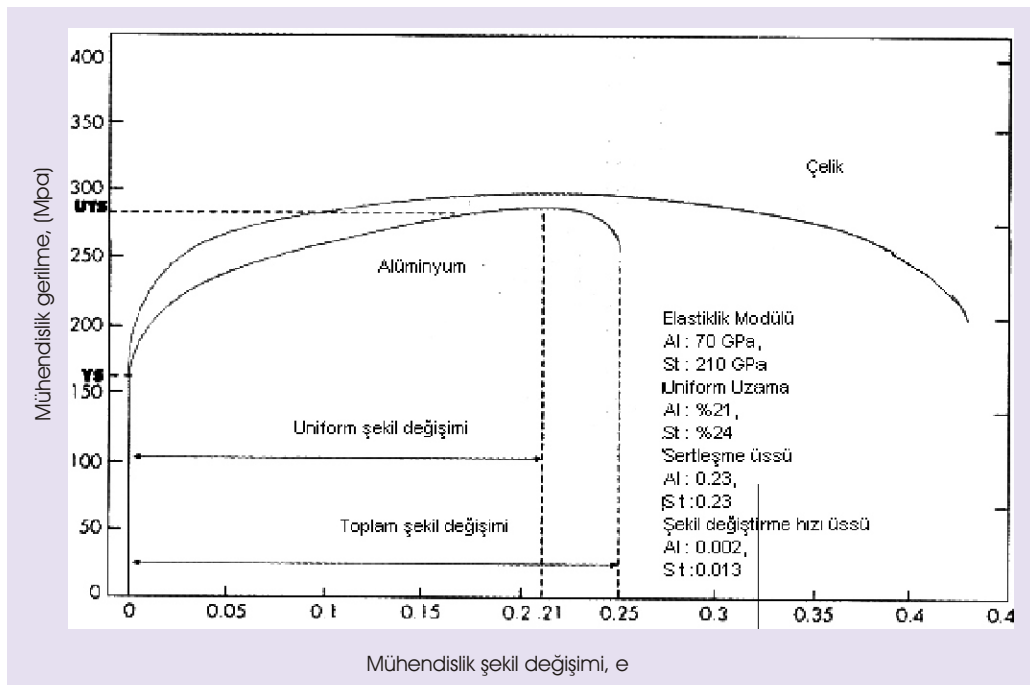
geometrisinin büyük ölçüde farklılık göstermesidir. Böylece kullanılan malzeme farklılıklar gösterebilir. Sonuç olarak şekillendirme uygulamalarında sadece tek bir deneyin malzemenin ne kadar iyi olduğu hakkında bir değerlendirme yapmamıza imkan sağlamaz. Özel tasarımlara ve şekillendirme işlemine bağlı olarak belirli deneylerin yapılması diğer deneylere göre oldukça uygun olabilir. Örneğin, bağlantı yerlerinde yorulma deneyleri uygulanabilir.

Ayrıca şekillendirilebilirliğin değerlendirilmesinde çekme deneyi, sınır bombe yüksekliği deneyi ve bükme deneyleri oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek eksenli çekme deneyi malzemenin akma gerilmesi, çekme gerilmesi ve uzama özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Gerçek gerilme-gerçek deformasyon eğrisi şekillendirmede n , r ve K parametrelerinin belirlenmesinde oldukça önem taşır. n ve K değerleri Holloman denklemindeki $\sigma = Ke^n$ malzeme parametrelerini tanımlar. Bu denklemin alüminyumun gerilme-deformasyon eğrisine

uygulanması belirli bir yaklaşım gösterir. n değeri bilindiği gibi deformasyon sertleşmesi üssü olarak tanımlanır. En büyük değeri büyük deformasyonu gösterir. Düşük karbonlu derin çekilebilir çeliklerde bu değer 0.23 olarak verilmiştir.

Alüminyum için n değeri artan deformasyonla artar ve bir maksimumdan sonra azalma eğilimi gösterir. Isıl işlem görmüş alüminyum gövde panellerinin normal n değerleri 0,23 ve ilgili gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 6'da verilmiştir. Şekil de karşılaştırmak amacı ile düşük karbonlu (derin çekme otomotiv çeliği) çeliğin değerleri de verilmiştir.

r değeri plastik deformasyon oranı olarak bilinmektedir ve malzemenin derin çekme esnasındaki malzemenin incelmeyeine bağlı olarak direnci olarak tanımlanmıştır. Genişlik doğrultusundaki gerçek deformasyonun kalınlık doğrultusundaki gerçek deformasyona oranı olarak tanımlanır. Normal anizotropi r metal plakanın değişik doğrultulardan elde edilen değerlerin ortalamasıdır. Çeliklerde ortalama r



Şekil 6. Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi ve Grafik Değerleri

değeri 1.0-1.8 aralığında iken alüminyum gövde panellerinde ise 0.6-1.2 aralığındadır. Son zamanlarda r malzeme özelliği bilinen ölçüm yönteminin yanında alüminyum plaka alaşımlar için sınır derin çekme derinliği ile de ilişkilidir. Derin çekme derinliği en kritik deformasyon şartlarını gösterir. Olsen ve Erichsen deneylerine benzer şöyle ki hasar anındaki derin çekme derinliğini ifade eder ve şekil değiştirmenin bir ölçüsüdür. Yeni bir malzemenin testleri yapıldığında başlangıç deneyler, en küçük derinliğin elde edildiği numune genişliğini oluşturmak için yapılır. Numune genişliği dikkate alınırsa sac numune tutucuya yerleştirilir ve şekil değişim esnasında yeterince gergin olması sağlanır. Bir zimba yardımı ile derin çekilir ve hasara uğratılır. Tam bu esnada yük azalmaya başlar. En büyük yükseklik değeri zimba altında en büyük şekil değiştirme dağılımını ifade eder ve en büyük deformasyondur. Derin çekme yüksekliği malzemelerin şekillendirilebilme özelliklerini karşılaştırmak amacı ile kullanılabilir ve çelik ve alüminyum gövde panellerin kalite kontrolü olarak kullanılmaktadır.

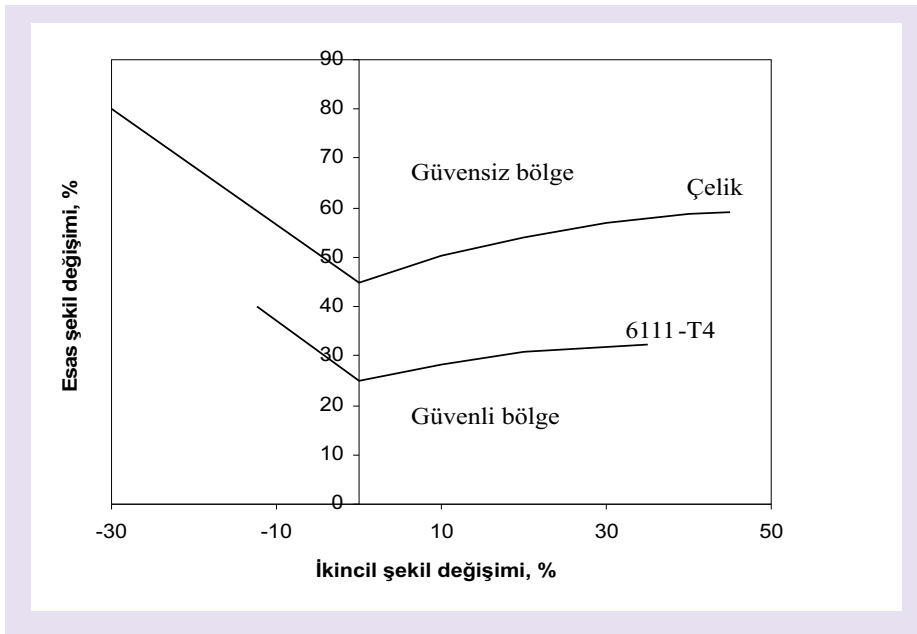
Sürtünme

Genel olarak hem çeliğin hem alüminyumun sürtünme karakterleri ve özellikleri haddeleme yönüne göre numunenin yerleşimine göre değişmektedir. Anisotropi çeliğe göre alüminyum da daha çok ön plana çıkmaktadır. Numune tutucular değişirse presleme performansı etkilenebilir. Kalıp-levha arasındaki sürtünme karakteristiği genellikle ortalama Colomb sürtünme katsayısı ile ifade edilir ve simülatif deneylerden elde edilebilir. Sürtünme katsayısı plaka, takım yüzeyini ve yağlayıcının karakteristiklerinin kombinasyonunu gösterir.

Şekillendirme Sınır Diyagramı (ŞSD)

ŞSD diyagramları özel presleme şartlarının fizibilitesine yaklaşımda bulunmak amacı ile kullanılır. ŞSD, sac levhaların işlenmesinde hasara en yakın veya hasar anındaki esas ve ikincil yüzey uzamalarının kombinasyonunu ifade eder ve böylece güvenli ve güvensiz bölge olarak ikiye ayrılır (Şekil 7). ŞSD yarım küre bir zimba üzerinde farklı genişliklerdeki numunelerin şekil değiştirilmesi ile elde edilir. Farklı genişlikler deformasyon esnasında farklı gerilme durumunu ve farklı küçük uzama seviyeleri gösterir. Daha geniş numuneler pozitif küçük uzamalar gösterirken dar numuneler negatif küçük uzamalar gösterecektir. Çünkü ŞSD malzeme-kalınlık ilişkisi vardır. Malzeme/kalınlık ilişkisi her bir malzeme için elde edilmelidir. Çelik için kalınlığın etkisi iyi tanımlanmalıdır ve ŞSD, n ve kalınlığın bir fonksiyonu olarak tanımlanmalıdır. Alüminyum için kalınlığın etkisi daha az önemlidir. Şekil 4.3 kalınlığın ŞSD üzerine etkisini göstermektedir. Bu çalışma sadece bir alüminyum alaşımı için yapılmıştır.

Şekil 7, AA6111 ve düşük karbonlu otomotiv çeliği için ŞSD'mı verilmiştir. Mukavemetlerini karşılaştırmak için çelik daha yüksek ŞSD'ye ve daha büyük uzama bölgesine sahiptir. Literatürdeki ŞSD'lerin karşılaştırılmalarına dikkat edilmelidir. Farklı laboratuvar ortamlarında yapılan deneylerde Round-robin testlerinden ŞSD'lerde çok farklı sonuçlar elde edilmektedir. ŞSD diyagramını elde etmek için değişkenleri parametreleri azaltmak için yeni bir işlem önerilmiştir (4.8). Laboratuvar şartlarında ŞSD esas itibarıyla şekil değişimini göstermektedir. Eğer parçanın geometrisi dikkate değer bir şekil değişimine maruz kalıyorsa değerlendirme yaklaşımı için standart bir ŞSD kullanılmalıdır. Ön gerilmeli farklı ŞSD'leri analiz etmek için deformasyon yoluna ve farklı deformasyon aşamalarına bağlı değerlendirilebilir.



Şekil 7. Şekil 7 6111-T4 Alüminyum Alaşımı ve Derin Çekilebilir Düşük Karbonlu Çelik İçin ŞSD Diyagramı

ŞSD yardımı ile şekil değişiminin değerlendirilmesi kalıp tasarımında ve hata gidirmede önemli bir bilgidir. Şekil değişiminin değerlendirilmesinde panel sac bilinen şartlar altında ızgara şeklinde çizgilenir ve analiz edilir. Bu çizgiler yardımı ile daireler ve/veya kareler düz metal levha üzerine yerleştirilir. İpek ekran (silk screening), foto dağlama ve elektro-kimyasal dağlama şekilleri levha üzerine yerleştirilerek kullanılan değerlendirme yöntemleridir. Panel, deformasyondan sonra başlangıç durumuna göre şekli değişir. ızgara modeli, ilk boyutlarına göre meydana gelen değişimler, deformasyon esnasında oluşan yüzey uzamalarını, şekil değişimlerini hesaplamada yardımcı olurlar. Hassasiyet ve maliyet esas alınarak bu değişimlerin değerlendirilmesinde birkaç teknik kullanılabilir. En yaygın olarak kullanılan sistemler Mylar (poliester film materyel) ölçeği, mikroskopik tip optik sistem ve bilgisayar destekli video sistemleridir. ŞSD lı deforme olmuş bir panelin uzamalarını karşılaştırarak, parçanın kritik bölge veya hasar görülme-yen güvenli bölgeleri tahmin edilebilir [22].

SONUÇ

1. Son yıllarda otomobil üretiminde alüminyum alaşımlarının kullanımı üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Alüminyumun kullanımı aracın toplam ağırlığını azaltmakla beraber yakıt tüketimini azaltmaktadır. Farklı tahrik sistemlerinin daha verimli çalışmasına da imkan vermektedir.
2. Kullanılmış ve aşınmış alüminyum parçaların %80-95 oranında geri dönüşümü atıklardan faydalanma imkanlarını da sağlamaktadır.
3. Gelişmiş ısıl işlem yöntemleri kontrollü yeniden kristalleşen yapıya ve üretim parametrelerine sahip sac levhaların üretimine imkan sağlar ve dış panel uygulamalarında uygunluk sağlar [1, 13].
4. Otomotiv endüstrisinde alüminyum malzemelerin kullanımında bir çok avantajlar bulunmaktadır. Alüminyum malzeme olarak çeliğe nazaran farklı karakteristik özellikler sahiptir ancak malzeme olarak alüminyumun taşınması, şekillendirilmesi, kaynaklanması, mamul hale gelmesine kadarki işlemlerde kullanılan birçok sistem ve makineler, çelik malzemelerle kullanılanlar ile aynı olması büyük bir avantaj sağlamaktadır.
5. Özellikle otomotiv panel uygulamalarında

alüminyumun etkili ve ekonomik kullanılmasında her bir parçanın özellik ve karakteristiğine göre optimize edilmesi gerekmektedir. Bunun için aşımaların hem fiziksel hem de mekanik aynı zamanda şekillendirilebilme ve birleşme özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

6. Çelik konstrüksiyonlar alüminyum konstrüksiyona çevirildiklerinde yaklaşık %40-50 ağırlık kazanımı elde edilebilmektedir. Alüminyuma göre optimize edilmiş tasarım çelik panele göre %65'e varan kazanım sağlayabilir. Aynı zamanda tasarım aşamasında üretim faktörlerini de dikkate almak önem kazanır.

KAYNAKÇA

1. **I. N., Fridlyander, V.G., Sister, O.E., Grushko, V.V., Berstenev, L.M., Sheveleva, L.A., Ivanova I,** "Aluminum Alloys: Promising Materials In The Automotive Industry", Metal Science and Heat Treatment, Translated from Metalovedeniei Termicheskaya Obrabotka Metallov, No.9,pp.3-9, September, 2002.
2. **F., Rosch,** "Aluminum-Its Suitability and Performance in Light Weight Automobile Structure", Automotive Technology for Improving Fuel economy, Germany, SEA Technical Paper Series 937397, 1993.
3. **F.J., Paefgen,** "The Audi Space Frame (ASF)- A New Way to Build Passenger Car Body Work in Aluminum", Development in Body Work Design&Manufacturing, Germany, SEA Technical Paper Series 947003, 1994.
4. **W., Leifermann,** "Aluminum Body Structure of the A8", 5.Int.Cong. of the European Automobile Engineers Cooperation, France, SEA Technical Paper Series 953335, 1995
5. **F.J., Paefgen,** "Aluminum Space Frame-a New Kind of Vehicle Construction", Automobile Technology for Improving Fuel Economy, Germany, SEA Technical Paper Series 937098, 1993.
6. **H., Wallentowitz, J., Leyers, T., Parr,** "Materials For Future Automotive Body Structures", A Report, Institut für Kraftfahrwesen Aachen (IfKA), Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen, and Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen, Business Briefing:Global Automotive Manufacturing & Technology, 2003.
7. **F., Ostermann,** "Aluminum Materials Technology For Automobile Construction," English translation by Row Woodward, Mechanical Engineering Publication Limited, London, 1993.
8. **M.J., Wheeler, P.G., Sheasby, D., Kewley,** "Aluminum Structured Vehicle Technology-A Comprehensive Approach to Vehicle Design and Manufacturing in Aluminum SEA Technical Paper Series 870146, 1987.
9. The Automotive Future in Aluminum, Corus Aluminum NV, Belgium, www.corusgroup-duffel.com
10. **S.J., Harris, B., Noble, D.G., McCartney, et al.,** "Controlling The Formability and Strength of AlMgSi alloys", in: Aluminium Alloys, ICAA-6, July 510, 1998, Japan, pp.383388.
11. **T., Dakurai, S., Yoshizama,** "Development of Hydromechanical Forming Technology Using Aluminum Damping Sheet For Deep Drawing Automotive Part", in: Aluminium Alloys: ICAA-6, July 510, 1998, Japan, pp.467472.
12. **R., Mahmudi, W.T., Roberts, D.V., Vilson, et al.,** "Mechanical Properties and Formability Of The Grained Aluminum Alloys sheets", Aluminium, No.1, pp.6266, 1987.
13. **TR1.2.16472000,** "Fabrication of Sheets from AV-Type Alloys with Fine-Grained Recrystallized Structure for Cold Forming", Technol. Recommend, VIAM, Moscow, 2000.
14. **J.W., Evancho, J.G., Kaufman,** "New 6xxx Series Alloys for auto Body Sheet", Int. Automotive Eng. Congress and Exposition, Detroit., MI., SEA technical paper series 770307, 1977.
15. **S.A., Court, H.D., Dudgeon,, R.A., Ricks,** "Improved Performance in al-Mg-Si (6xxx) Extrude Structure Alloys through Microstructural Control"1, Proceedings of the 4. Int.conf. on Aluminum Alloys, pp.395-402, 1996.
16. Aluminum Standard & Data ,1997 American Association Inc., Washington DC.
17. **R.L., Rolf, M.L., Sharp, W.C., Herbein,** "Minimizing the Weight of Aluminum Body Panels", SEA Paper 790164, 1979
18. **W.N., Smith, J.E., Grand,** "Reducing the Cost of the Aluminum Panels", SEA Paper 800931, 1980.
19. **W.C., Herbein, N.B., Wolff,** "Minimizing the Weight and Cost of the Aluminum Deck lid", SEA Paper 810783, 1981.
20. **H., Torburn,** "Comparative Test of Stiffness and Dent Resistance on Aluminum and Steel Fender", 1994 IBEC Conference Proceeding.
21. Aluminum Automotive Extrusion Manual, Aluminum association Inc. Washington, Publicatio AT6, 1998.
22. Metal Hand Book 9.Edition, V.14 Forming and Forging ASM Int., 7988. Tool and Manufacturing Engineers Handbook 4.Edt., V.2 Forming, Forming Society of Manufacturing Engineering, 1984.
23. **EWI,** "New aluminum welding technologies in the automobile Industry", Material Joining Newsletter, v17,n2, p1, Colombos, OH, www.ewi.org