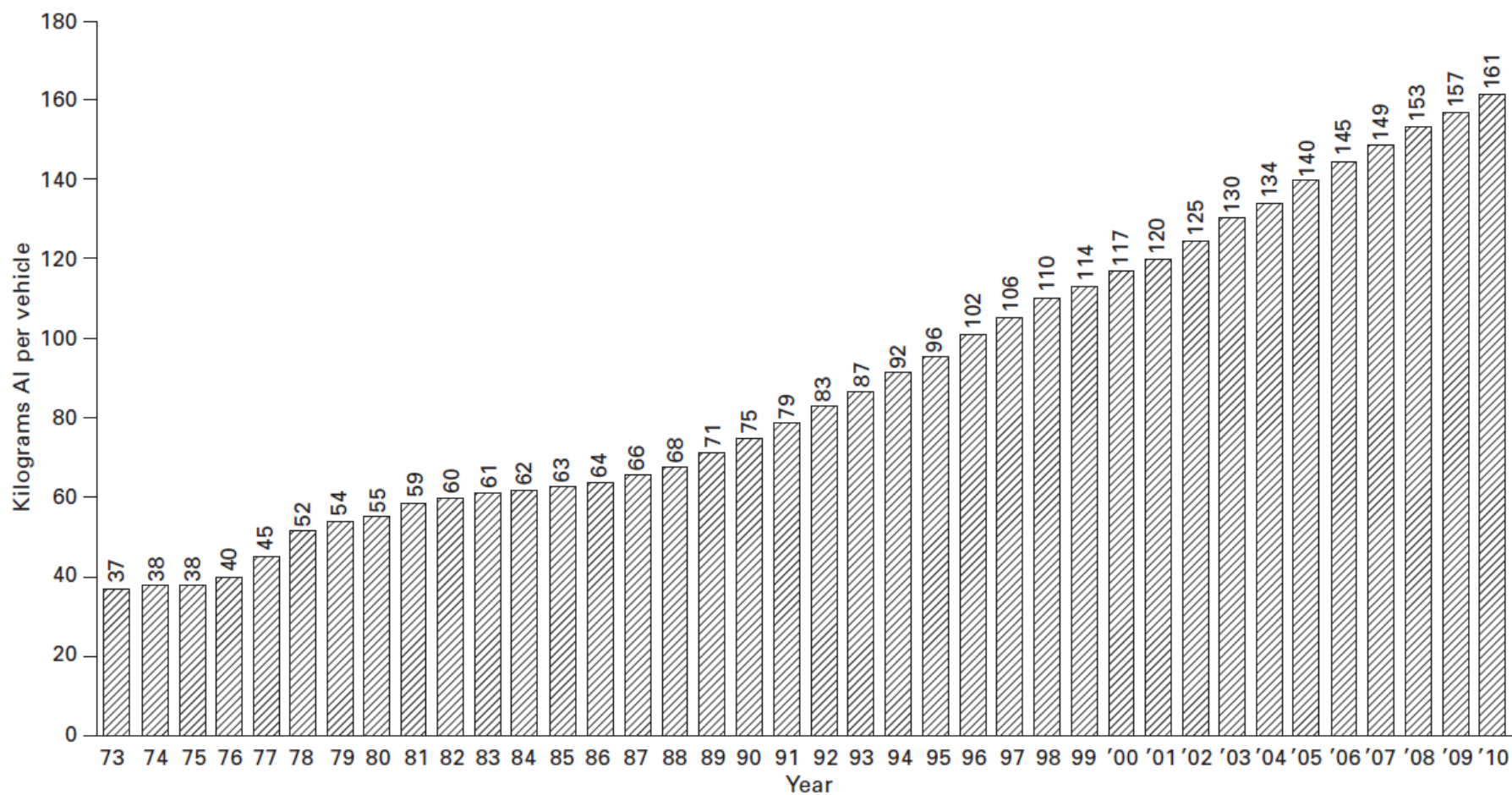


HAFİF OTOMOTİV YAPILARI İÇİN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Prof. Dr. Kerem Altuğ GÜLER

- Otomotiv uygulamalarında alüminyum alaşımlarının çeliğe göre en büyük avantajı düşük yoğunluklu olmasıdır. Alüminyumun yoğunluğu çeliğe göre yaklaşık % 65 daha düşüktür.
- Ancak alüminyum alaşımlarının elastiklik modülü 70 GPa ile çeliğin elastiklik modülü olan 207 GPa'ın oldukça altında kalmaktadır.
- Bu nedenle eşit eğilme rijitliği sağlayabilmek için bir alüminyum parça çelik olanından % 43,5 daha kalın olmalıdır.
- Basit bir hesaba göre çelik gövde panellerinin alüminyumdan olanlar ile değiştirilmesi % 50 ağırlık tasarrufu sağlamaktadır.

- Alüminyum alaşımları çeşitli imalat teknikleri ile şekillendirilebilmektedir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:
 - Döküm
 - Ekstrüzyon
 - Presleme
 - Dövme
 - Talaşlı işleme
- Kaynakla birleştirilen pres parçalarla karşılaştırıldığında döküm ve ekstrüzyon ile birleşik form ve fonksiyonda parçalar üretilebilmektedir. Böylece toplam parça sayısı azalmakta ve araç üretiminde verimlilik artmaktadır.



3.1 North American light vehicle aluminum content increasing over three decades.^{1,2} © Light Metal Age, reproduced with permission.

- Dünya çapında alüminyum üretimi üzerine hazırlanan kapsamlı bir çalışmadaki hesaplamalara göre; demir ve çeliğin alüminyum ile yer değiştirdiği bir durumda, orta sınıf bir sedan otomobilin ortalama ömrü baz alındığında her 1 ton alüminyum, karbon dioksit salınımını 18 ton azaltmaktadır.
- Bu hesaplama, araç ağırlığının % 10 azalması durumunda yakıt tüketiminin ortalama % 5-6 düşmesi bilgisine dayanılarak yapılmıştır.
- Bu hesaba bir de araçlarda kullanılan alüminyumun geri dönüştürülmesi ve birincil üretime göre enerjide % 95 tasarruf sağlanması eklendiğinde sera gazı salınımlarının daha da düşeceği ortaya çıkmaktadır.

Table 3.1 Aluminum Association designation system for wrought aluminum alloys.⁸⁻¹¹

© Light Metal Age, reproduced with permission

1xxx – Pure Al (99.00% or greater)

2xxx – Al–Cu alloys

3xxx – Al–Mn alloys

4xxx – Al–Si alloys

5xxx – Al–Mg alloys

6xxx – Al–Mg–Si alloys

7xxx – Al–Zn alloys

8xxx – Al+other elements

9xxx – Unused series

First digit – principal alloying constituent(s).

Second digit – variations of initial alloy.

Third and fourth digits – individual alloy variations (number has no significance but is unique).

Table 3.2 Aluminum Association designation system for aluminum casting alloys.^{9,11}
© Light Metal Age, reproduced with permission

1xx.x – Pure Al (99.00% or greater)
2xx.x – Al–Cu alloys
3xx.x – Al–Si + Cu and/or Mg
4xx.x – Al–Si
5xx.x – Al–Mg
7xx.x – Al–Zn
8xx.x – Al–Sn
9xx.x – Al+other elements
6xx.x – Unused series

First digit – principal alloying constituent(s).

Second and third digits – specific alloy designation (number has no significance but is unique).

Fourth digit – casting (0) or ingot (1,2) designation.

Variations indicated by preceding letter (A, B, C).

*Table 3.3 Aluminum Association and European Union (EN) aluminum alloy temper designation system.*⁸⁻¹¹ © Light Metal Age, reproduced with permission

F – as fabricated

O – annealed

H – strain-hardened (wrought products only)

W – solution heat-treated

T – thermally treated to produce tempers other than F,O,H (usually solution heat-treated, quenched, and precipitation hardened)

Numeric additions indicate specific variations:

H14 – strain hardened, ½ hard

T4 – solution treated and naturally aged

T6 – solution heat treated and artificially aged

T65 – solution heat treated, stress relieved by stretching a specified amount, and artificially aged

Aluminum powertrain
castings

•A319, S356, A380



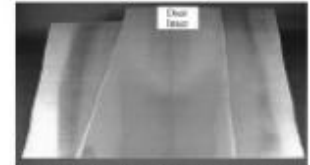
Aluminum condenser
and radiators

•AA1200, AA3005

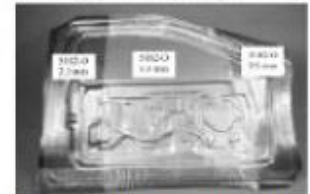


Aluminum
closures and
inner body parts

•AA5052, 5454, 5754



Photos courtesy of Reynolds Metals Company and Alcoa Automotive Corp.



35% weight reduction/
reduction in part count

Aluminum outer body
panels and closures

•AA 6009, 6111, 6022



Aluminum body
components – extrusions

•AA 6061



3.3 Some typical automotive aluminum alloy applications and product forms. © Light Metal Age, reproduced with permission.

- Otomotiv üretiminde kullanılan alüminyumun önemli bir kısmı ($\sim \% 80$) güç aktarma sistemlerindeki döküm parçalardan oluşmaktadır. Bununla beraber çoğu otomobilde AA1200 ve AA3005 alaşımlarından üretilmiş radyatör ve kondenser bulunmaktadır.
- Alüminyum alaşımları döküm ve dövme alaşımlar olarak sınıflandırıldıkları için otomotiv uygulamalarının sayısı rekabet içinde oldukları diğer malzeme gruplarına göre daha fazladır.
- Evrensel alüminyum alaşımlarının otomotiv sanayinde uygulamaları çok geniş olsa da, bazı durumlarda bu alaşımlar kimyasal özelliklerin ve proseslerin sınırlamaları içinde kalacak şekilde düşük miktar alaşım elementi ilavesi ile modifiye edilmektedir.

- İşlem (dövme) alaşımları sac, plaka, ekstrüze, dövme ve hatta yarı-katı şekillendirilmiş formlarda bulunurken, döküm alaşımları çeşitli yöntemlerle dökülerek veya yarı-katı şekillendirilerek kullanılmaktadır.
- Uygulanan başlıca döküm prosesleri şunlardır:
 - Kum kalıba döküm (Sand mould casting)
 - Metal kalıba (kokil) döküm, (Permanent mould/Gravity die casting)
 - Hassas döküm, (Investment/Lost wax casting)
 - Kaybolan köpük döküm (Lost foam casting)
 - Yüksek basınçlı döküm (High pressure die casting)
 - Alçak basınçlı döküm (Low pressure die casting)
 - Sıkıştırma döküm (Squeeze casting)

Table 3.4 List of cast aluminum alloys and automotive applications¹. © Light Metal Age, reproduced with permission

2xx.x	Series
201.0	Structural members, cylinder heads, pistons, connecting rods, rocker arms
204.0	Structural members, brake calipers, powertrain castings
206.0	Structural members, gear housings, cylinder heads for gasoline and diesel engines, supercharger impellers
208.0	Manifolds, valve bodies
242.0	Diesel pistons, air-cooled cylinder heads
295.0	Rear axle housings, crankcases
3xx.x	Series
319.0	Cylinder heads, crankcases, internal engine parts
332.0	Gasoline and diesel engine pistons, pulleys, sheaves
335.0	Liquid-cooled cylinder heads and blocks
339.0	Pistons
356.0	Transmission cases, liquid-cooled cylinder blocks, manifolds
A356.0	Wheels, chassis castings
357.0	Chassis castings
A380.0	Brackets, housings, internal engine parts, steering gears
383.0	Liquid-cooled engine blocks, transmission housings/parts, fuel metering devices
390.0/A390.0/B390.0	Engine blocks, high-wear applications such as ring gears and internal transmission parts, disc brakes, brake shoes, compressor scrolls

Table 3.5 List of wrought aluminum alloys and automotive applications. © Light Metal Age, reproduced with permission

1000	Series
1100	Trim, nameplates, appliqués
1200	Extruded condenser tubes and fins
2000	Series (often clad with 6000 or 7000 alloys for body panels)
2008	Outer and inner body panels or structural applications
2010	Outer and inner body panels or structural applications
2011	Screw machine parts
2017	Mechanical fasteners
2024	Mechanical fasteners
2036	Outer and inner body panels, load floors, seat shells
2111	Applications requiring good machinability
2117	Mechanical fasteners
3000	Series
3002	Trim, nameplates, appliqués
3003	Braze clad welded radiator tubes, heater cores, radiator, heater and outlet tubes, oil coolers, air conditioning liquid lines
3004	Interior panels and components
3005	Braze clad fins for radiators, heaters, and evaporators
3102	Extruded condenser fins

4000 Series

4032 Pistons and high temperature service parts

4043 Weld filler wire for MIG/TIG welding of all wrought and cast aluminum alloys

5000 Series

5005 Trim, nameplates, appliqués

5052 Interior panels and components, bumpers, some body panels

5252 Trim

5182 Inner body panels, reinforcement members, brackets

5356 Weld filler wire for MIG/TIG welding of aluminum alloys with a high magnesium content (>3% Mg)

5456 Armor plate

5454 Wheels, engine brackets and mounts, various welded structures

5457 Trim

5657 Trim

5754 Inner body panels, splash guards, heat shields, air cleaner trays and covers, structural parts, load floors

6000 Series

- 6009 Outer and inner body panels, load floors, bumper face bars, bumper reinforcements, structural and welded parts, seat shells
- 6005 Seat frame components (extruded)
- 6009 Outer and inner body panels
- 6010 Outer and inner body panels, bumper reinforcements, seat shells, seat tracks
- 6016 Outer and inner body panels
- 6020 Lead-free replacement for 6262 in high machinability applications, ABS manifolds, brake housings, brake pistons, transmission valves and sleeves, impacts
- 6053 Mechanical fasteners
- 6061 Body components (extruded), brackets (extruded and sheet), suspension parts (forgings), driveshafts (tubes), driveshaft yokes (impacts and forgings), spare tire carrier parts (extruded), bumper reinforcements, mechanical fasteners, brake cylinders (extruded), wheels (sheet), ABS manifolds (extruded), fuel delivery systems
- 6063 Body components (extruded)
- 6070 Structural components (extruded)
- 6082 General structural parts (extruded or forged), brake housings
- 6111 Body panels
- 6262 Brake housings, brake pistons, screw machine products
- 6463 Bright anodized automotive components

7000 Series

- 7003 Seat tracks, bumper reinforcements
 - 7004 Seat tracks, bumper reinforcements
 - 7021 Bumper face bars, brackets (sheet), bright anodized bumper face bars, bumper reinforcements
 - 7033 Forged suspension and control arms
-

Hafif araçlarda kullanılan alüminyum alaşımı dökümler

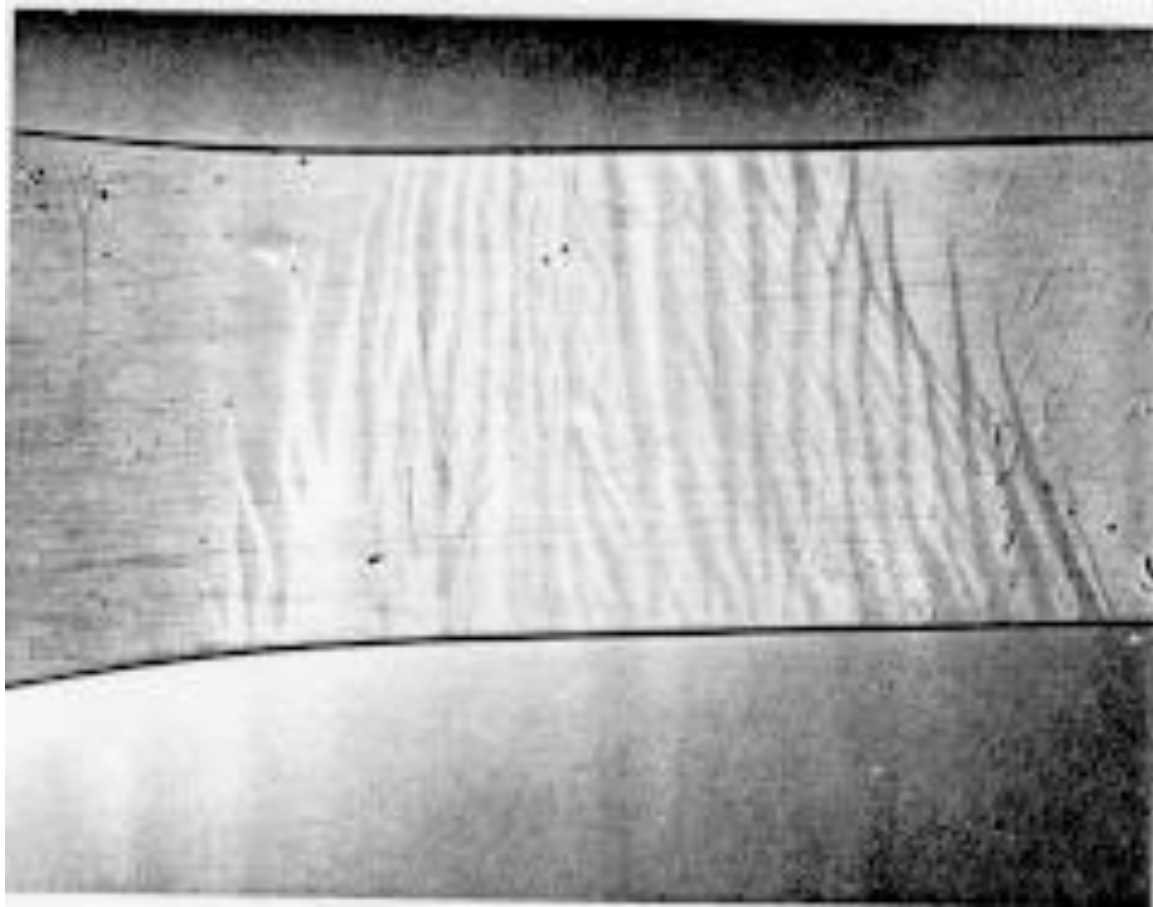
- Al-Si döküm alaşımları ötektik altı, ötektik ve ötektik üstü olarak sınıflandırılabilir. Ötektik kompozisyon % 12,5 Si içermektedir.
- Ötektik altı alaşımlardan olan 356 (% 7 Si, % 0,3 Mg) yüksek bir dökülebilirliğe sahiptir güç aktarma parçalarında ve bunun yanında şasi ve süspansiyon parçalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yüksek işlenebilirliği sayesinde ABS manifoldlarının üretiminde 6061 alaşımı ile rekabet halindedir.
- Ötektiğe yakın kompozisyonu ile 413 (% 12 Si) alaşımı ince kesitli karmaşık parçaların dökümünde çok başarılıdır.

- Ötektik üstü 390 (% 17 Si, % 4,5 Cu, % 0,6 Mg) alaşımı özellikle gömleksiz silindir bloklarının üretimi için 1950'lerin sonunda geliştirilmiştir.
- Şasi ve süspansiyon parçalarının yüksek dayanım ihtiyacı, bazen HSLA çeliğinden preslenmiş parçaların montajından oluşan yapının, A206 alaşımından son şekle yakın (near net shape) döküm parça ile değiştirilmesine neden olmakta ve % 55 ağırlık tasarrufu sağlanmaktadır.

Hafif araçlarda kullanılan alüminyum alaşımı sac ve plakalar

- Alüminyum alaşımı sacların otomotiv ve kamyonet uygulamalarında ağırlıklı olarak deformasyon sertleşmesiyle dayanımı arttırılan 5182, 5454 ve 5754 gibi O ısıt işlemleri kondisyonunda temin edilen 5xxx serisi alaşımlar ile çökelme sertleşmesi gösteren 6009, 6022 ve 6111 gibi T4 veya T41 kondisyonlarında bulunan 6xxx serisi alaşımlar kullanılmaktadır.

- 6xxx serisi alaşımlar otomobillerde dış gövde panellerinin üretiminde kullanılmaktadır. Bu alaşımların Lüder direnci ya da preslemede deformasyon izi oluşumu direnci yüksek olduğu için ve bir kısmı boya kurutmada kazanılan yüksek dayanımları için dış panellerde tercih edilmektedir.
- Düşük maliyetli 5xxx serisi alaşımları daha çok iç gövde panelleri ve yapısal gövde parçalarında tercih edilmektedir. Şekillendirmede bu alaşımların yüzeylerinde Lüder bantlarının ya da deformasyon izlerinin belirgin bir şekilde oluşması görünür dış panellerde kullanımını sınırlamaktadır.



Typical type A Lüders lines formed during tension in 5XXX series aluminum alloys (vertical wedges). The beginnings of type B lines can be seen on the right hand side of the photograph. (From Lloyd (1980).)

Table 3.6 Typical mechanical properties and formability parameters of some aluminum body sheet alloys.^{22,23} © Light Metal Age, reproduced with permission

Alloy and temper	Ultimate tensile strength (MPa)	0.2% Yield strength (MPa)	Elongation in 50 mm or 2 in (%)	Modulus of elasticity tension/compression (GPa)	Strain hardening exponent n	Plastic strain ratio r	Hem type
5182-O	275	130	24	71	0.33	0.80	Standard
5454-O	250	115	22	70	0.30	0.80	Standard
5754-O	220	95	26	71	0.30	0.80	Standard
6009-T4	220	125	25	69	0.22	0.64	Standard
-T62	295	260	11	69	—	—	—
6022-T4	255	150	26	69	0.25	0.67	Roped
-T62	325	290	12	69	—	—	—
6111-T4	290	150	26	69	0.28	0.70	Roped
-T62	360	315	11	69	—	—	—

- Lehimli (brazing) ya da giydirilmiş alüminyum alaşımı saclar otomotiv sanayinde radyatör ve kondensör yapımında çok kullanılmaktadır.
- Bu işlemde, AA3005 gibi Al-Mn alaşımından bir çekirdek giydirmeye (cladding) yöntemiyle AA4147 gibi bir Al-Si lehim alaşımı ile kaplanmaktadır.
- Korozyon dirençlerini arttırmak amacıyla 2xxx serisi alaşımların 1xxx serisi alaşımlar ile giydirilmesi de çok yaygın bir uygulamadır.
- Çok çeşitli kaplama veya giydirmeye opsiyonları ve malzeme kombinasyonları ile otomotiv sanayi için yeni tasarım seçeneklerine uygun hem dayanımı, hem şekillenme ve anotlama davranışları geliştirilmiş alüminyum saclar üretilmektedir.



3.8 Schematic of the aluminum intensive Jaguar XJ2200 sport sedan with a monocoque body-in-white containing adhesively bonded and riveted stamped aluminum alloy sheet components. © Light Metal Age, reproduced with permission.

- Araç üretiminde alüminyum alaşımı sacların birleştirilmesinde yapıştırıcılar, perçinler, MIG/TIG ve lazer kaynağı kullanılmaktadır.
- Çelik sacların birleştirilmesinde kullanılan punto kaynağı ile karşılaştırıldığında farklılık keskindir.
- Alüminyum sacların punto kaynağı (nokta direnç kaynağı) ile birleştirilmesi için alüminyum firmaları çok çaba harcarsa da bu teknik otomotiv sanayinde çok yaygınlaşmamıştır. Bazı SUV (Sport Utility Vehicle) tarzı araçların yük kapılarının sac birleştirmelerinde bu teknik kullanılmaktadır.
- Japon otomotiv üreticileri yüksek maliyetinden dolayı alüminyum sac paneller kullanmaya biraz daha geç başlamıştır. Birleştirme tekniği olarak da sürtünme karıştırma kaynağı (Friction Stir Welding, FSW) ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı (Friction Stir Spot Welding, FSSW) kullanmayı tercih etmişlerdir.

- Otomotiv sanayinde alüminyum alaşımı sacların şekillendirilmesinde hidroforming etkin olarak kullanılan bir yöntemdir. Hidroforming, şekillendirmede yüksek basınçlı sıvılardan faydalanan bir yöntemdir.
- Bunun yanında süper plastik şekillendirme de (Superplastic Forming, SPF) tercih edilebilmektedir. Bu yöntemle özellikle derin şekilli panel parçaları, 5083-H18 veya H19 alaşımından tek sac kullanılarak ve geri esneme (spring back) olmadan, mükemmel tekrar edilebilirlikte ve görece çok düşük kalıp maliyeti ile üretilebilmektedir.
- Alüminyum alaşımı sacların süper plastik şekillendirmesi yüksek sıcaklıklarda düşük gerinim hızlarıyla gerçekleştirilmektedir ve bu yöntem uzun yıllardır havacılık uygulamalarında kullanılmaktadır. Geçtiğimiz son 10-15 yıl içerisinde çok sayıda araç modelinde gövde panellerinin şekillendirilmesinde kullanılmıştır. Bu araç grubunu büyük oranda yüksek fiyatlı spor ve performans araçları oluşturmaktadır.

Hafif araçlarda kullanılan alüminyum alaşımı ekstrüze ürünler

- Bütün alüminyum alaşımları serileri içinde 6xxx ve 7xxx alaşımları ekstrüze formda en çok kullanılanlarıdır.
- Belli başlı uygulamalar şöyle sıralanabilir: Motor yatağı, platform çerçeve rayları, çapraz kirişler, uzay kafesler, koltuk çerçeveleri, radyatör çerçeveleri, tampon barları, ABS valf gövdesi için işlenmiş bar veya çubuklar, çeşitli gömlekler, bilezikler, bağlantılar ve çeşitli darbeli ekstrüzyon ürünleri.
- 6xxx ve 7xxx serisi alaşımlar çözeltiye alma ve su verme sonrası yapay ya da doğal yaşlanma ile çökelti sertleşmesine tabi tutulabilir veya nadiren de olsa tam tavlı (O temper) şekilde kullanılabilir.

- Alüminyum ekstrüze parçalar otomobillerin yanında otobüs ve kamyon üretiminde de kullanılmaktadır.
- Ekstrüze ürünler, fonksiyonel ve estetik gereksinimlerin her ikisinin de karşılanmasında ve yapısal parça geliştirmelerinde tasarımcılara çok sayıda avantajlı olasılıklar sunmaktadır.
- Ekstrüzyon kalıplarının maliyeti pres ve döküm kalıplarından daha düşük olduğu için tasarımcılar tasarımlarında döküm ve pres parça sayısını düşük tutmak isterler.
- Ekstrüzyon ürünlerden tamamen fonksiyonel parçalar farklı şekillerin birleştirilmesi ile elde edilebilir. Ayrıca ekstrüze parçalar döküm ve pres parçalar ile de birleştirilebilir.

Table 3.8 Typical mechanical properties of aluminum extrusion alloys.^{47,48} © Light Metal Age, reproduced with permission

Alloy and temper	Ultimate tensile strength (MPa)	0.2% Yield strength (MPa)	Elongation in 50 mm or 2 in. (%)	Ultimate shear strength (MPa)	Modulus of elasticity tension/compression (GPa)
6005-T5	305	270	12	200	69
6061-T1	150	90	20	100	69
-T4	240	145	22	165	69
-T6	310	275	12	205	69
6063-T4	170	90	22	105	69
-T5	185	145	12	115	69
-T6	240	215	12	150	69
7004-T5	400	340	15	220	72
7005-T53	395	350	15	225	72
7116-T5	360	315	14	200	70
7029-T5	430	380	15	270	70
7129-T5	430	380	14	270	70

- 6xxx serisi Al-Mg-Si alaşımları en çok ekstrüze edilen alaşımlardır.
- Korozyon dirençleri mükemmeldir. MIG, TIG, lazer, elektron ışını veya herhangi bir ergitme kaynağı ile kaynaklanabilirler. Ek olarak bir katı hal kaynağı olan sürtünme karıştırma kaynağı da uygulanmaktadır.
- Otomotiv uygulamalarında en çok kullanılan ekstrüze 6xxx serisi alaşımlar 6005, 6005A, 6061, 6063, 6082 ve 6351 dir. Pres sonrası hava veya su ile hızlı soğutma yapılarak akabinde fırında 4-8 saat yaşlandırılarak T5 veya T6 kondisyonu sağlanır.

- 6xxx serisi ekstrüze alaşımlar içerisinde en düşük dayanıma sahip olanı 6063 alaşımıdır. Aynı zamanda ekstrüze edilmesi kolay olduğu için bu alaşım ince kesitli karmaşık şekillerin üretimine çok uygundur.
- 6061 Amerika'da en popüler yapısal uygulama alaşımıyken, Avrupa'da 6082 daha çok rağbet görmektedir. 6351 alaşımı 6082'nin çok yakın bir Amerikan eş değeridir. 6005 ise dayanım ve uygulama olarak 6063 ile 6061 ya da 6082 arasında bulunmaktadır.

- 7xxx serisi Al-Zn-Mg alaşımları olan 7004, 7005, 7029, 7116 ve 7129, 6xxx serisi alaşımlardan daha yüksek dayanıma sahiptir ancak özellikle içi boş kompleks şekillere ekstrüze edilmeleri zordur ve korozyon dirençleri düşüktür. Ayrıca sadece 7004 ve 7005 kaynak işlemleri için uygun sayılabilir.
- 6xxx ve 7xxx serilerinin her ikisindeki alaşımlarda ekstrüzyon sonrası en iyi O (tam tavlama), F (işlem hemen sonrası) ve W (çözeltiye alma) kondisyonlarında şekillendirilebilir durumdadır. Ekstrüzyon sonrası şekillendirme gerekiyorsa yaşlandırmadan önce malzeme bu kondisyonlardan birindeyken yapılmaktadır.

- Özel bir ısıtıl işlem olan retrograsyon (Retrogression Heat Treatment, RHT) yaşlanmış parçaların şekillendirilmesi için otomotiv parça üreticileri tarafından geliştirilmiştir.
- Retrograsyon işleminde indüksiyonla bölgesel ısıtma yapılarak parça en sünek durumuna getirilir ve en yüksek dayanımında kolayca şekillendirilir. Şekillenme O temper kondisyonundan bile iyi olabilmektedir.

- Alüminyum ekstrüzyon sanayinde önemli bir teknoloji, ekstrüzyon sırasında yapılabilen doğrudan yuvarlamadır. (direct rounding). Bu işlem ile düz parçaların sonradan eğilerek yuvarlanması aşaması ortadan kalkmaktadır.
- Doğrudan yuvarlama ekstrüzyon kalıbının modifiye edilmesi veya kalıp çıkış ağzına yanıl kuvvet uygulayabilen özel bir aparat takılmasıyla yapılabilmektedir.
- Bu şekilde üretilen parçalar tampon desteklerinde kullanılmaktadır.
- Sonradan geliştirilen bir yöntem ise kavisli profil ekstrüzyonu (Curved Profile Extrusion, CPE) adını almıştır.

Araçlarda alüminyum alaşımları ile çeliklerin genel karşılaştırması

- Alüminyum alaşımlarının yoğunluğu çeliğin ortalama üçte biri kadardır.
- Alüminyum alaşımlarının elastiklik modülü çeliğin üçte biridir.
- Alüminyum alaşımlarının sertliği çelikten daha düşüktür. (Ancak alüminyum yüzeyinde anodik kaplama ile oluşturulan oksit, çeliğin yüzeyindeki oksitten daha serttir.)
- Alüminyumun spesifik yorulma dayanımı çeliğin yarısı kadardır.
- Alüminyum alaşımlarının ısı genleşme katsayısı çeliklerden bir buçuk kat daha yüksektir.

- Alüminyum alaşımlarının tavllanmış durumdaki % uzaması, tavllanmış düşük karbonlu çeliğin % uzamasından üçte iki daha kısadır.
- Alüminyum alaşımlı sacın şekillenme kabiliyeti tavllanmış düşük karbonlu çelik sacdan daha zayıftır.
- Alüminyum alaşımlarını kriyojenik sıcaklıklara kadar sünekliklerini kaybetmezken yalın karbonlu çelikler düşük sıcaklıklarda gevrekleşmektedir.
- Çelikler gerinim hızı duyarlılığına sahipken alüminyum alaşımlarında böyle bir durum yoktur ve alüminyum alaşımları çeliklerden daha fazla darbe enerjisi sönmüleyebilir.

- Alüminyum alaşımları çelikler gibi manyetik değildir.
- Alüminyum alaşımları çelikler gibi kıvılcım çıkarmazlar.
- Alüminyum alaşımlarının ısı ve elektrik iletkenlikleri çeliğin dört katı kadardır.
- Çeliğin ve alüminyumun sönümleme karakteristikleri benzerdir.
- Alüminyum alaşımlarının atmosferik korozyon direnci çeliklerden çok yüksektir.
- Alüminyum alaşımları yüzey bitimi yapılmadan veya çok çeşitli kimyasal veya mekanik yüzey bitimi ile kullanılabilirken çelikler boyanarak veya elektro kaplamalar ile korozyondan korunabilmektedir.

- Alüminyum alaşımlarının galvanik korozyon direnci çelikten düşüktür.
- Alüminyum alaşımlarının geri dönüşüm değeri çelikten yüksektir.

Bu iki malzeme grubunun birbirlerini ikame etmesi veya birbirleriyle birleştirilmeleri durumunda tasarımcıların dikkate alması gereken hususlar yukarıda sıralanmıştır. Çelik ve alüminyum arasında özellikler, imalat ve montaj teknikleri açısından farklılıklar bulunduğu için doğrudan yer değiştirme işe yaramayacaktır, çoğu zaman yeni bir tasarım gerekli olmaktadır.

Araçlarda cam fiber takviyeli plastikler ile alüminyum alaşımlarının genel karşılaştırması.

Cam fiber takviyeli plastikler (CTP) (Fiberglass reinforced plastics, FRPs) temel olarak polyester veya vinil ester matris ve kesilmiş E-camı fiber takviyesinden oluşmaktadır.

- CTP'lerin yoğunluğu değişkendir ve alüminyum ile karşılaştırılabilir hatta fiber yüklemesine bağlı olarak daha düşük olabilir.
- CTP'lerin dayanımı değişkendir, alüminyum ile karşılaştırılabilir ve fiber yükleme ve doğrultusuna göre daha yüksek olabilir.

- Düşük sıcaklıklarda alüminyumun dayanımı artarken CTP'lerin dayanımı düşer ve gevrekleşme başlar.
- Yüksek sıcaklıklarda alüminyum alaşımları dayanımlarını CTP'lerden daha yüksek tutmaktadır.
- Alüminyum alaşımları ve CTP'lerin dayanım/ağırlık oranı birbirine yakındır.
- Alüminyumun elastiklik modülü CTP'den % 80-100 daha yüksektir.
- Alüminyum alaşımlarının sünekliği CTP'lerden açık ara yüksektir.

- Alüminyum alaşımlarının şekillendirilebilirliği çok iyidir. CTP'ler şekillendirilemez sadece uygun şekillerde kalıplanabilir.
- CTP'ler ile kıyaslandığında alüminyum alaşımlarının işlenebilirliği mükemmeldir.
- Konvansiyonel kaynak yöntemleriyle alüminyum alaşımları kaynaklanabilirken CTP'ler kaynak edilemez.
- CTP'lerin birleştirilmesi yapıştırıcılar ve mekanik bağlantı teknikleri ile sınırlıyken alüminyum alaşımlarına ekstrüzyon parçaların ve kenarı katlanmış sacların kenetlenmesi de dahil olmak üzere tüm mekanik bağlantı teknikleri uygulanabilir.

- CTP'lerin ısı genleşme katsayısı alüminyum alaşımlarından üç kat kadar daha yüksektir.
- Atmosferik şartlarda alüminyumun korozyon direnci mükemmeldir ve anotlama veya farklı kaplamalar ile bu durum estetik görünümle birlikte daha da iyileştirilebilir. CTP'ler metaller gibi korozyona uğramasa da hava şartlarına olan dayanımı düşüktür.
- Her iki malzeme grubu da manyetik değildir ve kıvılcım çıkarmaz.

- Alüminyum alaşımları yanıcı değildir. CTP'ler yanıcıdır ve yanarken zehirli gazlar çıkarmaktadır.
- Alüminyum alaşımları geri dönüştürülebilir ve hurda değeri yüksektir. CTP'ler geri dönüştürülemez ayrıca ortadan kaldırma ve depolama maliyeti çıkarır.

Video linkleri

- <https://www.youtube.com/watch?v=fEkUSV04ESw>
- https://www.youtube.com/watch?v=b_mx31DxoIE
- <https://www.youtube.com/watch?v=6NsZCZ65fWc>
- <https://www.youtube.com/watch?v=Zi7Xqlp0M-0>
- <https://www.youtube.com/watch?v=zto5xDPlwo>
- <https://www.youtube.com/watch?v=TrCtpsfrzSo>
- <https://www.youtube.com/watch?v=QU81LUFM5vI>
- <https://www.youtube.com/watch?v=ZuJMtW3xeNQ>