

Havacılık Malzemelerinde Rönesans:

Elvan ATEŞ ^{1,2}
Oğuzhan BAŞ ²
Dr. Mete BAKIR ^{1,2}
Prof. Dr. Fahrettin ÖZTÜRK ^{1,2}

[¹ Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ)

² Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü

Termoplastik Kompozitler

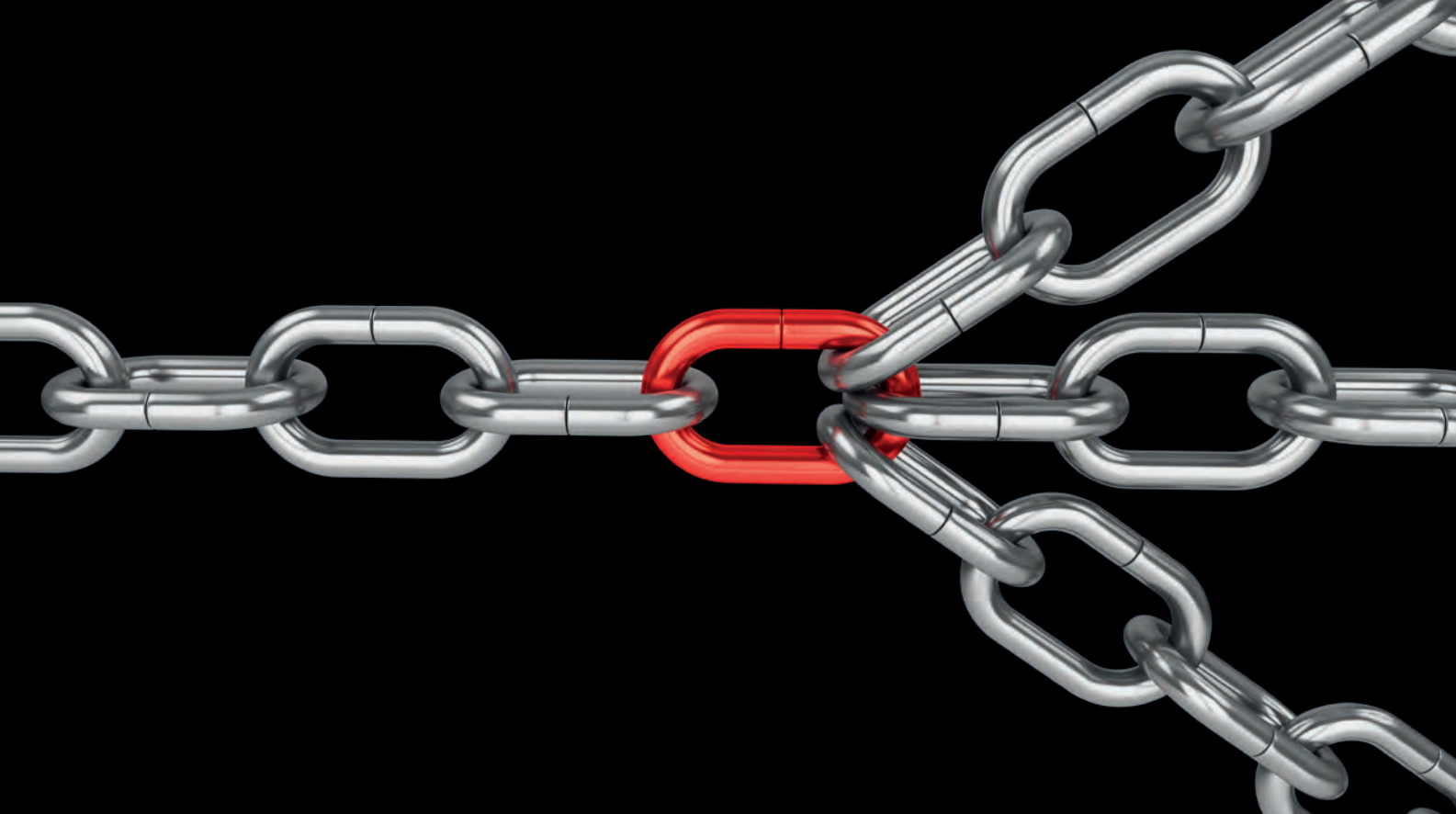
Malzemelerin ağırlıklarına göre ne kadar dayanıklı olduğunun ön planda bulunduğu günümüz endüstrisinde, kompozit malzemeler yapı çeliği ve alüminyum gibi geleneksel mühendislik malzemelerine oranla yüksek dayanım, korozyon ve kimyasal etkilere karşı gösterdikleri direnç ile dikkat çekiyor.

Uygulama alanlarına göre termoset ve termoplastik adı verilen ve iki çeşide ayrılan polimerler, kompozit malzemelerin yapısını oluşturan temel bileşenlerdir. Termoplastik sınıfına ait polimerler, avantajlı mekanik özellikleri ve geri dönüştürülebilir olmaları nedeniyle termoset malzemelere göre üstünlük gösterir. Günümüzde termoplastik reçine bazlı kompozit malzemeler, endüstride hızlı üretim işlemleri ve montaj kolaylığı gibi özelliklerinden dolayı oldukça ilgi görüyor. Dünya üzerindeki birçok havacılık şirketi, çeşitli uçak aksamlarında yeni bir teknoloji olan termoplastik reçineleri tercih ediyor. Belirli şirketler yeni AR-GE çalışmaları ile malzeme üzerine yoğunlaşmış durumda. Ülkemizde de bu konudaki AR-GE çalışmaları devam ediyor ve termoplastik bazlı kompozit malzeme üretiminin yakın zamanda hızlı bir şekilde hayata geçmesi öngörülüyor.

Tarihsel süreç boyunca teknolojinin önemli alanlarında ihtiyaç duyulan yüksek mukavemet, ısı ve kimyasal maddelere karşı direnç gibi önemli özellikler termoplastik reçine bazlı kompozit malzemeleri diğer mühendislik malzemelerine göre ön plana çıkardı. Bu durum, termoplastik kompozit malzemelerin havacılık, savunma ve otomotiv sanayii gibi sektörlerde kritik parçalarda tercih edilme sebebi oldu. Termoplastik kompozit malzemeler genel olarak üç önemli avantaja sahip. Öncelikle termoplastik kompozit malzemeler, alüminyum ve çelik gibi geleneksel mühendislik malzemeleri ile termoset kompozit malzemelere oranla daha yüksek ani tepki direncine sahip. Bu malzemelerin diğer bir avantajı ise fiziksel ve kimyasal mikro yapılarını ısı işlemler sonrasında dahi muhafaza edebilmeleri. Bu özelliklerinden dolayı geleceğin malzemesi adı verilen termoplastik kompozit malzemeler tekrar tekrar eritilebiliyor ve şekillendirilebiliyor. Son olarak, montaj kolaylığı

açısından, malzemelere ısı uygulanarak kaynak ve birleştirme işlemlerinin gerçekleştirilmesine imkân tanınması termoplastik kompozit malzemelerin öne çıkan avantajlarından biri. Seri üretim yöntemleri için de uygun olan bu malzemelerin montaj aşamasında kaynaklanabilir olması malzeme hasar oranının önemli ölçüde azalmasını sağlıyor.

Dünya genelinde insan nüfusunun artmasıyla doğru orantılı olarak hava taşımacılık sektörü de büyüyor. 2011 yılında günde 84.000 uçuş gerçekleştirilirken, 2030 yılında günlük uçuş sayısının 170.000 olacağı öngörülüyor. Bu veriler de önümüzdeki 20 yıl içerisinde yaklaşık 32.500 yolcu uçağının pazarda yerini alacağı anlamına geliyor. Düşük maliyet, az yakıt tüketimi ve hızlı büyüme dünya havacılık endüstrisinin temel hedefleri arasında yer aldığından termoplastik kompozitlerin sunduğu avantajlar özellikle havacılık sektöründe “geleceğin malzemesi” olarak anılmalarına yol açıyor.



Üretilen Boeing B787 ve Airbus A350 XWB uçaklarında, %50 oranında kompozit malzeme kullanılarak %25 oranlarına varan yakıt tasarrufu elde edildi. Gulfstream Aerospace G650 ve Dassault F5X uçaklarında, yön ve irtifa dümenleri; AW 169 helikopterin yatay kuyruk torsiyon kutusu ile hücum ve firar kenarları termoplastik kompozitlerin artırılmış ani tepki direnci avantajından faydalanılarak üretilmiş parçalara örnek olarak gösteriliyor.

Termoplastik polimer çeşitlerinin sayısı çok fazla olsa da bunların çok azı yüksek performans gerektiren uygulama alanlarında kullanılıyor. Yüksek performanslı uygulamalarda termoplastik malzemelerin bugüne dek yeteri kadar ilgi görmemesinin en önemli sebebi ise hammaddesinin yüksek maliyetiydi. Termoplastik kompozit malzemeler, kısa vadede yüksek maliyetli gibi görünse de uzun vadede seri üretim, montaj ve geri dönüştürülebilirlik özellikleri ile birlikte düşünüldüğünde sektörel ihtiyaca uygun ve uzun ömürlü malzemelerdir.

Termoplastik Matrisli Kompozit Malzemeler Nasıl Üretilir?

Kompozit malzemeler, en basit ifadeyle, güçlendirici karbon fiberlerden ve bunları kaplayan bir reçineden oluşur. Reçine, üretim sürecinde kompozit malzemenin şekillendirilmesine izin verirken, lifler de çevresel etkilere karşı koruma ve uygulamada yüksek mekanik performans sağlar. Üstelik lifler arasında bulunan polimer bazlı reçine, dış yüklere karşı tepki vermek için güçlü bir yapışkan etkisi oluşturarak tutkal görevi görür. Kompozite katkıda bulunan malzemeler, kendilerine özgü kimliklerini tamamen kaybetmemekle birlikte, nihai ürünü iyileştirmek için yararlı özelliklerini ortaya koyar. Böylece elde edilen malzeme, mühendislik uygulamalarında verimlilik ile dayanıklılığı artırmak ve maliyeti düşürmek gibi belirli amaçlar için kullanıma hazır hâle gelir. Örneğin, “karbon bisiklet” olarak adlandırılan kompozit bisikletlerde kullanılan ye-



Kompozit uygulama örnekleri

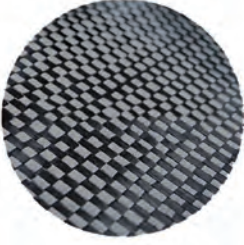
ni malzemeler ek performans ve üretim avantajları sunarken, aynı bisikletlerde kullanılan geleneksel malzemeler ise çok sayıda el işi gerektiren üretim işlemlerinden geçer.

Kompozit malzemelerin bir sınıfı olan termoplastik kompozit malzemeler, yüksek mekanik dirence sahip oldukları için bir uçak parçasının bu malzeme ile üretilmesi kırılmaya karşı daha dayanıklı olacağı, bir kazada daha az hasar göreceği ve diğer malzemelerle tasarlanmış bir uçaktan daha güvenli olacağı anlamına geliyor.

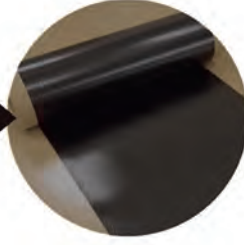
Bunların oda sıcaklığında saklanabilmesi, malzeme israfının azaltılmasını ve daha esnek üretim faaliyetlerini mümkün kılıyor. Dolayısıyla ülkemizde termoplastik malzemelerin geri dönüştürülebilir uygulamaları Avrupa Birliği sürdürülebilirlik standartları açısından desteklenebilir.

Bu malzemelerin bir diğer üretim avantajı yeniden şekillendirilebilir olması. Böylelikle üretim aşamasında ortaya çıkan tolerans hataları israfa yol açmadan düzeltilebilir.

1. Takviye elemanı ekleme



2. Reçine emdirme



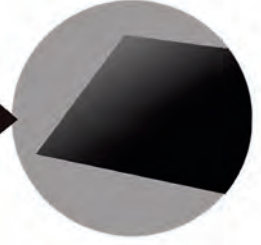
3. Kesim işlemi



4. Serim sistemi



5. Şekillendirme



Termoplastik prepreg malzemelerin üretim süreçleri

Gelişen imalat teknolojileri, termoplastik malzeme üretim döngüsünü iyileştirdi ve toplam üretim maliyeti düşüldüğünde malzemeyi daha hesaplı hâle getirdi. Gelişmeler, prepreg (reçine emdirilmiş kumaş) üretimi, tasarımı ve parça şekillendirmesi de dâhil olmak üzere termoplastik kompozit üretiminin her aşamasını etkiliyor. Prepreg üretim süreci temel olarak dört aşamadan oluşuyor. Genellikle katran veya naylon (PAN) malzemedan üretilen karbon elyaflar, oksidasyon aşamasında yaklaşık 300 °C kadar ısıtılıyor ve oksijen eklenerek yanmaz özellik kazandırılıyor. Karbonizasyon aşamasında ise elyafların 3000 °C sıcaklığa ulaşarak karbonlaşması sağlanıyor. Elektrolitik banyolarda, karbon elyaflara reçine emdirilerek yüzey iyileştirme işlemi gerçekleştiriliyor. Son basamak olan kaplama aşamasında ise prepreg malzeme son hâline getirili-

yor. Prepreg malzemelerin belirtilen üretim süreçlerinin yanı sıra şekillendirilerek son ürün hâline getirilmesi işlemleri de dünya çapında son derece ciddi bir rekabet ve stratejik üstünlük konusu. Dolayısıyla, termoplastik prepreg malzemeleri tasarlanan son ürüne dönüştürmek için çeşitli yöntemler geliştiriliyor.

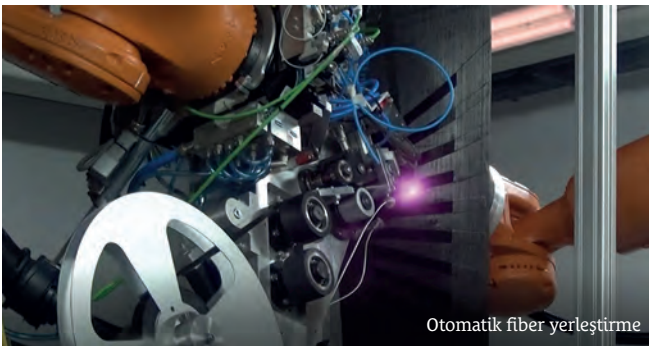
Montaj Uygulamalarında Sağladığı Kolaylıklar

İki veya daha fazla parçanın mekanik olarak çeşitli uygulama metotları yardımıyla birleştirilmesine montaj deniyor. Mekanik montaj temel olarak kalıcı ve geçici olmak üzere ikiye ayrılıyor. Kalıcı montajlardan sonra malzeme demonte edilirse kalıcı deformasyona uğrar, geçici montaj işlemlerinde ise birleştirilen malzemeler kendi özel parametrelerini koruyabilir. Mekanik montajda kullanılan en yaygın kalıcı montaj aparatı perçin, geçici montaj işlemleri için kullanılan en yaygın aparatlar ise vidalı sabitleme elemanlarıdır.

Klasik malzeme montaj işlemleri (vida, perçin vb.) sırasında yapılan delme işlemleri kompozit malzemelerde hem delaminasyona (kompozit malzemeyi oluşturan tabakaların birbirinden ayrılması) hem de bozulmaya neden oluyor. Dolayısıyla, kompozit malzeme teknolojisinde yeni birleştirme işlemleri geliştirilmeye çalışılıyor. Yeni birleştirme işlemleri arasında en avantajlı olansa kaynak uygulamaları olarak öne çıkıyor.



Prepreg üretim süreci



Otomatik fiber yerleştirme

Uçak aksamaları ve kara taşıtları söz konusu olduğunda, tasarım ve imalat parametrelerine getirilen sınırlamaların en önemli nedenlerinden biri kullanılan malzemelerin birleştirilebilir olup olmadığıdır. Kompozit malzemelerde, temel olarak plastik malzemenin, metallerde olduğu gibi çeşitli yöntemlerle birleştirilmesine kaynak deniyor. Ancak kompozit malzemelerde kaynak işlemleri tüm plastik çeşitlerine uygulanamıyor. Plastiklere uygulanan kaynak işlemlerinin temel mantığı, iki plastik malzemeyi direkt veya yardımcı bir malzeme ile birlikte eritip birleştirme prensibine dayanıyor. Termoplastik kompozitler, içerdikleri kimyasal bağlar sayesinde belirli bir aşamaya kadar eritilip tekrar şekil alabilen ve birleştirilebilen malzemeler olarak tanımlanıyor. Dolayısıyla diğer plastik türlerine göre geri dönüşüm oranı çok yüksek ve sarfiyat açısından son derece ekonomik olarak değerlendirilebilirler. Diğer yandan, kompozit malzemelere ısı işlemi ile kaynak uygulanabilmesi, birleştirilme sürecinde malzemenin delaminasyona uğramasını (kompoziti oluşturan tabakaların birbirinden ayrılması) ve yüksek dayanıklılık/sağlamlık değerlerinin kaybolmasını büyük ölçüde engelliyor.



Direnç Kaynağı

Direnç kaynağı adı verilen işlem, temel olarak, gerekli ısıyı iki kompozit malzeme arasındaki dirençli telden sağlayan ve bu ısı sayesinde iki malzemeyi eriyik hâle getirip birleştirmek için kullanılan bir kaynak türüdür. Bu işlem sırasında düşük maliyetli ekipman (donanım) ve daha düşük enerji tüketiminin yanı sıra uygulama kolaylığı da göze çarpmıyor.

Günümüzde metal birleştirme uygulamalarında oldukça sık kullanılan direnç kaynağı, uçakların kompozit ile imal edilmiş ikincil yapılarına ait montaj işlemlerinde hız, maliyet ve verimlilik açısından tercih ediliyor. Söz konusu avantajlarından dolayı bu yöntem, kompozit malzeme ile üretim yapan sektörlerde (özellikle havacılık sektörü) yaygın olarak kullanılacak. Fakat kaynak işlemi sırasında sıcaklık, akım ve basınç parametre değerleri, kompozit malzemelerin mekanik ve kimyasal özelliklerini doğrudan veya dolaylı olarak etkilediği için hâlen araştırmacılar bu konuda çalışmaya devam ediyor. Ülkemizde ve dünyada yoğun olarak gerçekleşen malzeme bilimi araştırmaları ve uygulamaları, termoplastik kompozit malzemelerin birleştirilmesinde kullanılacak direnç kaynağı işlemlerini AR-GE çalışmalarına dâhil ediyor.

Yakın gelecekte termoplastik malzemelerin üretim sektöründe artarak kullanılacağı öngörülüyor. Özellikle havacılık endüstrisinde aerodinamik ve mekanik etkileri nedeniyle kullanım oranının artması bekleniyor. Ancak uluslararası alanda yetkinliğinin gösterilmesi için yoğun AR-GE çalışmalarına ihtiyaç var. Bu malzemelerin üretim ve montaj teknolojileri alanlarında yetkinlik kazanırsak termoplastik kompozit malzemelerle ülkemize önemli bir katma değer sağlayabilir ve bu malzemeleri özgün ürünlerimizde kullanabiliriz.

Kaynaklar

<https://www.machinedesign.com/community/article/>

<https://www.businessinsider.com/>

<http://www.cycambike.com/>

<https://insights.globalspec.com/article/>

O. Olabisi and K. Adewale, *Olagoke, Handbook of Thermoplastics*, 2nd ed. Taylor & Francis Group, LLC, 2016.

C. Ageorges and L. Ye, "Resistance welding of thermosetting composite/ thermoplastic composite joints," Elsevier, Sydney, 2000.

G. Gardiner, "Multiple methods advance toward faster robotic welds using new technology for increased volumes and larger aerostructures", *Welding thermoplastic composites*, 2018.

J. D. Muzzy, "Ch:2.02 - Comprehensive Composite Materials", *Comprehensive Composite Materials*, Volume 02., Elsevier Science Ltd., pp. 57-76, 2000.