

## Ideaport Yüksek Dayanımlı Malzemeler Çalışma Grubu Çıktısı

Nisan 2021

Yüksek dayanımlı malzemelerin Havacılık ve Savunma sanayinde kullanımı diğer sektörlerle göre çok daha fazladır.

Bu çalışma, TTGV Ideaport Komünite üyesi ve teknoloji profesyoneli 7 uzmandan oluşan Ideaport – Yüksek Dayanımlı Malzemeler Çalışma Grubu tarafından hazırlanmıştır. Farklı sektörleri temsil eden uzmanlarımız; "Yüksek Dayanımlı Malzemeler ve Uygulamaların Önemi ve Geleceği" başlığı altında bir araya gelerek karşılıklı deneyim ve fikirlerini paylaştıkları ortak bir çalışma gerçekleştirdiler. 8 haftalık çalışmalarının sonucu olarak hazırladıkları bu çıktı; tüm dünyada giderek önem kazanan "yüksek dayanımlı malzeme" konusunun ülkemizdeki ve dünyadaki güncel durumunu farklı örneklerle özetlemektedir.

### Çalışma Grubu Üyeleri

**Cem Açksarı, Alında Öykü Akar, Yusuf Çekiç, Onur Ertuğrul, Metin Kayıtmazbatır, Ceren Yargıcı** ve Çalışma Grubu Lideri **Muharrem Erdem Güven**

Sektör / Malzeme	Havacılık / Savunma	Petrokimya / Rafineri Endüstrisi	Beyaz Eşya	Ağaç İşleri	Kesici Takımlar
<b>Yüksek Dayanımlı Malzemelerin Sektörel Durumu</b>	Savunma ve havacılık sektörleri son yıllarda tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de büyüme ve gelişme açısından büyük bir ivme yakalamıştır. Bu noktada, tüm bu hava araçlarının dış sürtünme yüzeylerinde + 300°C ve özellikle de bu araçların bazı motor kısımlarında + 1000°C gibi sıcaklıklara çıkılabilmektedir. Ayrıca, özellikle yolcu ve jet uçağı motorları birçok farklı bölümden ve yaklaşık 1000 civarı farklı parçadan oluşmaktadır. Örneğin, birçok parçada sürünme direnci önemliyken bazı parçalarda ilave olarak aşınma direnci isteğı bazı parçalarda da oksitlenme direnci isteğı öne çıkmaktadır. Bu açıdan temelde metal ve seramik malzeme grupları kullanılmaktadır. Metaller açısından genelde en çok Titanyum ve Süperalaşım (Ni veya Co esaslı) yüksek sürünme dirençlerinden dolayı tercih edilmektedir. Fakat, sadece yüksek erime noktaları değil, sürünme özelliğı istenen parçalarda nikel bazlı süperalaşım parçalar daha çok tercih edilmektedir. Kısacası, çalışma sıcaklığı arttıkça titanyumun yerini süperalaşım parçalar almaktadır. Ayrıca, bazı uygulamalarda aşınma direncinin önemi daha fazla, bazılarında ise oksitlenme korozyonu direnci daha önemli olmaktadır. Aşınma direncinin çok yüksek olması istendiğı uygulamalarda metal matrisli kompozit malzemeler tercih edilirken, korozyon direncinin daha önemli olduğu uygulamalarda da paslanmaz çelikler tercih edilmektedir. Alüminyum ve alaşımı metalik malzemeler de özellikle havacılıkta yapısal malzemeler olarak karşımıza çıkmaktadır.	Rafineri ve petrokimya sektöründe, ekipmanların güvenilirliğini ve bütünlüğünün sağlanması proses verimlerinin artırılması amacıyla yüksek performansa sahip çok çeşitli malzeme grupları kullanılmaktadır. Ağır ve yüksek sıcaklık uygulamaları için ileri teknoloji seramik malzemeler de tercih edilmektedir. Ayrıca, katalitik reaksiyon proseslerinde, yüksek yüzey alanına sahip, aşınma ve mekanik dayanımı yüksek, gözenekli oksit esaslı katalizör destek malzemeleri kullanılmaktadır. Petrokimya ve rafineri sektöründe, kullanılan malzemeler açısından zorlu koşullarda gerçekleşen proseslerin devamlılığı, sürdürülebilirliği ve verimliliğı açısından malzeme teknolojileri kritik rol oynamaktadır.	Beyaz Eşya sektöründe en önemli kriter, yüksek üretim adetleri ve gittikçe artan rekabet ve müşteri beklentileri nedeni ile maliyettir. Yüksek dayanımlı ve sıcaklık dayanımı yüksek plastiklerin beyaz eşya sektöründe kullanımı, genellikle maliyet azaltmak için metal parçaların plastiğe çevrilmesi çalışmaları kapsamında olmaktadır. Ayrıca bu, ağırlığın da azalmasını sağlamaktadır. Plastik malzemelerin dayanım özellikleri arttıkça diğer kullanılan metal parçalar da yerini plastiğe bırakacaktır. Burada teknik sınırların yanında çevresel regülasyonlar da plastik kullanımı açısından çözülmesi gereken bir problemidir.	Ağaç kompozitler, hepsi birbirine bağlı liflerin veya tahtaların birbirine bağlanmasıyla oluşturulan bir dizi farklı türev ağaç ürünü içerir. Ayrıca ağaç lifleri ve termoplastikler kullanılarak yapay ağaç, üretilmiş tahta veya tasarlanmış ağaç, ağaç plastik kompozit (WPC) olarak da bilinir. Benzer kompozit ürünler, kenivç sapları, şeker kamışı kalıntısı, çavdar ve buğday sapı gibi lignin içeren malzemeler kullanılarak bitkisel liflerden de yapılabilir, ayrıca optimum işlem koşullarını kolaylaştırırken polimer ve ağaç unu entegrasyonunu sağlayan kimyasal katkı maddeleri bulunur. Islatıcı, ayırıcı, sertleştirici, akışkanlık sağlayan (anti-blocking) ve tozuma engelleyici (anti-dust) yardımcı kimyasallar kullanılır.	Kesici takımlar sektörü, yüksek teknoloji malzemelerin metal işlem hızı ve kalitesi açısından en yaygın olduğu alanlardan biridir. Şu an bu sektörde kullanılan gereçlerin büyük bir kısmı bu malzemelerden imal edilmektedir. Bu malzemelerde aranılan temel özellik, yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci ve bunlarla kombine yüksek tokluktur. Ayrıca, çalışma koşullarına bağlı olarak yüksek korozyon direnci de istenmektedir. Bu yüzden, bazı durumlarda yüzeylerine ilave kaplamalar yapılmaktadır.
<b>Yaygın Kullanılan Malzeme Grupları</b>	Titanyum Alaşımaları, Süperalaşım, Alüminyum Alaşımaları, Seramikler, Kompozit Malzemeler (Polimer, Metal ve Seramik matrisli kompozitler)	Seramikler, Metaller (Süperalaşım, Paslanmaz çelikler)	Plastikler (PEEK, PA66, PA6, PC-ABS, POM, Cam Takviyeli PA6)	Lif levha (ağaç lifleri), yonga levha (ağaç yonga, talaş veya toz atıkları), kontrplak (kaplamalar), hdf (kaplamalarda- yüksek yoğunluklu lifli levha), Reçine olarak Üretilen Formaldehit, Melamin Formaldehit, Melamin-Üretilen Formaldehit kullanımı mevcut. Kaplama tarafında; Melaminli Kağıt Kaplama, Akriolik Folyo Kaplama, PVC Folyo Kaplama ve PUR +UV Kır Olabilen (Curable) Akriolik Kaplama mevcuttur.	Seramik (Karbürler ve Nitürler (TiC, TiN), Sermetler (WC-Co gibi), Küçük Boron Nitrit (CBN), Sentetik Elmas, Metaller (Yüksek hız çeliğı HSS, Takım Çelikleri)
1 en düşük, 5 en yüksek					
<b>Malzemelerin Sektörel Kullanımları Avantajlar (A) / Dezavantajlar (D) / Limitler (L)</b>					
<b>Seramikler</b>	(A) 4 Çok yüksek ergime noktası, düşük termal genleşme katsayısı, yüksek korozyon direnci, yüksek aşınma direnci (D) 3 Çok yüksek ergime noktası, düşük termal genleşme katsayısı, yüksek korozyon direnci, yüksek aşınma direnci (L) 3 İşlenebilirlik problemleri, karmaşık iç geometrilerin ortaya konulmasının zorluğu	(A) 5 Yüksek sıcaklıklarda (T>1000°C) kararlı olması, Yüksek korozyon dayanımı, kararlı (inert) olması, hafif olması (D) 4 Metallerle kıyasla pahalı olması (L) 4 Düşük termal sok dayanımı, kırılma ve düşük tokluk, kompleks parçalarda işlenebilirlik zorluğu, tekrar kullanım ve geri dönüşüm zorluğu, diğer malzemelerle birleştirme (kaynak vb) zorluğu, teslim süresi uzunluğu	(A) 5 Yüksek sıcaklık dayanımı (D) 3 Yüksek maliyet (L) 5 Yüksek maliyet nedeni ile kullanım çok kısıtlıdır	(A) 5 Yüksek su dayanımı, ağaç bazlı panelde su alma ve şişme değerlerini iyileştirmektedir. (D) 3 Levhaların eğilme direnci özellikleri olumsuz yönde etkilemektedir. (L) 3 Levhaların kırılma hale getirdiğı ve elastikiyet özelliklerini olumsuz etkilediğı için kullanım sınırlıdır.	(A) 5 Çok yüksek aşınma direnci, Yüksek ısı kararlılık (D) 4 Düşük ömür, düşük elastikiyet (L) 3 Torna ve freze çalışmaları için çok uygun, fakat matkap işlemi için uygun değildir
<b>Metaller</b>	(A) 5 Yüksek mekanik özellikler (dayanım ve süneklik) ve yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerini koruyabilme. Hem oda hem yüksek sıcaklıklarda üstün korozyon ve oksidasyon direnci (özellikle paslanmaz çelik ve süperalaşım için). Yüksek aşınma direnci. Yüksek termal ve elektriksel iletkenlikleri. Oluşturulan geniş bilgi ve teknik eleman birikimi. (D) 3 Ömür döngüsü içerisinde oluşturduğu yüksek karbon ayakizi, bazı metallerin yüksek ağırlığı (L) 2 Malzeme işleme zorlukları, özel alaşımların kısıtlı arzı, bazı yeni alaşımlardaki bilgi birikimi azlığı.	(A) 5 Yüksek tokluk, kolay işlenebilirlik, görece ucuz olması, (paslanmaz çelik), geri dönüşümü oranının yüksek olması, tedarik kolaylığı (D) 4 Korozyona hassasiyetin yüksek olması (L) 3 Özel Ni alaşımlarının pahalı olması, tedarik zorluğu	(A) 5 Maliyet	(A) 5 Levha elastikiyetlerini arttırmaya yardımcı olur. Akriolik bazı tutkallar kullanılarak kalıplanabilir MDF üretilebilir. Farklı kullanım alanları oluşturulabilir. (D) 4 Maliyet en önemli dezavantajdır. Bunun yanında, ağaç bazlı panelde kullanılan termoset reçineler termoplastiklere göre çok daha uzundur. (L) 2 Polimerlerin proses edilebilirliğinin zor olması.	(A) 5 Ağaç bazlı panellerin aksine su dayanımları çok iyidir. Ayrıca levhaların elastikiyet özelliklerini arttırdığı için darbe dayanımları iyidir. Bu yüzden otomotiv sektöründe de kullanımı mümkün olabilir. Ağaç plastik kompozit (WPC) yer döşemesi olarak kullanılmaktadır (D) 3 Mevcut üretim sistemleriyle üretimi mümkün değildir. Yüksek maliyet. (L) 3 Ekstrüzyon prosesinin zorluğu.
<b>Polimerler</b>	(A) 4 Hafiflik. (D) 5 Çok düşük çalışma sıcaklıkları dolayısıyla sadece uçak yapısal gövde parçalarında kullanılırlar. (L) 3 Bazı polimer grupları için geri dönüşüm zorlukları	(i) Günümüzde Kullanımı limitlidir.	(A) 5 Maliyet	(A) 5 Levha elastikiyetlerini arttırmaya yardımcı olur. Akriolik bazı tutkallar kullanılarak kalıplanabilir MDF üretilebilir. Farklı kullanım alanları oluşturulabilir. (D) 4 Maliyet en önemli dezavantajdır. Bunun yanında, ağaç bazlı panelde kullanılan termoset reçineler termoplastiklere göre çok daha uzundur. (L) 2 Polimerlerin proses edilebilirliğinin zor olması.	(A) 5 Ağaç bazlı panellerin aksine su dayanımları çok iyidir. Ayrıca levhaların elastikiyet özelliklerini arttırdığı için darbe dayanımları iyidir. Bu yüzden otomotiv sektöründe de kullanımı mümkün olabilir. Ağaç plastik kompozit (WPC) yer döşemesi olarak kullanılmaktadır (D) 3 Mevcut üretim sistemleriyle üretimi mümkün değildir. Yüksek maliyet. (L) 3 Ekstrüzyon prosesinin zorluğu.
<b>Kompozitler</b>	(A) 5 Yüksek çekme mukavemetinin daha az bir kütle ile sağlanması (polimer matrisli kompozitler), yüksek aşınma direnci (Metal matrisli kompozitler), yüksek sıcaklık ve aşınma direnci (seramik matrisli kompozitler - çekme ve basma yükü gelmeyecek uygulamalar için )	(A) 5 Polimer Kompozitler - Yüksek mukavemet, sıcaklık dayanımı, Ağaç takviyeli plastik kompozitler: Düşük maliyet, çevresel regülasyonlar (D) 3 Polimer matrisli kompozit malzemeler, günümüzde kullanımı limitli olmasına rağmen, özellikle yüksek performans ve hafif olması	(A) 5 Maliyet	(A) 5 Levha elastikiyetlerini arttırmaya yardımcı olur. Akriolik bazı tutkallar kullanılarak kalıplanabilir MDF üretilebilir. Farklı kullanım alanları oluşturulabilir. (D) 4 Maliyet en önemli dezavantajdır. Bunun yanında, ağaç bazlı panelde kullanılan termoset reçineler termoplastiklere göre çok daha uzundur. (L) 2 Polimerlerin proses edilebilirliğinin zor olması.	(A) 5 Ağaç bazlı panellerin aksine su dayanımları çok iyidir. Ayrıca levhaların elastikiyet özelliklerini arttırdığı için darbe dayanımları iyidir. Bu yüzden otomotiv sektöründe de kullanımı mümkün olabilir. Ağaç plastik kompozit (WPC) yer döşemesi olarak kullanılmaktadır (D) 3 Mevcut üretim sistemleriyle üretimi mümkün değildir. Yüksek maliyet. (L) 3 Ekstrüzyon prosesinin zorluğu.

## Ideaport Yüksek Dayanımlı Malzemeler Çalışma Grubu Çıktısı

Nisan 2021



### Kaynaklar

- [1] <https://www.sciencedirect.com/book/9780323512565/nanotechnology-and-functional-materials-for-engineers>
- [2] <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/791086>
- [3] Materials for Additive Manufacturing <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850617301488#:-:text=The%20joint%20ISO%2FASTM%20terminology,manufacturing%20methodologies%E2%80%9D%20%5B143%5D>
- [4] Savunma Sanayinde Kullanılan İleri Kompozit Malzemeler ve Uygulama Alanları <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/405742>
- [5] Kesici takım malzemeleri <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/knowledge/materials/pages/cutting-tool-materials.aspx>
- [6] <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/308444>
- [7] ATI Composite Roadmapping Results 2019, <https://compositesuk.co.uk/system/files/documents/ATI%20Composite%20Roadmapping%20Results%202019.pdf>, retrieved on 26.03.2021
- [8] Advanced Composites Materials and their Manufacture 1 Technology Assessment, <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/02/f19/QTR%20Ch8%20-%20Composite%20Materials%20and%20Manufacture%20Feb-13-2015.pdf>, retrieved on 25.03.2021
- [9] M. Picard, A. K. Mohanty, M. Misra. "Recent advances in additive manufacturing of engineering thermoplastics: challenges and opportunities" RSC Adv., 2020, 10, 36058-36089. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/ra/d0ra04857g>
- [10] Flame Retardants for Fire Proof Plastics, <https://polymer-additives.specialchem.com/selection-guide/flame-retardants-for-fire-proof-plastics>, retrieved on 25.03.2021
- [11] Lapčík, Lubomír, Vašina, Martin, Lapčíková, Barbora, Hui, David, Otyepková, Eva, Greenwood, Richard W., Waters, Kristian E. and Vlček, Jakub. "Materials characterization of advanced fillers for composites engineering applications" Nanotechnology Reviews, vol. 8, no. 1, 2019, pp. 503-512. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2019-0045>

## Yüksek Dayanımlı Malzemelerin Önemi ve Geleceği



**CEM AÇIKSARI**  
Tüpraş Ar-Ge Merkezi

Metallik malzemelerin hakim olduğu petrol ve rafineri endüstrisinde, gelecekte yüksek performansa sahip polimer matrisli kompozitlerin kullanım oranının artması, özellikle korozyonun azaltılması amacıyla kritik ekipmanlarda seramik esaslı kaplamaların kullanımının artması beklenmektedir. Ayrıca, hızlı ve yerinde üretime imkan veren 3 boyutlu imalat ile üretilen yedek parça ve malzemelerin ekipmanlara entegrasyonunun artması öngörülmektedir.



**YUSUF ÇEKİÇ**  
Kastamonu Entegre (KEAS)

Ağaç bazlı panel yüzeylerinde yüksek dayanıma sahip ve yüksek aşınma direncine sahip malzeme kullanımı gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Melamin kaplı ağaç bazlı paneller evlerimizde mobilya olarak kullanılmaktadır ve mevcut yüzeylerin aşınma ve dayanım limitleri bu kullanımlar için yeterlidir. Farklı alanlarda kullanım için daha yüksek aşınma direncine ve dayanıma ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu kapsamda farklı nano malzemeler kullanılarak bu ürünün yüzeyinin aşınma direnci artırılmaya çalışılmaktadır. (Nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Bu yüzden yakın gelecekte ağaç bazlı panel sektöründe, yüzeylerin dayanımını ve aşınma direncini arttırmak için nano malzemelerin kullanımının daha da artması beklenmektedir.[6]



**ERDEM GÜVEN**  
Whirlpool Beyaz Eşya

Beyaz Eşya sektöründe yüksek dayanımlı, aşınma ve sıcaklık dayanımı yüksek malzeme kullanımında öncelikli olarak plastik malzemeler gelmektedir. Yüksek nitelikli ve kompozit plastiklerin geliştirilmesi ile metal olarak kullanılan birçok parçanın plastiğe çevrilmesi beklenmektedir, bu da tasarım ve maliyet açısından birçok fırsatı beraberinde getirecektir. Çok daha karmaşık geometriler, çok daha az parça ile, daha az maliyetli ve daha hafif olarak ortaya çıkarılabilecektir.

Ayrıca üç boyutlu yazıcıların kullanımının yaygınlaşması ve üretim maliyetlerinin düşmesi ile bu avantajlar bir adım öteye taşınacaktır; bu sayede çok daha karmaşık kompozit malzemeler ve çok daha hafif yapıların üretimi mümkün olacaktır.



**ONUR ERTUĞRUL**  
İzmir Kâtip Çelebi Üni.  
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği

Günümüzde savunma, havacılık ve uzay endüstrileri başta olmak üzere birçok sektörde yüksek sıcaklıklarda çalışabilecek, yüksek dayanımlı ve yüksek aşınma direncine sahip malzeme gereksinimi oluşmuştur. Ayrıca, gelişen malzeme teknolojileri ve son 20 yıllık süreçte yüksek performansa sahip malzeme çeşitliliğindeki artış yeni endüstri uygulama alanları açmakta bu da zorlu çalışma koşullarına dayanabilecek yüksek-teknoloji (high-tech) malzemelere olan ihtiyacı daha da arttırmaktadır. Malzemelerdeki bu gelişmeleri tetikleyen faktörlerden birisi de çok üstün malzeme özellikleri sağlayabilen nanoteknoloji<sup>[1]</sup>, kompleks şekilli parça üretimini kolaylaştıran eklemeli imalat<sup>[2,3]</sup>, malzemeleri fonksiyonelleştirebilen PVD, CVD gibi gelişmiş kaplama teknolojileri gibi malzeme üretim teknolojilerinde kaydedilen büyük gelişmelerdir.

Özellikle havacılık ve uzay endüstrileri yani uçaklar, roketler ve uzay araçları; tüm malzeme gruplarının farklı komponentler olarak yer aldığı vasıtalarıdır. Bu araçlarda yapısal parçalar için yüksek yapısal kararlılık ve hafiflik ön plana çıkarken, motorlardaki parçalarda yüksek dayanım ve aşınma ve sürünme direnci gibi özellikler olmazsa olmazlardır<sup>[4]</sup>. Dolayısıyla, özellikle yapısal parçalarda polimer matrisli kompozitler ve alüminyum alaşımları çok yaygın kullanılırken, motor parçalarında titanyum alaşımları, süperalaşımlar ve bazı özel çelikler (maraging çelikleri) gibi metaller ile birlikte seramik malzemeler tercih edilmektedir. Büyük sektörlerden talaşlı imalat sektöründe de yine birden fazla malzeme grubu (seramik, metal) kullanılmakta istenen malzeme özellikleri işlenecek parçalara göre çok çeşitlenebilmektedir<sup>[5]</sup>.



**ALINDA ÖYKÜ AKAR**  
Esan Ar-Ge Merkezi

Performans katkıları ile günümüzde yanmazlık, mekanik dayanım, aşınma dayanımı ve ekstrem çalışma koşullarına dayanıklılık gibi malzeme özellikleri mümkün mertebede iyileştirilebilir<sup>[7-8]</sup>. Polimer kompozitlerin özelliklerinin iyileştirilmesinde yeni nesil katkılarla güçlendirilmiş katmanlı imalat<sup>[9]</sup>, fiber ve mineral katkıları ile nanoyapılar kullanılmakta<sup>[8]</sup>; yanmazlık dayanımı, alev geciktiricilik ve bariyer oluşturma için melamin, borlu ve fosforlu bileşikler, huntit-hidromanyezit, ATH, karboksilik asit gibi katkıları tercih edilmektedir<sup>[10]</sup>. Cam ve seramiklerde kırılma direnci, elastisite ve darbe sönmülmenin artırılması; boyalarda efektif ısı yalıtımı ve bina ömrüne denk bir dış ortam dayanımı; çimentoda suya/neme tam direnç ve eğme bükme gerilimine tolerans; ağaç kompozitlerinde ise küf, nem ve böceklerle karşı direnç ve yanmazlık<sup>[8]</sup> gibi hedefler bu tip katkıları ile yakın gelecekte çok daha etkili şekilde sağlanabilecektir. Performans katkılarının yaygınlaştırılması için ise üretim yöntemlerinin geliştirilerek maliyet azaltımına gidilmesi son derece önemli olacaktır.<sup>[11]</sup>



**CEREN YARGICI**  
Arçelik

Kompozit malzeme teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde plastiklerin metaller yerine kullanımını giderek artmaktadır. Karbon elyaf, cam elyaf, aramid elyaf vb. katkıları ile plastikler yüksek dayanıklılık özellikleri kazanabilmektedir. PPS, PSU, PEEK gibi ileri mühendislik plastikleri çok yüksek mekanik dayanım, aşınma dayanımı ve sıcaklık dayanımı gerektiren uygulamalarda kullanılarak üstün performans sağlamaktadırlar. Kolay proseslenebilir, hafiflik, maliyet avantajı gibi öne çıkan özellikleri sayesinde beyaz eşya ve otomotiv endüstrilerinde yüksek dayanım gerektiren parçalarda plastik kompozitlerin ve mühendislik plastiklerinin kullanımı yaygınlaşmaya devam etmektedir.

Nano malzemelere ağaç bazlı yüzeylerde ihtiyaç duyulacak!

Malzemelerdeki gelişmeleri tetikleyen faktörlerden birisi de çok üstün malzeme özellikleri sağlayabilen nanoteknoloji alanında büyük gelişmelerdir.



**METİN KAYITMAZBATIR**  
Michigan Üniversitesi

Metal ürünlerinin mekanik ve sıcaklık dayanımlarının artırılması sadece daha mukavim bir malzeme seçimi ile değil, mevcut malzemenin kimyasal ve ya ısıl işlem yoluyla iyileştirilmesi ile de mümkün olabilir. Özellikle yeni nesil ısı kaynakları (lazer, elektron ışın demeti vs.) anlık olarak çok yüksek sıcaklık farkları oluşturabiliyor ve bu da geleneksel yöntemlerle elde edilemeyen malzeme özelliklerini ulaşılabılır kalan yapısal parçalarda noktasal olarak bu kullanım artabilir.