

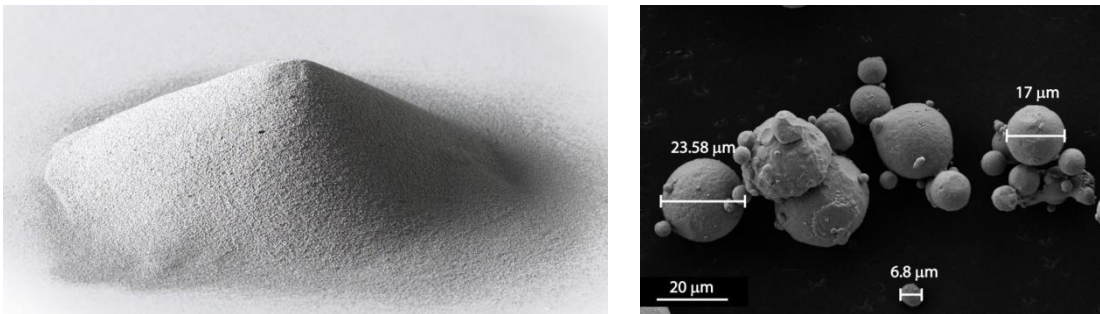
METAL EKLEMELİ İMALAT(M.E.I.) TEKNOLOJİLERİ, DESTEK YAPILAR VE HÜCRESEL YAPILAR

Uluslararası ASTM F42 Eklemeli İmalat Komitesi, eklemeli imalatı, talaşlı imalat yöntemlerinin aksine, genellikle 3 boyutlu (3B) model verilerden nesnelere yapmak için malzemeleri katman katman birleştirme olarak tanımlar. Katmanlı imalat da bu kelime ile eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Bu tanım, metaller, seramikler, polimerler, kompozitler ve biyolojik sistemler de dâhil olmak üzere malzemelerin hepsine geniş çapta uygulanabilir. ASTM F42 Komitesi 3B yazdırma işlemini, bir yazıcı kafası, nozul veya başka teknolojiler kullanarak malzemenin biriktirilmesi yoluyla nesnelere imalatı olarak tanımlar. Ancak bu iki terim eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. ASTM ve ISO ya göre eklemeli imalat, resmi endüstriyel standart terimidir. Fakat 3B yazdırma veya 3B yazıcı terimi, uygulamada bir standart terim haline gelmiş ve eklemeli imalattan daha popüler hale gelmiştir (Wohlers, 2013). Tasarım ve imalat firmaları, giderek artan bir şekilde tüketim ürünleri, endüstriyel ve tıbbi ürünler yapmak için eklemeli imalatı benimsemektedirler. Pazara çıkış süresini azaltmak, ürün kalitesini artırmak ve maliyeti azaltmak için her ölçekteki firmalar, hızlı ürün geliştirme için ana araç olarak eklemeli imalata yönelmektedirler.

M.E.I. sistemleri, kullanılan enerji kaynağına göre (lazer, elektron ışını gibi), hammadde malzemesinin kullanım şekline (toz, tel veya levha gibi) veya malzemenin birleştirilme yöntemine göre (lazer, bağlayıcı gibi) sınıflandırılabilir. En yaygın olan sınıflandırma prosese göre yapılan sınıflandırmadır ki iki ana kategoride yer almaktadır: 1. Toz yatak (powder bed) prosesi, 2. Yönlendirilmiş enerjili biriktirme veya yağma (directed energy deposition) prosesi.

Bunların yanısıra farklı enerji girdilerine sahip, farklı malzeme kullanan ya da hibrid sistemler vardır. Enerji girdileri elektron ışını, ark kaynağı ya da ultrasonik enerji olabilir. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır: MER plazma kaynak serbest form üretimi, Honeywell Ion füzyon şekillendirme, Rolls Royce metal biriktirme, EWI sıcak tel-GTAW, Fabrisonic ultrasonik eklemeli imalat yöntemi. DMG Mori, Hermle ve Hybrid Manufacturing Technologies firmalarına ait hibrid tezgahlar da mevcuttur.

Şekil 2.1.'de Ti6Al4V titanyum alaşımı tozu ve AlSi10Mg tozun SEM görüntüsü görülmektedir.



Şekil 2.1. Metal tozu a) Ti6Al4V alaşım tozu, b) AlSi10Mg toz SEM görüntüsü

1.Toz Yatak Prosesine Göre M.E.I. Teknolojileri

Hemen hemen bütün toz yatak M.E.I. sistemleri, bir plaka üzerine bir katman toz yayma mekanizmasına sahip bir toz yığıma metodu kullanır. Bu sistemlerde inşa alanı, vakum altında çalışan ya da titanyum ve alüminyum gibi reaktif metal tozlarının oksidasyonunu önlemek için bir soy gaz ile doldurulan kapalı bir kabinle çevrilidir. Bu kabinin ortasında bir metal tozu haznesi vardır ve toz bir serici bıçak ile düzleştirilmiştir. Kabin, elektron ışını kullanan sistemler için 700 °C, lazer kullanan sistemler için 100 °C civarında sürece bağlı olarak belirlenmiş bir sıcaklığa kadar önceden ısıtılır. Lazer ya da elektron ışını, genellikle 20 ile 200 µm kalınlığında 3B CAD veriden oluşturulmuş kesit desenine göre metal tozu yüzeyi üzerine taranır. Daha sonra inşa platformu tek bir katman kalınlığı kadar aşağıya iner, toz serme bıçağı parçanın üstüne yeni tozu serer ve parça tamamlanana kadar bu işlem tekrarlanır.

Toz yatak M.E.I. sistemleri, lazer ergitme yöntemleri olarak bilinir ve direkt metal lazer sinterleme(DMLS), lazer ergitme(Laser Cusing) ve seçici lazer ergitme(SLM) olarak ticari isimlerle anılırlar. Bu proseslerin dışında kalan yöntemlerden biri olan elektron ışınla ergitme(EBM) yöntemi, vakum altında elektron ışını kullanır diğeri ise bağlayıcı püskürtme(BJT) yöntemi, tozları bağlamak için bağlayıcı ve ısı enerjisi kullanır.

1.1. Elektron ışınla ergitme-Arcam/Electron beam melting (EBM)

İsveçte kurulmuş olan Arcam, EBM yöntemini geliştiren ve ticarileştiren firmadır. Mevcut ticari modelleri Q10, Q20 ve A2X dir. Q10, Arcam tarafından üretilen en küçük modeldir ve üretim hacmi 200x200x180 mm³'dür. Özellikle ortopedik implant üretimi için tasarlanmıştır. Q20 ise Q10 ile aynı elektron ışın yapısına sahip olup üretim hacmi daha büyüktür (Ø350x380 mm³) ve türbin kanadı, uçak gövdesi gibi parçaların üretimi için uygundur. EBM prosesi tamamen yoğun metal parçaları üretim yeteneğine sahiptir. Metal tozların 3B CAD modelden elde edilen geometriye göre ergitilerek katman katman parçanın oluşturulmasında, güçlü bir elektron ışını (7 kW) kullanılır. Parçanın 3B CAD modeli özel bir yazılım yardımıyla genel olarak 0.1-0.07 mm kalınlığında ince tabakalar halinde 2B dilimlere ayrılır. Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük değeri Ra yaklaşık 25-35 µm arasındadır.

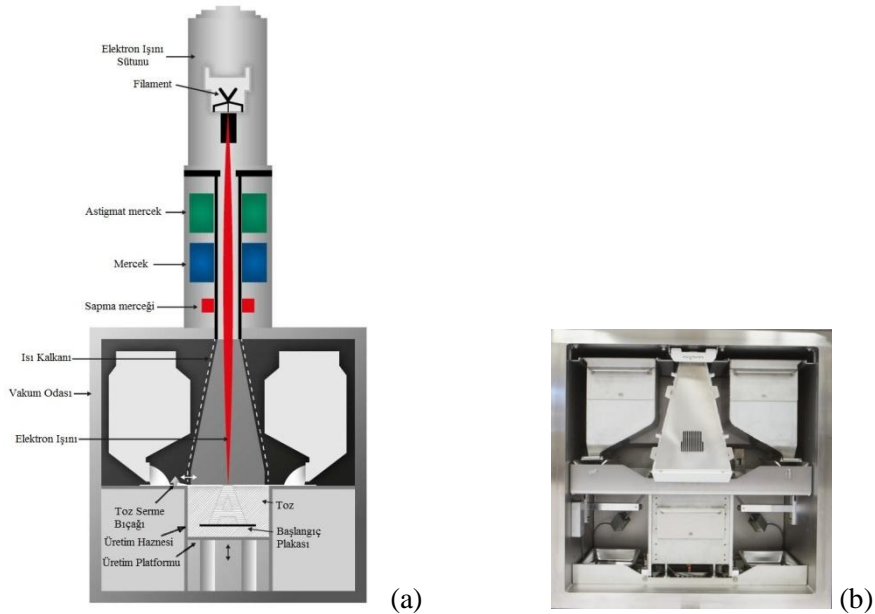
EBM prosesi, elektronların kinetik enerji prensibine göre çalışır. Filamentten yayılan elektronlar, bir elektron ışını oluşturarak çok yüksek hızda inşa platformuna doğru hızlanır. Bu elektronlar metal tozu ile çarpışınca elektronların hızı azalır ve kinetik enerji termal enerjiye dönüşerek ısı üretilir ve bu ısı toz parçacıklarını ertirir. Elektron ışını, bir anot, bir katot ve elektromanyetik odaklama ve saptırma birimlerinden oluşan elektron ışın tabancası içinde oluşturulur. Bu tabancada tungsten filament (katod) üzerinden elektrik akımı geçtiğinde ısınır ve elektron yayar. Bu arada filament altındaki anoda 60000 V gerilim akım uygulanır ve çok yüksek potansiyel gerilim

farkı, istenilen yönde filamentten elektronları hızlandırmaya yardımcı olur. Ortaya çıkan ışın, daha sonra odaklanma bobini yardımıyla elektromanyetik olarak odaklanır. Bundan sonra ışın, 8000 m/s gibi yüksek bir tarama hızında inşa platformu üzerindeki özel alanlara saptırılmasını sağlayan saptırma bobini olarak ta bilinen elektromanyetik bobine geçecektir. Bu çok yüksek tarama hızına, Arcam LayerQam yazılımındaki MultiBeam teknolojisi ile ulaşılabilir. Önceki bir çalışmada tarama hızı yalnızca 1000 m/s olarak bildirilmiştir (Cansızoğlu, 2008).

Bir astigmatizm bobini, inşa platformu üzerindeki konumu ne olursa olsun ışını odakta tutmaya yardım eder. Bu bobin olmadan ışın, inşa bölgesinden kenara doğru saparak daha geniş bir alana yayılma eğilimi gösterir. EBM prosesinde tüm süreç vakum altında yürütülür. Bu vakum ortamı elektron ışınının dağılmasına neden olabilecek gaz atomları ile elektron parçacıklarının çakışmasını engeller. İlave olarak inşa odası, vakum basıncını muhafaza etmek ve radyasyonu engellemek amacıyla görüntüleme panelinde çift katmanlı camlı kalın paslanmaz çelikten yapılmıştır. Elektronlar toz parçacıklarına vurduğunda X ışınlarındaki gibi radyasyon yayılır. Şekil 2.2, EBM prosesinin başlıca elemanlarını göstermektedir.

DMLS ve SLM gibi diğer yöntemlere benzer şekilde toz parçacıkları önceden belirlenmiş kalınlığa göre katman katman ergitilir. Bununla birlikte katman eritme işlemleri arasında metal tozu ön ısıtmaya tabi tutulur. Bu işlem parçanın içindeki termal gerilmeyi azaltması açısından gereklidir(Cormier, 2004). İlave olarak ön ısıtma işlemi aynı zamanda yeni serilen toz ile bir önceki ergimiş katman arasında termal ve elektriksel iletkenliği artırdığından bir miktar başlangıç sinterlemenin gerçekleşmesini sağlar (Cansızoğlu, 2008).

Arcam Ti6Al4V, Ti6Al4V ELI, Titanyum(Grade2) ve Kobalt Krom(ASTM F75) toz malzemeleri kullanmaktadır. Gaz atomizasyon yöntemi ile üretilen toz parçacıkların toz boyutları 45 μm ile 100 μm arasında değişmektedir.



Şekil 2.2. Elektron ışınla ergitme teknolojisi şematik resmi (a) ve üretim kabini (b). (<http://www.arcam.com/technology/electron-beam-melting/hardware/>)

Lazer bazlı sistemlere kıyasla EBM'in çeşitli avantajları vardır. Yüksek güç verimliliği sağlayan elektron ışını kullanılmaktadır. Lazer tabanlı sistemler yansıtma problemlerine sahiptirler ki ışın parlak toz yüzeylere çarptığında yansıma yapabilir ve verimliliği azalır. Bir vakum ortamında yapılan metal ergitme prosesinde oksidasyon önlenir. SLM gibi bir proseste ise sinterleme prosesi bir inert gaz ile yapılmaktadır.

Harryson vd. tarafından yapılan bir çalışmada EBM ve DMLS teknikleri tıbbi implant imalatı açısından karşılaştırıldı. Aynı parçaları EBM daha kısa zamanda üretmesine rağmen yüzey pürüzlülüğü ve elde edilen detayların tatmin edici olmaması sebebiyle ilave işlemlere gerek duyulacağı, bunun da genel maliyeti etkileyeceği tespit edilmiştir. Bu araştırma göstermiştir ki EBM in, küçük unsurları olmayan büyük implantlar için daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır. DMLS ile üretimde, üretim zamanının daha fazla olduğu bildirilmiştir. (Harryson vd., 2009)

EBM çeşitli amaçlar için hücresel yapılar imal etmek için kullanılmıştır. Monogharan, altıgen ve eşkenar on ikiyüzlü (dodecahedron) hücre tasarımı ile ısı transfer uygulamalarında verimlilik artırmak için optimize etmeye çalışırken, Kumar vd. Ti6Al4V kafes yapılarında farklı şekil ve yoğunluklara sahip hücre geometrileri ile elektriksel iletkenlik arasındaki bağıntıyı incelemiştir (Manogharan, 2009; Kumar vd., 2009).

Schwerdtfeger vd. tarafından yapılan başka bir çalışmada negatif poisson oranına sahip auxetik Ti6Al4V hücresel yapı Arcam A2 ile üretildi ve mekanik özellikleri incelendi (Schwerdtfeger vd., 2010).

EBM biyomedikal alanda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Springer insan dokularında laboratuvar ortamında deneyler yapmak için titanyum alaşımından farklı yüzey özelliklerine sahip iskele yapılar üretti. Tasarımlarından birinde gözenek boyutu yaklaşık 650 µm olan bir yapıya sahiptir (Springer, 2010).

Ağsı veya kafes yapılı implantlar da son zamanlarda EBM sistemleri kullanılarak üretilmektedir. Harryson vd. kemiğin yeniden yapılanması ve gerilmeyi azaltmak için özel mekanik özelliklere sahip kalça implantı imal etmişlerdir (Harryson vd., 2008).

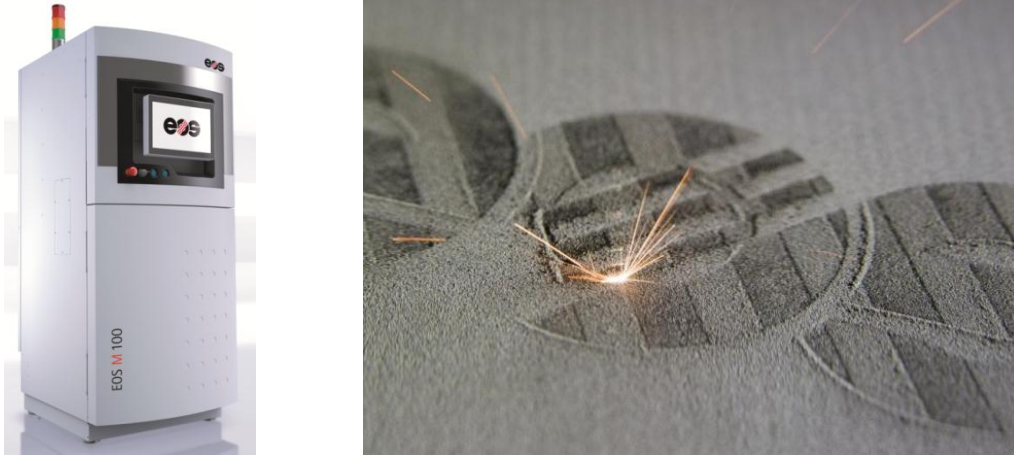
Murr vd. tarafından da bir kaval kemiği gövdesi prototipi üretilmiş ve bunun mikro yapıları incelenmiştir (Murr vd., 2009).

1.2. Direkt metal lazer sinterleme-EOS/Direct metal laser sintering(DMLS)

DMLS teknolojisi, 1989 yılında kurulmuş alman şirketi EOS tarafından geliştirilmiştir. Lazer tabanlı bir prosestir ve yerel olarak odaklanmış bir lazer ışını kullanarak bölgesel olarak metal tozunu

ergitir. Son derece karmaşık parçalar, birkaç saat içinde takımsız tam otomatik olarak 3B CAD veriden direkt olarak yaklaşık % 100 yoğunlukta üretilebilir. Bu teknoloji, yüksek doğruluk ve yüzey kalitesinde, mükemmel mekanik özelliklere sahip parçaların üretilmesinde kullanılan bir prostestir.

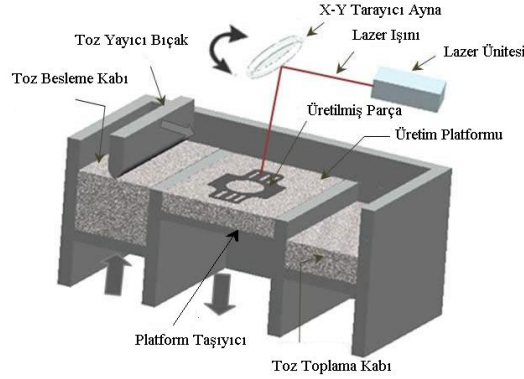
Mevcut ticari modelleri M 080, M 100, M 280, M 290 ve M 400 tür. M080 ve M 100 modelleri EOS tarafından üretilen en küçük modellerdir. M 080 ve M 100 ün üretim boyutları ve lazer güçleri sırasıyla Ø 95x95 mm ve 100 Watt, Ø 100x95 mm ve 200 Watt'dır. M 080 değerli metal ürünlerin CAD veriden yüksek kalitede eklemeli imalatla üretimine olanak sağlar ve özellikle mücevher, saat yapım endüstrisi için tasarlanmıştır. M 100 karmaşık metal parçaların üretiminde kullanılır(Şekil 2.3). M 280 ve M 290 modelleri üretim hacmi 250x250x325 mm³ dür ve M 290, M 280 e göre geliştirilmiş bir modeldir. M280 ve M 290 lazer güçleri sırasıyla 200 ve 400 Watt'dır. M 400 modeli yüksek kalitede büyük metal parçaların endüstriyel üretimi için geliştirilmiştir ve üretim hacmi 400x400x400 mm³ dür. 1 kW lazer gücüne sahiptir. Bu makinalarda lazer tarama hızı 7 m/s ye kadar çıkmaktadır.



Şekil 2.3. EOS en küçük metal 3B yazıcı:M 100 ve lazerle işleme prosesi (<http://www.eos.info>)

Hafif alaşımdan süper alaşıma ve kompozite kadar geniş bir malzeme seçeneğine sahiptir. AlSi10Mg alaşımı hafif metal prototipler ve seri üretim için, Ti-6Al-4V uzay, havacılık, mühendislik ve biyomedikal implantlar için, CX paslanmaz çelik korozyon dirençli paslanmaz çelik kalıp uygulamaları için, GP1 paslanmaz çelik mühendislik ve tıp uygulamaları için, 316L paslanmaz çelik tıp ve havacılık uygulamaları için, CoCrMo MP1 süper alaşımı biyomedikal implantlar ve yüksek sıcaklık uygulamaları için, CoCrMo SP2 süper alaşımı dental uygulamalar için, nikel alaşımı havacılık ve endüstriyel uygulamalar için, maraging çeliği yüksek performanslı çelik kalıp ve mühendislik uygulamaları için kullanılmaktadır. Lazer sisteminde uzun ömürlü, güvenli ve yüksek performanslı katı hal Yb fiber lazer kullanılmaktadır. Hassas odaklanan optikler sayesinde mükemmel parça kalitesi ve detaylı çözünürlüğe ulaşılır. Odak çapının değişmesi de proses kontrolünü sağlar ve verimliliği

artırır. Yalıtımlı üretim kabini sayesinde koruyucu atmosfer kullanımı mümkün olur ki bu da geniş malzeme kullanımına olanak sağlar.



Şekil 2.4. Direkt metal lazer sinterleme teknolojisi şematik resmi (<http://www.hieta.biz>)

Şekil 2.4 te prosesin şematik gösterimi görülmektedir. Tozun bulunduğu bölümdeki piston, yukarı doğru hareket ederek daima toz beslemesi yapar ve ardından bir yayıcı kol, serilmiş toz üzerine bir katman daha toz yayar. Ardından lazer, üretilecek parçanın 3B CAD modelinden elde edilmiş 2B ve XY düzlemine paralel dilimlerdeki, parçayı temsil eden kısımları eritir. Bir katman inşa edildikten sonra piston üretim platformunu aşağıya indirir ve yayıcı kol ile toz serilerek tekrar yeni bir katman oluşturulur. Proses parça bitene kadar tekrarlanır.

Bertol vd. tarafından yapılan araştırmada içyapısı gözenekli bir çene implantı DMLS yöntemi ile imal edilmiştir. İmplant EOSINT 250X makinede Ti6Al4V tozdan, 50 µm katman kalınlığında üretilmiştir. Araştırmacılar, iç yapı olarak paket yazılımla küresel hücresel yapı kullanmışlardır. Sonuç olarak implant dijital olarak taranmış ve CAD modelle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda maksimum 50 µm fark görüldüğü rapor edilmiştir(Bertol vd., 2010).

1.3. Lazer eritme-Concept laser/ Laser cusing

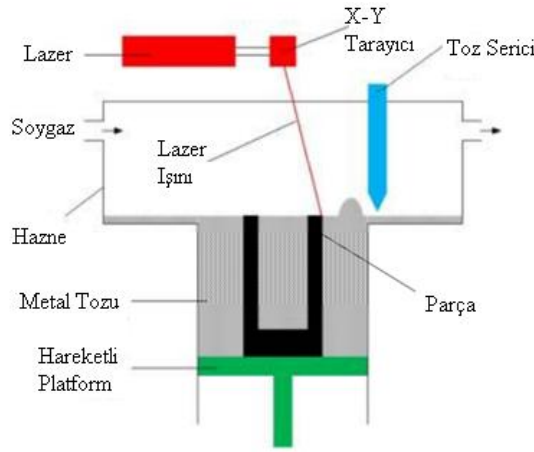
Concept laser, Hoffman grubunun bir iştiraki olan alman bir firmadır. Firma, lazer eritme, markalama ve işleme enterasyonu ile lazer cusing adında bir lazer toz yatağı teknolojisi geliştirmiştir. Ticari olarak M1, M2 ve X line 2000R olmak üzere üç model mevcuttur. X line 2000R modeli en yeni ve 160 litre ile dünyanın en büyük metal eritme makinasıdır ve üretim hacmi 800x400x500 mm³ dür. Bu üretim hacmine sahip makineler, lazer aynaların kontrolü ile patentli bir teknolojiye sahiptirler. Bu teknoloji ile bir lazer ışını, sabit bir optik lens, aynalar ve bir dizi sürücü motor tarafından kontrol edilir.

Malzemeyi eritmek için azot inert gazı atmosferinde M1 ve M2 modellerinde 200 ve opsiyonel olarak 400 Watt, X line modelinde ise 1000 Watt güce sahip iki adet fiber lazer sistemine sahiptirler. CoCr, Ti6Al4V, paslanmaz çelik, takım çeliği, alüminyum alaşımları gibi malzeme seçeneklerine

sahiptirler. Lazer cusing makinaları aynı zamanda lazerle markalama ve kesme kapasitelerine sahiptir(<http://www.concept-laser.de>).

1.4. Seçici lazer ergitme-MTT/Selective laser melting (SLM)

SLM yöntemi olarak ta bilinen lazer tabanlı toz yatak teknolojisi, MTT Technologies Group İngiltere tarafından geliştirilmiştir. Tozlar, parçanın kesit geometrisine göre yüksek yoğunluklu lazer tarafından ergitilmeden önce bir serme mekanizması yardımı ile platform üzerine bir katman kalınlığı kadar uniform olarak yayılır. Ergitme işlemi 100-400 Watt güce sahip fiber lazerler yardımıyla yapılır. Erimiş parçacıklar daha sonra parçanın kesitinin bir katmanını üretmek üzere katılır. Üretim platformu bir katman kalınlığı kadar aşağıya indirilir. Ardından yeni toz serilir ve proses parça tamamlanana kadar tekrarlanır. Bu süreç genellikle argon veya azot gazı olan soy gaz ortamında gerçekleşir. Şekil 2.5 te prosesin şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 2.5. Seçici lazer ergitme teknolojisi şematik resmi

Mevcut ticari modelleri SLM 125 ve SLM 250 dir. SLM 125 modelinin üretim hacmi $125 \times 125 \times 125 \text{ mm}^3$ ve SLM 250 modelinin ki ise $250 \times 250 \times 300 \text{ mm}^3$ dür. 300 mm lik ölçü, 400 mm ye kadar genişletilebilmektedir. Concept laser cusing makinalarında olduğu gibi sabit optik lens yerine bu makinalarda lineer doğrudan tahrik motorları ve aynalar kullanılır. Pozitif basınçlı atmosferle çalışan diğer toz yatak makinalarının aksine, SLM makinaları tamamen üretim çevrimi arasında tasfiye edilebilir bir vakum odası ile donatılmıştır. Bu daha düşük oksijen konsantrasyonuna ve gaz kaçaklarının azalmasına sebep olur. Mevcut kullanılan malzemeler 316L ve 17-4PH paslanmaz çelik, H13 takım çeliği, AlSi12Mg ve AlSi10Mg alüminyum alaşımları, Titanium CP, Ti6Al4V ve Ti6Al7Nb alaşımları, CobaltChrome (ASTM75), Inconell 718 ve 625 dir. MTT özel uygulamalarda, kendi alaşım toz kompozisyonlarını geliştirmek için kullanıcıya açık bir sistem sunar.

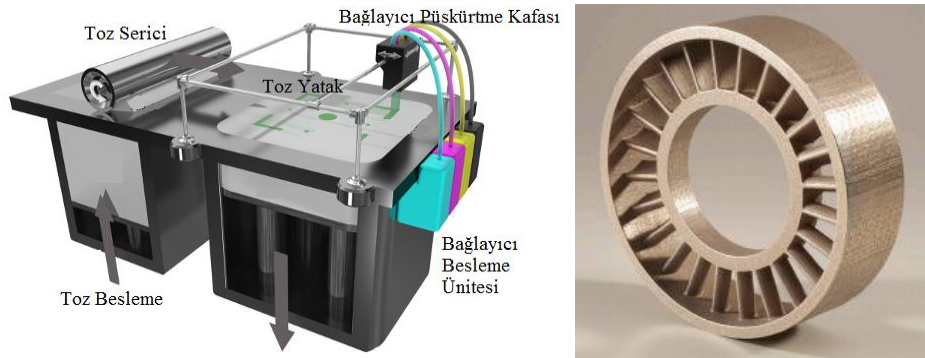
Hollander vd. invitro ortamında gözenekliliğin etkisini seçici lazer ergitme prosesi kullanarak araştırmışlardır. 1000, 700 ve 500 μm anma gözenek çapında, Ti6Al4V toz parçacıklarından kübik

gözenekli diskler inşa etmişlerdir. Diskler kumlama ile temizlenmiş ve gerçek gözenek çapları SEM cihazında yaklaşık olarak 700, 400 ve 200 μm olarak ölçülmüştür. İnsan doku hücreleri 3, 7 ve 14 gün bu disklerin içinde kültüre bırakılmış, diğer ikisi ile kıyaslandığında 200 μm luk yapıda daha fazla hücrenin büyüdüğü görülmüştür (Hollander vd., 2006).

1.5. Bağlayıcı püskürtme- ExOne/Binder Jetting Technology(BJT)

BJT teknolojisi, toz parçacıklarının birleşmesi için bir sıvı bağlayıcının toz üzerine damlaması sonucu parçanın meydana gelmesini sağlayan, direkt 3B CAD veriden parça üreten bir M.E.I. yöntemidir. Benzersiz bağlayıcı tabanlı bu teknoloji MIT'de geliştirilmiştir. Üretim alanına serilmiş olan tozun üstüne, üzerinde nozullar bulunan kafadan bağlayıcı püskürtülür ve hemen arkasından kütleme yapılır. Üretim platformu katman kalınlığı kadar aşağıya iner ve bu işlem parçalar tamamlanana kadar devam eder. İçinde üretilmiş parçaları bulunduran metal kutu, makinadan çıkartılarak sinterleme yapma üzere bir fırına yerleştirilir. Fırından çıkartılan parçalar tozdan arındırılır ve bir dolgu metalinin kapiler etkiyle gözeneklere dolmasını sağlamak amacıyla yine bir fırın içine yerleştirilir ve bekletilir. Bağlayıcı püskürtme geleneksel kâğıt baskıya benzer. Bağlayıcı, kâğıt üzerine püskürtülen mürekkep gibi serilmiş tozun üstüne püskürtülür. Bu teknoloji çok büyük parçaların eklemeli imalatla üretimi için uygundur.

Bu teknolojide silika kumu, kalıp kumu, paslanmaz çelik, IN 625 ve 718 alaşım, kromit, kobalt krom, zirkon, tungsten ve tungsten karbid gibi malzemeler kullanılabilir. ExOne malzeme laboratuvarında bulunan araştırma ekibi, sürekli ar-ge ve özel ihtiyaçları karşılamak için yeni malzemeler üzerinde çalışmaktadırlar. Şekil 2.6'da bağlayıcı püskürtme teknolojisi şematik resmi ve bu teknoloji ile üretilen stator görülmektedir. Geleneksel yöntemle üretilen parçanın maliyeti 400-500 \$ iken ve 200-300 saatte aşılırken, ExOne bağlayıcı püskürtme metodu ile üretilmiş parçanın maliyeti 75-150 \$ dir ve 600 saatten daha fazla sürede ölçülebilir bir aşınma görülmemiştir.



Şekil 2.6. Bağlayıcı püskürtme teknolojisi şematik resmi ve bu metoduyla üretilmiş stator (<http://www.exone.com/Industries-Applications/Industries/Energy>)

Mevcut ticari modelleri Exerial, S-Max, S-Print, M-Print ve M-Flex dir. Exerial, S-Max ve S-Print, kum kalıpları üretmek için kullanılır. Üretim hacimleri sırasıyla 2200x1200x 700 mm³, 1800x1000x600 mm³ ve 800x500x400 mm³ dür. Tabaka kalınlıkları 280-500 µm arasında olan makinalarda baskı çözünürlükleri 100 µm dir.

M-print ve M-Flex modelleri endüstriyel ölçekte metal parça üretimi için kullanılmaktadır. Üretim hacimleri sırasıyla 800x500x400 mm³ ve 400x250x250 mm³ dür.

2. YÖNLENDİRİLMİŞ ENERJİLİ BİRİKTİRME VEYA YIĞMA PROSESİNE GÖRE M.E.I. TEKNOLOJİLERİ

Bu proseste malzeme, yığma esnasında ergitilerek parçaların oluşması sağlanır. Bu temel yaklaşım polimer, seramik ve metal matrisli kompozit malzemelere uygulanabilir olmasına rağmen genel olarak bu sistemlerde metal tozu kullanılır. Bu yüzden metal yığma veya biriktirme (metal deposition) teknolojisi olarak adlandırılır.

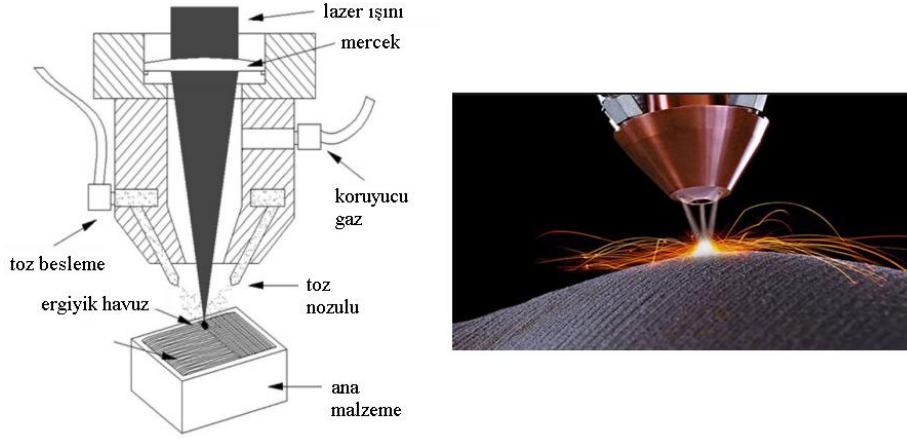
Metal yığma prosesinde toz ya da tel şeklinde olan malzemeyi ergitmek için bir lazer ya da elektron ışını kullanılır ve ekstrüzyon işlemine benzer bir yöntemle 3B nesnelere oluşturulur. Direkt uygulanan bu enerji alt tabakayı ısıtmak ve eritmek, aynı zamanda gelmekte olan malzemeyi ergitmek için kullanılır. Toz yatak prosesinde olduğu gibi tozun önceden serilmesi yerine genelde soy gaz ile birlikte nozuldan basınçlı olarak püskürtülür. Koruyucu gaz aynı zamanda ergiyik havuzunu atmosferin olumsuz etkilerinden korumak için kullanılır.

Parça genellikle x ve y doğrultularında hareket eden bir tablaya bağlıdır. Lazer ve tozun püskürtüldüğü kafa ise z yönünde hareket eder.

Yığma veya biriktirme prosesi hem yüksek değerli parçaların onarımı hem de parça imal etmek için kullanılır. Bu yöntemde toz yatak sistemleri gibi kapalı bir hacimle sınırlı değildir. Bu nedenle büyük parçalarda unsur tamamlamak için kullanılabilir. Genelde bu teknoloji onarım ve kaplama için daha yararlıdır. Karmaşık 3B geometriler elde etmek için ya destek yapıları ya da çok eksenli kafalara ihtiyaç vardır.

2.1. Lazerli toz püskürtme-Optomec/Laser engineered net shaping(LENS)

Bu proses ilk olarak Sandia Ulusal Laboratuvarı tarafından geliştirilmiş ve Optomec firması tarafından ticarileştirilmiştir. Metal tozu tipik olarak 500-1000 Watt aralığında yüksek güçlü bir lazerle ergitilir. SLM ve DMLS yöntemlerinin aksine toz ve lazer için eş eksenli olarak aynı kafa kullanılır (Şekil 2.7). Genellikle atmosfer oksijeninden eriyik havuzunu korumak için aynı kafadan inert gaz beslemesi yapılır. İnşa esnasında platform x-y yönünde hareket eder, kafa sabit durur. Her katman tamamlandıktan sonra kafa düşey z doğrultusunda hareket eder. Bu karakteristik onarım işlemleri için faydalı bir prosestir.



Şekil 2.7. Lazerli toz püskürtme teknolojisi şematik resmi ve lazerle onarım prosesi (<http://www.optomec.com>)

LENS 3B metal yazıcılar uzay, havacılık, savunma, enerji ve tıbbi cihaz imalat endüstrisinde kullanılan bileşenleri imal etmek, geliştirmek ve onarım için uygun bir teknolojidir. LENS işlemi, uygun maliyetli titanyum, paslanmaz çelik, nikel, kobalt ve diğer mühendislik alaşımları gibi metallerin geniş bir yelpazede, mükemmel malzeme özelliklerine sahip 3B yapılar oluşturur. Ticari olarak LENS 450, LENS MR-7, LENS 850 R ve LENS Print Engine modelleri bulunmaktadır.

LENS 450 sistemi, başlangıç seviyesinde ve düşük maliyetlidir. Üniversiteler, araştırmacılar ve metal toz geliştiricileri için uygun olan bu sistem, küçük parçaların eklemeli imalatı ve onarımı için elverişlidir. 100x100x100 mm³ lük üretim hacmine sahip olan bu sistem, 400 Watt IPG fiber lazere ve 3 eksenli bir CNC kontrol sistemine sahiptir.

LENS MR7 sistemi, orta boy hızlı alaşım geliştirme, hızlı katılma, kompozit ve seramik araştırmaları, fonksiyonel prototip ve orta boyutta parçaların onarımı için kullanılır. 300x300x300 mm³ lük üretim hacmine sahip olan bu sistem, 500 Watt IPG fiber lazere ve 3 eksenli bir CNC kontrol sistemine sahiptir. Lazer gücü opsiyonel olarak 1 kW ve 2 kW' a yükseltilebilir.

Geniş çalışma hacmine ve 5 eksenli CNC kontrol sistemine sahip LENS 850 R sistemi, uzay, havacılık ve savunma endüstrisinde yüksek değerli büyük metal bileşenlerin üretimi ve onarımı için uygundur. Sistem 900x1500x900 mm³ lük üretim hacmine ve 1 kW IPG fiber lazere sahiptir.

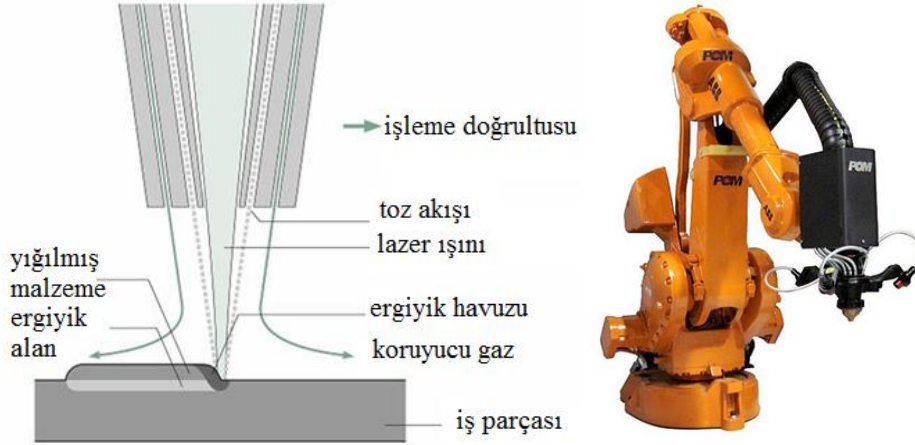
LENS Print Engine, CNC freze, torna, robot, özel taşıma köprüsü hatta lazer kesim ve kaynak sistemleri gibi diğer metal çalışma platformlarının hızlı entegrasyonu ile modüler formda üretilmiş bir sistemdir.

Espana vd. CoCrMo alaşımından LENS yöntemi ile üretilen gözenekli bir yapının mekanik özellikleri ve biyo uyumluluğunu araştıran bir çalışma yapmışlardır. Tarama hızı, toz besleme hızı ve lazer gücü gibi bazı parametrelerin farklı değerleri için oluşan yapıya etkisini incelemişlerdir. Dışı tam yoğun ve iç kısmı gözenekli olan örnekler üretmişlerdir. 0.81 ile 0.9 g/cm³ izafi yoğunluğa sahip

olarak üretilen örneklerde yapılan test sonuçlarına göre elastiklik modülünün 33-43 GPa arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Ortalama basma mukavemeti ise 948-1943 MPa arasında ölçülmüştür (España vd., 2010).

2.2. Direkt metal biriktirme-POM/Direct metal deposition (DMD)

DMD teknolojisi bilgisayar destekli tasarım ve imalat, toz metalurjisi, lazer teknolojisi ve hassas görüntüleme teknolojilerini birleştiren, doğrudan metal parça üretmek için kullanılan patentli bir eklemeli imalat yöntemidir. Bu sistem patentli DMD nozulu, tescilli malzeme reçetesi, tescilli DMDCAM eklemeli imalat yazılımı ve 6 eksen hareket yeteneğine sahiptir. 20 yıl önce Dr.Jyoti Mazumder tarafından bulunmuş olan bu teknoloji, Precision Optical Manufacturing (POM) Auburn Hills ABD firması tarafından özel sektör ve devlet desteği ile sürekli geliştirilmiştir. Şekil 2.8’ de DMD prosesi şematik resmi ve sistemi taşıyan robot kol görülmektedir. Sistem bir robotik kola bağlanmış fiber lazerli bir toz püskürtme sistemine sahiptir.



Şekil 2.8. Direkt metal biriktirme teknolojisi şematik resmi ve robot kol (<http://www.pomgroup.com>)

DMD teknolojisi aşınmış yüzeyler, bileşenlerin yeniden üretilmesi, yüksek değerli parçaların onarımı ve çeşitli süper alaşımlar gibi karmaşık metal tozları kullanarak katma değerli parçaların üretimi için idealdir. Lazer sinterleme, geleneksel kaplama ya da termal spray süreçlerinin aksine DMD teknolojisi ile ana malzemeye güçlü bir metalurjik bağ kurarak tam yoğun metal parçalar üretilir.

Bu teknolojiyi kullanarak geliştirilen iki farklı tip mevcuttur: DMD 105D toz yatak makinalara benzer bir muhafaza içinde yer almaktadır. Üretim hacmi yaklaşık $300 \times 300 \times 300 \text{ mm}^3$ ve lazer gücü 1 kW dır. İkinci tip DMD sisteminde 6 eksenli bir robotik kol mevcuttur ve bu kola bağlanmak üzere 1-5 kW arasında fiber lazer sistemi ile donatılmıştır. Burada iki robotik sistem mevcuttur. 44R ve 66R. Model 44R, 60 kg kapasiteli ve $1.96 \times 2.14 \times 330^\circ$ çalışma hacmine sahipken 66R modeli 125 kg kapasiteli ve $3.2 \times 3.67 \times 360^\circ$ çalışma hacmine sahiptir.

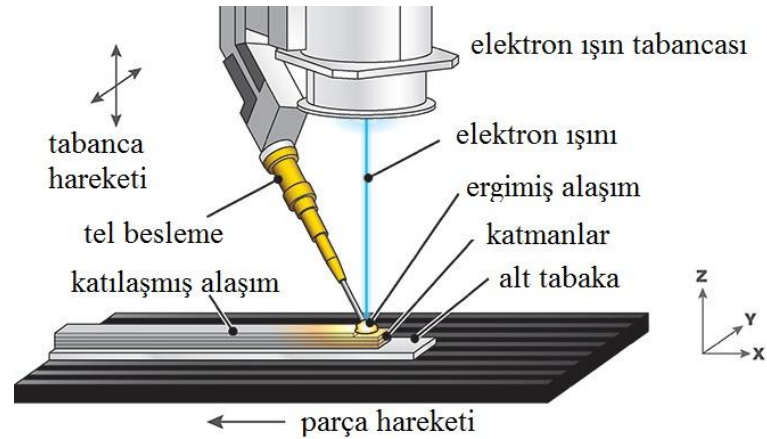
2.3. Elektron ışını eklemeli imalat–Sciaky Inc / Electron beam additive manufacturing (EBAM)

EBAM teknolojisi, hammadde olarak toz yerine tel kullanan bir metal biriktirme prosesidir ve bir vakum odası içinde nete yakın parçalar üretmek için ısı kaynağı olarak elektron ışını kullanır.

Bir CAD programından elde edilen 3B veriler CNC kodlarına dönüştürülür. Ardından Sciaky elektron ışın tabancası üzerinde yer alan tel besleme mekanizması, parça bitene kadar katman katman tel yığar. Parça bittikten sonra ısı işlemler ve takımla işleme yapılır. EBAM eklemeli imalat sistemleri ile fonksiyonel parça, prototip parça üretimi ve parça onarımı yapılabilmektedir.

EBAM sistemleri içinde en büyük model EBAM 300 olan modelidir ve 7112 x 1219 x 1219 mm³ üretim hacmine sahiptir. EBAM 110 VE 150 modelleri büyük ölçekli, EBAM 68 ve 88 modelleri orta ölçekli konfigürasyona sahiptirler.

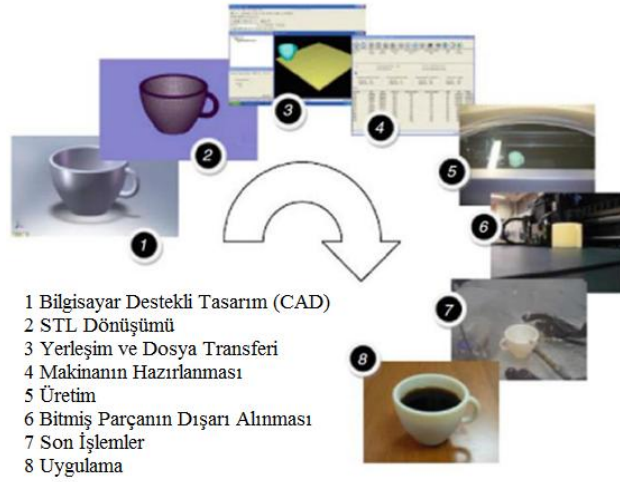
EBAM sistemlerinde kullanılabilen tel şeklinde malzeme çeşitleri şunlardır: titanyum, inconel 718,625, tantalyum, tungsten, niyobyum, paslanmaz çelik, alüminyum, 4340 çelik, 70/30 bakır nikel alaşımı.



Şekil 2.9. Elektron ışını eklemeli imalat teknolojisi şematik resmi (<http://www.sciaky.com>)

3. M.E.I. PROSESİNDE ÜRÜN GELİŞTİRME

Eklemeli imalat işleminde tasarım ve üretim adımları Şekil 2.10’da gösterilmiştir. Üretilen parçanın 3B CAD modeli stl dosya formatına dönüştürülür. Hemen hemen bütün eklemeli imalat teknolojileri stl dosya formatını kullanmaktadır. Stl terimi, 1990’larda kullanılan ilk ticari eklemeli imalat teknolojisi olan, 3D Systems’e ait STereoLitografi’den gelmektedir. Stl, fiili bir standart olarak bir CAD modeli geometrik açıdan tanımlamanın basit bir yoludur. Herhangi bir tasarım verisini, tasarım geçmişini vs. silerek modelin yüzeylerini üçgensel yüzeyler serisiyle oluşturmak şeklinde meydana gelir. Bu üçgenlerin minimum ölçüleri her CAD yazılımında ayarlanabilir ve oluşturulan modellerin yüzeylerinde hiçbir şekilde üçgen izi görülmemelidir. Bu sürecin basit kuralı, minimum üçgen ofsetinin, eklemeli imalat makinesinin çözünürlüğünden küçük olmasıdır.



Şekil 2.10. CAD veriden eklemeli imalatla fiziksel prototipin oluşma süreci(Gibson vd., 2010)

Stl dosyası daha sonra 3B CAD modeli belirli kalınlıkta 2B dilimlere ayıran yazılıma transfer edilir. Her makine farklı dilimleme formatları kullanmaktadır: 3D Systems'e ait sli, EOS'a ait cli, Stratasys'ye ait slc. Daha sonra süreç, işleme parametrelerinin ayarlanması ve malzemelerin hazırlanmasıyla devam eder. M.E.I. yönteminde, oksijen miktarını azaltmak ve ergiyik haldeki metal havuzunun kirlenmesini önlemek amacıyla imalattan önce üretim haznesine oksijen ya da argon pompalanır. Parça tamamlandıktan sonra imalat haznesindeki parça alınır ve temizlenir. Gerekli olursa destek yapısı içeren parçalar için ekstra işlem yapmak gerekebilir. Metal parçalar için yapım sürecinde parçada oluşan artık gerilmeleri gidermek için gerilim giderme ısıl işlemi uygulanır.

4. M.E.I. PROSESİNİN AVANTAJLARI VE KISITLARI

Tasarımcı gözüyle bakılınca SLM ve DMLS gibi M.E.I. yöntemleri hem avantajlara hem de zorluklara sahiptir. Olumlu yanı farklı yöntemlerle yapılamayacak veya maliyeti çok yüksek olacak şekiller için muhteşem bir tasarım özgürlüğü sunmaktadır. Bu olumlu taraflar aşağıda tartışılacak ve sonrasında kısıtlara değinilecektir.

4.1. Avantajları

4.1.1. Karmaşık şekillerin takımsız imalatı

Eklemeli imalatın önemli bir avantajı doğrudan parça üretimi yapılabilmesidir ki bu da talaşlı imalat, envanter, montaj, iş gücü, bakım giderleri olmadığı için maliyeti ciddi şekilde düşürür. Dolayısıyla piyasa talebinin olup olmadığını kontrol etmek için az miktarda yeni ürünlerin de çıkarılması mümkün olmaktadır. Geleneksel imalat yöntemlerinde üretim ve montaj için temel teşkil eden tasarım kısıtlarının çoğu takım ile işlemeden kaynaklanmaktadır (Hague vd., 2003).

M.E.I. makineleri çok daha karmaşık geometrik şekillerin imalatına izin vermekte olup bu sayede yeni ürün geliştirme için büyük bir özgürlük sağlamaktadır (Spierings vd., 2011). Boyut

küçüldükçe ve karmaşıklık arttıkça parça üretimi için eklemeli imalat daha iyi bir seçenek olmaktadır. Bir tasarımcı çok sayıda basit parça yerine az sayıda karmaşık parça üretebilir. Bu pek çok geleneksel üretim proseslerinde geçerlidir (Gibson vd., 2010). Parça sayısındaki azalmanın sonucu olarak geleneksel tedarik zincirindeki basamakların sayısı da azalır. Bu sayede sipariş süresi azalır ve tedarik zinciri yönetimi basitleşir.

4.1.2. En uygun soğutma kanalları tasarımı ile kalıp üretim optimizasyonu

Kalıplarda en uygun şekilde tasarlanan ve eklemeli imalatla üretilen kanallar ile yapılan soğutma sayesinde plastik enjeksiyon kalıpcılığında parça döngü süresi azalmakta ve parça kalitesi artmaktadır (Mansour ve Hague, 2003; Rännar vd., 2007).

4.1.3. Hafif yapılar

Eklemeli imalatın katkı sağlayabileceği diğer bir alan da hafif yapılarıdır. Burada kritik olan şey üretim sınırlandırmalarına boyun eğip daha fazla çaba yerine optimum dizayna en yakın olan geometrik şekli oluşturmaktır (Rosen vd., 2007). Eklemeli imalatla çok karmaşık tasarıma sahip parçaların üretimi mümkün olmakta ve ürün işlevselliği ile birleştirildiğinde hafif yapılar ve daha verimli parçaların üretimi mümkün olmaktadır. Eklemeli imalatla mekanik özellikleri uygun olan işlevsel, mukavemetli ve hafif yapıların üretilmesi, malzemenin ürün içinde sadece ihtiyaç olan yerlere yerleştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Dökümle elde edilen yapıların yerini tutabilen küçük hacimli içyapıların kullanımı üretim zamanını ve maliyetini ciddi ölçüde azaltabilir. Geleneksel imalat yöntemleriyle üretimi mümkün olmayan ağaçlar, kemikler, süngerler ve mercanlardaki gibi organik yapıların, eklemeli imalatla üretimi mümkündür. Bu tür yapılar malzemedan tasarruf etmek, ağırlığı azaltmak ve daha verimli ısı transferi için kullanılabilir. Bu yapılar estetik açıdan da daha güzel görünmektedirler.

4.1.4. Mevcut malzemeler

Eklemeli imalat prosesi için kullanılacak olan malzeme çeşitliliği gün geçtikçe artmaktadır. Eklemeli imalat proseslerinde çeşitli metaller üzerine yapılmış pek çok araştırma mevcuttur. Örneğin çelik ve paslanmaz çelik (Childs vd., 2005; Kruth vd., 2004; Rombouts vd., 2006), titanyum alaşımları (Abe vd., 2003), alüminyum alaşımları (Brandl vd., 2011), nikel tabanlı alaşımlar (Amato vd., 2010), kobalt-krom alaşımları (Wu vd., 2007; Jevremović vd., 2011), bakır tabanlı alaşımlar (Li vd., 2010) ve altın (Khan ve Dickens, 2006). Metal tozları şekil (küreselden düzensiz şekiller) , ölçü ve ölçü dağılımı olarak çok çeşitlidirler. Bu sebepten dolayı M.E.I. sistemlerinin proses özellikleri de çok çeşitlidir. Sistem üreticileri yaptıkları eklemeli imalat proseslerinin tekrarlanabilir ve

sürekli olması amacıyla ve aynı özellikte ürün vermelerini sağlayabilmeleri için metal toz tedarikçileri ile yakın çalışırlar. Fakat hem üretim hem tasarım kısmında işlevsel parçaların M.E.I. ile üretiminin daha geniş kullanımını engelleyen özellikle uzay, otomobil ve tıp teknolojileri gibi alanlarda bir takım zorluklar ve kısıtlamalar vardır. Bu engel ve kısıtlamalara sonraki bölümde değinilecektir.

4.2. Kısıtlamalar

4.2.1. Buharlaşma olayı

M.E.I.'de istenmeyen olaylardan birisi, toz yatağı yüksek enerjili ışınımına maruz kaldığında meydana gelen buharlaşmadır. Lazerle eritme prosesi esnasında, lazere maruz kalan toz parçacıklarının sıcaklığı, malzemenin erime sıcaklığının üstüne çıkmaktadır. Sıcaklıktaki daha fazla artış (malzemenin erime sıcaklığının yaklaşık iki katı) ise tozların buharlaşmasına sebep olmakta, bu yüzden buharlaşan parçacıkların hızlı hareketi ergimiş bölgede aşırı basınca sebep olmakta ve malzeme toz yataktan taşmaktadır (Morgan vd., 2001).

4.2.2. Yumaklanma olayı

M.E.I. prosesinde meydana gelebilen diğer bir sorun yumaklanma sorunudur. Tozların yumaklanması neticesinde, lazer ışığının odak çapına eşit olan izole küreler(yumaklar) oluşur; bu da birikimi engeller ve ürünün yoğunluğunu azaltır. Bu durum eriyik malzeme, yüzey geriliminden dolayı alt katmanı tamamen ısıtamadığı zaman meydana gelir. Bu olayın, çok düşük viskoziteye sahip ergimiş toza aşırı miktarda enerji verilmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Gu ve Shen, 2009; Simchi, 2006).

4.2.3. Anizotropik parça özellikleri

M.E.I. sistemlerinin çoğunda, malzeme erir ve %100 yoğunluğa ulaşan parça üretimi sağlanır. M.E.I. ile üretilen metal parçalar, geleneksel dövme ve döküm metallere daha farklı özellikte olabilirler. Bu durumun, M.E.I. teknolojilerinin geniş çapta kullanılmasının önündeki en büyük engel olduğu ispatlanmıştır. Eklemeli imalatla imal edilen metallere özellikleri araştırmacılar tarafından analiz edilmiştir. Yoğunluk üzerinde Spierings ve Levy (2009), mikroyapı üzerinde Kruth vd.(2004) ve Simchi (2006), statik mekanik özellikler üzerinde Spierings vd.(2011) ve Yasa vd. (2010) çalışmışlardır. Parçanın yapım yönüne bağlı olarak belirli bir anizotropik özellikler olsa da, statik mekanik özelliklerin geleneksel dövme malzemeleri ile aynı aralıkta olduğu çalışmalarda gözlenmiştir.

4.2.4. Isıl gerilim ve deformasyon

M.E.I. prosesinde yüksek bir yoğunluğa ulaşmak için metal toz parçacıkları tamamen eritilir. Lazerli eritme işlemi, malzemedeki yüksek ısısal değişimden dolayı olan kalıntı gerilimin geliştirilmesiyle yapılır. Bu gerilimler parçanın çarpıklaşmasına, çatlamasına veya yapraklanmasına

sebebe olabilir (Pohl vd., 2001; Matsumoto., 2002). Sonuç olarak, girintili ve çıkıntılı karmaşık metal parçaların üretiminde destek yapılarına ihtiyaç vardır. Bu destek yapıları, M.E.I. proseslerinde üretilen metal parçaların çarpılmasının önlenmesi için kritik öneme sahiptir. Yüksek güçlü lazer ışınımından sonra, oda sıcaklığına düşürülen metal, ısıl gerilim gradyanından kaynaklanan ve çarpılmayla sonuçlanan bir deformasyona uğrama eğilimindedir (Mercelis ve Kruth, 2006). Buradaki destek yapılarının görevi, ısıyı yeni eriyen tabakadan dağıtmaktır ve katmanın katılmasında ısıl gerilmeden dolayı parçanın şekil bozukluğuna uğramasını engellemektir. Destek yapıları, ürünün imalatı için uygun şartların oluşmasını ve sonradan eklenecek katmanlar için düzgün bir ısı dağılımının olmasını sağlar.

4.2.5. Destek yapılar için harcanan malzeme ve enerji

M.E.I. de destek yapıların kullanılması, parçaların geometrilerini sınırlandıran temel sebebe olarak rapor edilmiştir ve desteğin yerleştirilmesi de parça tasarımı kadar önemlidir (Pullin ve Offen, 2008). Destek yapısı, üretilen eklemeli imalat parçası için kullanılan malzeme miktarını, üretim zamanını, son yüzey durumunu, enerji tüketimini, maliyetini ve üretilen metal parçanın üretim sonrası gereksinimlerini etkiler. Destek yapıları, malzeme ve enerjiyi boşa harcar ve üretilen metalin değerine bir şey katmaz. Bu yüzden de parçanın üretimi tamamlandığında kesici takım yardımıyla elle veya makineyle metal parçadan alınmaları gerekir. M.E.I. makineleri, işlenen malzemenin her bir birim kütlesi için ciddi elektrik enerjisi harcamaktadır (Mognol vd., 2006).

4.2.6 Eklemeli imalatla tasarım kurallarının bilinmemesi

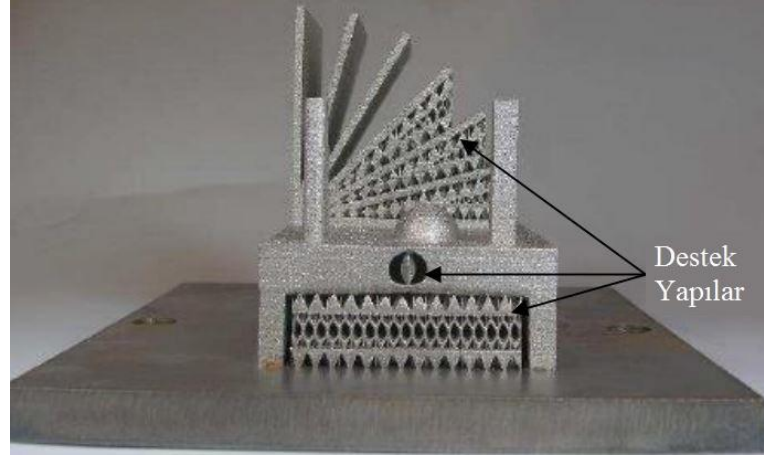
Diğer taraftan eklemeli imalat tasarımcılara ciddi zorluklar da çıkarır. Eklemeli imalatla tasarım ve üretim için eklemeli imalatın üretime getirdiği belirli kısıtlamaları anlamak ve öğrenmek gereklidir. Minimum cidar kalınlığı, ulaşılabilir toleranslar, destek gereksinimi, parçanın tercih edilen yerleşimi bu kısıtlamalara örnek olarak verilebilir. Bu kısıtlamalar, geleneksel yöntemlere göre daha özgürlükçü olmakla birlikte tecrübe ve uzmanlık gerektirir. Tasarımcılara bu konuda yardımcı olmak için bazı eklemeli imalat tasarım klavuzları yazılmıştır. Örneğin Thomas (2010) tarafından SLM tasarım kuralları geliştirilmiştir. Bazı eklemeli imalat sistem üreticileri de tasarımcılar için rehberlik edecek bilgiler vermektedirler (Design Rules for DMLS).

5. Destek Yapılar

5.1. Metal parçalar için destek yapılar

Metal malzemelerin lazerle eklemeli imalatında destek yapıların amacı ısıyı iletme ve parçayı sabit tutmaktır. SLM ve DMLS gibi yöntemlerde önemli bir problem, yüksek artık gerilimler ve çarpılmadır. Lazer ışınımının bölgesel ısıtmasından dolayı, karmaşık ısıl ve faz geçiş gerilmeleri oluşmaktadır.

Ek olarak, proses boyunca sıkca tekrarlanan ısıl genleşme ve daha önceden katılmış olan katmanların büzülmesi, malzemenin akma dayanımını aşabilecek derecede ciddi ısıl gerilim ve gerilim gradyanları oluşturmaktadır. Artık gerilimler, parça çarpılmasına, çatlaklara ve parçanın mukavemetinde istenmeyen düşmelere sebep olabilir (Merceles ve Kruth, 2006). Çıkıntılı parçaların üretiminde, ilk katmanın toz yatağında bozulma olmadan düzgün bir şekilde yapılması önemlidir (Matsumoto vd, 2002).



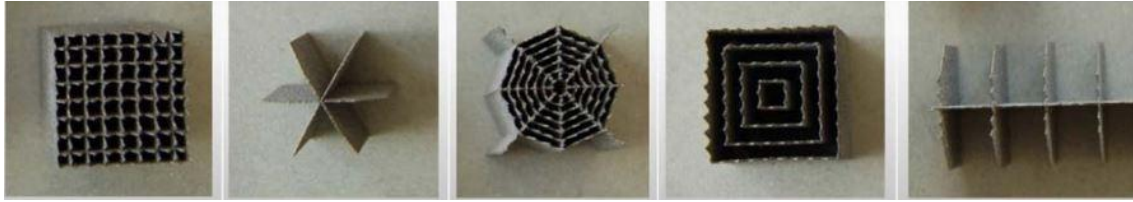
Şekil 2.11. Destek yapılı, eklemeli imalatla üretilmiş bir performans parçası (Castillo, 2005)

Bütün M.E.I. yöntemleri arasında metal toz yatak prosesleri, destek gereksinimleri en zor olanıdır ve yoğun metal olduklarından desteklerin koparılması da zor olmaktadır. Toz yatak proseslerinde üretilen metal işlevsel parçaları desteklemek için hala SLA ve FDM için geliştirilen geleneksel destek metotları ve tasarımları kullanılmaktadır. Parçanın tasarımı, çarpılmayı önlemek için gereken destek yapısının miktarını belirler. Şekil 2.11’de eklemeli imalat yöntemiyle destek yapılar kullanarak imal edilmiş performans parçası görülmektedir. Parçaları inşa platforma sabitlemek, proses boyunca parçaların hareketini önlemek için, doğru geometriden uzaklaştıran sarkmaları ve yüzey çarpılmalarını engellemek için destek yapılarına ihtiyaç vardır.

M.E.I. proseslerinde verimli destek yapısı oluşturma yöntemlerine yönelik gelişen ve büyüyen bir araştırma ve talep bulunmaktadır. Jhabvala vd. destek yapısını oluşturmak için darbeli radyasyon yöntemini buldular. Darbeli radyasyon tekniği, destek ve parça için farklı güç kullanmayı öngörmektedir. Destek yapısını birleştirmek için çok daha az güç kullanılır ve bu da toz malzemenin bağlanmasına yetecek kadar enerji kullanımını içerir (Jhabvala vd., 2012). Mumtaz vd. bizmut ve çinko gibi kolay eriyen metallerde proses boyunca parçaların tamamen katılmasını engelleyerek destek ihtiyacını gidermek için bir yöntem geliştirdiler (Mumtaz vd, 2011). Fakat bu metot şimdilik sadece kolay eriyen metallerde uygulanabilir. Metal destek yapıları hakkında yapılan araştırmaların çoğu proses geliştirme içerikli olsa da destek yapıların yapısal tasarım geliştirmesi için daha çok araştırmaya ihtiyaç vardır.

5.2. Destek yapıların oluşturulmasında kullanılan ticari yazılımlar

Ticari olarak kabul görmüş Magics (Materialise, Belçika) yazılımında bulunan modüllerle(SG+), elle veya otomatik olarak destek yapısı oluşturabilir. Elle oluşturmada kullanıcı geometriyi desteklemek için gereken desteğin türünü kendi seçiyorken otomatik olanda ise belirli geometriler için sistem kendisi optimum tasarımı seçmektedir. En yaygın kullanılan destek türleri, el aletleri kullanılarak kolayca kırılabilmesi için parça temasını minimize eden, ince ve iskele benzeri kafes yapılardır. Endüstride blok, nokta veya çizgi gibi birçok farklı tipte destek yapısı yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu desteklerin her biri kendi unsuruna sahiptir. Magics yazılımında var olan farklı iskele benzeri destek yapılarının tasarım örnekleri Şekil 2.12’de verilmiştir. Bazen parçanın yerleşimindeki ya da şeklindeki küçük bir değişiklik destek yapılarının hacmini azaltır. Pek çok durumda, aşırı veya yetersiz kullanımdan kaynaklanan üretim hatası olmaması için destek yapısının şeklini kullanıcı gözden geçirip onaylamaktadır.



a)

b)

c)

d)

e)

Şekil 2.12. Metalik parçalar için farklı destek geometrileri, a)blok, b)nokta, c)ağ, d)kontur, e)çizgi, (Krol, 2012)