



HİBRİT İMALAT: EKLEMELİ İMALAT İLE TALAŞLI İMALAT YÖNTEMLERİNİN BİRLİKTE KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Tuğçe Tezel*, Eyüp Sabri Topal, Volkan Kovan

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya, TÜRKİYE

*Sorumlu Yazar: tugcetezel@akdeniz.edu.tr, 02423106344

ÖZET

Eklemeli imalat teknolojileri son yıllarda makine parçası imalatında öne çıkmaya başlayan geleneksel olmayan üretim yöntemlerinden biridir. Geleneksel imalat yöntemlerinden olan talaşlı imalat yöntemlerinden farklı bir üretim sürecidir. Geleneksel talaşlı imalat yöntemlerinde, yarı mamul bir parça ile takım arasındaki çeşitli bağıl hareketler sonucu, malzemenin kesilip çıkarılması ile üretim gerçekleştirilir. Eklemeli imalat ile üretimde ise yazdırma malzemeleri katman katman birleştirilerek nihai ürün elde edilir. Makine parçası tasarımı, imalatı, malzeme karakterizasyonu, çalışma koşulları gibi parametreler göz önünde bulundurulduğunda bu üretim yöntemlerinin çeşitli avantaj ve dezavantajları ortaya çıkmaktadır. Bu aşamada bu üretim süreçlerinin birleştirilerek imalat teknolojilerinin geliştirilmesi ihtiyacı doğmaktadır.

Bu çalışmada, literatürdeki eklemeli ve geleneksel imalat yöntemlerinin bir arada kullanıldığı “Hibrit İmalat” yaklaşımları incelenmiştir. Böyle bir entegre yaklaşım, üretim metodlarının avantajlarını bir araya getirirken sınırlamaların azaltılmasını sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler:Hibrit imalat.Eklemeli imalat. 3B yazıcı.

HYBRID MANUFACTURING: INVESTIGATION OF THE USABILITY OF ADDITIVE MANUFACTURING WITH MACHINING

ABSTRACT

Additive manufacturing technology is one of the non-traditional manufacturing methods that have come to prominence in machine parts manufacturing in recent years. It is a production process different from the machining known as conventional manufacturing. In conventional manufacturing methods, various relative movements between semi-finished part and the tool are the result of cutting and removing the material. In additive manufacturing, the printing material is combined with the layer to layer to obtain the final product. Given the parameters such as machine part design, manufacturing, material characterization, operating conditions, various advantages and disadvantages of these production methods arise. At this stage, it is necessary to develop manufacturing technologies by combining these production processes.

In this study, "hybrid manufacturing" approaches in which the additive and traditional manufacturing methods are used together in the literature have been examined. Such an integrated approach will help to reduce limitations while bringing the advantages of manufacturing methods together.

Keywords: Hybrid manufacturing.Additive manufacturing. 3D printer.

1. GİRİŞ

Talaşlı imalat, bir hammaddenin istenilen nihai şekle ve boyuta getirilmesi amacıyla kontrollü olarak malzeme (talaş) uzaklaştırma işlemlerinin genel adıdır. Bu kontrollü talaş kaldırma süreçleri, günümüzde eklemeli imalat olarak bilinen kontrollü malzeme eklemeli süreçlerden farklıdır. Talaşlı imalat ile metal parçaların yanı sıra ahşap, plastik, seramik ve kompozit gibi malzemelerin imalatı da mümkündür. Günümüzde yapılan birçok talaşlı imalatta da tıpkı eklemeli imalatta olduğu gibi geometrik ve teknolojik bilgileri kontrol etmek için bilgisayarlar kullanılmaktadır.

ASTM (American Society of Testing Materials) standartlarında, eklemeli imalat “geleneksel makineyle işleme gibi çıkarmalı üretim yöntemlerinin aksine, malzemelerin 3 boyutlu model verilerinden nesnelere yapmak için genellikle üst üste katmanlar şeklinde birleştirilmesi” şeklinde tanımlanmıştır[1]. Bu imalat yöntemi katmanlı imalat, 3 boyutlu baskı, 3 boyutlu yazıcı imalatı gibi isimlerle de anılmaktadır. Son yıllarda imalat teknolojileri arasında yaygın kullanımı olan bu yöntem ile model, prototip veya son ürün imalatı mümkündür.

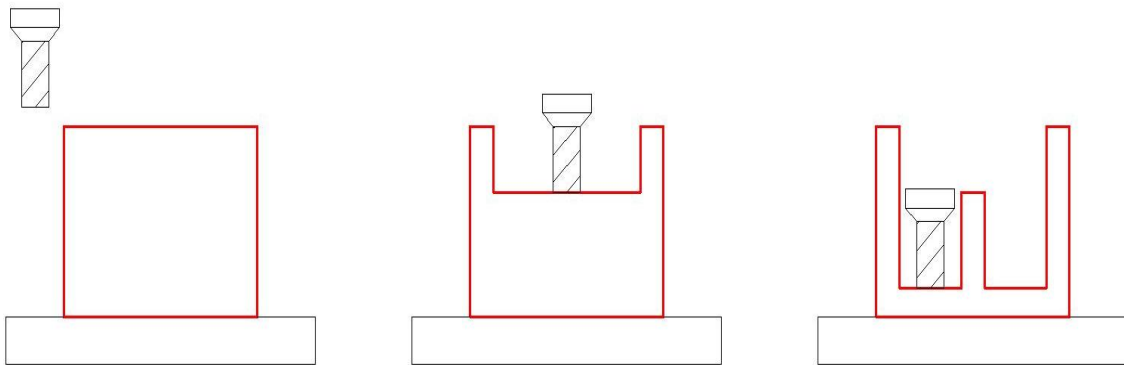
Eklemeli imalat teknolojileri makine parçası imalatında öne çıkmaya başlayan geleneksel olmayan bir üretim yöntemidir. Geleneksel yöntemlerden olan talaşlı imalat yöntemlerinden farklı bir üretim sürecidir. Talaşlı imalat ile üretimde malzemeden talaş kaldırmak suretiyle parça şekillendirilirken, eklemeli imalat ile üretimde parçanın bilgisayar tasarım verisi kullanılarak ve iki boyutlu parça kesitleri katman katman birleştirilerek üretim tamamlanır.

Hibrit imalat ise, ürünlerin daha yüksek doğruluk ve hassasiyette üretilebilmesi için çeşitli imalat teknolojilerinin avantajlı yönlerinin bir arada kullanılması işlemidir. Parçaların üretiminde birden çok imalat yöntemine duyulan ihtiyacın sonucunda üretim kabiliyeti ve üretim zamanı açısından çeşitli yöntemlerin bir arada kullanılması daha verimlidir. Bu çalışma kapsamında üç boyutlu yazdırma ile talaşlı imalat yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları incelenerek, bu yöntemlerin avantajlı yönlerinin bir arada kullanılması sonucu ortaya çıkmış mevcut hibrit imalat yaklaşımları hakkında bilgi verilecektir.

2. ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

2.1. Talaşlı İmalat

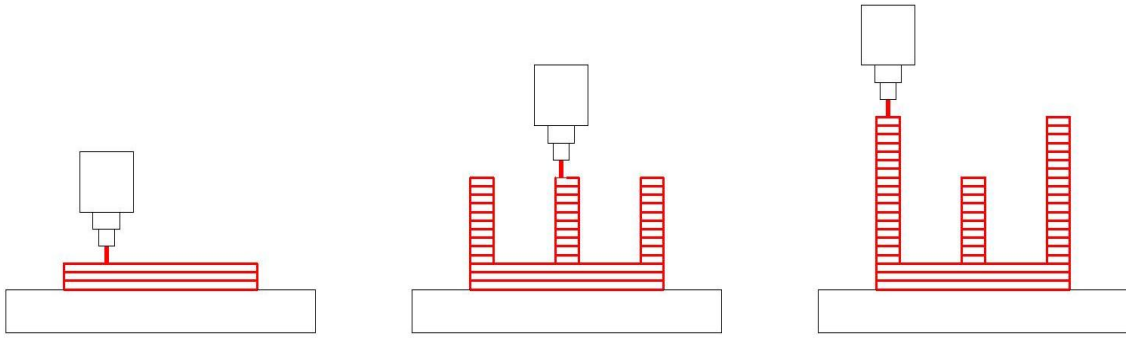
Talaşlı imalat yaygın olarak kullanılan bir “eksiltmeli” imalat yöntemidir. Üç boyutlu yazdırmadan farklı olarak, işlem bir malzeme bloğu ile başlar ve kesici takım ile parça arasındaki bağlı hareketler sonucu son şekil elde edilinceye kadar talaş kaldırılarak devam eder. Günümüzde bilgisayar kontrollü talaşlı imalat hem küçük, hem de orta ila yüksek hacimli imalatlar için en popüler imalat yöntemleri arasındadır. Talaşlı imalat, yaygın olarak metaller için kullanılsa da çok çeşitli malzemelerde iş parçalarından talaş kaldırmak mümkündür. Vida dişleri, hassas delikler, çok düzgün kenarlar ve yüzeylerin talaşlı imalat ile elde edilmesi mümkün olsa da, talaşlı imalat esnasında çıkan hurda malzemeler ve üretim sürecinin zaman alması yöntemin önemli dezavantajlarıdır.



Şekil 1. Eksiltmeli imalat

2.2. Üç Boyutlu Yazdırma

Üç boyutlu yazdırma bir “eklemeli” imalat yöntemidir. Talaşlı imalattan farklı olarak, işlem yazdırma kafasının yazdırma tablası/yatağı üzerinde iki boyutlu son ürün kesitlerini nihai şekil elde edilinceye kadar üst üste yığılması prensibiyle çalışmaktadır. Günümüzde üç boyutlu yazıcılar ev kullanıcıları için dahi en popüler imal yöntemlerindedir. Üç boyutlu yazdırma, yaygın olarak plastik malzemeler için kullanılsa da günümüzde metallere dahil olmak üzere çeşitli malzemelerden üretim mümkündür. Ancak kullanılan malzemelerde, talaşlı imalatta olduğu kadar çeşitlilik halen mümkün değildir. Bunun yanı sıra yine talaşlı imalat tezgâhlarında olduğu gibi her malzeme ile imalat gerçekleştirilecek bir üç boyutlu yazıcı bulunmamaktadır. 3B yazıcılar diğer seri üretim yöntemlerine göre daha yavaş bir üretim yöntemidir. Talaşlı imalat yöntemleri ile birkaç saat içerisinde üretilen ürünler üç boyutlu yazıcılar ile günler sürebilmekte ancak talaşlı imalat yöntemlerinde gereken aşamalar olmaması nedeni ile toplamda daha hızlı imalat yapılabilmektedir. Tüm bunların yanı sıra üç boyutlu yazıcıların en önemli dezavantajı başta yüzey pürüzlülüğü ve toleranslar olmak üzere işleme kalitesi problemleridir.



Şekil 2. Eklemeli İmalat

Avantaj ve dezavantajlar birlikte değerlendirildiğinde, üç boyutlu yazdırma ile talaşlı imalat arasında seçim yaparken, karar verme sürecine uygulanabilecek birkaç basit prensip çıkarılabilir. Genel bir kural olarak, eklemeli imalat ile imal edilebilen tüm parçaların genellikle talaşlı imalat ile işlenmesi uygundur. Talaşlı imalat ile üretilmeyecek derecede karmaşık parçaların, örneğin topoloji açısından optimize edilmiş geometriler için üç boyutlu yazıcıların kullanılması daha uygun olabilir. Acil bir imalat gerektiğinde üç boyutlu yazıcı en hızlı seçenek olmaktadır. Düşük bir bütçede, az sayıda parça imalatı veya prototip için üç boyutlu yazıcılar talaşlı imalata göre daha ekonomiktir. Talaşlı imalat daha iyi bir işleme kalitesi sunar ve daha iyi mekanik özelliklere sahip parçalar üretir, ancak üretilen parça sayısı az olduğunda özellikle büyük bir maliyet getirir. Tüm bunların yanı sıra, daha yüksek miktarlarda (yüzlerce veya daha fazla) parçaya ihtiyaç duyulduğunda, ne talaşlı imalat ne de üç boyutlu yazıcı maliyeti rekabetçi seçenek olabilir. Hassas döküm veya enjeksiyon kalıplama gibi geleneksel şekillendirme teknolojileri bu tür durumlarda en ekonomik seçenek olarak göze çarpmaktadır. Sonuç olarak kendine has avantajları olan talaşlı imalat ve üç boyutlu yazıcı ile imalatın dezavantajlarını ortadan kaldıran hibrit imalat yöntemlerinin bir gereksinim olduğu ortaya çıkmaktadır.

3. HİBRİT ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Uluslararası Üretim Mühendisliği Akademisi (CIRP, The International Academy for Production Engineering) hibrit imalatı “iki veya daha fazla imalat teknolojisini yeni bir kurulumda birleştirerek, her bir yöntemin avantajlarının bütünleşik bir şekilde kullanılabilmesi” şeklinde tanımlamıştır. Bir başka deyişle hibrit imalat, aynı işleme bölgesi üzerinde farklı (kimyasal, fiziksel, kontrollü) işleme prensiplerinin eşzamanlı olarak uygulanmasını içerir [2].

Genellikle, hibrit üretim yöntemlerinde eklemeli imalat yöntemleri hemen hemen net bir şekil oluşturmak için, ardından gelen talaşlı imalat yöntemleri ise istenen işleme kalitesinde son şekli elde etmek için kullanılmaktadır. Bazı araştırmacılar bu amaçla, geleneksel freze tezgâhlarına bir lazer kaplama ünitesi ekleyerek, lazer kaplama işlemlerinin esnekliğini ve frezeleme operasyonları

tarafından sağlanan yüksek işleme kalitesini birleştirmişlerdir. Jeng ve Lin [3], seçici lazer kaplama ve frezeleme işlemlerinin bir arada kullanıldığı hibrit imalat işlemini kullanmışlardır. Burada lazer kaplama işlemi malzeme tabakalarını oluştururken frezeleme işlemi ise kaplama yüksekliğini doğru ayarlayabilmek ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için kullanılmıştır. Ayrıca yalnızca lazer kaplama işlemiyle de eş kalıplar üretilerek hibrit imalatın etkisi araştırılmıştır. Katman kalınlığının daha da azaltılabilmesi halinde hibrit imalatın kalıp olarak uygulanabilirliği ortaya konmuştur. Nowotnyvd[4], onarımlar, hızlı tasarım değişiklikleri ve kısa sürede parçaların doğrudan imalatı için takım tezgahlarına lazer entegrasyonunu yeni bir teknik çözüm olarak önermişlerdir. Lazer kaplama ve talaşlı imalattan oluşan hibrit imalatın işleme süresini kısaltıp makinelerin çoklu şekiller üretme kapasitesini geliştirdiğini belirtmişlerdir. Choi vd[5], tel kaynak teknoloji ile talaşlı imalatın bir arada kullanıldığı hibrit imalatın avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuşlardır. Ayrıca CO2 lazer kaynağı metal malzemenin doğru şekilde birikimini sağlarken frezeleme yüzey kalitesini düzenlemiştir. Kaynakta toz yerine tel kullanımı, basit bir besleme mekanizması ve daha yüksek bir birikim oranı açısından avantajlıdır. Bu deneysel çalışmada lazer gücü, kaynak hızı vb işlem parametreleri mikroyapı, sertlik ve gerilme mukavemetinin bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Gonzalez vd[6], metal eklemeli imalat, kaynak teknolojisi ve CNC freze makinelerinin entegrasyonuna dayanan hibrit sistemle çeşitli geometrilerde parça imalatı yaparak boyutsal doğruluk ve yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir.

Song ve Park [7], benzer şekilde kaynak teknolojisi ve frezeleme işlemini bir arada kullanarak hibrit imalatın çeşitli tasarım parametrelerini araştırmışlardır. Kalay ve çinko alaşımli paslanmaz çelik imalatı için, kaynak tabancası ve diğer kaynak parametrelerinde değişiklikler yaparak alternatif yaklaşımlar sunmuşlardır. Kapil vd[8] türbin kanadı imalatında, MIG, TIG kaynağı ve lazer kaplama teknolojisinin 3 eksenli CNC ile birleştirildiği hibrit imalat yönteminin çeşitli kombinasyonlarını kullanmışlardır. Geliştirilen bu hibrit imalat yöntemiyle üretimin verimi, geleneksel yöntemlerle üretime nazaran oldukça yüksektir.

Suryakumar vd[9], kaynak ve frezeleme işleminden oluşan hibrit imalat üretim parametrelerini nümerik ve deneysel olarak incelemiştir. Kaynak için geliştirdikleri üretim modelinin ekonomikliği, enjeksiyon kalıpları için kanıtlanmış ve hibrit imalatı için de geliştirilmiştir. Xiang vd[10] ise plazma ark kaynağı ile talaşlı imalatı bir arada kullandıkları hibrit sistemle yetersiz boyut hassasiyeti ve yüzey kalitesi sorunlarını çözmüşlerdir. Lanzetta ve Cutkosky[11], şekil biriktirme imalatı ve talaş kaldırma işlemlerinin birleşimi olan hibrit imalat ile insana ve robotik tırmanmaya yardımcı olmak için kullanılabilen kuru yapıştırıcıların düzgün ve şekillendirilmiş ürünlerini oluşturmuşlardır.

Lazer destekli üretim süreci (LAMP), toz beslemeli lazer biriktirme prosesi ve 5 eksenli bir CNC işleme sistemi içeren hibrit imalat işlemidir. Belirlenen işleme parametrelerine bağlı olarak toz yatağını lazer tarayarak parça imalatını gerçekleştirir. Ardından gerçekleşen frezeleme işlemiyle ürün nihai halini alır. Ruan vd[12], beş eksenli bir lazer destekli üretim işlemi (LAMP) için algoritma geliştirerek üniform ve düzgün olmayan kalınlıklarda çeşitli parça imalatı yapmışlardır. İmalat sürecinin planlamasında yeni geliştirilen algoritma, hibrit sistemin parçaları daha verimli bir şekilde yapılandırmasına yardımcı olmuştur.

Liou vd [13] tarafından yüksek sıcaklık malzemeleri üretmek için hibrit imalat ile araştırma, geliştirme ve sistem entegrasyonu sunulmuştur. Böylelikle karmaşık yapıların üretilmesinde meydana gelen zorlukları gidermek, işleme hassasiyeti ve yüzey kalitesini artırmak amaçlanmıştır. Hur vd[14], hızlı prototiplemenin kurulum sürecinin avantajlarını ve CNC tarafından sunulan yüksek doğruluğun birleştirildiği hibrit imalat yöntemi önerisinde bulunmuşlardır. Livd[15], şekil biriktirme imalatı teknolojilerini mikro imalata uyarlayan bir mikro hızlı prototipleme sisteminin geliştirilmesine ilişkin çalışma yapmıştır. Mikro boyutlu bir lazer ışını ile sinterlenmiş tozların ince desenlerini oluşturmak için ultrasonik tabanlı bir mikro toz besleme mekanizması geliştirilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatürdeki çalışmalar dikkate alındığında, 3B metal yazdırma yöntemleri ile de uyum sağlayabilen genel bir hibrit üretim yöntemi geliştirmenin önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. EBM, SLM, SLS vb. eklemeli imalat yöntemlerinde işleme kapasitesi, malzeme ve uygulama çeşitliliğittikçe artmaktadır. Bu nedenle, bu yöntemlerin sağladığı avantajların kullanılabilirdiği bir hibrit üretim yöntemi geliştirmek önemlidir. Çünkü şekil biriktirme imalatı için mevcut hibrit yaklaşımlar, tozyatağı teknolojisi için işlenmemiş tozlara zarar vereceği ve sonraki tabakaları imkânsız hale getireceği için uygulanabilir değildir. Ayrıca, EBM gibi bazı eklemeli imalat teknolojileri yüksek vakum koşullarında çalıştığı için aynı ortamda takım tezgâhını çalıştırmak uygun değildir. Bu tür eklemeli imalat yöntemleri, doğası gereği kullanılan soy gaz atmosferinde sıcak yazdırma yatağı gibi ortamlar nedeniyle sadece süper alaşımlar gibi malzemeleri işlemek veya daha iyi metalürjik özelliklere sahip olmak için tercih edilirler. Sonuç olarak, belirli bir eklemeli imalat yöntemine bağlı olmayan ve herhangi bir eklemeli imalat yöntemine hitap edebilecek yeni bir hibrit yaklaşım gerekmektedir.

Hibrit sistemlerde, talaşlı imalat hassas tolerans ve yüzey kalitesine sahip yüzey işlenmesini, eklemeli imalat ise işlenmesi zor malzemeler ile parça üretimine imkan sağlamaktadır. Eklemeli imalatın “tıkla-yazdır” yaklaşımına benzer şekilde, geliştirilecek hibrit yaklaşımda parça tasarımına bağlı özel fikstür ve takım gerektirmemeli ve en alt seviyede insan müdahalesi ve uzmanlığı ile çalışabilmelidir. Son olarak hibrit yaklaşım, mevcut eklemeli imalat yöntemine herhangi bir uyarılma olmadan uygulanabilmelidir. Böylece üç boyutlu yazdırma ile talaşlı imalat yöntemlerinin avantajlı yönlerinin bir arada elde edilebileceği hibrit bir yaklaşım elde edilmiş olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FDK-2017-2808 numaralı proje ile desteklenmiştir.

The 3rd International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry (3D-PTC2018) kongresinde sunulmuş ve özet olarak yayınlanmıştır.

KAYNAKLAR

1. ASTM F2792-12a. “Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies”.
2. Zhu, Z., Dhokia, V., Nassehi, A., Newman, S.T., “A review of hybrid manufacturing processes state of the art and future perspectives”, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 26, Issue 7, Pages 596-615, 2013.
3. Jeng, J., Lin, M., “Mold fabrication and modification using hybrid processes of selective laser cladding and milling”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 110, Pages 98–103, 2001.
4. Nowotny, S., Muenster, R., Scharek, S., Beyer, E., “Integrated laser cell for combined laser cladding and milling”, Assembly Automation, Vol. 30, Issue 1, Pages 36–38, 2010.
5. Choi, D.S., Lee, S., Shin, B., Whang, K., Song, Y., Park, S., Jee, H., “Development of a direct metal freeform fabrication technique using CO₂ laser welding and milling technology”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 113, Issue 1–3, Pages 273–279, 2001.
6. González, J., Rodríguez, I., Prado-Cerqueira, J.L., Diéguez, J.L., Pereira, A., “Additive manufacturing with GMAW welding and CMT technology”, Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017, Pages 28-30, 2017.
7. Song, Y.A., Park, S., “Experimental investigations into rapid prototyping of composites by novel hybrid deposition process”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 171, Issue 1, Pages 35–40, 2006.
8. Kapil, S., Legesse, F., Kumar, R., Karunakaran, K.P., “Hybrid Layered Manufacturing of Turbine Blades”, Materials Today: Proceedings, Vol. 4, Issue 8, Pages 8837–8847, 2017.

9. Suryakumar, S., Karunakaran, K.P., Bernard, A., Chandrasekhar, U., Raghavender, N., Sharma, D., "Weld bead modeling and process optimization in Hybrid Layered Manufacturing", *CAD Computer Aided Design*, Vol. 43, Issue 4, Pages 331–344, 2011.
10. Xinhong, X., Haiou, Z., Guilan, W., Guoxian, W., "Hybrid plasma deposition and milling for an aeroengine double helix integral impeller made of superalloy", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 26, Issue 4, Pages 291–295, 2010.
11. Lanzetta, M., Cutkosky, M.R., "Shape deposition manufacturing of biologically inspired hierarchical microstructures", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol 57, Issue 1, Pages 231–234, 2008.
12. Ruan, J., Eiamsa-Ard, K., Liou, F.W., "Automatic process planning and tool path generation of a multi-axis hybrid manufacturing system", *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 7, Issue 1, Pages 57–68, 2005.
13. Liou, F., Slattery, K., Kinsella, M., Newkirk, J., Chou, H., Landers, R., "Applications of a hybrid manufacturing process for fabrication of metallic structures", *Rapid Prototyping Journal*, Vol 13, Issue 4, Pages 236–244, 2007.
14. Junghoon, H., Kunwoo, L., Zhu-hub, J.K., "Hybrid rapid prototyping system using machining and deposition", *Computer-Aided Design*, Vol. 34, Pages 741-754, 2002.
15. Li X, Choi H, Yang Y, "Micro rapid prototyping system for micro components", *Thin Solid Films*, Vol 420, Pages 515–523, 2002.