

MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

İLERİ İMALAT YÖNTEMLERİ TEMEL ÖZELLİKLERİ

HAFTA-2



▶ MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

MMB 644 İleri İmalat Yöntemleri

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Can Şenel

ALİŞİLMAMIŞ İMALAT YÖNTEMLERİ TEMEL ÖZELLİKLERİ

Giriş

Alışılmamış İmalat Yöntemleri olarak bilinen ve genellikle 2. Dünya savaşından sonra gelişerek uygulama alanı bulmuş imalat yöntemleri, işleme mekanizması olarak alışılmış imalat yöntemlerinden tamamen farklı özelliklere sahip, çağdaş teknolojide vazgeçilmez ve birincil derecede rol oynayan işleme yöntemleridir.

Bu yöntemler işleme ilkelerinin farklı olması ve tasarım mühendisliğine sağladıkları olanaklar ile günümüz ekonomisinde çok önemli etkisi olan minyatürleşme, olağanüstü malzemeleri kullanabilme ve esnek üretim olanakları sağlamışlardır.

Günümüzde 80'e yakın alışılmamış işleme yöntemi geliştirilmiş ve bunların önemli bir çoğunluğu yaygın uygulama alanı bulmuştur

Alışılmamış (Geleneksel olmayan) imalat yöntemlerini, alışılmış (geleneksel) talaş kaldırma işlemlerini kullanmayan imalat yöntemleri olarak tanımlayabiliriz.

Alışılmış talaş kaldırma yöntemleri olarak tornalama, delik delme, frezeleme, taşlama vb, yöntemler anlaşılır.

Alışılmış İmalat Yöntemlerinin ortak özellikleri düşünüldüğünde, bu özellikleri sağlamayan alışılmamış imalat yöntemleri daha iyi tanımlanabilir.

Alışılmış imalat yöntemlerinin yüzyılı aşan gelişim süreçlerine karşın bilinen bazı uygulama sınırlamaları ve zayıflıkları vardır. Bu yöntemlerin doğası ve malzeme işleme (talaş kaldırma) ilkelerine göre uygulamadaki bu sınırlamaları ve uygulama içindeki zayıflıkları tümüyle ortadan kaldırmak mümkün görülmemektedir.

Bu durumda alışılmış yöntemler olarak adlandırılan bu yöntemlerin bilinen işleme ilkelerinin dışında sınırlama ve zayıflıklarını ortadan kaldıran yeni teknolojik arayışlar Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin doğmasına ve gelişmesine neden olmuşlardır.

Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Genel Özellikleri

İmalat yöntemleri genelde **Malzeme İşleme** (Talaş kaldırma) ve **Şekillendirme** (Talaşsız imalat) olmak üzere iki grupta toplanır.

Malzeme işleme yöntemleri de **Alışılmış İmalat Yöntemleri** ve **Alışılmamış İmalat Yöntemleri** olarak iki gruba ayrılır.

Alışılmış yöntemler kesici uç, matkap ucu veya taşlama taşı gibi takımlar kullanarak ve malzemenin takım ile fiziksel teması sonucu talaş kaldıran yöntemlerdir.

Bu yöntemler için takım ile iş parçası arasında sürekli temas ve göreceli hareket gerekmektedir. Bunun sonucu olarak önemli aşınma sorunları kaçınılmazdır.

Alışılmış yöntemlerin çok uzun yıllardır süren deneyim birikimine sahip olmaları önemli bir üstünlük olarak görülmektedir.

Alışılmamış imalat yöntemleri ise özellikle ikinci dünya savaşından sonra gelişmiş ve çağdaş teknolojide yaygın uygulama alanı bulmuş yöntemlerdir.

Bu yöntemler alışılmış yöntemlerden farklı olarak fiziksel temas ve göreceli hareket yerine mekanik kuvvet uygulamadan çeşitli enerji türlerini kullanarak malzeme işleyen, aşındıran veya şekillendiren yöntemlerdir.

Genellikle kullanılan düşük yoğunluklu enerjiyi dar bir alanda odaklayarak ve denetleyerek işleme olayını gerçekleştirmek için uygun bir takım veya odaklayıcı düzen kullanılır.

Bir malzeme işleme tekniğinin alışılmamış imalat yöntemi olarak tanımlanabilmesi için malzeme işleme ilkelerinin farklılığı ile birlikte bu tekniğin ticari düzeyde veya en az uygulama laboratuvarı düzeyinde denenmiş ve uygulanmış olması gerekir.

Salt düşünce aşamasında kalan fikirlerin bu kapsamda düşünülmemesi gerekir.

Bu nedenle malzeme işleme ve şekillendirme amacına yönelik çok sayıda öneriler olmasına karşın, bağımsız bir yöntem olarak kabul edilmiş ve alışılmamış imalat yöntemi olarak tanımlanabilecek yöntem sayısı 70-80 dolaylarındadır.

Bunlardan yaygın endüstriyel uygulama bulmuş 56 yöntem bu sunum içinde listelenmiştir.

Alışılmış İmalat Yöntemleri

Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin teknolojik ve ekonomik gelişim nedenlerini daha iyi anlatabilmek için, önce alışılmış imalat yöntemlerinin özelliklerini incelemek gerekir.

Ortak Özellikleri: Alışılmış İmalat Yöntemlerinin bazı ortak özellikleri şunlardır:

1. Geleneksel yöntemlerde malzemedan talaş kaldırma işlemi, torna kalemi, freze bıçağı, taşlama taşı vb., kesici takımlar kullanarak yapılır.

Mekanik kuvvet kullanılarak ve zorlama ile, genellikle malzeme içinde plastik deformasyon ve kayma gerilmeleri yaratarak, malzeme üzerinden talaş kaldırılır. Gerilme ile talaş kaldırma tüm geleneksel yöntemlerin ortak özelliğidir.

2. Geleneksel yöntemlerde kesici takım ile iş malzemesi arasında talaş kaldırma işlemi sırasında sürekli olarak birbirini ile fiziksel temas halinde olup, her ikisi arasında göreceli olarak hareket vardır.

3. Talaş kaldırma işlemi özelliği olarak, geleneksel yöntemlerin işleme özellikleri ve sınırları, iş malzemesinin mekanik özellikleri ile sınırlıdır.

Akma gerilmesi yüksek olan malzemelerin, geleneksel yöntemlerle işlenmesinde önemli sorunlar olabilir. Bu sorunların çözümü için çok pahalı ve özel takımlar gerekebilir, bazı durumlarda ise tamamen imkânsızdır.

4. Takım ve iş malzemesi arasındaki göreceli hareket, ya düzlemsel/doğrusal ya da daireseldir.

Bu durumda elde edilen iş malzemesi yüzeyleri de, düzlem ya da silindirik olmaktadır.

Böylece geleneksel yöntemler kullanılarak elde edilebilecek iş parçası şekilleri sınırlı kalmaktadır.

5. Takım ile malzeme arasındaki fiziksel temas ve kuvvet uygulanma zorunluluğu nedeni ile takım boyutlarının çok küçük olması mümkün değildir.

Bu nedenle küçük boyutlu işlerin geleneksel yöntemlerle işlenmesi zor veya imkansızdır. Benzer nedenlerle çok büyük boyutlu işlerin de işlenmesi güçtür.

Geleneksel yöntemler daha çok orta boyutlu işler için uygundur.

6. Geleneksel yöntemler çok uzun yıllardır kullanılmakta olduklarından, teknoloji birikimi çok yüksektir. Bu nedenle geleneksel yöntemleri kullanan tezgâhlar basit ama yüksek verimlidir. Kullanıcı eğitimi de çok kolaydır.

7. Geleneksel yöntemlerin doğal sınırlamalar dışında, esneklikleri çok yüksektir. Özellikle bilgisayar teknolojisinin kullanılması ile birlikte otomasyona uygun tezgah üretimi mümkün olmuştur.

Sınırlama ve Zayıflıkları: Alışılmış imalat yöntemlerinin ortak bazı sınırlamaları ve zayıflıkları şunlardır:

1. Takım aşınması kaçınılmazdır.
2. Takım aşınmasının önceden tahmini çok zordur.
3. Takım malzemesi, iş malzemesinden daha sert ve daha yüksek nitelikli olmalıdır. Bu durum iş malzemelerinin çeşidini sınırlar.
4. Yüksek dayanımlı malzemeler için yüksek kesme kuvvetleri gerekir. Bu durum hassasiyet sorunları ile birlikte tezgah tasarımında önemli kısıtlar ve teknolojik sorunlar yaratır.

5. İşleme hızı malzeme dayanımı ile ters orantılıdır. Bu durum yeni gelişen üstün nitelikli malzemelerin kullanımını kısıtlar.

6. Kesme bölgesindeki ısınma işleme hızını etkiler ve sınırlar.

7. Talaş kaldırma sadece doğrusal ve dairesel olabilir.

8. Takım titreşimi her zaman önemli bir sorun olur.

9. Kesici takımların küçük boyutlarda üretimi mümkün değildir. Bu durum ise iş boyutlarını sınırlar.

Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Teknolojik Gereksinimi

Yukarıda belirtilen sınırlamalar ve gelişen teknolojik istemler sonucu, imalat mühendisleri daha üstün nitelikli ve yeni imalat yöntemleri aramaya başladılar.

Özellikle 2. dünya savaşını izleyen yıllarda bu konuda yoğun çaba harcandı ve ilk alışılmamış imalat yöntemleri 1950-1970 yılları arasında doğdu.

Özellikle elektronik ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler, havacılık ve uzay endüstrisinin talepleri sonucu bugünkü konuma ulaşıldı.

Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin gelişmesini sağlayan başlıca üç konu görülmektedir.

1. Metalürji mühendisliği ve malzeme bilimindeki gelişmeler sonucunda olağanüstü özelliklere sahip malzemeler üretildi. Özellikle uzay ve havacılık endüstrisinden gelen bu malzemeler, çok yüksek dayanıklı olduklarından geleneksel yöntemlerle işlenemedi.

Ayrıca, bu malzemeler çok pahalı oldukları için, iş boyutlarının küçültülmesi gerekti. Bu durum alışılmış imalat yöntemleri ile çözülemez sorunlar getirdi.

2. Elektronik endüstrisinde transistörün icadı ile başlayan bir dizi yeni ürünün, alışılmış imalat yöntemleri ile imalatı mümkün olmadı.

Bu amaçla yeni yöntem arayışları sonunda gelişen imalat yöntemleri, o günlerde beklenenden daha iyi sonuçlar vererek elektronikte minyatürleşme sürecini başlattı.

Parça boyutlarının küçülmesi ile azalan imalat giderleri sonucu, alışılmamış imalat yöntemlerinin gelışme süreci büyük bir ivme kazandı.

3. Olağanüstü özelliklere sahip yeni malzemelerin, olağanüstü kk boyutlarda ve şekillerde imalatının mümkün olması, tasarım mühendislerine yeni ürünler geliştirilmesi konusunda geniş ufuklar açtı.

Giderek artan ürün eşitleri, yeni ürün taleplerini de arttırarak, giderek artan ve hızla parasal kaynağa dönüşebilen bir potansiyel yarattı. Böylece alışılmamış imalat yöntemleri hızla yaygınlaşma olanağı buldu.

Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Sınıflandırması

Son yıllardaki değerlendirmelere göre geleneksel olmayan yöntemlerin toplam sayısı 70-80 dolaylarındadır. Bunlardan 50-55 kadarı laboratuvar aşamasını geçmiş ve endüstride uygulama alanı bulabilmiştir.

Diğerleri ise henüz laboratuvar aşamasında, çok özel koşullarda özel işler ve işlemler için kullanılmaktadır.

Bunların bir kısmı hakkında teknolojik gizlilik nedeni ile yayınlanmış bilgi bulunmamaktadır.

Alışılmamış İmalat yöntemleri, literatürde, İngilizce isimlerinin baş harfleri ile anılırlar. Halen çeşitli düzeylerde uygulama bulmuş yöntemlerin listesi *Çizelge 1*'de verilmiştir.

Çizelge 1; Laboratuvar aşamasını geçerek endüstriyel uygulama bulan Alışılmamış İmalat Yöntemleri

No	Alışılmamış İmalat Yöntemi	Simge	İngilizce isim
1	Aşındırıcı Akış ile işleme	AFM	Abrasive Flow Machining
2	Aşındırıcı Jet ile işleme	AJM	Abrasive Jet Machining
3	Basıncılı Su Jeti ile İşleme	WJM	Water Jet Machining
4	Hidrodinamik işleme	HDM	Hydrodynamic Machining
5	Aşındırıcı Su Jeti ile İşleme	AWJM	Abrasive Water Jet Machining
6	Aşındırıcı Su Jeti ile Tornalama	AWJT	Abrasive Water Jet Turning
7	Düşük Gerilmeli Taşlama	LSG	Low Stress Grinding
8	Sünek İlerlemeli Taşlama	CFG	Creep Feed Grinding
9	Isıl Yardımlı İşleme	TAM	Thermally Assisted Machining
10	Tümnden Şekil İşleme	TFM	Total Form Machining
11	Ultrasonik (Ses Ötesi) İşleme	USM	Ultrasonic Abrasive Machining
12	Dönel Ultrasonik İşleme	RUM	Rotary Ultrasonic Machining
13	Toz Parçacıkları ile İşleme	PPM	Powder Particle Machining
14	Elastik Emisyon ile İşleme	EEM	Elastic Emission Machining
15	Manyetik Aşındırıcı Toz ile Parlatma	MAP	Magnetic Abrasive Polishing
16	Elektro Kimyasal İşleme	ECM	Electrochemical Machining
17	Elektro Kimyasal Çapak Temizleme	ECDB	Electrochemical Deburring
18	Elektro Kimyasal Delik Delme	ECD	Electrochemical Drilling
19	Elektro Kimyasal Taşlama	ECG	Electrochemical Grinding
20	Elektro Kimyasal Erozyon Taşlama	ECDG	Electrochemical Discharge Grinding
21	Elektro Kimyasal Honlama	ECH	Electrochemical Honing
22	Elektro Kimyasal Lepleme	ECL	Electrochemical Lapping
23	Elektro Kimyasal Parlatma	ECP	Electrochemical Polishing
24	Elektro Kimyasal Bileme	ECS	Electrochemical Sharpening
25	Elektro Kimyasal Dilme	ECS	Electrochemical Slitting
26	Elektro Kimyasal Tornalama	ECT	Electrochemical Turning
27	Elektro Kimyasal Sıvı Jeti	ES	Electrochemical Stream
28	Şekilli Boru ile Elektrolitik İşleme	STEM	Shaped Tube Electrolytic Machining
29	Telli Elektro Kimyasal Kesme	WECM	Wire Electrochemical Machining
30	Vurumlu Elektro Kimyasal İşleme	PECM	Pulsed Electrochemical Machining
31	Telli Elektrokimyasal Erozyon İşleme	WECDM	Wire Electrochemical Discharge Machining
32	Elektro Parlatma	ELP	Electro-Polishing
33	Kimyasal İşleme (Frezeleme)	CHM	Chemical Machining (Milling)
34	Fotokimyasal İşleme	PCM	Photochemical Machining
35	Kimyasal Boşaltma	CHB	Chemical Blanking
36	Kimyasal Dağlama	CHE	Chemical Etching
37	Isıl Kimyasal İşleme	TCM	Thermo Chemical Machining
38	Lazer Yükleme Kimyasal İşleme	LCP	Laser Loaded Chemical Machining
39	Patlamalı Kimyasal İşleme	CM	Combustion Machining
40	Isıl Enerji Yöntemi	TEM	Thermal Energy Method
41	Elektron Işını ile İşleme	EBM	Electron Beam Machining
42	Elektro Erozyon ile İşleme	EDM	Electric Discharge Machining
43	Elektro Erozyon ile Taşlama	EDG	Electric Discharge Grinding
44	Elektro Erozyon Testere	EDS	Electric Discharge Sawing
45	Telli Elektro Erozyon ile Kesme	WEDM	Electric Discharge Wire Cutting
46	Dönel Elektro Erozyon	REDM	Rotary Electric Discharge Machining
47	Lazer Işını ile İşleme	LBM	Laser Beam Machining
48	Lazerli Hamlaç	LBT	Laser Beam Torch
49	Lazer Yükleme Kimyasal İşleme	LCP	Laser Induced Chemical Processing
50	Plazma ile İşleme	PAM	Plasma Beam (Arc) Machining
51	Plazma Yardımlı İşleme	PaM	Plasma Assisted Machining
52	Elektro Temas ile İşleme	EcM	Electro Contact Machining
53	İyon Işını ile İşleme	IBM	Ion Beam Machining
54	İyon Işını ile Sıçratma İşleme	IBSM	Ion Beam Sputter Machining
55	Tepkimeli İyon Işını ile İşleme	RIBE	Reactive Ion Beam Etching
56	İyon Işını ile Tohumlama	IBIP	Ion Beam Implantation Process

Alışılmamış İmalat yöntemleri yaygın olarak malzemeyi işlemek için kullandıkları enerjiye göre sınıflandırılırlar.

Mekanik Enerji Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri

İş parçası üzerinden malzeme işlemek için mekanik enerji kullanan yöntemlerdir. Çoğunlukla aşındırıcı parçacık ve tozların hızlandırılması ile oluşan kinetik enerjinin, çarpma ile gerilme yaratması ve bu gerilmelerin malzeme işleme amacı ile kullanılması ilkesine dayanır. Ortak işleme ortamı su veya havadır.

Tüm mekanik enerjili yöntemler malzemenin iletken ya da yalıtkan olmasından bağımsız olarak işleme olanağı sağlar. Bu özellik, mekanik enerjili yöntemlerinin, elektriksel işleme yöntemlerine göre önemli bir üstünlüğüdür.

Mekanik enerjili yöntemlerin içinde en geniş endüstriyel uygulama alanı bulmuş yöntemler, Ultrasonik İşleme USM, Aşındırıcı su jeti ile işleme AWJM, Basıncılı su jeti ile işleme WJM, Aşındırıcı jet ile işleme AJM yöntemleridir. Diğer yöntemler özel endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu gruba giren yöntemler *Çizelge 2*'de verilmiştir.

Çizelge 2; Mekanik enerji kullanan alışılmamış imalat yöntemleri

İsim	Simge	İşleme Ortamı
Aşındırıcı akış ile işleme	AFM	Yarı sıvı macun ve aşındırıcı parçacıklar
Aşındırıcı jet ile işleme	AJM	Sıvı (Su) ve aşındırıcı parçacıklar
Hidrodinamik işleme	HDM	Sıvı, genellikle Polymer katkılı su
Aşındırıcı Su Jeti ile İşleme	AWJM	Sıvı, genellikle Polymer katkılı su
Aşındırıcı Su Jeti ile Tornalama	AWJT	Sıvı, genellikle Polymer katkılı su
Düşük Gerilmeli Taşlama	LSG	Fiziksel temas
Sünek İlerlemeli Taşlama	CFG	Fiziksel temas
Isıl Yardımlı İşleme	TAM	Yüksek sıcaklıklar
Tümden Şekil İşleme	TFM	Fiziksel temas
Ultrasonik (Sesötesi) İşleme	USM	Su içinde aşındırıcı parçacıklar
Dönel Ultrasonik İşleme	RUM	Aşındırıcı parçacık kaplı takım ve su akışı
Toz Parçacıkları ile İşleme	PPM	Gaz (Hava) akışı içinde aşındırıcı toz
Elastik Emisyon ile İşleme	EEM	Aşındırıcı toz ve statik elektrik
Manyetik Aşındırıcı Toz ile Parlatma	MAP	Aşındırıcı toz ve manyetik ortam

Kimyasal Enerji Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri

Kimyasal enerji kullanan alışılmamış imalat yöntemlerinin ortak özelliği, kontrollü kimyasal aşınma ile hassas şekilde malzeme işlenebilmesidir.

Genellikle, aşınması istenmeyen yüzeyler uygun bir koruyucu madde (maske) ile kaplanır. Açıkta kalan yüzeylere aşındırıcı kimyasal sıvı püskürtülür veya iş parçası bu sıvı içine daldırılır. İş malzemesinin sıvı ile temas süresi işleme miktarı ve/veya derinliğini belirler.

İşleme hızı genellikle sıvı özelliklerine bağlı olmakla birlikte sıvı yoğunluğu tipik olarak 0.025 mm/dak doğrusal işleme hızları verecek şekilde ayarlanır. Bu grup imalat yöntemlerine giren başlıca 4 işleme yöntemi vardır:

- Kimyasal İşleme (Frezeleme) (CHM)
- Fotokimyasal İşleme (PCM)
- Kimyasal Parlatma (ELP)
- Isıl Kimyasal İşleme (TCM)

Elektro Kimyasal Enerji Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri

Bu yöntemler elektrolitik bir sıvı içinde bulunan iki iletken elektrodun farklı elektromanyetik alan özelliklerine göre aşındırılması ilkesine dayanır. Düşük gerilim (6, 12-24 V) ve yüksek akım (1000, 3000 ve daha yüksek A) koşulları uygulanır. Yöntemin çok değişik endüstriyel uygulamaları vardır.

Isı Enerjisi Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri

İş parçasından malzeme kaldırmak (işleme) için yoğunlaştırılmış ısı enerjisi kullanan yöntemlerdir. Isıl enerji kaynağı olarak elektrik boşalımı, elektron ışını (hüzmesi) ve lazer ışını gibi çeşitli yöntemler kullanılır.

Bütün yöntemlerde malzeme yüzeyinde oluşan odak noktasında ulaşılan sıcaklıklar, bilinen bütün malzemelerin erime ve buharlaşma sıcaklıklarının çok üzerindedir. Bu nedenle ısı enerjisi kullanan yöntemlerle bilinen bütün malzemeleri işlemek mümkündür.

Bu gruba giren yöntemler, işleme mekanizması bakımından diğer gruplara göre daha fazla çeşitlilik gösterirler.

Grup içinde özellikle Elektro-Erozyon (EDM) ve Lazer ile İşleme (LBM) çağdaş teknolojide çok önemli bir yer almıştır. Diğer yöntemlerin de (Elektron ışını ile işleme EBM, Plazma ile işleme PAM) endüstriyel uygulamaları çok fazladır.

Bir başka sınıflandırma yöntemi de, yöntemin uygulandığı tezgah yapısına göre olabilir.

Şekilli üç boyutlu elektrot kullanarak işleme yapan yöntemler: USM, ECD, ECM, PECM, ECP, EDM.

Tel/boru elektrot kullanarak malzeme kesen yöntemler: STEM, WECM, WECDM, ECS, WEDM, ECT.

Nozul vb., takımlar kullanarak göreceli olarak uzaktan işleme yapan yöntemler: AJM, HDM, WJM, AWJM, AWJM, PPM, EEM, MAP, EBM, LBM, PBM, LBT.

Bir ortam içinde zamana bağlı olarak işleme yapan yöntemler: AFM, ES, CHM, TCM, PCM, LCP.

Alışılmış yöntemlerin takımlarına benzer takımlar kullanan yöntemler: LSG, TAM, TFM, RUSM, ECD, ECG, ECDG, ECH, ECP, ECS, EDS, REDM.

Yukarıda verilen bütün sınıflandırma ölçütleri çok kesin olmamakla birlikte, yöntemler hakkında genel bir fikir verebilmektedir.

Güncel endüstriyel ve teknolojik durumu ve yakın gelecekteki gelişme potansiyeli göz önüne alındığında, EDM ve LBM en önemli iki işleme yöntemi gibi görünmektedir. Ayrıca WEDM, PCM, AJM, WJM kendi uygulama alanlarında çok önemli ve vazgeçilmez yöntemlerdir.

Temel ilkeler göz önüne alındığında ise gelecek yıllarda giderek önem kazanma potansiyeli olan yöntemler ise ECM ve diğer elektrokimyasal enerji kullanan yöntemlerdir.

PPM ve benzer bazı yöntemler ise tümüyle firma tekelinde görülmektedir. AFM benzeri yöntemler ise özel uygulamalarda çok başarılı olmuşlar ancak bu uygulamalar ile sınırlı kalmışlardır. Geleneksel olmayan işleme yöntemlerini, endüstriyel uygulamalarının yaygınlığına göre de sınıflandırmak mümkündür.

Endüstride çok yaygın olarak kullanılan ve tezgah birimleri standart ürün olarak üretilen yöntemler: AJM, WJM, USM, ECG, ECM, CHM, PCM, EDM, WEDM, LBM, EBM, PAM.

Önceki gruba göre **daha az kullanılan yöntemler:** TAM, HDM, AWJM, RUSM, ECD, ECG, ECDG, ECH, ECP, ECS, ECT, ES, STEM, EBM, EDG, LBT.

Endüstride **özel işler için kullanılan yöntemler** (genellikle firma tekelindedir): PPM, EEM, LSG, TFM, AFM, ELP, TCM, EDS.

Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Üstünlükleri

Bütün alışılmamış imalat yöntemlerinin kendi malzeme işleme mekanizmalarına ve teknolojik gelişmişliklerine göre çeşitli düzeylerde üstünlükleri ve sınırlamaları bulunmaktadır.

Alışılmamış imalat yöntemleri bütün bir grup olarak ele alındığında, bu yöntemlerin ortak özellikleri belirginleşmekte ve buna bağlı olarak alışılmamış imalat yöntemlerinin üstünlük ve sınırlamaları belirlenebilmektedir.

Bu kapsamda belirlenen alışılmamış imalat yöntemlerinin alışılmış yöntemlere göre genel düzeyde belirlenmiş üstünlükleri şunlardır:

Malzeme İşlenebilirliği:

Metalürji mühendisliğinde son yıllarda yaşanan gelişmeler sonunda alışılmış mühendislik malzemelerinden çok daha iyi özelliklere sahip yeni malzemeler geliştirilmiş ve tasarım ve imalat mühendislerinin kullanımına sunulmuştur.

Bu gelişmeler özellikle elektronik ve havacılık endüstrisinde yaşanmış ve teşvik edilmiştir. Geliştirilen yeni malzemeler

alışılmış malzemelere göre genellikle daha sert ve daha yüksek dayanç özellikleri taşımaktadır.

Bu malzemelere örnek olarak seramik ve seramik tabanlı takım malzemeleri, lif destekli kompozit malzemeler, karbidler, titanyum vb. malzemeler verilebilir.

Yeni malzemelerin alışılmış takımlarla işlenmesinde karşılaşılan zorluklar imalat mühendislerini yeni imalat yöntemleri aramaya ve geliştirmeye yönlendirmiştir.

Yeni imalat yöntemlerinin yeni malzemelerin sertlik, dayanım ve diğer mekanik özelliklerinden etkilenmemesi

için işleme mekanizmasında ısıl enerji, elektrik enerjisi veya atomik boyutta mekanizmaların kullanılması sağlanmış ve böylece yeni malzemelerin işlenebilmesi başarılmış ve kullanımı yaygınlaşmıştır.

İş Parçası şekli:

Alışılmış imalat yöntemleri kesici takımlara verilen hareketlerin sınırlı olması nedeni ile birkaç ayrıcalık dışında düz yüzey veya silindirik yüzeylerle sınırlıdır.

Buna örnek olarak, dairesel deliklerin alışılmamış yöntemlerle delinmesi veya açılması çok kolay olmasına karşın, dairesel olmayan (Örneği kare delik) delinmesi çok zordur.

Bu sınırlama birçok durumda tasarım değişiklikleri ile çözülmeye çalışılsa da her zaman için önemli bir sınırlama olmaktadır.

Buna karşın dairesel olmayan deliklerin alışılmamış imalat yöntemleri ile delinmesi veya açılması dairesel delikler kadar kolay ve basit bir işlemdir.

Benzer şekilde alışılmış yöntemlerle ulaşılamayan alanların işlenmesi, çok küçük boyutlu hacimlerin işlenmesi, çok küçük boyutlu deliklerin delinmesi alışılmamış imalat yöntemleri için kolay ve basit uygulamalar olmaktadır.

Otomatik Veri Aktarımı:

Alışılmış yöntemler temel olarak mekanik kuvvet uygulaması ilkesine dayandığı için, kesme, tezgah ve takım kuvvetlerinin çağdaş CNC, CAD/CAM veya CIM gibi çağdaş denetim sistemlerine veri ve bilgi aktarılmasında zorluklar bulunmaktadır.

Anılan denetim sistemlerinin imalat mühendisliğinde çok önemli olumlu katkılar yaptığı ve imalat giderlerini azalttığı bilindiğinden bu yöntemlerin uygulamasının yaygınlaşması istenmektedir.

Alışılmamış imalat yöntemleri işleme mekanizmalarının gereği veri aktarımına uygun özellikler taşımaktadır. Bu nedenle de çağdaş denetim teknolojilerine kolay uyum sağlanabilmektedir.

Hemen bütün alışılmamış imalat yöntemleri gelişme aşamalarında bu yöntemleri uygulamış ve bu yöntemlerin sağladığı üstünlükleri kullanmışlardır.

Hassasiyet İstemleri:

Tasarım mühendisliği ve müşteri istemlerinin eğilimi giderek daha hassas malzeme işleme mekanizmaları gerektirmektedir.

Bu eğilimin önümüzdeki yıllardaki beklentisi alışılmış talaş kaldırma boyutlarının çok altında, atomik parçacıklar düzeyinde işleme olanağının sağlanmasıdır.

Nanoteknoloji olarak bilinen bu boyutlarda alışılmış yöntemlerin ve hatta bazı alışılmamış yöntemlerin de kullanılma olanağı kalmamakta, bu yöntemlerin yerini atom düzeyinde parçacıkların yer değiştirmesine dayalı işleme yöntemleri almaktadır.

Bu olağanüstü durum gerek yeni tasarımlarda ve gerekse ürün bazında müşteri beklentilerinde devrim yaratacak bir niteliktedir.

Bazı alışılmamış yöntemlerin ise malzemeleri ince yüzey tabakalarında işleme olanağı vermesi sonucu yine alışılmış yöntemlere göre karşılaştırma yapılamayacak düzeyde hassas işleme olanağı sağlamaktadır.

Sağlanan bu hassas işleme olanaklarının doğal sonucu olarak giderek ürün nitelikleri ve buna bağlı performansları değişmiş ve gelişmiştir.

Minyatürleşme:

Son yıllarda gözlenen bir başka eğilim ise giderek iş parçası boyutlarının küçülmesidir. Bunun sonucu olarak daha az malzeme kullanılmakta ve daha hızlı işleme sağlanmaktadır.

Bu durumda imalat maliyetleri azaltıldığı gibi çok daha iyi nitelikli fakat pahalı malzeme kullanma olanağı doğmaktadır.

Ayrıca gelişen mikromakineler ile daha önce olanaksız olarak kabul edilen yeni uygulama alanları ve teknolojiler yaratılmıştır. Gelişen duyucu (sensör) teknolojisi ile bu eğilim daha da kuvvetlenmiştir.

Bugün çok küçük boyutlu sensörlerin ve motorların mekatronik kavramlar çerçevesinde entegrasyonu ile daha önceleri yapımı olanaksız kabul edilen birçok ürün geliştirilmiş ve kullanılmaktadır.

Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Kullanım Ölçütleri

Alışılmamış İmalat Yöntemleri, alışılmış yöntemlere göre daha pahalı ve kullanımı özel uzmanlık isteyen yöntemlerdir. Bu nedenle alışılmamış imalat yöntemlerinin kullanımına karar verilebilmesi için aşağıdaki ölçütlerden en az birinin sağlanması gerekir.

Alışılmamış İmalat Yöntemleri Kullanım Ölçütleri;

- Sert, yüksek dayanç veya kırılganlık gibi mekanik özellikler,
- Karmaşık geometri, küçük boyut ve yüksek hassasiyet,
- Olağan iş parçalarına göre çok küçük boyutlar.

Bu ölçütlerin özet teknolojik özellikleri aşağıda verilmiştir:

Alışılmamış İmalat Yöntemleri İçin Tercih Edilen Malzeme Özellikleri;

- Alaşım olarak veya ısıtıl işlem sonrası yüksek yüzey sertlik değerleri,
- Yüksek çekme, kayma vb. dayanım değerlerine sahip alaşımlar,
- Seramik, Cam, yarıiletkenler gibi aşırı kırılğan malzemeler,

Alışılmamış İmalat Yöntemleri İçin Tercih Edilen İş Parçası Şekilleri;

- Düzlem ve silindir dışındaki geometriler,
- Üç boyutlu şekiller,
- Dairesel olmayan delikler,
- Ucu açık olmayan delikler ve oyma işlemleri,
- Dar kanallar, küçük çaplı delikler,
- Derin delikler (Derinlik/Çap oranı yüksek), Dar kanallar (Derinlik/Genişlik oranı yüksek),
- İnce saç malzemeden yapılması gereken işler,

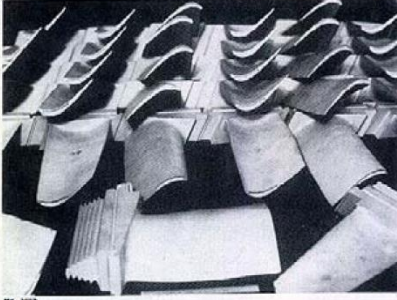




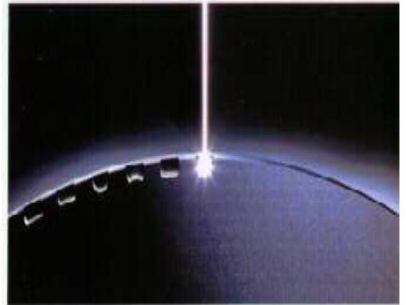
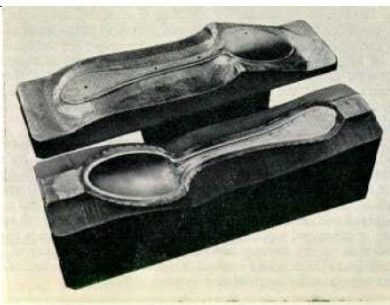

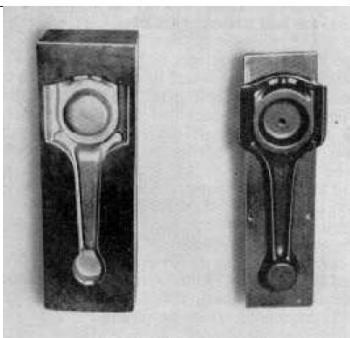
Alışılmamış İmalat Yöntemleri İçin Tercih Edilen İş Parçası Özellikleri;

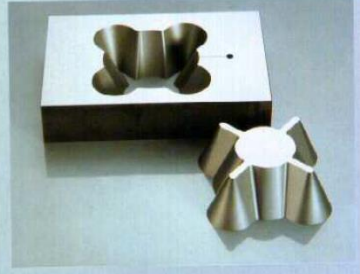




- Birkaç μm dolaylarında boyutlarda delik delme, kanal açma vb. İşlemler,
- μm altındaki boyutlarda işleme olanağı,
- Çok düşük kesme aralığı ile saç ve levha kesme,
- Geniş yüzeylerde μm mertebesinde yüzey işleme, μm altındaki boyutlarda son işlemler ve parlatma işlemleri.

Alışılmamış İmalat Yöntemleri Endüstriyel Kullanım Alanları

Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin endüstriyel kullanım alanlarından çeşitli örnekler *Çizelge 3*'de verilmiştir.

Çizelge 3; Çeşitli Alışılmamış İmalat yöntemlerinden uygulama örnekleri

<p>Üç boyutlu karmaşık profilli elemanların işlenmesi</p>  <p>Turbo makineler için turbin kanatçıklarının üç boyutlu profilleri. (Anocut Inc.)</p>	<p>Karmaşık profilli iş parçaları</p>  <p>Profilli kanal işlenmesi. (Maho Hansen)</p>	<p>Metal olmayan kırılğan malzemelerin işlenmesi</p>  <p>Cam, Seramik ve Yarı iletken malzemeler gibi kırılğan malzemeler üzerinde kesme ve delik delme işlemleri. (Branson Ultrasonics Corp.)</p>
<p>Elektrik ve Elektronik sanayii</p>		<p>Küçük boyutlu hassas işleme</p>
 <p>Mikroişlemci ve elektronik devre bağlantı ayakları, Motor laminasyon plakaları, Cihaz etiketleri. (Photofabrication Ltd.)</p>	 <p>62 x 11 x 1 mm pirinç devre bağlayıcı.(Trumpf)</p>	 <p>Küçük boyutlu hassas işleme. (Maho Lasercav)</p>
<p>Takım ve kalıp sanayii</p>		
 <p>Dövme kalıpları, Döküm kalıpları, Basma kalıpları, Derin çekme kalıpları, Plastik Enjeksiyon kalıpları</p>	 <p>Ekstrüzyon kalıpları</p>	 <p>Sıcak ve Soğuk Dövme kalıpları</p>

Takım ve kalıp sanayii		
		
Telli elektroerozyon ile üç boyutlu kalıp imalatı. (Gebr. Hoffmann)	Basma kalıpları için ayrıntılı yüzey işleme. (Hansvedt)	Elektroerozyon ile basma kalıbı imalatı
Takım sanayii	Kırılgan malzeme (cam) işçiliği	Çeşitli makine elemanları
		
Profilli testere ağzı kesimi; $\phi 247 \times 3,2$ mm HSS. (Trumpf)	Aşındırıcı Jet ile İşleme yöntemi ile cam eşya üzerinde buzlama işçiliği (S. S. White Airbrasive)	İç ve Dış Dişliler Dairesel olmayan delik ve profiller. (Gebr. Hoffmann)
Çeşitli makine elemanları		
		
Türbin, pompa vb. makineler için üç boyutlu profilli kanatçıklar. (Gebr. Hoffmann)	Tekparça malzemeden üç boyutlu geometride türbin ve pompa kanatçıkları	Alışılmış yöntemlerle çok parçalı yapılabilen makine elemanlarının tekparçalı yapımı

Sanatsal nitelikli işler



Çeşitli malzemeler üzerinde dağlama benzeri yazı ve şekil işleme.
(Laser Scientific Services Limited)

Çeşitli özel imalat



φ120 x 0,8 mm yay çeliğinden vana plakası.
(Trumpf)

Sonuç

Alışılmamış İmalat Yöntemleri, çağdaş imalat mühendisliği uygulamasında vazgeçilmez yöntemler olarak yerleşmiş, giderek gelişmekte ve yaygınlaşmaktadır.

Çağdaş teknolojide, tipik bir örnek olarak, elektroerozyon (EDM) olmadan bir takım ve kalıpcılık endüstrisi düşünülemez. Türkiye'de çok yaygın olmasa da, diğer yöntemlerin de vazgeçilmez olduğu çok değişik uygulama alanları vardır.