



**T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
HAZIRLAMA VE DEĞERLENDİRME YÖNERGESİ
SONUÇ RAPORU FORMU**

**T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ
SONUÇ RAPORU**

**Alüminyum Alaşımli Boru Bağlantı Elemanlarının Diş Açma İşlemi
Enerji Tüketiminde Optimizasyon**

**PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ: Dr. Öğr. Üyesi Burak Öztürk
PROJE NOSU: 2018-02.BŞEÜ.03-07**

**ARAŞTIRMACI:
Prof. Dr. Özkan Küçük**

**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK, 2019**



T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
HAZIRLAMA VE DEĞERLENDİRME YÖNERGESİ
SONUÇ RAPORU FORMU

Özet

Enerji kullanımında sürdürülebilirlik; endüstri için güncel ekonomik koşullar ve rekabet şartları dikkate alındığında araştırması yapılan en önemli konu başlıklarından birisini oluşturmaktadır. Özellikle seri üretim hatlarına sahip sanayi kuruluşlarının ürün maliyetlerinin önemli bir kısmını enerji tüketimi oluşturmaktadır. Son yıllarda ülkemizde boru bağlantı elemanları üretimi yapan üreticiler ithal ürünlerle rekabet edememektedir ve kuruluşlar üretim durdurmaktadır. Prinç fittings malzemelerinin Avrupa'da sıhhi tesisat hatlarında kullanımı yaygınken ülkemizde sadece makine ekipmanlarında uygulamaları mevcuttur. Bu makalede ülkemizde TSE ve ISO standartlarında fittings üretimi yapan bir kuruluşta güvenilir sıhhi tesisat sistemleri için prinç redüksiyona ½ inc boru iç dış açma işlemi araştırılmıştır. CNC Freze ve tornada uygulanan iki farklı tip üretim incelenmiştir. Prinç fittings redüksiyon ürünün optimum işleme koşulları belirlenerek minimum enerji sarfiyatı ve maksimum sayıda ürün imalatı gerçekleştirilmiştir. Üniversal torna tezgahında iç dış açmak için 31 – 56 Wh enerji gerekiyken, Freze tezgahında 27-36 Wh enerji sarfiyatı ortaya çıkmıştır. Üretim enerjisi giderlerine en çok etkili olan parametre % 66 oranda tezgâh tipidir. Minimum enerji maliyeti ve maksimum sayıda seri üretim yapabilmek için CNC Freze tezgâhı kullanılması gereklidir. 180 RPM devir sayısında dış açarak her iki tezgâhta bu enerji maliyetleri azaltılabilecektir. Böylelikle enerji tasarrufu ve üretim sayısında optimizasyon ile fittings malzemeleri güvenilir sıhhi tesisat ve doğalgaz hatları için kullanımı yaygınlaşabilecektir.

Giriş

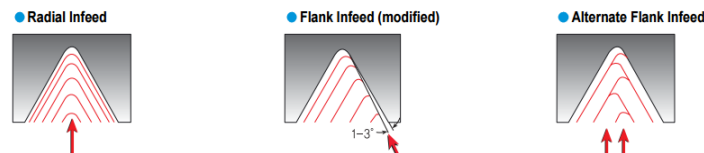
Ara rapor döneminde; daha önce yapılan iki farklı deney detaylı bir şekilde rapor edilmişti. Sonuçlar literatürler karşılaştırmalı olarak incelenmişti. Deney 1'de dökme demir fittings malzemeler tek seferde dış açma işlemi seri üretimde gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sırasında kesici takımlar aşınmaktadır. Yapılan östenitleme ısıl işlemi ile malzemenin sertliğini ve kırılabilirliğini azaltıp, işlenebilirliği artırırken mekanik özellikleri azaltmaktadır. Özellikle Amerika ve Hindistan'da otomotiv sektörü ve makine ekipmanları için üretilen 6061 alaşımli fittings malzemelerin bu çalışma ile hurda pirinç ve bakır malzemeleriyle %8 oranında alaşımlandırılmıştır. Literatürde ilk defa hurda malzemelerin geri dönüşümü ile güçlendirilmiş bu boru bağlantı elemanlarının, endüstride seri üretim koşulları dikkate alınarak, CNC Freze'de kılavuzla dış açma ve tornada kademeli dış açma işlemleri için karşılaştırmalı olarak, enerji güç dönüşüm denklemleri kullanılarak, farklı devir sayılarında, Taguchi statiksel metodu ile işlenebilirliği incelenmiştir. Malzeme içyapıları ve sertlik değişimleri incelenmiştir. Farklı alüminyum alaşımli redüksiyon fittings ürünlerinin seri üretim koşulları dikkate alınarak iç dış açma işlemi iki farklı yöntem için bu makalede incelenmiştir. Endüstride havacılık, otomotiv, makine üretimi vb. birçok alanda dış açma işlemi uygulanmaktadır. Sürdürülebilirlik ve enerji tasarrufu bu alanlar için çok önemli konu başlıklarını oluşturmaktadır. Metal kesme işlemlerinde enerji tüketimi araştırmaları ve farklı tip alüminyum alaşımlarının işlenebilirliği için bu makale ile referans bir kaynak oluşturulmuştur. Farklı tip alüminyum alaşımlar prinç ve bakır kuru kesme ince talaşı ilavesi ile elde edilerek üretim maliyetleri azaltılmak istenmiştir. Sertlik değeri 27 HB'den 76 ve 97 HB çıkartılmıştır. Bu sertlik artışı tane sınırlarının küçülmesi ile elde edilmiştir. Östenitleme ısıl işlemi ile 90-100 HB sertlik değerleri ortaya çıkan dökme demir fittings ürünler yerine bu çalışmada aynı sertlik değerlerine sahip alüminyum alaşımları önerilmiştir. Seri üretim boru bağlantı elemanları genelde düşük mil devri ve yüksek tork miktarı ile üretimi yapılmaktadır. Dökme demir fittings malzemelerin dış açma işlemi için 16,5 kWh toplam güç tüketimine ihtiyaç olduğu gözlemlenmiştir. Bu işlem 170 RPM ile aynı CNC freze tezgahında ½ inc kılavuz ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise CNC freze tezgâhı için dış açma işlemi 7,52 – 8,39 kWh güç ile dış açma işlemi gerçekleştirilmiştir. Dökme demir malzemelere göre alüminyum alaşımlarının dış açma işleminde güç ihtiyacı daha azdır. Üniversal torna tezgahında ise 3,75–3,86 kWh güç ile kademeli dış açma işlemi gerçekleştirilmektedir. CNC freze tezgahında 25,02 Wh ürün başına tüketim ile üretim yapılırken bu değerler torna tezgahında 30,9 Wh'dur. CNC freze tezgahında anlık tüketim çok daha fazla olmasına rağmen tek operasyonda dış açma işleminde MRR daha yüksek olduğundan dolayı ürün başına maliyet daha azdır. Anova Varyans analizinde karelerin toplamının parametrelerin karelerine oranı incelendiğinde SEC sonuçlarına etki oranları %4,4 hata oranıyla hesaplanmıştır. %56 oranda işleme tipi sonuçlara etki ettiği ve %39,4 oranda ise devir sayısının etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ürün başına tüketim değeri ise %7,4 hata oranında etki oranları hesaplanmıştır. % 34,7 oranda üretim tipi ve %57,4 oranda devir sayısı kareler toplamı oranına göre ürün başına tüketim miktarına etki etmektedir. Bu sonuçlar incelendiğinde maksimum devir sayısı ve CNC frezede dış açma işlemi ile enerji tüketiminde optimizasyon sağlanabilmektedir. Malzeme değişimi enerji tüketimine düşük oranda etki etmektedir.

Deney 2'de bu bilimsel araştırma ile özellikle üretimi kolay, havacılık ve otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan Al 6061-T6 fittings malzemelerin işlenebilirliği araştırılmak istenmiştir. Güvenilir ve sağlıklı tesisat sistemleri hedeflenerek al 6061 malzemesinin korozyon direnci ile mekanik özelliklerini artırmak için %10 bakır ve A356 paslanmaz tozu takviyesi ile güçlendirmiştir. Mikroyapı ve sertlik değişimleri incelenmiştir. Taguchi L₉ yöntemi kullanılarak farklı malzeme tipi, ısıtma işlem ve devir sayısı için bu yeni alaşıma ve metal matrisli kompozit malzemelere ½ BSP (British Standart Pipe) kılavuzla dış açılmıştır. Enerji tüketimi, kesme torku, imalat süresi, kesme gücü, birim sürede kaldırılan talaş miktarı ve enerji gereksinimi hesaplamaları yapılmıştır. Bu araştırma ile seri üretim dökme demir fittings üretimi yapan bir kuruluşta dökme demirlerin; kırılma ve işlenebilirliğinin zor olması gibi ortaya çıkan problemlerin, mevcut alüminyum 6061 boru bağlantı elemanlarının güçlendirilmesi ile ortadan kaldırılması önerilmiştir. Dökme demir fittings malzemelerle aynı sertlik değerine sahip işlenebilirliği daha yüksek malzemeler endüstriyel şartlarda üretilmiştir. Bu çalışma sonrasında ortaya çıkan bulgulara göre boru dış açma işleminde % 30-40 oranda enerji sarfiyatı azalacaktır. Bu çalışma ile akım indeksleri ölçümü yapıp enerji-güç dönüşüm denklemleri yardımı ile farklı tip malzemelerin ve ısıtma işlem tiplerinin işlenebilirliği karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Optimum enerji tüketim için tasarım parametrelerinin seviyeleri belirlenmiştir. Enerji tüketimi, kesme torku, imalat süresi, kesme gücü, birim sürede kaldırılan talaş miktarı ve enerji gereksinimi hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen statiksel sonuçlara göre ısıtma işlemi malzeme işlenebilirliğini yüksek oranda etkilemektedir. Literatürde yapılan enerji tüketimi çalışmalarında boru dış açma işlemi ile ilgili çalışmaların sayısı çok azdır. Ayrıca dış açma işlemi ile ilgili bir talaşlı imalat çalışmalarında da bir çok eksik nokta vardır. Bu çalışma ile literatürde ilk defa alüminyum fittings malzemelerde boru dış açma işlemi ve enerji tüketimi incelenerek literatür için referans bir kaynak oluşturulmuştur. Alüminyum bakır alaşımları özellikle günümüzde havacılık ve savunma sanayinde uygulamaları çok yaygındır. Paslanmaz çelik 316 L tozu takviyeli alüminyum sıvı metal matrisli kompozit malzemeler ise literatür araştırmalarında gözlemlenmemiştir. Bu araştırma ile bu iki farklı malzeme fittings malzemesi olarak ilk defa kullanılmıştır. Mikroyapı ve sertlik değişimleri araştırılmıştır. Ayrıca proje kapsamında dökme demir boru bağlantı elemanlarının östenitleme ısıtma işlem sonrası ve pirinç ürünlerin dış açma işlemi enerji tüketim sonuçları araştırılmıştır.

Deney 3;

Endüstride fittings üretim hatlarında döküm, ısıtma işlem ve dış açma işlemi nedeniyle yüksek enerji sarfiyatı gerçekleştirilmektedir. Seri üretimde boru bağlantı elemanlarında dış açma işlemi yüksek tork ve düşük devir sayısı ile gerçekleştirilirken bu işlem sonucunda yüksek miktarda enerji harcanır. İnce cidarlı malzemeler olmasından dolayı fittings malzemelerin soğuma hızları çok düşüktür. Bu yüzden işlenebilirliği düşük ve son derece sert olan perlit oranı yüksek veya sementit mikroyapılar ortaya çıkar. Fırında uzun süre östenitleme ısıtma işlemi ile perlit oranı düşürülerek fertik bir mikroyapı elde edilen fittings malzemelere dış açma işlemi gerçekleştirilmektedir. Biz bu makalede ½" BSP dış açma işlemini döküm ve östenitleme ısıtma işlemi sonrası redüksiyon malzemelere uyguladık. Seri üretimde kullanıldığı gibi kademeli dış açma işlemi tornada yapılmış, CNC frezede tek seferde dış açma işlemi gerçekleştirilmiştir. Talaş kaldırma işleminde akım indeksi ölçülmüş ve enerji – güç dönüşüm denklemleri yardımıyla farklı üretim yöntemleri ve ürünlerin enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Ayrıca seri üretim talaşlı imalat işleminde enerji tüketimi için her bir ürünü dikkate alan yeni bir model önerilmiştir (ECP). Farklı tip yöntemler ile üretim yöntemi, tezgah tipi ve devir değişiminin enerji tüketimi sonuçlarına etkisi incelenmiştir.

Küresel grafitli dökme demir fittings ürünleri endüstride iki farklı tip işleme ile imalatı gerçekleştirilmektedir. Bunlardan bir tanesi torna ile kademeli dış açma ve diğeri ise CNC dik işleme merkezinde tek operasyonda kılavuz yardımıyla dış açma işlemidir. Dış açma işlemi endüstriyel seri üretim hatlarında devir sayısı değişimleri ile hızlandırılır ve bu birim talaş kaldırma işleminde kullanılmaktadır. Torna tezgâhında dış açma işlemi ilk olarak dış dibi tornalama işlemi tek operasyonda yapılmaktadır. Sonrasında ise sırası ile 0,5, 0,25 ve 0,1 mm paso derinlikte dış açma işlemi uygulanmaktadır. Şekil 1'de yer aldığı üzere radial, yanal, diğer alternatif yanal gibi farklı tip kesici takım talaş giriş şekilleri kademeli dış açma işleminde uygulanmaktadır.



Şekil 1. Kademeli dış açma şekilleri



T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
HAZIRLAMA VE DEĞERLENDİRME YÖNERGESİ
SONUÇ RAPORU FORMU

Bu çalışmada radial tip uygulanarak dış açma işlemi prinç malzemeye toplam dört operasyon için uygulanmıştır. Ayrıca seri üretim dik işlem tezgahında dökümden çıkıp taşlanan ürün kılavuz yardımı ile tek seferde dış açma işlemi düşük devir ve yüksek tork miktarı ile uygulanmıştır. Her iki farklı tezgâh için 90, 125 ve 180 RPM (Rotate Per Minute) hızda dış açma işlemi seçilmiştir. İlerleme ise ½ inc boru dış adımı olan 1,814 mm'dir. Tornalama işlemi ise sırası ile 500, 710 ve 1000 RPM hızında torna tezgâhı ilk operasyonu için yapılmıştır. Bu deney tasarımı tablo 1'de özetlenmiştir. Tüm operasyonlarda kuru kesme ortamında uygulanmıştır. Her bir numune için 3 kez deney tekrarı yapılarak ortalama akım indeksleri (PI (A)) hesaplanmıştır.

Tablo 1. Fittings boru dış açma işlemi deney tasarımı

Deney No	İşlem Tipi	Kullanılan Tezgah	Dış Açma Devir Sayısı (RPM)	Toplam Operasyon Sayısı
1	Döküm	Torna	90	Beş Operasyon (Tornalama - 0,5, 0,25x2, 0,15 Dış Açma)
2	Döküm	Torna	125	Beş Operasyon (Tornalama - 0,5, 0,25x2, 0,15 Dış Açma)
3	Döküm	Torna	180	Beş Operasyon (Tornalama - 0,5, 0,25x2, 0,15 Dış Açma)
4	Döküm	CNC Freze	90	Tek Operasyon
5	Döküm	CNC Freze	125	Tek Operasyon
6	Döküm	CNC Freze	180	Tek Operasyon
7	Östemperleme	Torna	90	Beş Operasyon (Tornalama - 0,5, 0,25x2, 0,15 Dış Açma)
8	Östemperleme	Torna	125	Beş Operasyon (Tornalama - 0,5, 0,25x2, 0,15 Dış Açma)
9	Östemperleme	Torna	180	Beş Operasyon (Tornalama - 0,5, 0,25x2, 0,15 Dış Açma)
10	Östemperleme	CNC Freze	90	Tek Operasyon
11	Östemperleme	CNC Freze	125	Tek Operasyon
12	Östemperleme	CNC Freze	180	Tek Operasyon

Deney Numuneleri Döküm Yöntemi ile Üretimi

Bu çalışmada TS 11 EN 10242 standartlarında tasarımı yapılan ¾ - ½ inc redüksiyon ürün olarak seçilmiştir. Tablo 2'de Redüksiyon fittings malzemesinin tasarım özellikleri yer almaktadır. Ayrıca Tablo 3' de deneysel çalışmada kullanılan fittings malzemelerin döküm sonrası Oxford Faundry Master Pro spektrometre ölçüm cihazı ile kimyasal analizleri yer almaktadır.

Tablo 3. Tasarım özellikleri

Model Adı	Tasarım Hacmi (mL)	İç Diş Talaş Hacmi (mL)	İç Diş Talaş Oranı (%)	Adım (mm)	Diş Boyu (mm)	Diş Ölçüsü
$\frac{3}{4}$ - $\frac{1}{2}$ inc Redüksiyon	10,097	0,302	3	1,814	20	1/2 " BSP

Tablo 4. Fittings malzemelerin kimyasal analizi

Element Adı	Fe	C	Si	Mn	P	S
After spheroidal (%)	93.3	3.58	2.64	0.14	0.03	0.015

Deney Numunelerinin İşlenmesi ve Güç İndekslerinin (A) Ölçümü

Dökümü yapılan malzemeler üçer defa deney tekrarı yapılacak şekilde gruplandırılarak numaralandırılmıştır. Dik işleme tezgâhında $\frac{1}{2}$ inc diş çekmek için Well Cut marka hava çeliği kılavuz kullanılmıştır. Diş çekme işleminin sırasında 36 deneyde takım aşınması görülmediği için her bir numunenin aynı takım ile diş açma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Welcut 1/2 " BSP kılavuz resmi

Kılavuz 17,5 mm çapındaki pense 40 mm boyunda bağlanmıştır ($L/D < 3$). Redüksiyon malzeme tezgah tablasına 4 ayaklı aynaya bağlanan iş kalıbı yardımı ile diş açma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.). Tablo 5'de deneysel çalışmada kullanılan Microcut 1000 CNC dik işleme tezgahının teknik özellikleri yer almaktadır.

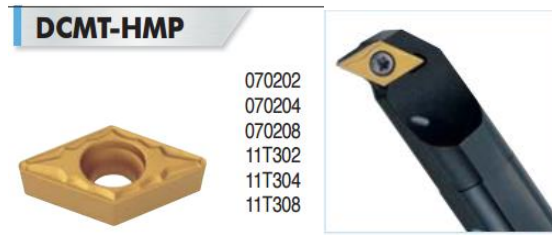


Şekil 3 Microcut 1000 CNC dik işleme (solda), iş parçası ve kesici takım bağlantı şekli (sağda)

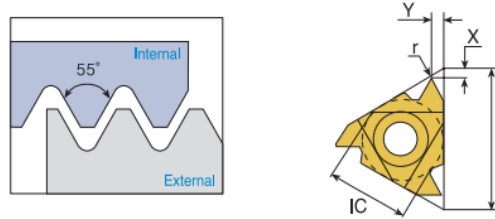
Tablo 5. CNC Freze Tezgahı Özellikleri

Tezgah Adı	Motor Gücü	Mak. Spindle Rotation (RPM)	Tezgah Tutucu Tipi	Spindle Cos α	Spindle Voltajı (V)	Maksimum Tork (Nm)
Micrucut 1000	15 kW	10,000	Bt-40	0,6	380	103

Torna tezgahında dış açma işlemi iki farklı kalem ve toplam dört operasyonda kuru kesme koşullarında uygulanmıştır. Şekil 4'de dış dibi tormalama işleminde kullanılan Korloy DCMT-HMP NC 5330 tipi baklava dilimi torna elması ve kateri yer almaktadır. Şekil 5'de ise Korloy 14W IR 14 dış boru dış açma inset resmi verilmiştir.



Şekil 4. Korloy DCMT-HMP, NC 5330 iç delik tormalama elması (solda) ve bağlama kateri (sağda)



Şekil 5. Korloy 14W IR 55° iç dış açma elması [22]

Kademeli dış açma işlemi Toss SN 50 universal torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Torna tezgahında akım değişimleri asenkron motora ve CNC frezede ise motor sürücüsünün üç fazlı girişinin her birine Dijital Entes epm 4c ampermetre ve Entes ct-25 akım trafosu bağlanarak, 0.07-200 A aralığında +/- 1 A hassasiyeti ile güç indeksi ölçümü yapılmıştır.

Talaşlı İmalat İşlemi Spesifik Enerji Tüketim Modeli

Mil motorları iki nedenden dolayı güç harcarlar. Mil şaftını hızlandırmak / yavaşlatmak ve ataletine, sürtünme direncine ve yer çekimine karşı hareket ettirmek ilk nedendir. Kesme direncinin üstesinden gelmek için gerekli kesme kuvvetini sağlamak ikinci sebeptir (Mori vd. 2011) Eşitlik 1' de normal çalışma sırasında bir takım tezgâhının güç tüketiminin P (Wh) modelini göstermektedir. Bu formül bir takım değişikliğini takiben milin konumlandırılması ve hızlandırılması, işlenmesi, iş milinin işlenmeden sonra aletin döndürülmesi ve iş milinin durdurulması gibi çeşitli süreçleri içerir:

$$P = P1 \times (T1 + T2) + P2 \times T2 + P3 \times T3$$

(Eşitlik 1)

Burada, P1 (W), çalışma durumu ne olursa olsun makine çalışması sırasında sabit güç tüketimidir, T1 (h) kesme işlemi sırasındaki geçen süredir. T2 (h) kesme durumundaki süredir. P2 (W) kesme koşullarında mil ve servo motor tarafından güç tüketimidir. P3 (W), işi konumlandırmak ve iş milini belirtilen hıza kadar hızlandırmak / yavaşlatmak için güç tüketimidir ve T3 (h), gereken zamandır. Talaş kaldırma sırasında gerekli enerji gücünü bulmak için (P kesme (Eşitlik 2)) toplam harcanan güçten tezgâhın talaş kaldırmadığı boş çalışmada harcadığı güç çıkartılmaktadır. P boş yataklardaki güç kayıplarıyla birlikte spindle motorunun istenilen devir değerimde çalışması için güç harcamalarını içermektedir.

$$P_{kesme} = P_{toplam} - P_{boş}$$

(Eşitlik 2)

Talaş kaldırma işleminde ampermetre ile spindle servo motor sürücüsünün çektiği güç indeksi (A) ölçümü 2 numaralı 3 fazlı motor enerji güç dönüşüm denklemleri (Eşitlik 3) ile kW türünden güç tüketimine dönüştürülmektedir. Güç faktörü değeri Microcut CNC dik işleme merkezi teknik özellikler kitabı değeridir. Bu eşitlikte V = Spindle Motoru Voltaj Değeri (V) (0,38), I = Ampermetre ile ölçülen enerji yükü (A), $\cos \sigma$ = Güç Faktörüdür (Servo; 0,60, Asenkron Motor; 0,85).

$$P_{toplam} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \sigma$$

(Eşitlik 3)

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda enerji güç dönüşüm denklemleri ile MRR (Material Removal Rate), SCEC (Specific Cutting Energy Consumption) ve SEC (Specific Energy Consumption) gibi talaşlı imalat işlemlerinde önemli kesme parametrelerinin hesabı yapılabilmektedir. MRR; İş parçasından bir saniyede kaldırılan mm³ cinsinden talaş miktarıdır.. MRR aşağıda verilen Eşitlik 4 ile hesaplanmaktadır. SCEC bir malzemeden 1 mm³ talaş kaldırmak için harcanan kesme enerjidir (Eşitlik 5). SEC ise eşitlik 6'da yer alan formülle hesaplanan 1 mm³ talaş kaldırmak için toplam enerji tüketimi miktarıdır.

$$MRR = (ap \cdot ae \cdot F) / 1000$$

(Eşitlik 4)

$$SCEC \left(\frac{J}{mm^3} \right) = \frac{P_{kesme} (W)}{MRR \left(\frac{mm^3}{s} \right)}$$

(Eşitlik 5)

$$SEC \left(\frac{J}{mm^3} \right) = \frac{P_{total} (W)}{MRR \left(\frac{mm^3}{s} \right)}$$

(Eşitlik 6)

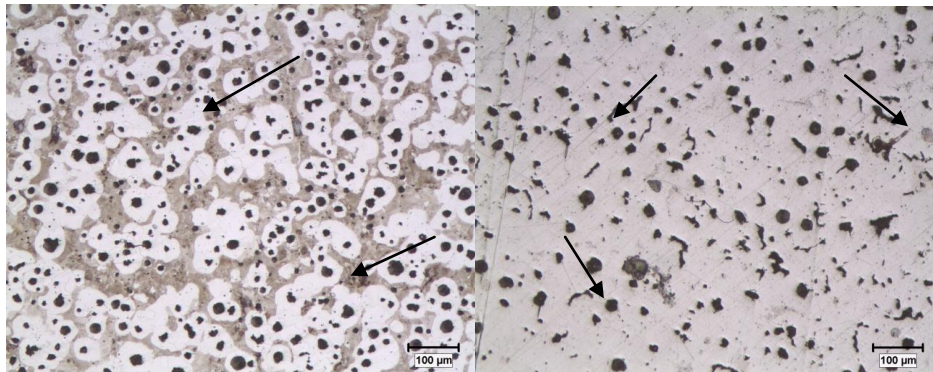
$$ECPP (Wh) = \frac{P_{total} (W) (inlet)}{\text{Numbers of Production (h)}} + \frac{P_{idle} (W) (Outlet)}{\text{Numbers of Production (h)}}$$

(Eşitlik 7)

Sonuçlar

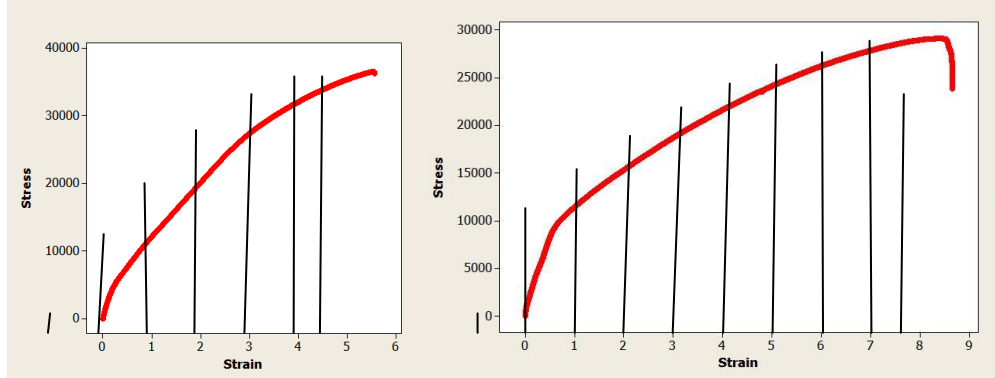
Mikroyapı ve mekanik özelliklerin incelenmesi

Optik mikroskop yardımıyla dökümden ve östenitleme ısıl işleminden sonra mikroyapı değişimleri şekil 6.' da verilmiştir. Bu mikroyapı görüntüleri incelendiğinde döküm sonrası perlitik bir mikroyapı ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Grafit bazı bölgelerde tam olarak küreselleşmede genel olarak küreselleşmenin ideale yakın gerçekleştiği söylenebilir. Ayrıca pik açısından kaynaklı küreselleşme vermiküler yapı problemi düşük oranda yer almaktadır. Uygulanan ısıl işlem sonrası perlitik yapı yüksek oranda α -Ferrite dönüştüğü gözlemlenmiştir. Bununla birlikte küreselleşmiş grafitin çoğunlukla ana matris içinde diffuse olduğu belirlenirken, küresel yapılar bozulup lamel haline gelmiştir.



Şekil 6. Döküm sonrası (sağda), ısıl işlem sonrası (sağda)

Döküm ve ısıl işlem sonrası üretilen redüksiyon malzemelerin anahtar ağızlarından kesilerek çekme numunesi elde edilmiştir. Çekme testi sonrası oluşturulan mühendislik eğrisi Şekil 7.'de gösterilmiştir. Ayrıca her bir ürün mekanik özellikleri sertlik değişimi sonuçları Tablo 8' de verilmiştir. Isıl işlem sonrası kopma dayanımı, sertlik azalırken % uzama oranında artış gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Döküm sonrası (sağda), ısıl işlem sonrası (sağda)

Tablo 6. Çekme testi sonuçları

	Max. Stress (N/mm ²)	% Strain	Enerji (J)	Uzama (mm)	Sertlik (HB)
Casting	536,4	27,6	131,3	5,53	162
Heat Treatment	359,9	41,9	180,5	8,38	95

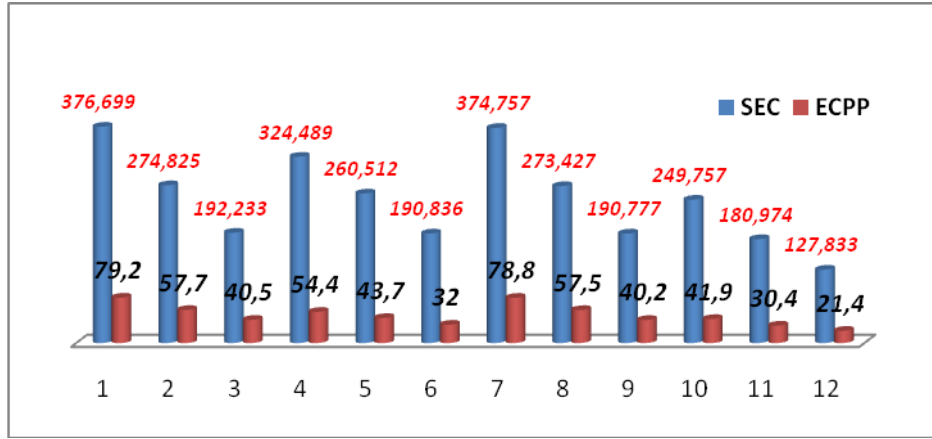
Enerji tüketim sonuçları

Belirlenen deney tasarımı için diş açma işlemi ve akım indeksleri ölçülmüştür. Enerji güç dönüşüm denklemleri kullanılarak toplam güç (P_{total}) hesaplaması yapılmıştır. Ayrıca toplam uzaklaştırılan talaş ve imalat süresi Tablo 7' de yer almaktadır. Anlık güç ölçümü sonuçları incelendiğinde CNC freze tezgâhın daha yüksek oranda enerji tüketimi yaptığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte CNC freze takım tezgâhlarında üretim süresi çok daha düşüktür.

Tablo 7. Ana üretim verileri

Deney No	Time (saniye)	Ptotal (kW)	MRR (mm ³ /s)
1	36,7	3,86	10,30
2	26,4	3,91	14,30
3	18,40	3,93	20,60
4	7,35	13,3	41,08
5	5,29	14,8	57,08
6	3,68	15,6	82,06
7	36,7	3,8	10,30
8	26,4	3,9	14,30
9	18,4	3,9	20,60
10	7,3	10,26	41,08
11	5,2	10,33	57,08
12	3,6	10,49	82,06

Bu on iki farklı deney tasarımı için ECPP ve SEC sonuçları değişim grafiği Şekil 8'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre CNC freze tezgâhında diş açma işlemi anlık enerji tüketimi, çok daha yüksek olsa da üretim süresi daha düşük olduğundan ECPP ve SEC değeri daha azdır. Başka bir deyişle bir fittings redüksiyon malzemesinin toplam enerji gideri CNC freze tezgâhında daha az olduğu söylenebilir. CNC frezede yapılan diş açma işlemleri dikkate alınarak dökümden sonra 32 Wh ve ısıl işlemden sonra ise 21,4 Wh en az ECPP değeri hesaplanmıştır. Bu sonuca göre fittings malzemelere uygulanan östemperleme işlemi ile 49% oranda enerji tasarrufu sağlanmaktadır.



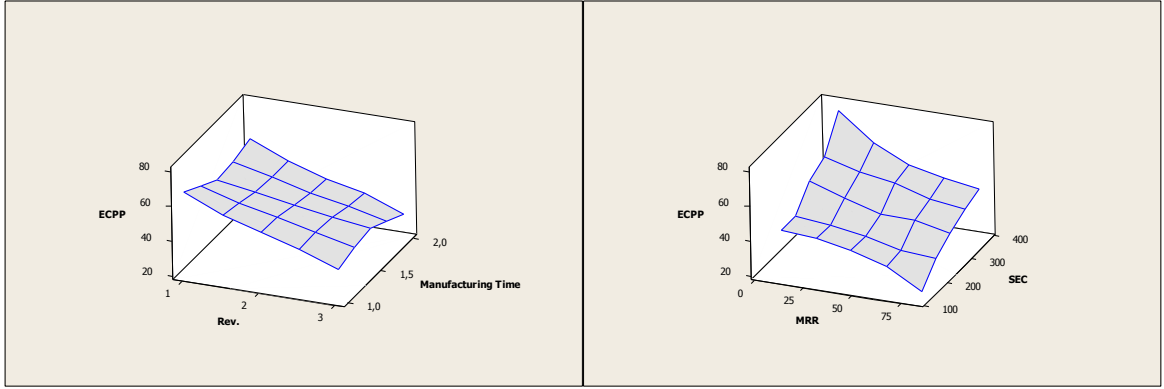
Şekil 8. SEC ve ECPP sonuçları değişim grafiği

SCEC ve P cutting sonuçları malzemelerin işlenebilirliği ile ilgili bilgiler vermektedir. 90, 125 ve 180 RPM için yapılan ölçüm sonuçlarının incelendiğinde 49%, 74% ve 84% oranda işlenebilirliğin arttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre östenitleme ısıl işleminin işlenebilirliğe yüksek oranda etkisi olduğu gibi, devir sayısı arttıkça işlenebilirliğin artış gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 8. CNC frezede işlenebilirlik sonuçları

Deney No	P cutting	MRR	SCEC
4	9,35	41,08	227,60
5	10,65	57,08	186,58
6	11,28	82,06	137,46
10	6,27	41,08	152,63
11	6,11	57,08	107,04
12	6,11	82,06	74,46

ECPP sonuçlarına devir (RPM), üretim yöntemi, MRR ve SEC değerlerinin etkileri kullanılarak surface plot ile belirlenmiştir (Şekil 9.). Bu sonuçlar incelendiğinde MRR değeri arttıkça hem ECPP hem de SEC değerlerinin artış gösterdiği söylenebilir. Aynı zamanda devir sayısı arttıkça enerji tüketimi azalmaktadır. Üretim zamanı ile enerji tüketimi ile arasında herhangi bir oransal değişim gözlemlenmemiştir.



Şekil 9. ECPP surface plot sonuçları

Deney tasarımında belirlenen her bir üretim parametresinin SEC ve ECPP sonuçlarına etki şiddetleri tablo 9-10'da gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre SEC değerine 63% oranda en yüksek devir sayısı etki etmektedir. ECPP sonuçlarına ise en yüksek 58% oranda tezgah tipi etki etmektedir.

Tablo 9. Analysis of Variance for SEC; using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	F	F%	P
Üretim Yöntemi	1	4110	4110	5,27	11	0,055
Tezgah Tipi	1	10110	10110	12,96	26	0,009
Devir	2	48771	48771	31,26	63	0,000
Error	7	5460	5460			
Total	11	68451				

Tablo 10. Analysis of Variance for ECPP; using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	F	F%	P
Üretim Yöntemi	1	115,94	115,94	3,16	5	0,119
Tezgah Tipi	1	1410,50	1410,50	38,45	58	0,000
Devir	2	1810,01	905	24,67	37	0,001
Error	7	256,80	36,69			
Total	11	3593,25				

Tartışma

Enerji üretim maliyetlerinin gün geçtikçe artması ve enerji kaynaklarının yetersiz kalması nedeniyle son yıllarda talaş kaldırma işlemleri enerji sarfiyatı üzerine yapılan araştırmaların sayısı artmıştır. Farklı mikroyapı ve sertlik değerine sahip redüksiyon fittings ürünlerinin seri üretim koşulları dikkate alınarak iç diş açma işlemi iki farklı yöntem için bu makalede incelenmiştir. Endüstride havacılık, otomotiv, makine üretimi vb. birçok alanda diş açma işlemi uygulanmaktadır. Sürdürülebilirlik ve enerji tasarrufu bu alanlar için çok önemli konu başlıklarını oluşturmaktadır. Metal kesme işlemlerinde enerji tüketimi araştırmaları ve boru diş açma işlemi için bu makale ile referans bir kaynak oluşturulmuştur.

303 kalite paslanmaz malzeme işlerken maksimum 1.8 kWh enerji sarfiyatı gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalarda EN-GJL-250 gri dökme demir malzemeye delik delme işleminde ise 6 kWh güç harcaması ölçümleridir. 6061 alüminyum malzemeyi tornalarken maksimum 5.8 kWh enerji sarfiyatı yapılmıştır. Bu üç farklı tip ileme yöntemi incelendiğinde en çok delik delme işleminde enerji harcaması oluşmuştur. Ayrıca dökülmüş ve östemperlenmiş fittings malzemelerin diş açma işlemlerini araştırmışlardır. Dökme demir fittings malzemelerin diş açma işlemi için 16,5 kWh toplam güç tüketimine ihtiyaç olduğu gözlemlenmiştir. Bu işlem 170 RPM ile aynı CNC freze tezgâhında 3/4 inc kılavuz ile gerçekleştirilmiştir.



T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
HAZIRLAMA VE DEĞERLENDİRME YÖNERGESİ
SONUÇ RAPORU FORMU

Yazarla bu makalede 13,3 – 15,6 kW aralığında anlık enerji harcaması ile döküm malzemelere dış açma işlemi gerçekleştirmişlerdir. Bu makalede ise uygulanan östenitleme ısıl işlemi sonucunda 10,26 – 10,49 kW aralığında enerji tüketimiyle ½ inç kılavuz ile dış açma işlemi yapılmıştır. Ortalama %39 oranda enerji tüketiminde optimizasyon sağlanabileceği gözlemlenmiştir. Döküm sonrası perlitik bir mikroyapı fittings üründe gözlemlenmiştir. Uygulanan ısıl işlem sonrası perlitik yapı yüksek oranda α -Ferrite dönüşmüştür. Bununla birlikte küreselleşmiş grafitin çoğunlukla ana matris içinde diffuse olduğu belirlenmiştir. Isıl işlem sonrası kopma dayanımı ve sertlik azalırken % uzama oranında artış gözlemlenmiştir. P_{total} sonuçları incelendiğinde bu mikroyapısal ve mekanik özelliksel değişim, CNC freze tezgâhında 3040 Wh enerji tasarrufuna neden olmuştur. Böylece yılda 8755 kWh enerji tasarrufu bir yılda sağlanabileceği gözlemlenmiştir. Üretimde malzeme özellikleri iyileştirilerek hem üstün mühendislik özellikleri sergileyen ürünler elde edilirken yüksek oranda enerji tasarrufu yapılabilir. Bu çalışmada TS 11 EN 10242 standartlarında tasarımı yapılan ¾ - ½ inc redüksiyon seçilmiştir. Tablo 2'de Redüksiyon fittings malzemesinin tasarım özellikleri yer almaktadır. Ayrıca Tablo 3' de deneysel çalışmada iş parçası olarak kullanılmak üzere Ankara Bronz Kuruluşundan temin edilmiş prinç alaşımının döküm sonrası Oxford Faundry Master Pro spektrometre ölçüm cihazı ile kimyasal analizleri yer almaktadır.

Deney 4:

Talaşlı imalat uygulamalarında enerji tüketimi

CNC ile talaş kaldırma talaşlı imalat sektöründe yaygın olarak kullanılan bir işlemdir. Bu işleme prosesine istinaden, kesme parametrelerinin optimizasyonu ile ilgili çeşitli çalışmalar yayınlanmıştır; Bunların birçoğu yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, kesme gücü, takım ömrü ve malzeme kaldırma oranını optimizasyon kriterleri olarak kullanmıştır. S45C karbon çeliğine freze tezgâhında delik delme ve frezeleme işlemi uygulamışlardır. Kesme koşullarının güç tüketimi üzerindeki etkisi, dikey işleme merkezinin toplam makine güç tüketimi ve mil güç tüketimi giriş güç kaynağı kablosuna bir kelepçe tipi ampermetre bağlanarak ölçülmüştür. ASSAB 760 çeliğine kanal frezeleme işlemi CNC Freze tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Kuvvetler dinamometre ile güç tüketimi ise Power Meter ile ölçülmüştür. Yeni bir talaşlı imalat enerji tüketimi modeli bu çalışma ile ortaya konmuştur. AISI 6061 T6 alüminyum malzemede tornalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Talaş kaldırma gücünü en aza indirip en iyi yüzey kalitesini elde etmek için optimum kesme parametresi değerleri araştırılmıştır. 5 eksen CNC Freze tezgâhında optimum eğim açısı belirlenmiştir ve bunun sonucunda enerji tüketimi azaltılmıştır. Universal torna tezgâhı kullanarak AISI1045 çeliği üzerinde tornalama testleri yapmışlar. Tornalama sırasında kesme bölgelerinde üretilen ısının, iş parçasının son kalitesinde ve güç tüketiminde önemli bir rol oynadığını gözlemlenmişlerdir. Dairesel testere bıçakları kullanılarak granit kesimi sırasında kesme derinliği ve ilerleme hızının tüketilen güç seviyesine etkisini araştırmıştır.

EN-GJL-250 gri dökme demir üzerinde delik delme işlemi enerji tüketimi değişimlerini incelemişlerdir. 303 paslanmaz dikdörtgen malzemelerden parmak freze ile talaş kaldırarak enerji tüketimlerini araştırmışlardır Küresel grafitli dökme demir malzeme olan iş parçası üzerinde yüzey frezeleme ile talaş kaldırma işlemi sırasında tüketilen güç endeksindeki (PI) artışları ampermetre düzeneği ile ölçmüşlerdir. İki farklı kesici takım ile talaşlı imalat işleminde optimizasyon sağlamışlardır. Yüzey pürüzlülüğünün, Al 7075 frezeleme işlemi sırasında tahmin edilmesi için yeni bir model sunulmuştur. Model, spesifik kesme enerji tüketiminin (SCEC) analitik hesaplanmasını ve yüzey pürüzlülüğü ile SCEC arasındaki korelasyonun deneysel karakterizasyonunu birleştiren hibrit bir yaklaşım kullanılarak geliştirilmiştir.

Boru bağlantı elemanları

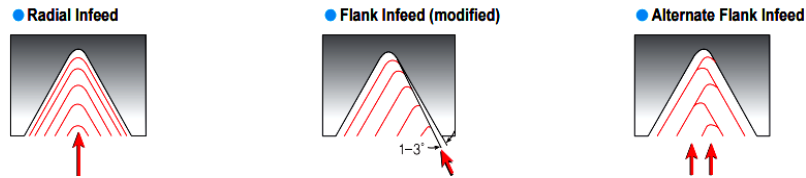
Plastik boru bağlantı elemanları; içme ve sulama tesisat sistemlerinde üretim kolaylığı, düşük maliyet ve hafifliği sebepleriyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ürünler hurda malzeme eklentisinin üretimi sırasında çoğunlukla tercih edilmesi ve dökme demir boru bağlantı ürünlerine göre düşük emniyet katsayısına sahip olması (Plastik Fittings Safety Factor: 5,3-8,1, Döküm Fittings Safety Factor: 20-200) sebebiyle su sağlığı ve güvenliği için tehdit oluşturmaktadır. Dökme demir malzemelerde ise su tesisatlarında kullanımı için ısıl işlem ve galvaniz kaplama gibi ikincil işlemler gerekmektedir. Bir dökme demir boru bağlantı elemanın üretim planı 6 ana ve 27 alt başlıkta incelenmiştir. Bu sektörde son 20 yılda 18 adet TSE, ISO ve Yerli Malı belgeli üretim yapan sanayi kuruluşunun Çin ve Tayvan gibi uzak doğu ülkelerinde üretilen ürünler ile pazar rekabet gücünü kaybederek üretim durdurmasının nedeni olarak küçük malzemelerde % 25 zarar olduğu ortaya konmuştur. Özellikle Orta Asya ve Balkan ülkelerinde kullanılan dökme demir fittings malzemeler TS 11 EN 10242 standartlarına göre ince cidarlı (2-5 mm), mukavemetsiz, kırılğan ve korozyon direnci son derece düşüktür.

Yerli üretim boru bağlantı elemanlarındaki en büyük problem ise TS 11 standardında yer alan duvar et kalınlıklarının ince cidarlı olmasından dolayı (5,10,15 ve 20 mm) döküm soğuma hızları çok yüksek olmamasıdır (1,66 - 2,85 °C/sn). Bu soğuma hızı neticesinde izotermal dönüşüm ile %100 sementit (320 HB) , %70 Perlit/ %30 Ferrit (280 HB) , %30 perlit-%70 ferrit (230 HB) ve %100 ferrit (160 HB) mikroyapılar oluşmaktadır. Bu mikroyapılar nedeniyle işlenebilirlik azalmaktadır. Kırılgan malzemeler kış şartları dikkate alındığında kırılma mekaniği devreye girerek gaz kaçakları ve su basması gibi doğal afetler oluşmaktadır. Yapılan östemperleme ısıl işlemi ile kırılmalık azalırken sertlik artmaktadır. Östemperleme ısıl işlemi ile işlenebilirlik olumsuz yönde etkilendiğinden endüstride sadece östenitleme yapılarak malzemeler yumuşatılır ve sertlik 100 HB'ye kadar düşürülür. Bu işlem ise malzemenin akma dayanımını azaltmaktadır Bunun sonucunda işlenebilirlik artarken emniyet katsayısı azalmaktadır. Avrupa'da prinç ve Amerika'da bakır fittings malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yüksek korozyon direnci nedeniyle çoğu makine ekipmanında Prinç fittings malzemesi uygulaması tercih edilmektedir. Ülkemizde ise yüksek üretim maliyeti nedeniyle prinç boru bağlantı elemanları makine ekipmanları dışında kalan uygulamalarda tercih edilmemektedir. Prinç fittings malzemelerinin üretim maliyetlerinin azaltılması ile kullanım isteği ortaya çıkartılabilecektir. Bunun sonucunda daha güvenilir sıhhi tesisat ve doğalgaz sistemleri elde edilebilir. Seri üretimde boru dış açma işlemi torna tezgâhlarında kademeli dış açma işlemi ile yapılırken freze tezgâhlarında bu işlem tek operasyonda kılavuz ile yapılmaktadır. Bu tip talaşlı imalat işlemleri içinse literatürde örnek bir çalışma yer almamaktadır.

Materyal ve Metot

Deney Tasarımı

Prinç fittings ürünleri endüstride iki farklı tip işleme ile imalatı gerçekleştirilmektedir. Bunlardan bir tanesi torna ile kademeli dış açma ve diğeri ise CNC dik işleme merkezinde tek operasyonda kılavuz yardımıyla dış açma işlemidir. Dış açma işlemi endüstriyel seri üretim hatlarında devir sayısı değişimleri ile hızlandırılır ve bu birim talaş kaldırma işleminde kullanılmaktadır. Torna tezgâhında dış açma işlemi ilk olarak dış dibi tornalama işlemi birinci kademede yapılmaktadır. Sonrasında ise sırası ile 0,65, 0,35 ve 0,15 mm paso derinlikte dış açma işlemi uygulanmaktadır. Şekil 10'da yer aldığı üzere radial, yanal, diğer alternatif yanal gibi farklı tip kesici takım talaş giriş şekilleri kademeli dış açma işleminde uygulanmaktadır.



Şekil 10. Kademeli dış açma işlemi şekilleri

Bu çalışmada radial tip uygulanarak dış açma işlemi prinç malzemeye toplam dört operasyon için uygulanmıştır. Ayrıca seri üretim dik işlem tezgahında dökümden çıkıp taşlanan ürün kılavuz yardımı ile tek seferde dış açma işlemi düşük devir ve yüksek tork miktarı ile uygulanmıştır. Her iki farklı tezgâh için 90, 125 ve 180 RPM (Rotate Per Minute) hızda dış açma işlemi seçilmiştir. İlerleme ise ½ inc boru dış adımı olan 1,814 mm'dir. Tornalama işlemi ise sırası ile 500, 710 ve 1000 RPM hızında torna tezgâhı ilk operasyonu için yapılmıştır. Bu deney tasarımı tablo 11'de özetlenmiştir. Tüm operasyonlarda kuru kesme ortamında uygulanmıştır. Her bir numune için beş kez deney tekrarı yapılarak ortalama akım indeksleri (PI (A)) hesaplanmıştır.

Tablo 11. Prinç malzemelere boru dış açma işleminin deney tasarımı

Deney No	Kullanılan Tezgah	Finish Tornalama Devir Sayısı (RPM)	Dış Açma Devir Sayısı (RPM)	Toplam Operasyon Sayısı
1	Torna	500	90	Dört Operasyon (Tornalama - 0,65, 0,35, 0,15 Dış Açma)
2	Torna	710	125	Dört Operasyon (Tornalama - 0,65, 0,35, 0,15 Dış Açma)
3	Torna	1000	180	Dört Operasyon (Tornalama - 0,65, 0,35, 0,15 Dış Açma)
4	CNC Freze	-	90	Tek Operasyon
5	CNC Freze	-	125	Tek Operasyon
6	CNC Freze	-	180	Tek Operasyon

Deney Numuneleri Döküm Yöntemi ile Üretimi

Bu çalışmada TS 11 EN 10242 standartlarında tasarımı yapılan $\frac{3}{4}$ - $\frac{1}{2}$ inc redüksiyon seçilmiştir. Tablo 12'de Redüksiyon fittings malzemesinin tasarım özellikleri yer almaktadır. Ayrıca Tablo 13' de deneysel çalışmada iş parçası olarak kullanılmak üzere Ankara Bronz Kuruluşundan temin edilmiş prinç alaşımının döküm sonrası Oxford Faundry Master Pro spektrometre ölçüm cihazı ile kimyasal analizleri yer almaktadır.

Tablo 12. Tasarım özellikleri

Model Adı	Tasarım Hacmi (mL)	İç Dış Talaş Hacmi (mL)	İç Dış Talaş Oranı (%)	Adım (mm)	Dış Boyu (mm)	Dış Ölçüsü
$\frac{3}{4}$ - $\frac{1}{2}$ inc Redüksiyon	10,097	0,302	3	1,814	20	1/2 " BSP

Tablo 13. Prinç malzemenin kimyasal analizi

Element Adı	Cu	Zn	Pb	Sn	Fe	Ni	Sb
% Ağırlık Oranı	59,6	37,1	2,12	0,415	0,275	0,205	0,051

Temiz grafit pota kullanılarak 880°C sıcaklıkta deney numuneleri eritilmiştir. Eritme işlemi sonrası döküm yapılmış sonrasında yolluk ayırma ve taşlama işlemi numunelere uygulanmıştır.

Deney Numunelerinin İşlenmesi ve Güç İndekslerinin (A) Ölçümü

Dökümü yapılan malzemeler üçer defa deney tekrarı yapılacak şekilde gruplandırılarak numaralandırılmıştır. Dik işleme tezgahında $\frac{1}{2}$ inc dış çekmek için Well Cut marka hava çeliği kılavuz kullanılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Wellcut 1/2 " BSP kılavuz resmi

Kılavuz 17,5 mm çapındaki pense 40 mm boyunda bağlanmıştır ($L/D < 3$). Redüksiyon malzeme tezgah tablasına 4 ayaklı aynaya bağlanan iş kalıbı yardımı ile dış açma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 12.). Tablo 14'de deneysel çalışmada kullanılan Microcut 1000 CNC dik işleme tezgahının teknik özellikleri yer almaktadır.

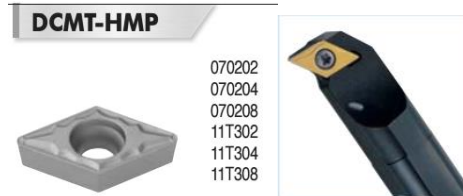


Şekil 12. Microcut 1000 CNC dik işleme (solda), iş parçası ve kesici takım bağlantı şekli (sağda)

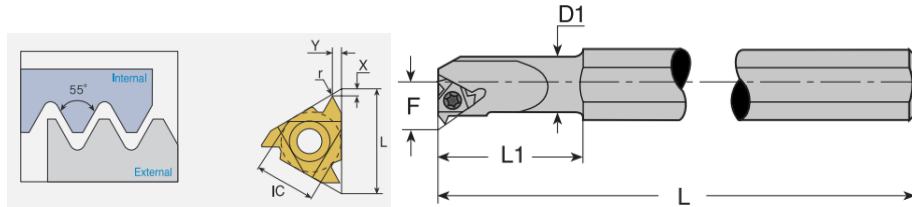
Tablo 14. CNC Freze Tezgahı Özellikleri

Tezgah Adı	Motor Gücü	Mak. Spindle Rotation (RPM)	Tezgah Tutucu Tipi	Spindle Cos α	Spindle Voltajı (V)	Maksimum Tork (Nm)
Micrucut 1000	15 kW	10,000	Bt-40	0,6	380	103

Torna tezgahında diş açma işlemi iki farklı kalem ve toplam dört operasyonda kuru kesme koşullarında uygulanmıştır. Şekil 13'de diş dibi tornalama işleminde kullanılan Korloy DCMT-HMP NC 5330 tipi baklava dilimli torna insörtü ve kateri yer almaktadır. Şekil 14'de ise Korloy 14W IR 14 dış boru diş açma inset'ü ve katerinin resmi verilmiştir.



Şekil 13. Korloy DCMT-HMP, NC 5330 iç delik tornalama sert metal kesici uç(solda) ve bağlama kateri (sağda)



Şekil 14. Korloy 14W IR 55° iç dış açma sert metal uç (solda) ve tutucusu (sağda)

Kademeli diş açma işlemi Toss SN 50 universal torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Torna tezgâhında akım değişimleri asenkron motordan ve CNC frezede ise motor sürücüsünün üç fazlı girişinden +/- 1 A hassasiyetle güç indeksi ölçümü yapılmıştır.



T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
HAZIRLAMA VE DEĞERLENDİRME YÖNERGESİ
SONUÇ RAPORU FORMU

Talaşlı İmalat İşlemi Enerji Tüketimi

Eşitlik 1' de normal çalışma sırasında bir takım tezgâhının güç tüketiminin P (Wh) modelini göstermektedir. Bu formül milin konumlandırılması ve hızlandırılması, işlenmesi, iş milinin işlenmeden sonra aletin döndürülmesi ve iş milinin durdurulması gibi çeşitli süreçleri içerir:

$$P = P1 \times (T1 + T2) + P2 \times T2 + P3 \times T3 \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Burada, P1 (W), çalışma durumu ne olursa olsun makine çalışması sırasında sabit güç tüketimidir, T1 (h) kesme işlemi sırasındaki geçen süredir. T2 (h) kesme durumundaki süredir. P2 (W) kesme koşullarında mil ve servo motor tarafından güç tüketimidir. P3 (W), işi konumlandırmak ve iş milini belirtilen hıza kadar hızlandırmak / yavaşlatmak için güç tüketimidir ve T3 (h), gereken zamandır. Talaş kaldırma sırasında gerekli enerji gücünü bulmak için (Pkesme (Eşitlik 2)) toplam harcanan güçten tezgâhın talaş kaldırmadığı boş çalışmada harcadığı güç çıkartılmaktadır. P_{boş} yataklardaki güç kayıplarıyla birlikte spindle motorunun istenilen devir değerinde çalışması için güç harcamalarını içermektedir.

$$P_{\text{kesme}} = P_{\text{toplam}} - P_{\text{boş}} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Talaş kaldırma işleminde ampermetre ile spindle servo motor sürücüsünün çektiği güç indeksi (A) ölçümü 2 numaralı 3 fazlı motor enerji güç dönüşüm denklemleri (Eşitlik 3) ile kW türünden güç tüketimine dönüştürülmektedir. Güç faktörü değeri Microcut CNC dik işleme merkezi teknik özellikler kitabı değeridir. Bu eşitlikte V= Spindle Motoru Voltaj Değeri (V) (0,38), I= Ampermetre ile ölçülen enerji yükü (A), Cos σ = Güç Faktörüdür (Servo; 0,60, Asenkron Motor; 0,85), [24].

$$P_{\text{toplam}} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos } \sigma \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda enerji güç dönüşüm denklemleri ile MRR (Material Removal Rate), SCEC (Specific Cutting Energy Consumption) ve SEC (Specific Energy Consumption) gibi talaşlı imalat işlemlerimde önemli kesme parametrelerinin hesabı yapılabilmektedir. MRR; İş parçasından bir saniyede kaldırılan mm³ cinsinden talaş miktarıdır. MRR aşağıda verilen Eşitlik 4 ile hesaplanmaktadır. SCEC bir malzemeden 1 mm³ talaş kaldırmak için harcanan kesme enerjidir (Eşitlik 5). SEC ise eşitlik 6'da yer alan formülle hesaplanan 1 mm³ talaş kaldırmak için toplam enerji tüketimi miktarıdır.

$$\text{MRR} = (a_p \cdot a_e \cdot F) / 1000 \quad (\text{Eşitlik 4})$$

$$\text{SCEC} \left(\frac{\text{J}}{\text{mm}^3} \right) = \frac{P_{\text{kesme}} \text{ (W)}}{\text{MRR} \left(\frac{\text{mm}^3}{\text{s}} \right)} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

$$\text{SEC} \left(\frac{\text{J}}{\text{mm}^3} \right) = \frac{P_{\text{total}} \text{ (W)}}{\text{MRR} \left(\frac{\text{mm}^3}{\text{s}} \right)} \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Sonuçlar (Results)

Tornada toplam dört operasyon için akım indeksleri farklı diş açma devir sayıları için ölçülmüştür (Tablo 15.). Enerji güç dönüşüm denklemleri yardımı ile bu akım indeksleri kWh olarak güç hesaplaması yapılmıştır. En yüksek güç tüketimi 180 RPM devir sayısı için frezeleme işleminde gözlemlenmiştir. En az güç gereksinimi ise 90 RPM devir sayısında 0,15 mm diş derinliğinde diş açma işleminde ortaya çıkmıştır.



T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
HAZIRLAMA VE DEĞERLENDİRME YÖNERGESİ
SONUÇ RAPORU FORMU

Tablo 15. Torna tezgâhında kademeli diş açma işlemi gücü (kWh)

Devir Sayısı	1. Op. Tornalama	2. Op. 0,15 Diş Derinliği	3. Op. 0,35 Diş Derinliği	4. Op. 0,65 Diş Derinliği
90	3,90	3,85	3,86	3,87
125	4,01	3,86	3,87	3,90
180	4,15	3,87	3,87	3,90

Her iki tezgâh için toplam enerji tüketimleri ve SEC değerleri üretim verileri ile birlikte karşılaştırmalı olarak Tablo 16' da yer almaktadır. Günlük üretim miktarı hesaplaması yapılırken; malzeme işleme ve uzaklaşma süreleri aynı süre olarak alınmıştır. Ürün söküp takma süresi 7 saniye olarak kabul edilmiştir. Her bir ürünün işlenmesi için gerekli enerji miktarı Wh olarak hesaplanmıştır. En küçük değer ve en az değer arasında %100' den fazla fark olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 16. Her iki takım tezgâhı için enerji tüketim ve imalat miktarı sonuçları

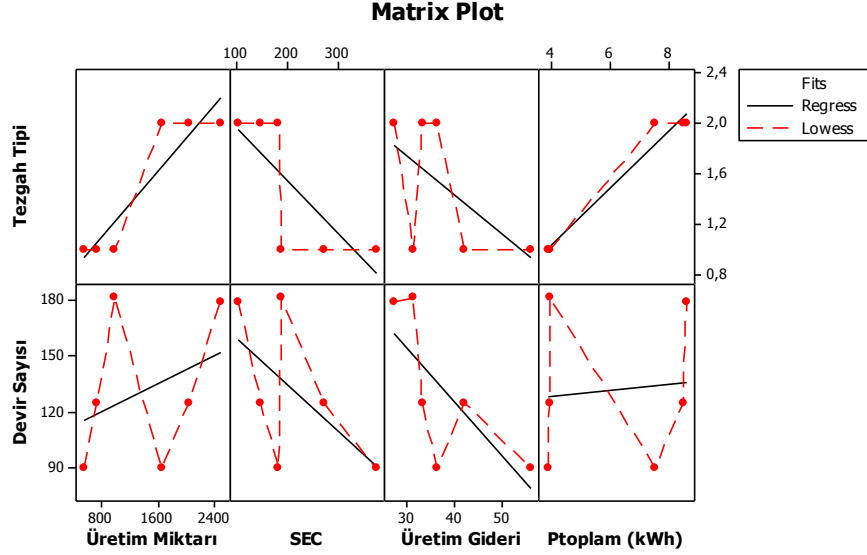
Devir Sayısı	Torna						CNC Freze					
	Ptoplam (kWh)	İmalat Süresi	MRR	SEC	Üretim Miktarı	Üretim Gideri (Wh)	Ptoplam (kWh)	İmalat Süresi	MRR	SEC	Üretim Miktarı	Üretim Gideri (Wh)
90	3,85	29,4	10,30	373,72	547	56	7,50	7,3	41,09	182,56	1659	36
125	3,87	21,1	14,30	270,45	732	42	8,45	5,2	57,09	147,99	2048	33
180	3,89	14,7	20,60	188,69	989	31	8,57	3,6	82,07	104,39	2507	27

CNC tezgâhlarda talaş kaldırma işlemlerinde SCEC ve Pkesme değerleri, malzemelerin işlenebilirliği hakkında bilgiler verdiği için önemli parametrelerdir. Prinç malzemelere diş açma işlemi bu çalışmada literatürde ilk defa hesaplanmıştır (Tablo 17.).

Tablo 17. CNC Freze tezgâhı için SCEC sonuçları

Devir Sayısı	90	125	180
P kesme	3,51	4,22	4,18
SCEC	85,52	74	50,99
Kesme Torku (Nm)	22,12	26,56	26,31

Anova Varyans analizi kullanılarak farklı tezgâh tipi ve devir sayılarında diş açma işleminin üretim miktarı, SEC, Üretim gideri ve Ptoplam değerlerine etki şiddetleri Minitap 16 Programı yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplamalar düşük hata oranlarında yapılmış ve tüm bu sonuçlara göre en yüksek oranda tezgâh tipinin üretim ve enerji sonuçlarını etkilediği belirlenmiştir. Matrix Plot özelliği ile devir sayısı ve tezgâh tipinin, üretim verimliliği, SEC, üretim gideri ve Ptoplam (kWh) değerlerine etkileri grafik haline getirilmiştir. Matrix plot regression özelliği ile lineer grafikler oluşturmuştur (Şekil 15.). Devir sayısı arttıkça aynı oranda üretim miktarı artış gösterirken Ptoplam değeri düşük oranda artış sergilemektedir. Devir sayısı artışı ile SEC ve üretim giderleri benzer oranlarda azalmaktadır. Tezgâh tipi üretim miktarının belirlenmesini yüksek oranda etkilerken devir sayısından farklı olarak Ptoplam değeri de yüksek oranda bu değişimden etkilenmektedir.



Şekil 15. Enerji tüketimi ve üretim değerleri için Matrix Plot grafiği

Sonuçların Değerlendirilmesi

Paslanmaz malzeme işlerken maksimum 1.8 kWh enerji sarfiyatı gözlemlenmiştir. EN-GJL-250 gri dökme demir malzemeye delik delme işleminde ise 6 kWh güç harcaması ölçmüştür. 6061 alüminyum malzemeyi tornalarken maksimum 5.8 kWh enerji sarfiyatı yapılmıştır. Bu üç farklı tip ileme yöntemi incelendiğinde en çok delik delme işleminde enerji harcaması oluşmuştur. Prinç redüksiyon ürününe diş açma işlemi diğer bu talaşlı imalat işlemlerinden daha yüksek miktarda enerji tüketimine ihtiyaç duymaktadır. Dökülmüş ve östemperlenmiş fittings malzemelerin diş açma işlemlerini araştırmışlardır. Dökme demir fittings malzemelerin diş açma işlemi için 16,5 kWh toplam güç tüketimine ihtiyaç olduğu gözlemlenmiştir. Bu işlem 170 RPM ile aynı CNC freze tezgahında ½ inc kılavuz ile gerçekleştirilmiştir. Prinç redüksiyon malzemeleri 180 RPM hızda diş açma işlemi maksimum 8,57 kWh enerji harcaması ile bu çalışmada uygulanmıştır. Bu sonuçlara göre neredeyse yarı yarıya enerji tüketimleri arasında her iki malzemenin fark bulunmaktadır. Seri üretim boru bağlantı elemanları genelde düşük mil devri ve yüksek tork miktarı ile üretimi yapılmaktadır. Bu çalışmada bu sonuçlara paralel olarak CNC freze tezgahı için diş açma işlemi 21 ile 26 Nm tork miktarı ile uygulanmıştır. Bu değer talaş kaldırmak için gerekli olan tork miktarı olup milin yataklarda ve güç aktarımlarında kaybettiği tork değerini içermez.

Anova Varyans analizleri F etki sonuçları incelendiğinde üretim enerjisi giderlerine en çok etki % 66 oranda tezgâh tipi bağılıyken % 34 oranda devir sayısı etki etmektedir. Seri üretimde minimum enerji maliyeti ile üretim yapmak için CNC Freze tezgâhı kullanılması gerekirken 180 RPM devir sayısında diş açmak bu enerji maliyetlerini azaltacaktır. SEC değeri ise %79 oranda tezgâh tipine ve % 21 oranda diş açma devir sayısına bağlıdır. Prinç malzemelerin talaşlı imalat enerji tüketimi maliyetleri bu makale ile araştırılmıştır. Torna tezgahında bir adet prinç redüksiyon iç dişi açmak için 31 – 56 Wh enerji gerekirken, freze tezgahında 27-36 Wh enerji gereksinimi bulunmaktadır. Her iki tezgah için optimum değerler hesaplanacak olursa aylık ortalama 10,000 adet ürün satışı için tornada 310 kWh ve CNC frezede 270 kWh enerji tüketimi gerçekleştirilmektedir. Araştırmaların yapıldığı endüstriyel kuruluş bundan farklı olarak 120 çeşit ürüne sahiptir. Her bir ürünün optimum işleme koşulları belirlenerek endüstride %100'ü bulan enerji tasarrufu sağlanabileceği bu makale sonucunda gözlemlenmiştir.

Destekleyen Diğer Kuruluşlarla Sürdürülen İşbirliği

Bu projede Konak Rakor Döküm Sanayi kuruluşu tesisleri ve altyapısı kullanılmıştır.

Bilimsel Etkinlikler



T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
HAZIRLAMA VE DEĞERLENDİRME YÖNERGESİ
SONUÇ RAPORU FORMU

Bu proje sonucunda 1 adet SCI-E, 1 adet E-SCI, 1 adet yurt dışı diğer ve 1 adet TR - Dizin makale yapılmıştır. İlerleyen dönemlerde bu konuyla ilgili araştırmaların artacağı düşünülmektedir.

Mali Etkinlikler

Bu dönemde hedeflenen mal ve hizmet alımları yapılarak deneyler düzenli bir şekilde tamamlanmıştır.

Sonuç

Günümüzde enerji maliyetlerinin yükselmesi ve enerji kaynaklarının azalması nedeniyle son yıllarda talaşlı imalat işleminde enerji tüketimleri ile ilgili yapılan araştırmalarının sayısı artmıştır. Prinç redüksiyon boru bağlantı elemanlarının seri üretim ortamları dikkate alınarak iç dış açma işlemi iki farklı yöntem için bu makalede incelenmiştir. Endüstride boru hatları ve ekipmanları için birçok alanda dış açma işlemi uygulanmaktadır. Bu çalışmalar sürdürülebilirlik ve enerji tasarrufu için güncel konuları oluşturmaktadır. Talaşlı imalat işlemlerinde enerji tüketimi araştırmaları için bu makale ile referans bir kaynak oluşturulmuştur.

Ekler

Kabul edilen yayınlar ve dergi isimleri;

Energy Consumption Model For The Pipe Threading Process Using 10 Wt.- Cu And 316L Stainless Steel Powder-Reinforced Aluminum 6061 Fittings, Materials Testing

Specific Energy Consumption (SEC) Model For Types Of Two Different Production Of Fittings Which Is Reinforced By Chips Of Copper And Brass, Journal of Polytechnic

Burak Öztürk; (2019), Experimental Research Of Energy Consumption Of Austenitizing Heat-Treated Casting Fittings In Pipe Threading. Sakarya University Journal of Science, 23(5), 869-878, DOI: 10.16984/saufenbilder.513294 Access link <http://www.saujs.sakarya.edu.tr/issue/44066/513294>

Öztürk, B., (2019). Prinç Boru Bağlantı Elemanının Seri Üretim Enerji Tüketiminde Optimizasyon, Technological Applied Sciences (NWSATAS), 14(3):68-79, DOI:10.12739/NWSA.2019.14.3.2A0170.