

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

COMPACTED GRAPHITE IRON (CGI)
MALZEMESİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

Tansel ERTAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE

2008

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ


COMPACTED GRAPHITE IRON (CGI)
MALZEMESİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

Tansel ERTAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Babur ÖZÇELİK

GEBZE

2008

 <p>GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ</p>	<p>MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ</p> <p>JÜRİ ONAY FORMU</p>
---	--

JÜRİ

ÜYE (BAŞKAN) :

ÜYE :

ÜYE :

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı ile yukarıdaki öğretim elemanlarından oluşmuş jüri tarafından düzenlenen/...../..... tarihli Tez Savunma Tutanağı neticesinde Yüksek Lisans öğrencisi **Tansel ERTAN**'ın çalışması GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Yönetim Kurulu/...../..... tarih ve/..... sayılı kararıylaAnabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak onaylanmıştır.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : Sıkıştırılmış Grafitli Demirin İşlenebilirliğinin Araştırılması

YAZAR ADI : Tansel ERTAN

Endüstrideki gerekliliklerin karşılanabilmesi için işlenebilirliğindeki zorluklar nedeniyle tercih görmeyen yoğunlaştırılmış grafitli demir, döküm teknolojisinin ve kesici-delici uçların performanslarının geliştirilmesi ile sıklıkla kullanılmaya başlandı. Yoğunlaştırılmış grafitli demir çoğunlukla otomotiv endüstrisinde fren disklerinde, eksoz manifoldlarında, motor bloğu üst kapaklarında, silindir kafalarında ve dizel motor bloklarında kullanıldı.

Yapısındaki magnezyum nedeniyle kesici-delici uçların çok çabuk aşınmasına neden olan yoğunlaştırılmış grafitli demirin işlenmesi ile ilgili parametreler kesin belirgin değildir. Yapılan kesme deneylerinde CBN, PCBN, Seramik ve Karbür kesiciler kullanılmıştır. Bu çalışmada ise karbür ve yüksek hız çeliği matkaplar farklı kesme ve ilerleme parametreleri ile denenmiştir. Deneyler sırasında malzemeye uygulanan kuvvet ve tork değerleri kayıt edilmiştir. Test sayısı, sonucu etkileyen faktörlerin en iyi derecelerini bulmak için denemeler yapmayı ön gören bir yöntem olan Taguchi tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Bu yöntem sayesinde optimum sonuca ulaşmak için gerekli deney sayısı oldukça azalır. Her deney sonrası matkabın ucunda oluşan aşınmalar, iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri ve matkaba uygulanan kuvvetler ölçülmeye çalışılmıştır. Yapılan varyans (Anova) analizi ile incelenen faktörlerin, çıktı değerlerini (yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve kuvvet değerleri) ne ölçüde etkilediklerini ve farklı seviyelerin nasıl bir değişkenliğe yol açtığı belirlenmeye çalışılmıştır.

SUMMARY

NAME OF THE THESIS: Researching of Compacted Graphite Iron's Machineability

AUTOR NAME : Tansel ERTAN

In order to supply industrial need, compacted graphite iron which is not preferred because of difficulties in machineability was started to be used with developments about casting technology and tool performances. Compacted graphite iron mostly used in automotive industry brake discs, exhaust manifolds, engine block top covers, cylinder heads and diesel engines.

Machining parameters of compacted graphite iron which wear tools quickly because of magnesium in the structure are not strictly obvious. In cutting experiments CBN, PCBN, Ceramic and Carbide cutters were used. In this study carbide and high speed steel drillers were tested with different cutting and feeding parameters. In time duration of experiments force and torque values were recorded. The number of tests were determined by using Taguchi method which projects tests in order to study about best degrees of factors which effect the result. With this method, the number of experiments to reach an optimum result reduces. At the end of each experiment wearings on drillers, surface roughness of workpiece and forces applied on drillers were tried to measure. With variance (Anova) analysis, it was tried to determine how studied factors effect output values (surface roughness, wearing, force) and what different levels cause on that.

TEŞEKKÜR

Bana her zaman olduğu gibi bu alışma srecinde de sürekli destek olan, hatta benimle birlikte Tasarım ve İmalat Bölümü diploması almayı hak eden evre Yk. Müh. Sayın Handan GEZER'e, çalışmalarım süresince bana izin veren ve beni destekleyen çalıştığım kurumdaki amirim Sayın Levent ÖZKAN'a, motivasyonumu dşrmememi sağlayan anneme ve babama, beni yönlendiren ve bana zaman ayıran tez danışmanım Doç. Dr. Sayın Babür ÖZÇELİK'e, Sabancı niversitesi'nin atölyesini kullanmamıza izin veren Doç. Dr. Sayın Erhan Budak ve Araş. Görv. Sn. Erdem ztrk'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
SUMMARY	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. CGI'İN FİZİKSEL ve KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	4
2.1. CGI Malzemesinin İşlenebilirliğini Etkileyen Faktörler	6
2.1.1. Grafit Şekline Bağlı Etkiler	7
2.1.2. Perlit Etkileri	8
2.1.3. Sülfür Etkileri	9
2.1.4. Alaşım Elementlerinin Etkileri	10
3. CGI'İN İŞLENMESİ	11
3.1. Elmas Başlı Kesme Malzemeleri ile İşlenmesi	19
3.2. Farklı Tip CGI ile Yapılan Testler ve Deneyler	21
3.2.1. İşlenebilirlik Testleri	22
3.2.2. Matkap Ömrü Kriter Aralığı	22
3.2.3. Kesimlerin Güç Ölçümleri	24
3.2.4. Test Sonuçları	24
3.2.4.1. CGI B ile Gri Demirin İşlenebilirliğinin Karşılaştırılması	24
3.2.4.2. CGI-450 (C, D ve E) Materyallerinin İşlenebilirliği	25
3.2.4.3. CGI-350 (F)'nin İşlenebilirliği	26
3.2.4.4. Kesim Güçlerinin Ölçüm Sonuçları	27
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	28
4.1. Deney Konusu	28
4.2. Deneylerde Kullanılan Ekipman ve Malzemeler	28
4.2.1. Matkaplar	28
4.2.2. Malzeme	29
4.2.3. Mikroskop (Takımdaki Aşınmaların Ölçülmesi)	30

4.2.4. Mikroskop (Fotoğraf Çekmek İçin)	30
4.2.5. Dinamometre	31
4.2.6. CNC Tezgahı	31
4.3. Deneyler	32
4.3.1. Deney Tasarımı	32
4.3.2. I. Deney	34
4.3.2.1. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama	34
4.3.2.2. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama	35
4.3.2.3. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama	36
4.3.2.4. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama	38
4.3.2.5. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama	39
4.3.2.6. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama	40
4.3.2.7. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama	42
4.3.2.8. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama	43
4.3.2.9. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama	44
4.3.3. II. Deney	46
4.3.3.1. 2 Nolu Matkap İçin Uygulama	46
4.3.3.2. 2 Nolu a Matkap İçin Uygulama	47
4.3.3.3. 2 Nolu Matkap İçin Uygulama	48
4.3.4. III. Deney	50
4.3.4.1. 3 Nolu Matkap İçin Uygulama	50
4.3.4.2. 3 Nolu Matkap İçin Uygulama	51
4.3.4.3. 3 Nolu Matkap İçin Uygulama	52
4.3.5. IV. Deney	54
4.3.5.1. 4 Nolu Matkap İçin Uygulama	54
4.3.5.2. 4 Nolu Matkap İçin Uygulama	54
4.3.5.3. 4 Nolu Matkap İçin Uygulama	54
4.3.6. V. Deney	55
4.3.6.1. 5 Nolu Uygulama Matkap İçin Uygulama	55
4.3.6.2. 5 Nolu Uygulama Matkap İçin Uygulama	55
4.3.6.3. 5 Nolu Uygulama Matkap İçin Uygulama	56
4.3.6.4. 5 Nolu Uygulama Matkap İçin Uygulama	56

4.4. Deney Sonuçları	57
4.4.1. 1.Deneyin Sonuçları	57
4.4.1.1. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü için S/N Değerleri	58
4.4.1.2. Aşınma Ölçümü için S/N Değerleri	59
4.4.1.3. Kuvvet Ölçümü için S/N Değerleri	59
4.4.1.4. Malzeme için Varyans Analizi (ANOVA)	60
4.4.2. 2.Deneyin Sonuçları	62
4.4.3. 3.Deneyin Sonuçları	63
4.4.4. 4.Deneyin Sonuçları	64
4.4.5. 5.Deneyin Sonuçları	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	70

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
CGI	Sıkıştırılmış grafitli demir
FCV	Ferrum casting vermicular
CBN	Cubic bor nitrur
LP	Düşük perlit
HP	Yüksek perlit
CI	Dökme demir
HBN	Brinell sertliği
FC-250	Gri dökme demir
SGI	Sünek demir
mm	Milimetre
d/d	devir/dakika
mm/d	milimetre/devir
inç/d	inç/devir
m/dak	metre/dakika
µm	mikrometre
Mn	Mangan
Si	Silisyum
S	Kükürt
Cu	Bakır
Cr	Krom
Ti	Titanyum
Sn	Kalay
Mg	Magnezyum
MnS	Manganez Sülfid

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. (a)Gri dökme demir, optik mikrograf.	
(b)3-D görünümlü CGI	4
2.2 .CI Grafit Yapısı	6
2.3. Dökme demirlere ait talaş oluşum sıralaması şeması	7
2.4. CGI'nın işlenmesinde perlit etkileri	8
2.5. 800 m/dak CGI ve CI malzemelerinin işlenmesinde sülfür etkisi	9
2.6. Krater aşınması ve katman oluşumu	10
2.7. Değişik seviyeler de titanyum içeren CGI'n işlenmesi	11
3.1. Yüzey Frezeleme için takım ömrü	14
3.2. Boylamasına tornalama için takım ömrü	14
3.3. Oksijen içeren ortamda 950°C'de rutil oluşumu	16
3.4. Üst CI25'i işlerken katman oluşumu, - alt: aynı takım ömrü için CGI hiç katman oluşumu yok	17
3.5. PCBN ile CI'nın boylamasına tornalanmasına ait Taylor Diagramı	18
3.6. Sülfür içeriğinin boylamasına tornalamada takım ömrüne etkisi	19
3.7. Takım ömrü ve PCD ile işlenen CGI'daki yüzey kalitesi	20
3.8. Gri demirin mikro yapısı.(a)perlitik etching işlemi uygulanmamış (b)nital etching işlemi uygulanmış % 2	22
3.9. CGI D'nin mikro yapısı (a)etching(aşındırma) işlemi uygulanmamış (b)nital etching işlemi uygulanmış %2	23
3.10. CGI F'nin mikro yapısı (a)etching işlemi uygulanmamış (b)nital etching işlemi uygulanmış %2	23
3.11. Delme İşleme (a) Aşınma yok (b) Flank Aşınması Olan Matkap	23
3.12. Gri demir A (FC-250) ve CGI B (CGI-550) için dayanıklılık testleri	25
3.13. VBmax=0.40 mm kriterini kullanarak test edilen materyallerin işlenebilirliğinin karşılaştırılması	26
3.14. CGI C, D, E ve F ile delme aletlerinin dayanıklılık davranışları	26
3.15. Tork ölçümleri	27

4.1. (a) M1, M2, M3 Nolu matkaplar (Linix marka DIN 6539 normunda TICN kaplı Ø 10 mm çapında karbür matkap) (b) M4 ve M5 Nolu matkaplar; (DIN 338 normunda, Ø 10 mm çapında HSS)	28
4.2. CNC tezgaha bağlanmış CGI iş parçası	20
4.3. Deneysel sonrası matkaptaki aşınmaların ölçümü	30
4.4. Deneysel sonrası matkaplardaki aşınma fotoğraflarının çekilmesi işlemi	30
4.5. Deneyler sırasında iş parçasına uygulanan kuvvet ve tork değerleri ölçümünde kullanılan dinamometre	31
4.6. Deneylerde kullanılan 5 eksenli CNC tezgah	31
4.7. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar	34
4.8. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar	35
4.9. Tork – zaman grafiği	36
4.10 Kuvvet – zaman grafiği	36
4.11. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar	37
4.12. Tork – zaman grafiği	37
4.13 Kuvvet – zaman grafiği	37
4.14. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar	38
4.15. Tork – zaman grafiği	38
4.16. Kuvvet – zaman grafiği	39
4.17. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar	39
4.18. Tork – zaman grafiği	40
4.19. Kuvvet – zaman grafiği	40
4.20. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar	41
4.21. Tork – zaman grafiği	41
4.22. Kuvvet – zaman grafiği	41
4.23. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar	42
4.24. Tork – zaman grafiği	42
4.25. Kuvvet – zaman grafiği	43
4.26. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar	43
4.27. Tork – zaman grafiği	44
4.28. Kuvvet – zaman grafiği	44
4.29. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar	45
4.30. Tork – zaman grafiği	45
4.31. Kuvvet – zaman grafiği	45

4.32. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar	46
4.33. Tork – zaman grafiği	46
4.34. Kuvvet – zaman grafiği	47
4.35. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar	47
4.36. Tork – zaman grafiği	48
4.37. Kuvvet – zaman grafiği	48
4.38. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar	49
4.39. Tork – zaman grafiği	49
4.40. Kuvvet – zaman grafiği	49
4.41. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar	50
4.42. Tork – zaman grafiği	50
4.43. Kuvvet – zaman grafiği	51
4.44. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar	51
4.45. Tork – zaman grafiği	52
4.46. Kuvvet – zaman grafiği	52
4.47. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar	53
4.48. Tork – zaman grafiği	53
4.49. Kuvvet – zaman grafiği	53
4.50. Yüzey pürüzlülüğü için S/N değerleri	58
4.51 Aşınma ölçümü için S/N değerleri	59
4.51 Kuvvet ölçümü için S/N değerleri	60

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
1.1. LP-CGI = Düşük perlitli CGI = 70% pearlitic , HP-CGI = Yüksek perlitli CGI = 95% pearlitic	1
2.1. Değişik tiplerdeki dökme demirlerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması.	5
3.1. CGI'nin değişik CBN kesicilerle ve PCD 20 ile kaba ve son işlenmesi.	12
3.2. CGI'nin değişik CBN kesicilerle tornada ve frezede kaba işlenmesi.	12
3.3. CGI'nin değişik CBN kesicilerle son işlenmesi	12
3.4. Deney malzemelerin FC 250, CGI 350, CGI 450, CGI 550'nin özellikleri	21
3.5. CGI 350, CGI 450, CGI 550 malzemelerinin içerikleri	22
4.1. Döktaş tarafından üretilen CGI iş parçasının kimyasal içeriği	29
4.2. Döktaş tarafından üretilen CGI iş parçasının kimyasal içeriği	29
4.3. Taguchi L ₉ deney tasarımına göre her üç sertlikteki malzeme için kesme şartları.	33
4.4. Deney seti	34
4.5. 1 nolu matkap uygulama değerleri	34
4.6. 1 nolu matkap uygulama değerleri	35
4.7. 1 nolu matkap uygulama değerleri	36
4.8. 1 nolu matkap uygulama değerleri	38
4.9. 1 nolu matkap uygulama değerleri	39
4.10. 1 nolu matkap uygulama değerleri	40
4.11. 1 nolu matkap uygulama değerleri	42
4.12. 1 nolu matkap uygulama değerleri	43
4.13. 1 nolu matkap uygulama değerleri	44
4.14. 2 nolu matkap uygulama değerleri	46
4.15. 2 nolu matkap uygulama değerleri	47
4.16. 2 nolu matkap uygulama değerleri	48
4.17. 3 nolu matkap uygulama değerleri	50
4.18. 3 nolu matkap uygulama değerleri	51
4.19. 3 nolu matkap uygulama değerleri	52

4.20. 4 nolu matkap uygulama değerleri	54
4.21. 4 nolu matkap uygulama değerleri	54
4.22. 4 nolu matkap uygulama değerleri	55
4.23. 5 nolu matkap uygulama değerleri	55
4.24. 5 nolu matkap uygulama değerleri	55
4.25. 5 nolu matkap uygulama değerleri	56
4.26. 5 nolu matkap uygulama değerleri	56
4.27. 1.Deney uygulama sonuçları	58
4.28. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için Taguchi L9 deney tasarımına göre ANOVA tablosu	61
4.29. Aşınma ölçümü için Taguchi L9 deney tasarımına göre ANOVA tablosu	62
4.30. Kuvvet ölçümü için Taguchi L9 deney tasarımına göre ANOVA tablosu	62
4.31. 2.Deney uygulama sonuçları	63
4.32. 3.Deney uygulama sonuçları	64
4.33. 4.Deney uygulama sonuçları	65
4.34. 5.Deney uygulama sonuçları	65

1. GİRİŞ

Sıkıştırılmış grafitli demir (CGI), Ferrum Casting Vermicular (FCV) veya Vermicular Graphite Iron olarak da bilinir. Yeni bir malzeme olmadığı halde işlenebilirliğindeki zorluklar nedeni ile CGI imalat çevrelerinde son zamanlara kadar nadiren kullanıldı. Bununla birlikte dökümle ilgili teknolojinin gelişmesi nedeni ile CGI malzemesinin işlenmesi sırasındaki zorluklar giderildi [1].

Mikro yapısı ve malzeme özellikleri bakımından CGI, gri dökme demir ile yumuşak dökme demir arasındaki bir malzemedir. Farklılık, döküm esnasında ilave edilen elementler ve değişik soğutma oranlarından kaynaklanmaktadır. Malzeme gri dökme demirden daha mukavim, daha iyi ısı iletkenliği büzölmeye karşı mükemmel direnç ve sfero (küresel grafitli) dökme demire göre çok daha iyi ısıl yorulma direnci özelliklerine sahiptir [1].

Yapısında normalde %10-30 arasında serbest ferrit ihtiva eder. Vermicular yapı ve grafit tabakalarındaki yuvarlak kenarlar diğer demirlere göre üstün malzeme özellikleri kazandırır. CGI'ın kimyasal içerik ve oranları Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1 LP-CGI = Düşük perlitli CGI = % 70 perlitli , HP-CGI = Yüksek perlitli CGI = % 95 pearlitli [1]

	C	Si	Mn	S	Mg	Al	Cu	Cr	Sn
LP- CGI	3,6–3,8	2,1–2,5	0,2–0,4	0,005–,0002	0,006–0,014	0,003–0,088	0,003–0,088	0,2–0,3	0,03–0,05
HP-CGI	3,6–3,8	2,1–2,4	0,43	0,018	0,012	–	0,96	0,03	1,06

Dökme Demir (CI) ile karşılaştırıldığında çekme gerilimi yorulma gerilimi, elastik modülü özellikleri daha gelişmiş olup daha üstün dayanım özelliklerine sahip olan CGI malzemesi daha verimli olması ve düşük atık seviyeleri gibi sağladığı avantajlardan dolayı tercih edilir. CGI'ın yüksek mukavemet ve malzeme özellikleri motor bloklarının daha dayanıklı, daha düşük ağırlıklı, daha iyi ölçüsel toleranslı, gürültü, titreşim, sertlik (HBN) özellikleri ile üretilmesi anlamına gelmektedir (Daha

mukavim / aynı ağırlıkta veya aynı mukavemette / daha hafif). Ayrıca CGI gri dökme demire göre daha az paslanma ve aşınma özelliklerine de sahiptir [1].

Özellikle son 10 yıldır yapılan çalışmalarla CGI, otomotiv endüstrisinde önemli bir konuma ulaştı. Bu malzeme, otomotiv endüstrisinde imal edilen fren diskleri, egzoz manifoldları, motor bloğu üst gövdeleri ve dizel motor blokları gibi parçaların imalat malzemesi olarak, ayrıca proseslerde yüksek basınç gerektiren yanma odalarında kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu malzeme motor bloklarında yanma odalarının, uygun mukavemette daha ince çeperli yapılmasına imkan tanıyarak motor bloğunun daha hafif olmasını sağlar.

Daha önce kullanılan gri dökme demirin yerine, otomotiv sektöründe; fren disklerinde, egzoz manifoldlarında, motor bloğu üst gövdelerinde ve dizel motor bloklarında sağladığı avantajlar sayesinde geçerli malzeme olarak kabul edilmektedir [2]. Dizel motorlarda CGI malzemesi kullanılarak daha iyi yanma performansı elde edilmektedir. Bu malzemenin sağladığı mekanik özelliklerle motor yanma hücrelerinde daha yüksek basınçlarda çalışma olanağı yakalanmıştır. [3]

CGI'ın Kullanıldığı Diğer Yerler; [1]

- Dizel motor blokları
- Dizel silindir kafaları
- Deniz motorları
- Tarım ekipmanları
- Lokomotiflerde kullanılan dizel motorlar
- Lokomotiflerde kullanılan fren diskleri

Otomotiv endüstrisinin yanında deniz ve demiryolu endüstri üreticileri de bu malzemeyi kullanmaktadır.

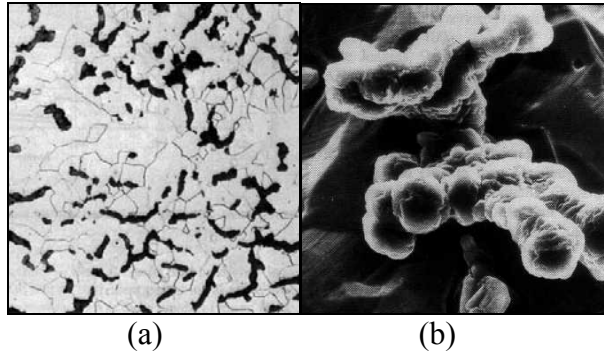
Gri dökme demir ile karşılaştığımızda CGI malzemesinin kullanımındaki ana dezavantaj, malzemenin işlenebilirliğindeki zorlukların getirmiş olduğu yüksek maliyettir. Bu sıkıntılardan dolayı artan proses maliyetlerinin azaltılması amacıyla

malzemenin işlenebilirlik özelliğini yükseltmek için yeni bir alaşımın geliştirilmesi çalışmaları devam etmektedir.

Bu çalışmalarda motor blokları imalatında yaygın olarak kullanılan gri dökme demir FC-250 referans malzemesi olarak kullanılmıştır. 5 farklı CGI malzemesine delme işlemi uygulanarak referans malzemesinin işlenebilirlik özelliği ile kıyaslanmıştır. Bu karşılaştırmalarda kesici takımların aşınması ve kesme kuvvetleri baz alınmıştır. Bu deneylerle CGI-450 malzemesinin işlenebilirliğinde % 83 oranında (FC-250 ile kıyasladığımızda) gelişme kaydedilmiştir. Böylelikle bu malzeme ile üretilen motor blokları ve diğer otomobil parçaları imalatında da gelişme sağlanmıştır.

2. CGI'IN FİZİKSEL ve KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Motor bloklarının imalatında gri dökme demirin yaygın olarak kullanımı, mükemmel işlenebilirlik özellikleri, titreşim absorbe edebilme kapasitesi, iyi ısı iletkenlik ve düşük imalat maliyetleri sebebiyledir. Daha iyi ısı iletkenlik, malzeme yapısındaki iç bağlı grafit tabakaları sayesinde [4]. Fakat iç bağlı grafit tabakaları nedeniyle malzemenin mekanik mukavemeti, sünekliği ve tokluğu azalmaktadır. Çünkü malzemenin bu yapısı stres dağılımı etkisi ve matrix yapısının süreksizliğine neden olmaktadır [5]. CGI malzemesinin iç yapısında bulunan grafitin çoğunluğu farklı bir geometri içerisinde iç bağlıdır (Şekil 2.1). Bu nedenle yapı içerisindeki süreksizlik ve düşük gerilim değerleri dairesel kenarlar nedeniyle önemsiz miktardadır.



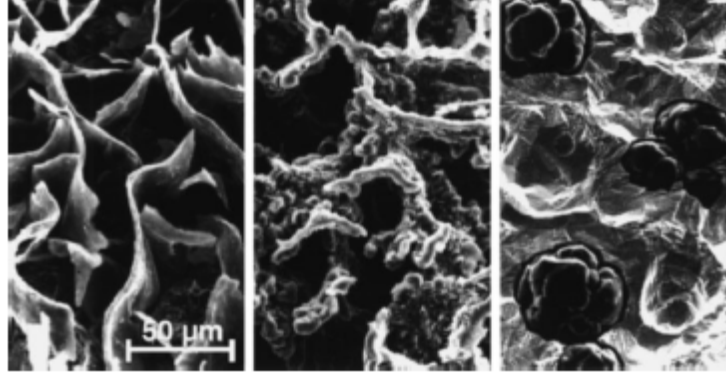
Şekil. 2.1 (a)Gri dökme demir, optik mikrograf. (b)3-D görünümlü CGI MEV 395 x [6].

CGI ve gri dökme demire ait grafit şekilleri farklıdır. Bu farkın asıl nedeni CGI'nin mekanik özelliklerinden, özellikle mekanik ve yorulma dayanımından, ısı iletkenliklerdeki ve darbe sönümlenme kapasitelerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Tablo 2.1' de gri dökme demir, CGI ve sünek demirin (ductile iron) karşılaştırma değerleri görülmektedir. Tabloda CGI'nin özellikleri temsili olarak % 100 alınmıştır. CGI'nin özelliklerinin gri ve sünek demire ait özelliklerin arasında olduğu görülmektedir.

Tablo 2.1 Değişik tiplerdeki dökme demirlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması.

Özellik	Gri D.D.	CGI	Sünek Demir
Max. Çekme Gerilimi	55 %	100 %	155 %
Akma Gerilimi	-	100 %	155 %
Elastiklik Modülü	75 %	100 %	110 %
Yorulma Dayanımı	55 %	100 %	125 %
Sertlik	85 %	100 %	115 %
Sönümlenme Kapasitesi	285 %	100 %	65 %
Isıl İletkenlik	130 %	100 %	75 %

Gri dökme demir (CI), (CGI) ve sünek demir (SGI) grafit parçalarının şekillerine göre ayrılırlar. Şekil 2.2’de belirtildiği üzere CI, rastgele dizilmiş grafit tabaka parçalarıyla nitelendirilirken; SGI’de grafit parçaları ayrı küreler halinde bulunmaktadır. Bunun tersine, CGI’deki grafit parçaları solucansı şekilde görünürler. Buradaki parçalar, CI’daki gibi, uzanmışlardır ve rastgele yönlenmişlerdir; ancak daha kısırdırlar, daha kalındırlar ve yuvarlak kenarlara sahiptirler. CGI, 2 boyutlu olarak görüntülendiğinde solucansıdır. Ancak asitle derin yakma işlemine tabi tutulduktan sonra elektron mikrografların gösterdiği, solucanların kompleks mercanımsı yapısıyla birleştiği bir biçimdir. Yuvarlak kenarları ve düzensiz engebeli yüzeyleriyle CGI’nin mercanımsı yapısı grafit ve demir matriksi arasında kuvvetli bir yapışmaya yol açar. CI’daki yumuşak yüzeyli grafit tabaka parçaları çatlak başlangıcına ve büyümesine yol açarak malzemeyi nispeten daha güçsüz ve kırılğan yaparken; uzatılmış CGI yapısı doğal çatlak patikalarını elimine ederek mukavemet ve sertlik sağlar. SGI ile karşılaştırıldığında CGI daha iyi sönümlenme özelliklerine, daha iyi termal iletkenliğe ve daha iyi dökülebilirliğe sahiptir [7]. Bu özelliklerine bakılarak CGI özellikle de otomobil motor blokları gibi birçok düşük ağırlıklı yapının gereklerini karşılar.



Şekil 2.2 Sırasıyla CI, CGI ve SGI Grafit Yapıları [7]

Grafit yapısındaki tabakalı şekilden sıkıştırılmış şekle geçiş, katılan magnezyumun etkisiyle sağlanmaktadır. Sıkıştırılmış grafit şekli oluşturmak için yapıya eklenen magnezyumun miktarı % 0,006 ve % 0,014 değerleri arasında tutulmalıdır. Normal dökme işleminde magnezyumu bu düşük değerlerde tutmak zordur. Bu durumlarda magnezyumun yumrulaştırma etkisini azaltmak amacıyla kompozisyona % 0,1 ile % 0,2 oranları arasında titanyum eklenerek daha yüksek yüzdeli magnezyum için CGI malzemesi elde etme olasılığı artırılır. Ama titanyum ekleme işlemi, titanyum karbür ve karbonitrat gibi sert içerikler oluşmasına neden olarak ürünün işlenebilirlik özelliğini olumsuz yönde etkiler [8], [9]. Bu nedenle titanyum, silindir kafaları ve silindir blokları imalatlarında kullanılmaz.

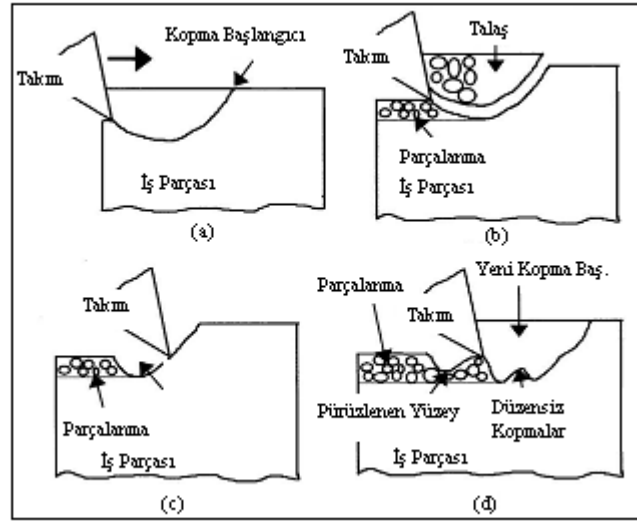
2.1. CGI Malzemesinin İşlenebilirliğini Etkileyen Faktörler

CGI'nın eşsiz özellikleri onun tüm kesici takımlarla işlenmesini zorlaştırmaktadır. Gri dökme demir gibi CGI da nispeten yumuşak fakat çok aşındırıcıdır. Bu nedenle işlenmesi esnasında kesim bölgesinde yüksek miktarda ısı açığa çıkmaktadır.

CGI malzemesinin işlenebilirliği ile ilgili önemli veriler aşağıda görüldüğü gibi sınıflandırılmıştır: [8]

- Grafite şekline bağlı etkiler
- Perlit etkileri
- Kimyasal element etkileri (Sb, Mn, Si, S, Ti, Cr)
- Alaşım elementlerinin etkileri

2.1.1. Grafite Şekline Bağlı Etkiler: Talaşlı imalatta dökme demirden talaş oluşumu yapıdaki grafit varlığından doğrudan etkilenir. Yapıdaki grafit varlığı, matrix yapısındaki düzensiz gerilim dağılımı etkilerine ve süreksizliklere neden olduğundan mekanik dayanım özelliğini azaltmaktadır. Bu da talaş kaldırma işlemini kolaylaştırmaktadır. Şekil 2.3’de gri dökme demir ve sünek (ductile) demire ait talaş oluşma mekanizmaları görülmektedir.



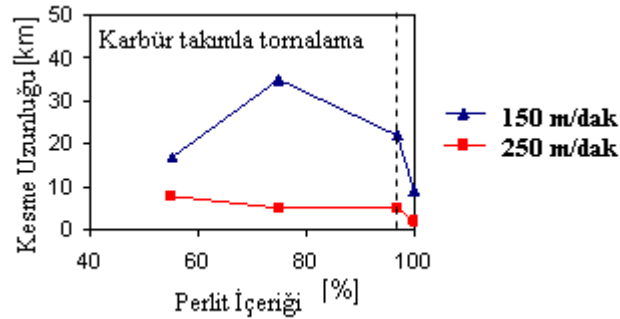
Şekil 2.3 Gri ve Sünek dökme demirlere ait talaş oluşum sıralaması şeması. [10].

(a) başlangıçta kesici takım yan yüzeyin altından malzemeye baskı yaparak talaş koparma işlemini kesme kenarı önünde ve altında sağlar. (b) kesici takımın kesme hareketi ilerledikçe malzeme parçaları tamamen sökülür. (c) bazı durumlarda özellikle gri dökme demirlerde, yırtılan malzeme kesici takımın önünde kalması

kesici takımla iş parçası arasında bir sonraki talaşa kadar kısa süreli temas kayıplarına neden olur. (d) malzeme yırtılması iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü artırır. Sünek (ductile) dökme demir için gerinim daha yüksektir, bu nedenle malzeme yırtılması daha düşüktür [10]. CGI'a ait talaş oluşum özelliği gri dökme demir ve sünek (ductile) demire ait özellikler arasındadır [11].

2.1.2. Perlit Etkileri: Kalan değişkenler sabit tutulurlarsa dökme demirlerin mekanik mukavemetleri perlit/ferrit oranı ile orantılıdır. Bu durum, yüksek miktarda perlit içeriği takım aşınmasını artırır anlamına gelmez.

CGI'ın farklı oranlarda perlit içeren malzemelerinin tornalama testleri sonuçları, Dawson [8] tarafından incelendi ve değerlendirildi. Cu ve Sn, dengeleme elementleri olarak kullanıldılar. % 100 perlit içeriğine ulaşmak için Mn da eklendi. Şekil 2.4'de testlerde 150 ve 250 m/dak kesme hızlarında karbür takımları ile işlenen CGI malzemesinde perlit etkisi görülmektedir.



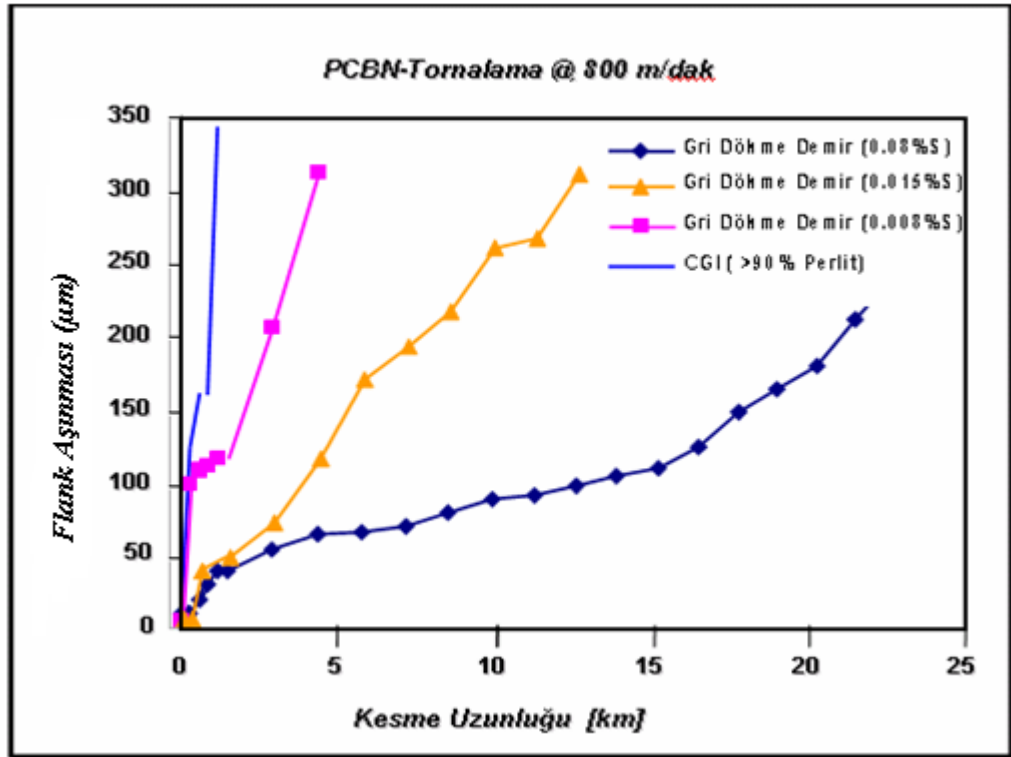
Şekil 2.4 CGI'nın işlenmesinde perlit etkisi [8].

150 m/dak. kesme hızında ve % 70 ile % 97,5 perlit içeriği aralığında, takım ömrü beklenenin tersine % 75'te en yüksek değerine ulaşıyor. Mangan alaşımlı (% 100 perlit) takımların ömürleri ani düşüş gösteriyor. Bu durum % 2,5'lik perlit artışından kaynaklanmamaktadır. Ferritin mikro sertliğinden ve mikro yapısındaki diğer değişimlerden kaynaklanmaktadır [8].

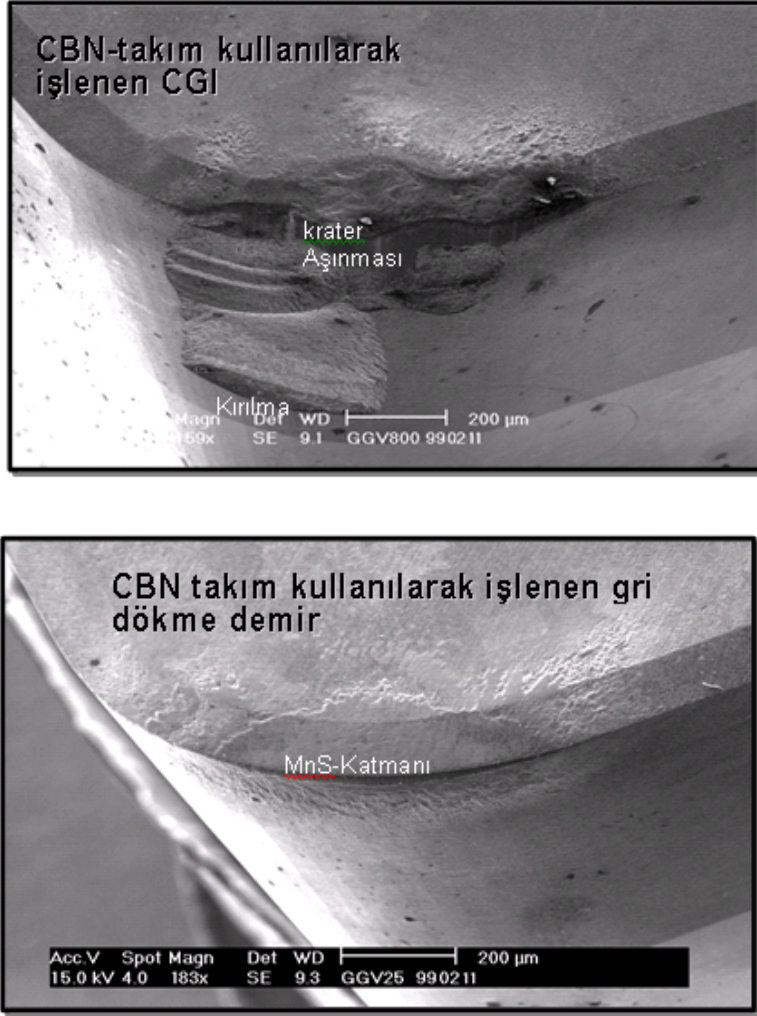
2.1.3. Sülfür Etkileri: Sülfür, manganez ile birlikte manganez sülfür halini alır (MnS). Boehs (1979) [12] şunu açıklamıştır; ferrit yapılı siyah temper dökümde MnS'in bulunması temel olarak talaşın kırılabilirliğinin güçlendirilerek, demirin işlenebilirliğini geliştirmektedir.

MnS, bir yağlayıcı gibi davranarak gri demirin işlenebilirliğini ve demirin kolay kesilebilme özelliğinin geliştirilmesini sağlar. Özellikle yüksek kesim hızlarında, difüzyon ve oksitlenmeye karşı korumada MnS'nin malzeme yüzeyine bağlılığı yağlayıcı bir katman oluşturur. Yaklaşık % 0.01 dolaylarındaki sülfür miktarından dolayı, CGI için böyle bir katman oluşumu yoktur, veya gri demir için olandan on kez daha azdır. Daha da fazlası, CGI'daki sülfürün artması magnezyum ile birleşmektedir. Bu nedenle, Şekil 2.6 görüldüğü gibi, manganez ile birleşip koruyucu katman oluşturacak miktarda sülfür kalmaz. [14].

Şekil 2.5'te 800 m/dak hızla CGI ve CI malzemelerinin tornada işlenmesinde sülfür içeriğinin etkileri daha iyi görülmektedir.



Şekil 2.5 800 m/dak CGI ve CI malzemelerinin işlenmesinde sülfür etkisi. [15]

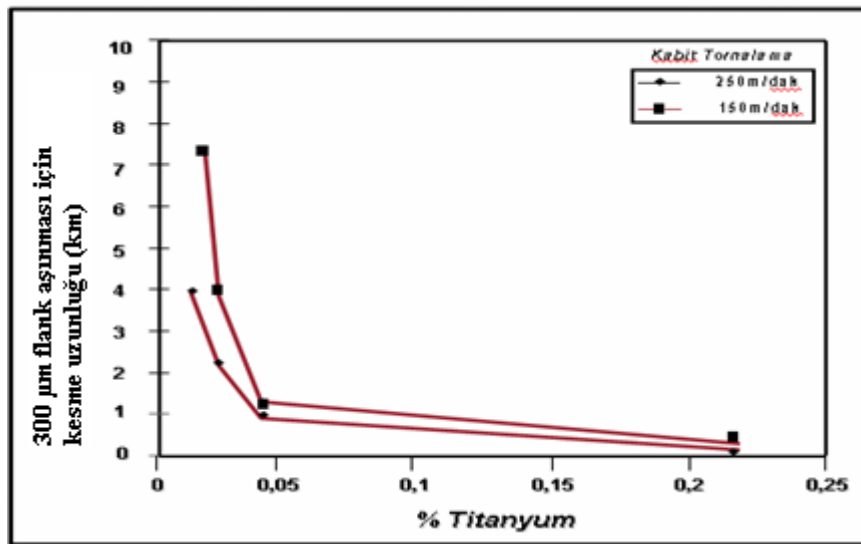


Şekil 2.6 Krater aşınması ve katman oluşumu [14]

2.1.4. Alaşım Elementlerinin Etkileri: Krom ve Titanyum gibi karbür oluşturan elementlerin dökme demirin, CI'nın, işlenebilirliği üzerinde kararlı bir etkisi bulunmaktadır. CI'daki titanyum oranı % 0.005 ile % 0.02 arasında değişmektedir. Eriyik demirde titanyum katı titanyum karbonitrid içeriklerini oluşturur [7]. Aslında bu içerikler tungsten karbür gibi kesme malzemelerine nazaran daha serttirler. CI'nın titanyumun oranı yapının içine katılan ham maddelerle veya aşınma direncini yükseltmek için bilinçli olarak eklenen alaşım malzemeleri ile belirlenir. Şekil 2.7'de görüldüğü gibi değişik miktarlarda titanyum içeren CGI'nin işlenmesinde, eklenen titanyum miktarındaki artışa paralel olarak olumsuz bir etki gözlenmektedir. Tornalamada titanyum zerrelerinin miktarında 0.01'den - 0.02'ye kadar olan küçük bir artış bile takım ömründe yaklaşık olarak % 50'lere varan bir

düşüşe neden olmaktadır. Daha yüksek titanyum seviyelerinde ise malzeme neredeyse işlenemez duruma gelmektedir.

Alaşımli gri dökme demir, mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılmaktadır. Diğer elementlerden ziyade krom, kalay, manganez, bor, bakır, titanyum, molibden ve nitrojen gibi bazı alaşım elementleri ferrit fazında katı çözelti katılaşması sağlamak suretiyle sertliği ve çekme gerilimini artırırlar. Genelde alaşım elementleri sertlik ve çekme geriliminde % 20 - % 25'lik artış sağlarlar [7]. Gerek yüksek hızlarda CBN ile gerekse düşük hızlarda karbür ile işleme yapılsın; krom alaşımli CI'yı işlerken takım ömründe CGI'ı işlerkenki seviyelere kadar bir düşme gözlenir. Bu araştırmalar göstermektedir ki, sadece grafit yapısı değil aynı zamanda kimyasal kompozisyon da CGI'ın işlenebilirliğinde baskın bir rol oynamaktadır.



Şekil 2.7. Değişik seviyeler de titanyum içeren CGI'ın işlenmesi. [15]

3. CGI'İN İŞLENMESİ

Otomotiv endüstrisinde kullanılan CGI'nın endüstriyel uygulaması, onu işleyen takımın ömründe önemli seviyede düşme gerçekleşmesinden ötürü ve işlenebilirliğinin ekonomik olmamasından dolayı daha uzun zaman almaktadır. Dökümhanelerin, üreticilerin ve malzeme-bilimcilerin işbirliği ile katıldıkları 6 yıl süren bir araştırmanın sonunda, aşınma mekanizması anlaşılmış ve şöyle tanımlanmıştır: "Dökme demirin mikro yapısında bulunan sülfür, kesme yüzeyinde

oluşan manganez sülfür katmanının oluşumuna direk etki etmektedir.” [16] Gri dökme demiri işlemek için bu katman işleme kenarını yıpratıcı aşınmaya karşı korumaktadır. CGI’da ise katman oluşumu olmamaktadır. CGI’nin işlenmesi için, oluşacak yıpratıcı aşınmalara karşı yeni kesici malzemeler ve takımlar geliştirilmelidir.

CGI’yi otomotiv seri üretiminde kullanmanın başlıca dezavantajı onu yüksek kesme hızlarında işlemenin CI’ya kıyasla belirgin bir şekilde zor olmasıdır. CGI’ dan imal edilmiş bir motor bloğunun iletim hatları üzerinde gerçekleştirilen testlerin değerleri, takım ömründe muazzam bir düşüş göstermektedir. CGI’ın PCBN ile işlenmesi mümkündür fakat ekonomik değildir. Bu durum PCBN kesici kullanılmadan önce açıkça anlaşılmalıdır. Frezeleme gibi aralıklı kesme operasyonlarında yüksek hızlarda PCBN’i kesici takım olarak kullanırken, takımın ömrü yaklaşık % 50 azalmaktadır. CGI’nin CBN kesiciler ile işlenmesi de mümkündür [16]. Tablo 3.1, 3.2, 3.3’ de CGI malzemesinin CBN kesiciler kullanılarak işlenebildiği görülmektedir.

Tablo 3.1. CGI’in değişik CBN kesicilerle ve PCD 20 ile kaba ve son işlenmesi [1]

Kaba işleme (D.O.C. > 0,5 mm)	Son işleme (D.O.C. < 0,5 mm)
CBN300/CBN20	CBN100/CBN10/PCD20

Tablo 3.2. CGI’in değişik CBN kesicilerle tornada ve frezede kaba işlenmesi.[1]

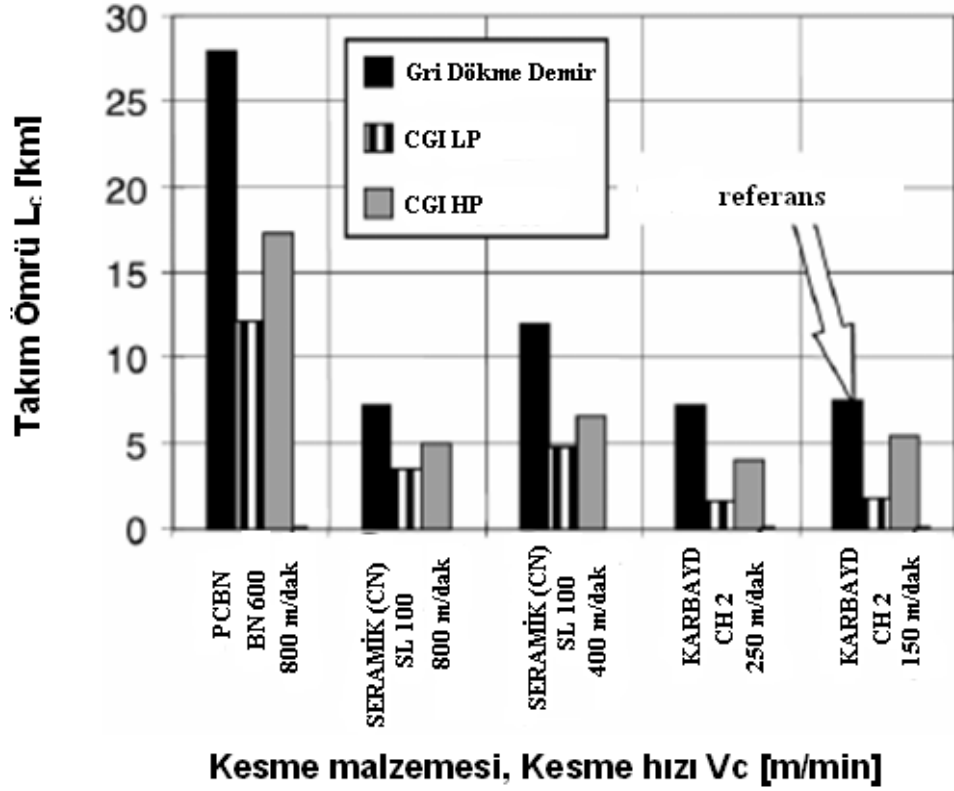
İşleme Şekli	Sürekli veya düşük seviyede aralıklı kesimler için tavsiye edilir.	Yüksek seviyede aralıklı kesimler için tavsiye edilir
Tornalama	CBN300/CBN20	CBN300/CBN20
Frezeleme	CBN300/CBN20	CBN300/CBN20

Tablo 3.3. CGI’in değişik CBN kesicilerle son işlenmesi [1]

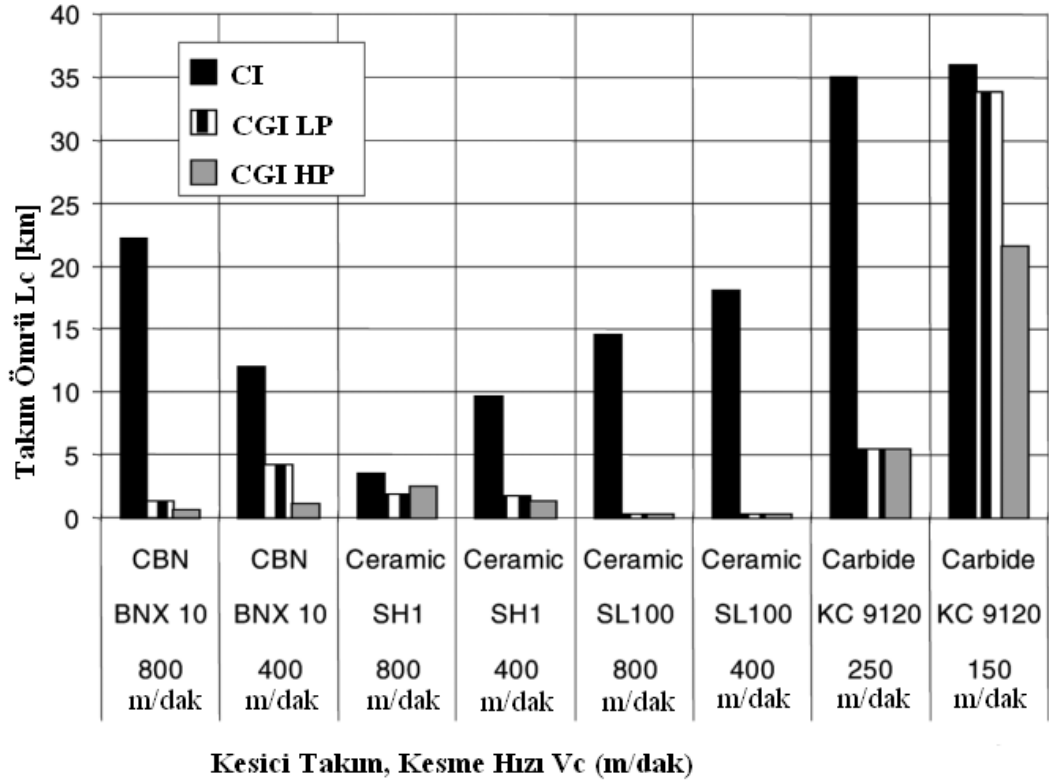
İşleme Şekli	Sürekli veya düşük seviyede aralıklı kesimler için tavsiye edilir.	Yüksek seviyede aralıklı kesimler için tavsiye edilir
Tornalama	CBN100/CBN10 / PCD20	CBN100/CBN10
Yiv açma	CBN100/CBN10	CBN100/CBN10
Frezeleme	CBN 100/CBN10	CBN100/CBN10

CI'nın işlendiği, silindir içi delme gibi aralıksız yapılan operasyonlarda takım ömründe % 10'a kadar düşme tanımlanmaktadır. Takım ömründeki bu düşüş nedeniyle, frezeleme (fasıllı işleme) ve boylamasına tornalama (aralıksız işleme) işlemleri için uygun kesme malzemeleri ve kesme hızları bulmak amacıyla bir araştırma başlatılmıştır. Motor bloklarındaki aynı mikroyapıyla çalışmak için bu araştırmanın içindeki tornalama ve frezelemede kullanılacak iş parçaları İsveç'te bulunan Sintercast Technologies firması tarafından dizayn edilmiştir. Frezeleme testleri boyunca kesici sadece iki uç ile donanımlandırılırken tornalama test parçaları boylamasına tornalamada ve tek bir uçla işlenmişlerdir. Kesme testlerindeki aşınma ömrü değeri (end-of-life criteria) 300µm flank aşınması olarak belirtilmiştir. CI, düşük perlitli CGI (yaklaşık % 60 perlit içeriğiyle) ve yüksek perlitli CGI (yaklaşık % 90 perlit içeriğiyle) için gerçekleştirilen yüzey frezeleme ve boylamasına tornalama işlemleri sonuçları Şekil 3.1 ve şekil 3.2'de görülmektedir. Geleneksel karbür kaplamalı takımlarla düşük kesme hızlarında (150-200 m/dak) CI ile çalışmak, tornalama ve frezelemedeki takım ömrünün, CGI ile çalışmaya kıyasla yaklaşık % 50 daha uzun olmasını sağlamaktadır. Benzer şekilde yüksek hızlarda (400-800 m/dak) seramik veya polikristalin kübik boron ile CI 'yı işleme, CGI'ya nazaran takım ömrünün yaklaşık % 50 artmasını sağlar [17], [18]. Bu şartlar altında CI ile CGI'nın takım ömürleri arasındaki fark genellikle iş parçası malzemesinin mekanik özelliklerindeki artmayla ilişkilidir.

CGI'nın işlenebilirliğindeki en önemli fark tornalama gibi yüksek hızlarda (>400 m/dak) gerçekleşen işlemlerde oluşmaktadır. Bu kesme hızları özellikle de silindir içi delme işlemindeki modern iletim hatlarını temsil ettiklerinde önemlidirler. Bu şartlar altında seramik ve PCBN takım ömürleri CI ile elde edilenlerden 10-20 kat daha az olabilir.



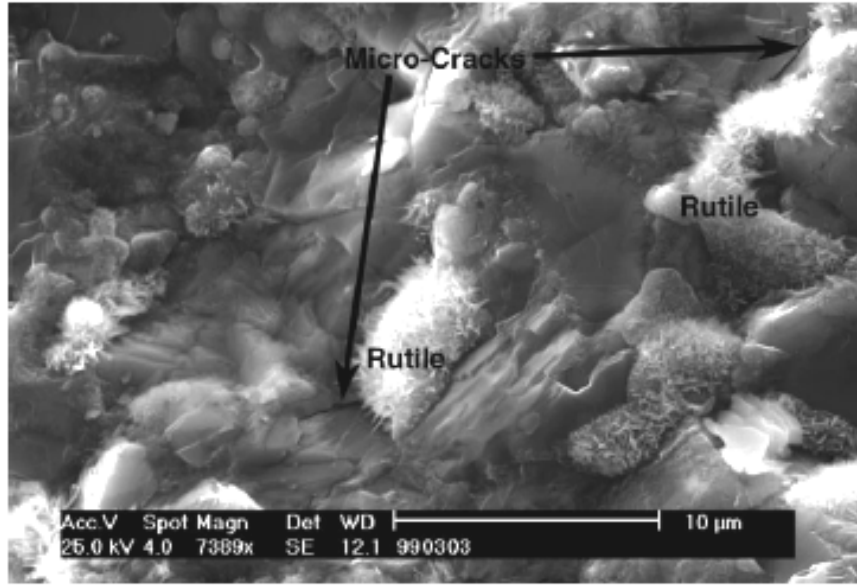
Şekil 3.1. Yüzey Frezeleme için takım ömrü ($a_p=2$ mm, $f_z=0.15$; soğutucu yok) [16]



Şekil 3.2 Boylamasına tornalama için takım ömrü ($a_p=0.15$ mm – PCBN&Seramik /0.2 mm – Karbid; $f=0.3$ mm; soğutucu yok) [16]

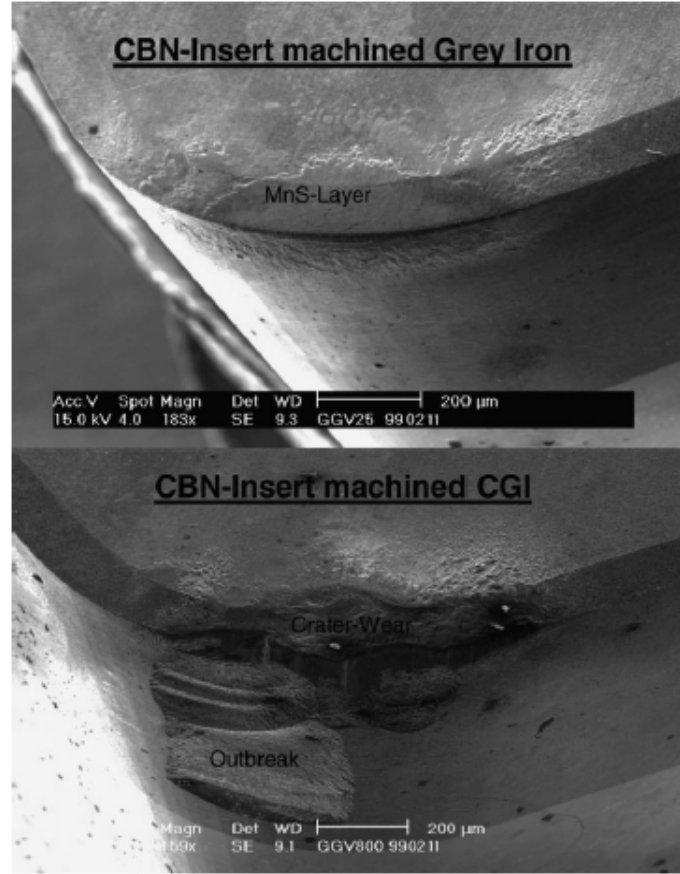
Geleneksel işlemede yıpratıcı aşınmanın sıcaklıkla değişimi neredeyse sabit iken yapışma aşınmaları daha çok düşük sıcaklıklarda yoğunlaşmıştır [19], [20]. Yüksek hızlarda difüzyon ve oksidasyon etkileri artmaktadır [21], [22]. CGI ile CI'nın yıpratıcı aşınma davranışlarını karşılaştırmak için disk-üstü-iğne testleri gerçekleştirilmiştir. Eşit sertlikte CGI'dan CI'ya göre % 33 daha az yıpratıcı aşınma bekleneceği bu testlerle gösterilmektedir. PCBN tipi takım kullanılırken yapışma veya sürtünme davranışı CGI malzemesinde % 15 daha büyük olmaktadır. Artan yıpratıcı direnç ve sürtünmenin oluşturduğu bu birleştirilmiş etki, CGI malzemesini frezelerken düşük sıcaklıklarda takım ömründe % 50 seviyelerde ortaya çıkan azalmayı açıklamaya yardımcı olur. CGI'nin yayınma (difüzyon) davranışı % 99,99 saf helyum atmosferine sahip bir yüksek sıcaklık fırınında gözlemlenmiştir. Bu ortamda CI ve CGI test parçaları 6 saat süre ile 700°C ile 1050°C sıcaklıkları arasında PCBN ile etkileşimde tutulmaktadır. Bu sıcaklıklar sırasıyla CI ve CGI'nin yüksek hızlarda kesme kenarında oluşan sıcaklıklarını temsil etmektedir. Her iki sıcaklıkta da bor, tungsten ve titanyum içeren elementlerin test parçasına yayındıkları gözlenmiştir. Bu sonuç PCBN birleştiricisi ile malzemelerin içeriğindeki CBN kristallerinin birbirlerine difüzyonuna işaret etmektedir. Söz konusu difüzyon yüksek sıcaklıklarda daha yüksek seviyede gözlemlenmesine rağmen CI ile CGI'nin yayınma davranışlarında önemli bir fark bulunamamıştır. Bu olay CI ile GCI'nin kimyasal yapılarında kuvvetli benzerlikler olmasından ötürü bir sürpriz olarak nitelendirilmeyebilir. Termal gravimetri araştırmaları hem yapıştırıcı fazının hem de CBN partiküllerinin oksidasyonunu göstermektedir.

750°C sıcaklığının aşıldığı oksijen içeren ortamlarda kesici ucun tamamından oksidasyon nedeniyle ayrı bir kütle kazanımı gerçekleşir. 300 K/h ısı oranıyla sıcaklığın sürekli olarak 950°C'ye kadar çıkarıldığı şartlarda, toplamda 0.75%'lik bir kütle kazanımı sağlanmaktadır. Şekil 3.3'de bağlayıcının rutil (TiO₂) iğneler formunda olan oksidasyonunu ve rutil oksidasyon alanlarında oluşan mikroçatlakları göstermektedir [18].



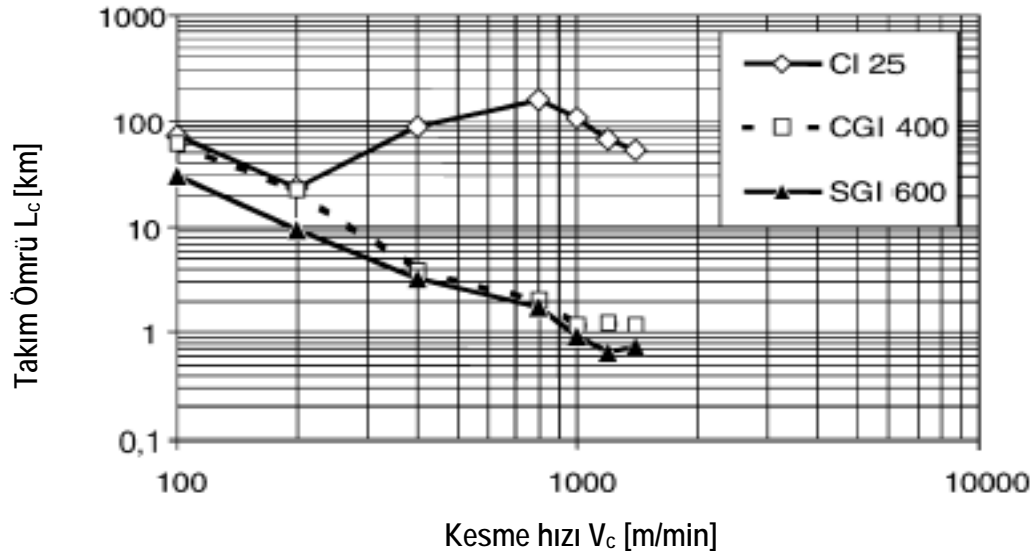
Şekil 3.3 Oksijen içeren ortamda 950°C’de rutil (TiO₂) oluşumu [18]

Bütün bu temel araştırmalar CI’nin PCBN kullanılarak tornalanmasında görülebilecek bir fenomeni açıklayabilecek cevapları sağlamamaktadır. Şekil 3.5’ de azaltılmış kesme hızında takım ömründeki azalmayı göstermektedir (Lc – CI25 & PCBN, 800 m/dakikalık kesme hızında < Lc – CI25 & PCBN, 400 m/dak’lık kesme hızında) [12]. Gri dökme demirin (CI25) ve sıkıştırılmış grafit demirin (CGI) PCBN kullanılarak yüksek hızlarda işlenmelerinin arasında mevcut olan çok önemli bir fark ise kesme kenarındaki koruyucu katmanının oluşumudur. Bunu tanımlamak için 10, 100, 400, 800 m/dak’lık kesme hızlarında her iki malzeme için kesme araştırmaları yapılmıştır. 10 ve 100 m/dak gibi düşük kesme hızlarında her iki malzemeyi kesmekte kullanılan takımların kesme kenarlarında bir farklılık gözlenememiştir. Herhangi bir katman oluşumu görülmemiştir. Ancak 400 m/dak kesme hızına CI’yı işlemek için kullanılan kesme kenarında bir katman tanımlanabilmiştir. Bu katman 800 m/dak kesme hızında daha yoğun hale gelmektedir. Şekil 3.4’de görüldüğü gibi yüksek hızlarda işlenmesinde dahi CGI’da herhangi bir katman oluşumu olmamıştır.



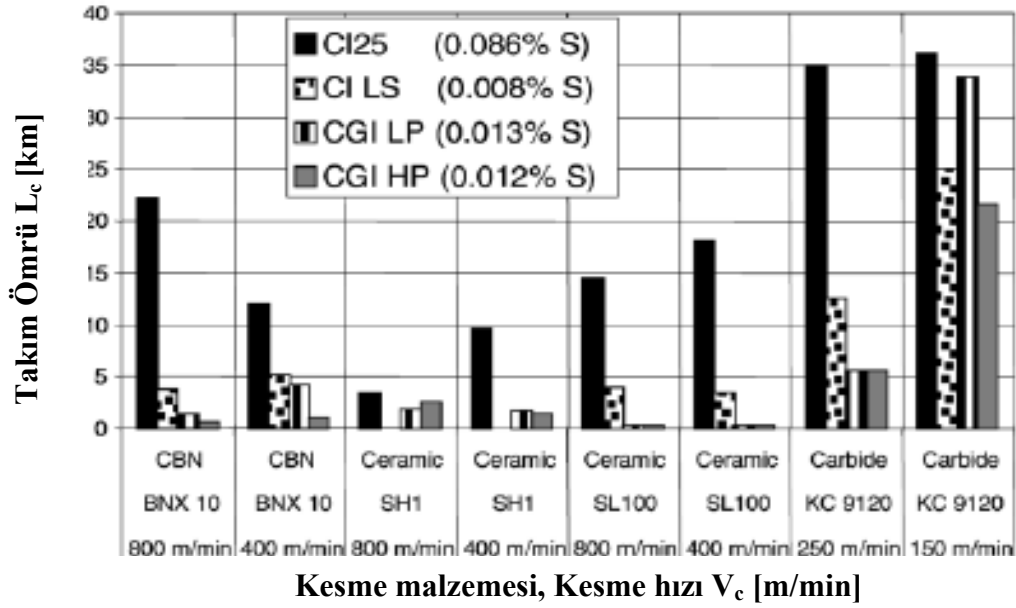
Şekil 3.4 Üst:CI25’i işlerkenki katman oluşumu, - alt: aynı takım ömrü için CGI Hiç katman oluşumu yok (boylamasına işleme, PCBN, $a_p=0.15$; $f=0.3$; soğutucu yok) [16]

Bir adım ileri gidilerek bu katmanın varlığı Elektron Tarama Kütle Analizi (ESMA) ve Elektron Dağıtıcı X-ışını tarafından gösterilebilir ve bu 2 metodu uygulayarak; oluşan katmanın Manganez ve Sülfür içerdiği anlaşılır. CI işlemede kullanılan kesici bir uçtaki MnS katmanı ve CGI işlemede kullanılan bir kesici uça oluşan flank aşınması, söz konusu farkı netleştirir. Bu koruyucu katmanın oluşumu sayesinde artan kesme hızıyla birlikte, CI işlenirkenki takım ömrü de artmış olur. Bu karşı-girişim muhtemelen koruyucu MnS katmanının büyümesi ve yoğunlaşmasından kaynaklanmaktadır. CI’da görülen bu özel durumun aksine çelik, sünek demir ve CGI gibi diğer malzemelerde beklenen şekilde: artan kesme hızlarıyla paralel olarak takım ömrü de azalır [19]. Bu özellik şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 PCBN ile CI'nın boylamasına tornalanmasına ait Taylor Diagramı ($a_p=0.15$; $f=0.3$; soğutucu yok) [19].

Yukarıda anlatılan davranışın nedeni malzemenin içeriği ile alakalıdır. Grafit yapısı ve malzeme özellikleri gibi görünür farkların ötesinde gri demir (CI25), sıkıştırılmış grafit demir (CGI) ve bir nebze kadar sfero (küresel grafitli) dökme demir (SGI) arasındaki en önemli fark ise sülfür içerikleridir. CI'lar normalde 0.08-0.12 % seviyelerinde sülfür içerirler. Ancak sıkıştırılmış grafit parçaları düşük oksijen ve sülfür içerikleriye kararlı olabildiklerinden ötürü, CGI 0.005-0.025 aralığında sülfür içerecek şekilde üretilir. CI'da sülfür mangan ile birleşerek, genelde 10 μ m büyüklüğünden az büyüklükte MnS (manganez sülfat) katmanı oluşturur. Yumuşak ve esnek MnS içerikleri kesen ucun kenarlarını yağlayabilir veya orada koruyucu bir katman oluşturabilir. CI'nın aksine CGI, sülfür ve oksijeni tüketmek için sıvı demire magnezyum ekleyerek üretilir. Magnezyum manganaze göre faha güçlü bir sülfür tutucu olduğundan manganez sülfat (MnS) oluşmasındansa magnezyum sülfat (MgS) oluşumu daha muhtemeldir. Bu teoriyi doğrulamak adına sülfürü alınmış bir CI işlenmiştir. Şekil 3.6' da boylamasına tornalama işlemi desülfürizasyona tabi tutulmuş bir CI, düşük ve yüksek perlitik yapıya sahip bir CGI ve normal bir CI için gerçekleştirilmiş ve sonuçlar grafiklenmiştir.



Şekil 3.6 Sülfür içeriğinin boylamasına tornalamada takım ömrüne etkisi ($a_p=0.15$ – CBN&Seramik/0.2 – Karbid ; $f=0.3$; soğutucu yok) [19]

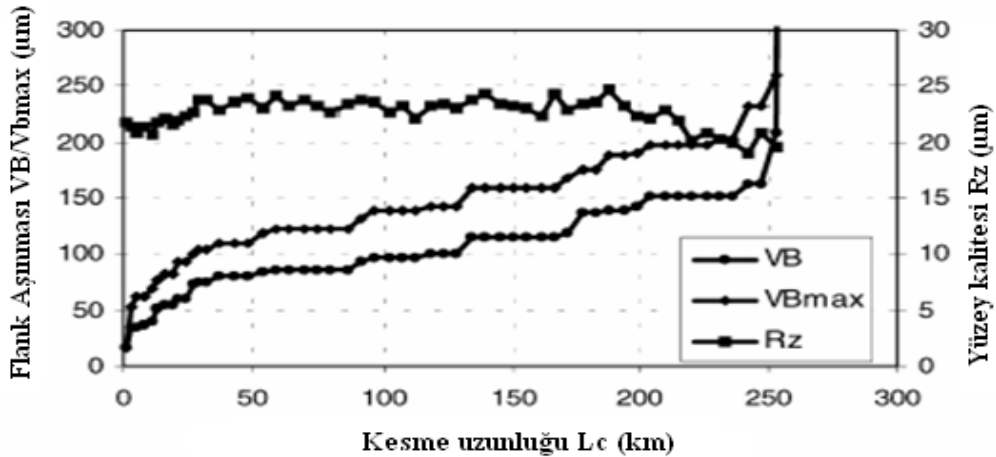
Şekil 3.6’da açıkça görülmektedir ki CI içeriğindeki sülfür seviyesi % 0.008’ler civarındaki CGI içeriği seviyelerine indirildiği oranda takım ömrü azalmaktadır. % 0.008 seviyesinde sülfür içeren CI ile CGI arasındaki geri kalan farklar da, mekanik özelliklerdedir. Bu nedenle CGI ile CI’nın yükselen kesme hızlarında aralıksız işlenecekleri durumlarda takım ömürleri arasında yaklaşık 10 katlık fark önerilir; ayrıca CI’nın işlenmesinde PCBN tipi işleme takımlarının kullanılması, koruyucu MnS katmanının oluşabilmesi adına tavsiye olunur. Takım ömrü açısından geriye kalan farklar için iş paçasının mekanik özellikleri sayılabilir. Sintercast firması tarafından yüksek sülfür içerikli CGI üretmek amacıyla döküm yapılmadan hemen önce MnS tozları eklemek suretiyle bazı araştırmalar yapılmıştır. Fakat magnezyumun termodinamik eğilimi MnS’in oluşumunu ve yüksek sülfür oranı testlerinin yürütülmesini engellemiştir; MnS tozlarından MgS oluşmuştur [7].

3.1. Elmas Bazlı Kesici Malzemeleri ile İşlenmesi

AUDI ve FORD otomotiv firmalarının işbirliği ile farklı işleme yöntemleri geliştirmek adına elmas bazlı kesme malzemeleri araştırılmıştır. Elmas bazlı kesme malzemeleri sertlik ve sıkışma mukavemeti gibi yüksek mekanik özelliklere sahiptir.

PCD mekanik özelliklerinin yanısıra yüksek termal iletkenliğe sahiptir. Bununla birlikte, bu özellikler, 700°C sıcaklığın üzerinde başlayan grafitlenme sebebiyle, sınırlıdır. Kobalt bağlayıcı fazı grafitlenme sıcaklığını düşürmektedir. Bu sıcaklığın altında bir çözücü gibi davranmaktadır. Grafitlenme olayı tanelerin ara yüzleri arasında gerçekleşir. Bunun yanında kobalt bağlayıcı fazının dağılımının da grafitlenme üzerinde etkisi vardır. Elmas bazlı kesme malzemesine ait kabon ile dökme demire ait serbest demirler arasında oluşabilecek kimyasal reaksiyonlar ile ilgili ilave endişeler de vardır. Buna rağmen değişik derecelerdeki PCD ile CGI'nin işlenmesinin araştırmalarına devam edilmiştir. Tornalama işleminde bu tip kesme malzemeleri ile yapılan çalışmaları (yani CGI'nin PCD ile işlenmesi ile), CI'nın CBN'le işlenmesi durumu kıyaslandığında kesme uzunluğunda 20 kata kadar bir artış ortaya çıkmıştır.

Şekil 3.7'de PCD ile CGI'nin tornada işlenmesi testinde flank aşınmasının düşük bir eğimle yükseldiği görülmektedir. Kesme malzemesi yaklaşık 150 μm flank aşınması değerinde aniden işlevini yitirmektedir. Görünüşe göre artan takım ömrü yükselen kesme sıcaklıklarına ve grafitlenme oluşumuna bağlıdır. Düşük flank aşınması seviyelerinde çalışmanın sonucu olarak yüzey kalitesinde büyük sapmalar olmaz ve de sağlıklı bir işlem yürütülür.



Şekil 3.7. Takım ömrü ve PCD ile işlenen CGI'deki yüzey kalitesi [19].

Testlerde elde edilen bu sonucun silindir içi delme işlemlerinde gerçekte de geçerli kılınması gerekir. Silindir içi delme rakamlarında takım ömrünün bitim noktası için yapılan hesaplamalarda 1900 delme sayısına ulaşılması beklenmektedir. Bu sonucu doğrulamak için motor bloğu üzerinde testler yapılmıştır. Tek bıçaklı bir delme takımı kullanılarak silindir içi delme işlemi yapıldığında, PCD'nin aşınma direnci ortaya çıkmıştır. Testin sonucu olarak tek bir kesici uç ile 3000 kez silindir içi işleme yapılabileceği doğrulanmıştır.

3.2. Farklı Tip CGI Malzemeleri ile Yapılan Testler ve Deneyler

Deneylerde gri demir FC-250 ve Ti eklemeyen, Sinter Döküm işlemi kullanılarak üretilen, CGI'nin 5 ayrı tipi kullanılmıştır. Malzemeler Tablo 3.4'te gösterildiği gibi belirgin özelliklerine göre A-F aralığında tanımlanmıştır. A malzemesi, gri demir; B malzemesi CGI 550; C, D ve E malzemeleri CGI 450; F malzemesi CGI 350'dir. FC-250, CGI 350, CGI 450 ve CGI 550'nin içerikleri Tablo 3.5'te gösterilmiştir. Döküm parametrelerindeki kontrollü değişikliklerle farklı özelliklere ulaşılmıştır. Gri A, CGI D ve CGI F mikro yapıları sırasıyla Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve 3.10'da gösterilmiştir. Şekil 3. 8'de tam bir perlitik matrisin içindeki gri demirin tipik grafit şekli gösterilmiştir. Şekil 3.9'da ise bazı nodüller ve sıkıştırılmış grafitler görülmektedir. Perlit'in miktarı yaklaşık % 100'dür. Şekil 3.10'da gösterilen CGI F, perlitin az miktarda olmasından dolayı diğerlerinden daha farklı görünmektedir.

Tablo 3.4. Deney malzemelerin FC 250, CGI 350, CGI 450, CGI 550'nin özellikleri [2]

Özellikler	Malzemeler					
	GriA (dizi 1 dizi2)	CGI B	CGI C	CGI D	CGI E	CGI F
% nodüller	Lamellar	36	8	9	14	11
% perlit	97/100	99	84	89	90	39
Sertlik ¹ [HB]	214 / 223	229	237	229	229	173
Cins	250	550	450	450	450	350

1. 7.355 N'luk güç ve 5mm çaplı küre için Brinell Sertliği.

Tablo 3.5. CGI 350, CGI 450, CGI 550 malzemelerinin içerikleri [2]

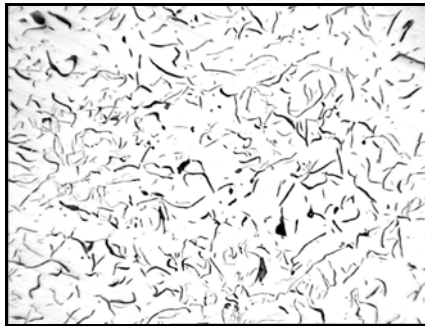
Malzeme	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cu	%Sn
FC-250	3,45	1,97	0,56	0,07	0,06	0,14	0,02
CGI-350	3,70	1,23	0,56	0,05	0,03	0,55	0,02
CGI-450	3,70	2,10	0,37	0,02	0,01	0,57	0,06
CGI-550	3,70	2,14	0,51	0,02	0,01	0,66	0,09

3.2.1. İşlenebilirlik Testleri

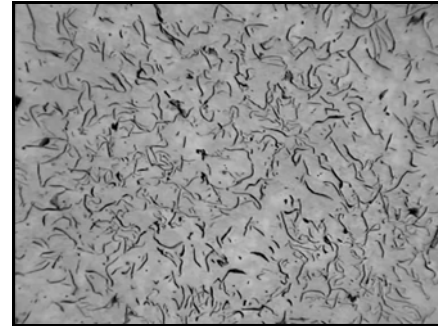
Silindirik modeller için 104 mm çapında ve 29 mm kalınlığında delme testleri uygulanmıştır. Her model için son yüzü işlenmiş ve bu yüzde 22 mm derinliğinde 39 adet delik açılmıştır. Her işlenen model için matkap aşınması ölçülmüştür. Kullanılan matkaplar K35 sınıfından 10 mm çapında TiAlN tek kat kaplama (3000 HV), DIN 6537 geometrisinde, sağ kesim, uzun seri, Walter damgalı, B1422.Z.10,0.Z2.49 kodunda sert karbürlerdir. Delme testleri 3 akışlı, Romi damgalı, F400 Polaris modeli dikey bir CNC frezede uygulanmıştır. Kesme parametreleri: $V_c=80\text{m/min}$ $ef = 0.25\text{ mm}$ [2].

3.2.2. Matkap Ömrü Kriter Aralığı

Test boyunca matkapların performans değerlendirmesinde maksimum flank aşınması (VB_{\max}) baz alınmıştır. Şekil 3.11. VB_{\max} 'ın pozisyonunu çap boyunca göstermektedir. Ömür aralığı 0.40 mm'lik maksimum flank dayanıklılığına göre belirlenmiş olup matkap kılavuz derinliğine eşittir.

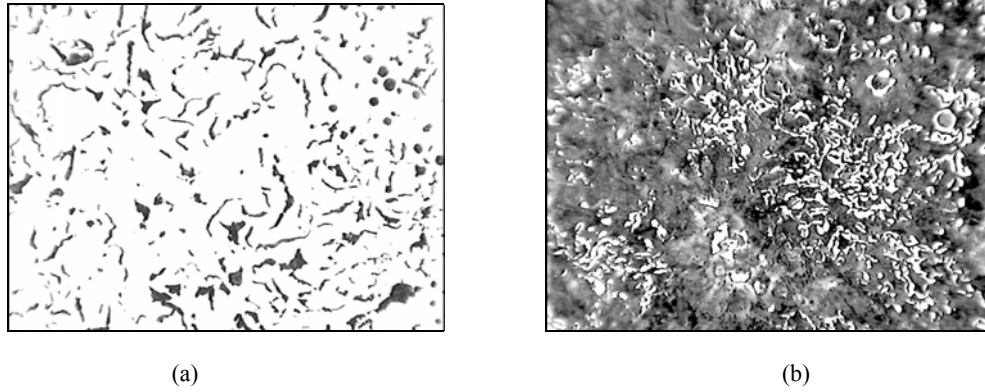


(a)

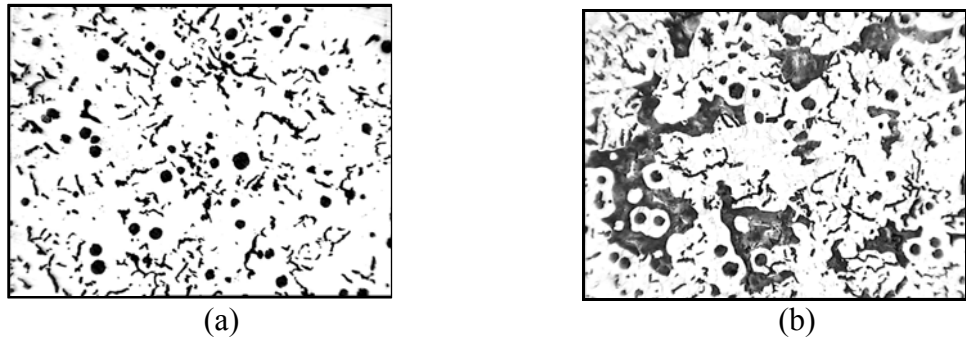


(b)

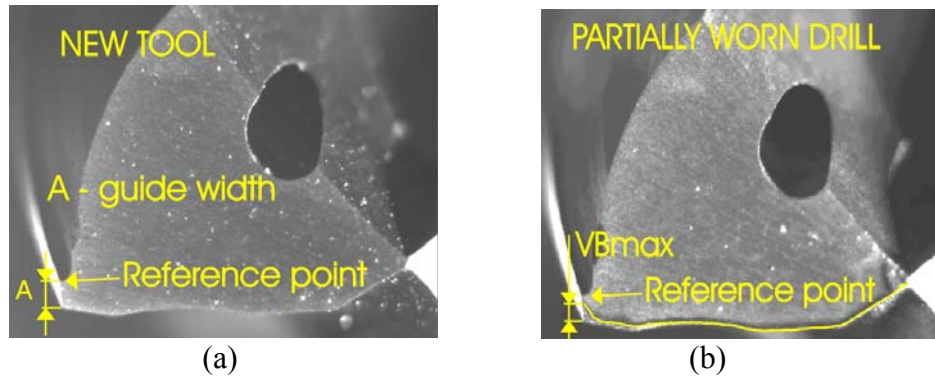
Şekil 3.8. Gri demirin mikro yapısı. Tamamen perlitik (a) etching (aşındırma) işlemi uygulanmamış, (b) nital etching işlemi uygulanmış % 2 (100 kez büyütülmüş) [2].



Şekil 3.9. CGI D'nin mikro yapısı (a) etching (aşındırma) işlemi uygulanmamış (b) nital etching işlemi uygulanmış % 2 (100 kez büyütülmüş). [2]



Şekil 3.10. CGI F'nin mikro yapısı (a) etching işlemi uygulanmamış (b) nital etching işlemi uygulanmış % 2 (100 kez büyütülmüş) [2].



Şekil 3.11. Delme İşleme (a) Aşınma yok (b) Flank Aşınması Olan Matkap [2].

3.2.3. Kesimlerin Güç Ölçümleri

Kesim ve besleme güçlerinin ölçümleri yüklerin test aralığı olan %1'den daha düşük bir hata ile piezoelectric bir platformda, Kistler 9273 enstrümanı kullanılarak yapılmıştır. Kuvvetlerin hesaplanmasında kullanılan parametreler: $V_c=80\text{m/dak}$ $e_f=0,20\text{ mm'}$ dir. İlerlemeler, 0,10; 0,20; 0,25 mm'dir [2].

3.2.4. Test Sonuçları

Üzerinde çalışılan model malzemeleri, farklı işlenebilirlik aşamalarında değerlendirilebilmeleri için, farklı döküm parametreleri seçilerek üretilmiştir.

3.2.4.1 CGI B ile Gri Demirin İşlenebilirliğinin Karşılaştırılması

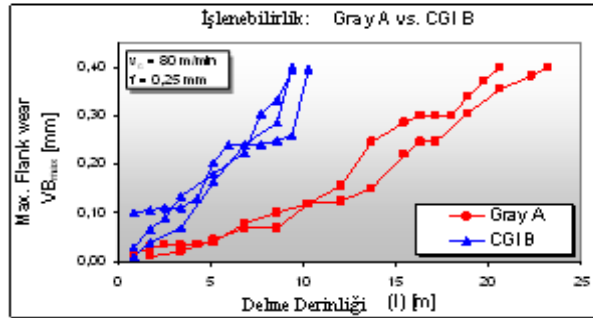
Esasında bu testle hala kullanılmakta olan motor blokları malzemesi FC-250 dökme demir ile CGI-550 sınıf dökme demirin karşılaştırması amaçlanmıştır. Her iki malzemenin de hemen hemen tamamı perlitiktir.

Yukarıda belirtilen malzemelerin işleme testlerinde, takım ömürlerinde belirgin farklılıklar görülmüştür. Şekil 3.12'de bu farklılık görülmektedir. Şekilde gri demir A eğrisinde testin başlangıcında takımdaki aşınmanın daha az olduğu görülmektedir ve bu davranış işlenen bütün uzunluk için aynı şekilde devam etmektedir. CGI B için kullanılan matkapların ömrü, gri demir A için kullanılanların ortalama % 44'ü olduğu görülmektedir. uygun değerinin ortalama ömür aralığının yaklaşık % 44 olduğunu göstermiştir. Bu sonuç 1995/1996 yıllarında bir çok CGI motor bloğunun iletim hatlarının işlendiği, Reuter (2000)'in raporu ile benzerlik göstermektedir. Reuter CGI'nin daha fazla mekanik gücünün bu farklılığın temeli olduğunu savundu, öyle ki, gri demir için olan değer yaklaşık iki katıdır [11]. Dawson, tam bir perlitli matris formu oluşturmak için eklenen bazı elementlerin ferrit ve sementit içeriklerini etkileyeceğini ve perlitin sertliğini değiştireceğini, bunun işlenebilirlikte kayıba sebep olacağını ifade eder [8]

CGI B’de yüksek miktarda nodül şeklinde grafit vardır (% 36) ve bu mekanik özelliklerin daha iyi olduğunun göstergesidir. Ama bu durum işlenebilirlik açısından negatif bir etkidir.

3.2.4.2 CGI-450 (C, D ve E) Materyallerinin İşlenebilirliği

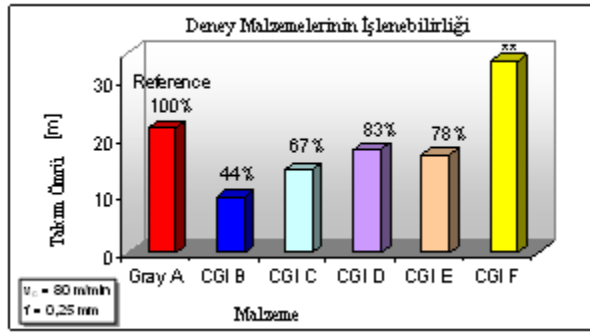
Bu malzemeler CGI-450 olarak sınıflandırılmışlardır. Gri demir A ile kıyaslandığında CGI-C’nin test edilen malzemeler arasında diğerlerinden daha sert olduğu ve % 67 işlenebilirliğe sahip olduğu görülmüştür. Şekil 3.12’te takımın aşınma davranışı görülmektedir. CGI D’de % 5 daha çok perlit vardır ve CGI C’den daha az serttir. Buna rağmen CGI C ve D aynı sınıf mekanik mukavemete sahiptirler. Şekil 3.13 ‘de gösterildiği gibi kontrol altındaki döküm parametreleri ile üretilen CGI D, gri A’ya göre % 83’lük aşınma değerine erişmiştir. CGI C ile karşılaştırıldığında işlenebilirlikte % 25’lik bir iyileşme sağlandığı görülmektedir. Bu sonuç gri demirin takım aşınma davranışına yakın başarılı bir çalışmadır [2].



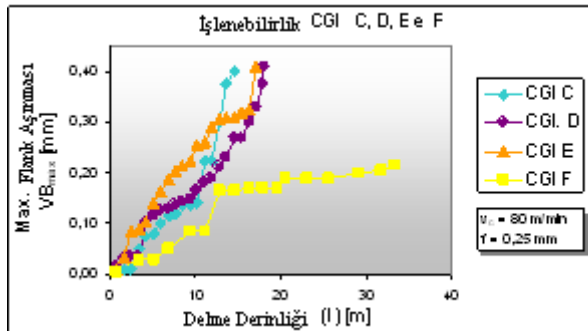
Şekil 3.12. gri demir A (FC-250) ve CGI B (CGI-550) için aşınma eksenleri [2].

CGI E’de, CGI D’ye göre % 5 daha fazla nodül yapıları grafit ve daha fazla perlit oluşturucu element bulunmaktadır. Her ikisi de aynı perlit içeriğine ve sertliğine sahiptirler. Benzerlikleri Şekil 3.14’te gösterilen işleme testlerinde de görülmektedir. Delme derinliği mesafelerini kıyasladığımızda, daha fazla perlit oluşturan elemente sahip CGI E için kullanılan takımın ömrü, gri demir A için kullanılan takımın ömrünün % 78’i kadardır. CGI D için bu değer % 83’e ulaşmıştır. Takım aşınmaları

için olan istatistiksel testler (% 95 güvenli birdurumda olduğunu varsayarsak) şunu gösterir ki, D ve E arasındaki fark istatistiki olarak önemli değildir. Test edilen bütün materyaller arasında sadece CGI D ve CGI E belirgin davranış farklılıkları göstermemektedirler [2].



Şekil 3.13. $VB_{max}=0.40$ mm kriterini kullanarak test edilen materyallerin işlenebilirliğinin karşılaştırılması [2].



Şekil 3.14. CGI C, D, E ve F ile delme takımlarının aşınma davranışları [2].

3.2.4.3 CGI-350 (F)'nin İşlenebilirliği

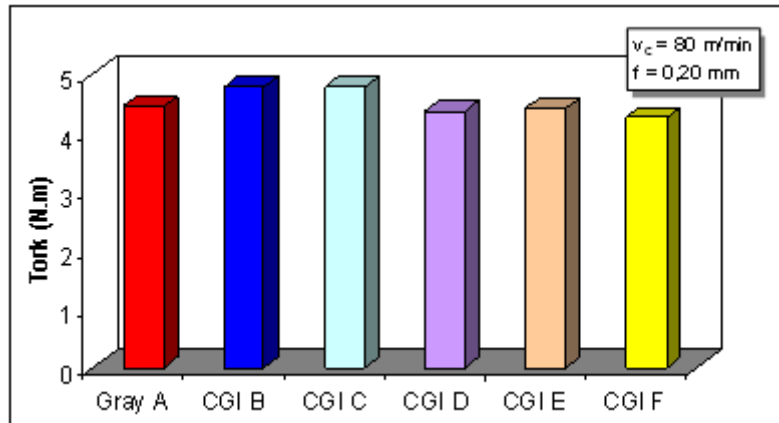
Bu ayrıntılı rapor perlitli oluşturan elementlerin ve sonuç olarak perlitin içeriğinin etkilerini göstermektedir. Şekil 3.13'te gösterildiği gibi, % 39'u perlit olan CGI F'nin işlenebilirliği gri demir A'dan çok daha fazladır. Şekil 3.14'teki aşınma davranışı eğrisi, teste ara verildiği anda, 33 m delme mesafesi sonrasında takımdaki aşınmanın 0.20 mm dolaylarında olduğunu gösterir. VB_{max} 'ın bu değeri ömür aralığı kriterinin sadece yarısıdır.

CGI F mükemmel işlenebilirlik özelliği yanında düşük sertlik, düşük mekanik mukavemet ve düşük perlit içerikli bir malzemedir. Bu faktörler motor bloğunda kullanımı için bir dezavantaj olmasına karşın motor başlıkları gibi diğer parçalarda kullanılabilirler [2].

3.2.4.4 Kesim Güçlerinin Ölçüm Sonuçları

Test edilen her bir malzemenin tork değerlendirmesi için 3 delik, kuvvet değerlendirmesi için de yine 3 delik delinmiştir. Şekil 3.15'te tork ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

Ölçümler değerlendirme için % 95 güvenilir seviyede istatistiki olarak analiz edilmiştir. Tork değerlendirmesinde ölçüm sonuçları, alınan ölçüm sayısına göre, test edilen malzemelerin önemli farklılıklarının olmadığını ortaya çıkarmıştır. Kuvvetler tarafında ise sadece CGI D ve E arasında önemli farklar olmadığı sonucuna varılmıştır. Test edilen bütün malzemeler için kuvvet işlenebilirlik kriteri, VB_{max} işlenebilirlik kriteri ile uyum göstermiştir.



(a)

Şekil 3.15. Tork ölçümleri [2]

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Deney Konusu

CGI malzemesine, karbür matkap kullanılarak değişik devir, ilerleme ve derinlik değerleri ile, delme deneyleri uygulanmıştır.

Delik delme işlemleri sırasında parçaya uygulanan kuvvet ve tork değerleri kayıt edilmiştir. Her delme işlemi sonrasında matkapta oluşan aşınma incelenmiştir. Malzeme üstünde açılan delik yüzeyleri yüzey pürüzlük cihazı ile, deliğe ait üç farklı noktadan 3'er kez alınan ölçümlerle incelenmiştir.

4.2. Deneylerde Kullanılan Ekipman ve Malzemeler

4.2.1. Matkaplar

Şekil 4.1 (a)'da gösterilen "Linux marka DIN 6539 normunda TICN kaplı Ø 10 mm çapında karbür matkap"lar 1, 2 ve 3. Deneylerde kullanılan, sırasıyla M1, M2, M3 kodları ile belirtilen matkaplardır. Şekil 4.1 (b)'de gösterilen "DIN 338 normunda HSS matkaplar" 4 ve 5. Deneylerde kullanılan, sırasıyla M4 ve M5 kodları ile belirtilen matkaplardır. M1, M2, M3, M4 ve M5 matkapları açıklamaları Tablo 4.1'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.1. (a) M1, M2, M3 Nolu matkaplar (Linux marka DIN 6539 normunda TICN kaplı Ø 10 mm çapında karbür matkap) **(b)** M4 ve M5 Nolu matkaplar; (HSS matkap, DIN 338 normunda, Ø 10 mm çapında HSS)

Tablo.4.1. Döktaş tarafından üretilen CGI iş parçasının kimyasal içeriği.

Deney	Matkap	Açıklama
1. Deney	M1	Linux, Karbür, DIN 6539, Ø 10, TiCN kaplı
2. Deney	M2	Linux, Karbür, DIN 6539, Ø 10, TiCN kaplı
3. Deney	M3	Linux, Karbür, DIN 6539, Ø 10, TiCN kaplı
4. Deney	M4	HSS, DIN 338, Ø 10, kaplamasız
5. Deney	M5	HSS, DIN 338, Ø 10, kaplamasız

4.2.2. Malzeme

Deney için kullanılan CGI iş parçası Döktaş Compenenta firmasından alınmış olup iş parçasının kimyasal içeriği tablo 4.2' de, tezgaha bağlanmış hali ise şekil 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo.4.2. Döktaş tarafından üretilen CGI iş parçasının kimyasal içeriği.

Si	2,075	Mo	0,002	Pb	0,0003
Mn	0,271	Al	0,003	Ce	0,0072
P	0,032	Zn	0,0342	La	0,006
Cr	0,027	Bi	0,0004	MgO	0,0001
Cu	0,013	Ni	0,017	FeO	93,82
Sn	0,127	Co	0,0018	C	3,74
Ti	0,021	W	0,0001	S	0,0015
Mg	0,011	V	0,0082		

**Şekil 4.2.** CNC tezgaha bağlanmış CGI iş parçası

4.2.3. Mikroskop (Takımdaki Aşınmaların Ölçülmesi)

CGI iş parçasındaki aşınmaların ölçülmesi için şekil 4.3’ de gösterilen “Mitutoyo toolmaker’s microscope code no:176-811CED Serial no:470110” mikroskobu kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Deney sonrası matkaptaki aşınmaların ölçümü.

4.2.4. Mikroskop (Fotoğraf Çekmek İçin)

CGI iş parçasındaki aşınma resimleri için şekil 4.4’ de gösterilen “Optemetron.de novex Holland wat-221s PAL w102bp 04441” mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 4.4. Deney sonrası matkaplardaki aşınma fotoğraflarının çekilmesi işlemi.

4.2.5. Dinamometre

Deney sırasında CGI iş parçasına uygulanan kuvvet ve tork değerlerinin ölçülmesi işlemi için şekil 4.5’ de gösterilen “Kistler type 9123 C1111 SN 1514405” dinamometre kullanılmıştır.



Şekil 4.5. Deneyler sırasında iş parçasına uygulanan kuvvet ve tork değerleri ölçümünde kullanılan dinamometre.

4.2.6. CNC Tezgahı

CGI iş parçası üzerindeki deneyler şekil 4.6’ de gösterilen “Deckle maho dmu 50 eVolution CNC 5 axis” CNC tezgahında yapılmıştır.



Şekil 4.6. Deneylerde kullanılan 5 eksenli CNC tezgahı.

4.3. Deneyler

4.3.1. Deney Tasarımı

Deneysel tasarım yöntemi, sistemi etkileyen faktörlerin en iyi derecelerini bulmak için denemeler yapmayı ön gören bir yöntemdir [23]. Dr. Genechi Taguchi kendi adıyla anılan deney tasarımı tekniği ile deney sayısını oldukça azaltan bir teknik geliştirmiştir. Taguchi yöntemi sayesinde belli güven aralığında optimum sonuca ulaşmak için gerekli deney sayısı oldukça azalır [24]. Taguchi tekniği; kaliteyi arttıran, maliyeti düşüren, araştırma-geliştirme faaliyetlerini hızlandırmaya yarayan bir tekniktir [25]. Taguchi yöntemi sayesinde sistemi etkileyen parametrelerin etkisi verimli bir şekilde elde edilir [26].

Taguchi deney tasarımında elde edilen deney sonuçları sinyal gürültü (S/N) oranlarına döndürerek değerlendirir. Deney sonuçlarını S/N oranına çevirirken hedefimize göre

- Büyük değer iyi,
- Küçük değer iyi,
- Nominal değer iyi

şeklinde hesaplanır. Hangi hedefi kullanırsak kullanalım sonuçta elde edilen en büyük S/N oranı bizim için en iyi sonuçtur [24]. Bunun yanı sıra yapılan ANOVA analizi ile hangi faktörün deney sonucunu % kaç etkilediği belirlenir. Ayrıca ANOVA analizi ile sonuçların güven seviyesi belirlenir [24].

Deney tasarımı yapılırken sistemi etkileyen faktörler dikkatli seçilmelidir. Bundan dolayı deney parametrelerinin seçiminde planlama yapılmalıdır [24]. Taguchi deney tasarımında izlenecek yol aşağıda maddeler halinde verilmektedir [24].

- Faktörlerin seçimi aralarındaki etkileşimlerin değerlendirilmesi.
- Faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi.
- Doğru dengeli tasarımın seçimi.
- Deneylein önceden planlandığı gibi gerçekleştirilmesi.
- Sonuçların analizi.
- Onama deneylelerinin yapılması.

Bu adımların gerçekleştirilmesi ile ölçülen değer için optimum sonucu veren parametre değerleri bulunur.

Bu çalışmada üç adet parametre seçilmiştir. Seçilen parametrelerin 3 seviyede bütün deneylelerin yapılması düşünülürse her bir malzeme türü için $3^3=27$ tane deney yapılması gerekmektedir. Çalışmada deney sayısını azaltmak için Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 4.3.'te seçilen üç parametrenin değişik kombinasyonları ile Taguchi deneysel tasarım yöntemindeki parametreler; Tablo 4.4'te ise deney seti (L_9) gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Taguchi L_9 deney tasarımına göre her üç sertlikteki malzeme için kesme şartları.

Parametreler	1	2	3
Derinlik (mm)	10	20	30
Kesme Hızı (m\dak)	70	80	90
İlerlemeler (mm\dev)	0,1	0,2	0,3

Tablo 4.4. Deney seti

Deney No	Derinlik (mm)	Kesme Hızları (m/dak)	İlerlemeler (mm/dev)
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

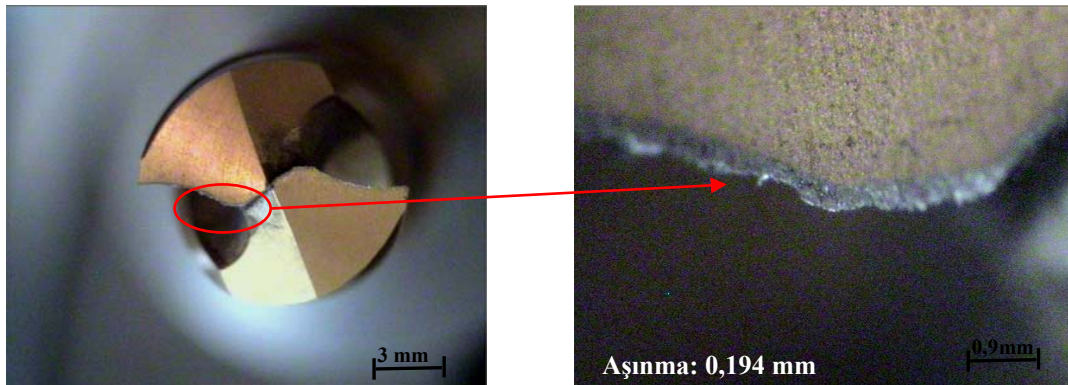
4.3.2. I. Deney

4.3.2.1. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama

CGI iş parçası üzerinde 1 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.5’de verilmiş olup uygulama sonrasında matkaptaki aşınmalar şekil 4.7’de gösterilmiştir.

Tablo 4.5. 1 nolu matkap uygulama değerleri

Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
1 Nolu Matkap	70	2230	0,1	10

**Şekil 4.7.** Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar

Kuvvet-Tork değerleri ölçümünde hata oluştuğundan alınamamıştır.

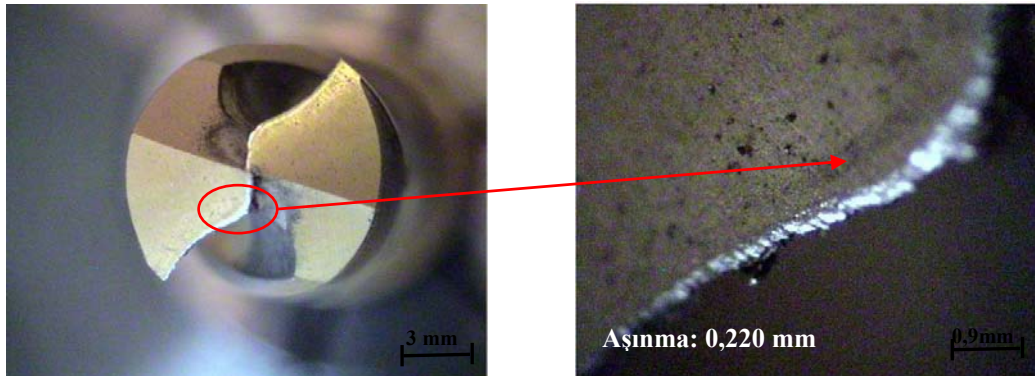
Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(4,24+3,81+3,63)/3 = 3,89 \mu\text{m}$

4.3.2.2. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama

CGI iş parçası üzerinde 1 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.6'de verilmiş olup uygulama sonrasında matkaptaki aşınmalar şekil 4.8'de gösterilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen tork-zaman grafiği şekil 4.9'da, kuvvet-zaman grafiği ise şekil 4.10'da belirtilmiştir.

Tablo 4.6. 1 nolu matkap uygulama değerleri

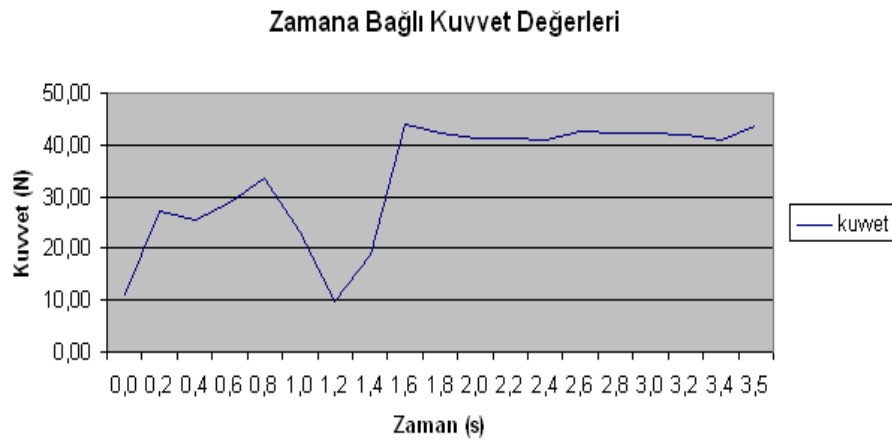
Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
1 Nolu Matkap	80	2548	0,2	10



şekil 4.8. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar



Şekil 4.9.Tork – zaman grafiği.



Şekil 4.10. Kuvvet – zaman grafiği.

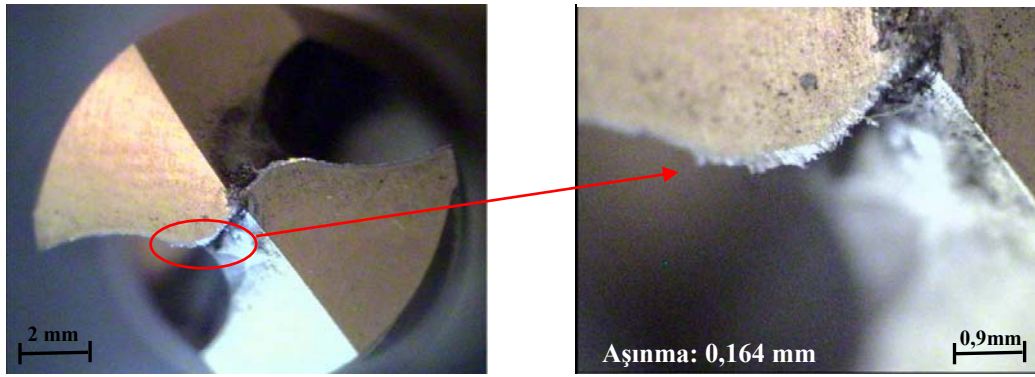
Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(4,23+3,85+2,67)/3 = 3,58 \mu\text{m}$ 'dir.

4.3.1.4. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama

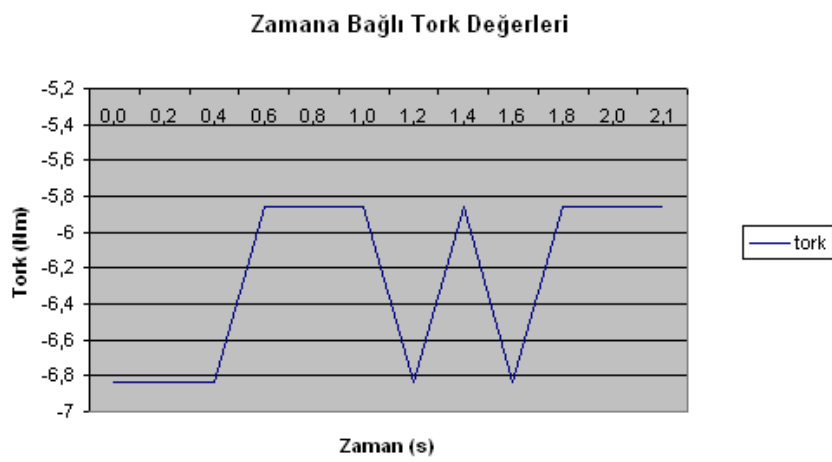
CGI iş parçası üzerinde 1 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.7'de verilmiş olup uygulama sonrasında matkaptaki aşınmalar şekil 4.11'de gösterilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen tork-zaman grafiği şekil 4.12'de kuvvet-zaman grafiği ise şekil 4.13'de belirtilmiştir.

Tablo 4.7. 1 nolu matkap uygulama değerleri

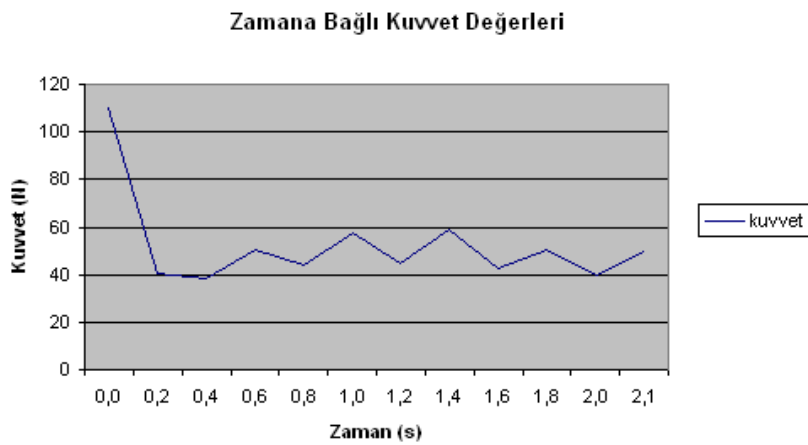
Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
1 Nolu Matkap	90	2866	0,3	10



Şekil 4.11. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar



Şekil 4.12. Tork-zaman değerleri grafiği.



Şekil 4.13. Kuvvet – zaman grafiği.

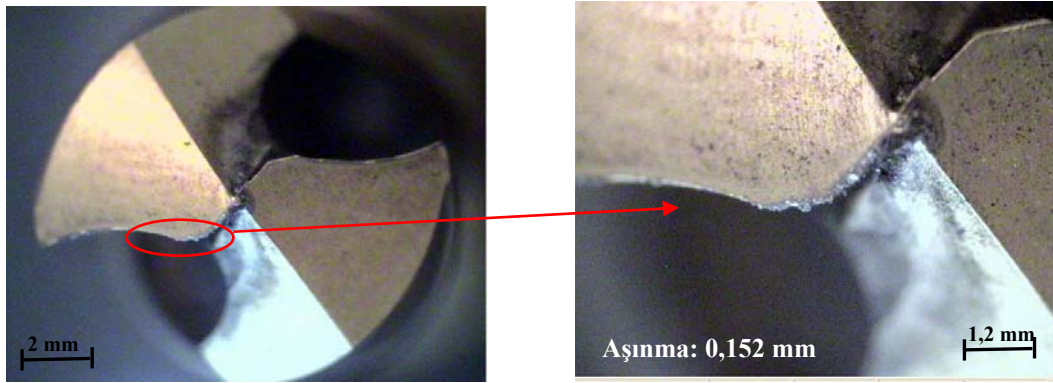
Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(2,76+2,66+2,26)/3 = 2,56 \mu\text{m}$ 'dir.

4.3.2.4. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama

CGI iş parçası üzerinde 1 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.8’de verilmiş olup uygulama sonrasında matkaptaki aşınmalar şekil 4.14’de gösterilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen tork-zaman grafiği şekil 4.15’de kuvvet-zaman grafiği ise şekil 4.16’da belirtilmiştir.

Tablo 4.8. 1 nolu matkap uygulama değerleri

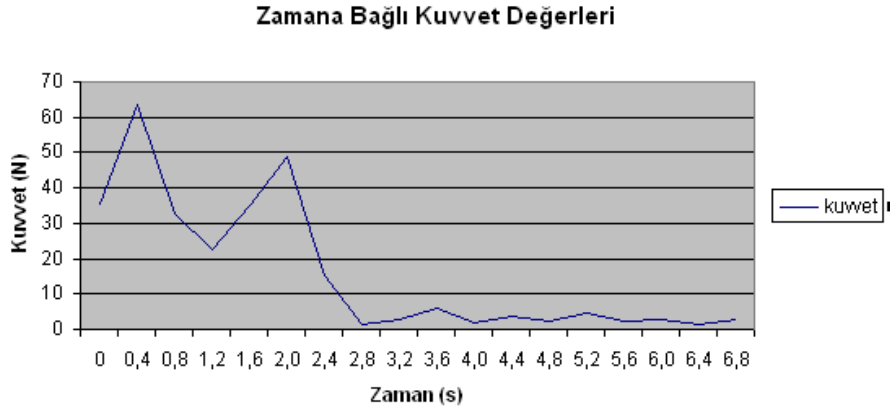
Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
1 Nolu Matkap	70	2230	0,2	20



Şekil 4.14. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar



Şekil 4.15. Tork - zaman grafiği.



Şekil 4.16. Kuvvet – zaman grafiği.

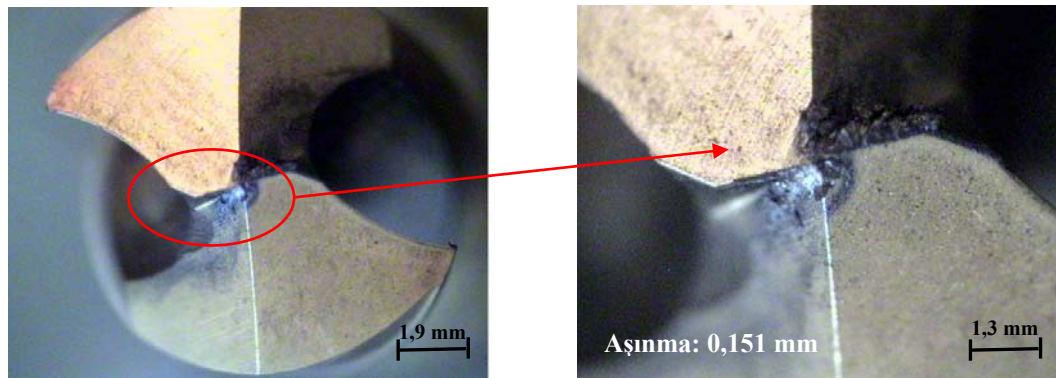
Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(3,78+3,57+3,68)/3 = 3,68 \mu\text{m}$ 'dir.

4.3.2.5. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama

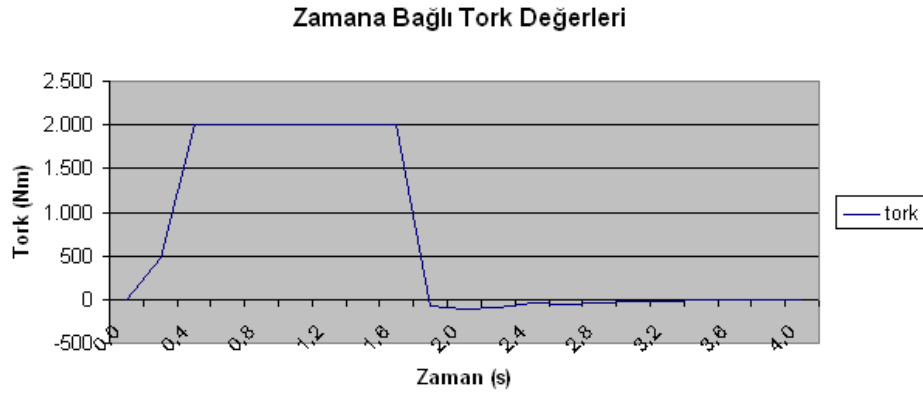
CGI iş parçası üzerinde 1 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.9'da verilmiş olup uygulama sonrasında matkaptaki aşınmalar şekil 4.17'de gösterilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen tork-zaman grafiği şekil 4.18'de kuvvet-zaman grafiği ise şekil 4.19'da belirtilmiştir.

Tablo 4.9. 1 nolu matkap uygulama değerleri

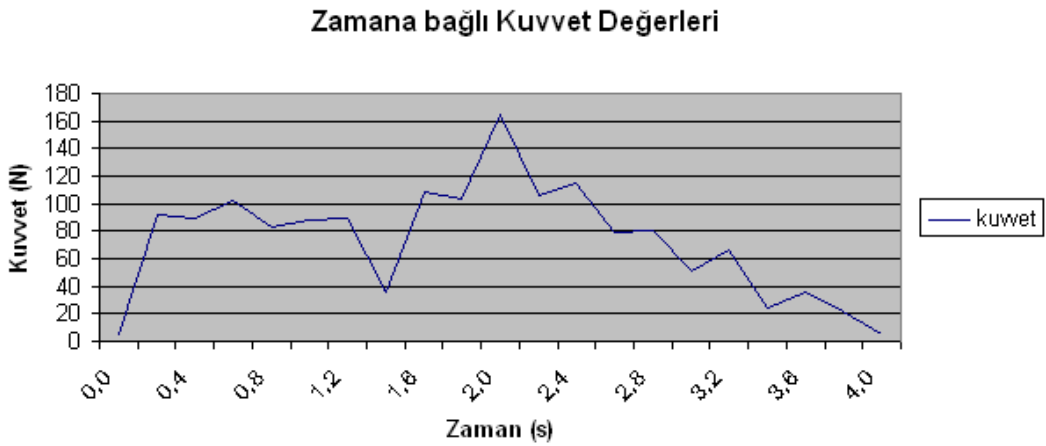
Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
1 Nolu Matkap	80	2548	0,3	20



Şekil 4.17. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar



Şekil 4.18. Tork - zaman grafiği.



Şekil 4.19. Kuvvet - zaman grafiği.

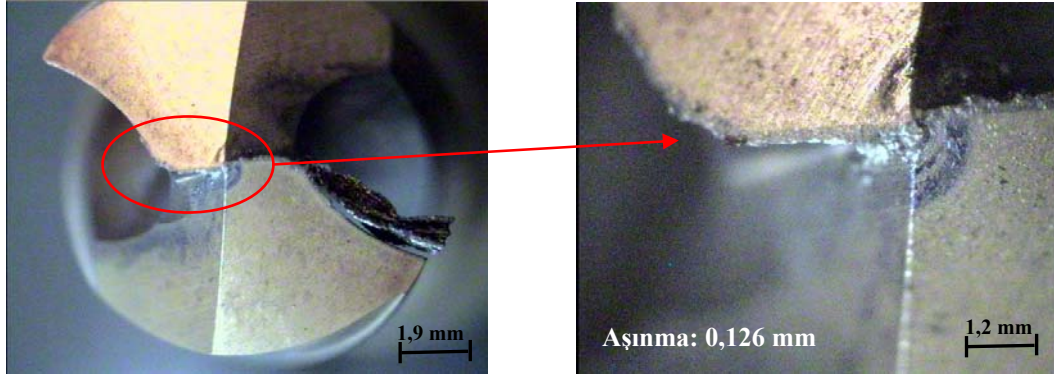
Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(1,24+1,57+1,61)/3 = 1,47' \mu\text{m}'$ dir.

4.3.2.6. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama

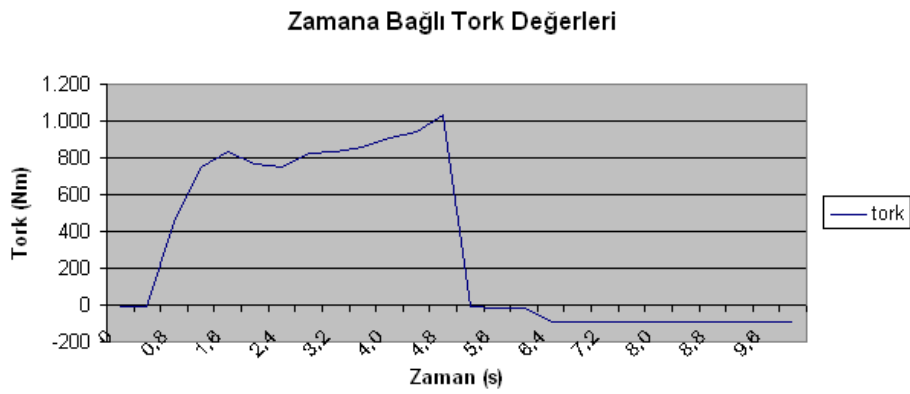
CGI iş parçası üzerinde 1 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.10'da verilmiş olup uygulama sonrasında matkaptaki aşınmalar şekil 4.20'de gösterilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen tork-zaman grafiği şekil 4.21'de kuvvet-zaman grafiği ise şekil 4.22'de belirtilmiştir.

Tablo 4.10. 1 nolu matkap uygulama değerleri

Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
1 Nolu Matkap	90	2866	0,1	20



Şekil 4.20. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar



Şekil 4.21. Tork - zaman grafiği.



Şekil 4.22. Kuvvet - zaman grafiği.

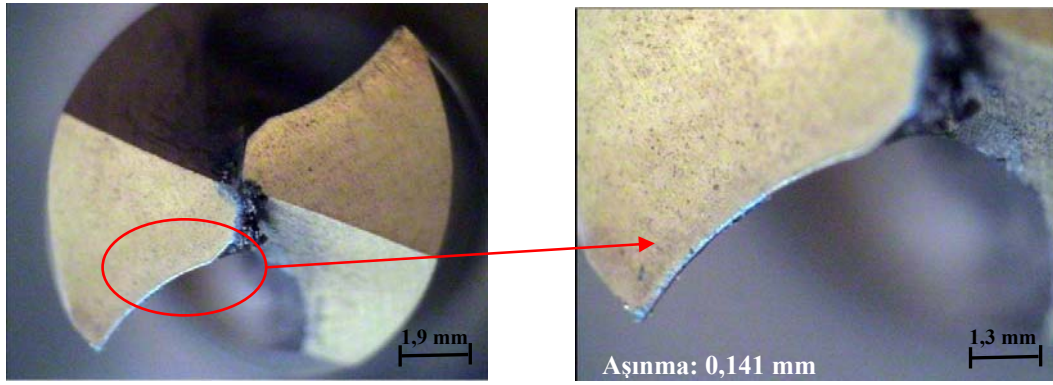
Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(3,40+3,25+2,39)/3 = 3,01 \mu\text{m}$ 'dir.

4.3.2.7. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama

CGI iş parçası üzerinde 1 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.11'de verilmiş olup uygulama sonrasında matkaptaki aşınmalar şekil 4.23'de gösterilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen tork-zaman grafiği şekil 4.24'de kuvvet-zaman grafiği ise şekil 4.25'de belirtilmiştir.

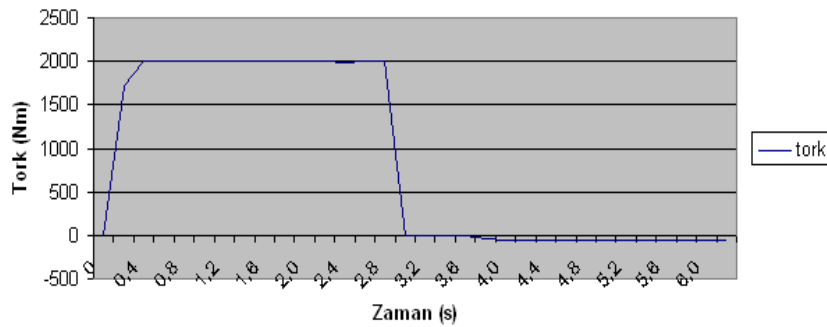
Tablo 4.11. 1 nolu matkap uygulama değerleri

Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
1 Nolu Matkap	70	2230	0,3	30



Şekil 4.23. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar

Zamana Bağlı Tork Değerleri



Şekil 4.24. Tork - zaman değerleri grafiği.



Şekil 4.25. Kuvvet - zaman grafiği.

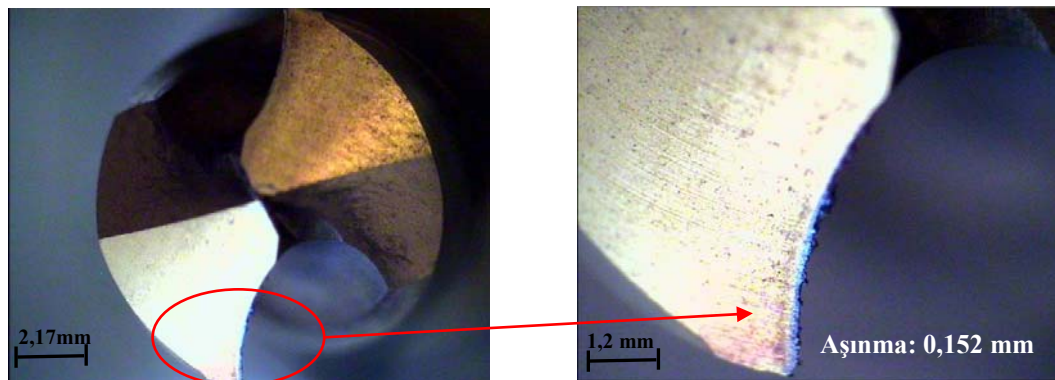
Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(2,61+1,95+2,75)/3 = 2,44' \mu\text{m}'$ dir.

4.3.2.8. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama

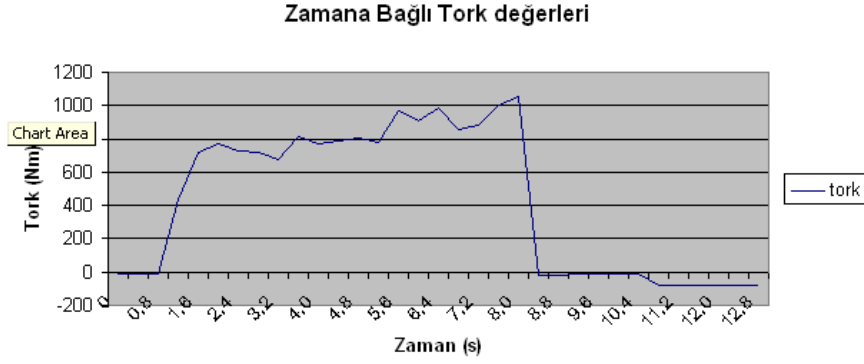
CGI iş parçası üzerinde 1 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.12'de verilmiş olup uygulama sonrasında matkaptaki aşınmalar şekil 4.26'da gösterilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen tork-zaman grafiği şekil 4.27'de kuvvet-zaman grafiği ise şekil 4.28'de belirtilmiştir.

Tablo 4.12. 1 nolu matkap uygulama değerleri

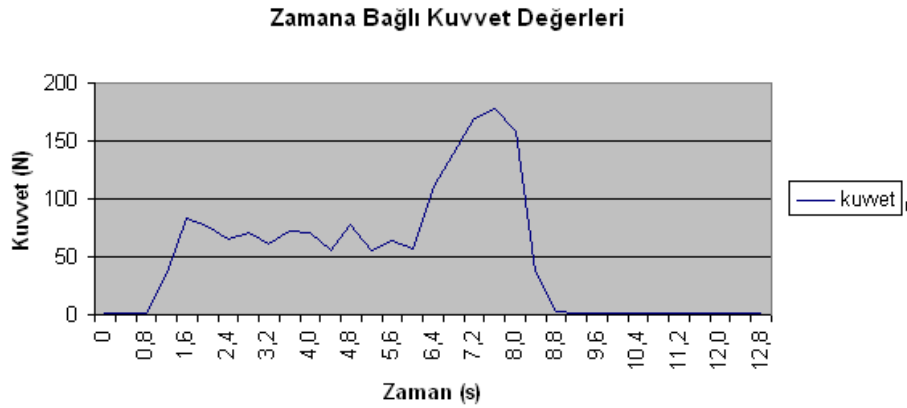
Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
1 Nolu Matkap	80	2548	0,1	30



Şekil 4.26. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar



Şekil 4.27. Tork - zaman grafiği.



Şekil 4.28. Kuvvet - zaman grafiği.

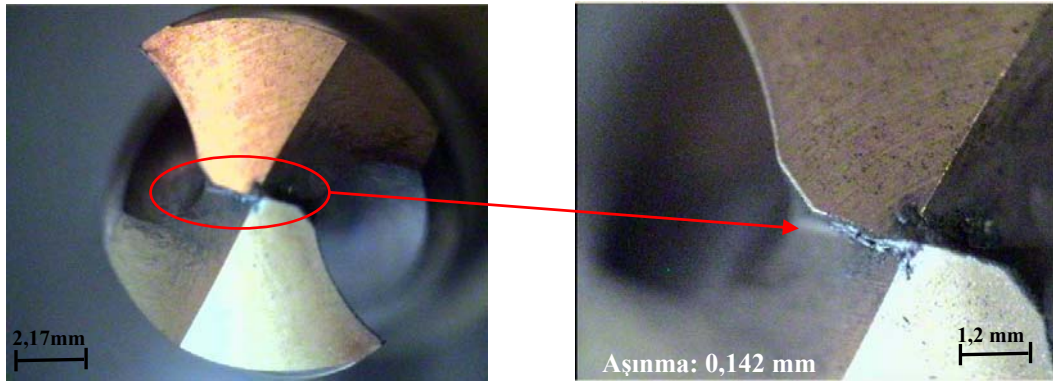
Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(3,20+3,56+4,11)/3 = 3,62' \mu\text{m}$ 'dir.

4.3.2.9. 1 Nolu Matkap İçin Uygulama

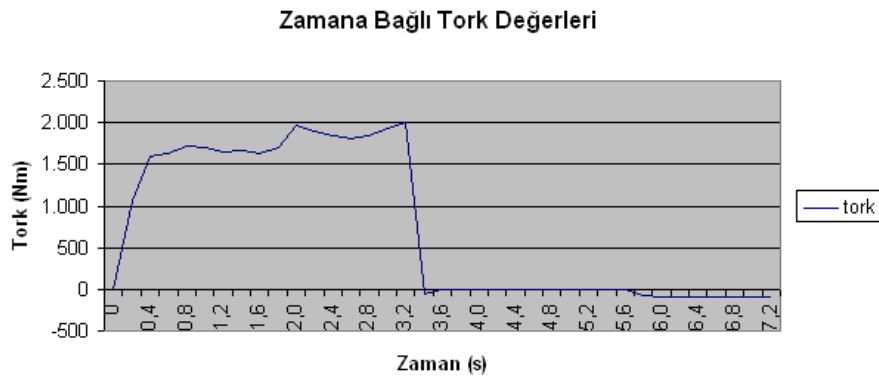
CGI iş parçası üzerinde 1 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.13'de verilmiş olup uygulama sonrasında matkaptaki aşınmalar şekil 4.29'da gösterilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen tork-zaman grafiği şekil 4.30'da kuvvet-zaman grafiği ise şekil 4.31'de belirtilmiştir.

Tablo 4.13. 1 nolu matkap uygulama değerleri

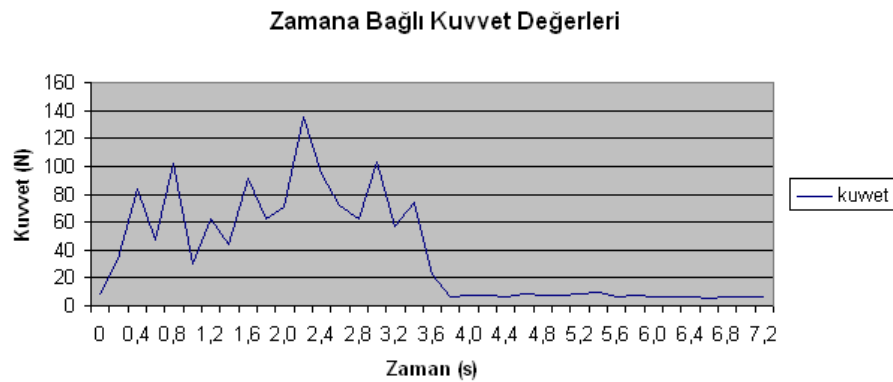
Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
1 Nolu Matkap	90	2866	0,2	30



Şekil 4.29. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar



Şekil 4.30. Tork - zaman grafiği.



Şekil 4.31. Kuvvet - zaman grafiği.

Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(2,49+2,44+2,01)/3 = 2,31 \mu\text{m}$ 'dir.

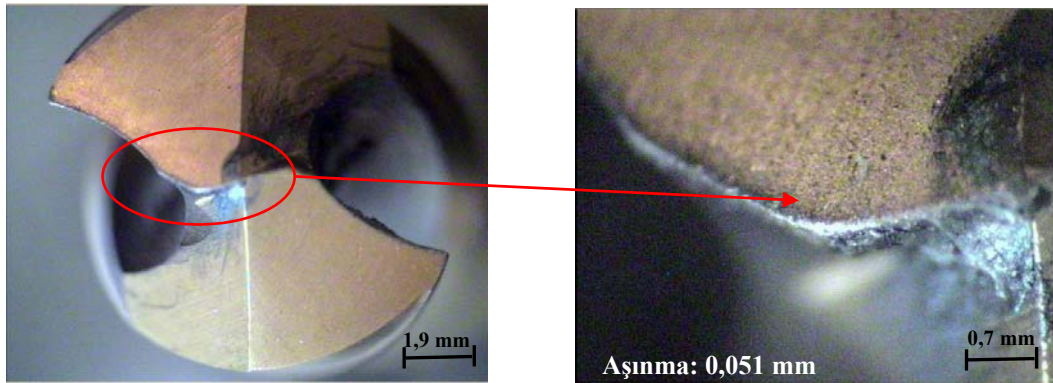
4.3.3. II. Deney

4.3.3.1. 2 Nolu Matkap İçin Uygulama

CGI iş parçası üzerinde 2 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.14'de verilmiş olup uygulama sonrasında matkaptaki aşınmalar şekil 4.32'de gösterilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen tork-zaman grafiği şekil 4.33'de kuvvet-zaman grafiği ise şekil 4.34'de belirtilmiştir.

Tablo 4.14. 2 nolu matkap uygulama değerleri

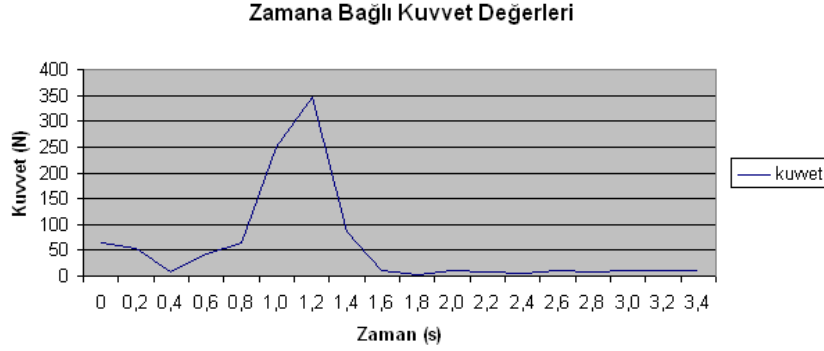
Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
2 Nolu Matkap	94	3000	0,4	30



Şekil 4.32. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar



Şekil 4.33. Tork - zaman grafiği.



Şekil 4.34. Kuvvet - zaman grafiği.

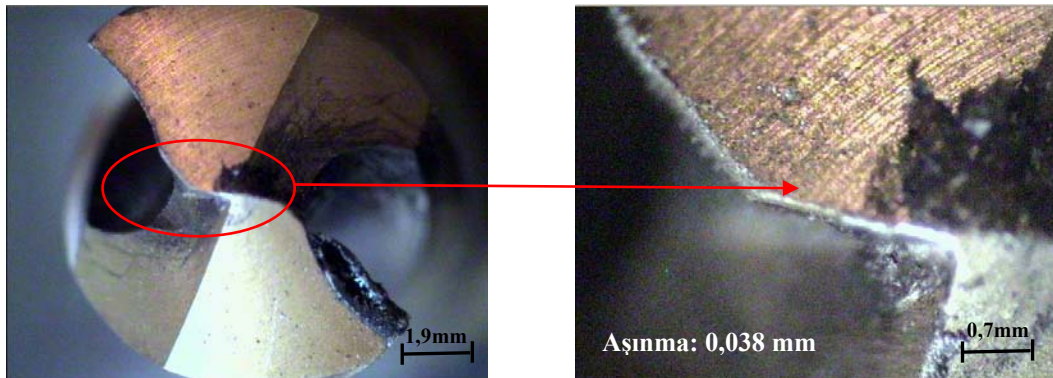
Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(2,78+2,79+2,52)/3 = 2,70 \mu\text{m}$ 'dir.

4.3.3.2. 2 Nolu Matkap İçin Uygulama

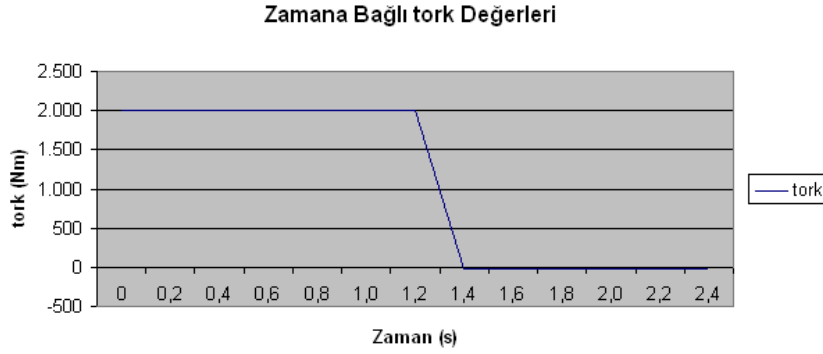
CGI iş parçası üzerinde 2 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.15'de verilmiş olup uygulama sonrasında matkaptaki aşınmalar şekil 4.35'de gösterilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen tork-zaman grafiği şekil 4.36'da kuvvet-zaman grafiği ise şekil 4.37'de belirtilmiştir.

Tablo 4.15. 2 nolu matkap uygulama değerleri

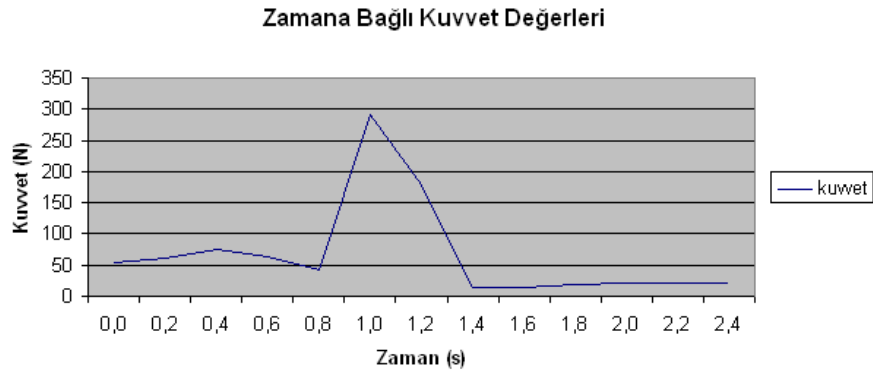
Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
2 Nolu Matkap	110	3500	0,4	30



Şekil 4.35. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar



Şekil 4.36. Tork - zaman grafiği.



Şekil 4.37. Kuvvet - zaman grafiği.

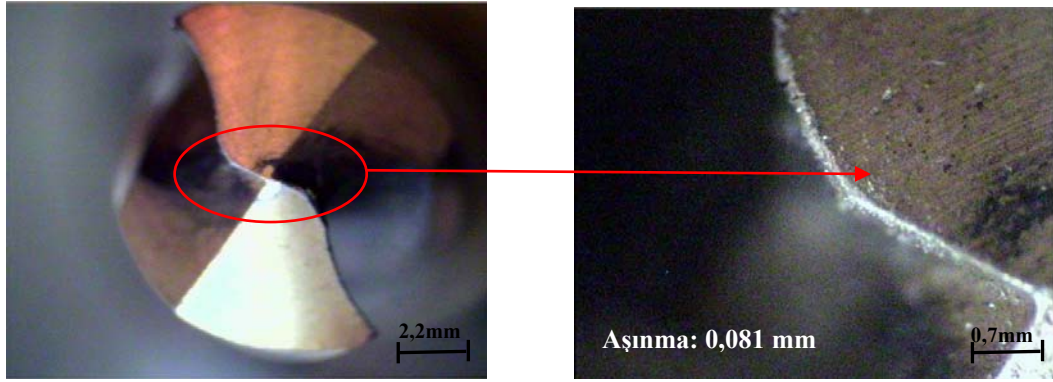
Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(1,08+1,44+1,29)/3 = 1,27' \mu\text{m}'$ dir.

4.3.3.3. 2 Nolu Matkap İçin Uygulama

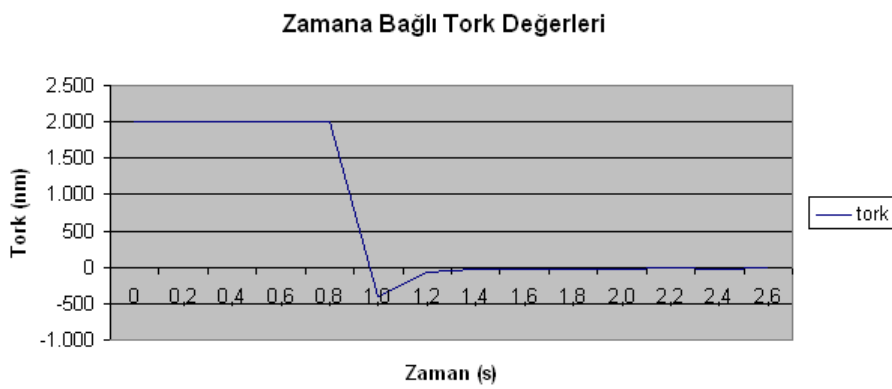
CGI iş parçası üzerinde 2 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.16'da verilmiş olup uygulama sonrasında matkaptaki aşınmalar şekil 4.38'de gösterilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen tork-zaman grafiği şekil 4.39'da kuvvet-zaman grafiği ise şekil 4.40'da belirtilmiştir.

Tablo 4.16. 2 nolu matkap uygulama değerleri

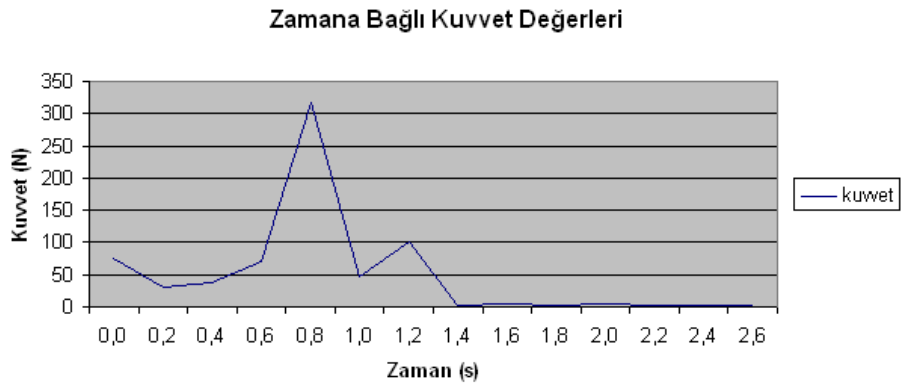
Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
2 Nolu Matkap	125	4000	0,4	30



Şekil 4.38. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar



Şekil 4.39. Tork - zaman grafiği.



Şekil 4.40. Kuvvet- zaman grafiği.

Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(0,96+1,28+1,36)/3 = 1,20 \mu\text{m}$ 'dir.

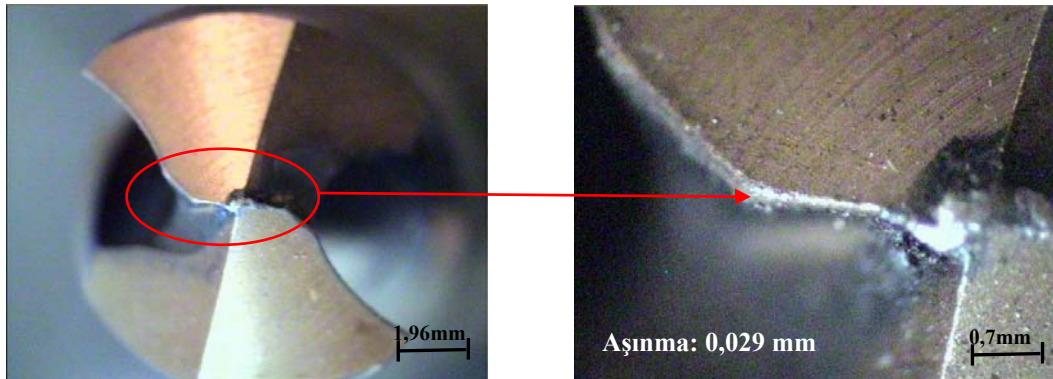
4.3.4. III. Deney

4.3.4.1. 3 Nolu Matkap İçin Uygulama

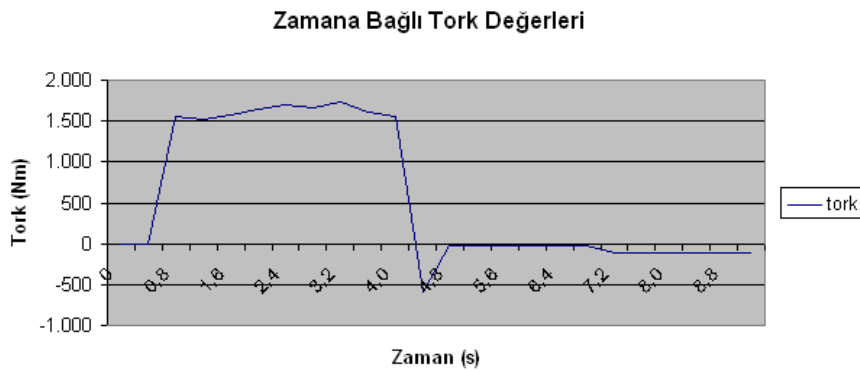
CGI iş parçası üzerinde 3 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.17’de verilmiş olup uygulama sonrasında matkaptaki aşınmalar şekil 4.41’de gösterilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen tork-zaman grafiği şekil 4.42’de kuvvet-zaman grafiği ise şekil 4.43’de belirtilmiştir.

Tablo 4.17. 3 nolu matkap uygulama değerleri

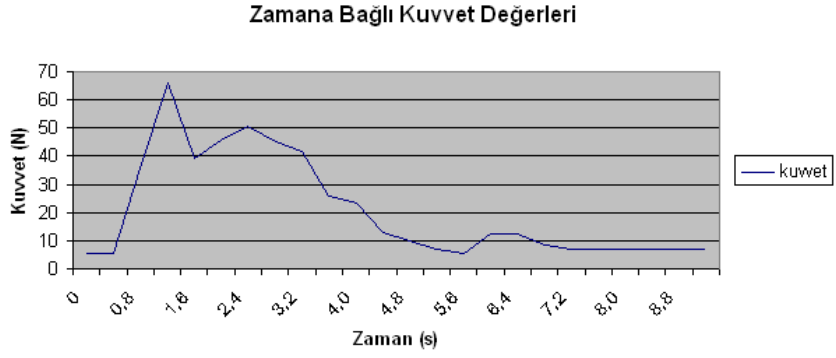
Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
3 Nolu Matkap	94	3000	0,15	30



Şekil 4.41. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar



Şekil 4.42. Tork - zaman grafiği.



Şekil 4.43. Kuvvet - zaman grafiği.

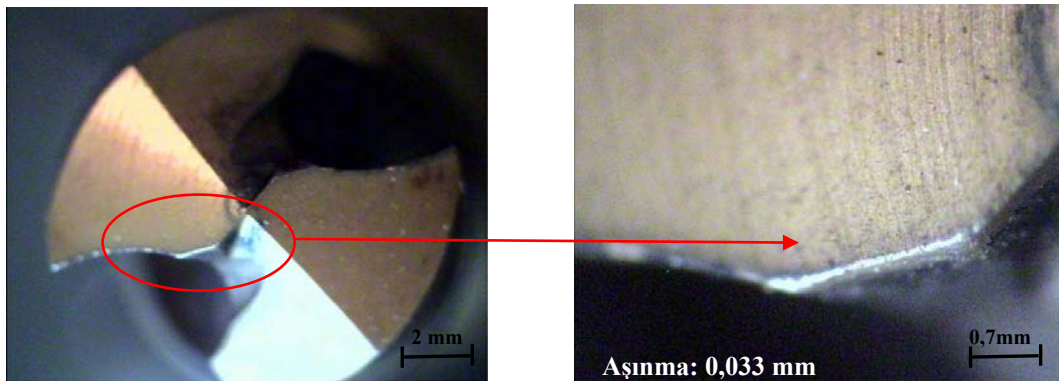
Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(0,94+0,83+0,76)/3 = 0,84 \mu\text{m}$ 'dir.

4.3.4.2. 3 Nolu Matkap İçin Uygulama

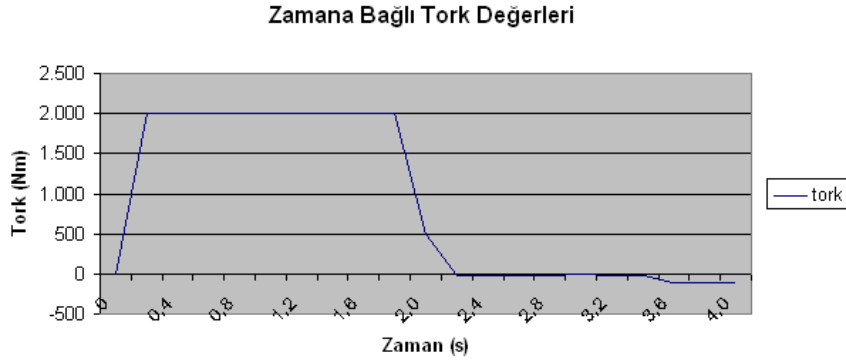
CGI iş parçası üzerinde 3 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.18'de verilmiş olup uygulama sonrasında matkaptaki aşınmalar şekil 4.44'de gösterilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen tork-zaman grafiği şekil 4.45'de kuvvet-zaman grafiği ise şekil 4.46'da belirtilmiştir.

Tablo 4.18. 3 nolu matkap uygulama değerleri

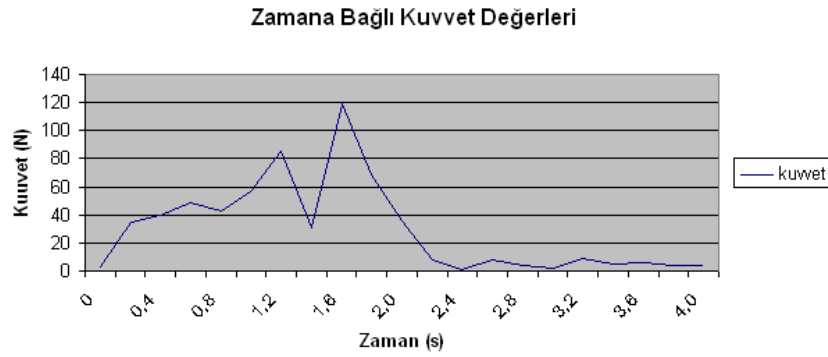
Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
3 Nolu Matkap	94	3000	0,30	30



Şekil 4.44. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar



Şekil 4.45. Tork - zaman grafiği.



Şekil 4.46. Kuvvet - zaman grafiği.

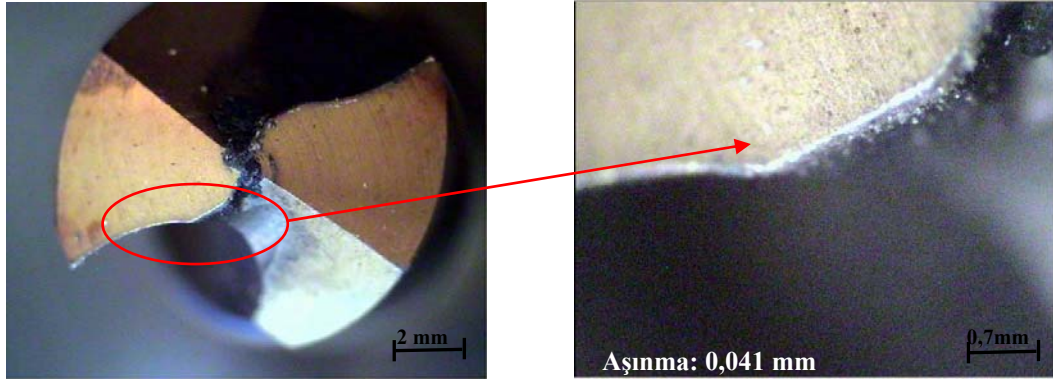
Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(0,94+0,83+0,76)/3 = 0,92' \mu\text{m}'$ dir.

4.3.4.3. 3 Nolu Matkap İçin Uygulama

CGI iş parçası üzerinde 3 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.19'da verilmiş olup uygulama sonrasında matkaptaki aşınmalar şekil 4.47'de gösterilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen tork-zaman grafiği şekil 4.48'de kuvvet-zaman grafiği ise şekil 4.49'da belirtilmiştir.

Tablo 4.19. 3 nolu matkap uygulama değerleri

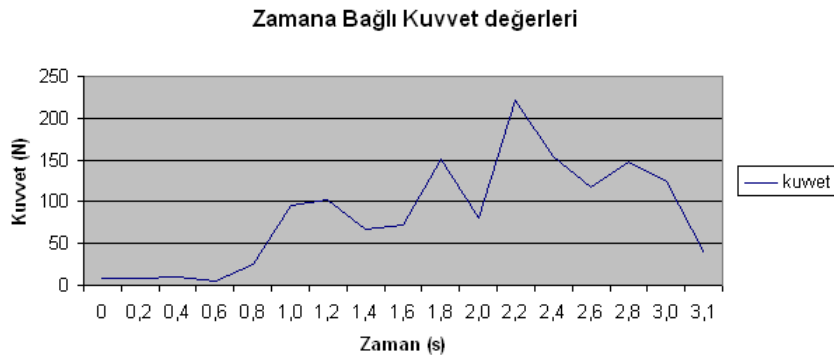
Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
3 Nolu Matkap	94	3000	0,45	30



Şekil 4.47. Uygulama Sonrası Matkaptaki Aşınmalar .



Şekil 4.48. Tork - zaman grafiği.



Şekil 4.49. Kuvvet - zaman grafiği.

Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(1,47+1,40+1,45)/3 = 1,44 \mu\text{m}$ 'dir.

4.3.5. IV. Deney

4.3.5.1. 4 Nolu Matkap İçin Uygulama

CGI iş parçası üzerinde 4 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.20'de verilmiştir. Aşınma ölçülememiştir.

Tablo 4.20. 4 nolu matkap uygulama değerleri

Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
4 Nolu Matkap	14	450	0,28	30

Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(7,05+8,19+7,21)/3 = 7,48' \mu\text{m}'$ dir.

4.3.5.2. 4 Nolu Matkap İçin Uygulama

CGI iş parçası üzerinde 4 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.21'de verilmiştir. Aşınma ölçülememiştir.

Tablo 4.21. 4 nolu matkap uygulama değerleri

Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
4 Nolu Matkap	22	710	0,28	30

Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(5,85+6,25+6,96)/3 = 6,35' \mu\text{m}'$ dir.

4.3.5.3. 4 Nolu Matkap İçin Uygulama

CGI iş parçası üzerinde 4 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.22'de verilmiştir. Aşınma ölçülememiştir.

Tablo 4.22. 4 nolu matkap uygulama değerleri

Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
4 Nolu Matkap	22	710	0,11	30

Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(6,58+5,85+6,11)/3 = 6,18' \mu\text{m}'$ dir.

4.3.6. V. Deney

4.3.6.1. 5 Nolu Matkap İçin Uygulama

CGI iş parçası üzerinde 5 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.23'de verilmiştir. Aşınma ölçülememiştir.

Tablo 4.23. 5 nolu matkap uygulama değerleri

Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
5 Nolu Matkap	35	1120	0,28	30

Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(5,41+5,40+5,74)/3 = 5,52' \mu\text{m}'$ dir.

4.3.6.2. 5 Nolu matkap İçin Uygulama

CGI iş parçası üzerinde 5 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.24'de verilmiştir. Aşınma ölçülememiştir.

Tablo 4.24. 5 nolu matkap uygulama değerleri

Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
5 Nolu Matkap	22	710	0,18	30

Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3'er kez ölçü alınarak bulundu: $(6,06+6,68+6,04)/3 = 6,26' \mu\text{m}'$ dir.

4.3.6.3. 5 Nolu Matkap İçin Uygulama

CGI iş parçası üzerinde 5 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.25’de verilmiştir. Aşınma ölçülememiştir.

Tablo 4.25. 5 nolu matkap uygulama değerleri

Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
5 Nolu Matkap	22	710	0,28	30

Pürüzlülük değerleri delik iç yüzeyinde, 3 farklı noktadan, 3’er kez ölçü alınarak bulundu: $(6,93+6,74+6,70)/3 = 6,79\ \mu\text{m}$ ’dir.

4.3.6.4. 5 Nolu Matkap İçin Uygulama

CGI iş parçası üzerinde 5 nolu matkap ile yapılan deney değerleri tablo 4.26’da verilmiştir. Aşınma ölçülememiştir.

Tablo 4.26. 5 nolu matkap uygulama değerleri

Matkap	Kesme Hızı (m/dak)	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
5 Nolu Matkap	22	710	0,45	30

4.4. Deney Sonuçları

4.4.1. 1. Deneyin Sonuçları

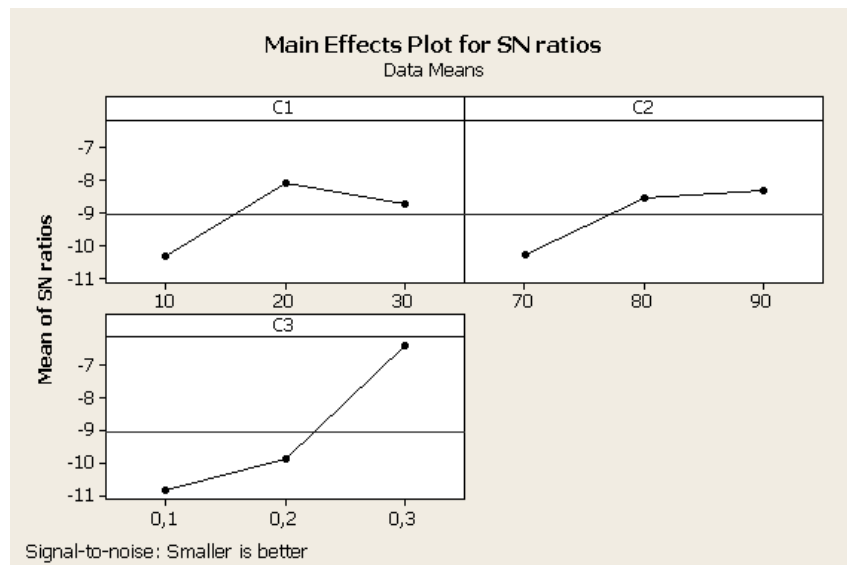
Tablo 4.27’de, 1. Deney uygulamalarında kullanılan değişen parametrelere karşılık elde edilen iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri ve takım aşınmaları gösterilmektedir. Uygulama 1, 6 ve 8 incelendiğinde, sabit ilerleme parametrelerine karşılık değişen delme hızı ve değişen derinlik parametrelerine göre elde edilen yüzey pürüzlülük ve takım aşınma miktarları görülmektedir. Uygulama 1 ve uygulama 8 incelendiğinde delme hızının 10 m/dak arttığını ve delme derinliğinin 3 katına çıkarıldığını görüyoruz. Buna karşılık yüzey pürüzlülük değerinin düştüğünü yani daha pürüzsüz bir yüzey elde ettiğimizi ve ölçülebilen takım aşınması değerinin düştüğünü görüyoruz. “Uygulama 8 ve uygulama 6’yı kıyasladığımızda da yine artan delme hızı fakat düşen delme derinliği parametreleri ile uygulama 6’da daha pürüzsüz yüzey ve daha az aşınmış takım sonucu elde ediyoruz. İş parçasına uygulanan kuvvetin de buna paralel olarak uygulama 6’da düştüğü şekil 4.22 ve şekil 4.28 karşılaştırıldığında görülmektedir. Uygulama 2 ve uygulama 4 incelendiğinde sabit ilerleme parametresine karşı artan delme hızı parametreleri ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerinin daha düşük olduğunu yani daha düzgün bir yüzey elde ettiğimizi görüyoruz. Buna karşılık ölçülebilen aşınma değeri delme hızı 70m/dak.’dan 80 m/dak’ya çıkarılıp; delme derinliği de 20 mm’den 10 mm’ye düşürüldüğünde az miktarda artış göstermektedir. Delme hızı arttırıldığında ve delme derinliği azaltıldığında iş parçasına uygulan kuvvet değerindeki azalış şekil 4.10 ve şekil 4.16 karşılaştırıldığında görülmektedir. Uygulama 4 ve uygulama 9 incelendiğinde yine sabit ilerleme parametresine karşılık artan delme hızı parametresi sonucunda düşen yüzey pürüzlülük değeri ve düşen ölçülebilen aşınma değerleri görülmektedir. Uygulama 3 ve uygulama 5 incelendiğinde, sabit ilerleme miktarı, azalan delme hızı fakat artan delme derinliği parametreleri görülmektedir. Bu durumda elde edilen yüzey pürüzlülük ve ölçülebilen aşınma değerleri daha düşük olmaktadır. Uygulama 5 ve uygulama 7 kıyaslandığında, sabit ilerleme miktarı azalan delme hızı parametresi fakat artan delme derinliği parametreleri görülmektedir. Bu durumda elde edilen yüzey pürüzlülük değeri artmıştır yani daha pürüzlü bir yüzey elde edilmiştir buna karşılık ölçülebilen aşınma değeri artmıştır.

Tablo 4.27. 1.Deney uygulama sonuçları

1. DENEY	Uygulamalar	Matkap	Hız (m/dak)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Derinlik (mm)	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Ölçülebilen Aşınma (mm)
	Uygulama 1	M1	70	0,1	10	3,89	0,194
	Uygulama 2	M1	80	0,2	10	3,58	0,22
	Uygulama 3	M1	90	0,3	10	2,56	0,164
	Uygulama 4	M1	70	0,2	20	3,68	0,152
	Uygulama 5	M1	80	0,3	20	1,47	0,151
	Uygulama 6	M1	90	0,1	20	3,01	0,126
	Uygulama 7	M1	70	0,3	30	2,44	0,141
	Uygulama 8	M1	80	0,1	30	3,62	0,152
	Uygulama 9	M1	90	0,2	30	2,31	0,142

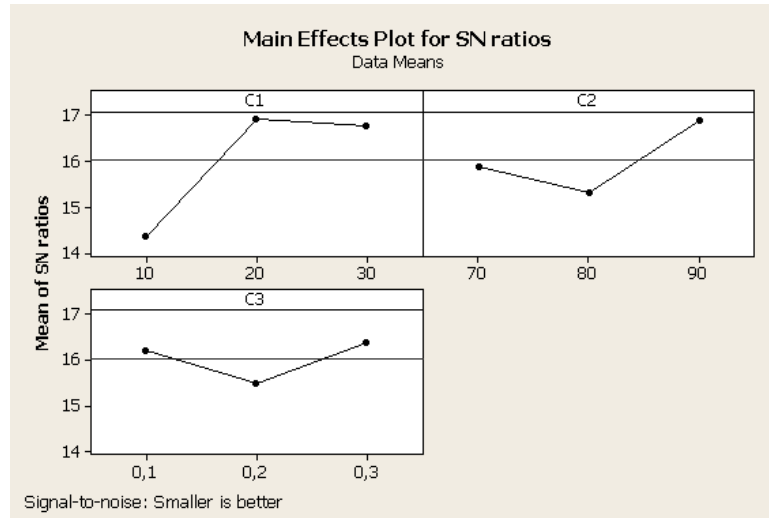
4.4.1.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için S/N Değerleri

Şekil 4.50’de delmede elde edilen yüzey pürüzlülüğünde en çok birinci parametrenin ikinci, ikinci ve üçüncü parametrenin üçüncü değerlerinin etkili olduğu görüldü. Genel olarak bu literatürle uyumludur [28].

**Şekil 4.50.** Yüzey pürüzlülüğü için S/N değerleri

4.4.1.2. Aşınma ölçümü için S/N Değerleri

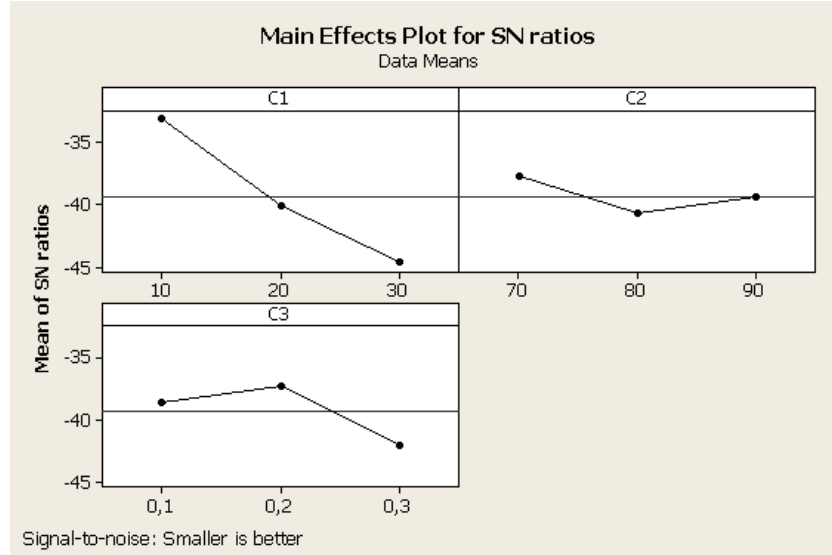
Şekil 4.51’de elde edilen aşınmada en çok birinci parametrenin ikinci, ikinci ve üçüncü parametrenin üçüncü değerlerinin etkili olduğu görüldü. Genel olarak bu literatürle uyumludur.



Şekil 4.51. Aşınma ölçümü için S/N değerleri

4.4.1.3. Kuvvet ölçümü için S/N Değerleri

Şekil 4.52’de kuvvet değerlerinde en çok birinci ve ikinci parametrenin birinci, üçüncü parametrenin ikinci değerlerinin etkili olduğu görüldü. Doğal bir sonuç olarak delme derinliği az olduğunda oluşacak kuvvet değeri de düşük olacaktır. Yine düşük kesme hızı ve ilerleme değerleri de delmede elde edilen kuvvetin düşük olmasını meydana getirmiştir.



Şekil 4.52. Kuvvet ölçümü için S/N değerleri

4.4.1.4. Malzeme için Varyans Analizi (ANOVA)

Varyans analizinde hedeflenen, incelenen faktörlerin, seçilen çıktı değerini (yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve kuvvet değerleri) ne ölçüde etkilediklerini ve farklı seviyelerin nasıl bir değişkenliğe yol açtıklarını bulabilmektir. Bunun yanı sıra elde edilen sonuçların istatistiksel olarak güvenilirliği de test edilir [24]. Bu amaçla öncelikle sinyal/gürültü oranının toplam değişkenliğini belirten SST değeri (toplam karelerin toplamı) hesaplanır.

$$SST = \sum_{i=1}^n (\eta_i - \eta_m)^2$$

Burada;

- η_i = ölçülen değer üzerinden hesaplanan sinyal gürültü oranı,
- η_m = ölçülen değer üzerinden hesaplanan sinyal gürültü oranların ortalaması,
- n=toplam deney sayısı,

ifade etmektedir.

SST değeri dört faktörün ayrı ayrı karelerinin toplam değerleri (SSA, SSB ve SSC) ile hata payının karelerinin toplamı olan SSE değerinin toplamından oluşmaktadır. Her faktörün kareleri

$$SSA(SSB, SSC, \dots) = \sum_{i=1}^{k_a} [n_{a_i} x(\eta_{a_i} - \eta_m)^2]$$

şeklinde hesaplanır. Burada;

- k_a =a faktörünün seviye sayısı,
- n_{a_i} =a faktörünün i seviyesindeki deney sayısı,
- η_m =ortalama S/N oranı

dır.

Her faktörün karelerinin toplamının ayrı ayrı hesaplanması sonucu (Minitab yazılımı yoluyla) ortaya çıkan değerler Tablo 4.28, .4.29 ve 4.30'da gösterilmiştir. F'nin en büyük değeri ölçüm sonucunu (yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve kuvvet) etkileyen en önemli faktördür [27]. Tablo 4.28'den görüleceği üzere, yüzey pürüzlülüğünü; derinliğin % 13.70, kesme hızının % 11.60 ve ilerlemenin % 54.50 değerinde, Tablo 4.29'da aşınmayı; derinliğin % 70.28, kesme hızının % 21.55 ve ilerlemenin % 7,54 değerinde, Tablo 4.30'da ise kuvvet değerini; derinliğin % 79.77, kesme hızının % 5,46 ve ilerlemenin % 14,30 değerinde etkiledikleri sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4.28. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için Taguchi L₉ deney tasarımına göre ANOVA tablosu

	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Ortalama Karelerin Toplamı	Faktör Etkisi (%)	F
Derinlik (mm)	2	8,19	4,09	13,70	0,48
Kesme Hızları (m/dak)	2	6,93	3,46	11,60	0,39
İlerlemeler (mm/dev)	2	32,57	16,28	54,50	3,59
Hata	2	12,07	23,83	20,20	
Toplam	8	59,76		100,00	

Tablo 4.29. Aşınma ölçümü için Taguchi L₉ deney tasarımına göre ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Ortalama Karelerin Toplamı	Faktör Etkisi (%)	F
Derinlik (mm)	2	12,39	6,19	70,28	7,08
Kesme Hızları (m/dak)	2	3,80	1,90	21,55	0,83
İlerlemeler (mm/dev)	2	1,33	0,66	7,54	0,24
Hata	2	0,11	8,73	0,62	
Toplam	8	17,63		~100.00	

Tablo 4.30. Kuvvet ölçümü için Taguchi L₉ deney tasarımına göre ANOVA tablosu.

	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Ortalama Karelerin Toplamı	Faktör Etkisi (%)	F
Derinlik (mm)	2	200,21	100,11	79,77	11,82
Kesme Hızları (m/dak)	2	13,7	6,8	5,46	0,17
İlerlemeler (mm/dev)	2	35,9	17,9	14,30	0,50
Hata	2	0,49	124,81	0,20	
Toplam	8	251		~100	

4.4.2. 2. Deneyin Sonuçları

Tablo 4.31’de, 2. Deney uygulamalarında kullanılan parametrelere karşılık elde edilen iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri ve takım aşınmaları gösterilmektedir. Tablodaki veriler incelendiğinde karbür matkap kullanılarak yapılan delme deneyinde, derinlik ve ilerleme parametreleri sabit tutulduğunda, hızdaki değişim iş parçasındaki yüzey pürüzlülüğü ve takımdaki ölçülebilen aşınma değerlerini etkilemektedir. Delme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır yani daha

düzgün bir yüzey elde edilmektedir. Zamana bağlı kuvvet değerlerini gösteren grafikler, şekil 4.34; şekil 4.37; şekil 4.40, karşılaştırıldığında, artan delme hızı parametresi ile birlikte iş parçasına uygulanan kuvvetlerde düşüş gözlenmektedir. Yüzey pürüzlülük değerindeki düşüş bundan kaynaklanmaktadır. Yani diğer parametreler sabit tutulup delme hızı arttırıldığında iş parçasına uygulanan kuvvetlerde düşüşler gözlenmektedir. Bu nedenle de daha pürüzsüz bir yüzey elde edilmektedir. Ayrıca yine delme hızı bir miktar arttırıldığında ölçülebilen aşınma değeri azalmaktadır, delme hızı bir miktar daha arttırıldığında ölçülebilen aşınma değerinde artış görülmektedir. Zamana bağlı tork değerlerini gösteren grafikler, şekil 4.33; şekil 4.36; şekil 4.39, incelendiğinde şekil 4.33 ve şekil 4.39e matkapın delme yönündeki işi tamamlayıp tekrar geri çıkmaya başladığı anlarda tork değeri negatif olarak kayıt ediliyor. Matkap yukarı çekilirken eğilmeden veya çapaklardan dolayı eksi tork değerleri ile karşılaşmış olabilir. Matkaplardaki aşınma farklılıkları bundan kaynaklanıyor olabilir. Eksi tork değeri gösteren 1. ve 3. uygulama tork-zaman grafiklerine karşılık gelen aşınma değerleri, 2. uygulama tork-zaman grafiğine karşılık gelen aşınma değerine değere göre daha yüksektir.

Tablo 4.31. 2.Deney uygulama sonuçları

2. DENEY	Uygulamalar	Matkap	Hız (m/dak)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Derinlik (mm)	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Ölçülebilen Aşınma (mm)
	Uygulama 1	M2	94	0,4	30	2,71	0,051
	Uygulama 2	M2	110	0,4	30	1,27	0,038
	Uygulama 3	M2	125	0,4	30	1,2	0,081

4.4.3. 3. Deneyin Sonuçları

Tablo 4.32’de, 3. Deney uygulamalarında kullanılan parametrelere karşılık elde edilen iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri ve takım aşınmaları gösterilmektedir. Tablodaki veriler incelendiğinde karbür matkap kullanılarak yapılan delme deneyinde, derinlik ve hız parametreleri sabit tutulduğunda, ilerleme miktarındaki değişim iş parçasındaki yüzey pürüzlülüğü ve takımdaki ölçülebilen aşınma değerlerini etkilemektedir. İlerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğü ve ölçülebilen aşınma değerleri artmaktadır. Zamana bağlı kuvvet değerlerini gösteren grafikler, şekil 4.43; şekil 4.46; şekil 4.49 karşılaştırıldığında, artan ilerleme miktarı

parametresi ile iş parçasına uygulanan kuvvetlerde de artış gözlenmektedir. Yüzey pürüzlülük değeri de kuvvet artışına paralel olarak artmaktadır. Yüzey pürüzlülük değerindeki artış bundan kaynaklanmaktadır. Yani diğer parametreler sabit tutulup ilerleme miktarı arttırıldığında iş parçasına uygulanan kuvvette artış gözlenmektedir. Bu nedenle uygulama sonrası daha pürüzlü bir yüzey elde edilmektedir. Ölçülebilen aşınma değeri de artan kuvvete paralel olarak artış göstermektedir. Zamana bağlı tork değerlerini gösteren grafikler, şekil 4.42 şekil 4.45şekil 4.48ncelendiğinde kuvvet değerlerine benzer bir artış görülmektedir. Şekil 4.49’da artan ve en yüksek değerine ulaşan kuvvet değerine karşılık gelen Şekil 4.48’deki tork değeri bir önceki uygulamada ulaşılan tork değerinin üstüne çıkmıyor.

Tablo 4.32. 3.Deney uygulama sonuçları

3. DENEY	Uygulamalar	Matkap	Hız (m/dak)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Derinlik (mm)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Ölçülebilen Aşınma (mm)
	Uygulama 1	M3	94	0,15	30	0,84	0,029
	Uygulama 2	M3	94	30	30	0,92	0,033
	Uygulama 3	M3	94	0,45	30	1,44	0,041

2. ve 3. deneylerdeki parametrelere bağlı sonuçları kıyasladığımızda ise, yüksek delme hızında, düşük ilerleme miktarı ile yapılan çalışmalarda, iş parçasındaki yüzey pürüzlülük değerinin ve takım aşınması değerinin düştüğü görülmektedir. Yani yüksek delme hızı ve düşük ilerleme hızında yapılan çalışmalarda iş parçası yüzeyi daha pürüzsüz ve takımdaki aşınma değeri daha azdır.

4.4.4. 4. Deneyin Sonuçları

Tablo 4.33’de, 4. Deney uygulamalarında kullanılan parametrelere karşılık elde edilen iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri ve takım aşınmaları gösterilmektedir. HSS matkap kullanılarak yapılan delme deneyinde, 2. ve 3. deneylerde olduğu gibi derinlik ve ilerleme miktarı parametreleri sabit tutulduğunda, delme hızındaki artış yüzey pürüzlülük değerinde düşüşle sonuçlanmıştır. Uygulama 1 ve 2 kıyaslandığında bu durum açıkça görülmektedir. Delme hızı ve derinliği parametreleri sabit tutulduğunda ise, ilerleme hızı arttırıldığında yüzey

pürüzlülüğünün arttığı sonucu uygulama 2 ve 3'te görülmektedir. 2. ve 3. deneylerden farklı olarak bu deneyde HSS matkap kullanılmıştır. Ayrıca delme hızları 2. ve 3. deneye nispeten oldukça düşüktür. Bu parametreler sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri daha yüksektir.

Tablo 4.33. 4.Deney uygulama sonuçları

4. DENEY	Uygulamalar	Matkap	Hız (m/dak)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Derinlik (mm)	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Ölçülebilen Aşınma (mm)
	Uygulama 1	M4	14	0,28	30	7,48	Ölçülemedi.
	Uygulama 2	M4	22	0,28	30	6,35	Ölçülemedi.
	Uygulama 3	M4	22	0,11	30	6,18	Ölçülemedi.

4.4.5. 5. Deneyin Sonuçları

Tablo 4.34'de, 5. Deney uygulamalarında kullanılan parametrelere karşılık elde edilen iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri ve takım aşınmaları gösterilmektedir. HSS matkap kullanılarak yapılan delme deneyinde, 2. 3. ve 4. deneylerde elde edilen sonuçlara benzer sonuçlarla karşılaşılmıştır. Uygulama 1 ve 3'ü kıyasladığımızda, sabit ilerleme ve derinlik parametrelerine karşılık delme hızı değerini attığımızda iş parçası yüzey pürüzlülük değeri azalmıştır. Yani diğer parametreler sabitken delme hızı artırıldığında daha pürüzsüz bir yüzey elde edilmiştir. Uygulama 2 ve 4'ü kıyasladığımızda, delme hızı ve derinlik parametreleri sabit tutulup ilerleme hızı parametresi artırıldığında iş parçası yüzey pürüzlülük değeri artıyor. Diğer parametreleri sabit tuttuğumuzda ilerleme hızı parametresini arttırsak daha kötü bir yüzey kalitesi elde ederiz. Uygulama 3 ve 4'ü kıyasladığımızda da aynı sonuç ortaya çıkar.

Tablo 4.34. 5.Deney uygulama sonuçları

5. DENEY	Uygulamalar	Matkap	Hız (m/dak)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Derinlik (mm)	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Ölçülebilen Aşınma (mm)
	Uygulama 1	M5	35	0,28	30	5,52	Ölçülemedi.
	Uygulama 2	M5	22	0,18	30	6,26	Ölçülemedi.
	Uygulama 3	M5	22	0,28	30	6,79	Ölçülemedi.
	Uygulama 4	M5	22	0,45	30	6,96	Ölçülemedi.

Yapılan deneyler sabit ilerleme miktarı ve artan delme hızı parametresinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerinin düştüğünü yani daha düzgün bir yüzey elde edildiğini, bununla birlikte takımdaki ölçülebilen aşınma değerlerinde artış meydana geldiğini göstermektedir. Artan delme hızı ile iş parçasına uygulanan kuvvet değeri düşmüştür. Sabit delme hızı parametresi ve artan ilerleme miktarı parametreleri ile yapılan uygulamalarda ise yüzey pürüzlülük değerinin de arttığı yani daha pürüzlü bir yüzey elde edildiği ve takımdaki ölçülebilen aşınmanın arttığı görülmüştür. İlerleme miktarındaki artış iş parçası üstüne uygulanan kuvveti de arttırmıştır. HSS matkap kullanılarak daha düşük delme hızı parametreleri ile yapılan 4. ve 5. deneylerde de aynı sonuçlara ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Secomax PCBN Technical Guide, p.71
- [2] Guessser, L. W. And Guedes, L. C. Desenvolvimentos recentes em ferros fundidos aplicados a industria automobilistica. In: IX Simposio de Engenharia Automotiva, AEA, Sao Paulo, 1977
- [3] Guessser, W; Schroeder, T. and Dawson, S. Production Experience with compacted graphite iron automotive components. AFS Transactions, Des plaines, 2001.
- [4] Jaszczak, John A. Michigan Technological University, Department of Physics at the A. E. Seaman Mineral Museum. The graphite page. Available at: <<http://www.phy.mtu.edu/faculty/info/jaszczak/graphite.html>>. Access dec. 17, 2001.
- [5] Marquard, Ralf; Helfried, Sorger and McDonald, Malcolm. Crank it up: New materials create new possibilities. Engine technology international, v. 2, p. 58-60, 1998.
- [6] ASM. Speciality handbook: cast irons. United States: ASM International, 1996, p. 33-267.
- [7] Dawson, S., et al., The Effect of Metallurgical Variables on the Machineability of Compacted Graphite iron, SAE Technical Paper Series 2001, 2001-01-0409
- [8] Dawson, Steve et al. The effect of metallurgical variables on the machinability of compacted graphite iron. In: Design and Machining Workshop – CGI, 1999.
- [9] Dawson, Steve. The SinterCast Process and compacted graphite iron. In: International Conference on Latest and Best in Melting and Metal Treatment in Ferrous and Non-Ferrous Foundries, Coventry, England, 1994.

[10] Cohen, P. H.; Voigt, R. C. and Marwanga, R. O. Influence of graphite morphology and matrix structure on chip formation during machining of ductile irons. In: AFS Casting Congress, American Foundrymen's Society, Pittsburg, 2000.

[11] Reuter, Ulrich, et al. Wear mechanisms in high-speed machining of compacted graphite iron. In: Design e Machining Workshop – CGI, 1999.

[12] Boehs, Lourival. Influência do sulfeto de manganês na usinabilidade do ferro fundido maleável preto ferrítico. 1979. 105 f. Dissertation (Mechanical Engineering Master Degree)

[13] Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

[14] Reuter, Ulrich, et al. The wear process of CGI cutting and machining developments. In: Compacted Graphite Iron – Machining Workshop, Darmstadt, Germany, 2000.

[15] The Effect of Metallurgical Variables on the Machinability of Compacted Graphite Iron

[16] Sahm, D., CGI-Machining Requirements in Large-Scale Production, Proceedings of CGIDesign & Machining Workshop, Bar Homburg, Germany, 1997.

[17] Schmitt, T., Reuter, U., Examination of the Wear Mechanisms of Different Cutting Materials, Proceedings of CGI Design & Macihining Workshop, Bad Homburg, Germany, 1997.

[18] Schults, H., Reuter, U., Basic Investigations in CGI Machining Preceedings of CGI Design & Machining Workshop, Bad Nauheim, Germany, 1998.

[19] Kümmel, D, Mechanismen beim Hochgeschwindigkeitsfrasen von Gussisen, Doctoral Dissertation – TU – Darmstad, Carl Hanser Verlag, Munich, 1991

[20] Schults, H., Hochgeschwindigkeitsbearbeitung –High Speed Machining, Carl Hanser Verlag, Munich, 1991.

[21] Conding, B. N., A Tool Temperature / Tool Life Relationship Covering a Wide Range of Cutting Data. *Annals of the CIRP*, 40/1, 1991, 35-40.

[22] Schultz, H., et al., Scientific Fundamentals of HSC, ISBN 3-446-21799, Carl Hanser Verlag, Munich, 2001

[23] Kurt, Ü., Önbilgin, G., “Eksenel akıllı sürekli mıknatıslı senkron makine tasarımında taguchi yönteminin kullanılması”, On dokuz Mayıs üniversitesi, 55159.

[24] Savaşkan, M., Taptık, Y., Ürgen, m., 2004, “Deney tasarımı yöntemi ile matkap uçlarında performans Optimizasyonu”, ITÜ dergisi, Cilt:3 Sayı:6 117-128.

[25] Oktem, H., Erzurumlu, T., Uzman, İ., 2006, “Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part”, *Metarials and desige*, 28 (2007) 1271-1278.

[26] Erzurumlu, T., Özçelik, B., 2005, “Minimization of warpage and sink index in injection molding termoplastic part using taguchi optimization method”, *metarials and design*, 27 (2006) 853-861.

[27] Shih-Jung Liu, Chang-Hsu Lin, and Yi-Chuan Wu, Minimizing the Sinkmarks in Injection-Molded Thermoplastics, *Advances in Polymer Technology*, Vol. 20, No. 3, 202–215 (2001).

[28] S.H. Tang, Y.J. Tan, S.M. Sapuan, S. Sulaiman, N. Ismail, R. Samin, The use of Taguchi method in the design of plastic injection mould for reducing warpage, *Journal of Materials Processing Technology* 182 (2007) 418–426.

[29] Julie Z. Zhang, Joseph C. Chen, E. Daniel Kirby, Surface roughness optimization in an end-milling operation using the Taguchi design method, *Journal of Materials Processing Technology* 184 (2007) 233–239.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	01.01.1979	
Doğum Yeri	Sinop	
Lise	1992 – 1995	Kocaeli Mimar Sinan Lisesi
Lisans	1996 - 2002	Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2005 - 2008	Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurumlar

2002 - 2003	Türk Silahlı Kuvvetleri
2003 – 2004	ETA Makine İmalat ve Montaj Sanayi Limited Şirketi
2004 – 2006	Çamsan MDF 3 Tesisleri
2006 –	Thames Water