



**İŞLENMESİ ZOR MALZEMELERİN YÜKSEK TALAŞ KALDIRMA
ORANLARIYLA İŞLENMESİ İÇİN ISI DESTEKLİ HİBRİD SİSTEMİN
GELİŞTİRİLMESİ VE ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ**

Atakan UĞRAŞ

DOKTORA TEZİ

İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Atakan UĞRAŞ

05/07/2022

İŞLENMESİ ZOR MALZEMELERİN YÜKSEK TALAŞ KALDIRMA ORANLARIYLA İŞLENMESİ İÇİN ISI DESTEKLİ HİBRİD SİSTEMİN GELİŞTİRİLMESİ VE ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

(Doktora Tezi)

Atakan UĞRAŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2022

ÖZET

İşlenmesi zor malzemelerin konvansiyonel yöntemlerle işlenmesinde yüksek kesme kuvvetleri, boyutsal toleransların sağlanamaması ve kötü yüzey kalitesi karşılaşılan başlıca sorunlardır. Kesme parametrelerinin düşük seviyelerde kullanılması, yüksek maliyetli kesici takımların kullanılması, yüzey kalitesini iyileştirmek için ilave operasyonların yapılması sorunları azaltmak amacıyla başvurulanan yaklaşımlardır. Isı destekli işleme (IDİ), işlenmesi zor malzemeleri işlemek için başvurulanan yöntemlerden birisidir. Ön ısıtma ile malzemenin akma dayanımı ve sertliği düşmektedir. Lazer, plazma arkı, oksijen-gaz alevi ve elektrik akımı ısıtma için kullanılan başlıca enerji kaynaklarıdır. Enerji kaynağı ısıtmayı dar bir bölgede yapmalı, ekonomik ve ulaşılabilir olmalı ve hassas parametrik ayarlara sahip olmalıdır. Bu özellikler göz önüne alındığında Tungsten Inert Gase (TIG) tekniği alternatif bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada TIG tekniğinin IDİ için uygulanabilirliği, diğer enerji kaynakları arasındaki yeri ve konvansiyonel işlemeye göre sağladığı üstünlükler araştırılmıştır. TIG tekniği kullanılarak IDİ yapabilen bir sistem geliştirilmiştir. Deneylerde AISI 4340 çeliğinin sertleştirilmemiş ve 49 HRC sertliğinde sertleştirilmiş numuneleri yüksek talaş kaldırma oranlarında (TKO) konvansiyonel yöntem ve TIG destekli IDİ yöntemi ile işlenmiştir. Ön ısıtma sayesinde spesifik kesme enerjisi (E_{SK}) düşmüş ve talaşın plastik deformasyonu kolaylaşmıştır. Konvansiyonel işlemeye göre kesme işleminde harcanan güç (P_c) değerinde maksimum %20,92 azalma sağlanmış ve yüzey kalitesinde (R_a) maksimum %22,28 iyileşme sağlanmıştır. Numunelerin boyutsal kararlılık özellikleri iyileştirilmiş ve çap ölçüsündeki sapma (ÇÖS) değerlerinde 40 μm ' a varan azalma sağlanmıştır. TIG tekniği IDİ için uygulanabilir ve alternatif bir enerji kaynağıdır. TIG tekniğinin kesme işlemlerinde kullanımının yaygınlaşması için gelişime açık yönleri bulunmaktadır. Kesme ile eş zamanlı gerçekleştirilemeyen ön ısıtma nedeniyle numunelerin çap ölçüsünde genleşmeye bağlı boyutsal daralma (GBD) olduğu belirlenmiştir. Kısa devre nedeniyle kaynak arkının sonlanması TIG esaslı IDİ yönteminin diğer bir dezavantajıdır.

Bilim Kodu : 91438
Anahtar Kelimeler : Isı Destekli İşleme, TIG Tekniği, Sertleştirilmiş AISI 4340, Kesme Gücü, Boyutsal Kararlılık, Yüzey Pürüzlülüğü
Sayfa Adedi : 192
Danışman : Doç. Dr. Fırat KAFKAS

DEVELOPING OF THERMAL-AIDED HYBRID SYSTEM FOR MACHINING
DIFFICULT-TO-MACHINE MATERIALS WITH HIGH MATERIAL REMOVAL
RATE AND DETERMINING OF ITS OPERATION PARAMETERS

(Ph. D. Thesis)

Atakan UĞRAŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2022

ABSTRACT

In the processing of difficult-to-process materials by conventional methods high cutting forces, failure to ensure dimensional tolerances and poor surface quality are the main problems encountered. To use of cutting parameters at low levels, to use high-cost cutting tools, making additional operations for improving surface quality are the approaches used to reduce problems. Heat-assisted machining (HAM) is one of the methods used to process difficult-to-process materials. With preheating, the yield strength and hardness of the material decrease. Laser, plasma arc, oxy-gas flame and electric current are the main energy sources used for heating. The energy source should make heating in a narrow area, it should be economical and accessible and it should have precise parametric settings. Considering these features, Tungsten Inert Gas (TIG) technique appears as an alternative energy source. In this study, the applicability of TIG technique for HAM, its place among other energy sources and its advantages over conventional processing were investigated. A system capable of performing HAM has been improved using the TIG technique. In the experiments, AISI 4340 of steel non-hardened and with 49 HRC hardness hardened samples were processed conventional method and TIG assisted HAM at high material removal rates (MRR). By means of preheating, the specific cutting energy (E_{sc}) is reduced and plastic deformation of the chip is facilitated. According to conventional machining a maximum reduction of 20,92 % was achieved in the value of power consumed in the cutting process (P_c) and a maximum improvement of 22,28% was achieved in surface quality (R_a). The dimensional stability properties of the samples were improved and the deviation values in diameter (DVD) were reduced by up to 40 μm . The TIG technique is a viable and alternative energy source for HAM. There are aspects that are open to development for the widespread use of TIG technique in cutting processes. Due to preheating, which could not be performed simultaneously with cutting, it was determined that the samples had dimensional contraction due to expansion (DCE) in diameter. Another disadvantage of the TIG technique-based HAM method is termination of welding arc due to short circuit.

Science Code : 91438

Key Words : Heat-Assisted Machining, TIG Technique, Hardened AISI 4340,
Cutting Power, Dimensional Stability, Surface Roughness

Page Number : 192

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Fırat KAFKAS

TEŞEKKÜR

Birlikte çalışmaya başladığımız günden bugüne karşılaştığım her türlü güçlük karşısında maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen ve her zaman yanımda olan kıymetli hocam Doç. Dr. Fırat KAFKAS' a teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmamın her safhasında tecrübelerinden ve bilgisinden yararlandığım, maddi ve manevi desteğini gördüğüm değerli hocam Prof. Dr. Ulvi ŞEKER' e katkılarından dolayı teşekkür ederim. Tüm çalışma boyunca destek ve katkılarını benden esirgemeyen Prof. Dr. Mustafa GÜNEY hocama teşekkürlerimi sunarım. Çalışmanın yürütülmesine gösterdikleri katkılardan dolayı Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği akademik ve idari personeline teşekkür ederim. Bu çalışmanın tamamlanmasında büyük pay sahibi olan, akademik çalışmalarında beni her zaman destekleyen sevgili eşim Ayşegül UĞRAŞ' a yardımları ve gösterdiği sabır için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xvi
RESİMLERİN LİSTESİ	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxii
1. GİRİŞ.....	1
2. ISI DESTEKLİ İŞLEME	5
2.1. Isı Destekli İşlemenin Esasları.....	5
2.2. Isı Destekli İşleme Yönteminde Kullanılan Enerji Kaynakları.....	6
2.2.1. Oksi-gaz tekniği	6
2.2.2. Plazma tekniği.....	6
2.2.3. Lazer tekniği.....	8
2.2.4. İndüksiyon akımı tekniği	9
2.2.5. Elektrik akımı tekniği.....	10
2.2.6. TIG tekniği	11
2.3. Isı Destekli İşleme Yönteminde Kullanılan Enerji Kaynaklarının Karşılaştırılması.....	12
3. TIG TEKNİĞİ	13
3.1. TIG Kaynak Yönteminin Uygulama Alanları	13
3.2. TIG Kaynağı Ekipmanları	16

	Sayfa
3.2.1. Güç kaynakları	16
3.2.2. Kaynak torçları.....	18
3.2.3. Elektrotlar	19
3.2.4. Koruyucu gazlar	20
3.3. TIG Parametreleri	21
3.3.1. Koruyucu gazın debisi	21
3.3.2. Tungsten elektrotun geometrisi.....	21
3.3.3. Kaynak akımı tipi.....	23
3.3.4. Akım şiddeti	24
3.3.5. Kutuplama	24
3.3.6. Ark gerilimi (voltaj) ve kaynak hızı	25
3.4. TIG Tekniğinin Otomasyon Uygulamaları	26
4. LİTERATÜR ÖZETİ	29
5. MATERYAL VE METOT.....	35
5.1. İş Malzemesi.....	36
5.2. Takım Tezgâhı.....	39
5.3. Ön Isıtma Sistemi	39
5.4. Kesici Takım ve Takım Tutucu.....	40
5.5. Deney Düzeneği	41
5.6. Deney Tasarımı ve Uygulama Planı.....	42
5.6.1. Ön deneyler	43
5.6.2. Esas kesme deneyleri.....	45
5.7. Ölçümler	48
5.7.1. Güç ölçümleri.....	48

	Sayfa
5.7.2. Sıcaklık ölçümleri	49
5.7.3. Boyutsal ölçümler	51
5.7.4. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri.....	52
5.7.5. Kesilmiş talaş kalınlığı ölçümleri	53
5.8. Hesaplanan Veriler	53
5.8.1. Yığılma faktörünün hesaplanması	53
5.8.2. Spesifik kesme enerjisinin belirlenmesi	54
5.9. İstatistiksel Analiz	54
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	55
6.1. Ön Deney Sonuçları.....	55
6.2. Esas Kesme Deneyleri	60
6.2.1. Güç tüketimi sonuçları.....	61
6.2.2. Spesifik kesme enerjisine ilişkin sonuçlar.....	67
6.2.3. Talaş kaldırma sıcaklığı sonuçları	69
6.2.4. Talaş oluşumları.....	75
6.2.5. Yığılma faktörü sonuçları.....	84
6.2.6. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları	90
6.2.7. Boyutsal ölçüm sonuçları	96
6.3. TIG Esaslı İşleme Yönteminin Dezavantajları.....	105
7. KARAR VE ÖNERİLER	107
KAYNAKLAR	111
EKLER.....	118
EK-1. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 1. Deney	119
EK-2. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 2. Deney	120

Sayfa

EK-3. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 3. Deney	121
EK-4. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 4. Deney	122
EK-5. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 5. Deney	123
EK-6. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 6. Deney	124
EK-7. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 7. Deney	125
EK-8. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 8. Deney	126
EK-9. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 9. Deney	127
EK-10. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 10. Deney	128
EK-11. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 11. Deney	129
EK-12. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 12. Deney	130
EK-13. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 13. Deney	131
EK-14. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 14. Deney	132
EK-15. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 15. Deney	133
EK-16. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 16. Deney	134
EK-17. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 17. Deney	135
EK-18. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 18. Deney	136
EK-19. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 19. Deney	137
EK-20. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 20. Deney	138
EK-21. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 21. Deney	139
EK-22. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 22. Deney	140
EK-23. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 23. Deney	141
EK-24. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 24. Deney	142
EK-25. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 25. Deney	143
EK-26. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 26. Deney	144

Sayfa

EK-27. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 27. Deney	145
EK-28. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 28. Deney	146
EK-29. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 29. Deney	147
EK-30. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 30. Deney	148
EK-31. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 31. Deney	149
EK-32. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 32. Deney	150
EK-33. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 33. Deney	151
EK-34. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 34. Deney	152
EK-35. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 35. Deney	153
EK-36. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 36. Deney	154
EK-37. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 37. Deney	155
EK-38. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 38. Deney	156
EK-39. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 39. Deney	157
EK-40. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 40. Deney	158
EK-41. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 41. Deney	159
EK-42. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 42. Deney	160
EK-43. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 43. Deney	161
EK-44. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 44. Deney	162
EK-45. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 45. Deney	163
EK-46. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 46. Deney	164
EK-47. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 47. Deney	165
EK-48. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 48. Deney	166
EK-49. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 49. Deney	167
EK-50. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 50. Deney	168

Sayfa

EK-51. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 51. Deney	169
EK-52. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 52. Deney	170
EK-53. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 53. Deney	171
EK-54. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 54. Deney	172
EK-55. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 55. Deney	173
EK-56. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 56. Deney	174
EK-57. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 57. Deney	175
EK-58. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 58. Deney	176
EK-59. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 59. Deney	177
EK-60. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 60. Deney	178
EK-61. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 61. Deney	179
EK-62. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 62. Deney	180
EK-63. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 63. Deney	181
EK-64. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 64. Deney	182
EK-65. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 65. Deney	183
EK-66. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 66. Deney	184
EK-67. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 67. Deney	185
EK-68. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 68. Deney	186
EK-69. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 69. Deney	187
EK-70. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 70. Deney	188
EK-71. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 71. Deney	189
EK-72. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 72. Deney	190
ÖZGEÇMİŞ	191

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. IDİ yönteminde kullanılan enerji kaynakların genel karşılaştırması.....	12
Çizelge 3.1. Nominal anma akımı 250 Amper olan kaynak makinesinin görev çevrimi.....	17
Çizelge 3.2. Elektrot çapı ve malzemesine göre DC ve AC akım için yapılacak işe uygun akım şiddeti (I) değerleri.....	24
Çizelge 3.3. Bazı malzemelere ait akım tipi ve kutuplamalar.....	25
Çizelge 5.1. Ön deneylerde kullanılan iş malzemelerinin kimyasal bileşimleri.....	36
Çizelge 5.2. Ön deneylerde kullanılan iş malzemelerinin karakteristik özellikleri.....	36
Çizelge 5.3. AISI 4340 çeliğinin kimyasal bileşimi.....	37
Çizelge 5.4. AISI 4340 çeliğinin karakteristik özellikleri.....	37
Çizelge 5.5. AISI 4340 çeliği ısıtıl işlem prosesi.....	37
Çizelge 5.6. Kesici takım bilgileri.....	41
Çizelge 5.7. Tarama yöntemine göre tasarlanmış deneyler için deney faktörleri ve seviyeleri.....	43
Çizelge 5.8. Tarama yöntemi deneylerine ait deney planı.....	44
Çizelge 5.9. Üçüncü aşama deneylerine ait işlem parametreleri.....	45
Çizelge 5.10. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerine ait işlem parametreleri	46
Çizelge 5.11. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerine ait işlem parametreleri.....	46
Çizelge 5.12. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deney planı.....	47
Çizelge 5.13. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deney planı.....	47
Çizelge 5.14. Esas kesme deneylerinde kullanılan sabit parametreler.....	48
Çizelge 5.15. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ölçüm koşulları.....	53

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.1. Tarama yöntemi deneylerinde iş malzemesi yüzeyinden ölçülen sıcaklıklar.....	56
Çizelge 6.2. İşlem parametrelerinin AISI 4140/ AISI 316L iş malzemesi yüzey sıcaklığına etkileri için ANOVA tablosu.....	57
Çizelge 6.3. AISI 1040, AISI 4140 ve AISI 316L iş malzemelerin konvansiyonel ve IDİ yöntemi ile işlenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri.....	58
Çizelge 6.4. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerine ait P_c ve E_{SK} değerleri...	62
Çizelge 6.5. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerine ait P_c ve E_{SK} değerleri.....	63
Çizelge 6.6. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde P_c (kW) için ANOVA sonuçları.....	66
Çizelge 6.7. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde P_c (kW) için ANOVA sonuçları.....	66
Çizelge 6.8. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde ölçülen T_{mr} değerleri...	70
Çizelge 6.9. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde ölçülen T_{mr} değerleri.....	71
Çizelge 6.10. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde T_{mr} (°C) için ANOVA sonuçları.....	74
Çizelge 6.11. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde T_{mr} (°C) için ANOVA sonuçları.....	74
Çizelge 6.12. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneyleri yığılma faktörü (λ) değerleri.....	85
Çizelge 6.13. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneyleri yığılma faktörü (λ) değerleri.....	86
Çizelge 6.14. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde yığılma faktörü (λ) için ANOVA sonuçları.....	88
Çizelge 6.15. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde yığılma faktörü (λ) için ANOVA sonuçları.....	88
Çizelge 6.16. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde ölçülen yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri.....	90

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.17. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde ölçülen yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri.....	91
Çizelge 6.18. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde Ra değerinin iyileşme oranı (%) için ANOVA sonuçları.....	94
Çizelge 6.19. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde Ra değerinin iyileşme oranı (%) için ANOVA sonuçları.....	94
Çizelge 6.20. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde ÇÖS (μm) ve GBD (μm) değerleri.....	97
Çizelge 6.21. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde ÇÖS (μm) ve GBD (μm) değerleri.....	98
Çizelge 6.22. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde ÇÖS (μm) için ANOVA sonuçları.....	102
Çizelge 6.23. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde ÇÖS (μm) için ANOVA sonuçları.....	103
Çizelge 6.24. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde GBD (μm) için ANOVA sonuçları.....	104
Çizelge 6.25. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde GBD (μm) için ANOVA sonuçları.....	104

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Oksi-gaz alevi ile işleme.....	6
Şekil 2.2. Transfer ark yönetiminde plazma arkının üretimi.....	7
Şekil 2.3. Transfer edilemeyen ark yönetiminde plazma arkının üretimi.....	7
Şekil 2.4. Lazerin torna tezgâhında kullanışı.....	8
Şekil 2.5. Lazerin frezeleme işleminde kesici takımla entegrasyonu; yandan görünüş (a), üstten görünüş (b)	9
Şekil 2.6. Elektrik akımı ile işleme yönteminin şematik gösterimi; deney ekipmanları (a), kesme bölgesi (b).....	11
Şekil 3.1. TIG kaynağının kullanışı.....	14
Şekil 3.2. Su soğutmalı TIG kaynak donanımı.....	14
Şekil 3.3. TIG ve örtülü elektrot kaynağı yapılabilen kaynak makinasının kontrol paneli ve fonksiyonları.....	17
Şekil 3.4. Palslı akım kaynak zamanları.....	17
Şekil 3.5. Hava soğutmalı TIG kaynak torcunun kısımları.....	18
Şekil 3.6. Tungsten elektrot çeşitleri.....	19
Şekil 3.7. TIG kaynağı için doğru ve yanlış bilenmiş tungsten elektrot uçları.....	22
Şekil 3.8. Uygun olan tungsten elektrot bileme yöntemi (a), uygun olmayan tungsten elektrot bileme yöntemi (b).....	22
Şekil 3.9. Çelik, paslanmaz çelik, bakır vb. metaller için bilenmiş kırmızı renk kodlu tungsten elektrot	22
Şekil 3.10. Alüminyum vb. metaller için bilenmiş yeşil renk kodlu tungsten elektrot.....	23
Şekil 3.11. Kutuplamanın ve akım türünün kaynak dikişi üzerindeki etkisi, DAEN (a), DAEP (b), AC (c).....	25
Şekil 3.12. Isı tesiri altındaki bölge.....	26

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. Ön deneyler için hazırlanmış iş malzemesi boyutları.....	38
Şekil 5.2. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği numune boyutları (a), 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği numune boyutları (b)	38
Şekil 5.3. Deneylerde kullanılan takım tutucu	41
Şekil 5.4. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği için güç ölçümleri ($V=275\text{m/dak}$, $f=0,11\text{ mm/dev}$) konvansiyonel işleme (a), IDİ (b).....	49
Şekil 5.5. TIG yardımlı IDİ sisteminin şematik görünümü	51
Şekil 5.6. Boyutsal ölçümlerin yapılışı, ölçüm düzlemi (a), ölçüm aralıkları (b).....	52
Şekil 6.1. Kesme ve TIG parametrelerinin yüzey sıcaklığına etkileri.....	57
Şekil 6.2. Kesme hızı (V) ve ilerleme oranındaki (f) artışın yüzey sıcaklığına etkisi	59
Şekil 6.3. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde P_c değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi	64
Şekil 6.4. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde P_c değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi.....	64
Şekil 6.5. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneyi güç ölçümleri ($V=159$ m/dak , $f=0,11\text{ mm/dev}$) konvansiyonel işleme (a), IDİ (b).....	65
Şekil 6.6. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin P_c (kW) üzerine etkisi.....	67
Şekil 6.7. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin P_c (kW) üzerine etkisi.....	67
Şekil 6.8. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğine ait E_{SK} değerleri.....	68
Şekil 6.9. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğine ait E_{SK} değerleri.....	69
Şekil 6.10. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde T_{mr} değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi.....	73
Şekil 6.11. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde T_{mr} değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi.....	73
Şekil 6.12. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin T_{mr} ($^{\circ}\text{C}$) üzerine etkisi.....	75

Şekil	Sayfa
Şekil 6.13. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin T_{mr} (°C) üzerine etkisi.....	75
Şekil 6.14. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği yığılma faktörlerinin (λ) işlem parametrelerine göre değişimi.....	87
Şekil 6.15. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği yığılma faktörlerinin (λ) işlem parametrelerine göre değişimi.....	87
Şekil 6.16. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin yığılma faktörü (λ) değerine etkisi	89
Şekil 6.17. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin yığılma faktörü (λ) değerine etkisi.....	89
Şekil 6.18. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği Ra (μm) değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi.....	93
Şekil 6.19. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği Ra (μm) değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi.....	93
Şekil 6.20. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin Ra değerinin iyileşme oranı (%) üzerine etkisi	95
Şekil 6.21. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin Ra değerinin iyileşme oranı (%) üzerine etkisi.....	95
Şekil 6.22. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneyleri ÇÖS (μm) değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi	99
Şekil 6.23. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği ÇÖS (μm) değerlerinin işlem parametrelerine göre değişim.....	100
Şekil 6.24. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği GBD (μm) değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi.....	101
Şekil 6.25. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği GBD (μm) değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi.....	101
Şekil 6.26. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin ÇÖS (μm) üzerine etkisi.....	103
Şekil 6.27. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin ÇÖS (μm) üzerine etkisi.....	103
Şekil 6.28. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin GBD (μm) üzerine etkisi.....	105

Şekil**Sayfa**

Şekil 6.29. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin GBD (μm) üzerine etkisi.....	105
--	-----

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. İndüksiyon akımı ile frezeleme.....	10
Resim 2.2. TIG tekniğinin torna tezgahında kullanılması.....	12
Resim 3.1. Robot kullanılarak yapılan TIG kaynağı uygulaması örneği.....	27
Resim 5.1. Deneylerin yapıldığı üniversal torna tezgâhı.....	39
Resim 5.2. Deneylerde kullanılan TIG kaynak makinesi.....	39
Resim 5.3. Deneylerde kullanılan tungsten elektrotlar.....	40
Resim 5.4. Tungsten elektrot bileme makinesi.....	40
Resim 5.5. Ön deneylerin yapıldığı deney düzeneği.....	41
Resim 5.6. Esas kesme deneylerinin yapıldığı deney düzeneği.....	42
Resim 5.7. Deneylerde kullanılan enerji ölçer sistemi görünümü.....	49
Resim 5.8. Ön deneylerde sıcaklık ölçümü için kullanılan kızılötesi termometre.....	50
Resim 5.9. Esas kesme deneylerinde sıcaklık ölçümü için kullanılan kızılötesi termometre.....	50
Resim 6.1. AISI 1040 malzemenin konvansiyonel (a) ve IDİ (b), AISI 4140 malzemenin konvansiyonel (c) ve IDİ (d), AISI 316L malzemenin konvansiyonel (e) ve IDİ (f) ile işlenmesinde meydana gelen talaş oluşumu ve iş malzemesi yüzeyleri.....	58
Resim 6.2. AISI 1040, AISI 4140 ve AISI 316L iş malzemelerinin konvansiyonel ve IDİ yöntemi ile işlenmesinde oluşan iş malzemesi yüzeyleri ve talaş oluşumları.....	60
Resim 6.3. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğinin 275 m/dak kesme hızındaki (V) talaş fotoğrafları.....	77
Resim 6.4. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğinin 305 m/dak kesme hızındaki (V) talaş fotoğrafları.....	77
Resim 6.5. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğinin 335 m/dak kesme hızındaki (V) talaş fotoğrafları.....	78

Resim	Sayfa
Resim 6.6. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğinin 275 m/dak kesme hızındaki (V) 60 kat büyütülmüş talaş fotoğrafları.....	79
Resim 6.7. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğinin 305 m/dak kesme hızındaki (V) 60 kat büyütülmüş talaş fotoğrafları.....	79
Resim 6.8. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğinin 335 m/dak kesme hızındaki (V) 60 kat büyütülmüş talaş fotoğrafları.....	80
Resim 6.9. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğinin 159 m/dak kesme hızındaki (V) talaş fotoğrafları.....	81
Resim 6.10. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğinin 176 m/dak kesme hızındaki (V) talaş fotoğrafları.....	81
Resim 6.11. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğinin 194 m/dak kesme hızındaki (V) talaş fotoğrafları.....	82
Resim 6.12. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğinin 159 m/dak kesme hızındaki (V) 60 kat büyütülmüş talaş fotoğrafları.....	82
Resim 6.13. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğinin 176 m/dak kesme hızındaki (V) 60 kat büyütülmüş talaş fotoğrafları.....	83
Resim 6.14. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğinin 194 m/dak kesme hızındaki (V) 60 kat büyütülmüş talaş fotoğrafları.....	83
Resim 6.15. Yüksek ısı nedeniyle talaş düzleşmesi (a), kısa devre nedeniyle bozulan elektrot ucu (b).....	106

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

P_c	Kesme işleminde harcanan güç (kW)
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülüğü
λ	Yığılma faktörü
V	Kesme hızı (m/dak)
f	İlerleme oranı (mm/dev)
I	Akım şiddeti (Amper)
a_p	Kesme derinliği (mm)
t_o	Kesilmemiş talaş kalınlığı (mm)
t_c	Kesilmiş talaş kalınlığı (mm)
κ	Yanaşma açısı (°)
T_{mr}	Talaş kaldırma sıcaklığı (°C)
E_{SK}	Spesifik kesme enerjisi (kJ/cm ³)

Kısaltmalar

Açıklamalar

ANOVA	Varyans analizi
ÇÖS	Çap ölçüsündeki sapma
GBD	Genleşmeye bağlı daralma
HRC	Rockwell hardness
IDİ	Isı destekli işleme
TIG	Tungsten inert gase
TKO	Talaş kaldırma oranı

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler ile birlikte mühendisler ve bilim insanları yeni malzemeler geliştirmekte ve bu malzemeleri işleyebilecek üretim yöntemlerini araştırmaktadırlar. Günümüzde sertleştirilmiş çelikler, nikel ve titanyum alaşımları, seramikler ve kompozitler gibi ileri mühendislik malzemeleri fiziksel ve mekanik özellikleri nedeniyle havacılık, otomotiv, tıp ve enerji üretimi endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ancak bu tür malzemelerin ileri mühendislik ürünlerine dönüştürülmesi işlenebilme ile ilgili sorunları beraberinde getirmektedir. Yüksek kesme kuvveti, yüksek kesme sıcaklığı, kötü yüzey ve kısa takım ömrü bu malzemeleri işlerken karşılaşılan başlıca sorunlardır. Değinilen olumsuzluklar nedeniyle söz konusu malzemeler işlenmesi zor malzemeler olarak nitelendirilmektedir [1]. Konvansiyonel yöntemlerde düşük kesme hızları (V) kullanılmaktadır ve bitmiş ürüne ulaşmak için ilave işlemlerin yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla üretim maliyetleri artmaktadır.

Yukarıda bahsedilen sorunları gidermek ve işlenmesi zor malzemelerden ürün elde etmek için pek çok yöntem kullanılmaktadır. Kriyojenik işleme [2], rotary tool yöntemi [3], minimum miktarda yağlama (MMY) [4] ve ısı destekli işleme (IDİ) [5] bu uygulamalar arasında sayılabilir. Isının malzemelerin şekillendirmesine olumlu yönde etki ettiği yüzyıllardır bilinmektedir. Sıcaklığın artması ile malzemenin elastik modülü, akma ve çekme dayanımı düşerken % uzama miktarı artmaktadır [6], Dolayısıyla daha düşük kuvvetlerle ve daha yüksek hızlarda plastik deformasyon gerçekleştirmek mümkündür. Bu değişim pek çok malzeme çeşidi için geçerlidir [7]. Bu olumlu özellikleri nedeniyle araştırmacılar kesme işlemlerinde kritik bir role sahip olan ısının yönetilmesine ve kontrol edilmesine odaklanmışlardır. Isının kesme işlemine etkisi değerlendirilecek olursa ısıtma sayesinde kesme bölgesindeki malzemenin akma dayanımı, sertliği ve pekleşme eğilimi düşer, böylece takım tezgâhının harcadığı güç azalır [8] ve talaş kaldırma işlemi daha düşük kesme kuvvetleri ile gerçekleşmiş olur [9]. IDİ ile talaş kaldırma oranı (TKO) artar [10], takım aşınması azalır [11], yüzey kalitesi iyileşir [12], sertleştirilmiş parçalar karbür kesici takımlarla işlenebilir [13], taşlama işlemi elimine edilebilir [14] soğutma sıvısı kullanılmadığı için çevreye verilen zararlar azalır [1] ve daha yüksek kesme hızlarında işleme yapılır [15].

IDİ yöntemi, iş parçası yüzeyinin bir enerji kaynağı ile bölgesel olarak ısıtılması ve ardından bu bölgenin kesici takım tarafından işlenmesi prensibine dayanmaktadır. IDİ yönteminde ısıtma işlemi için lazer [16,17], indüksiyon [18,19], plazma arkı [20,21], oksigaz alevi [22,23], elektrik akımı [24,25] gibi farklı türden enerji kaynakları kullanılmaktadır. IDİ için kullanılan enerji kaynağının; ısıtmayı dar bir bölgede yapması, ekonomik ve ulaşılabilir olması, kontrol kolaylığı sağlaması, bakım maliyetinin düşük olması, kesici takım ve iş parçasına zarar vermemesi beklenmektedir. Günümüzde yapılan çalışmalarda lazerin IDİ için yaygın şekilde kullanıldığı görülmektedir. Lazer ısıtma işlemini etkili biçimde gerçekleştirmede esneklik ve kontrol kolaylığı sağlar, ayrıca otomasyonu kolaydır. Lazer kullanılan IDİ yönteminde kesici takım önünde dar bir bölgeyi ısıtmak mümkündür ve lazer gücü hassas bir şekilde ayarlanabilir. Lazer kurulum ve bakım maliyeti yüksek bir enerji kaynağıdır. Yüksek radyasyonlu, yoğunlaştırılmış bir enerji kaynağı olarak operatör, takım-tezgâhı ve çevre için zararlı etkiler oluşturabilir [26]. Plazma arkı, indüksiyon akımı, oksigaz alevi ve elektrik akımı yöntemlerinde, iş malzemesinde geniş bir bölgenin ısıtılması, ısı girdisinin hassas bir şekilde kontrol edilememesi gibi sorunlar karşımıza çıkmaktadır.

IDİ için kullanılan enerji kaynakları değerlendirildiğinde Tungsten Inert Gaz (TIG) tekniği alternatif bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır [27]. Çünkü TIG tekniği ile iş malzemesinde dar bir kısmı ısıtmak mümkündür. Ayrıca enerji girişini daha iyi kontrol etmek için gerekli parametrik ayarlar (akım şiddeti, koruyucu gaz debisi vb.) kolayca yapılabilir. Lazer ve plazmaya göre düşük maliyetli olması, ulaşım kolaylığı ve otomasyona uygunluğu [28] önemli avantajlarındandır.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen avantajlar göz önünde bulundurularak enerji kaynağı olarak TIG tekniği kullanılmıştır. Deneyler vasıtasıyla IDİ yönteminin konvansiyonel işlemeye göre sahip olduğu üstünlüklerin belirlenmesi, TIG tekniğinin uygulanabilirliğinin ve diğer enerji kaynaklarına göre avantaj ve dezavantajlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. IDİ yönteminde alternatif bir enerji kaynağı olarak TIG tekniğini kullanmanın yanı sıra IDİ yönteminin boyutsal kararlılık ve spesifik kesme enerjisi (E_{sk}) üzerine etkileri araştırılarak literatüre bu anlamda yeni katkılar sağlanması amaçlanmıştır. Ayrıca IDİ yönteminin kesme işleminde harcanan güç (P_c), yüzey pürüzlülüğü (R_a), talaş oluşumu ve yığılma faktörü (λ) üzerine etkilerini araştırarak deneyler yapılmıştır. İşlenmesi zor malzemelerin IDİ yöntemi ile işlenmesini konu alan az sayıda çalışma bulunmaktadır. Çalışma sayesinde yurt içindeki araştırmacı ve imalatçılara referans olabilecek bilgilerin sağlanması hedeflenmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatürde yer alan IDİ yöntemlerine değinilmiş ve bir karşılaştırma yapılmıştır. Üçüncü bölümde enerji kaynağı olarak kullandığımız TIG tekniğinin özelliklerine, parametrelerine ve uygulama alanlarına değinilmiştir. Dördüncü bölümde ise konuyla ilgili literatür araştırması yer almaktadır. Beşinci bölüm çalışmanın materyal metot kısmını içermektedir. Altıncı bölüm deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçları içermektedir.

Deneyler için enerji kaynağı olarak TIG tekniğinin kullanıldığı yüksek TKO' da işleme yapabilen bir IDİ sistemi kurulmuş ve geliştirilmiştir. Deneyler ön deneyler ve esas kesme deneyleri olmak üzere iki grupta tamamlanmıştır. İşlem parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkilerini değerlendirmek için istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. TIG yönteminde çok fazla parametre bulunmaktadır. Öncelikli olarak yüzey sıcaklığına en çok etki eden kesme ve TIG parametrelerinin belirlenmesine yönelik ön deney çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kesme hızı (V), ilerleme oranı (f) ve TIG parametreleri kullanılarak, Tarama (Screening) [29] esasına dayalı deney tasarımına göre deneyler gerçekleştirilmiştir. Burada yüzey sıcaklığına en çok etki eden parametrelerin sırasıyla, akım şiddeti (I), ilerleme oranı (f) ve kesme hızı (V) olduğu görülmüştür. Etkin parametrelerin belirlenmesinin ardından AISI 1040, AISI 4140 ve AISI 316L iş malzemeleri kullanılarak bir dizi kesme deneyi ile yüzey pürüzlülükleri ve talaş oluşumları incelenmiştir. Böylece TIG tekniğinin IDİ için uygunluğu ve kabiliyeti belirlenmiştir.

Ön deneylerden sonra yüksek değerlerde sertleşebilme özelliğine ve yüksek tokluğu sahip endüstride yaygın kullanılan AISI 4340 çeliği ile esas kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde AISI 4340 çeliğinin sertleştirilmemiş ve 49 Rockwell sertliğinde (HRC) sertleştirilmiş numuneler kullanılmıştır. Esas kesme deneylerinde kesme hızı (V), ilerleme oranı (f) ve akım şiddeti (I) parametrelerinin kesme işleminde harcanan güce (P_c), spesifik kesme enerjisine (E_{SK}), talaş kaldırma sıcaklığına (T_{mr}), çap ölçüsündeki sapmaya (ÇÖS), yüzey pürüzlülüğüne, talaş oluşumuna ve yığılma faktörüne (λ) etkileri araştırılmıştır.

Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- TIG esaslı IDİ yönteminde P_c konvansiyonel işlemeye kıyasla daha düşük gerçekleşmiştir.
- Ön ısıtma sayesinde E_{SK} azalmış ve talaşın plastik deformasyonu kolaylaşmıştır. Buna bağlı olarak IDİ yönteminde λ değerleri daha düşük gerçekleşmiştir.

- Konvansiyonel işleme ile aynı kesme şartlarında yapılan IDİ deneylerinde daha düşük yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri elde edilmiştir.
- IDİ yönteminin iş malzemesinin boyutsal özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür. ÇÖS değerleri IDİ yönteminde daha düşük gerçekleşmiştir.
- Elde edilen sonuçlar TIG tekniğinin IDİ için alternatif bir enerji kaynağı olabileceğini göstermiştir.
- Kesme ile eş zamanlı gerçekleşmeyen ön ısıtma nedeniyle kesmeden bir gün sonra yapılan ölçümlerde ön ısıtma ve ardından gelen soğumaya bağlı olarak, çap ölçüsünde genleşmeye bağlı daralma (GBD) meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca kesme işlemi esnasında oluşan kısa devre nedeniyle tungsten elektrot ucu bozulmakta ve kaynak arkı sonlanmaktadır. Bahsedilen uygunsuzluklar TIG esaslı IDİ yönteminin başlıca dezavantajları olarak karşımıza çıkmaktadır.

2. ISI DESTEKLİ İŞLEME

Isı destekli işleme (IDİ) yöntemi iş malzemesinin bölgesel olarak ısıtılması ardından bu bölgenin kesici takım ile işlenmesi prensibine dayanmaktadır. Yöntemin uygulanışı uzun yıllar öncesine dayanmaktadır [30]. İş malzemesindeki sıcaklık artışı mekanik özelliklerin zayıflamasına neden olmaktadır. İş malzemesinin akma dayanımı, sertliği ve gerinim sertleşmesi sıcaklık artışıyla birlikte düşmektedir. Gevrek malzemeler sünek davranış göstermektedir. Bazı malzemelerin çekme dayanımları düşük sıcaklıklarda bile düşme eğilimindedir bu da işlenebilirliği olumlu yönde etkilemektedir. Böylece işlenmesi zor malzemeler düşük güçlerde ve daha kolay işlenebilir. TKO artışı beraberinde verimlilik artışı sağlamaktadır [14]. IDİ parçanın yüzey kalitesinin iyileşmesini ve takım ömrünün artmasını sağlamaktadır [15]. IDİ için farklı özelliklere sahip enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bunlar günümüzde oksî-gaz alevi, indüksiyon akımı, plazma arkı, lazer ve elektrik akımıdır.

2.1. Isı Destekli İşlemenin Esasları

Talaşlı imalat işleminde elbette ki uygun kesici takımı ve ideal kesme parametreleri kombinasyonunu kullanmak gerekmektedir. Yapılan çalışmalar kesme hızı (V) ve ilerleme oranı (f) parametrelerinin ısı girdisi miktarına etki ettiğini göstermektedir. İş malzemesinin ya da enerji kaynağının hızı artırıldığında iş malzemesine birim zamanda giren ısı miktarı azalmaktadır [31]. Kesme derinliği (a_p) değeri düşük tutulduğunda işlenmiş yüzeyde ısıya bağlı renk değişimleri görülmektedir [32,33].

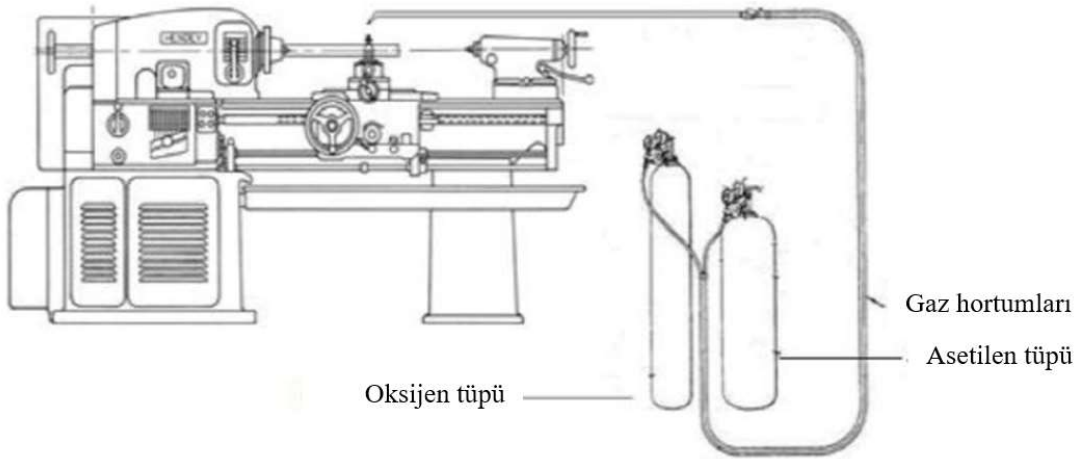
Isı desteği alınarak yapılan talaş kaldırma işleminde enerji kaynağını etkili bir biçimde kullanmak gerekmektedir. Enerji kaynağının şu özelliklere sahip olması beklenmektedir:

- Isıtmayı dar bir bölgede yapmalıdır. Isıtılan bölge kesme derinliğini (a_p) aşmamalıdır (ısıtma derinliği $< a_p$).
- İş malzemesinin sertliğinde değişime, işlenmiş yüzeyde renk değişimi ve hasara, yüzey altında mikro yapısal bozukluklara neden olmamalıdır.
- Güç ayarı hassas bir şekilde yapılabilmelidir.
- Otomasyona uygun olmalıdır.
- Takım tezgahına ve kesici takıma [26] zarar vermemelidir.
- Ulaşılabilir ve ekonomik olmalı, bakım mâliyeleri düşük olmalıdır.

2.2. Isı Destekli İşleme Yönetiminde Kullanılan Enerji Kaynakları

2.2.1. Oksi-gaz tekniği

Günümüzde IDİ için ilk akla gelen enerji kaynağı oksi-gaz alevidir (Şekil 2.1). İşlenmesi zor malzemelerin ve sertleştirilmiş parçaların işlenmesinde, bunların üzerindeki kanal veya punta deliklerinin açılmasında uzun yıllardır kullanılmaktadır. Yöntem takım ömrünün artmasını ve yüzey kalitesinin iyileşmesini sağlamaktadır [34,35]. IDİ için ulaşılması kolay, en ekonomik ve basit yöntemdir. Alevin etki alanının geniş olması en büyük dezavantajıdır. Bu nedenle işlenmiş ve işlenmeyecek yüzeyler ısının etkisi altındadır.

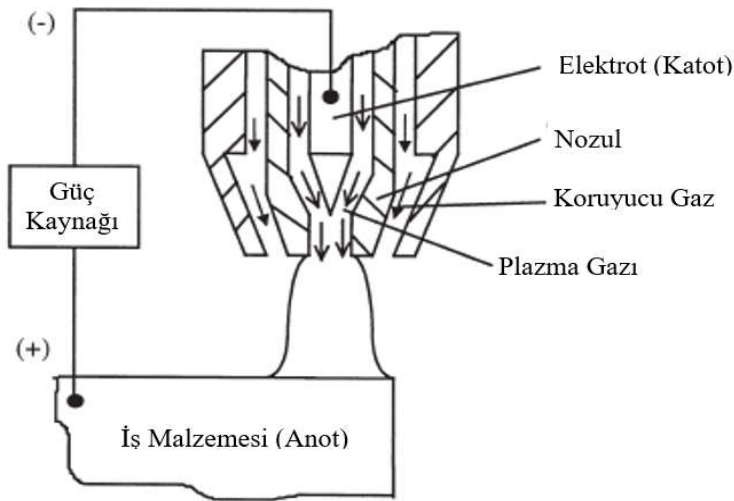


Şekil 2.1. Oksi-gaz alevi ile işleme [36]

2.2.2. Plazma tekniği

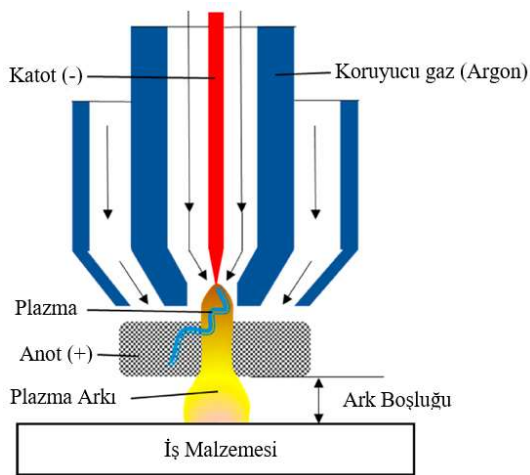
Madde gaz halinde iken doğru koşullar altında maddeye enerji verilmesinin devam etmesi maddenin plazma haline geçişine neden olacaktır. Plazmayı maddenin gaz halinden ayıran en önemli özellikleri elektriği iletmesi, çok yüksek sıcaklıkta olması ve ışık yaymasıdır. Plazma için enerji kaynağı elektrik olabileceği gibi ışıın ya da ısı kökenli de olabilir.

Plazma arkı iki farklı tipte oluşmaktadır. Plazmanın yüksek sıcaklığı ile malzeme bölgesel olarak erimektedir. Yüksek basınçlı gaz ise erimiş malzemeyi ortamdan atmaktadır. Buna Şekil 2.2’ de görüldüğü gibi transfer ark (taşınan ark) yöntemi denir. Ark torç ile iş malzemesi arasında meydana gelmektedir.



Şekil 2.2. Transfer ark yönetiminde plazma arkının üretimi [33]

Şekil 2.3' de gösterilen transfer edilemeyen ark yönteminde ise plazma nozul ile elektrot arasında oluşmaktadır ve plazma torç ucundan alev şeklinde çıkmaktadır. Bu metot iletken olmayan malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır [21].



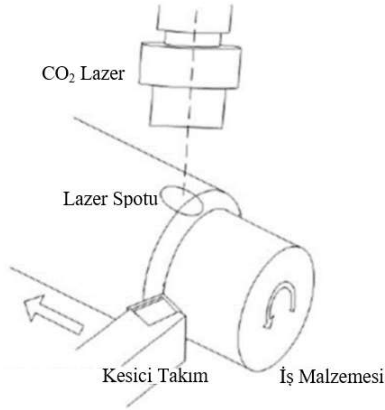
Şekil 2.3. Transfer edilemeyen ark yönetiminde plazma arkının üretimi [37]

Yöntem olarak lazer yardımcı IDİ sistemine benzerlik göstermektedir ve lazerden daha güçlü bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle kesme bölgesinde arzu edilen sıcaklıklara daha kolay ulaşılabilir. Ancak lazer hassasiyetinde değildir ve daha geniş bir bölgeyi ısıtmaktadır. Yöntemin uygulanması yüksek maliyetlidir.

2.2.3. Lazer tekniği

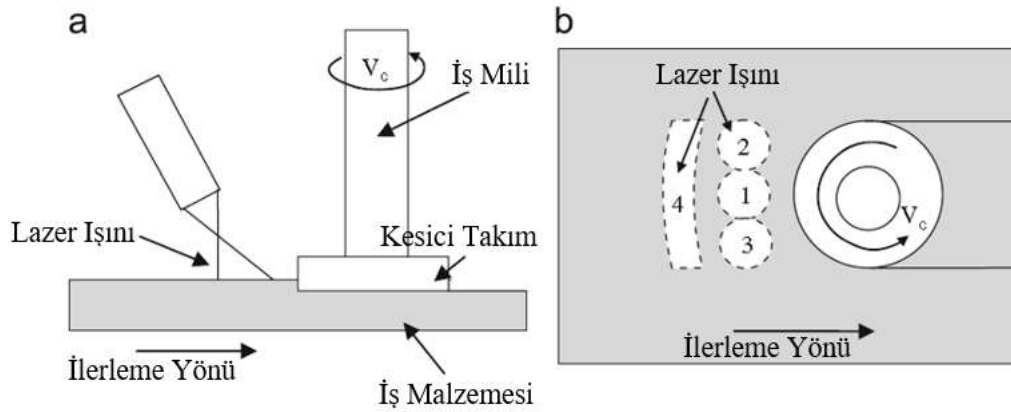
Lazer ünitelerinin torna, freze veya taşlama tezgâhlarına bağlanmasıyla geleneksel ve modern imalat yöntemleri birleştirilmiş ortaya hibrid makineler çıkmıştır. Lazer yardımlı IDİ bir lazerin iş malzemesini- kesici takıma göre belli bir açı ve uzaklıkta konumlanarak- ısıtması ardından kesici takımın bu bölgeyi işlemesi prensibine dayanmaktadır.

Lazer yardımlı IDİ yönteminden maksimum verimi almak kesme parametrelerine ve lazer parametrelerine hâkim olmayı gerektirir. En etkin lazer parametreleri ise lazer gücü (W), lazer ışınının iş malzemesi üzerinde oluşturduğu profil (spot) ve lazer ile iş malzemesi arasındaki mesafedir. Lazerin takım tezgâhlarına entegrasyonu birçok yönden verimlilik artışı sağlamaktadır. Noktasal kesme ve kesici takımın sabit olmasından dolayı torna tezgâhı ile lazer ışını entegre etmek basittir. Lazer destekli tornalama ile ilgili çalışmaların çoğunda, Şekil 2.4’ de gösterildiği gibi lazer ışını iş malzemesi yüzeyine diktir.



Şekil 2.4. Lazerin torna tezgâhında uygulanışı [15]

Frezeleme işleminin doğası gereği lazer ışını ile freze tezgâhının entegrasyonu tornaya göre daha zordur. Genellikle ışın kesici takımla ayrı olarak yönetilir. Ayrıca tezgâh fener miline bağlanabilir. Düzlem frezeleme için, en kolay yol Şekil 2.5’ de gösterildiği gibi ilerleme doğrultusunda takım önüne ışını konumlandırmaktır. Lazer spot boyutunun dar olması nedeniyle pek çok uygulamada kesme genişliğinin tamamını kapsamaz. Bu yüzden, ışın sadece kesme genişliğinin bir parçasını ısıtır. Şekil 2.5’ de verilen nokta lazer spotlarından (1,2,3) biri ya da birkaçı kesme bölgesinde bulunabilir. Ya da yüksek güçteki çizgi lazer (4), tamamını kapsayabilir.

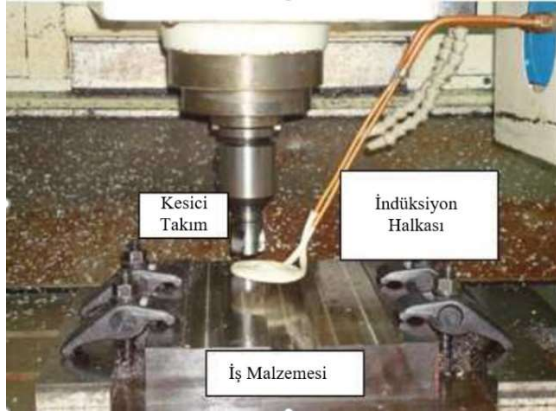


Şekil 2.5. Lazerin frezeleme işleminde kesici takımla entegrasyonu; yandan görünüş (a), üstten görünüş (b) [38]

Spot çapının ayarlanabilmesi ve yüksek güce sahip olmaları nedeniyle talaş kaldırılacak bölgenin çok hızlı ısıtılabilmesi ve ısıнын kontrol edilebilmesi lazerin en büyük avantajlarındandır. Bu özellikleri sayesinde araştırmacılar lazeri mikro kesme işlemlerinde dahi kullanabilmişlerdir [39,40]. Oksi-gaz alevi, plazma arkı ve indüksiyon akımı ile karşılaştırıldığında lazerin kontrolü daha kolaydır ve lazer ile çok dar bir bölgeyi ısıtmak mümkündür. Yüksek maliyetli olmalarına rağmen bu avantajlar lazerin tercih edilmesini sağlamıştır. Ayarlanabilen spot boyutu ve yüksek güç yoğunluğu sayesinde ısıdan etkilenmiş bölge ve ısı çarpımlarının görülme olasılığı azdır. Ancak ilk yatırım maliyetinin yüksek olması bu yöntemin uygulanabilmesini zorlaştırmaktadır. Ayrıca lazer bakım maliyeti yüksek bir enerji kaynağıdır. Yüksek radyasyon/yoğunlaştırılmış enerji kaynağı olarak operatör, takım-tezgâhı ve çevre için zararlı etkiler oluşturabilir.

2.2.4. İndüksiyon akımı tekniği

İndüksiyon akımı ile ısıtma, tornalama [18] ve frezeleme [19] işlemlerinde uygulanmaktadır. Yöntem genellikle Resim 2.1' de görüldüğü gibi iş malzemesinin ısıtılması prensibine dayanmakla birlikte elastomerlerin işlenmesindeki gibi kesici takımda ısıtılabilir [41].

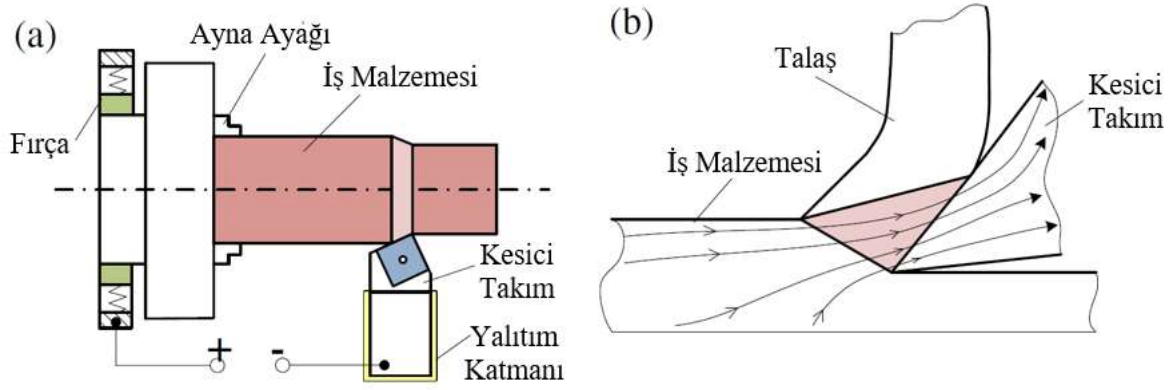


Resim 2.1. İndüksiyon akımı ile frezeleme [13]

Yöntemin dezavantajı işlenecek yüzeye özel indüksiyon halkası yapılması gerekliliğidir. Ayrıca oksî-gaz alevinde olduğu gibi takımın işleyeceği bölgeden daha geniş bir kısım ısıtılmaktadır. Dolayısıyla parçada işlenmeyecek bölgelerde ısı etkisi altındadır. İşlenecek malzemelerin elektrik iletkenliğine sahip olmaları gerekmektedir.

2.2.5. Elektrik akımı tekniği

Elektrik akımı ile işleme araştırmacıların uzun yıllardır üzerinde çalışma yaptığı bir konudur [42]. Elektrik akımı ile işleme tekniği iş malzemesi kesme bölgesinde, elektrik akımına karşı oluşan direnç ve buna bağlı açığa çıkan ısı sayesinde genel olarak malzemenin mekanik özelliklerinin zayıflaması prensibine dayanmaktadır. Elektrik akımı ile işleme tekniğinde toplam direncin büyük bir kısmının takımın ucuyla kayma düzlemi arasında kalan malzemedan kaynaklandığı belirtilmektedir [43]. Elektrot ve iş malzemesi arasında oluşan ark neticesinde bölgesel olarak iş malzemesinin akma dayanımı düşer ve sertliği azalır. Bu bölge daha sonra kesici takım tarafından işlenir. Yöntem elektrik direnç kaynağına benzerlik göstermektedir. Elektrot olarak harici elektrotlar [30] kullanılabileceği gibi kesici takımında [25] elektrot olarak kullanımı mümkündür. AC ve DC akım kullanmak mümkündür. Takımın elektrot olarak kullanıldığı uygulama Şekil 2.6' da görülmektedir. Burada iş parçası anot, kesici takım katottur. Isıtma akımı uygulandığında takım ucu ve kesme bölgesinde bir ısı meydana gelir. Isının etkisiyle iş malzemesi yumuşar. Buraya kesme işlemi sırasında oluşan ısıda eklenir. Kesme hızı (V) arttıkça gerekli olan ilave ısı ihtiyacı azalmaktadır [44]. Oluşan toplam ısı kesme işleminin kolaylaşmasını sağlamaktadır. Elektrik akımı ile işleme yöntemi tornalama ve frezelemenin yanı sıra küçük deliklerin delinmesi gibi zor işlemlerde de kullanılmaktadır [45].

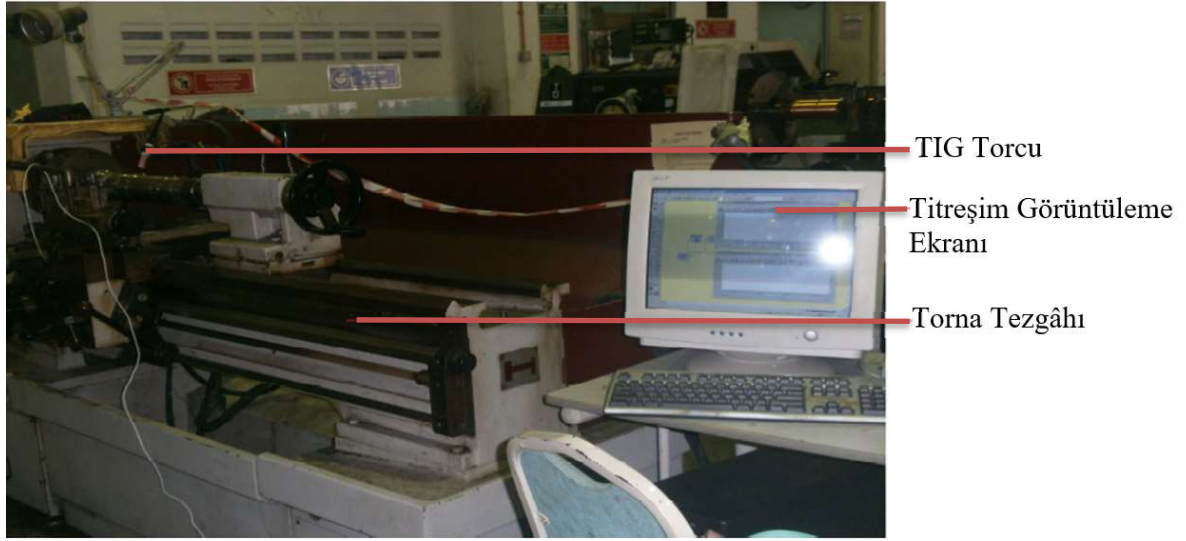


Şekil 2.6. Elektrik akımı ile işleme yönteminin şematik gösterimi; deney ekipmanları (a), kesme bölgesi (b) [25]

Uygulanacak akım şiddetini (I) belirlemek en önemli husustur. Buradaki dezavantaj kesici takımın doğrudan ısıya maruz kalması ve deformasyonudur. Elektrik arkı sonucu kesici takımın ucunda oluşan ısı kesici takımda hasar oluşumuna neden olabilir. Yöntemin bir diğer dezavantajı işlenecek parçaların elektrik iletkenliğine sahip olması gerekliliğidir.

2.2.6. TIG tekniği

IDİ yönteminde kullanılabilecek diğer bir enerji kaynağı TIG tekniğidir. Diğer ısı kaynaklarına nazaran TIG kaynak makinesine ulaşım daha kolaydır. Lazer ve plazmaya göre daha ekonomiktir. Noktasal kesmeye uygundur ve iş malzemesinin dar bir kısmını ısıtma kabiliyetine sahiptir. Kesici takım elektrot olarak kullanılmadığı için elektrik akımı ile işlemede görülen kesici takım hasarları burada görülmemektedir. TIG tekniğinde ısıtma için gerekli akım şiddeti (I) hassas bir şekilde ayarlanabilir. TIG kaynak makinesinin torna tezgahına entegre edildiği sistem Resim 2.2' de görülmektedir [27]. TIG tekniği IDİ için diğer enerji kaynaklarına göre önemli bir alternatiftir. Ulaşılabilir olması, ekonomikliği ve düşük bakım maliyetleri önemli bir avantajdır. Yöntemin en büyük dezavantajı işlenecek malzemelerin elektrik iletkenliğine sahip olması gerekliliğidir.



Resim 2.2. TIG tekniğinin torna tezgahında kullanılması

2.3. Isı Destekli İşleme Yönteminde Kullanılan Enerji Kaynaklarının Karşılaştırılması

IDİ yönteminde kullanılan enerji kaynaklarının özellikleri hakkında ayrı ayrı bilgilendirme yapıldıktan sonra bu yöntemlerin belirli kriterlere göre karşılaştırılması Çizelge 2.1 'de yapılmıştır.

Çizelge 2.1. IDİ yönteminde kullanılan enerji kaynakların genel karşılaştırması

Enerji kaynağının özelliği	Oksi-gaz tekniği	Plazma tekniği	Lazer tekniği	İndüksiyon akımı tekniği	Elektrik akımı tekniği	TIG tekniği
İlk yatırım maliyeti	1	3	4	2	2	2
Bakım maliyeti	1	3	4	1	1	1
Otomasyona uygunluk	1	2	4	1	3	3
Enerji yoğunluğu	1	4	3	2	2	2
Enerji girişinin kontrolü	1	3	4	2	3	3
Dar bir bölgeyi ısıtma kabiliyeti	1	2	4	1	4	3
Kullanılabilecek malzeme grubu	Tüm mühendislik malzemeleri			Elektrik iletkenliğine sahip malzemeler		

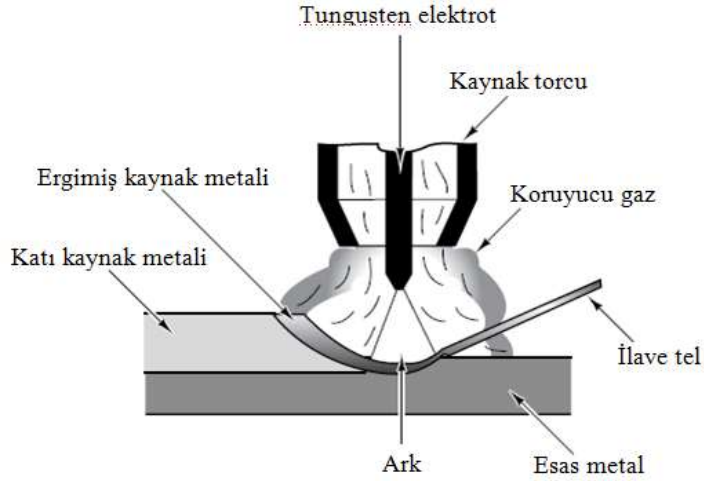
Derecelendirme: Düşük (1), orta (2), yüksek (3), çok yüksek (4)

3. TIG TEKNİĞİ

TIG kaynağının terminolojisine bakılacak olursa dört farklı şekilde tanımlandığı görülmektedir. Ülkemizde yaygın olarak “*Tungsten Inert Gase*” kelimelerinin baş harflerinden oluşan TIG kaynağı kısaltması kullanılmaktadır. Amerika’ da GTAW (Gase Tungsten Arc Welding), Almanya’ da WIG (Wolfram Inert Gase) adıyla kullanıldığı görülmektedir. Koruyucu gaz olarak çoğunlukla argon kullanıldığı için endüstride argon kaynağı olarak da anılmaktadır. TIG kaynağı endüstride yaygın kullanılan ark kaynağı türlerinden biridir. Ark, erimeyen elektrot olarak tabir edilen tungsten elektrot ile iş parçası arasında oluşur. Tungsten elektrot elektrik iletkeni ve ark taşıyıcısıdır. Tungsten 3410 °C olan yüksek ergime sıcaklığı nedeniyle iyi bir elektrot malzemesidir [7]. Koruyucu gaz olarak argon, helyum veya bunların karışımı kullanılmaktadır. Dolgu malzemesi olarak ilave tel kullanmak gerekmektedir. İlave tel, kaynak banyosuna önden, yandan, el ile ya da otomatik olarak bir sevk aparatı ile verilebilir. Bu bölümde TIG kaynak yöntemi hakkında gerekli bilgilendirme yapılmakta ve TIG parametreleri açıklanmaktadır.

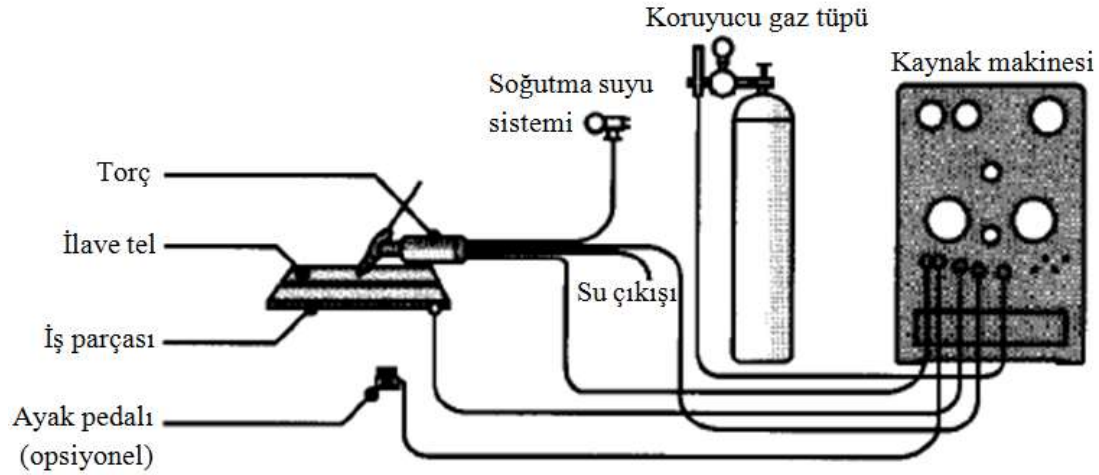
3.1. TIG Kaynak Yönteminin Uygulama Alanları

Bu kaynak metodu paslanmaz çelik, alüminyum, magnezyum, bakır ve diğer demir dışı metaller gibi kaynağı zor olan metallerin kaynağında yaygın olarak kullanılmaktadır. TIG kaynağında kaynak arkı tungsten elektrot ile iş parçası arasında oluşmaktadır. Ark bölgesi bir soy gaz veya karışımları ile korunmaktadır. Ark oluşumu ve gaz koruması Şekil 3.1’ de şematik olarak verilmiştir. TIG kaynağının metal yığılma hızı diğer ark kaynağı yöntemlerine göre daha düşüktür. Kalın kesitli malzemelerin kaynağı için ekonomik bir yöntem değildir. Açık ve rüzgârlı havalarda, gaz koruması tam sağlanamayacağı için kullanımı tavsiye edilmemektedir. TIG kaynağı hem elle hem de otomatik kaynak sistemlerinde kullanılmaktadır. Erimeyen (tükenmeyen) tungsten elektrot ile ana metal ergitilerek telsiz ya da ilave tel kullanarak kaynak yapılmaktadır. Genellikle 6,5 mm’ den ince malzemelerin kaynağına uygun bir kaynak yöntemidir [46]. Düzgün kaynak dikişleri oluşur ve cüruf olmaması nedeniyle kaynak dikişini temizlemeye gerek yoktur. Kök paso kaynaklarında yüksek nüfuziyet ve gözeneksiz kaynak dikişleri elde edilmektedir.



Şekil 3.1. TIG kaynağının uygulaması [46]

TIG kaynak donanımı, Şekil 3.2' de görüldüğü gibi bir kaynak makinesi, koruyucu gaz tüpü, soğutma sistemi, tungsten elektrotu taşıyan torç, akım kabloları, gaz ve soğutma sistemi hortumlarından oluşmaktadır.



Şekil 3.2. Su soğutmalı TIG kaynak donanımı [47]

Aşağıda TIG kaynağının kullanıldığı yerlere bazı örnekler verilmiştir [48]:

- Körük ve diyaframların kaynağı
- Dönüştürücü gövdeleri ve yük hücrelerinin kaynağı
- Elektronik kısımların kapsüllenmesi
- Tüplerde ve saclarda dikiş kaynağı
- Batarya gövdelerinin sızdırmazlıkları
- Filtre gövdelerinin yapımı ve montajları

- Jet motoru kanatçıkları ve kanatların tamiri
- Termokulplar ve elektronik proplar
- Vana gövdeleri ve boru bağlantı parçaları
- Sert kaplama işleri

TIG kaynağının diğer yöntemlere göre pek çok avantajı bulunmaktadır. Bunlar [49];

- Kaynağı kolay veya çok zor olan bütün metal ve alaşımları kaynatılabilmektedir.
- Asal gaz kullanılması nedeniyle dikişte oksidasyon sonucu alaşım elemanlarının kayıpları söz konusu değildir. Bu nedenle dayanım ve kalite bakımından mükemmel dikişler elde edilmektedir.
- Dekapana (koruyucu toz) gereksinim yoktur.
- Kaynak dikişleri genellikle kaynaktan sonra olduğu gibi kullanılmaktadır. İşlenmeleri gerekse de yumuşak olduklarından işleme maliyetleri asgari seviyeye inmektedir.
- Çok küçük bir alanın ısıtılması ve ısıнын sürekli transferi dolayısı ile diğer yöntemlere göre çarpılmalar ve gerilmeler çok daha azdır.
- Her pozisyonda kullanılabilmektedir.
- Farklı cins metallerin birbirleri ile kaynağında kullanmak mümkündür.

Yöntemin bazı dezavantajları ise şöyledir;

- Kaynak hızı yavaştır.
- Tungsten elektrotun ucu kütleşerek formunu kaybeder ve kirlenir, belli aralıklarla bilenmesi gerekmektedir.
- Düşük dolgu oranı vardır, kalın parçaların kaynağı için pek ekonomik değildir.
- Tungsten elektrottan parçacıklar kaynak bölgesine karışabilir.
- Kaynakçı bu yöntem için özel olarak yetiştirilmiş olmalıdır.
- Diğer kaynak yöntemlerinden daha parlak ultraviole (UV) ışını yayarlar.
- Sarf malzemesi ve yedek parçaları diğer kaynak yöntemlerine göre daha pahalıdır.
- Kullanılan koruyucu gazlar oksijenden ağır olduğundan oksijen ortamdan uzaklaşır.
- Kaynak yapılan ortam sürekli havalandırılmalı, kaynak sırasında çıkan gaz ve duman ortamdan uzaklaştırılmalıdır.

3.2. TIG Kaynağı Ekipmanları

3.2.1. Güç kaynakları

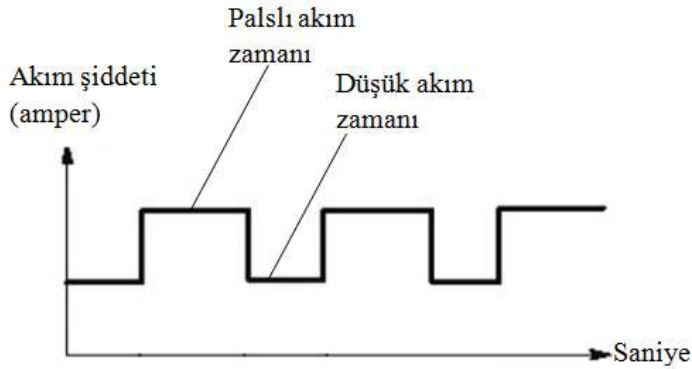
Şekil 3.3’ de invertör tip TIG kaynak makinesi görülmektedir. TIG kaynak makineleri pek çok işleve sahiptir. Kullanılan akım türü (AC, DC), akım şiddeti (I), kaynak başlangıcı yöntemi (Lift-TIG, yüksek frekans) ve palslı kaynak yapabilme TIG kaynağı makinelerinin başlıca özelliklerindendir. Kaynak makinesi seçimi yapılırken bu özellikler dikkate alınmalıdır. Günümüzde enerji tasarrufu sağlaması amacıyla TIG kaynak makinelerinde invertör tip güç kaynağı kullanılmaktadır. Genellikle bu makinelerde hem AC hem de DC akımla kaynak yapmak mümkündür Çok ince parçaların kaynağında düşük akım seçilmektedir Modern kaynak makinaları yüksek frekans (YF) kaynak başlangıcı ünitesine sahiptirler. YF ünitesi frekansı ve voltajı yükselterek tungsten elektrotu parçaya değdirmeden kaynağa başlanmasını sağlamaktadır. Ancak örtülü elektrot kaynağı da yapılabilen bazı TIG kaynağı makinelerinde Lift-TIG olarak tanımlanan bir sistemle, aynı örtülü elektrot kaynağında olduğu gibi tungsten elektrot parçaya değdirilerek kaynağa başlanabilmektedir. Bu temas nedeniyle tungsten parçacıkların kaynak bölgesine geçme ihtimali unutulmamalıdır. TIG kaynağı, kaynak bölgesinde yüksek sıcaklıkların olduğu bir ark kaynağı yöntemidir. Dolayısıyla ince kesitli parçalarda ısının etkisiyle çarpılmalar görülebilmektedir. Kaynağın nüfuziyetini artırmak ve çarpılmaları azaltmak amacıyla TIG kaynak makinelerinin palslı kaynak özelliği kullanılmaktadır. Şekil 3.4’ de verilen palslı akım ve düşük akım bir kaynak zamanını vermektedir. Palslı akım kaynağı, birbiri üzerine binmiş, çok sayıda nokta kaynağından oluşan bir kaynak dikişi gibi görünmektedir.

Güç kaynakları hakkında bilinmesi gereken diğer bir hususta kaynak makinesinin verimli çalışma zamanını gösteren görev çevrimidir (duty cycle). Görev çevrimi 10 dakikalık zaman dilimi içindeki kaynak yapma ve durma zamanını ifade etmektedir. Nominal anma akımı 250 Amper olan bir kaynak makinesi %60 verimle çalışmaktadır. Yani bu kaynak makinası 6 dakika kaynak yapmakta, 4 dakika durmaktadır. Burada verilen örneğe göre tipik bir güç kaynağının görev çevrimi Çizelge 3.1’deki gibi değerlendirilebilir.



- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1. Taşıma kolu | 9. Ark kuvveti(örtülü elektrot), ark sönümleme(TIG) ayar düğmesi |
| 2. Aşırı yük /sıcaklık uyarı lambası | 10. Örtülü elektrot ve TIG kaynak modu seçim anahtarı |
| 3. Güç gösterge lambası | 11. Yüksek frekans(YF) ve Lift-TIG seçim anahtarı |
| 4. Kaynak akımı ayar düğmesi | 12. Açma-kapama anahtarı |
| 5. Gaz çıkışı bağlantı rekoru | 13. Gaz hortumu bağlantı soketi |
| 6. Negatif(-) bağlantı soketi | 14. Enerji giriş kablosu |
| 7. Pozitif(+) bağlantı soketi | |
| 8. TIG torcu tetik bağlantı soketi | |

Şekil 3.3. TIG ve örtülü elektrot kaynağı yapılabilen kaynak makinesinin kontrol paneli ve fonksiyonları [50]



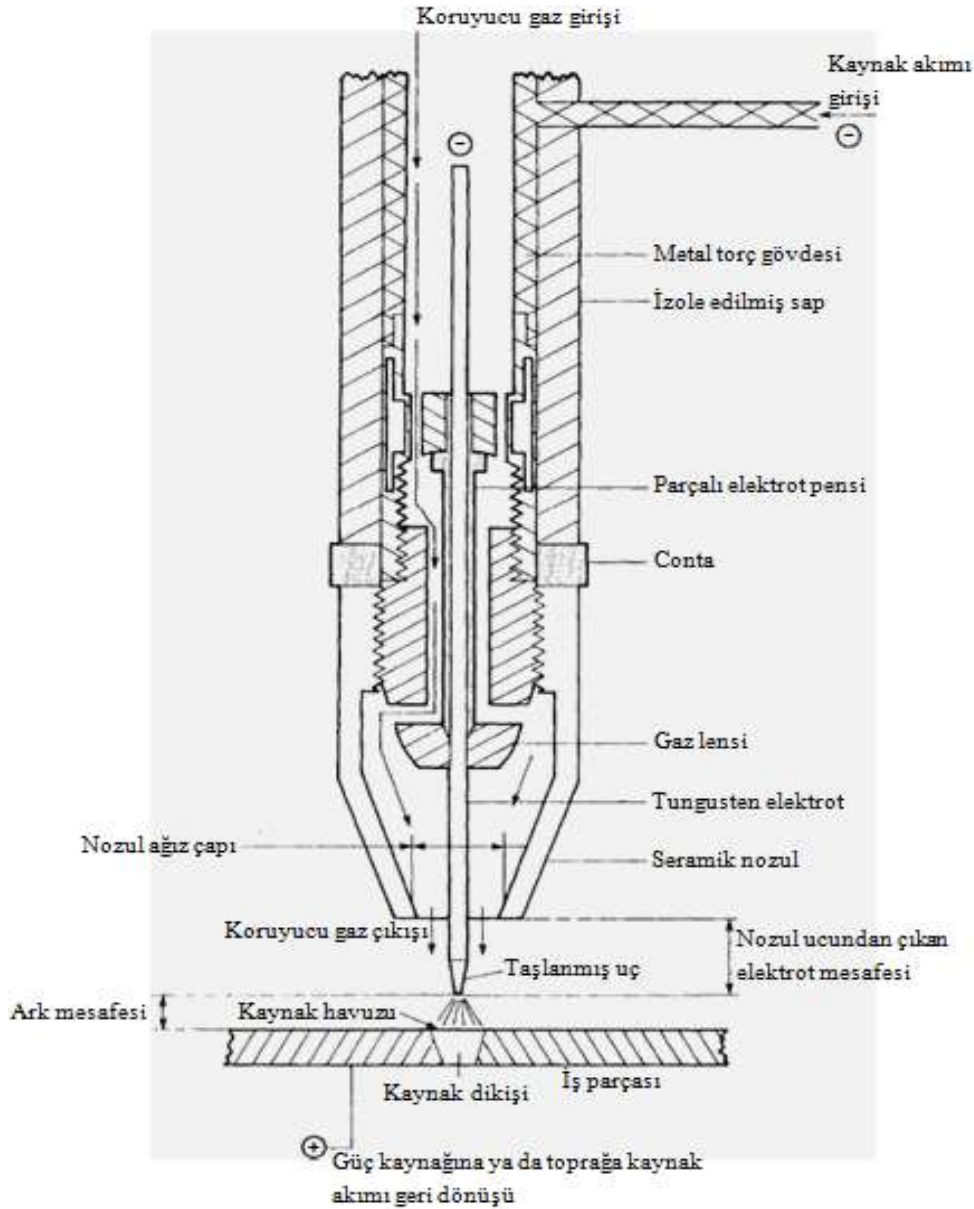
Şekil 3.4. Palslı akım kaynak zamanları

Çizelge 3.1. Nominal anma akımı 250 Amper olan kaynak makinesinin görev çevrimi [48]

Çalışma akımı	Görev çevrimi	Çalışma zamanı(dakika)
315 A	%35	3,5
250 A	%60	6
200 A	%100	10

3.2.2. Kaynak torçları

Kaynak torcu, iş parçası ile tungsten elektrot arasında kaynak için gerekli elektrik arkını oluşturabilmek için akım kablосundan aldığı akımı elektrota iletme ve koruyucu gazı kaynak banyosuna sevk etme görevlerini yerine getirmektedir. Şekil 3.5’ de TIG torcunun tüm bileşenleri verilmektedir.



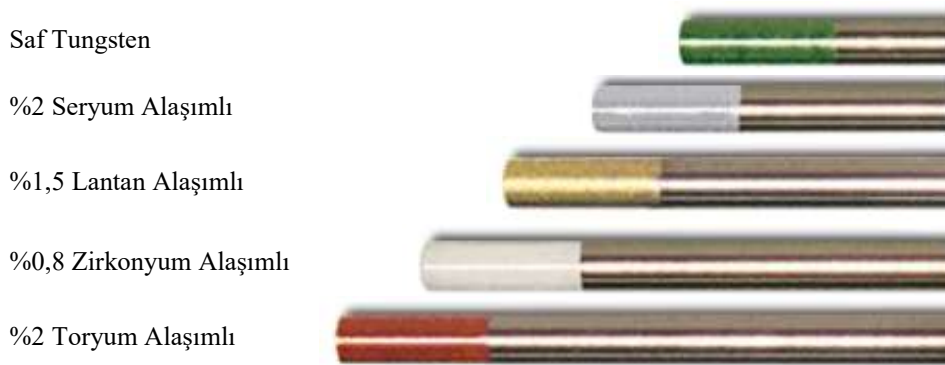
Şekil 3.5. Hava soğutmalı TIG kaynak torcunun kısımları [48]

Torçlar soğutma sistemine göre hava soğutmalı ve su soğutmalı olarak iki gruba ayrılmaktadır. Hava soğutmalı torçlarda soğutma işlemi, torcun dış kısmında hava yardımı ile iç kısmında ise koruyucu gaz tarafından gerçekleştirilir. Bunlar yaklaşık 200 Amperi

geçmeyen akımlarda kullanılan, kolay kullanım sağlayan hafif torçlardır. Su soğutmalı olanlara göre daha ekonomiktirler. Kafa açısı olarak tanımlanan, tungsten elektrot ile torç sapı arasındaki açı 120° olan torçlar yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu açının 90° olduğu dik torçlar ve 180° olduğu kalem tipi torçlar da bazı uygulamalarda kullanılmaktadır. Su soğutma sistemi sayesinde torç, yüksek akım şiddetlerinde etkin bir şekilde soğutulmaktadır. Otomatik TIG kaynak sistemlerinde bu tip torçlar kullanılmaktadır.

3.2.3. Elektrotlar

TIG kaynak yöntemi ile diğer ark kaynağı yöntemleri arasındaki en önemli fark erimeyen tungsten elektrotların kullanılmasıdır. Elektrot malzemesi olarak tungsten ve onun alaşımları kullanılmaktadır. Tungsten elektrot TIG kaynağında sadece arkın oluşması ile görevlidir. TIG kaynak yönteminde kullanılan tungsten elektrotlar genelde 17 cm boyunda olup 1,6–2-2,4-3,2 ve 4 mm çaplarında üretilirler. Ayrıca dikdörtgen kesitli tungsten elektrotlarda bulunmaktadır.



Şekil 3.6. Tungsten elektrot çeşitleri [51]

Şekil 3.6’ da gösterilen tungsten elektrot çeşitlerinin özellikleri ve kullanım yerleri farklılık göstermektedir, bu elektrotların özellikleri, renk kodları ve kullanım yerleri aşağıda açıklanmaktadır [51]:

- Saf Tungsten (Yeşil): Isındığında uç kısmı yuvarlak şekil aldığı için AC kaynağında iyi ark kararlılığı sağlamaktadır. Alüminyum ve magnezyum alaşımlarının AC kaynağı için iyi ark kararlılığı sağlamaktadır. DC kaynağında kullanılmamalıdır.
- %2 Seryum alaşımli (Gri): Mükemmel ark başlangıç sağlar. Bu nedenle paslanmaz çelik, nikel alaşımları, titanyum malzemeler ile boru ve ince sac malzemelerin kaynağında tercih edilmektedir. En iyi performansı DC akımda göstermektedirler ancak AC akım için

de tercih edilmektedirler. %1,8-2,2 seryum içermektedir. AC akımda %30-40 arası daha fazla akım taşıması bakımından saf tungsten elektrot yerine de tercih edilmektedir.

- %1,5 lantan alaşımlı (Altın): Düşük akım şiddeti (I) değerlerinde mükemmel ark başlangıcı sağlamaktadır. Uzun ömürlüdürler. Kararlılık ve uç aşınması bakımından avantajlıdır. Karbon çelikleri, paslanmaz çelikler, nikel alaşımları, titanyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılırlar. %1,5 lantan alaşımlı tungsten elektrotlar %1,3-1,7 lantan içerirken, %2 lantan alaşımlı tungsten elektrotlar %1,8- 2,2 lantan içermektedir. Bu elektrotlar sivri uçlu hazırlandıkları zaman AC veya DC akımlarda kullanılabilirler. Düşük voltajlarda bile ark başlangıcı sağlarlar. Elektrotların ucu yuvarlatıldığında AC güç kaynaklarında da kullanılabilirler.
- Zirkonyum alaşımlı (Beyaz): %98,6 tungsten ve %0,7-0,9 zirkonyum içerirler. AC kaynağında elektrot ucu kolayca yuvarlaklaşır. Diğer elektrot çeşitleri ile kıyaslandıklarında, kırılma olmadan en yüksek akım taşıma kapasitesine sahip elektrot malzemesidir. Kaynak metaline en az tungsten geçişi bu elektrotla sağlanır. Ayrıca iyi ark kararlılığına ve güvenli ark başlangıcına sahiptir.
- %2 Toryum alaşımlı (Kırmızı): İyi ark başlangıcı ve yüksek akım taşıma kapasitesine sahiptirler. Minimum %97,3 tungsten ve %1,7-2,2 arasında toryum içerirler. Karbon çelikleri, paslanmaz çelikler, nikel alaşımları ve titanyum malzemelerin kaynağında DC akımda kullanılırlar. Bunun yanı sıra AC kaynak içinde kullanılmaktadırlar. Az miktarda radyoaktif madde içermesi nedeniyle kaynakçı sağlığı açısından riskler taşımaktadır.

3.2.4. Koruyucu gazlar

TIG kaynağında kaynak bölgesini ve tungsten elektrotun ucunu havanın olumsuz etkilerinden korumak için koruyucu gazlar kullanılmaktadır. TIG kaynağında önce helyum gazı kullanılmıştır. Argon gazı daha sonra kullanılmaya başlanmıştır. Her iki gaz da tek atomlu ve inert (asal) gazdır. Bu gazlar diğer elementlerle bileşik oluşturmazlar, renksiz ve kokusuzdurlar ve yanmazlar. Helyum gazı havadan hafifken argon havadan ağırdır. Helyum doğada hidrojenin sonraki en hafif gazıdır, özgül ağırlığı $0,179 \text{ kg/m}^3$ olup havadan yaklaşık 7 kat daha hafiftir. Argonun özgül ağırlığı ise $1,784 \text{ kg/m}^3$ tür ve havadan daha ağırdır. Bu özelliklerden yola çıkılacak olursa helyum uçucu bir gazdır ve koruma kabiliyeti düşüktür. Ancak argon, havadan daha ağır olması sebebiyle erimiş metali daha iyi korur. Aynı kaynak işleminde, aynı korumayı sağlamak için daha fazla helyum gazına ihtiyaç duyulmaktadır.

Helyum gazının iyonlaşma enerjisi yaklaşık 24,5 elektronvolt iken argon gazının iyonlaşma enerjisi yaklaşık 15,5 elektronvolttur. Helyum yüksek iyonlaşma enerjisi ve mükemmel ısı iletkenliği nedeniyle kaynak bölgesinde yüksek ısı ve derin nüfuziyet elde edilmesini sağlamaktadır [48]. Helyum tüpleri kahverengi, argon tüpleri açık mavi renkte satılmaktadır. Helyum gazının maliyeti argon gazından daha yüksektir.

3.3. TIG Parametreleri

Kaynatılacak malzemenin cinsine, kalınlığına, konstrüksiyona ve kaynak dikişinin boyutlarına göre uygun TIG parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. TIG kaynağına en çok etki eden parametreler şunlardır [52]:

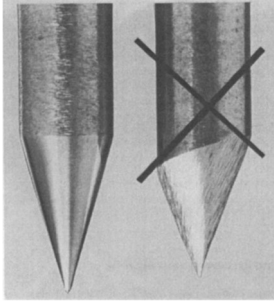
- Koruyucu gazın debisi
- Tungsten elektrotun geometrisi (bileme açısı)
- Akım tipi
- Akım şiddeti
- Kutuplama
- Ark gerilimi (voltaj)
- Kaynak hızı

3.3.1. Koruyucu gazın debisi

Koruyucu gaz hem kaynak banyosu hem de tungsten elektrot için en iyi koruyucu ortamı sağlamalıdır. Koruyucu gazın debisini belirlemek TIG kaynağının en önemli parametrelerinden birisidir. Gaz korumanın özelliğine göre koruyucu gaz basıncı tungsten elektrot çapının 4-10 katı kadar alınabilir. Çoğu uygulamada kaynağa başlamadan önce kaynak bölgesine koruyucu gaz gönderimi başlar ve kaynak bittikten sonra bir süre daha gaz akışı devam eder. Böylece kaynak banyosu ve tungsten elektrot ucu kaynaktan sonra bir süre daha korunmuş olur.

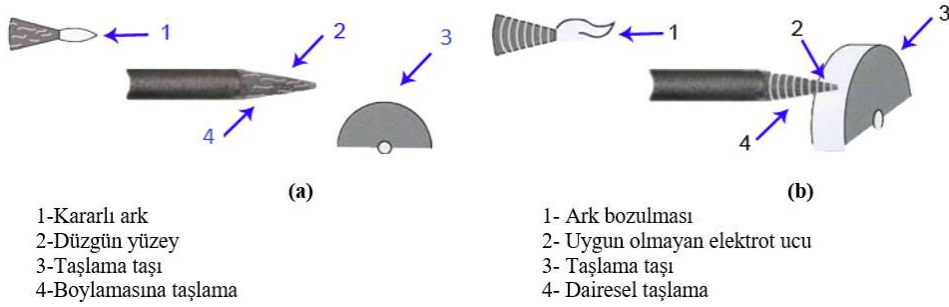
3.3.2. Tungsten elektrotun geometrisi

Kaynak işlemi devam ettikçe elektrotun ucunda ısıya bağlı olarak bir kütleleşme meydana gelmektedir. İş malzemesine uygun elektrotu belirledikten sonra önem verilmesi gereken diğer bir hususta Şekil 3.7’ de gösterildiği gibi bu elektrotun doğru bilenmesidir.



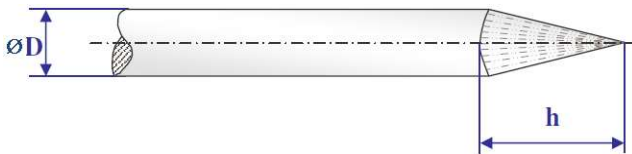
Şekil 3.7. TIG kaynağı için doğru ve yanlış bilenmiş tungsten elektrot uçları [48]

Körelmiş bir elektrotla kaynağa başlamak (ark oluşturmak) zordur. Kütleşerek formunu kaybeden elektrot bilenerek konik forma getirilmelidir. Şekil 3.8’ de tungsten elektrotun alet bileme taşında uygun olan ve uygun olmayan bileme yöntemleri gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Uygun olan tungsten elektrot bileme yöntemi (a), uygun olmayan tungsten elektrot bileme yöntemi (b) [51]

Tungsten elektrotun bilen kısmı elektrotun çapına göre boyutlandırılmaktadır. Şekil 3.9’da çelik, paslanmaz çelik, bakır ve benzeri metaller için kullanılan kırmızı renk kodlu bir elektrotun resmi verilmiştir. Burada konik boyununu (h) belirlemek için elektrot çapı 3mm’ den küçük veya 3mm’ ye eşitse Eş. 3.1, elektrot çapı 3mm’ den büyükse Eş. 3.2 kullanılmaktadır.

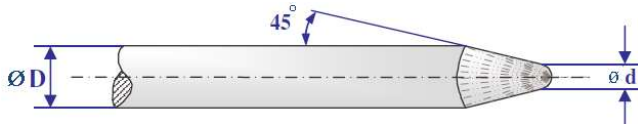


Şekil 3.9. Çelik, paslanmaz çelik, bakır vb. metaller için bilenmiş kırmızı renk kodlu tungsten elektrot [49]

$$h = 3xD \quad (3.1)$$

$$h = 2xD \quad (3.2)$$

Alüminyum vb. hafif metallerin kaynağında kullanılacak elektrotların uç kısımlarında Şekil 3.10' da gösterildiği gibi küçük bir radüs olmalıdır. Bu radüs Eş. 3.3 ile hesaplanabilmektedir.



Şekil 3.10. Alüminyum vb. metaller için bilenmiş yeşil renk kodlu tungsten elektrot [50]

$$d = \frac{1}{2} \times D \quad (3.3)$$

Elektrot bileme işleminde bilenerek oluşturulan uç kısmın silindirik kısım ile eş merkezli olmasına dikkat edilmelidir. Her bilemede aynı uç formunu yakalamak için özel tungsten elektrot bileme makinelerinin kullanımı tavsiye edilmektedir.

3.3.3. Kaynak akımı tipi

Bir iletkenin uçlarına bir potansiyel fark uygulanırsa iletken içerisinde artı (+) kutuptan eksi (-) kutba doğru yönelen bir elektrik alanı oluşur. Elektrik akımı (I) bir devrede kesit yüzeyden birim zamanda geçen (+) ve (-) yüklerin toplamı olarak açıklanır. Doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) olmak üzere iki tür akım bulunmaktadır. Doğru akım; piller, akümülatör ve dinamo vasıtasıyla üretilirken; hidroelektrik santralleri, termik santraller ve jeneratörler birer alternatif akım kaynağıdır. İnventör tip kaynak makineleri kullanılarak bu iki akım türünde TIG kaynağı yapmak mümkündür. AC akım genelde alüminyum ve magnezyumun kaynağı için kullanılmaktadır. Çünkü AC akımın temizleme etkisi oksitleri giderir ve kaynak kalitesini iyileştirir [6], Diğer malzemelerin kaynağında genelde DC akım tercih edilir.

3.3.4. Akım şiddeti

Elektrik akımı ile ilgili olarak bilinmesi gereken bir husus metalik malzemelerin elektrik akımına gösterdiği dirençtir. Bir iletkenin direnci ile ilgili olarak şunlar bilinmelidir.

- Direnç, iletkenin uzunluğu ile doğru orantılıdır. İletkenin boyu uzadıkça dirençte artar.
- Direnç, iletkenin kesiti ile ters orantılıdır.
- Direnç, iletkenin cinsine bağlıdır. Özdirenci yüksek olan malzemelerin elektrik akımına gösterdiği dirençte fazladır.
- Malzemenin sıcaklığı arttıkça direnci de artmaktadır.

Çizelge 3.2' de tungsten elektrotun çapına ve malzemesine uygun olan doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) değerleri verilmektedir [53]. Burada elektrot çapı arttıkça akım şiddetinin (I) arttığı görülmektedir. Aynı zamanda tungsten alaşımları daha yüksek akım değerleri iletmektedir. Kaynak akımının şiddetine (I), iş malzemesinin cinsi, kalınlığı, kaynak ağzı ve kaynak hızı gibi daha birçok parametre etki etmektedir.

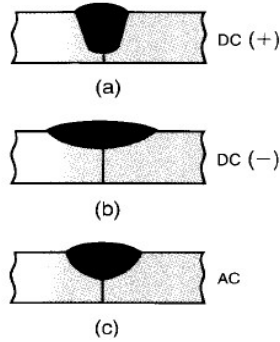
Çizelge 3.2. Elektrot çapı ve malzemesine göre DC ve AC akım için yapılacak işe uygun akım şiddeti (I) değerleri

DC		AC (frekans 50 Hz)					
		Max. Nüfuziyet		Nominal Değer		Max. Temizlik	
Elektrot çapı(Ø)	%2 Toryum		%0,8		%0,8		%0,8
	Alaşımılı	Saf	Zirkonyum	Saf	Zirkonyum	Saf	Zirkonyum
	Tungsten	Tungsten	Alaşımılı	Tungsten	Alaşımılı	Tungsten	Alaşımılı
			Tungsten		Tungsten		Tungsten
1,6	70A-150A	50A-100A	70A-150A	30A-60A	50A-80A	20A-40A	30A-60A
2,4	150A-250A	100A-160A	140A-235A	60-120A	80A-140A	40A-100A	60A-120A
3,2	200A-350A	150A-210A	225A-325A	80A-160A	100A-180A	60A-140A	80A-160A
4	300A-400A	200A-275A	300A-400A	100A-240A	150A-280A	80A-200A	150A-250A

3.3.5. Kutuplama

TIG kaynağında kullanılan akım türüne ve elektrotun anot ya da katot oluşuna göre birden çok kutuplama yapmak mümkündür. Çizelge 3.3' de bazı malzeme türlerine ait akım tipleri ve kutuplamaları verilmiştir. Doğru akım elektrot negatif (DAEN) olarak bilinen düz kutuplamada iş malzemesi pozitif (anot), elektrot negatiftir (katot). DAEN dar ve derin bir kaynak bölgesi oluşturur (Şekil 3.11.a). Doğru akım elektrot pozitif (DAEP) olarak bilinen

ters kutuplamada iş malzemesi negatif ve elektrot pozitifdir. DAEP' te kaynak nüfuziyeti az olup, kaynak bölgesi sık ve geniştir (Şekil 3.11.b). Bu yüzden DAEP geniş aralıklı birleştirmelerde ve saç metallerin kaynağında tercih edilir. Alternatif akım (AC) yönteminde (Şekil 3.11.c) ark süratle hareket eder. Bu yöntem kalın kesitli parçaların kaynağında ve büyük çaplı elektrotların maksimum akımda kullanılması için uygundur [6].



Şekil 3.11. Kutuplamanın ve akım türünün kaynak dikişi üzerindeki etkisi, DAEN (a), DAEP (b), AC (c) [6]

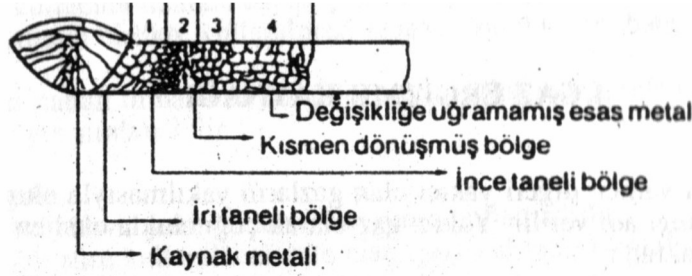
Çizelge 3.3. Bazı malzemelere ait akım tipi ve kutuplamalar [49]

Malzeme cinsi	Akım tipi	Elektrot	İş parçası
Alüminyum	AC		
Magnezyum	AC		
Paslanmaz çelik	DC	(-)	(+)
%0,3 karbonlu çelik	DC	(-)	(+)
Bakır	DC	(-)	(+)
Titanyum	DC	(-)	(+)
Nikel	DC	(-)	(+)
Monel	DC	(-)	(+)
İnkonel	DC	(-)	(+)

3.3.6. Ark gerilimi (voltaj) ve kaynak hızı

Tungsten elektrot ile iş malzemesi arasındaki mesafe arttıkça kaynak gerilimi artmakta, akım şiddeti (I) düşmektedir. Ark gerilimi genellikle görev çevrimi (Çizelge 3.1) azaldıkça bir miktar artmaktadır [48]. Isının kaynak bölgesine birtakım etkilerinin olduğu açıktır. Kaynak yapılan bölgeye komşu olan, sertlik ve içyapı değişimine uğramış bölge ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.12.). ITAB kaynak dikişini saran bir bölgedir. Kaynak yapılan malzeme türüne göre farklı sıcaklıklarda ortaya çıkmaktadır.

Alaşımlama ya da ısıtılma işlemi ile kazanılmış olumlu özellikler ITAB içinde zarar görebilmektedir. Bölgesel çatlaklar oluşmakta ve malzemenin mekanik özellikleri zayıflamaktadır.



Şekil 3.12. Isı tesiri altındaki bölge [47]

Kaynak hızı, kaynak bölgesine giren ısı miktarını etkilemektedir. Kaynağın hızı, kaynağın nüfuziyeti ile ters orantılıdır. Arzu edilen bir kaynak nüfuziyeti için ideal kaynak hızında hareket edilmesi kaynak bölgesindeki distorsiyonları da azaltacaktır. İnce malzemelerin kaynağında 16 mm/sn hıza ulaşılmıştır, ancak bazı alaşımların daha yavaş kaynatılması gerekmektedir, kaynağın yeniden ergimesinden kaçınılmalıdır [48]. Kaynağın çok hızlı yapılması nüfuziyetin azalmasına ve yetersiz birleştirmeye neden olurken, kaynağın yavaş yapılması çok fazla ısı girdisine ve kaynak yüzeyinin genişlemesine neden olmaktadır. TIG kaynağında en yaygın kullanılan kaynak hızları 10-40 cm/dak' dır.

3.4. TIG Tekniğinin Otomasyon Uygulamaları

TIG kaynak makineleri endüstride takım tezgâhları [27,48] ve robotlarla [54,55] entegre bir şekilde kullanılmaktadır. TIG tekniğine ait robot kullanılarak yapılan bir uygulama Resim 3.1' de gösterilmektedir. Parçalar üzerine, programlanmış bir yolda robotlar kullanılarak TIG kaynağı yapılmaktadır. Otomasyon uygulamaları kaynağa iyi bir görümüm ve sağlamlık vermektedir. Aynı zamanda kaynağın hızı artmakta ve kaynakçının neden olduğu hatalar ortadan kalkmaktadır.



Resim 3.1. Robot kullanılarak yapılan TIG kaynağı uygulaması örneği [54]

Torna tezgâhı fonksiyonları sayesinde, boru kesitli ya da küçük silindirik parçaları TIG tekniği ile kaynatmak için çok uygun bağlama ve hareket olanakları sunmaktadır. TIG tekniği günümüzde iş malzemesi üzerinde bir katman oluşturma (cladding) uygulamalarında kullanılmakta böylece eklemeli imalat için alternatif bir ergitme aracı olarak tercih edilmektedir [56].

Bölüm 2’ de IDİ yönteminde kullanılan enerji kaynakları değerlendirilmiş ve belirli kriterlere göre aralarında karşılaştırma yapılmıştır. Bu çalışmada enerji kaynağı olarak TIG tekniğinin tercih edilmesinin gerekçeleri aşağıda özetlenmiştir.

- Diğer enerji kaynaklarına nazaran TIG kaynak makinesine ulaşım daha kolaydır.
- Lazer ve plazma yardımcı işlemeye göre daha ekonomik bir yöntemdir.
- Noktasal kesmeye uygundur ve iş malzemesinin dar bir kısmını ısıtma kabiliyetine sahiptir.
- Isıtma akımı hassas bir şekilde ayarlanabilmektedir.
- Otomasyon uygulamalarında kullanılabilir.

4. LİTERATÜR ÖZETİ

AISI 4340 çeliği ile yapılmış çalışmaların bir kısmında malzemenin normal sertliğinde kullanıldığı bir kısmında ise sertleştirilmiş numunelerin kullanıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda farklı kesici takımların ve işlenebilirliği artıran yöntemlerin denendiği görülmektedir. Aşağıda AISI 4340 çeliği kullanılarak yapılmış bazı çalışmalara yer verilmiştir.

Kesme bölgesi sıcaklığı kesme parametreleri ile doğrudan ilişkilidir. Vasudeva vd. [57] çalışmalarında kaplamalı ve kaplamasız kesici uçlar kullanmışlar, kesme hızı (V) ve ilerleme oranı (f) değerlerinin kesme bölgesindeki sıcaklık değişimine etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada kesme hızı (V) arttıkça sıcaklığın arttığı, ilerleme oranı (f) arttıkça sıcaklığın düştüğü görülmektedir. Kaplamalı kesici uçların daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

Kesme parametrelerinin yanı sıra kesme bölgesindeki sıcaklığa kuru işleme, soğutma sıvısı kullanarak işleme ve minimum miktarda yağlama (MMY) yöntemi gibi çevre şartları ilave faktörler olarak etki etmektedir. Dhar vd. tarafından yapılan çalışmada [58] MMY yönteminin takım-talaş ara yüzeyindeki sıcaklığı düşürmede etkili olduğu belirlenmiştir. Aynı çalışmada MMY yöntemi sayesinde kesici takım yanak aşınmasının düşürüldüğü, yüzey kalitesinin ve boyutsal kararlılığın arttığı raporlanmıştır. AISI 4340 çeliğinin farklı çevre şartlarında işlenmesi ile ilgili çalışmalarda [59,60] kesme kuvvetlerini düşürmesi, talaş oluşumunu kolaylaştırması ve takım aşınmasını azaltması nedeniyle MMY yönteminin etkili bir yöntem olduğu tespit edilmiştir. MMY yönteminin kullanıldığı bir başka çalışmada [61] kesme parametreleri ve çevre şartlarının yanı sıra iş malzemesi cinsi ve boyutlarının yüzey pürüzlülüğüne ve boyutsal kararlılığa etkileri araştırılmış, malzeme cinsinin çap değerlerindeki hatalara ve yüzey pürüzlülüğüne, iş malzemesi boyutlarının ise daireselliğe en çok etki ettiğini belirlemiştir.

AISI 4340 çeliğinin sert tornalamasında kübik bor nitrür (CBN) kesici takımların kullanıldığı bir çalışmada [62] TİN kaplamalı CBN takımların kaplamasız olanlara göre yüzey kalitesinin iyileşmesinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir. More vd. sert tornalama işlemi için kaplamalı CBN ve çok kristalli kübik bor nitrür (PCBN) takımları karşılaştırmışlardır. [63]. Kesici kenar ömrü ve kesme kuvvetlerinde PCBN takımların daha

iyi sonuçlar verdiğini, kaplamalı CBN takımların yüzey kalitesi bakımından daha iyi ve daha ekonomik olduğunu tespit etmişlerdir. Suresh vd. kaplamalı karbür kesici takım kullanarak sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin sert tornalamasında [64] kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine, yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınmalarına etkilerini araştırmışlar, işleme zamanı arttıkça kesme kuvvetlerinin, yüzey pürüzlülüğünün ve takım aşınmalarının arttığını belirlemişlerdir.

IDİ yöntemleri ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde işlenecek bölgeyi ısıtmak için kullanılan enerji kaynaklarının, lazer, plazma arkı, indüksiyon akımı, oksî-gaz alevi ve elektrik akımı olduğu görülmektedir. Bu enerji kaynaklarının birbirlerinden farklılıkları ve üstünlükleri Bölüm 2' de açıklanmıştır. Kesici takım ömrünü artırmak, takım aşınmalarını azaltmak, işlenmesi zor malzemelerin daha yüksek talaş kaldırma oranlarında (TKO) işlenmesini sağlamak, kesme kuvvetlerini düşürmek ve yüzey kalitesini iyileştirmek IDİ ile geliştirilmeye çalışılan noktalardır. Aşağıda daha önce yapılmış çalışmalar, kesme kuvveti veya güç tüketimi, sıcaklık, boyutsal kararlılık, yüzey pürüzlülüğü, talaş oluşumu ve yığılma faktörüne (λ) göre sınıflandırılarak değerlendirilmiştir.

IDİ yönteminin kesme kuvvetlerine etkisi incelendiğinde lazerin sadece metalik malzemelerde [65-67] değil seramik [68] ve kompozitlerin işlenmesinde de [69] kesme kuvvetlerini düşüren bir enerji kaynağı olduğu görülmektedir. Plazmanın [70-72] ve indüksiyon akımının [73,74] enerji kaynağı olarak kullanıldığı çalışmalarda da kesme kuvvetlerinin düştüğü görülmektedir. Bazı çalışmalarda kuvvet ölçümü yapılmamış bunun yerine güç ölçerler kullanılarak takım tezgahının harcadığı güç ölçülmüştür [8], Xu vd. [45] küçük çaplı delikleri delmek için elektrik akımıyla işleme tekniğini kullanmışlar ve konvansiyonel yöntemle göre ilerleme kuvvetinin ve torkun düştüğünü belirlemişlerdir.

Enerji kaynağından maksimum verimin alınabilmesi için ısıtılan bölgenin olabildiğince kesici takıma yakın olması istenmektedir. Titanyum ve sertleştirilmiş çelik işlenirken kesme kuvvetlerindeki en büyük azalmanın kesici takıma daha yakın konumlandırılmış lazer spotu ile sağlandığı görülmüştür [75,76]. Elektrik akımıyla işleme tekniği kullanıldığında ancak belirli bir akım değerine çıkıldığında [25] kesme kuvvetleri düşmektedir. Benzer veri plazmada da elde edilmiş düşük akım değerlerinde gerinim sertleşmesi nedeniyle kesme kuvvetlerinin yüksek çıktığı görülmüştür [77]. Isı girdisi ile enerji kaynağının hızı ters orantılıdır. Enerji kaynağının hızı arttıkça ısı girdisi azalmaktadır [8,31,67]. Kim vd.

indüksiyon akımı ile lazeri karşılaştırdıkları çalışmalarında [74] ilerleme oranı (f) arttıkça lazerin indüksiyon akımına göre kesme kuvvetlerini düşürmede daha faydalı olduğunu tespit etmişlerdir.

İş malzemesi yüzeyinin sıcaklık değeri diğer bir ifadeyle talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr}) sabit ya da değişken tutularak sıcaklık farkının etkileri araştırılmıştır. Lazer kullanılan çalışmalarda talaş kaldırma sıcaklığındaki (T_{mr}) artışın takım ömrünü [15] artırdığı ve takım aşınmalarını [78] azalttığı görülmektedir. Lazerin yüksek güç yoğunluğu sayesinde iş malzemeleri daha yüksek kesme hızlarında işlenebilmektedir bu fayda aynı zamanda BUE oluşumunu ortadan kaldırmaktadır [15]. Rao yaptığı çalışmada [20] sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin plazma ile işlenmesinde, iş parçasının değişen sıcaklıklarının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini araştırmıştır. Çalışmada sıcaklık arttıkça takım aşınmasının azaldığı ve yüzey kalitesinin iyileştiği raporlanmıştır. Özler vd. çalışmalarında [35] yüzey sıcaklığının ve kesme parametrelerinin takım ömrü ile ilişkisini araştırmışlar ve bir sayısal model geliştirmişlerdir. Buna göre kesme parametreleri arttıkça takım ömrü azalmakta, sıcaklık arttıkça takım ömrü artmaktadır. İş malzemesi ısıtılırken doğru sıcaklık belirlenmelidir, oksijen-gaz alevi kullanılan bir çalışmada yüzeyde meneviş renginin oluştuğu [79], plazma kullanılan bir çalışmada ise oksit tabakanın [33] oluştuğu dikkati çekmektedir. Ye vd. çalışmalarında [80] kesme bölgesi sıcaklığını ölçerek gerekli olan ısıtma akımını belirleyebilen bir ısıtma akımı kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Minimum takım aşınmasının sağlandığı sıcaklık değerine göre ısıtma akımını yönetebilmişlerdir. Amin vd. TIG tekniği kullanarak yaptıkları IDİ çalışmasında [27] titreşim genliğini ve takım aşınmasını dikkate alarak AISI 304 çeliğinin optimum talaş kaldırma sıcaklığını belirlemeye çalışmışlar ve optimum talaş kaldırma sıcaklığının 450°C olduğunu tespit etmişlerdir.

Boyutsal kararlılıkla ilgili olarak iş milindeki titreşimlerin [81], kesici takım ve iş parçasındaki sehimlerin [82] iş malzemesinin boyutsal kararlılığına etkileri bilinmektedir. Ayrıca kesme parametreleri [83], işleme yöntemi [84] ve ilave faktörler olarak; çevre şartları, iş malzemesi türü ve boyutları [61] boyutsal kararlılığa etki etmektedir.

Yüzey kalitesini iyileştirmek IDİ yöntemlerinin başlıca hedeflerinden biri olmuştur. Özellikle sert tornalama işlemlerinde istenen yüzey kalitesinin yakalanması taşlama işlemini ortadan kaldırmaktadır. Ding ve Shin sertleştirilmiş AISI 4130 çeliğini lazer kullanarak işledikleri çalışmalarında [14] içi boş shaftların sertleştirildikten sonra yapılan sert tornalama

ve taşlama operasyonlarını IDİ ile aynı yüzey hassasiyetini sağlayarak tek operasyona düşürmeyi başarmışlardır. Sert tornalama ile arzu edilen yüzey kalitesi elde edildiği için taşlama işlemine gerek kalmamıştır. Ukar vd. tarafından yapılan çalışmada [12] elektro erozyon ile işlenmiş parça yüzeyine CO₂ lazeri ve Yüksek Güç Diyot lazeri kullanılarak polisaj yapılmış ve lazerler mukayese edilmiştir. CO₂ lazer ile yapılan polisajda yüzey pürüzlülüğü (Ra) 5,32 μm değerinden 1,20 μm değerine düşmüş ve yüzey pürüzlülüğü değerinde %77,40 azalma sağlanmıştır. Yüksek Güç Diyot lazeri ile yapılan polisajda yüzey pürüzlülüğü (Ra) 5,32 μm değerinden 0,80 μm değerine düşmüş ve yüzeyde %85,90 iyileşme sağlanmıştır. Ayrıca yüzeyde ilk 80 μm ' luk kısımda sertliğin düştüğünü raporlamışlardır.

Pek çok malzeme çeşidinde ön ısıtmanın etkisi ile talaş oluşumu gevrek-kırık tipten sürekli talaş oluşumuna dönüşmektedir [21], Sıcaklık artışı ile talaşların uzunluğu artma eğilimindedir ve bu da yığılma faktörünü (λ) düşürerek daha stabil ve ince talaş oluşumuna yol açmaktadır [85]. λ , işleme parametrelerindeki veya yüzey kalitesindeki değişiklikleri yansıttığı için kesme işlemini kontrol etmek ve izlemek için önemli bir parametre olarak kabul edilebilir. Bu çalışmada λ kesilmiş talaş kalınlığının (t_c) kesilmemiş talaş kalınlığına (t_0) oranı olarak alınmıştır. Mac vd. tarafından indüksiyon akımı kullanılarak yapılan çalışmada [86] talaş renginin konvansiyonel işlemede koyu mor (meneviş rengi), IDİ yönteminde daha parlak olduğu tespit edilmiştir. IDİ yönteminde kesme sıcaklığının daha önceden yükseltilmesi nedeniyle talaşa daha homojen ısı geçişi sağlanmış, metal atomları arasındaki bağlanma kuvveti zayıflamış dolayısıyla kesme işlemi kolaylaşmıştır. Bu nedenle talaşın rengi daha parlak çıkmıştır. Maity ve Swain oksijen-gaz alevi ile yaptıkları çalışmada [34] sıcaklık artışının takım ömrünü geliştirdiğini ve λ değerinin sıcaklık artışı ile beraber azaldığını tespit etmişlerdir. Ginta vd. indüksiyon akımını kullandıkları çalışmalarında [85] titanyum alaşımı için benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Sıcaklık artışıyla talaşın incelendiğini ve boyunun uzadığını, λ değerinin düşme eğiliminde olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca kesme kuvvetleri ve tırlamanın azaldığını raporlamışlardır.

Bazı çalışmalar işlemede verimliliği artırmak ve daha kaliteli parçalar üretmek için yeni yaklaşımlar önermektedir. Bunlar aynı anda iki enerji kaynağının kullanıldığı IDİ çalışmaları ya da işlenmesi zor malzemelerin işlenmesinde kullanılan yöntemlerin birlikte kullanıldığı çalışmalardır. Ha ve Lee lazer ve indüksiyon akımını birlikte kullandıkları çalışmalarında [74] kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünde enerji kaynaklarının tek

başına kullanıldığı durumlara göre çok daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Sun vd. [71] plazma ve minimum miktarda yağlama (MMY) tekniğini birlikte kullanarak yüzey pürüzlülüğü ve yanak aşınmasında daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Kriyojenik soğutma ve IDİ yönteminin birlikte kullanıldığı çalışmalarda [11,87] takım ömründeki artış dikkati çekmektedir. Feyzi ve Safavi yaptıkları çalışmada plazma yardımcı işleme, kriyojenik işleme ve ultrasonik titreşim yardımcı işlemeyi [88] birleştirmişlerdir. Bu çalışmada kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi, takım aşınması değerlerinde konvansiyonel işlemeye göre 10 kata varan iyileşmeler sağlanmıştır.

Gözden geçirilen çalışmalarda AISI 4340 çeliğinin IDİ yöntemiyle işlendiği az sayıda çalışmaya rastlanılmıştır. Ayrıca IDİ yöntemlerinin boyutsal kararlılığa etkilerini araştıran bir çalışmaya rastlanılmamıştır. IDİ alanında yapılan çalışmaların genel bir değerlendirmesini yapacak olursak çalışmaların pek çoğunda enerji kaynağı olarak lazerin kullanıldığı görülmektedir. Diğer enerji kaynaklarının kullanıldığı çalışma sayısı sınırlıdır. IDİ çalışmalarında enerji kaynağı olarak TIG tekniğinin kullanıldığı tek bir çalışmanın olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın çok sınırlı olduğu ve TIG tekniğinin IDİ için uygulanabilirliğini ifade etmekte yeterli olmadığı görülmektedir. Konu ile ilgili araştırmalar göz önüne alındığında araştırma konusunun gerekli ve yerinde olduğu görülmektedir. Bu çalışmayla TIG tekniğinin IDİ için uygulanabilirliğinin araştırılarak IDİ için alternatif bir yöntemin geliştirilmesi ve literatüre yeni katkıların sağlanması hedeflenmiştir.

5. MATERİYAL VE METOT

İşlenmesi zor olarak tanımlanan malzemeler endüstriyel uygulamalarda uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu malzemelerin tercih edilmesinde kullanım koşulları, maliyetleri ve tasarımcıların tercihleri büyük önem taşımaktadır. İşlenmesi zor malzemelerin yüksek dayanım, sertlik, yüksek ısıya ve kimyasal etkilere karşı kararlılık gibi özellikleri birer avantajdır. Ancak sahip oldukları birçok olumlu özellik onların talaşlı imalatla işlenmesinde birer dezavantaja dönüşmektedir. İşlenmesi zor malzemelerin işlenmesinde kısa takım ömrü, düşük yüzey kalitesi, geometrik şartların yakalanamaması (ölçü, şekil-konum toleransları) ve talaşın kontrol edilememesi karşılaşılan başlıca sorunlardır. Bu sorunlar aynı zamanda o malzemenin, işlenmesi zor bir malzeme olduğuna işaret etmektedir. Dolayısıyla araştırmacılar işlenmesi zor malzemelerin işlenebilirlik özelliklerini araştırmaya oldukça ilgilidirler. Endüstride yaygın kullanılan işlenmesi zor malzemelere titanyum alaşımları, nikel alaşımları, magnezyum alaşımları, paslanmaz çelikler, sertleştirilmiş çelikler, seramikler ve kompozitler örnek gösterilebilir. Kullanım miktarı bakımından işlenmesi zor malzemelerin önemli bir kısmını sertleştirilmiş çelikler oluşturmaktadır. Sert işleme ve özellikle sert tornalama, sertliği 45 HRC üzerindeki çeliklerin işlenmesine denilmektedir [89]. Bu teknik sertleştirilmiş çelik parçaların düşük verimlilikte yapılan ve pahalı olan taşlama operasyonlarına bir alternatif olarak uygulanmaktadır. Sert işleme, taşlama gibi ikinci bir işlemeyi ortadan kaldırmaktadır. Böylece üretim hızı artmakta ve üretim maliyetleri düşmektedir. Sert işleme yönteminde kullanılan kesici takımlarda; yüksek iş malzemesi sıcaklığı nedeniyle kesici kenarın yüzeysel plastik deformasyonu, üniform olmayan yanak aşınmalarına bağlı tahmin edilemeyen takım hasarları görülen başlıca sorunlardır.

İşlenmesi zor malzemeleri işlemek için kullanılan yöntemlerden biri olan IDİ iş malzemesini bölgesel olarak ısıtmak ve yumuşatmak için bir ısı kaynağının kullanıldığı yöntemlerin genel adıdır. TIG tekniğinin IDİ yönteminde kullanılan enerji kaynaklarına bir alternatif olabileceği değerlendirilmektedir. Bu çalışmada TIG tekniğinin bir enerji kaynağı olarak IDİ yöntemindeki uygulanabilirliğini belirlemek hedeflenmiştir. Çalışma ön deneyler ve esas kesme deneyleri olmak üzere iki grupta tamamlanmıştır. TIG tekniğinde yüksek akım değerleri kullanılarak ön ısıtma yapılmıştır. Deney şartlarının zorluğu nedeniyle dinamometre kullanılmamış bunun yerine enerji ölçerler vasıtasıyla takım tezgahının harcadığı güç ve TIG kaynak makinesinin ön ısıtma için harcadığı güç ölçülmüştür. Takım

tezgahının harcadığı güç üzerinden kesme işleminde harcanan güç (P_c) belirlenmiştir. Kızılötesi termometre yardımıyla işleme sırasında iş malzemesi yüzeyinde oluşan talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr}) ölçülmüştür. IDİ yönteminin boyutsal kararlılık üzerindeki etkilerini araştırmak için boyutsal ölçümler yapılmıştır. Böylece literatüre yeni katkılar sağlanması amaçlanmıştır. Deneylerde elde edilen veriler kullanılarak yığılma faktörü (λ) ve spesifik kesme enerjisi (E_{SK}) hesaplanmıştır. Bu bölümde yukarıda bahsedilen araştırmalarda kullanılan cihaz, ekipman, ölçü aletleri ve kullanılan yöntemler hakkındaki detaylara yer verilmiştir.

5.1. İş Malzemesi

Ön deneylerde her koşulda işlenmesi kolay bir malzeme olan AISI 1040 sade karbonlu çelik, iyi bir tokluğa sahip olan ve yaygın kullanılan bir çelik türü olan AISI 4140 ıslah çeliği, yüksek miktarda krom ve nikel içeren ayrıca işlenmesi zor bir malzeme olan AISI 316L östenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. Ön deneylerde kullanılan iş malzemelerinin kimyasal bileşimleri Çizelge 5.1’ de verilmiştir. Ayrıca bu malzemelerin karakteristik özellikleri Çizelge 5.2’ de yer almaktadır.

Çizelge 5.1. Ön deneylerde kullanılan iş malzemelerinin kimyasal bileşimleri

	C	Fe	Mn	P	S	Si	Mo	Cr	Ni	Cu	Co	N
AISI 1040	0,4	98,8	0,75	0,02	0,03	-	-	-	-	-	-	-
AISI 4140	0,4	97,36	0,83	0,004	0,029	0,2	0,22	0,96	-	-	-	-
AISI 316L	0,021	68,35	1,78	0,04	0,022	0,28	2,06	16,62	10,12	0,44	0,2	0,069

Çizelge 5.2. Ön deneylerde kullanılan iş malzemelerinin karakteristik özellikleri

Mekanik Özellikleri	AISI 1040	AISI 4140	AISI 316L
Sertlik	84HRB	223 HRB	87 HRB
Akma Dayanımı	485 MPa	750 MPa	363 MPa
Maks. Çekme Dayanımı	550 MPa	1000 MPa	643 MPa
Kopma Uzunluğu	10%	11%	47%
Kesit Daralması	30%	45%	75%
Elastikiyet Modülü	200 GPa	205 GPa	200 GPa
Elektriksel Özellikleri			
Elektriksel Özdirenç (20 °C)	1,71 x 10 ⁻⁷ ohm-m	2,20x10 ⁻⁷ ohm-m	7,40x10 ⁻⁷ ohm-m
Termal Özellikleri			
Isıl Genleşme Katsayısı (20 °C)	11,30 µm/m-°C	12,20 µm/m-°C	16 µm/m-°C
Termal İletkenlik	51,9 W/m-K	42,60 W/m-K	15 W/m-K

Esas kesme deneylerinde iyi tokluğa sahip ve sertleştirilebilme kabiliyeti yüksek bir malzeme olan AISI 4340 çeliği kullanılmıştır. Bu malzeme aynı zamanda ön deneylerde kullanılan AISI 4140 çeliğinden farklı olarak yapısında nikel içermektedir. Esas kesme deneylerinde sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği referans malzeme olarak, 49 HRC sertliğinde sertleştirilmiş AISI 4340 çeliği ise işlenmesi zor malzeme olarak kullanılmıştır. 49 HRC sertliğindeki iş malzemesini kullanmak TIG tekniği kullanılan IDİ yönteminin işlenmesi zor malzemeler üzerindeki etkilerinin araştırılmasını sağlamıştır. Deneylerde kullanılan AISI 4340 çeliğinin kimyasal bileşimine Çizelge 5.3’ de, karakteristik özelliklerine Çizelge 5.4’ de yer verilmiştir. Sertleştirme prosesine ait bilgiler Çizelge 5.5’ de yer almaktadır.

Çizelge 5.3. AISI 4340 çeliğinin kimyasal bileşimi

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)
0,41	0,21	0,66	0,011	0,005	0,72	0,21	1,70

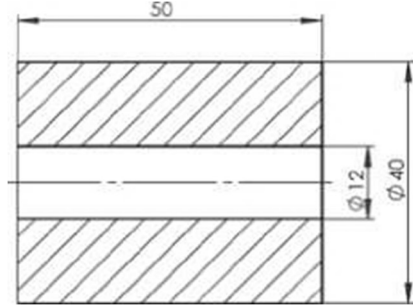
Çizelge 5.4. AISI 4340 çeliğinin karakteristik özellikleri

Mekanik Özellikleri	Sertleştirilmemiş	Sertleştirilmiş
Sertlik	18 HRC	49 HRC
Akma Dayanımı	470 MPa	1550 MPa
Maks. Çekme Dayanımı	745 MPa	1855 MPa
Kopma Uzaması	22%	12%
Kesit Daralması	50%	46%
Elastikiyet Modülü	192 GPa	212 GPa
Kayma (Bulk) Modülü	15 2 GPa	160 GPa
Kesme Modülü	74 GPa	81,5 GPa
Elektriksel Özellikleri		
Elektriksel Özdirenç (20 °C)	2,48x10 ⁻⁷ ohm-m	
Elektriksel özdirenç (100 °C)	2,98x10 ⁻⁷ ohm-m	
Elektriksel özdirenç (400 °C)	5,52x10 ⁻⁷ ohm-m	
Termal Özellikleri		
Isıl Genleşme Katsayısı (20 °C)	12,70 µm/m-°C	
Isıl Genleşme Katsayısı (250 °C)	13,70 µm/m-°C	
Isıl Genleşme Katsayısı (500 °C)	14,50 µm/m-°C	
Termal İletkenlik	44,50 W/m-K	

Çizelge 5.5. AISI 4340 çeliği ısıtım işlem prosesi

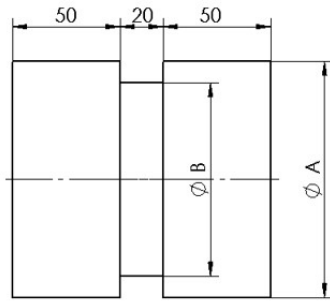
Su verme sıcaklığı ve süresi	Soğutma metodu ve sıcaklığı	Temperleme sıcaklığı ve süresi
850 °C (180 dak.)	Yağda (60 °C)	370 °C (180 dak.)

Ön deneylerde iş malzemeleri malafaya bağlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Ön deneylerde kullanılan numuneler Şekil 5.1’ de verilen ölçülerde hazırlanmıştır.



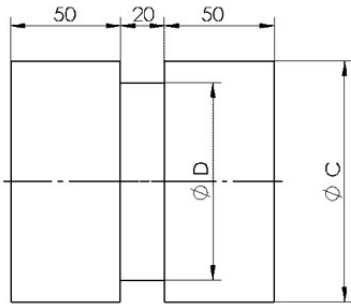
Şekil 5.1. Ön deneyler için hazırlanmış iş malzemesi boyutları

Esas kesme deneylerinde iş malzemesi doğrudan torna tezgahının aynasına bağlanmıştır. Deneyler universal torna tezgahında yapıldığı için kesme hızı (V) değerlerini belirlemek için iş malzemesi çapları değiştirilmiştir. Bu nedenle sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneyleri için 3, 49 HRC sertliğinde sertleştirilmiş AISI 4340 çeliği deneyleri için 3 olmak üzere 6 farklı çapta numune hazırlanmıştır. Esas kesme deneylerinde kullanılan iş malzemesi boyutları Şekil 5.2’ de verilmiştir.



(a)

Ø A	mm	90,5	100	110
Ø B	mm	70,5	80	90
Kesme hızı	m/dak	275	305	335
Devir sayısı	dev/dak	1000	1000	1000



(b)

Ø C	mm	104	115	126,5
Ø D	mm	84	95	106,5
Kesme hızı	m/dak	159	176	194
Devir sayısı	dev/dak	500	500	500

Şekil 5.2. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği numune boyutları (a), 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği numune boyutları (b)

5.2. Takım Tezgâhı

Deneyler maksimum devir sayısı 1000 dev/dak olan, 7 kW gücündeki bir üniversal torna tezgâhında yapılmıştır. Deneylerde kullanılan torna tezgâhı Resim 5.1’ de gösterilmektedir.



Resim 5.1. Deneylerin yapıldığı üniversal torna tezgâhı

5.3. Ön Isıtma Sistemi

Deneylerde ön ısıtma için enerji kaynağı olarak CEBORA marka 2030/M model alternatif ve doğru akımda çalışabilen, maksimum 200 Amper akım şiddetinde kullanılabilen invertör tip hava soğutmalı TIG kaynak makinesi kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan TIG kaynak makinesi Resim 5.2’ de gösterilmektedir.



Resim 5.2. Deneylerde kullanılan TIG kaynak makinesi

Ön deneylerde, yaygın şekilde kullanılan 2 mm çapında %2 toryum alaşımlı tungsten elektrotlar kullanılmıştır. Esas kesme deneylerinde ise TIG kaynak makinesini yüksek akım değerlerinde kullanabilmek için Resim 5.3’ de gösterilen yüksek akım taşıma kapasitesine sahip zirkonyum alaşımlı 4 mm çapında tungsten elektrotlar kullanılmıştır. Her işlemeden sonra tungsten elektrot Resim 5.4’ de verilen özel elektrot bileme makinesinde bilenmiştir.

Böylece aşınmış elektrotun ön ısıtma üzerindeki olumsuz etkileri önlenmiştir. Deneylerde koruyucu gaz olarak argon gazı kullanılmıştır. İlk aşamada yapılan ön deneylerde argon gazı 9-12-15 lt/dak olmak üzere 3 farklı debide kullanılmıştır. Bu deneyler sonucunda argon gazı debisinin belirgin bir etkisi görülemediği için esas kesme deneylerinde argon gazı debisi 15 lt/dak değerinde sabit kullanılmıştır.



Resim 5.3. Deneylerde kullanılan tungsten elektrotlar



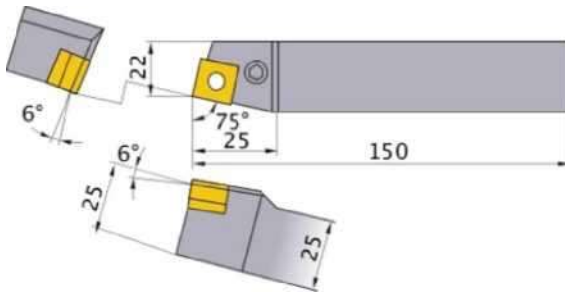
Resim 5.4. Tungsten elektrot bileme makinesi

5.4. Kesici Takım ve Takım Tutucu

Kesici takım olarak Sandvik firmasının SNMG 120408-QM 4225 ISO kodlu kaplamalı karbür kesici ucu kullanılmıştır. Kesici ucu bağlamak için 75° yanaşma açısına (K) sahip PSBNR2525M12 kodlu takım tutucu kullanılmıştır. Deneylerde her numune işlenirken kesici takımın yeni bir kenarı kullanılmıştır. Kesici uç bilgileri Çizelge 5.6' da verilmiştir. Deneylerde kullanılan takım tutucu Şekil 5.3' de gösterilmektedir.

Çizelge 5.6. Kesici takım bilgileri

ISO Kodu	SNMG 12 04 08-QM 4225	
ANSI Kodu	SNMG 432-QM 4225	
Kaplama	(CVD) TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN	
P	Kesme hızı (V)	275-395 m/dak
	İlerleme oranı (f)	0.2-0.5 mm/dev
	Kesme derinliği (d)	1-6 mm
K	Kesme hızı (V)	145-210 m/dak
	İlerleme oranı (f)	0.2-0.45 mm/dev
	Kesme derinliği (d)	1-6 mm



Şekil 5.3. Deneylerde kullanılan takım tutucu

5.5. Deney Düzenegi

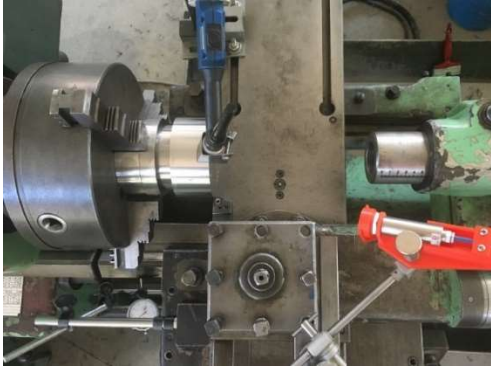
Ön deneylerde iş malzemesini bağlamak için özel bir malafa kullanılmıştır. Ayrıca TIG kaynak makinesi torcunu konumlandırmak için bir torç tutucu tasarlanmış ve imal edilmiştir. Ön deneylerin yapıldığı deney düzenegi Resim 5.5’ de gösterilmektedir.



Resim 5.5. Ön deneylerin yapıldığı deney düzenegi

Ön deneylerden sonra deney düzenegi optimize edilmiş ve esas kesme deneyleri için torç tutucu ve kızılötesi termometre tutucu aparatları yeniden geliştirilmiştir. Esas kesme

deneylerinde iş malzemesi doğrudan torna tezgahının aynasına bağlanmıştır. Kesme derinliğini (a_p) hassas bir şekilde belirleyebilmek için 0,01 mm hassasiyetinde bir komparatör saati tezgâh gövdesine uygun şekilde adapte edilerek kullanılmıştır. Esas kesme deneylerinin yapıldığı deney düzeneği Resim 5.6’ da gösterilmektedir. TIG kaynak makinesinin oluşturduğu yüksek sıcaklık ve diğer risklere karşı (yangın, elektrik çarpması) çalışma ortamında gerekli iş güvenliği tedbirleri alınmıştır.



Resim 5.6. Esas kesme deneylerinin yapıldığı deney düzeneği

5.6. Deney Tasarımı ve Uygulama Planı

Deneyler, ön deneyler ve esas kesme deneyleri olmak üzere iki grupta planlanmıştır. IDİ yönteminde kullanılan enerji kaynağı parametrelerinin kesme parametreleri ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. TIG tekniği çok fazla işlem parametresi içermektedir. Ön deneylerin birinci aşamasında en etkili TIG parametrelerini belirlemek ve kesme parametrelerinin iş malzemesi yüzeyindeki sıcaklığa etkilerini tespit etmek için Tarama yöntemine dayalı deneyler yapılmıştır [32]. Tarama yöntemine göre yapılan deneylerde yüzeydeki sıcaklık farkına en çok etki eden kesme ve TIG parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Ön deneylerin ikinci aşamasında Tarama deneylerinde en yüksek yüzey sıcaklıklarının elde edildiği deney şartları kullanılarak kesme deneyleri yapılmıştır. Ön deneylerin üçüncü aşamasında kesme hızı (V) ve ilerleme oranının (f) yüzey sıcaklığına etkilerini gözlemlemek için ön ısıtma deneyleri yapılmıştır. Ön deneylerin dördüncü aşamasında akım şiddetindeki (I) değişimin ısıtma derinliği üzerindeki etkilerini gözlemlemek için kesme deneyleri yapılmıştır.

Ön deneylerden sonra esas kesme deneyleri AISI 4340 çeliğinin sertleştirilmemiş ve 49 HRC sertliğinde sertleştirilmiş numuneleri kullanarak yüksek TKO ile gerçekleştirilmiştir.

Deney planı tam faktöriyel yaklaşımı ile hazırlanmıştır. Çevrim içi ölçümlerle kesme işleminde harcanan güç (P_c) ve talaş kaldırma sıcaklıkları (T_{mr}) ölçülmüştür. Çevrim dışı ölçümlerde iş parçası çapları, yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve talaş kalınlıkları (t_c) ölçülmüştür. Ölçülen verilerden P_c değerleri kullanılarak spesifik kesme enerjisi (E_{SK}), t_c değerleri kullanılarak yığılma faktörü (λ) hesaplanmıştır.

5.6.1.Ön deneyler

Birinci aşama ön deneyler

Ön deneylerde ilk olarak TIG ve kesme parametrelerinin (V , f) iş malzemesi yüzeyindeki sıcaklığa etkilerini belirlemek için ön ısıtma deneyleri yapılmıştır. Ön ısıtma deneylerinde talaş kaldırma işlemi yapılmamıştır. Bu deneylerde TIG tekniğinin ön ısıtma kabiliyetinin ve iş malzemesi yüzeyinde ulaşılacak sıcaklık değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. İş malzemesinin daha iyi ısınmasını sağlamak ve kızıl ötesi termometre ile daha sağlıklı sonuçlar almak için bekleme süresi (sn) kadar beklenerek ön ısıtma yapılmış, daha sonra torca ilerleme verilmiştir. Tarama yöntemiyle yapılan ön ısıtma deneylerinde iş malzemesi olarak AISI 4140 çeliği ve AISI 316L paslanmaz çelik kullanılmıştır. Çizelge 5.7’ de ön deneylere ait faktörler ve bunların seviyeleri gösterilmektedir. Çizelge 5.8’ de ise Tarama yöntemine göre tasarlanmış deney planı bulunmaktadır.

Çizelge 5.7. Tarama yöntemine göre tasarlanmış deneyler için deney faktörleri ve seviyeleri

Faktör	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Akım Şiddeti (I)	Amper	40	80	120
Elektrot Uç Açısı	°	15	30	45
Ark Mesafesi	mm	2	3	4
Gaz Debisi	lt/dak	9	12	15
Bekleme Süresi	sn	5	7,5	10
Kesme Hızı (V)	m/dak	32	63	89
İlerleme Oranı (f)	mm/dev	0,08	0,20	0,32

Çizelge 5.8. Tarama yöntemi deneylerine ait deney planı

Deney Nu:	Faktörler						
	Akım şiddeti-I (Amper)	Elektrot uç açısı (°)	Ark mesafesi (mm)	Gaz debisi (lt/dak)	Bekleme süresi (sn)	Kesme hızı-V (m/dak)	İlerleme oranı (mm/dev)
1	80	45	4	15	10	89	0,32
2	80	15	2	9	5	31	0,08
3	120	30	4	9	10	31	0,08
4	40	30	2	15	5	89	0,32
5	120	15	3	9	10	89	0,32
6	40	45	3	15	5	31	0,08
7	120	45	4	12	5	89	0,08
8	40	15	2	12	10	31	0,32
9	120	15	2	15	7,5	89	0,08
10	40	45	4	9	7,5	31	0,32
11	120	45	2	9	5	60	0,32
12	40	15	4	15	10	60	0,08
13	120	45	2	15	10	31	0,20
14	40	15	4	9	5	89	0,20
15	120	15	4	15	5	31	0,32
16	40	45	2	9	10	89	0,08
17	80	30	3	12	7,5	60	0,20

İkinci aşama ön deneyler

Ön deneylerin ikinci aşamasında Çizelge 5.8’de en yüksek yüzey sıcaklığının elde edildiği 3 numaralı deneye ait parametreler kullanılarak kesme deneyleri yapılmıştır. Kesme derinliği (a_p) 1 mm alınmış, iş malzemesi olarak AISI 1040 sade karbonlu çelik, AISI 4140 ıslah çeliği ve AISI 316L östenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. Ön deneylerin ikinci aşamasında yapılan kesme deneyleri vasıtasıyla TIG esaslı IDİ yönteminin yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve talaş oluşumu üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Üçüncü aşama ön deneyler

Ön deneylerin üçüncü aşamasında akım şiddeti (I) sabit tutularak kesme hızı (V) ve ilerleme oranındaki (f) değişimin yüzeydeki sıcaklık farkına etkilerini araştıran bir dizi ön ısıtma deneyi yapılmıştır. Üçüncü aşamada iş malzemesi olarak AISI 4140 çeliği tercih edilmiştir. Üçüncü aşama deneylerine ait işlem parametreleri Çizelge 5.9’ da gösterilmektedir.

Çizelge 5.9. Üçüncü aşama deneylerine ait işlem parametreleri

Parametreler	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4	Seviye 5
Kesme Hızı (V)	m/dak	20	27	39	55	78
İlerleme Oranı (f)	mm/dev	0,08	0,12	0,16	0,20	-
Akım Şiddeti (I)	Amper	120	-	-	-	-

Dördüncü aşama ön deneyler

IDİ yönteminde ısı girdisinin hassas bir şekilde ayarlanabilmesi gerekmektedir. Bu amaçla ön deneylerin dördüncü aşamasında iş malzemesi yüzeyindeki renk değişimi kontrol edilerek akım şiddetinin (I) ısıtma derinliğine etkileri araştırılmıştır. Deneylerde AISI 1040, AISI 4140 ve AISI 316L iş malzemeleri kullanılmıştır. Bu deneylerde ilk üç aşamada kullanılan kesme parametrelerine yakın değerler ($V=44$ m/dak, $f=0,16$ mm/dev, $a_p=1$ mm) alınmış olup, 80-100-120 Amper olmak üzere üç farklı akım şiddeti (I) kullanılmıştır.

5.6.2. Esas kesme deneyleri

Ön deneylerde yüksek sıcaklıklara düşük ilerleme oranı (f) ve yüksek akım şiddeti (I) değerlerinde ulaşıldığı belirlenmiştir. Kesme hızının (V) akım şiddeti (I) ve ilerleme oranına (f) kıyasla daha az etkili olduğu görülmüştür. Esas kesme deneylerinde yüksek TKO değerlerinde kesme işlemi yapılması hedeflenmiştir. Bu amaçla sertleştirilmemiş AISI 4340 çelik için kesici takım üreticisinin tavsiye ettiği kesme hızı (V) değerleri kullanılmıştır (Bkz. Çizelge 5.6). 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği için kesme hızı (V) değeri iş malzemesi sertliği dikkate alınarak kesici takım üreticisi tarafından tavsiye edilen oranda ayarlanmıştır. Ön deneylerde düşük ilerleme oranlarında (f) daha yüksek sıcaklıklara ulaşıldığı için esas kesme deneylerinde en yüksek ilerleme oranı 0,24 mm/dev alınmıştır, bu değer kesici takımın tavsiye edilen değerleri içerisinde yer almaktadır. 0,18 mm/dev değeri kesici takımın tavsiye edilen en alt (0,20 mm/dev) ilerleme oranı (f) değerine çok yakın bir değerdir. 0,11 mm/dev değeri ise düşük ilerleme oranı (f) olarak kabul edilebilir. Esas kesme deneylerinde kesme hızı (V) ve ilerleme oranındaki (f) artış ön ısıtma için harcanan enerjinin artmasını gerektirmiştir. Bunun için TIG kaynak makinesi maksimum kapasitesine karşılık gelen 200 Amper ve ona yakın değerlerde kullanılmıştır.

Sertleştirilmemiş iş malzemesi için kullanılan işlem parametreleri ve seviyeleri Çizelge 5.10’ da verilmiştir. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneyleri için kullanılan işlem parametreleri ve seviyeleri Çizelge 5.11’ de verilmiştir. 0 Amper işlemenin konvansiyonel şartlarda yapılacağını ifade etmektedir.

Çizelge 5.10. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerine ait işlem parametreleri

Parametreler	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Kesme Hızı (V)	m/dak	275	305	335	
İlerleme Oranı (f)	mm/dev	0,11	0,18	0,24	
Akım Şiddeti (I)	Amper	0	150	175	200

Çizelge 5.11. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerine ait işlem parametreleri

Parametreler	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Kesme Hızı (V)	m/dak	159	176	194	
İlerleme Oranı (f)	mm/dev	0,11	0,18	0,24	
Akım Şiddeti (I)	Amper	0	150	175	200

Yüksek kesme derinliği (a_p) değerleri kullanmanın özellikle 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği iş malzemesinin işlenmesinde çok yüksek kesme kuvvetlerine neden olacağı değerlendirilmiştir. Bu nedenle kesici takım uç radüsünden büyük olma şartını sağlayan sabit 1 mm kesme derinliği (a_p) alınmıştır. Bu değer kesici takımın tavsiye edilen değeri içinde yer almaktadır. Deney planları tam faktöriyel yaklaşımına göre hazırlanmıştır. Sertleştirilmemiş iş malzemesine ait deney planı Çizelge 5.12’ de, 49 HRC sertliğindeki iş malzemesine ait deney planı Çizelge 5.13’ de gösterilmektedir.

Çizelge 5.12. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deney planı

Deney Nu.	Kesme Hızı-V (m/dak)	İlerleme Oranı-f (mm/dev)	Akım Şiddeti-I (Amper)	Deney Nu.	Kesme Hızı-V (m/dak)	İlerleme Oranı-f (mm/dev)	Akım Şiddeti-I (Amper)
1	275	0,11	0	19	305	0,18	175
2	275	0,11	150	20	305	0,18	200
3	275	0,11	175	21	305	0,24	0
4	275	0,11	200	22	305	0,24	150
5	275	0,18	0	23	305	0,24	175
6	275	0,18	150	24	305	0,24	200
7	275	0,18	175	25	335	0,11	0
8	275	0,18	200	26	335	0,11	150
9	275	0,24	0	27	335	0,11	175
10	275	0,24	150	28	335	0,11	200
11	275	0,24	175	29	335	0,18	0
12	275	0,24	200	30	335	0,18	150
13	305	0,11	0	31	335	0,18	175
14	305	0,11	150	32	335	0,18	200
15	305	0,11	175	33	335	0,24	0
16	305	0,11	200	34	335	0,24	150
17	305	0,18	0	35	335	0,24	175
18	305	0,18	150	36	335	0,24	200

Çizelge 5.13. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deney planı

DeneyNu.	Kesme Hızı-V (m/dak)	İlerleme Oranı-f (mm/dev)	Akım Şiddeti-I (Amper)	Deney Nu.	Kesme Hızı-V (m/dak)	İlerleme Oranı-f (mm/dev)	Akım Şiddeti-I (Amper)
1	159	0,11	0	19	176	0,18	175
2	159	0,11	150	20	176	0,18	200
3	159	0,11	175	21	176	0,24	0
4	159	0,11	200	22	176	0,24	150
5	159	0,18	0	23	176	0,24	175
6	159	0,18	150	24	176	0,24	200
7	159	0,18	175	25	194	0,11	0
8	159	0,18	200	26	194	0,11	150
9	159	0,24	0	27	194	0,11	175
10	159	0,24	150	28	194	0,11	200
11	159	0,24	175	29	194	0,18	0
12	159	0,24	200	30	194	0,18	150
13	176	0,11	0	31	194	0,18	175
14	176	0,11	150	32	194	0,18	200
15	176	0,11	175	33	194	0,24	0
16	176	0,11	200	34	194	0,24	150
17	176	0,18	0	35	194	0,24	175
18	176	0,18	150	36	194	0,24	200

Ön deneylerde elde edilen veriler kullanılarak yapılan istatistiksel analizde katkı oranı (%) düşük çıkan parametreler esas kesme deneylerinde sabit olarak alınmıştır. Esas kesme deneylerinde kullanılan sabit parametreler Çizelge 5.14’ de verilmiştir.

Çizelge 5.14. Esas kesme deneylerinde kullanılan sabit parametreler

Parametreler	Değer
Elektrot Uç Açısı (°)	30
Ark Mesafesi (mm)	2
Gaz Debisi (lt/dak)	15
Bekleme Süresi (sn)	15

5.7. Ölçümler

Deneylerde çevrimiçi ölçümlerde torna tezgahının ve TIG kaynak makinesinin harcadığı güç ve talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr}) ölçülmüştür. Çevrimdışı ölçümlerde boyutsal ölçümler, yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ve talaş kalınlığı (t_c) ölçümleri yapılmıştır.

5.7.1. Güç ölçümleri

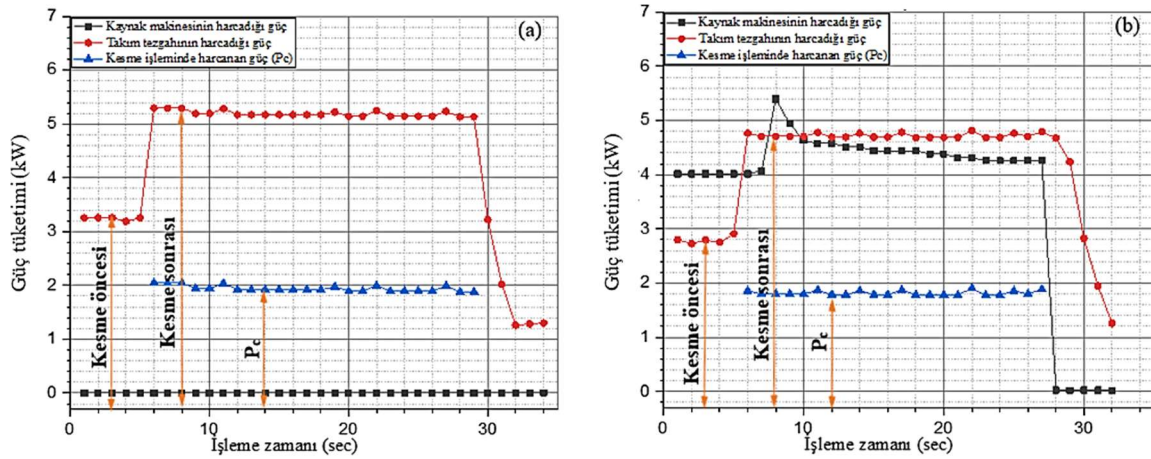
Esas kesme deneylerinde iş malzemesi üzerinde oluşan yüksek akım ve deney şartlarının oluşturduğu riskler nedeniyle dinamometre kullanılmamıştır. Torna tezgahının ve TIG kaynak makinesinin harcadığı gücü belirlemek için Siemens firmasının PAC2200 model dijital ekranlı üç fazlı enerji ölçerleri kullanılmıştır. Enerji ölçere ait yazılımla saniyede bir güç verisi alınmış ve ölçülen güç verileri Excel formatında Ethernet bağlantısı ile bilgisayara kaydedilmiştir. Enerji ölçerler üç fazlı olarak seçilmiştir. Torna tezgâhı üç faz ve 380 V gerilimle, TIG kaynak makinesi çift faz ve 220 V gerilimle çalışmaktadır. Bu nedenle enerji ölçer bağlantıları bahsedilen durumlar dikkate alınarak yapılmıştır. İş güvenliğini sağlamak için enerji ölçerlere Resim 5.7' de görüldüğü gibi özel bir pano yaptırılmıştır. Torna tezgâhının ve TIG kaynak makinesinin enerji kabloları bu panoya bağlanmış ve buradan alınan çıkışlarla torna tezgahına ve TIG kaynak makinesine enerji verilmiştir.

Torna tezgahında ölçülen güç tezgâhın harcadığı toplam gücü ifade etmektedir. Torna tezgâhının harcadığı gücün bir kısmı ayna devri ve otomatik ilerleme gibi mekanik hareketler için harcanmaktadır. Kesici takım talaş kaldırmaya başladığında bu güçten başka ilave bir güce ihtiyaç vardır. Kesme işleminde harcanan güç (P_c), kesmeye başladıktan sonra ölçülen güç değeri ile kesmeye başlamadan önceki güç değeri arasındaki farktan bulunmaktadır. Torna tezgâhının, TIG kaynak makinesinin ve kesme işleminde harcanan güç (P_c) tüketimlerini gösteren grafikler Şekil 5.4 (a) ve Şekil 5.4 (b)' de verilmiştir. P_c değerinin hesaplanmasına bir örnek verilecek olursa, kesme öncesi enerji ölçerde okunan

güç tüketimi 3,25 kW' dır, kesici takım kesmeye başladıktan sonra güç tüketimi 5,17 kW' a çıkmaktadır, iki değerin farkı alınacak olursa P_c değeri 1,92 kW olarak gerçekleşmektedir. P_c değeri güç grafiğinde verinin stabil olduğu 5 saniyelik zaman dilimindeki güç verisinin aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiştir TIG kaynak makinesinin harcadığı gücün tamamı ısıtma akımını oluşturmak için kullanılmıştır. TIG kaynak makinesinin kaynak arkı oluşturmadan önce harcadığı sabit enerji miktarı çok düşük olduğu için dikkate alınmamıştır.



Resim 5.7. Deneylerde kullanılan enerji ölçer sistemi görünümü



Şekil 5.4. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği için güç ölçümleri ($V=275\text{m/dak}$, $f=0,11\text{ mm/dev}$) konvansiyonel işleme (a), IDİ (b)

5.7.2. Sıcaklık ölçümü

Ön deneylerde yüzey sıcaklıkları Resim 5.8' de gösterilen KIMO KIRAY 300 kızılötesi termometre ile ölçülmüştür.



Resim 5.8. Ön deneylerde sıcaklık ölçümü için kullanılan kızılötesi termometre

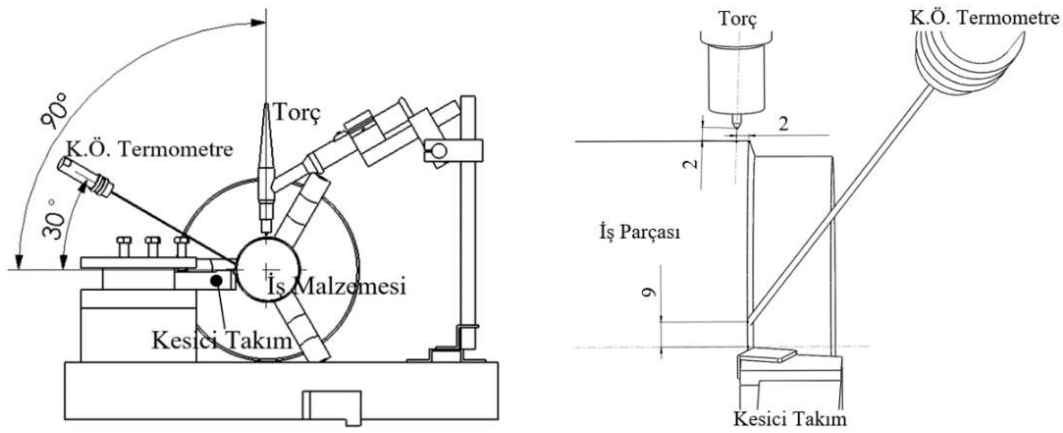
Esas kesme deneylerinde sıcaklık ölçümü için Raytek Firmasının Resim 5.9’ da verilen MI3 kızılötesi termometresi kullanılmıştır. Kızılötesi termometrenin odak mesafesi 200 mm olup bu odak mesafesinden 2 mm spot çapı içinde kalan kısmın sıcaklığı ölçülmüştür. Kızılötesi termometrenin ölçüm aralığı 250 °C-1400 °C arasındadır.



Resim 5.9. Esas kesme deneylerinde sıcaklık ölçümü için kullanılan kızılötesi termometre

Kızıl ötesi termometrenin parametrik ayarlarında üretici firmanın önerdiği emisivite değeri kullanılmıştır. Emisivite malzeme yüzeyinin radyasyon ile enerji yayma özelliğidir. Emisivite ayrıca belirli bir materyalin yaydığı enerjinin, aynı sıcaklıktaki bir siyah cisim tarafından yayılan enerjiye oranı olarak da ifade edilmektedir. Malzemelerin Emisivite değerleri 1’ den küçük olarak değerlendirilmektedir. Sıcaklık ölçümlerinde emisivite, oksitlenmiş çelik için tavsiye edilen 0,75 değeri olarak belirlenmiştir [90], Kızılötesi termometreye ait orijinal yazılım sayesinde saniyede 10 sıcaklık verisi alınarak bilgisayara kaydedilmiştir. T_{mr} değerinin belirlenmesinde, P_c verilerinin belirlenmesinde izlenen yol izlenmiştir. P_c değerinin belirlendiği zaman diliminde ölçülen sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalaması o deneyde ölçülen T_{mr} olarak belirlenmiştir.

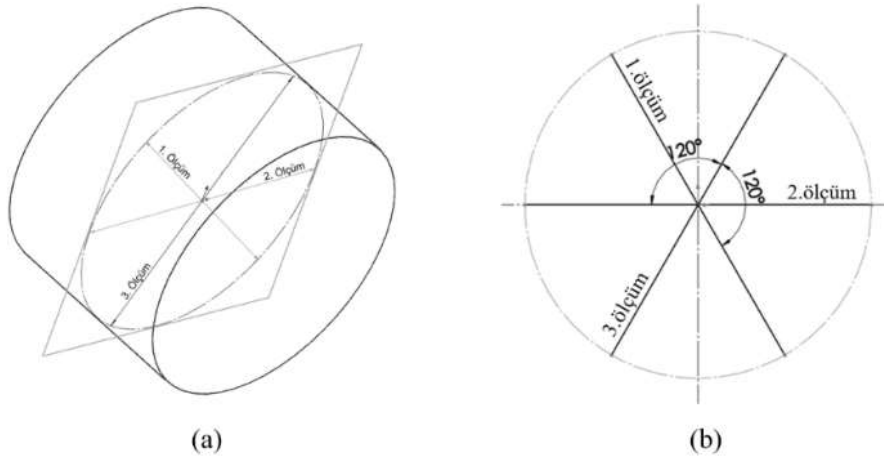
Kesme anında çıkan talaşın termometrenin önüne gelerek sıcaklık ölçümünde hatalara neden olmasını önlemek için doğrudan kesme bölgesi sıcaklığı ölçülmemiştir. Şekil 5.5’ de gösterildiği gibi kesme bölgesinin üstünde, buradan yaklaşık 9 mm uzakta bir noktadan sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Ölçülen sıcaklık kesme anındaki iş malzemesi sıcaklığı ya da T_{mr} olarak ifade edilmektedir. Torç ve takım arasındaki açı 90° olarak ayarlanmıştır. Kesici takım ile termometre arasındaki açı 30° olarak belirlenmiştir. Esas kesme deneylerinde TIG torcu, kesici takım ve kızılötesi termometrenin birbirine göre konumu Şekil 5.5’ de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.5. TIG yardımcı IDİ sisteminin şematik görünümü

5.7.3. Boyutsal ölçümler

Boyutsal ölçümlerin amacı kesme işleminden sonra çap ölçüsünde görülen sapmalara ön ısıtmanın etkisini araştırmaktır. İş malzemesi torna aynasına bağlandıktan sonra üzerinden temizlik talaşı alınarak parça salgısız hale getirilmiştir. Bu işlem deney için kullanılan kesici takımdan başka bir kesici takım kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra deneye ait kesici takım konumlandırılarak deney numunesi çapında sıfırlanmıştır. Kesme derinliği ($a_p=1$ mm) komparatör saati yardımıyla hassas bir şekilde verilmiştir. Kesme işlemi gerçekleştirilmiş ve kesme işleminden hemen sonra çap değeri Şekil 5.6’ da gösterildiği gibi parça üzerindeki üç noktadan ölçülmüştür. Aynı ölçümler kesmeden bir gün sonra tekrar edilmiştir. Bir gün arayla yapılan ölçümlerin her ikisi de Şekil 5.6’ da gösterildiği gibi iş malzemesi üzerinde belirlenmiş üç noktadan eşit aralıklarla yapılmış ve güvenilirliği artırmak için üç kez tekrar edilmiştir. Çap ölçümleri için 0,01 mm hassasiyetindeki dış çap mikrometreleri kullanılmıştır.



Şekil 5.6. Boyutsal ölçümlerin yapılışı, ölçüm düzlemi (a), ölçüm aralıkları (b)

Eş. 5.1 çap ölçüsündeki sapma (ÇÖS) değerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır. ÇÖS Şekil 5.6’ da gösterilen üç ölçüm içerisindeki en büyük ölçüden (EBÖ) en küçük ölçünün (EKÖ) çıkarılmasıyla hesaplanmıştır. Kesmeden hemen sonra yapılan ölçümlerde elde edilen değerler kullanılarak kesmeden hemen sonraki ÇÖS değeri, kesmeden bir gün sonra yapılan ölçümlerde elde edilen değerler kullanılarak kesmeden bir gün sonraki ÇÖS değeri bulunmuştur. Kesmeden bir gün sonra yapılan ölçümlerde ısıнын etkisiyle boyutsal ölçülerde GBD meydana geldiği tespit edilmiştir. GBD kesmeden hemen sonra yapılan ölçümlerin aritmetik ortalamasından kesmeden 1 gün sonra yapılan ölçümlerin aritmetik ortalamasının çıkarılması ile hesaplanmıştır. GBD Eş. 5.2 kullanılarak belirlenmektedir.

$$EBÖ - EKÖ = \text{ÇÖS} (\mu\text{m}) \quad (5.1)$$

$$\frac{(1. \text{ölçüm} + 2. \text{ölçüm} + 3. \text{ölçüm})}{3} - \frac{(1. \text{ölçüm} + 2. \text{ölçüm} + 3. \text{ölçüm})}{3} = \text{GBD} (\mu\text{m}) \quad (5.2)$$

5.7.4. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri Mitutoyo firmasının SJ-210 model yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazında yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri kullanılmıştır. Ölçümler iş parçasının işlenmiş yüzeyinden rastgele seçilmiş altı farklı noktadan yapılmış ve bunların aritmetik ortalaması alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının ölçüm koşulları Çizelge 5.15’ de gösterilmektedir.

Çizelge 5.15. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ölçüm koşulları

Pürüzlülük standardı	Profil	Parametre	Filtre	Travers hızı	Ölçüm uzunluğu	Kesim uzunluğu (L _s)	Kesim uzunluğu (L _c)	Numune uzunluk sayısı (N)
ISO 1997	R	Ra, Rq, Rz	GAUSS	0,5 mm/sn	5,6 mm	2,5 µm	0,8 mm	6

5.7.5. Kesilmiş talaş kalınlığı ölçümleri

Kesme deneylerinden sonra her numuneye ait talaş örnekleri torna tezgâhı üzerinden toplanmıştır. Talaş kalınlığı (t_c), talaş örnekleri içinden alınmış 20 farklı talaşın 0,01mm hassasiyetindeki dijital kumpasla ölçülmesi ve aritmetik ortalamasının alınmasıyla elde edilmiştir.

5.8. Hesaplanan Veriler

5.8.1. Yığılma faktörünün hesaplanması

Yığılma faktörü (λ) kesilmiş talaş kalınlığının (t_c) kesilmemiş talaş kalınlığına (t_o) oranı olarak ifade edilmektedir. Bu oran $\lambda > 1$ olarak gerçekleşmektedir. t_o değeri belirlenirken kesici takımın yaklaşma açısı (κ) dikkate alınmalıdır. Çalışmamızda kullanılan κ açısı 75° dir. t_o değeri Eş. 5.3 ile hesaplanmaktadır. t_c ölçüldükten ve t_o hesaplandıktan sonra λ Eş. 5.4 ile hesaplanmıştır.

$$t_o = f \times \text{Sink} \quad (5.3)$$

$$\lambda = \frac{t_c}{t_o} \quad (5.4)$$

5.8.2. Spesifik kesme enerjisinin belirlenmesi

Spesifik kesme enerjisi (E_{SK}) kesme yoluyla kaldırılan birim hacimdeki (cm^3) malzeme miktarına düşen enerji (kJ) miktarıdır [91], E_{SK} Eş. 5.5 kullanılarak belirlenmiştir. Burada P_c kesme işleminde harcanan gücü (kW), TKO ise talaş kaldırma oranını ifade etmektedir. TKO (cm^3/dak) kesme parametrelerinin (V , f , a_p) çarpımından elde edilmektedir. E_{SK} sayesinde TKO değerindeki artışa bağlı olarak enerji tüketimindeki değişimin değerlendirilmesi sağlanmıştır.

$$E_{SK} = \frac{P_c}{TKO} \quad (\text{kJ}/\text{cm}^3) \quad (5.5)$$

5.9. İstatistiksel Analiz

Bu çalışmada işlem parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etki düzeylerini belirlemek ve sonuçlar arasındaki etkileşimi tespit etmek için Varyans analizi (ANOVA) tablolarından ve etki grafiklerinden yararlanılmıştır. ANOVA, deney sonuçları üzerindeki en etkili işlem parametresinin belirlenmesinde kullanılan istatistiksel bir yaklaşımdır. ANOVA tablolarında verilen hata oranının düşüklüğü elde edilen bulguların doğruluğunun bir göstergesidir. İşlem parametreleri seviyelerinin sonuçlar üzerindeki etkilerini görmek için ayrıca etki grafikleri kullanılmaktadır. Verilerin istatistiksel analizi Minitab 18 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Elde edilen sonuçlar ön deneyler ve esas kesme deneyleri olmak üzere iki ayrı başlık altında değerlendirilmiştir. Ön deneylerin her aşamasında elde edilen bulgulara burada yer verilmiş ve ön deneylerden yapılan çıkarımlar değerlendirilmiştir. Ön deneylerde elde edilen sonuçlar esas kesme deneylerinin planlanmasında kullanılmıştır. Esas kesme deneylerinde daha önce de bahsedildiği gibi çevrimiçi ölçümler, çevrim dışı ölçümler ve hesaplama yoluyla elde edilen veriler değerlendirilmiş ve işlem parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkileri açıklanmıştır. TIG esaslı IDİ yönteminin konvansiyonel işlemeye göre sağladığı üstünlüklere dikkat çekilmiş ve olumsuzluklar belirtilmiştir. Bölüm sonunda TIG esaslı IDİ yönteminde tespit edilen uygunsuzluklara yer verilmiştir. İşlem parametrelerinin elde edilen veriler üzerine etkisini istatistiksel açıdan analiz etmek için ANOVA tablolarından ve etki grafiklerinden yararlanılmıştır.

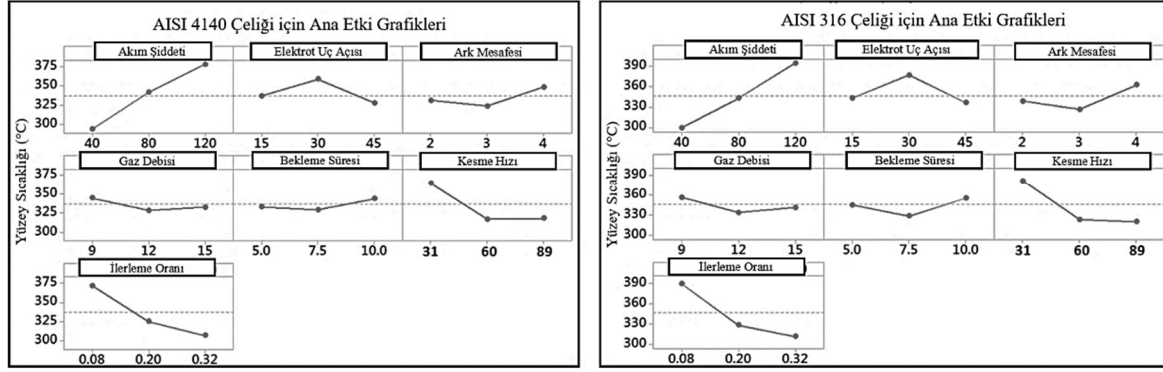
6.1. Ön Deney Sonuçları

Ön deneylerin birinci aşaması olan Tarama yöntemi deneylerinde TIG tekniğine ait akım şiddeti (I), elektrot uç açısı, ark mesafesi, koruyucu gaz debisi parametreleri ile kesme hızı (V), ilerleme oranı (f) ve bekleme süresi arasında iş malzemesi yüzey sıcaklığına en çok etki eden parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çizelge 6.1' de Tarama yöntemine göre yapılan ön ısıtma deneylerinde iş malzemesi yüzeyinden ölçülen sıcaklıklar yer almaktadır. 3 numaralı deneyde her iki malzeme türünde de en yüksek sıcaklığın elde edildiği görülmektedir. 3 numaralı deneye ait parametreler incelendiğinde en yüksek sıcaklığın maksimum akım şiddeti (I), minimum kesme hızı (V) ve ilerleme oranı (f) şartlarında elde edildiği görülmektedir. Kesme parametreleri düştükçe işleme süresi uzamakta bu durum ısı girdisini artırmaktadır. İşlem parametrelerinin yüzey sıcaklığı üzerindeki etkilerini belirleyebilmek için ANOVA tablolarından ve etki grafiklerinden yararlanılmıştır.

Çizelge 6.1. Tarama yöntemi deneylerinde iş malzemesi yüzeyinden ölçülen sıcaklıklar

Deney Nu:	Faktörler							Ölçülen sıcaklık(°C)	
	Akım şiddeti-I (Amper)	Elektrot uç açısı (°)	Ark mesafesi (mm)	Gaz debisi (lt/dak)	Bekleme süresi (sn)	Kesme hızı-V (m/dak)	İlerleme oranı (mm/dev)	AISI 4340	AISI 316L
1	80	45	4	15	10	89	0,32	305	300
2	80	15	2	9	5	31	0,08	406	419
3	120	30	4	9	10	31	0,08	501	557
4	40	30	2	15	5	89	0,32	262	264
5	120	15	3	9	10	89	0,32	329	324
6	40	45	3	15	5	31	0,08	328	345
7	120	45	4	12	5	89	0,08	385	402
8	40	15	2	12	10	31	0,32	287	290
9	120	15	2	15	7,5	89	0,08	381	383
10	40	45	4	9	7,5	31	0,32	294	293
11	120	45	2	9	5	60	0,32	317	331
12	40	15	4	15	10	60	0,08	320	331
13	120	45	2	15	10	31	0,2	380	394
14	40	15	4	9	5	89	0,2	281	280
15	120	15	4	15	5	31	0,32	354	374
16	40	45	2	9	10	89	0,08	285	290
17	80	30	3	12	7,5	60	0,2	314	310

Şekil 6.1.’ de verilen etki grafiklerinde hem AISI 4140 çeliğinin hem de AISI 316L paslanmaz çeliğinin yüzey sıcaklığına en çok etki eden işlem parametrelerinin sırasıyla akım şiddeti (I), ilerleme oranı (f) ve kesme hızı (V) olduğu görülmektedir. Çizelge 6.2’ deki ANOVA tablosunda AISI 4140 çeliği ve AISI 316L paslanmaz çeliği iş malzemelerinin yüzey sıcaklığına en çok etki eden işlem parametresinin akım şiddeti (I) olduğu görülmektedir. Akım şiddetinin (I) katkı oranı AISI 4140 çeliği için %44,23 ve AISI 316L paslanmaz çeliği için %39,20’ dir. AISI 316L paslanmaz çeliğinde akım şiddeti (I) katkı oranının (%) daha düşük çıkmasının AISI 4140 çeliğine göre daha düşük termal iletkenliğe sahip olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir (Bkz. Çizelge 5.2). Akım şiddeti (I), ilerleme oranı (f) ve kesme hızı (V) dışında kalan işlem parametrelerinin katkı oranlarının çok düşük olması nedeniyle bu parametreler esas kesme deneylerinde sabit alınmıştır (Bkz. Çizelge 5.14).

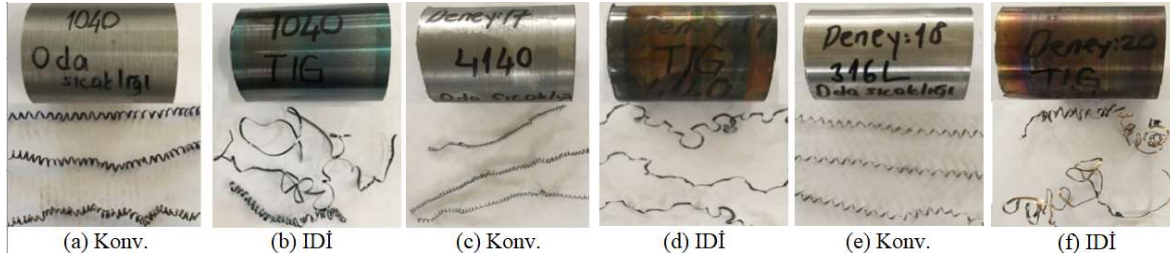


Şekil 6.1. Kesme ve TIG parametrelerinin yüzey sıcaklığına etkileri

Çizelge 6.2. İşlem parametrelerinin AISI 4140/ AISI 316L iş malzemesi yüzey sıcaklığına etkileri için ANOVA tablosu

Faktörler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	Katkı Oranı (%)
Lineer Model					
Akım Şiddeti	1/1	24813,7 / 32140,9	24813,7 / 32140,9	33,50 / 24,84	44,23% / 39,20%
Elektrot Uç Açısı	1/1	295,3 / 155,1	295,3 / 155,1	0,40 / 0,12	0,53% / 0,19%
Ark Mesafesi	1/1	1037,2 / 2011,2	1037,2 / 2011,2	1,40 / 1,55	1,85% / 2,45%
Gaz Debisi	1/1	502,8 / 780,0	502,8 / 780,0	0,68 / 0,60	0,90% / 0,95%
Bekleme Süresi	1/1	394,3 / 366,2	394,3 / 366,2	0,53 / 0,28	0,70% / 0,45%
Kesme Hızı	1/1	74336 / 13201,0	7433,6 / 13201,0	10,04 / 10,20	13,25% / 16,10%
İlerleme oranı	1/1	14963,5 / 21685,8	14963,5 / 21685,8	20,20 / 16,76	26,67% / 26,45%
Hata	9/9	6665,8 / 11646,7	740,6 / 1294,1		11,88% / 14,21%
Toplam	16/16				100,00% / 100,00%

Ön deneylerin ikinci aşamasında en yüksek yüzey sıcaklığının elde edildiği Tarama deneyi tekrar edilerek tarama deneylerinin sınaması yapılmıştır. Burada TIG esaslı IDİ yönteminin yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çizelge 6.1’ deki 3 numaralı deney şartları ($I=120$ Amper, $f=0,08$ mm/dev, $V=31$ m/dak) uygulanmış, kesme derinliği (a_p) 1 mm alınmıştır. Burada iş malzemesi olarak AISI 1040 sade karbonlu çelik, AISI 4140 ıslah çeliği ve AISI 316L östenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. Resim 6.1’ de iş malzemelerinin konvansiyonel şartlarda ve TIG esaslı IDİ yöntemi ile işlenmesinde elde edilen yüzey durumu ve talaş oluşumları gösterilmiştir. İş malzemesinin sıcaklığı arttıkça talaş sünek bir davranış göstermekte ve uzamaktadır. Numunelerin yüksek ısıdan dolayı yüzey renginin değiştiği ve oksit tabakasının oluştuğu gözlemlenmiştir.



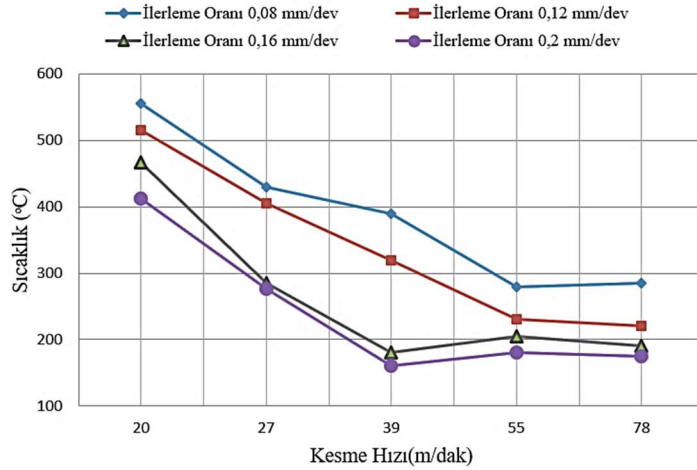
Resim 6.1. AISI 1040 malzemenin konvansiyonel (a) ve IDİ (b), AISI 4140 malzemenin konvansiyonel (c) ve IDİ (d), AISI 316L malzemenin konvansiyonel (e) ve IDİ (f) ile işlenmesinde meydana gelen talaş oluşumu ve iş malzemesi yüzeyleri

Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri (R_a) incelendiğinde, konvansiyonel işleme ve IDİ yöntemi ile işlemede elde edilmiş R_a değerleri Çizelge 6.3’ de gösterilmiştir. IDİ yönteminde R_a (μm) değerleri AISI 1040 iş malzemesinde %71, AISI 4140 iş malzemesinde %67 oranında iyileşirken, AISI 316L iş malzemesinin yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme yaklaşık %4 olarak gerçekleşmiştir. AISI 316L malzemenin termal iletkenliğinin diğer iş malzemelerinden daha düşük olması ve dolayısıyla ısı dağılımının yetersiz olması nedeniyle R_a değerindeki iyileşme oranı (%) daha düşük gerçekleşmiştir.

Çizelge 6.3. AISI 1040, AISI 4140 ve AISI 316L iş malzemelerin konvansiyonel ve IDİ yöntemi ile işlenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri

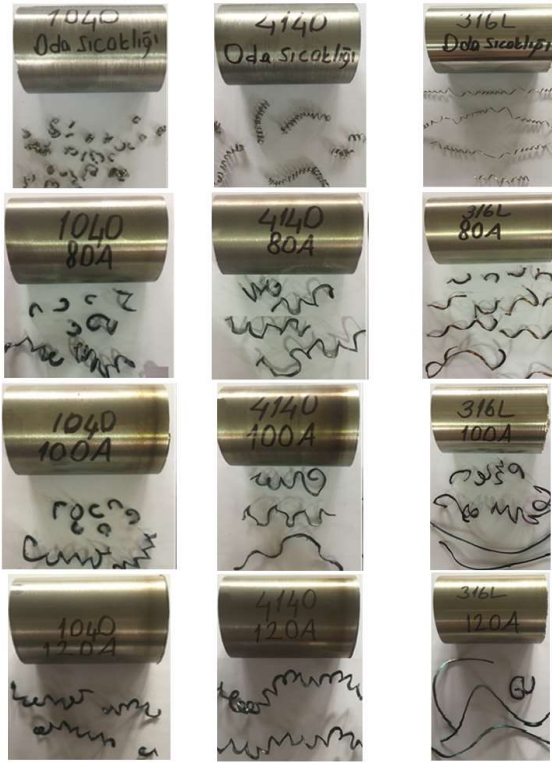
İş Malzemesi	Isı iletim katsayısı (W/mK)	İşleme Yöntemi	R_a (μm)
AISI 1040	51,9	Konvansiyonel	3,70
		IDİ	1,07
AISI 4140	42,6	Konvansiyonel	1,70
		IDİ	0,56
AISI 316L	15	Konvansiyonel	0,79
		IDİ	0,76

Ön deneylerin üçüncü aşamasında akım şiddeti (I) sabit tutularak kesme hızı (V) ve ilerleme oranındaki (f) değişimin yüzeydeki sıcaklık farkına etkilerini araştıran bir dizi ön ısıtma deneyi yapılmıştır. Bu deneylerde iş malzemesi olarak AISI 4140 çeliği kullanılmıştır. Şekil 6.2’ de ilerleme oranı (f) ve kesme hızı (V) arttıkça yüzey sıcaklığının azaldığı görülmektedir. Düşük ilerleme oranlarında (f) işleme süresi uzadığı ve ısı girdisi arttığı için daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşılmıştır. Bu sonuç Tarama yöntemi deneylerinde elde edilen sonuçlarla uyum göstermektedir.



Şekil 6.2. Kesme hızı (V) ve ilerleme oranındaki (f) artışın yüzey sıcaklığına etkisi

Ön deneylerin dördüncü aşamasında akım şiddetinin (I) iş malzemesi yüzeyindeki renk değişimine ve talaş oluşumuna etkileri incelenmiştir. Resim 6.1' de iş malzemesi yüzeyinde ısıtma derinliğinin kesme derinliğini (a_p) aşması sonucu renk değişimi meydana geldiği görülmüştür. Bu olumsuzluğun akım şiddetini (I) ayarlayarak giderilebileceği değerlendirilmiştir. Deneylerde tüm ön deney iş malzemeleri kullanılmıştır. Kesme parametreleri $V = 44$ m/dak, $f = 0,16$ mm/dev ve $a_p = 1$ mm' dir. Akım şiddeti (I) 80 Amper, 100 Amper ve 120 Amper olarak belirlenmiştir. Resim 6.2' de 80 Amper üzerindeki akım şiddeti (I) değerlerinde ısı girdisinin artmasıyla talaşın giderek düzleştiği ve sürekli talaş formuna geçtiği görülmektedir. Talaşın düz ve sürekli bir formda oluşması kontrolünü zorlaştırmaktadır. AISI 1040 ve AISI 4140 iş malzemelerinin 100 Amper ve 120 Amper ile yapılan işlemlerinde işlenmiş yüzeylerde renk değişimleri meydana gelmiştir. IDİ yönteminde işlenmiş yüzeyin ısıdan etkilenmesi arzu edilen bir durum değildir. Bu durum ısıtma derinliğinin kesme derinliğini (a_p) aştığını göstermektedir. İşlenmiş yüzeyde renk değişimi görülmediği için IDİ yönteminde en iyi sonucun AISI 316L iş malzemesinde alındığı görülmektedir. Her üç malzemenin talaş oluşumlarına bakıldığında 80 Amper değerinde yapılan IDİ en iyi sonucu vermiştir.



Resim 6.2. AISI 1040, AISI 4140 ve AISI 316L iş malzemelerinin konvansiyonel ve IDİ yöntemi ile işlenmesinde oluşan iş malzemesi yüzeyleri ve talaş oluşumları

Ön deneylerde elde edilen veriler ışığında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Tarama deneylerinde yüzey sıcaklığı üzerine en çok etki eden işlem parametrelerinin sırasıyla; akım şiddeti (I), ilerleme oranı (f) ve kesme hızı (V) olduğu belirlenmiştir.
- TIG esaslı IDİ yöntemi ile konvansiyonel işlemeye göre yüzey kalitesinde malzeme türüne bağlı olarak %71' e varan iyileşme sağlanmıştır.
- IDİ yönteminde talaş oluşumunun konvansiyonel işlemeye göre daha kolay gerçekleştiği görülmüştür. Ancak bazı deneylerde bu durumun talaşın kontrolünü zorlaştırdığı tespit edilmiştir.
- Isıtma derinliğinin kesme derinliğini (a_p) aşması durumunda iş malzemesinin işlenmiş yüzeyinin yüksek ısıdan dolayı renk değiştirdiği görülmüştür.
- Ön deneyler TIG tekniğinin IDİ için alternatif bir enerji kaynağı olduğunu göstermiştir. Buradan elde edilen verilerden çalışmaya esas kesme deneylerinde yararlanılmıştır.

6.2. Esas Kesme Deneyleri

Esas kesme deneylerinde çevrimiçi olarak kesme işleminde harcanan güç (P_c) ve talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr}) ölçülmüştür. Çevrimdışı ölçümlerde iş malzemesinin boyutsal

ölçümleri, yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ve talaş kalınlığı (t_c) ölçümleri yapılmıştır. Talaş oluşumlarını değerlendirmek için 60 kat büyütülerek çekilmiş talaş fotoğraflarından yararlanılmıştır. Kesme işleminde harcanan güç (P_c) verileri kullanılarak spesifik kesme enerjisi (E_{SK}), talaş kalınlığı (t_c) verileri kullanılarak yığılma faktörleri (λ) hesaplanmıştır. İşlem parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etki düzeylerini belirleyebilmek için ANOVA tablolarından ve etki grafiklerinden yararlanılmıştır. Ayrıca çalışmanın ekler bölümünde esas kesme deneylerinde kullanılan kesici uç ve tungsten elektrotların fotoğraflarına yer verilmiştir.

6.2.1. Güç tüketimi sonuçları

Sertleştirilmemiş iş malzemesi kullanılarak yapılan deneylerde ölçülen kesme işleminde harcanan güç (P_c) değerleri Çizelge 6.4' de, 49 HRC sertliğindeki iş malzemesi kullanılarak yapılan deneylerde ölçülen kesme işleminde harcanan güç (P_c) değerleri Çizelge 6.5' de verilmiştir. Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5' de kesme hızı (V) ve ilerleme oranındaki (f) artışın kesme işleminde harcanan gücü (P_c) artırdığı görülmektedir. Akım şiddeti (I) arttıkça ön ısıtmada sağlanan sıcaklık artışı kesme işleminde harcanan gücün (P_c) azalmasını sağlamaktadır. TIG esaslı IDİ yönteminin konvansiyonel işlemeye kıyasla sertleştirilmemiş iş malzemesi P_c değerlerinde maksimum %20,92 azalma, 49 HRC sertliğindeki iş malzemesi P_c değerlerinde maksimum %17,13 azalma sağladığı görülmektedir. IDİ yönteminde spesifik kesme enerjisi (E_{SK}) konvansiyonel işlemeye göre daha düşük gerçekleşmektedir.

Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5' de verilmiş olan kesme işleminde harcanan güç (P_c) verilerinin deney numarasına ve işlem parametrelerine göre değişimleri sertleştirilmemiş iş malzemesi için Şekil 6.3' de, 49 HRC sertliğindeki iş malzemesi için Şekil 6.4' deki verilmiştir. Kesme işleminin doğası gereği kesme hızı (V) ve ilerleme oranı (f) arttıkça kesme işleminde harcanan güç (P_c) değeri artmaktadır. Aynı kesme şartlarında en yüksek P_c değeri konvansiyonel işlemede (0 Amper) görülmektedir, TIG esaslı IDİ yöntemi sayesinde P_c değeri azalmaktadır. En düşük P_c değeri maksimum akım şiddeti (200 Amper) ve minimum ilerleme oranı (f) kullanıldığında gerçekleşmektedir. İlerleme oranı (f) arttıkça, konvansiyonel işleme ve IDİ yönteminde elde edilen P_c değerleri arasındaki farkın arttığı görülmektedir. Bu durum IDİ yönteminin yüksek TKO değerlerinde daha ekonomik bir yöntem olduğunu göstermektedir. İlerleme oranı (f) arttıkça spesifik kesme enerjisinin (E_{SK}) azalması IDİ yönteminde P_c değerinin daha fazla azalmasını sağlamıştır.

Çizelge 6.4. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerine ait P_c ve E_{SK} değerleri

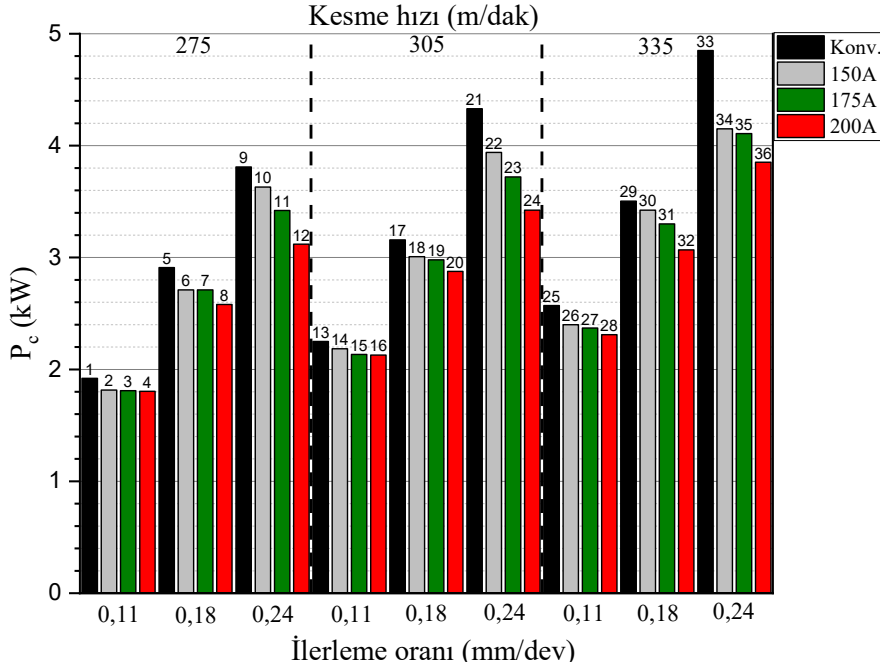
Deney Nu.	V (m/dak)	f (mm/dev)	TKO (cm ³ /dak)	I (Amper)	P_c (kW)	P_c % iyileşme	E_{SK} (kJ/cm ³)
1	275	0,11	30,25	0	1,92		3,81
2	275	0,11	30,25	150	1,82	5,42%	3,60
3	275	0,11	30,25	175	1,81	5,73%	3,59
4	275	0,11	30,25	200	1,80	6,04%	3,58
5	275	0,18	49,50	0	2,91		3,53
6	275	0,18	49,50	150	2,71	6,87%	3,28
7	275	0,18	49,50	175	2,71	6,87%	3,28
8	275	0,18	49,50	200	2,58	11,34%	3,13
9	275	0,24	66,00	0	3,81		3,46
10	275	0,24	66,00	150	3,63	4,72%	3,30
11	275	0,24	66,00	175	3,42	10,24%	3,11
12	275	0,24	66,00	200	3,12	18,11%	2,84
13	305	0,11	33,55	0	2,25		4,02
14	305	0,11	33,55	150	2,18	2,93%	3,91
15	305	0,11	33,55	175	2,13	5,16%	3,82
16	305	0,11	33,55	200	2,13	5,42%	3,81
17	305	0,18	54,90	0	3,16		3,45
18	305	0,18	54,90	150	3,01	4,75%	3,29
19	305	0,18	54,90	175	2,98	5,64%	3,26
20	305	0,18	54,90	200	2,88	8,93%	3,14
21	305	0,24	73,20	0	4,33		3,55
22	305	0,24	73,20	150	3,94	9,01%	3,23
23	305	0,24	73,20	175	3,72	14,09%	3,05
24	305	0,24	73,20	200	3,42	20,92%	2,81
25	335	0,11	36,85	0	2,57		4,18
26	335	0,11	36,85	150	2,40	6,61%	3,91
27	335	0,11	36,85	175	2,37	7,78%	3,86
28	335	0,11	36,85	200	2,31	10,12%	3,76
29	335	0,18	60,30	0	3,50		3,49
30	335	0,18	60,30	150	3,42	2,28%	3,41
31	335	0,18	60,30	175	3,30	5,82%	3,28
32	335	0,18	60,30	200	3,07	12,44%	3,05
33	335	0,24	80,40	0	4,85		3,62
34	335	0,24	80,40	150	4,15	14,43%	3,10
35	335	0,24	80,40	175	4,11	15,30%	3,07
36	335	0,24	80,40	200	3,85	20,58%	2,87

Bu çalışmanın Ekler Bölümünde her deneye ait güç grafiği verilmiştir. Bu grafiklerde üç farklı güç değeri gösterilmektedir. Bunlar torna tezgahının harcadığı güç, TIG kaynak makinesinin harcadığı güç ve kesme işleminde harcanan güçtür (P_c). Torna tezgahının harcadığı güç grafiği ile kesme işleminde harcanan güç (P_c) grafiği birbirine uyum göstermektedir. IDİ yönteminde talaş düzleştiği ve sürekli hale geldiği için kontrolü zorlaşmaktadır. Talaş sıkışması nedeniyle torna tezgahının harcadığı güç değerinde ve P_c değerinde dalgalanmalar görülebilmektedir. TIG kaynak makinesinin harcadığı güç değerlerindeki dalgalanmalara kısa devreler neden olmaktadır.

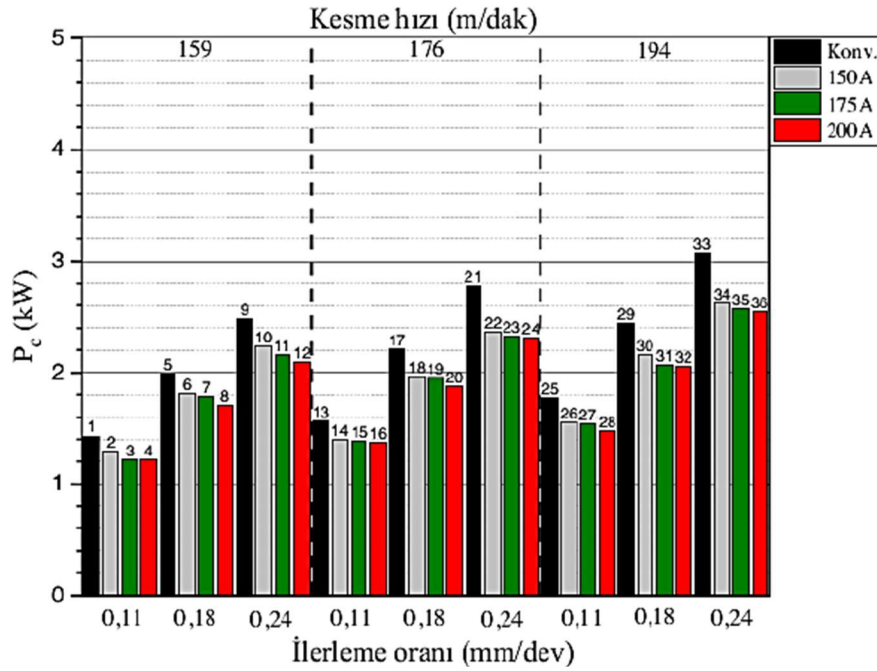
Çizelge 6.5. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerine ait P_c ve E_{SK} değerleri

Deney Nu.	V (m/dak)	f (mm/dev)	TKO (cm ³ /dak)	I (Amper)	P_c (kW)	P_c % iyileşme	E_{SK} (kJ/cm ³)
1	159	0,11	17,49	0	1,43		4,91
2	159	0,11	17,49	150	1,30	9,09%	4,46
3	159	0,11	17,49	175	1,22	14,69%	4,19
4	159	0,11	17,49	200	1,22	14,69%	4,19
5	159	0,18	28,62	0	1,99		4,17
6	159	0,18	28,62	150	1,80	9,35%	3,78
7	159	0,18	28,62	175	1,79	10,05%	3,75
8	159	0,18	28,62	200	1,71	14,07%	3,59
9	159	0,24	38,16	0	2,48		3,91
10	159	0,24	38,16	150	2,23	10,23%	3,51
11	159	0,24	38,16	175	2,15	13,29%	3,39
12	159	0,24	38,16	200	2,09	15,86%	3,29
13	176	0,11	19,40	0	1,57		4,86
14	176	0,11	19,40	150	1,40	11,08%	4,32
15	176	0,11	19,40	175	1,38	12,10%	4,27
16	176	0,11	19,40	200	1,37	12,61%	4,24
17	176	0,18	31,74	0	2,21		4,18
18	176	0,18	31,74	150	1,96	11,31%	3,71
19	176	0,18	31,74	175	1,95	11,76%	3,69
20	176	0,18	31,74	200	1,87	15,38%	3,53
21	176	0,24	42,32	0	2,77		3,93
22	176	0,24	42,32	150	2,36	14,87%	3,34
23	176	0,24	42,32	175	2,32	16,25%	3,29
24	176	0,24	42,32	200	2,31	16,61%	3,28
25	194	0,11	21,30	0	1,77		4,98
26	194	0,11	21,30	150	1,55	12,43%	4,37
27	194	0,11	21,30	175	1,54	12,99%	4,34
28	194	0,11	21,30	200	1,47	16,95%	4,14
29	194	0,18	34,86	0	2,44		4,19
30	194	0,18	34,86	150	2,16	11,33%	3,72
31	194	0,18	34,86	175	2,07	15,02%	3,56
32	194	0,18	34,86	200	2,06	15,44%	3,55
33	194	0,24	46,48	0	3,07		3,96
34	194	0,24	46,48	150	2,62	14,53%	3,39
35	194	0,24	46,48	175	2,57	16,42%	3,31
36	194	0,24	46,48	200	2,54	17,13%	3,28

49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin konvansiyonel yöntemle 0,11 mm/dev ilerleme oranında (f) işlenmesine ait Şekil 6.5 (a)'daki güç grafiğinde başlangıçta ani bir güç artışı görülmektedir. Güçteki bu artışın nedeni iş malzemesinin sertliği nedeniyle kesme başlangıcında plastik deformasyona karşı gösterilen dirençtir. IDİ yönteminde artan sıcaklıkla birlikte söz konusu direncin düşmesi kesme işlemini daha stabil hale getirmektedir. Kesme başlangıcında görülen ani artış düşük ilerleme oranında (f) pasif kuvvetin daha yüksek çıkması ile de açıklanabilir. IDİ yönteminde kesmeden az önce yapılan ön ısıtma sayesinde iş malzemesi sertliği azalmaktadır. Dolayısıyla Şekil 6.5 (b)'de IDİ yöntemine ait grafikte olduğu gibi başlangıçta ani bir güç artışı görülmemektedir.

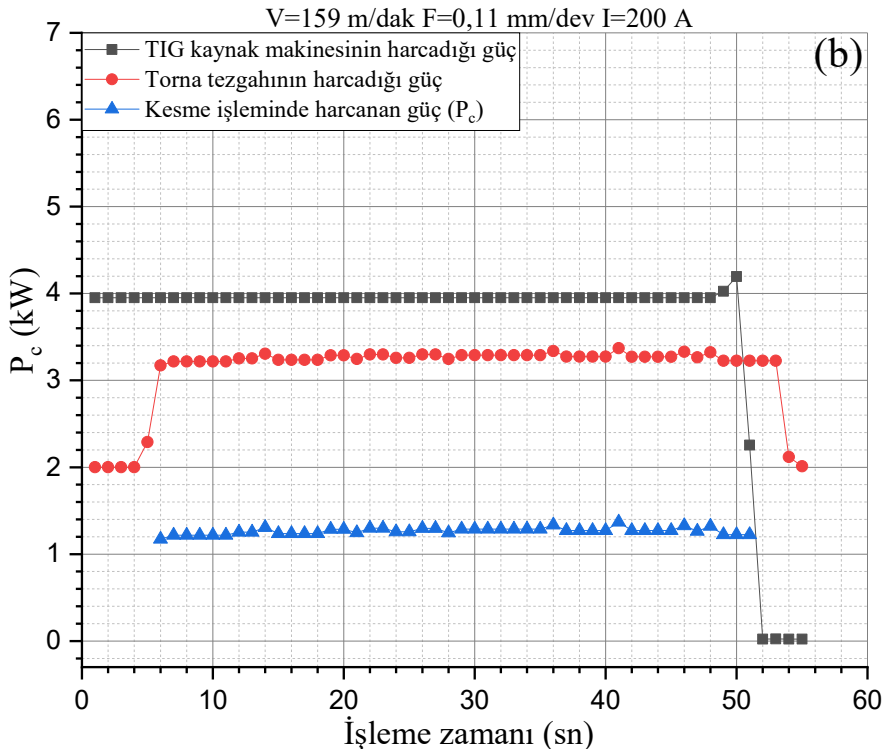
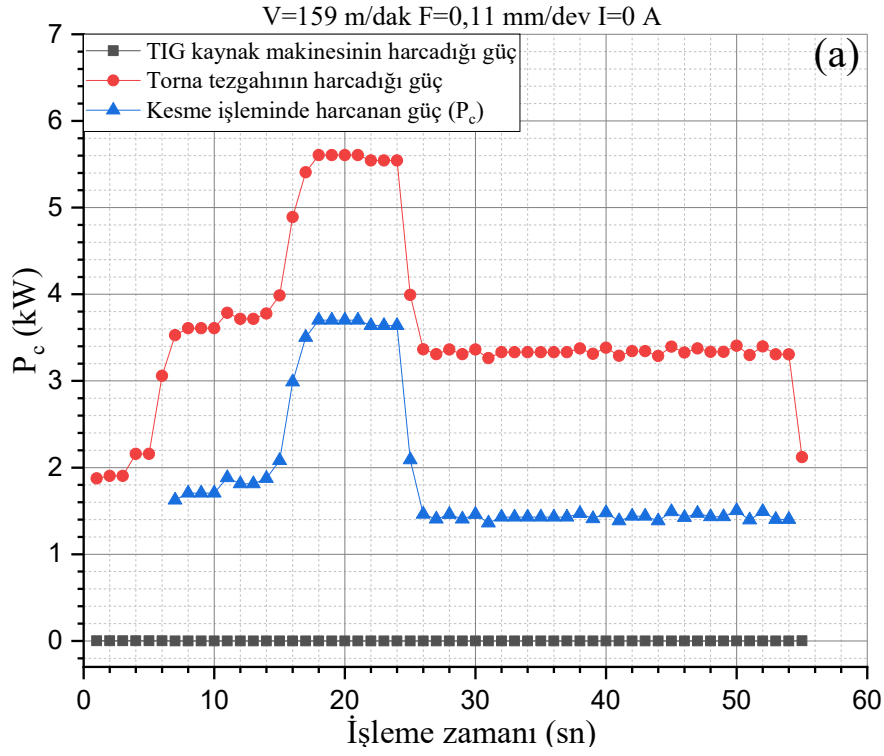


Şekil 6.3. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde P_c değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi



Şekil 6.4. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde P_c değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi

IDİ yönteminin, kesici takımın aşınma evrelerini (1-Başlangıç, 2-Düzenli, 3-Şiddetli) ifade eden, yanak aşınması periyodundaki [91] başlangıç aşınmalarını azaltacak yönde bir etki sağlayacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca Şekil 6.5 (b)' de verilen grafik IDİ yönteminde kesme işleminin daha stabil gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 6.5. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneyi güç ölçümleri (V=159 m/dak, f=0,11 mm/dev) konvansiyonel işleme (a), IDİ (b)

İşlem parametrelerinin P_c değeri üzerindeki etkilerini incelemek için Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7’ de ANOVA tabloları, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’ de etki grafikleri verilmiştir. ANOVA tablolarında P_c değeri üzerine en çok etki eden (%81,64-%80,01) işlem parametresinin ilerleme oranı (f) olduğu görülmektedir. Bu durum ilerleme oranındaki (f) artışın neden olduğu kesme kuvveti artışının bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinde daha düşük kesme hızları (V) kullanılması ön ısıtmanın etkinliğini artırmış daha fazla ısı girdisi sağlanmıştır. Bu nedenle akım şiddetinin (I) sertleştirilmemiş iş malzemesinde katkı oranı %4,55 olarak gerçekleşirken 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinde %8,20’ ye çıkmaktadır.

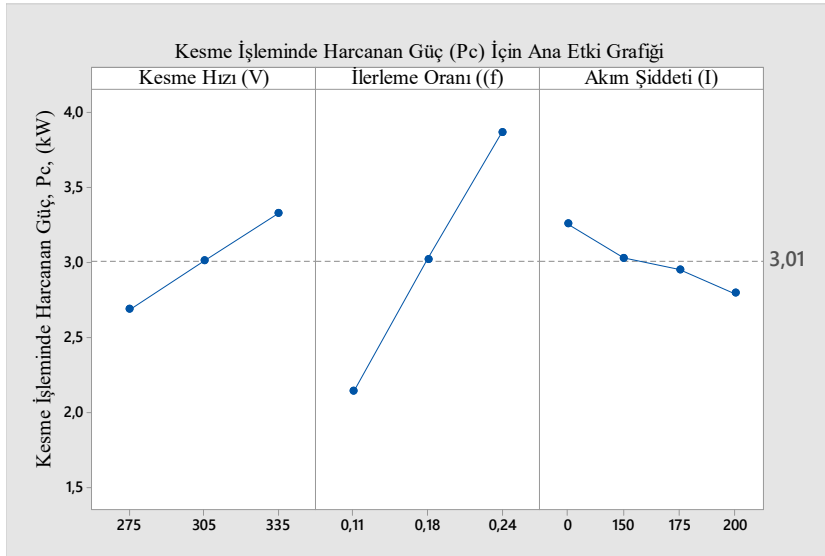
Çizelge 6.6. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde P_c (kW) için ANOVA sonuçları

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Katkı Oranı (%)
Kesme Hızı (V)	2	2,44	1,22	61,25	0,0000	11,24%
İlerleme Oranı (f)	2	17,78	8,89	444,8	0,0000	81,64%
Akım Şiddeti (I)	3	0,99	0,33	16,54	0,0000	4,55%
Hata	28	0,55	0,01			2,57%
Toplam	35	21,78				100,00%

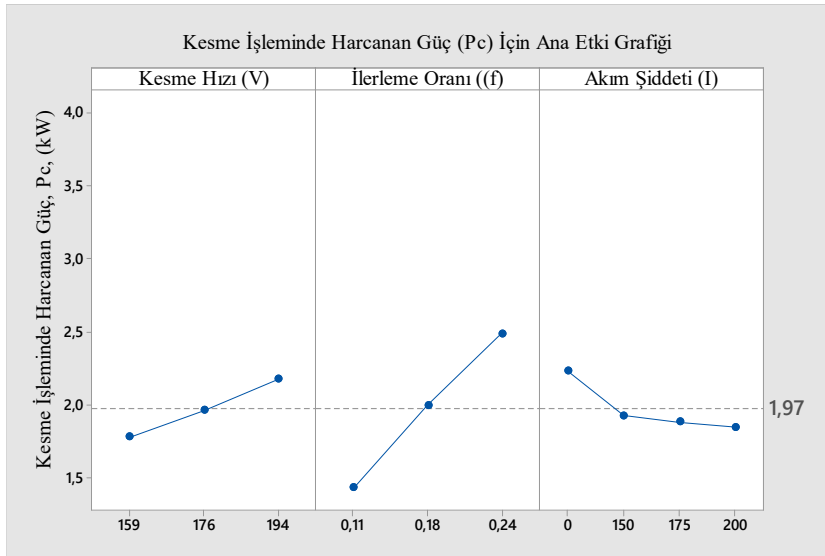
Çizelge 6.7. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde P_c (kW) için ANOVA sonuçları

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Katkı Oranı (%)
Kesme Hızı (V)	2	0,82	0,41	104,47	0,0000	10,40%
İlerleme Oranı (f)	2	6,32	3,16	803,99	0,0000	80,01%
Akım Şiddeti (I)	3	0,64	0,21	54,92	0,0000	8,20%
Hata	28	0,11	0,00			1,39%
Toplam	35	7,90				100,00%

Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’ de verilen etki grafiklerinde kesme hızı (V) ve ilerleme oranındaki (f) artışın P_c değerini artırdığı görülmektedir. Kesme hızı (V) ve ilerleme oranındaki (f) artışın fiziksel bir sonucu olarak P_c değeri de artmaktadır. Akım şiddetinin (I) katkısı incelendiğinde TIG esaslı IDİ yönteminin anlamlı ve önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Ön ısıtma sayesinde spesifik kesme enerjisi (E_{SK}) azalmakta böylece talaşın plastik deformasyonu kolaylaşmaktadır. Bu sayede IDİ yönteminde P_c değeri düşmektedir.



Şekil 6.6. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin P_c (kW) üzerine etkisi

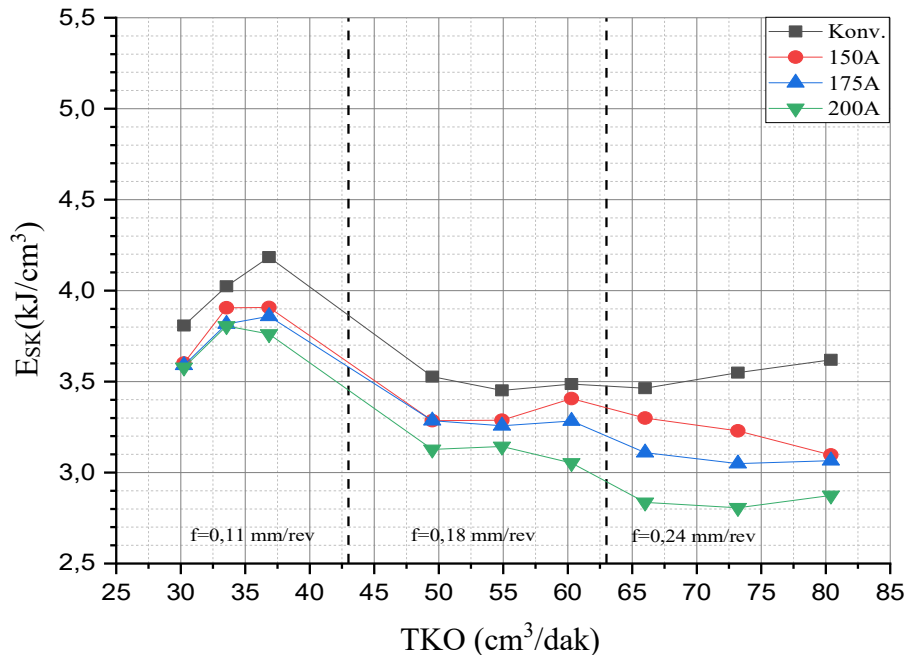


Şekil 6.7. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin P_c (kW) üzerine etkisi

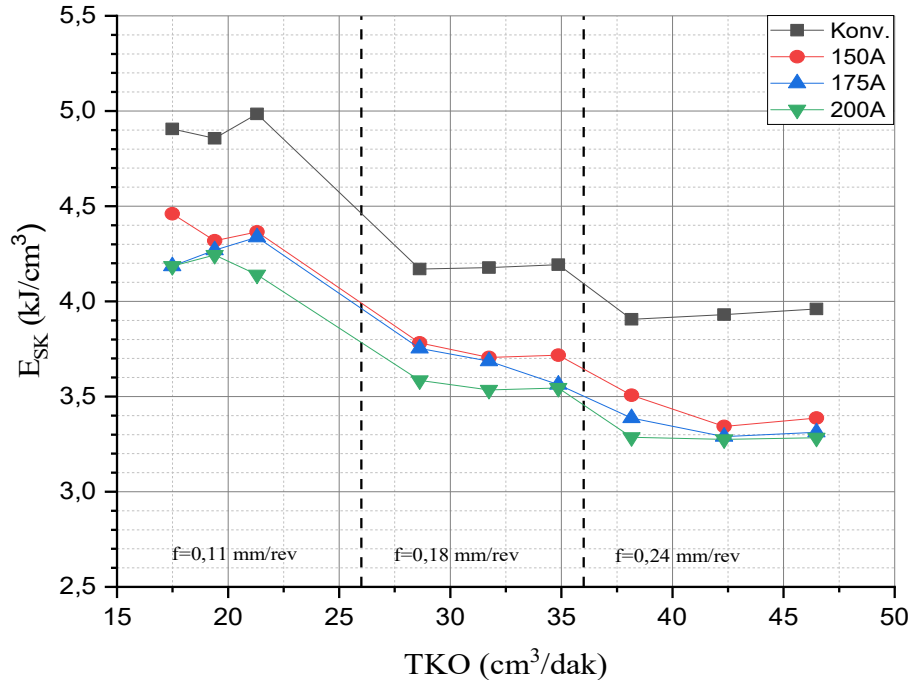
6.2.2. Spesifik kesme enerjisine ilişkin sonuçlar

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4 değerlendirildiğinde 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin daha düşük kesme işleminde harcanan güç (P_c) değerleri ile işlendiği görülmektedir. İş malzemesinin yüksek sertliğe sahip olması nedeniyle bunun tam tersi olması beklenmektedir. Bu duruma hiç şüphesiz 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin daha düşük kesme hızı (V) değerleri ile işlenmesinin önemli bir etkisi vardır. Enerji tüketimini daha iyi açıklamak ve TIG esaslı IDİ

yönteminin verimliliğini değerlendirmek için spesifik kesme enerjisi (E_{SK}) değerlendirilmiştir. Sertleştirilmemiş ve 49 HRC sertliğindeki iş malzemelerine ait E_{SK} değerlerinin TKO artışına bağlı değişimleri sırasıyla Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’ da verilmiştir. IDİ yönteminde sağlanan ilave ısı girdisi ile malzeme sertliğinde azalma meydana gelmektedir [11]. Bu nedenle IDİ yönteminde E_{SK} değeri konvansiyonel işlemeye göre daha düşük gerçekleşmektedir. Şekil 6.9’ da verilen grafikte 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin E_{SK} değerlerinin sertleştirilmemiş iş malzemesi E_{SK} değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu tespit 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinden birim hacimdeki talaşı kaldırmak için daha çok enerji harcadığını açıkça göstermektedir. Burada tespit edilen bir başka durum ise Şekil 6.8’ de verilen grafikte konvansiyonel yöneme ait eğrinin, Şekil 6.9’ da verilen grafikte yer alan IDİ yöntemi eğrilerine benzerliğidir. 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin IDİ yöntemiyle işlenmesinde elde edilen E_{SK} değerleri sertleştirilmemiş iş malzemesinin konvansiyonel yöntemle işlenmesinde elde edilen değerlere çok yakın çıkmıştır. Ön ısıtmanın etkisi ile 49 HRC sertliğindeki iş malzemesi sertleştirilmemiş iş malzemesi özelliği göstermektedir.



Şekil 6.8. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğine ait E_{SK} değerleri



Şekil 6.9. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğine ait E_{SK} değerleri

6.2.3. Talaş kaldırma sıcaklığı sonuçları

Bu çalışmanın Ekler Bölümünde çalışmaya esas kesme deneylerinde kesme işleminde harcanan güç (P_c) ve talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr}) arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklere yer verilmiştir. Bu grafiklerde akım şiddeti (I) arttıkça malzemeye ısı girdisinin arttığı buna bağlı olarak T_{mr} değerinin yükseldiği görülmektedir. T_{mr} değerinin artması iş malzemesi mukavemet değerlerinin düşmesine neden olmaktadır, ön ısıtma plastik deformasyonu kolaylaştırdığı için P_c değeri düşmektedir. Bu bölümde işlem parametrelerinin T_{mr} üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde ölçülen T_{mr} değerleri Çizelge 6.8' de verilmiştir. Konvansiyonel işlemede T_{mr} en düşük 253 °C ve en yüksek 388 °C olarak gerçekleşmiştir. IDİ yönteminde ise T_{mr} en düşük 360 °C ve en yüksek 475 °C' olarak gerçekleşmiştir. TIG esaslı IDİ yönteminde T_{mr} değerinin konvansiyonel işlemeye göre maksimum %71,70 arttığı görülmektedir. En yüksek sıcaklık artışının 0,18 mm/dev ilerleme oranında (f) yapılan deneylerde elde edildiği görülmektedir. İlerleme oranı (f) arttıkça açığa çıkan ısı talaşla birlikte atılmakta bu nedenle iş malzemesi yüzeyinden ölçülen T_{mr} değeri düşmektedir [57]. Konvansiyonel işlemede 0,18 mm/dev ilerleme oranında (f) T_{mr} değerinde ani bir azalma meydana geldiği için iki işleme yöntemi arasındaki en yüksek sıcaklık farkı bu ilerleme oranında (f) gerçekleşmiştir.

Çizelge 6.8. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde ölçülen T_{mr} değerleri

Deney Nu.	V (m/dak)	f (mm/dev)	I (Amper)	T_{mr} (°C)	T_{mr} artışı (%)
1	275	0,11	0	388	
2	275	0,11	150	463	19,26%
3	275	0,11	175	466	19,88%
4	275	0,11	200	475	22,35%
5	275	0,18	0	265	
6	275	0,18	150	453	70,79%
7	275	0,18	175	455	71,55%
8	275	0,18	200	455	71,70%
9	275	0,24	0	257	
10	275	0,24	150	394	53,23%
11	275	0,24	175	405	57,74%
12	275	0,24	200	410	59,61%
13	305	0,11	0	386	
14	305	0,11	150	447	15,80%
15	305	0,11	175	449	16,32%
16	305	0,11	200	472	22,33%
17	305	0,18	0	263	
18	305	0,18	150	441	67,27%
19	305	0,18	175	446	69,25%
20	305	0,18	200	446	69,32%
21	305	0,24	0	255	
22	305	0,24	150	387	51,72%
23	305	0,24	175	392	53,61%
24	305	0,24	200	405	58,70%
25	335	0,11	0	383	
26	335	0,11	150	435	13,68%
27	335	0,11	175	445	16,29%
28	335	0,11	200	469	22,45%
29	335	0,18	0	261	
30	335	0,18	150	428	63,89%
31	335	0,18	175	433	65,80%
32	335	0,18	200	444	69,70%
33	335	0,24	0	253	
34	335	0,24	150	360	42,37%
35	335	0,24	175	368	45,53%
36	335	0,24	200	401	58,50%

49 HRC sertliğindeki iş malzemesi ile yapılan deneylerde ölçülen T_{mr} değerleri Çizelge 6.9’ da verilmiştir. Konvansiyonel işlemede T_{mr} en düşük 394 °C ve en yüksek 458 °C ölçülmüştür. IDİ yönteminde ise T_{mr} en düşük 442 °C ve en yüksek 501 °C ölçülmüştür. TIG tekniği kullanılan IDİ yöntemi ile T_{mr} değerinde maksimum %20,41 artış elde edilmiştir. Bu artışın sertleştirilmemiş iş malzemesindeki artıştan (%71,70) daha az olduğu görülmektedir. 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin konvansiyonel yöntemle işlenmesi daha yüksek spesifik kesme enerjisi (E_{SK}) ile gerçekleşmiştir (Bkz. Şekil 6.9). E_{SK} değerinin yüksek olması talaş oluşumunun yani plastik deformasyonun zor olduğunu göstermektedir. Isıya dönüşen enerji miktarı daha yüksek olduğu için 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin konvansiyonel yöntemle işlenmesinde yüksek T_{mr} değerleri elde edilmiştir. Buna bağlı olarak konvansiyonel işleme ve IDİ yöntemi arasındaki sıcaklık farkı azalmıştır.

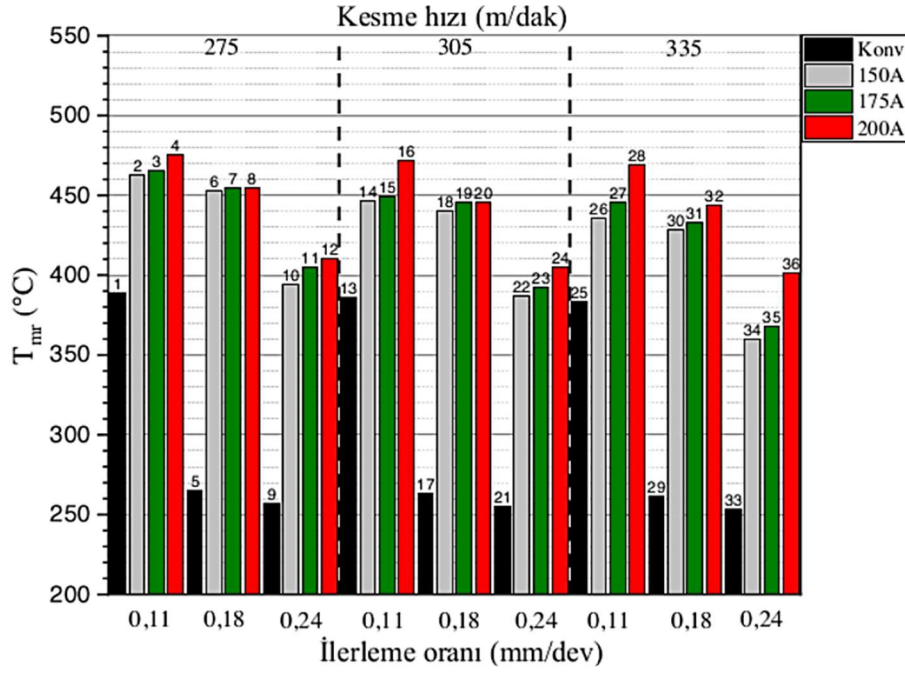
Çizelge 6.9. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde ölçülen T_{mr} değerleri

Deney Nu.	V (m/dak)	f (mm/dev)	I (Amper)	T_{mr} (°C)	T_{mr} artışı (%)
1	159	0,11	0	458	
2	159	0,11	150	492	7,42%
3	159	0,11	175	495	8,03%
4	159	0,11	200	501	9,25%
5	159	0,18	0	441	
6	159	0,18	150	476	8,03%
7	159	0,18	175	479	8,62%
8	159	0,18	200	493	11,70%
9	159	0,24	0	398	
10	159	0,24	150	453	13,83%
11	159	0,24	175	474	19,11%
12	159	0,24	200	479	20,41%
13	176	0,11	0	451	
14	176	0,11	150	486	7,77%
15	176	0,11	175	490	8,70%
16	176	0,11	200	500	11,01%
17	176	0,18	0	435	
18	176	0,18	150	469	7,82%
19	176	0,18	175	471	8,23%
20	176	0,18	200	488	12,09%
21	176	0,24	0	397	
22	176	0,24	150	452	13,92%
23	176	0,24	175	462	16,59%
24	176	0,24	200	475	19,72%
25	194	0,11	0	447	
26	194	0,11	150	484	8,23%
27	194	0,11	175	489	9,35%
28	194	0,11	200	497	11,19%
29	194	0,18	0	432	
30	194	0,18	150	467	8,24%
31	194	0,18	175	470	8,80%
32	194	0,18	200	486	12,46%
33	194	0,24	0	394	
34	194	0,24	150	442	12,13%
35	194	0,24	175	443	12,38%
36	194	0,24	200	465	17,96%

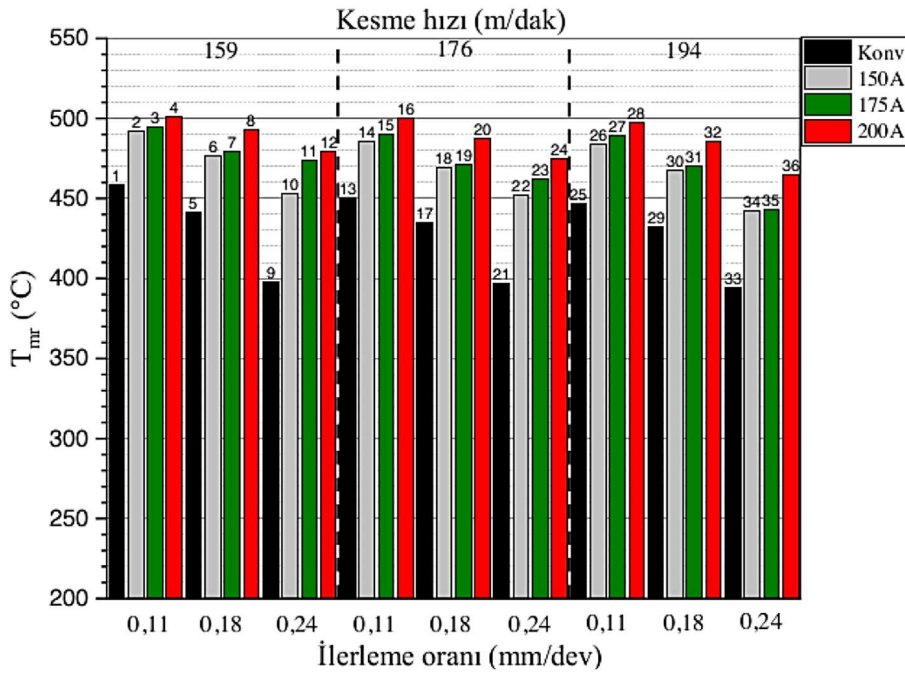
Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği ve 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği ile yapılan deneylere ait T_{mr} değerleri sırasıyla Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’ de gösterilmektedir. Okunabilirliği artırması bakımından T_{mr} değerleri deney numarasına göre verilmiş, kesme hızı (V), ilerleme oranı (f) ve işleme yöntemi belirtilmiştir. Konvansiyonel işleme deneylerinde kesme hızı (V) arttıkça T_{mr} ’ de çok düşük bir azalma olduğu görülmektedir. İşlem parametrelerinin belirlenmesinde kesme hızındaki (V) artış iş malzemesi çapının büyütülmesi ile sağlanmıştır. Dolayısıyla iş malzemesinin kütlesi artmıştır. T_{mr} ’ deki azalmanın kütle artışından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Konvansiyonel işlemede ilerleme oranı (f) arttıkça talaş kaldırma sıcaklığı azalmaktadır. İlerleme oranı (f) arttıkça ısının talaşa geçişi söz konusudur, dolayısıyla ilerleme oranı (f) arttıkça T_{mr} azalmaktadır. Buna bağlı olarak 0,18 mm/dev ve 0,24 mm/dev ilerleme oranlarında (f) yapılan işlemlerde

konvansiyonel işleme ve IDİ arasındaki sıcaklık farkı daha yüksek çıkmaktadır. IDİ deneylerinde kesme hızı (V) arttıkça T_{mr} azalmaktadır. Kesme hızındaki (V) artış ısı girdisini azaltmaktadır. IDİ deneylerinde kesme hızı (V) arttıkça sıcaklık değerindeki bir miktar azalma bu durumu doğrulamaktadır. İlerleme oranındaki (f) değişimin sıcaklık farkına kesme hızından (V) daha fazla etki ettiği görülmektedir. IDİ yönteminde ilerleme oranı (f) arttıkça işleme süresi kısalmakta ve ısı girdisi azalmaktadır. Düşük ilerleme oranında (f) daha yüksek T_{mr} değerleri elde edilmektedir [31]. Akım şiddeti (I) arttıkça T_{mr} artmaktadır. Elde edilen sonuçlar ön deneylerde elde edilen verilerle (Bkz. Şekil 6.1, Şekil 6.2) uyum göstermektedir. Akım şiddetindeki (I) 25 Amper artışın T_{mr} değerinde belirgin bir artış sağlamadığı görülmektedir. TIG esaslı IDİ yönteminde daha yüksek akım şiddeti (I) değerleri kullanılması daha yüksek sıcaklık değerleri elde edilmesini sağlayacaktır.

Şekil 6.10 ve Şekil 6.11 karşılaştırıldığında Şekil 6.11’ de aynı kesme şartlarında konvansiyonel işleme ve IDİ arasındaki sıcaklık farkının daha az olduğu görülmektedir. Şekil 6.9’ da görüldüğü gibi 49 HRC sertliğindeki iş malzemesi daha yüksek spesifik kesme enerjisi (E_{SK}) ile işlenmektedir. Dolayısıyla ısıya dönüşen kesme enerjisi miktarı daha yüksektir. Bu nedenle 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin konvansiyonel yöntemle işlenmesinde daha yüksek T_{mr} ortaya çıkmakta, konvansiyonel işleme ve IDİ arasındaki sıcaklık farkı azalmaktadır.



Şekil 6.10. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde T_{mr} değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi



Şekil 6.11. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde T_{mr} değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi

İşlem parametrelerinin T_{mr} üzerindeki etkilerini incelemek için Çizelge 6.10 ve Çizelge 6.11’ de ANOVA tabloları, Şekil 6.12 ve Şekil 6.13’ de etki grafikleri verilmiştir. ANOVA tablolarında T_{mr} değeri üzerine en çok etki eden (%66,81-%62,27) işlem parametresinin akım şiddeti (I) olduğu görülmektedir. TIG tekniği ile sağlanan ilave ısı girişi akım

şiddetinin (I) T_{mr} üzerinde en etkili işlem parametresi olmasını sağlamıştır. Burada elde edilen sonuçların Tarama yöntemi ile yapılan ön deneylerde elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu görülmektedir. Gerek ön deneylerde gerekse esas kesme deneylerinde kesme hızındaki (V) değişimin T_{mr} değerine çok az etki ettiği görülmüştür. Ancak 49 HRC sertliğinde iş malzemesi ile yapılan deneylerde daha düşük kesme hızı (V) değerleri kullanılması ön ısıtmanın etkinliğini artırmıştır. E_{SK} değerinin daha yüksek olması ve ön ısıtma için harcanan ilave enerji sayesinde yüksek sıcaklıklar elde edilmiştir. Çizelge 6.11’ de, Çizelge 6.10’ a kıyasla akım şiddetinin (I) katkı oranının bir miktar düştüğü, kesme hızının (V) ise etkisinin arttığı görülmektedir.

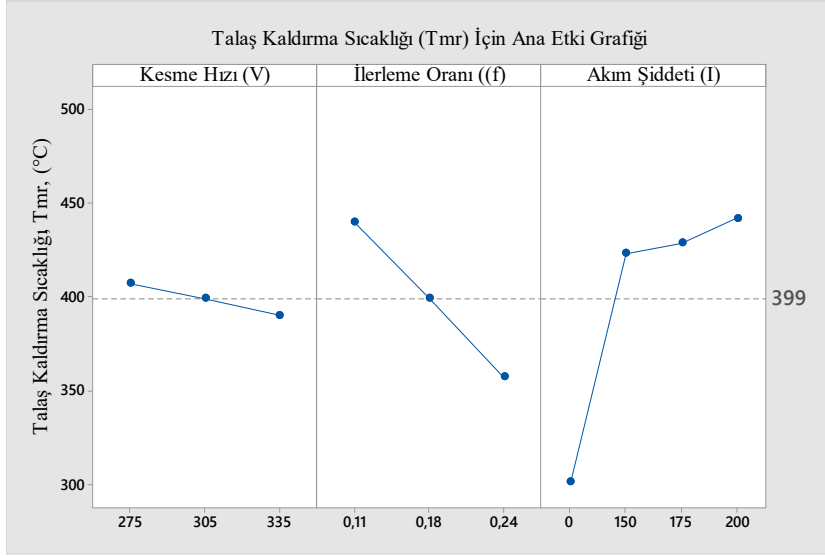
Çizelge 6.10. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde T_{mr} (°C) için ANOVA sonuçları

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Katkı Oranı (%)
Kesme Hızı (V)	2	1735,62	867,81	1,64	0,2106	1,00%
İlerleme Oranı (f)	2	40938,56	20469,28	38,86	0,0000	23,66%
Akım Şiddeti (I)	3	115597,64	38532,54	73,16	0,0000	66,81%
Hata	28	14746,44	526,65			8,52%
Toplam	35	173018,27				100,00%

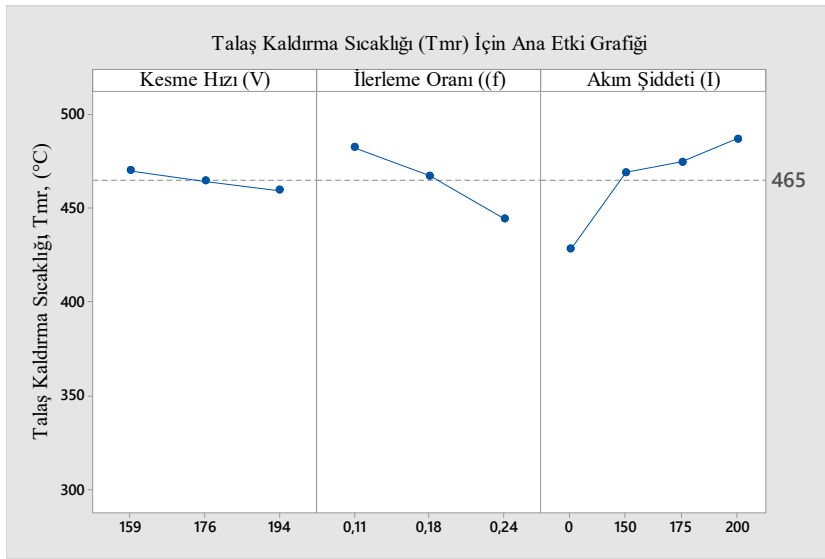
Çizelge 6.11. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde T_{mr} (°C) için ANOVA sonuçları

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Katkı Oranı (%)
Kesme Hızı (V)	2	630,78	315,39	6,87	0,0037	2,23%
İlerleme Oranı (f)	2	8761,3	4380,65	95,43	0,0000	30,96%
Akım Şiddeti (I)	3	17624,59	5874,87	127,98	0,0000	62,27%
Hata	28	1285,31	45,90			4,54%
Toplam	35	28302				100,00%

Şekil 6.12 ve Şekil 6.13’ de verilen etki grafiklerinde kesme hızının (V) T_{mr} üzerinde en az etkiye sahip işlem parametresi olduğu görülmektedir. İlerleme oranı (f) T_{mr} üzerinde kesme hızına (V) göre daha etkili bir kesme parametresidir. Düşük ilerleme oranlarında (f) ısı girdisi arttığı için daha yüksek T_{mr} değerlerine ulaşılmıştır.



Şekil 6.12. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin T_{mr} ($^{\circ}\text{C}$) üzerine etkisi



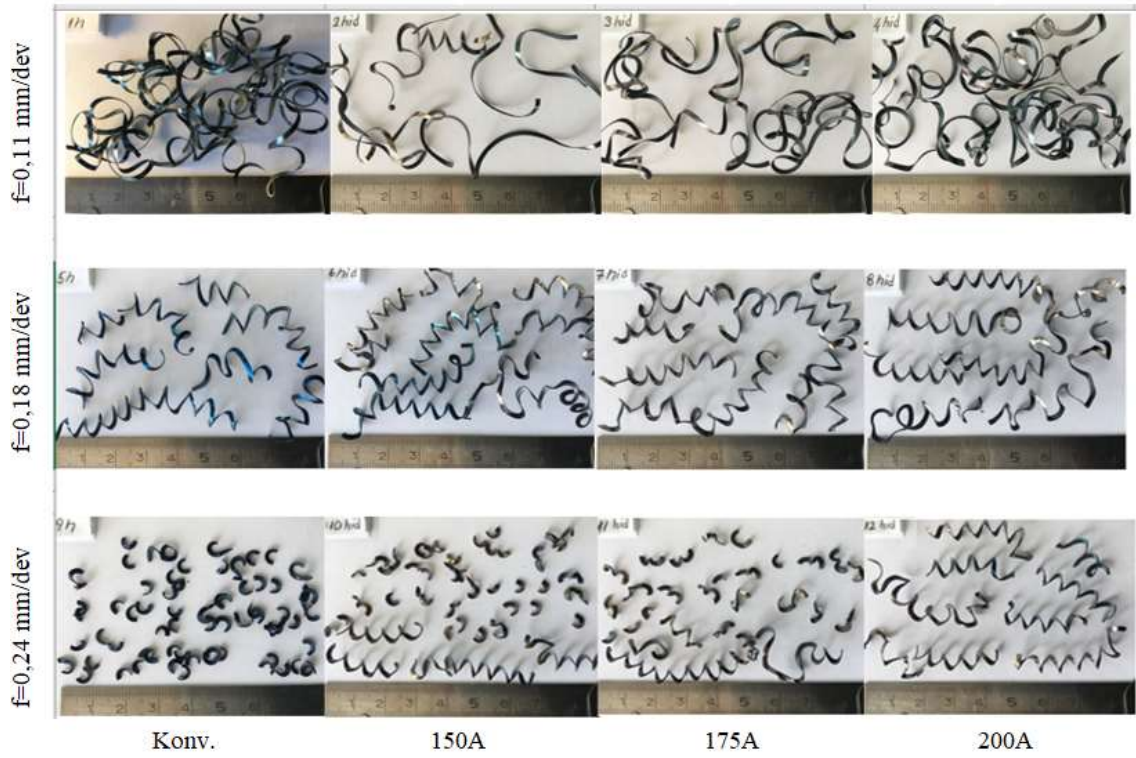
Şekil 6.13. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin T_{mr} ($^{\circ}\text{C}$) üzerine etkisi

6.2.4. Talaş oluşumları

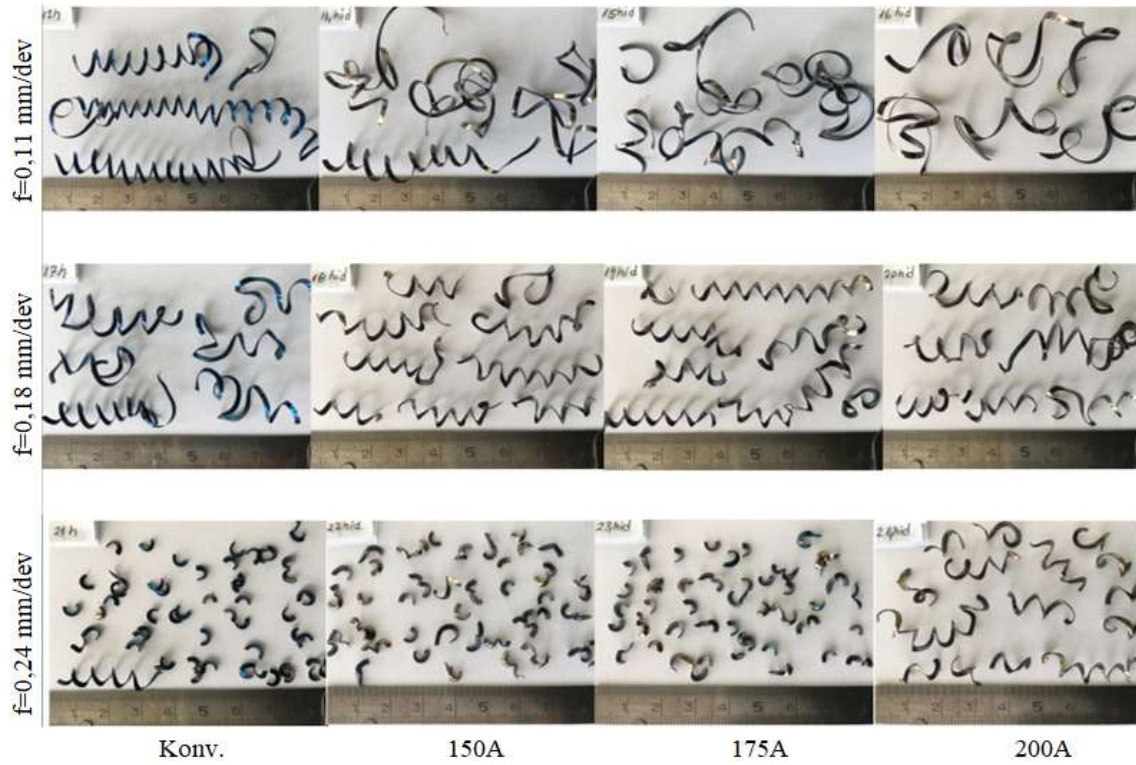
Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğinin işlenmesinde elde edilen talaş fotoğrafları Resim 6.3, Resim 6.4 ve Resim 6.5’ de verilmiştir. Talaş fotoğrafları incelendiğinde kesme hızındaki (V) artışla birlikte talaşın düzleşme eğiliminde olduğu görülmektedir. Kesme hızındaki (V) artış kayma açısının artmasına ve sürtünme katsayısının düşmesine neden olmaktadır [92]. Kesme hızındaki (V) artış kesme bölgesine ilave ısı girdisi sağlamakta ve bu durum plastik deformasyonu kolaylaştırmaktadır. Isınan talaş incelmeye ve düzleşme eğilimindedir. İlerleme

oranındaki (f) artışın talaş oluşumuna etkisi incelendiğinde 0,11 mm/dev ilerleme oranında (f) talaşın düz ve sürekli bir formda oluştuğu görülmektedir. Talaşın bu şekli kontrolünü zorlaştırmış ve kısa devrelere neden olmuştur. 0,18 mm/dev ilerleme oranında (f) talaş kısmen sürekli şekilde akmış ve kesici ucun talaş kırıcı formunun etkisi görülmeye başlanmıştır. 0,24 mm/dev ilerleme oranında (f) ise talaşın kısa ve süresiz bir şekilde geldiği görülmektedir. İlerleme oranının (f) seviyeleri belirlenirken IDİ yönteminde daha yüksek sıcaklık değerleri elde edebilmek için düşük değerler kullanılmasına dikkat edilmiştir. Esas kesme deneylerinde ilerleme oranı (f) değerlerinde sadece 0,24 mm/dev değeri kesici takımın tavsiye edilen ilerleme oranı (f) değerleri içinde yer almaktadır (Bkz. Çizelge 5.6). İlerleme oranındaki (f) artış talaş üzerinde doğal olarak bir talaş kırıcı etkisi oluşturmaktadır. İlerleme oranı (f) arttıkça kesici takımın talaş kırıcı formu devreye girmekte talaş kırma özelliği artmaktadır.

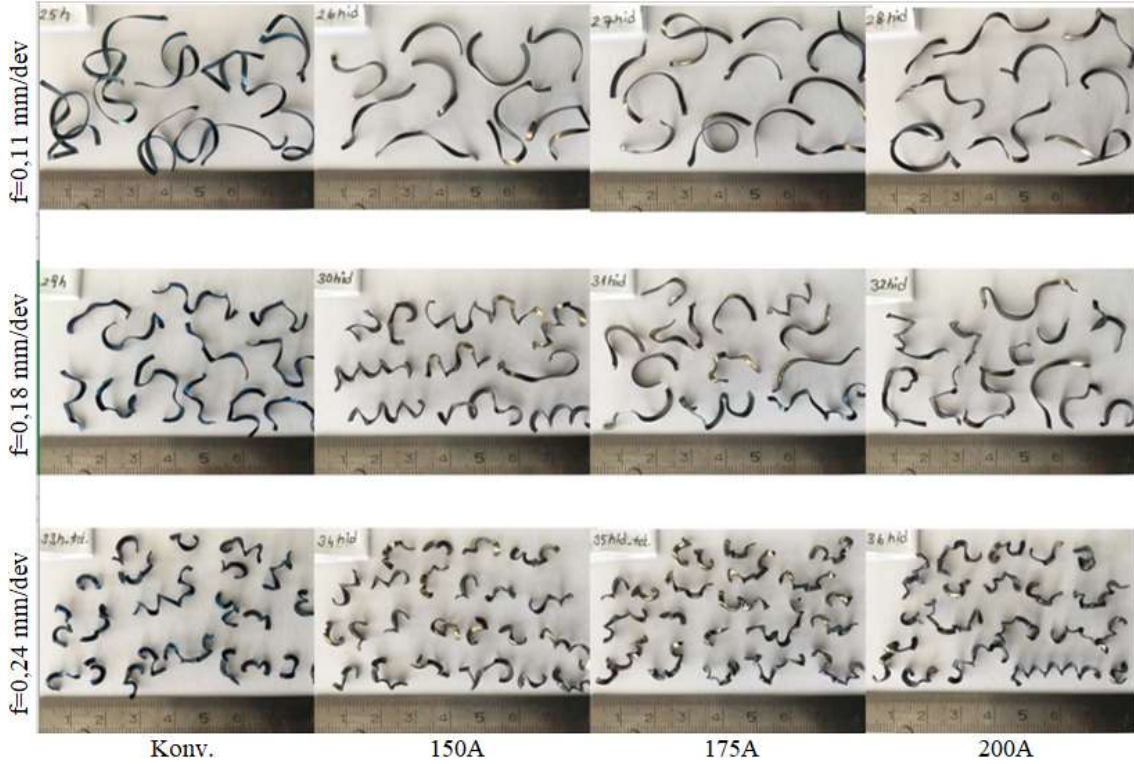
Ayrıca ilerleme oranının (f) artmasıyla birlikte talaşın kalınlığı artmakta ve talaş daha fazla plastik deformasyona uğramaktadır. IDİ yönteminin talaş oluşumuna etkisi değerlendirilecek olursa ön ısıtmanın etkisiyle talaş düzleşmekte ve sürekli hale gelmektedir [85,86]. Tüm kesme şartlarında yapılan IDİ deneylerinde talaşın düz ve sürekli olma eğiliminde olduğu görülmüştür.



Resim 6.3. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğinin 275 m/dak kesme hızındaki (V) talaş fotoğrafları



Resim 6.4. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğinin 305 m/dak kesme hızındaki (V) talaş fotoğrafları



Resim 6.5. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğinin 335 m/dak kesme hızındaki (V) talaş fotoğrafları

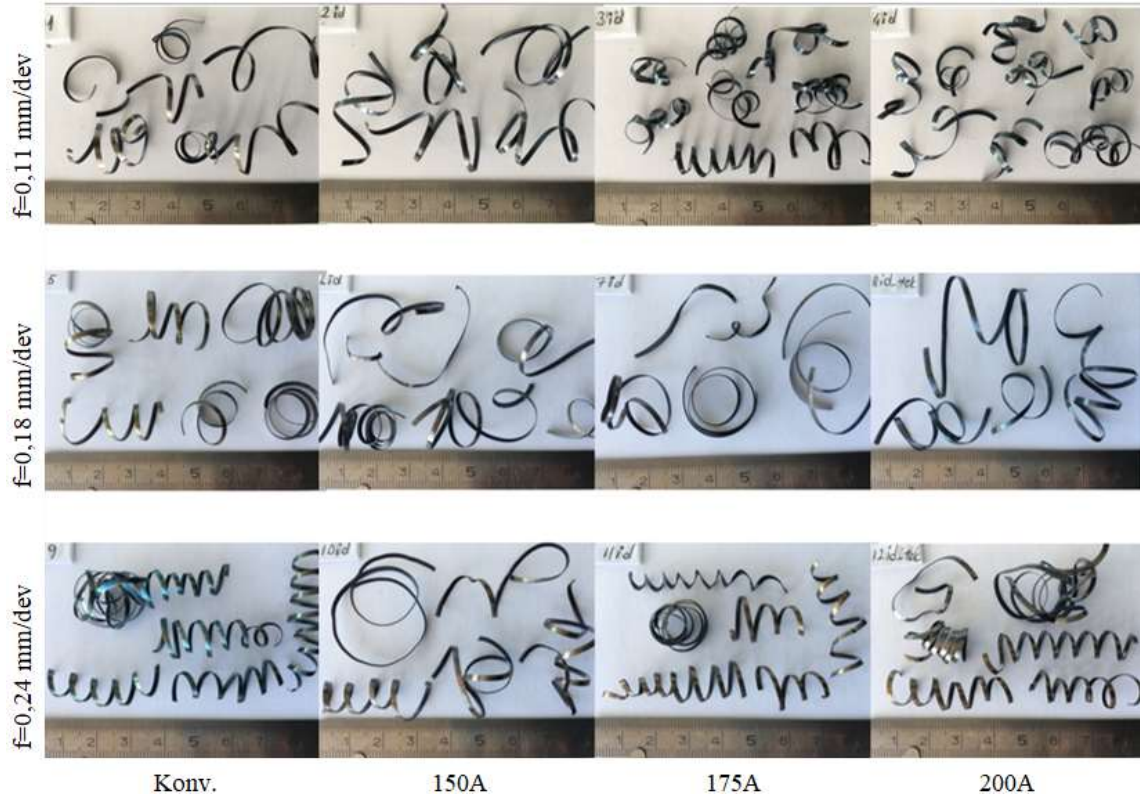
Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğine ait talaşların takım mikroskobunda 60 kat büyütülerek çekilmiş fotoğrafları Resim 6.6, Resim 6.7 ve Resim 6.8’ de gösterilmektedir. 0,24 mm/dev ilerleme oranında (f) konvansiyonel işlemede çıkan kıvrık talaşın, IDİ deneylerinde akım şiddeti (I) arttıkça düzleşmeye çalıştığı görülmektedir. Resim 6.6, Resim 6.7 ve Resim 6.8’ de ayrıca konvansiyonel işlemede çıkan talaşların talaş-takım temas yüzeylerinin meneviş renginde, IDİ yönteminde çıkan talaşların talaş-takım temas yüzeylerinin ise metalik bir renkte olduğu görülmektedir. TIG esaslı IDİ yönteminde talaş kaldırma sıcaklığının ön ısıtma ile yükseltilmesi nedeniyle talaşa daha homojen ısı geçişi sağlanmış, metal atomları arasındaki bağlanma kuvveti zayıflamış dolayısıyla kesme işlemi kolaylaşmıştır. Bu nedenle sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğinin IDİ yöntemiyle işlenmesinde talaş-takım temas yüzeyi daha metalik bir renkte çıkmaktadır [86].





Resim 6.8. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğinin 335 m/dak kesme hızındaki (V) 60 kat büyütülmüş talaş fotoğrafları

49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğinin işlenmesinde elde edilen talaş fotoğrafları Resim 6.9, Resim 6.10 ve Resim 6.11’ de gösterilmektedir. Ayrıca talaşların takım mikroskobunda 60 kat büyütülerek çekilmiş fotoğrafları Resim 6.12, Resim 6.13 ve Resim 6.14’ de gösterilmektedir. Talaş oluşumuna ilişkin olarak 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğine ait talaş fotoğrafları incelendiğinde talaş oluşumlarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği talaşlarında olduğu gibi işlem parametrelerinin etkileri net bir şekilde görülememektedir. Ayrıca talaş-takım temas yüzeylerinde işleme yöntemine bağlı belirgin bir renk değişiminden söz etmek mümkün değildir. Genel olarak sürekli formda bir talaş oluşumu görülmektedir. Sertleştirilmiş iş malzemesi daha yüksek spesifik kesme enerjisi (E_{SK}) ile işlenmiştir. Dolayısıyla talaş oluşumu daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmiştir. Talaşın sahip olduğu yüksek sıcaklık nedeniyle düz ve sürekli bir formda oluştuğu değerlendirilmektedir. 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinde talaş oluşumuna işlem parametrelerinin etkilerini belirlemek için Bölüm 6.2.5’ de yığılma faktörleri (λ) incelenmiştir.



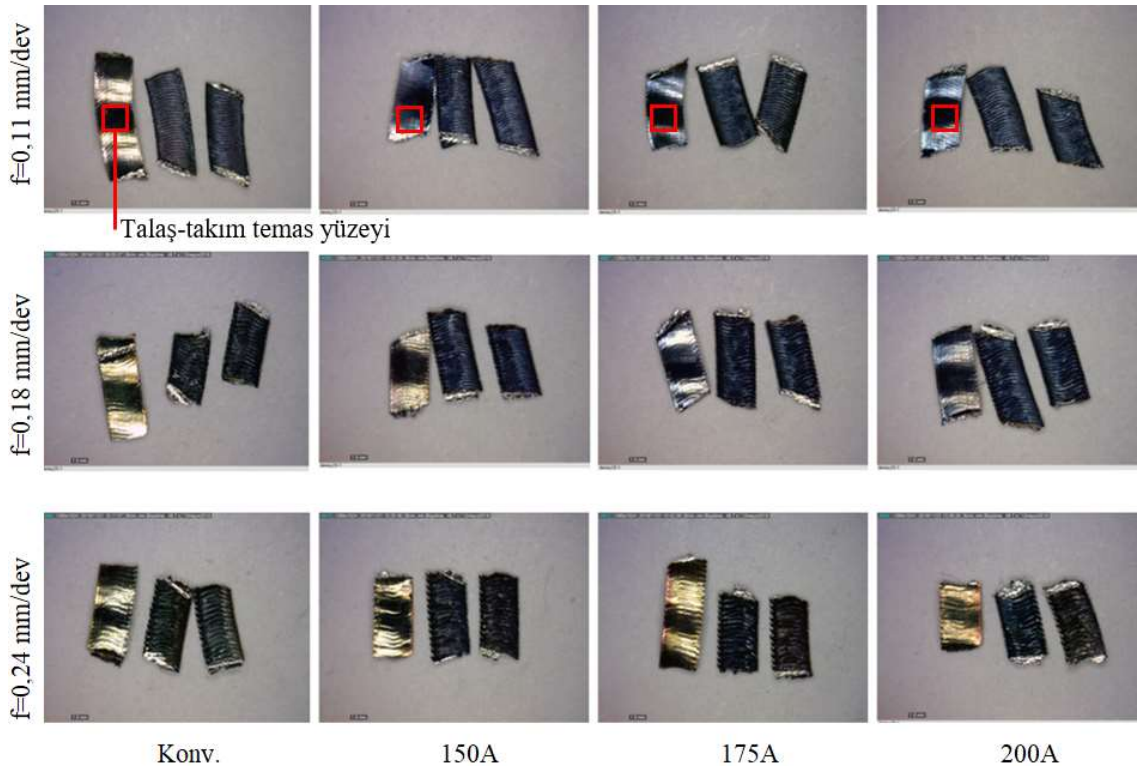
Resim 6.9. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğinin 159 m/dak kesme hızındaki (V) talaş fotoğrafları



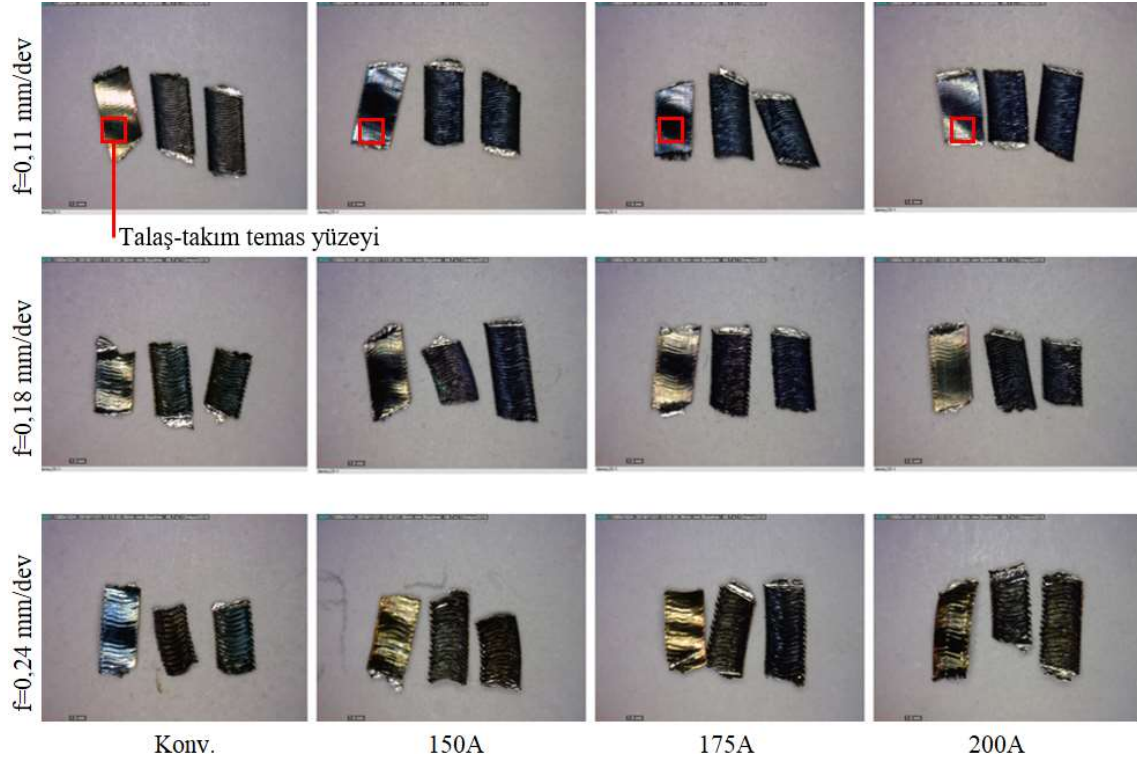
Resim 6.10. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğinin 176 m/dak kesme hızındaki (V) talaş fotoğrafları



Resim 6.11. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğinin 194 m/dak kesme hızındaki (V) talaş fotoğrafları



Resim 6.12. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğinin 159 m/dak kesme hızındaki (V) 60 kat büyütülmüş talaş fotoğrafları



Resim 6.13. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğinin 176 m/dak kesme hızındaki (V) 60 kat büyütülmüş talaş fotoğrafları



Resim 6.14. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğinin 194 m/dak kesme hızındaki (V) 60 kat büyütülmüş talaş fotoğrafları

6.2.5. Yığılma faktörü sonuçları

Yığılma faktörü (λ) kesme işleminin zorluk düzeyinin belirlenmesinde kullanılan yaklaşımlardan biridir. Kesme hızı (V) arttıkça yığılma faktörü azalır. Çünkü kesme hızı (V) arttıkça talaş kalınlığı azalır, bu sonuç talaş kalınlığının (t_c) kesilmemiş talaş kalınlığına (t_o) oranı olarak ifade edilen yığılma faktörü (λ) ile de desteklenir [93]. İlerleme oranı (f) arttıkça talaş kalınlığı (t_c) artmaktadır. Ancak talaş ilerleme oranındaki (f) artış miktarında sıkıştırmak mümkün değildir, bu nedenle ilerleme oranı (f) arttıkça yığılma faktörü (λ) azalmaktadır [92]. IDİ yönteminin λ üzerine etkisi incelenecek olursa ön ısıtma sayesinde talaş oluşumunun kolaylaştığı, ısınan talaşın incelendiği ve λ değerinin düştüğü görülmektedir. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğine ait λ değerleri Çizelge 6.12’ de ve 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğine ait λ değerleri Çizelge 6.13’ de gösterilmektedir. Her iki malzemenin λ değerleri düşük çıkmıştır. λ değerinin düşük çıkması talaşın plastik deformasyonunun kolaylaştığı anlamına gelmektedir [93]. Kesme derinliğinin (a_p) düşük olması, kesme hızlarının (V) yüksek olması ve IDİ ile sağlanan sıcaklık artışı kesme işleminin daha kolay gerçekleşmesini sağlamıştır. 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin λ değerlerinin sertleştirilmemiş iş malzemesinden daha düşük olduğu görülmektedir. 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin daha yüksek E_{SK} ile işlenmesi nedeniyle daha yüksek sıcaklıklarda talaş oluşumu gerçekleşmiş, bu da λ değerinin düşük çıkmasına neden olmuştur.

Çizelge 6.12. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneyleri yığılma faktörü (λ) değerleri

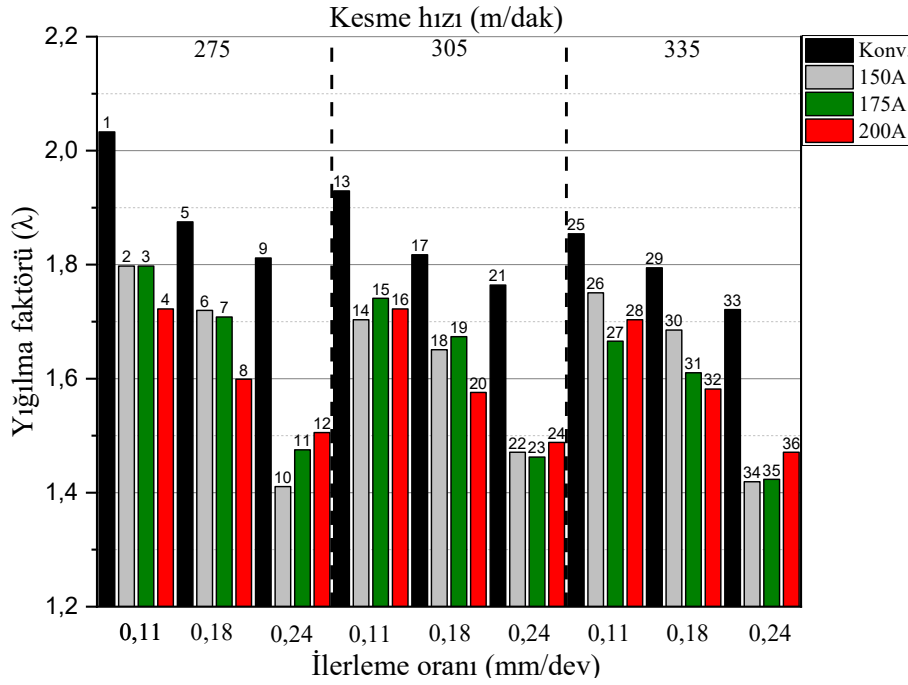
Deney Nu.	V (m/dak)	f (mm/dev)	I (Amper)	λ
1	275	0,11	0	2,03
2	275	0,11	150	1,80
3	275	0,11	175	1,80
4	275	0,11	200	1,72
5	275	0,18	0	1,88
6	275	0,18	150	1,72
7	275	0,18	175	1,71
8	275	0,18	200	1,60
9	275	0,24	0	1,81
10	275	0,24	150	1,41
11	275	0,24	175	1,48
12	275	0,24	200	1,51
13	305	0,11	0	1,93
14	305	0,11	150	1,70
15	305	0,11	175	1,74
16	305	0,11	200	1,72
17	305	0,18	0	1,82
18	305	0,18	150	1,65
19	305	0,18	175	1,67
20	305	0,18	200	1,58
21	305	0,24	0	1,76
22	305	0,24	150	1,47
23	305	0,24	175	1,46
24	305	0,24	200	1,49
25	335	0,11	0	1,85
26	335	0,11	150	1,75
27	335	0,11	175	1,67
28	335	0,11	200	1,70
29	335	0,18	0	1,79
30	335	0,18	150	1,69
31	335	0,18	175	1,61
32	335	0,18	200	1,58
33	335	0,24	0	1,72
34	335	0,24	150	1,42
35	335	0,24	175	1,42
36	335	0,24	200	1,47

Çizelge 6.13. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneyleri yığılma faktörü (λ) değerleri

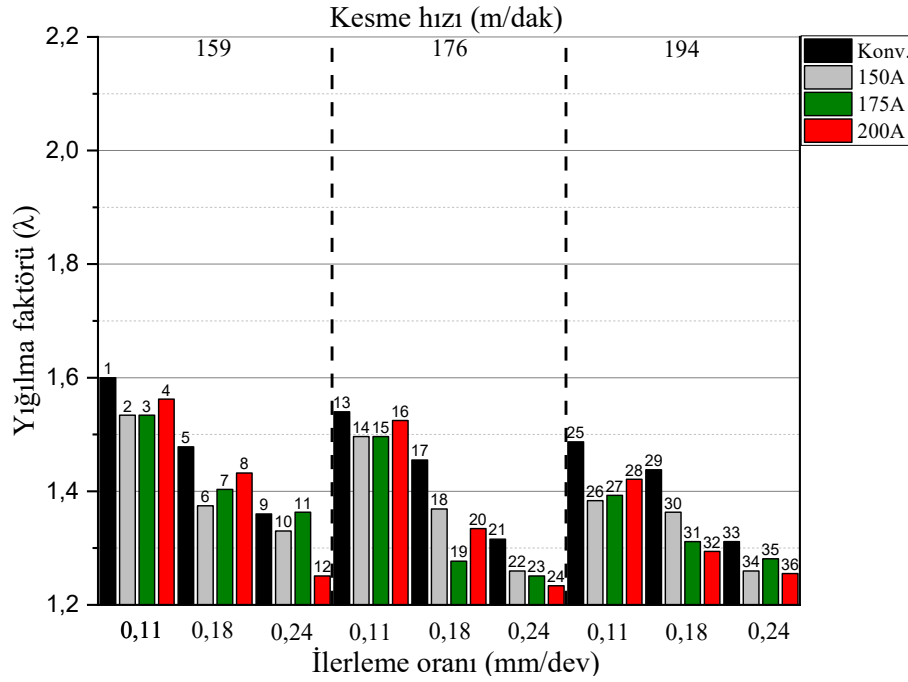
Deney Nu.	V (m/dak)	f (mm/dev)	I (Amper)	λ
1	159	0,11	0	1,60
2	159	0,11	150	1,53
3	159	0,11	175	1,53
4	159	0,11	200	1,56
5	159	0,18	0	1,48
6	159	0,18	150	1,37
7	159	0,18	175	1,40
8	159	0,18	200	1,43
9	159	0,24	0	1,36
10	159	0,24	150	1,33
11	159	0,24	175	1,36
12	159	0,24	200	1,25
13	176	0,11	0	1,54
14	176	0,11	150	1,50
15	176	0,11	175	1,50
16	176	0,11	200	1,52
17	176	0,18	0	1,46
18	176	0,18	150	1,37
19	176	0,18	175	1,28
20	176	0,18	200	1,33
21	176	0,24	0	1,32
22	176	0,24	150	1,26
23	176	0,24	175	1,25
24	176	0,24	200	1,23
25	194	0,11	0	1,49
26	194	0,11	150	1,38
27	194	0,11	175	1,39
28	194	0,11	200	1,42
29	194	0,18	0	1,44
30	194	0,18	150	1,36
31	194	0,18	175	1,31
32	194	0,18	200	1,29
33	194	0,24	0	1,31
34	194	0,24	150	1,26
35	194	0,24	175	1,28
36	194	0,24	200	1,26

Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği ve 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği ile yapılan deneylere ait λ değerleri sırasıyla Şekil 6.14 ve Şekil 6.15’ de gösterilmektedir. Kesme hızındaki (V) artışın λ değerinin düşmesi yönünde bir etkisi olduğu görülmektedir. λ üzerine en çok ilerleme oranı (f) etki etmektedir. İlerleme oranı (f) arttıkça λ azalmaktadır. Ayrıca burada TIG esaslı IDİ yönteminin λ değerini düşürecek bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Ancak akım şiddetindeki (I) 25 Amper artışın λ üzerine belirgin bir etkisi görülememiştir. Bazı deneylerde, aynı kesme şartlarında en düşük λ değerinin düşük akım şiddeti (I) değerlerinde elde edildiği görülmektedir. Akım şiddeti (I) parametresinin seviyeleri arasındaki fark artırılırsa talaş kaldırma sıcaklıkları (T_{mr}) arasındaki fark artacaktır. T_{mr} artışıyla birlikte talaş giderek inceleceği için λ değerleri arasındaki fark artacaktır. Yukarıda yapılan açıklamalardan da anlaşılacağı üzere grafiklerde uyumsuz

değerlerin olduğu görülmektedir. Talaş kalınlığı ölçümlerinde 0,02 mm' lik bir ölçüm hatası λ değerinde yaklaşık %10' luk bir sapmaya neden olmaktadır. Bu durumun λ verileri değerlendirilirken dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil 6.14. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği yığılma faktörlerinin (λ) işlem parametrelerine göre değişimi



Şekil 6.15. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği yığılma faktörlerinin (λ) işlem parametrelerine göre değişimi

İşlem parametrelerinin λ üzerindeki etkilerini incelemek için Çizelge 6.14 ve Çizelge 6.15’ de ANOVA tabloları, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’ de etki grafikleri verilmiştir. ANOVA tablolarında λ değeri üzerine en çok etki eden (%45,64-%68,84) işlem parametresinin ilerleme oranı (f) olduğu görülmektedir. Deney sonuçlarının birbiri ile ilişkisi araştırıldığında λ değerlerinin kesme işleminde harcanan güç (P_c) dolayısıyla spesifik kesme enerjisi (E_{sk}) ile ilişkili olduğu görülmektedir. Hem λ hem de P_c için en etkili işlem parametresi ilerleme oranıdır (f). Talaş oluşumları incelendiğinde sertleştirilmemiş iş malzemesinden çıkan talaşların ilerleme oranındaki (f) artışla birlikte sürekli formdan kırık-kopuk talaş formuna geçtiği görülmektedir. İlerleme oranı (f) λ üzerindeki en etkili işlem parametresidir [86]. İlerleme oranı (f) arttıkça λ düşmektedir. Akım şiddetinin (I) etkisine bakıldığında IDİ yönteminin talaşın plastik deformasyonunu kolaylaştırdığı böylece λ değerinin düştüğü görülmektedir. Kesme hızı (V) arttıkça yığılma faktörü (λ) düşmektedir. Ancak kesme hızının (V) etkisinin düşük olduğu analiz sonuçlarından söylenebilir.

Çizelge 6.14. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde yığılma faktörü (λ) için ANOVA sonuçları

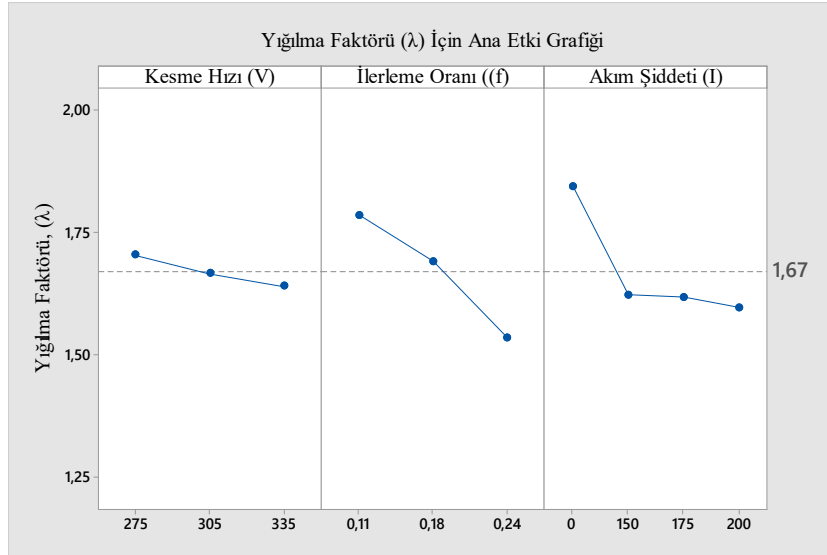
Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Katkı Oranı (%)
Kesme Hızı (V)	2	0,02	0,01	5,66	0,0086	3,02%
İlerleme Oranı (f)	2	0,38	0,19	85,49	0,0000	45,64%
Akım Şiddeti (I)	3	0,37	0,12	54,79	0,0000	43,87%
Hata	28	0,06	0,00			7,47%
Toplam	35	0,84				100,00%

Çizelge 6.15. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde yığılma faktörü (λ) için ANOVA sonuçları

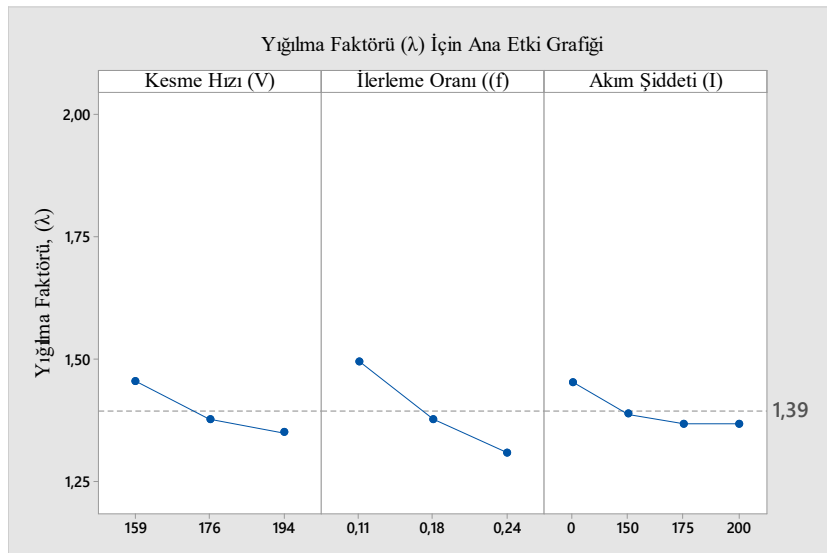
Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Katkı Oranı (%)
Kesme Hızı (V)	2	0,04	0,02	16,57	0,0000	11,72%
İlerleme Oranı (f)	2	0,26	0,13	97,33	0,0000	68,84%
Akım Şiddeti (I)	3	0,04	0,01	8,98	0,0002	9,53%
Hata	28	0,04	0,00			9,90%
Toplam	35	0,38				100,00%

Çizelge 6.14 ve Çizelge 6.15’ de verilen ANOVA tabloları incelendiğinde akım şiddetinin (I) yığılma faktörüne (λ) katkısı sertleştirilmemiş iş malzemesinde %43,87 iken 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinde %9,53’ dür. Bu durumu talaş oluşumu ile açıklamak mümkündür. Sertleştirilmemiş iş malzemesi talaş fotoğrafları incelendiğinde akım şiddeti (I) arttıkça talaşın sürekli talaş formuna geçmeye çalıştığı ve düzleştiği görülmektedir. 49

HRC sertliğindeki iş malzemesinde talaşın plastik deformasyonu yüksek spesifik kesme enerjisi (E_{SK}) nedeniyle yüksek talaş kaldırma sıcaklığında (T_{mr}) gerçekleşmiştir. 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinde akım şiddetindeki (I) artışın T_{mr} artışına dolayısıyla talaş oluşumuna etkisi daha az olmuştur. Kesme deneyleri sonucunda görülen benzer talaş yapısı bu durumdan kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.16. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin yığılma faktörü (λ) değerine etkisi



Şekil 6.17. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin yığılma faktörü (λ) değerine etkisi

6.2.6. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları

Ön deneylerde IDİ yönteminin yüzey pürüzlülüğünü olumlu yönde etkilediği (Bkz. Çizelge 6.3) görülmüştür. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Çizelge 6.16’ da verilmiştir. Burada TIG esaslı IDİ yöntemi sayesinde Ra (μm) değerlerinde maksimum %21,52 iyileşme sağlandığı görülmektedir.

Çizelge 6.16. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde ölçülen yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri

Deney Nu.	V (m/dak)	f (mm/dev)	I (Amper)	Ra (μm)	Ra İyileşme Oranı (%)
1	275	0,11	0	0,871	
2	275	0,11	150	0,805	7,58%
3	275	0,11	175	0,787	9,64%
4	275	0,11	200	0,720	17,34%
5	275	0,18	0	1,412	
6	275	0,18	150	1,294	8,36%
7	275	0,18	175	1,254	11,19%
8	275	0,18	200	1,204	14,73%
9	275	0,24	0	2,655	
10	275	0,24	150	2,416	9,00%
11	275	0,24	175	2,388	10,06%
12	275	0,24	200	2,405	9,42%
13	305	0,11	0	0,827	
14	305	0,11	150	0,763	7,74%
15	305	0,11	175	0,684	17,29%
16	305	0,11	200	0,649	21,52%
17	305	0,18	0	1,404	
18	305	0,18	150	1,273	9,33%
19	305	0,18	175	1,261	10,19%
20	305	0,18	200	1,233	12,18%
21	305	0,24	0	2,542	
22	305	0,24	150	2,406	5,35%
23	305	0,24	175	2,371	6,73%
24	305	0,24	200	2,418	4,88%
25	335	0,11	0	0,817	
26	335	0,11	150	0,745	8,81%
27	335	0,11	175	0,673	17,63%
28	335	0,11	200	0,646	20,93%
29	335	0,18	0	1,380	
30	335	0,18	150	1,270	7,97%
31	335	0,18	175	1,268	8,12%
32	335	0,18	200	1,228	11,01%
33	335	0,24	0	2,429	
34	335	0,24	150	2,381	1,98%
35	335	0,24	175	2,366	2,59%
36	335	0,24	200	2,378	2,10%

49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Çizelge 6.17’ de verilmiştir. Burada TIG esaslı IDİ yöntemi ile Ra (μm) değerlerinde maksimum %22,28 iyileşme sağlandığı görülmektedir. TIG esaslı IDİ yönteminde konvansiyonel işlemeye kıyasla daha düşük Ra (μm) değerlerine ulaşılmaktadır.

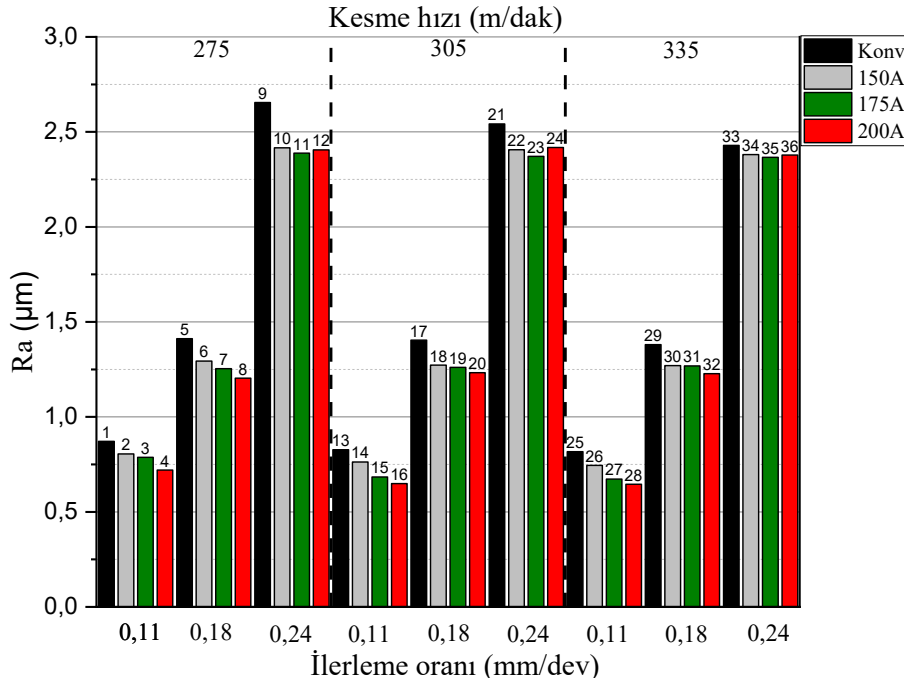
Çizelge 6.17. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde ölçülen yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri

Deney Nu.	V (m/dak)	f (mm/dev)	I (Amper)	Ra (μm)	Ra İyileşme Oranı (%)
1	159	0,11	0	0,833	
2	159	0,11	150	0,788	5,46%
3	159	0,11	175	0,757	9,20%
4	159	0,11	200	0,648	22,28%
5	159	0,18	0	1,681	
6	159	0,18	150	1,539	8,45%
7	159	0,18	175	1,509	10,23%
8	159	0,18	200	1,513	9,99%
9	159	0,24	0	2,513	
10	159	0,24	150	2,326	7,44%
11	159	0,24	175	2,328	7,36%
12	159	0,24	200	2,353	6,37%
13	176	0,11	0	0,812	
14	176	0,11	150	0,741	8,74%
15	176	0,11	175	0,733	9,73%
16	176	0,11	200	0,671	17,36%
17	176	0,18	0	1,623	
18	176	0,18	150	1,549	4,56%
19	176	0,18	175	1,560	3,88%
20	176	0,18	200	1,420	12,51%
21	176	0,24	0	2,441	
22	176	0,24	150	2,352	3,65%
23	176	0,24	175	2,305	5,57%
24	176	0,24	200	2,275	6,80%
25	194	0,11	0	0,793	
26	194	0,11	150	0,744	6,18%
27	194	0,11	175	0,658	17,02%
28	194	0,11	200	0,631	20,43%
29	194	0,18	0	1,526	
30	194	0,18	150	1,414	7,34%
31	194	0,18	175	1,448	5,11%
32	194	0,18	200	1,446	5,24%
33	194	0,24	0	2,509	
34	194	0,24	150	2,455	2,15%
35	194	0,24	175	2,394	4,58%
36	194	0,24	200	2,343	6,62%

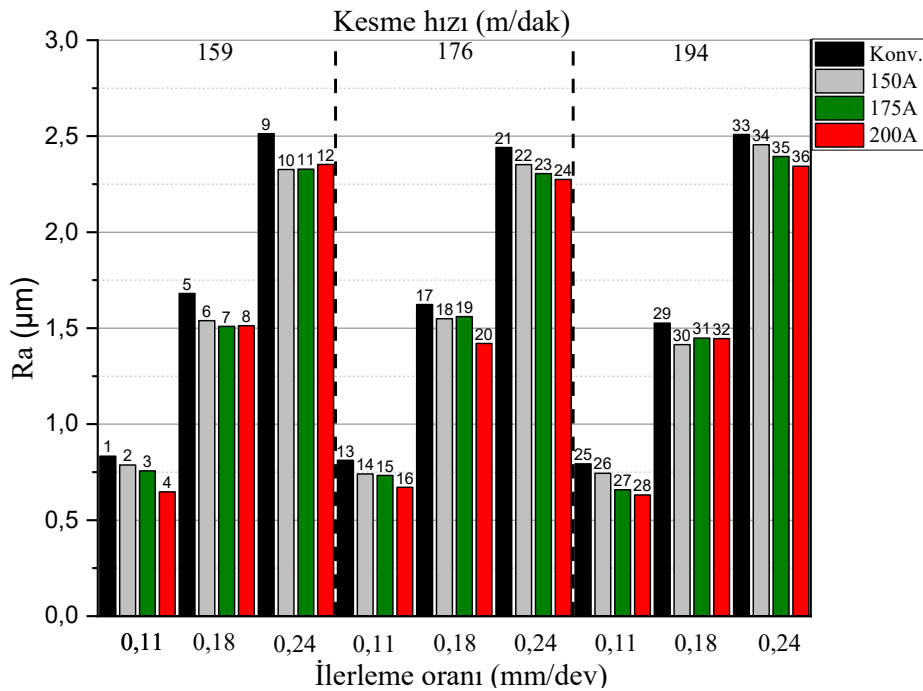
Ön ısıtma ile sağlanan ilave ısı girişi sayesinde spesifik kesme enerjisi (E_{SK}) düşmektedir. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği ve 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerine ait numunelerin Ra değerleri sırasıyla Şekil 6.18 ve Şekil 6.19’ de gösterilmektedir. Yüzey pürüzlüğünün en çok ilerleme oranından (f) etkilendiği görülmektedir. İlerleme oranındaki (f) artış kesme kuvvetlerini dolayısıyla kesme işleminde harcanan gücü (P_c) artırmakta,

talaşın plastik deformasyonunu zorlaştırmaktadır. Bu yüzden ilerleme oranı (f) arttıkça Ra değeri yükselmektedir. IDİ yöntemi yüzey pürüzlülüğünün azalmasını sağlamıştır. Ön ısıtmanın etkisiyle iş malzemesinin mekanik özellikleri zayıflatılmış ve talaşın plastik deformasyonu kolaylaşmıştır. En düşük Ra değerleri 0,11 mm/dev ilerleme oranı (f) ve 200 Amper akım şiddeti (I) değerlerinde elde edilmiştir. İlerleme oranı (f) arttıkça akım şiddetindeki (I) artışın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi azalmaktadır. 0,18 mm/dev ve 0,24 mm/dev ilerleme oranı (f) değerlerinde akım şiddeti (I) artmasına rağmen birbirine yakın Ra değerleri elde edilmektedir. 25 Amperlik bir artışın akım şiddetinin (I) etkisini belirlemek için yeterli olmadığı görülmektedir. Aynı kesme şartlarında, örneğin; 100 Amper, 200 Amper ve 300 Amper gibi üç farklı akım şiddeti (I) değeri kullanılması durumunda akım şiddetinin (I) Ra değeri üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılacağı ve Ra değerinin konvansiyonel işlemeye kıyasla daha fazla düşeceği değerlendirilmektedir.

Deney sonuçları arasında bir ilişki kurulduğunda yüzey pürüzlülüğünün T_{mr} değerindeki artıştan etkilendiği görülmektedir. Ön deneylerde IDİ yöntemi sayesinde daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmesi bu tespiti doğrulamaktadır. Gerek ön deneylerde gerekse esas kesme deneylerinde kesme hızının (V) T_{mr} değeri üzerinde en düşük etkiye sahip işlem parametresi olduğu görülmüştür. IDİ yönteminde kesme hızındaki (V) artış T_{mr} değerinin düşmesine neden olmaktadır. Kesme hızındaki (V) artışın kesme bölgesindeki sıcaklığı artırması, daha ince ve düz bir talaş oluşumu sağlayarak yüzey pürüzlülüğünde azalma sağlaması beklenmektedir. Şekil 6.18' de, sertleştirilmemiş iş malzemesinin konvansiyonel yöntemle işlenmesinde kesme hızı (V) arttıkça Ra değerinin bir miktar azaldığı görülmektedir. Bahsedilen durumdan başka kesme hızının (V) yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirgin bir etkisi görülememiştir.



Şekil 6.18. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği Ra (μm) değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi



Şekil 6.19. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği Ra (μm) değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi

Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili işlem parametresinin ilerleme oranı (f) olduğu bilinmektedir. İşlem parametrelerinin Ra değeri üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılan istatistiksel analiz çalışmalarında ilerleme oranının (f) çok yüksek oranlarda en etkili işlem

parametresi çıkması bu tespiti doğrulamaktadır [94]. IDİ yönteminin yüzey pürüzlülüğündeki iyileşmeye katkısını ortaya çıkarmak için ANOVA tabloları ve etki grafiklerinde Ra (μm) değeri yerine Ra değerinin iyileşme oranı (%) kullanılmıştır.

İşlem parametrelerinin Ra değerinin iyileşme oranı (%) üzerindeki etkilerini incelemek için Çizelge 6.18 ve Çizelge 6.19’ da ANOVA tabloları, Şekil 6.20 ve Şekil 6.21’ de etki grafikleri verilmiştir. ANOVA tablolarında Ra değerinin iyileşme oranı (%) üzerine en çok etki eden (%58,53-%56,53) işlem parametresinin akım şiddeti (I) olduğu görülmektedir. Akım şiddeti (I) aynı zamanda T_{mr} değeri üzerinde en etkili işlem parametresidir. Akım şiddetindeki (I) artış T_{mr} değerini artırırken spesifik kesme enerjisi (E_{sk}) azalmaktadır. Talaşın plastik deformasyonunun kolaylaşması daha düşük Ra değerlerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Çizelge 6.18 ve Çizelge 6.19’ da verilen ANOVA tablolarında hata oranının yüksek olduğu görülmektedir. Akım şiddetindeki (I) 25 Amperlik artışın yüzey pürüzlülüğünde belirgin bir azalma sağlamaması, deneylerde talaş sarması ve sıkışması gibi nedenlerden dolayı Ra (μm) değerlerinde meydana gelen sapmaların hata oranında artışa neden olduğu değerlendirilmektedir.

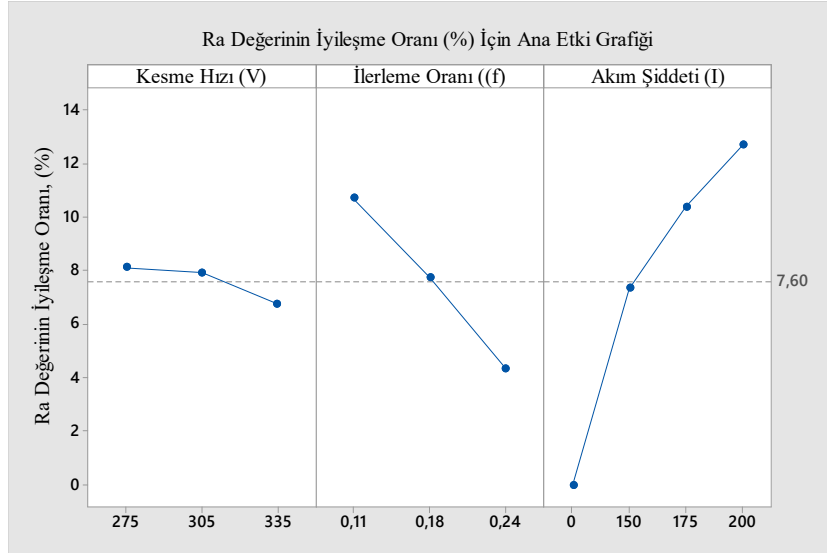
Çizelge 6.18. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde Ra değerinin iyileşme oranı (%) için ANOVA sonuçları

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Katkı Oranı (%)
Kesme Hızı (V)	2	12,88	6,44	0,55	0,5815	0,92%
İlerleme Oranı (f)	2	243,52	121,76	10,45	0,0004	17,33%
Akım Şiddeti (I)	3	822,17	274,06	23,52	0,0000	58,53%
Hata	28	326,23	11,65			23,22%
Toplam	35	1404,80				100,00%

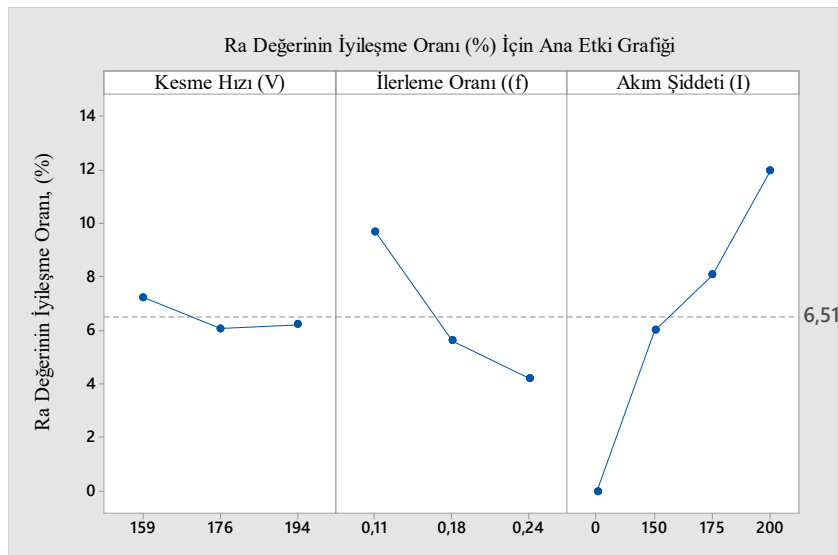
Çizelge 6.19. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde Ra değerinin iyileşme oranı (%) için ANOVA sonuçları

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Katkı Oranı (%)
Kesme Hızı (V)	2	9,61	4,80	0,43	0,6545	0,81%
İlerleme Oranı (f)	2	195,34	97,67	8,75	0,0011	16,41%
Akım Şiddeti (I)	3	672,85	224,28	20,09	0,0000	56,53%
Hata	28	312,54	11,16			26,26%
Toplam	35	1190,33				100,00%

Şekil 6.20 ve Şekil 6.21’ de verilen etki grafiklerinde ilerleme oranının (f) akım şiddetinden (I) sonraki en etkili işlem parametresi olduğu görülmektedir. Düşük ilerleme oranında (f) ısı girdisi artmakta ve yüzey kalitesi iyileşmektedir. Kesme hızı (V), T_{mr} ’ de olduğu gibi en az etkiye sahip işlem parametresidir.



Şekil 6.20. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin Ra değerinin iyileşme oranı (%) üzerine etkisi



Şekil 6.21. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin Ra değerinin iyileşme oranı (%) üzerine etkisi

6.2.7. Boyutsal ölçüm sonuçları

IDİ yönteminin boyutsal kararlılık üzerindeki etkilerini tespit edebilmek için numune çapları parça üzerinde belirlenmiş olan üç konumdan (Bkz. Şekil 5.6) dış çap mikrometresi ile işlemeden hemen sonra ve işlemeden bir gün sonra ölçülmüştür. İşlemeden hemen sonra ve işlemeden 1 gün sonraki ÇÖS değerleri ve ön ısıtma nedeniyle boyutsal ölçülerde meydana gelen GBD miktarları, sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği için Çizelge 6.20' de, 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği için Çizelge 6.21' de verilmiştir. Boyutsal ölçüm sonuçları okunabilirliği kolaylaştırmak için mikron (μm) cinsinden verilmiştir. TIG esaslı IDİ yönteminde noktasal ısıtmanın yapılması ve iş malzemelerinin boyutlarının büyük olması nedeniyle her iki malzemedeki kesmeden hemen sonra ve kesmeden 1 gün sonra yapılan ölçümlerde ÇÖS (μm) değerlerinde belirgin bir fark ortaya çıkmamıştır. ÇÖS ve GBD değerlerindeki değişimi diğer deney sonuçları ile de açıklamak mümkündür. IDİ yöntemi sayesinde talaş kaldırma sıcaklığında (T_{mr}) artış sağlanmakta böylece kesme işleminde harcanan güç (P_c) dolayısıyla spesifik kesme enerjisi (E_{sk}) düşmektedir. E_{sk} değerinin düşmesi kesme işleminin kolaylaştığının bir göstergesidir. Böylece IDİ yönteminde daha düşük ÇÖS değerleri elde edilmektedir. TIG esaslı IDİ yönteminde ön ısıtma kesme ile eş zamanlı yapılamamaktadır (Bkz. Şekil 5.5). IDİ ile sağlanan T_{mr} artışının bir gün sonra yapılan ölçümlerle GBD' ye neden olduğu görülmüştür.

Sertleştirilmemiş iş malzemesinin konvansiyonel olarak işlenmesinde kesme işleminden bir gün sonra yapılan ölçümlerde maksimum 80 μm ÇÖS görülürken aynı kesme şartlarında TIG esaslı IDİ yönteminde ÇÖS 40 μm ' a düşmektedir. Sertleştirilmemiş iş malzemesinin konvansiyonel işleme deneylerinde GBD maksimum 7 μm olarak gerçekleşirken TIG esaslı yapılan IDİ deneylerinde GBD maksimum 40 μm ' a çıkmaktadır.

Çizelge 6.20. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde ÇÖS (μm) ve GBD (μm) değerleri

Deney Nu.	V (m/dak)	f (mm/dev)	I (Amper)	P _c (kW)	E _{sk} (kJ/cm ³)	T _{mr} (°C)	İşlemeden Hemen Sonra ÇÖS (μm)	İşlemeden 1 Gün Sonra ÇÖS (μm)	GBD (μm)
1	275	0,11	0	1,92	3,81	388	10	10	7
2	275	0,11	150	1,82	3,60	463	0	0	20
3	275	0,11	175	1,81	3,59	466	0	0	30
4	275	0,11	200	1,80	3,58	475	0	0	40
5	275	0,18	0	2,91	3,53	265	40	40	0
6	275	0,18	150	2,71	3,28	453	30	30	20
7	275	0,18	175	2,71	3,28	455	30	30	20
8	275	0,18	200	2,58	3,13	455	20	20	33
9	275	0,24	0	3,81	3,46	257	80	80	0
10	275	0,24	150	3,63	3,30	394	50	50	20
11	275	0,24	175	3,42	3,11	405	50	50	20
12	275	0,24	200	3,12	2,84	410	50	50	20
13	305	0,11	0	2,25	4,02	386	10	10	7
14	305	0,11	150	2,18	3,91	447	10	10	27
15	305	0,11	175	2,13	3,82	449	0	0	30
16	305	0,11	200	2,13	3,81	472	0	0	40
17	305	0,18	0	3,16	3,45	263	40	40	0
18	305	0,18	150	3,01	3,29	441	20	30	17
19	305	0,18	175	2,98	3,26	446	30	30	20
20	305	0,18	200	2,88	3,14	446	20	20	30
21	305	0,24	0	4,33	3,55	255	80	80	0
22	305	0,24	150	3,94	3,23	387	60	50	17
23	305	0,24	175	3,72	3,05	392	50	50	20
24	305	0,24	200	3,42	2,81	405	50	50	20
25	335	0,11	0	2,57	4,18	383	10	10	7
26	335	0,11	150	2,40	3,91	435	10	10	23
27	335	0,11	175	2,37	3,86	445	10	0	33
28	335	0,11	200	2,31	3,76	469	0	0	40
29	335	0,18	0	3,50	3,49	261	30	30	0
30	335	0,18	150	3,42	3,41	428	20	20	20
31	335	0,18	175	3,30	3,28	433	20	20	20
32	335	0,18	200	3,07	3,05	444	10	10	30
33	335	0,24	0	4,85	3,62	253	80	80	0
34	335	0,24	150	4,15	3,10	360	50	50	10
35	335	0,24	175	4,11	3,07	368	50	50	20
36	335	0,24	200	3,85	2,87	401	40	40	20

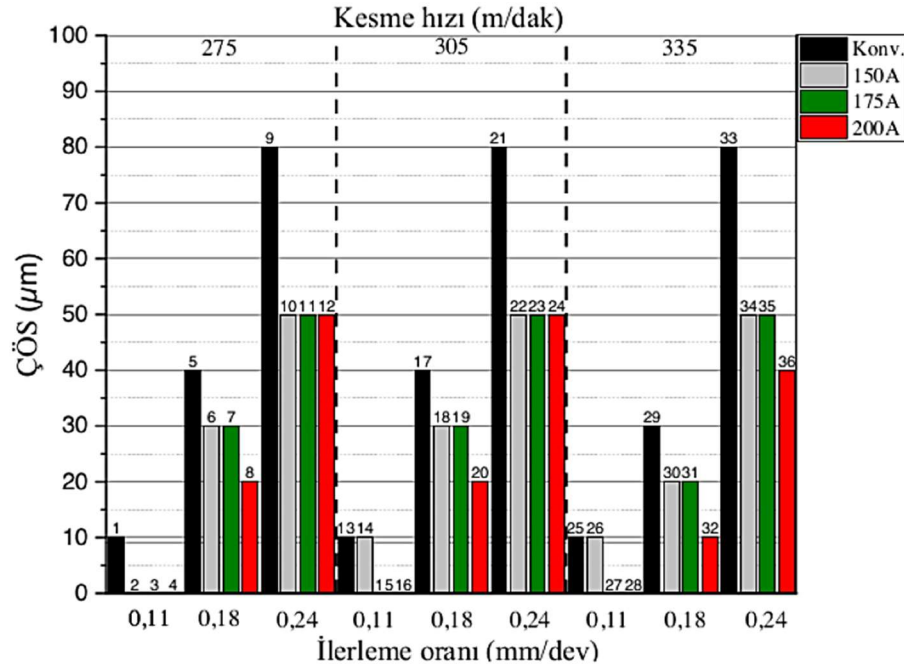
49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin konvansiyonel olarak işlenmesinde kesme işleminden bir gün sonra yapılan ölçümlerde maksimum 70 μm ÇÖS görülürken aynı kesme şartlarında TIG esaslı IDİ yönteminde ÇÖS 40 μm ' a düşmektedir. 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin konvansiyonel işleme deneylerinde GBD maksimum 10 μm olarak gerçekleşirken TIG esaslı yapılan IDİ deneylerinde GBD maksimum 47 μm ' a çıkmaktadır.

Çizelge 6.21. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde ÇÖS (μm) ve GBD (μm) değerleri

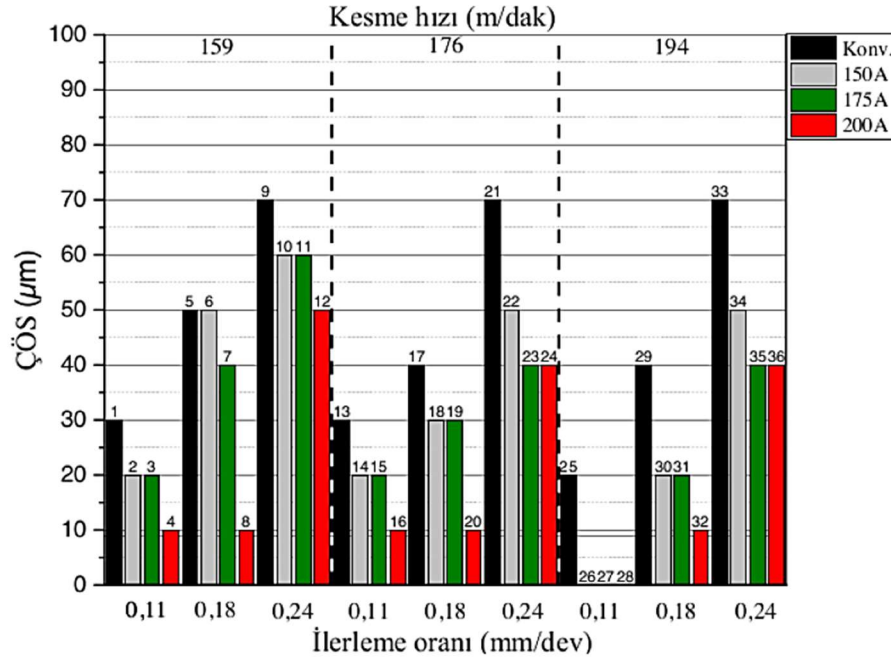
Deney Nu.	V (m/dak)	f (mm/dev)	I (Amper)	Pc (kW)	Esk (kJ/cm^3)	T _{mr} ($^{\circ}\text{C}$)	İşlemeden Hemen Sonra ÇÖS (μm)	İşlemeden 1 Gün Sonra ÇÖS (μm)	GBD (μm)
1	159	0,11	0	1,43	4,91	458	30	30	10
2	159	0,11	150	1,30	4,46	492	20	20	37
3	159	0,11	175	1,22	4,19	495	20	20	40
4	159	0,11	200	1,22	4,19	501	10	10	47
5	159	0,18	0	1,99	4,17	441	50	50	10
6	159	0,18	150	1,80	3,78	476	50	50	23
7	159	0,18	175	1,79	3,75	479	40	40	40
8	159	0,18	200	1,71	3,59	493	10	10	40
9	159	0,24	0	2,48	3,91	398	70	70	0
10	159	0,24	150	2,23	3,51	453	60	60	20
11	159	0,24	175	2,15	3,39	474	60	60	30
12	159	0,24	200	2,09	3,29	479	50	50	30
13	176	0,11	0	1,57	4,86	451	30	30	10
14	176	0,11	150	1,40	4,32	486	20	20	17
15	176	0,11	175	1,38	4,27	490	20	20	40
16	176	0,11	200	1,37	4,24	500	10	10	40
17	176	0,18	0	2,21	4,18	435	40	40	10
18	176	0,18	150	1,96	3,71	469	30	30	20
19	176	0,18	175	1,95	3,69	471	30	30	30
20	176	0,18	200	1,87	3,53	488	10	10	37
21	176	0,24	0	2,77	3,93	397	70	70	0
22	176	0,24	150	2,36	3,34	452	50	50	20
23	176	0,24	175	2,32	3,29	462	40	40	20
24	176	0,24	200	2,31	3,28	475	40	40	30
25	194	0,11	0	1,77	4,98	447	20	20	10
26	194	0,11	150	1,55	4,37	484	10	0	27
27	194	0,11	175	1,54	4,34	489	10	0	43
28	194	0,11	200	1,47	4,14	497	0	0	40
29	194	0,18	0	2,44	4,19	432	40	40	7
30	194	0,18	150	2,16	3,72	467	30	20	27
31	194	0,18	175	2,07	3,56	470	30	20	37
32	194	0,18	200	2,06	3,55	486	10	10	33
33	194	0,24	0	3,07	3,96	394	70	70	0
34	194	0,24	150	2,62	3,39	442	50	50	20
35	194	0,24	175	2,57	3,31	443	40	40	23
36	194	0,24	200	2,54	3,28	465	40	40	30

ÇÖS değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimini değerlendirmek için sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği ÇÖS değerlerine ait grafik Şekil 6.22’ de ve 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği ÇÖS değerlerine ait grafik Şekil 6.23’ de verilmiştir. Her iki grafik incelendiğinde ilerleme oranı (f) arttıkça ÇÖS değerinin büyüdüğü görülmektedir. Düşük ilerleme oranı (f) değerlerinde ÇÖS yönünden daha hassas parçalar üretilmektedir. Aynı kesme şartlarında akım şiddetindeki (I) artış ÇÖS değerine olumlu yönde etki etmektedir. Akım şiddeti (I) arttıkça ÇÖS düşmektedir. Kesme hızının (V) ÇÖS değerine

etkisi ilerleme oranı (f) ve akım şiddetinden (I) daha düşüktür. Kesme hızındaki (V) değişimin 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinde daha etkili olduğu görülmektedir. Kesme hızındaki (V) artış sertleştirilmemiş iş malzemesi ÇÖS değerinde en fazla 10 μm değişime neden olurken 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinde değişim 20 μm ' a ulaşmaktadır. Bu değişim, daha düşük kesme hızı (V) değerleri kullanılmasıyla IDİ yönteminin etkinliğini artırdığını göstermektedir.

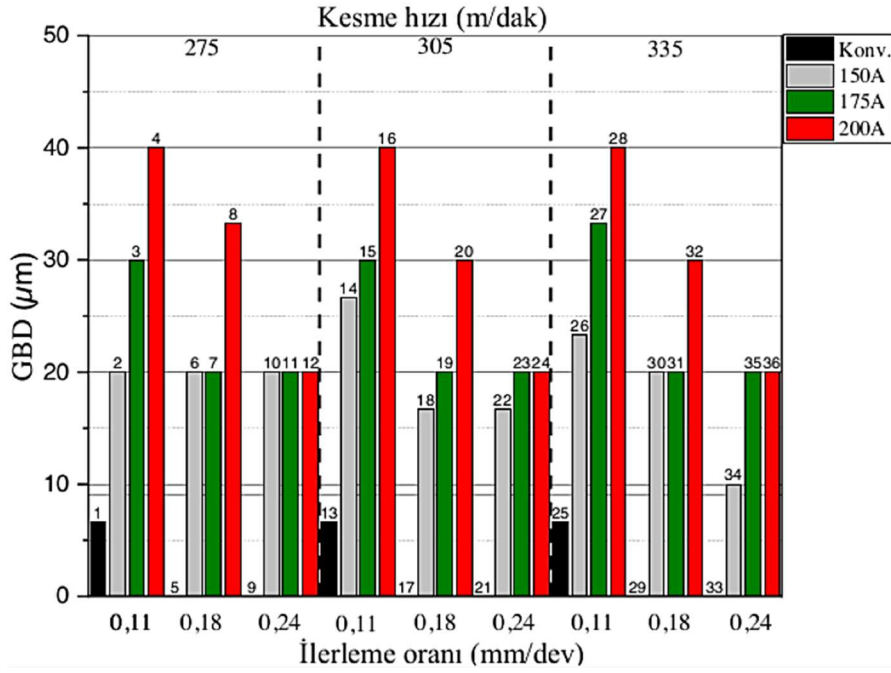


Şekil 6.22. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneyleri ÇÖS (μm) değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi

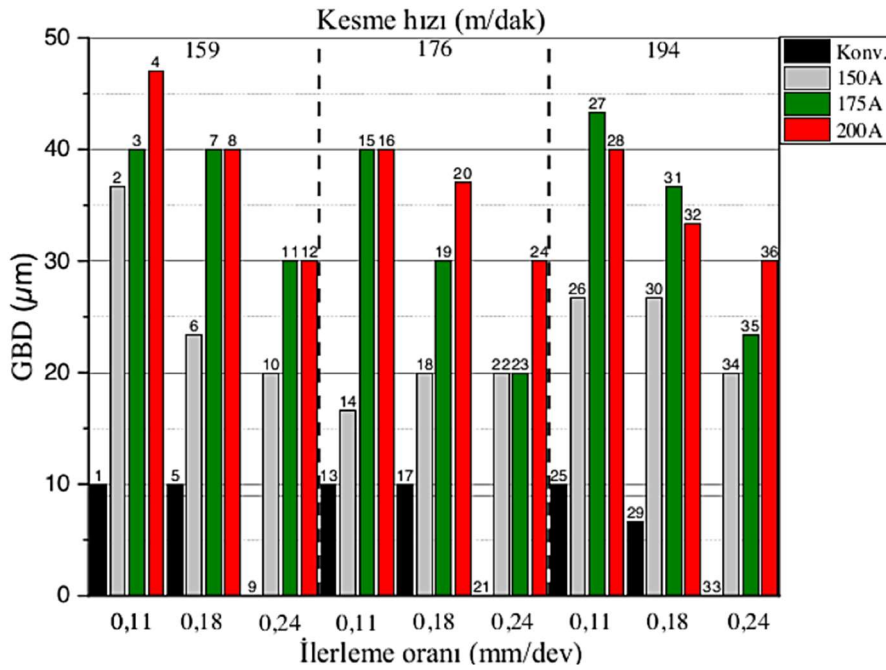


Şekil 6.23. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği ÇÖS (μm) değerlerinin işlem parametrelerine göre değişim

TIG esaslı IDİ yönteminde tungsten elektrot kesici takımın 2 mm önünde hareket ederek iş malzemesini ısıtmaktadır (Bkz. Şekil 5.5). Kesme ile eş zamanlı gerçekleşmeyen ön ısıtma nedeniyle üretilen ısının bir kısmı iş malzemesi kütesine dağılmaktadır. 1 gün sonra yapılan ölçümlerde Şekil 6.24 ve Şekil 6.25’ de görüldüğü gibi her iki malzemenin IDİ yöntemiyle işlenmiş numunelerinde GBD değerleri konvansiyonel işlemeye göre daha yüksek gerçekleşmiştir. 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin konvansiyonel yöntemle işlenmesinde oluşan GBD değerlerinin sertleştirilmemiş iş malzemesine kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin daha yüksek spesifik kesme enerjisi (E_{SK}) ile işlenmesi dolayısıyla açığa çıkan ısı miktarının daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.24. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği GBD (μm) değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi



Şekil 6.25. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği GBD (μm) değerlerinin işlem parametrelerine göre değişimi

İş malzemesinin montajı yapılacak bir parça olduğu düşünülecek olursa, ısının etkisi ortadan kalkacağı için kesmeden 1 gün sonra yapılan ölçüm sonuçları daha fazla önem taşımaktadır. İstatistiksel analiz iş malzemesinin tam olarak oda sıcaklığına geldiği 1 gün sonraki ÇÖS (μm) ve GBD (μm) verileri kullanılarak yapılmıştır. İstatistiksel analiz sonuçları

değerlendirildiğinde çevrimiçi ölçümlerle (P_c , T_{mr}) çevrim dışı ölçümler (ÇÖS, GBD) arasında bir ilişki olduğu görülmektedir. P_c ve ÇÖS değerinde en etkili işlem parametresinin ilerleme oranı (f) olduğu görülmektedir. P_c 'nin düşmesi ÇÖS değerinin düşmesini sağlamaktadır. Benzer ilişki T_{mr} ile GBD arasında bulunmaktadır. Her ikisinde de en etkili işlem parametresi akım şiddetidir (I). T_{mr} değerinin yükselmesi GBD miktarının artmasına neden olmaktadır.

ÇÖS değerine işlem parametrelerinin etkisi

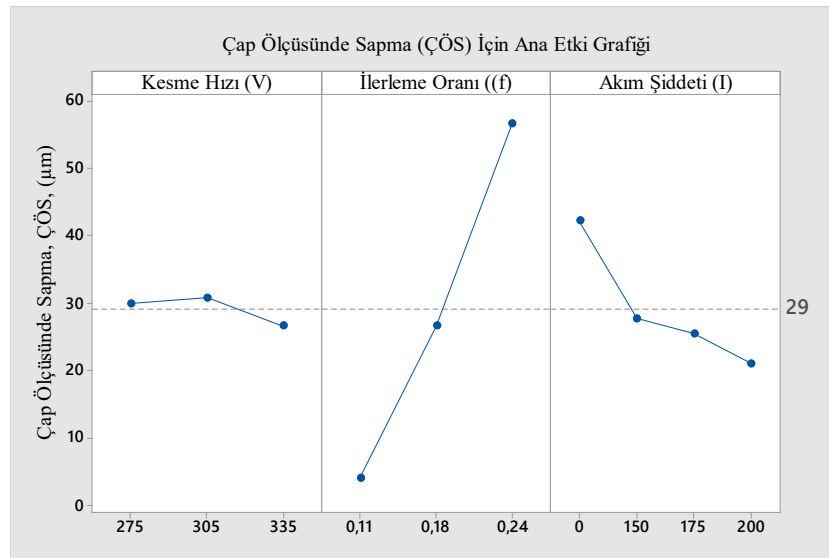
İşlem parametrelerinin ÇÖS değeri üzerindeki etkilerini incelemek için Çizelge 6.22 ve Çizelge 6.23' de ANOVA tabloları, Şekil 6.26 ve Şekil 6.27' de etki grafikleri verilmiştir. ANOVA tablolarında ÇÖS değeri üzerine en çok etki eden (%82,94-%62,29) işlem parametresinin ilerleme oranı (f) olduğu görülmektedir. İlerleme oranındaki (f) artış kesme kuvvetlerini artırmakta, talaş oluşumunu zorlaştırmakta bu da ÇÖS değerinin yükselmesine neden olmaktadır. Akım şiddetinin (I) etkisine bakıldığında TIG esaslı IDİ yönteminin ÇÖS değeri üzerinde önemli ve anlamlı bir katkıya sahip olduğu görülmektedir. Bu katkının 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinde daha yüksek olduğu Çizelge 6.23' de görülmektedir. 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin spesifik kesme enerjisi (E_{sk}) değerlerine (Bkz. Şekil 6.9) bakıldığında ön ısıtma sayesinde E_{sk} değerinde önemli bir azalma sağlandığı ve 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin sertleştirilmemiş iş malzemesi özelliği gösterdiği görülmektedir. Kesme hızının (V) sertleştirilmemiş iş malzemesi ÇÖS değeri üzerine etkisinin önemsiz olduğu görülmektedir. Ancak 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinde daha düşük kesme hızı (V) değerlerinin kullanılması ön ısıtmanın etkisini artırmaktadır. Bu nedenle sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde kesme hızının (V) ÇÖS üzerine etkisi önemsiz düzeydeyken 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde %7,37 gibi anlamlı bir katkı düzeyine ulaşmıştır.

Çizelge 6.22. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde ÇÖS (μm) için ANOVA sonuçları

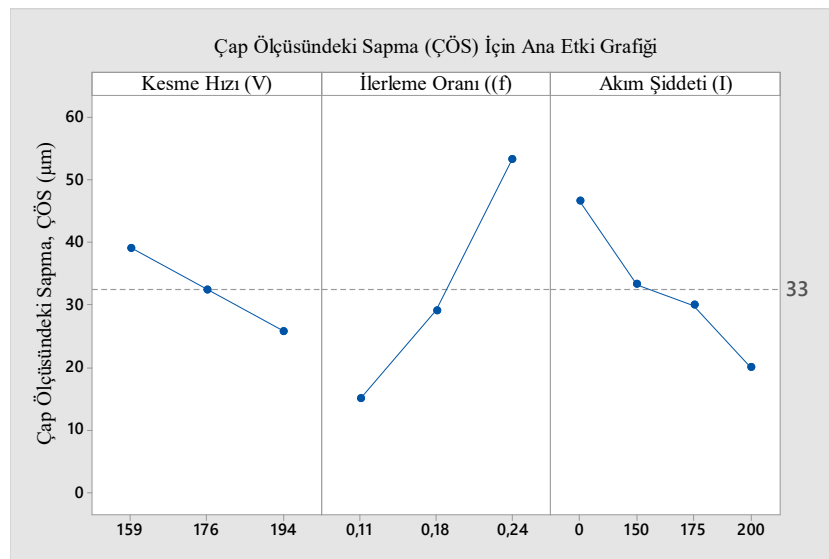
Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Katkı Oranı (%)
Kesme Hızı (V)	2	116,67	58,33	1,55	0,2305	0,58%
İlerleme Oranı (f)	2	16650	8325	220,83	0,0000	82,94%
Akım Şiddeti (I)	3	2252,78	750,93	19,92	0,0000	11,22%
Hata	28	1055,56	37,70			5,26%
Toplam	35	20075				100,00%

Çizelge 6.23. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde ÇÖS (μm) için ANOVA sonuçları

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Katkı Oranı (%)
Kesme Hızı (V)	2	1066,67	533,33	13,37	0,0001	7,37%
İlerleme Oranı ((f))	2	9016,67	4508,33	113,04	0,0000	62,29%
Akım Şiddeti (I)	3	3275	1091,67	27,37	0,0000	22,63%
Hata	28	1116,67	39,88			7,71%
Toplam	35	14475				100,00%



Şekil 6.26. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin ÇÖS (μm) üzerine etkisi



Şekil 6.27. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin ÇÖS (μm) üzerine etkisi

GBD değerine işlem parametrelerinin etkisi

İşlem parametrelerinin GBD değeri üzerindeki etkilerini incelemek için Çizelge 6.24 ve Çizelge 6.25’ de ANOVA tabloları, Şekil 6.28 ve Şekil 6.29’ da etki grafikleri verilmiştir. ANOVA tablolarında GBD değeri üzerine en çok etki eden (%77,58-%79,38) işlem parametresinin akım şiddeti (I) olduğu görülmektedir. Akım şiddetini (I) artırarak sağlanan ilave ısının bir kısmı kesme ile eş zamanlı yapılamayan ön ısıtma nedeniyle iş malzemesi kütlesine dağılmaktadır. Bu durum sadece kesme bölgesinin değil iş malzemesinin tamamının ısınmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla T_{mr} (°C) artarken GBD (μm) değerinde de bir artış görülmektedir. T_{mr} ve GBD değeri üzerinde en etkili işlem parametresinin akım şiddeti (I) olması sonuçlar arasında bir ilişki olduğunu göstermektedir.

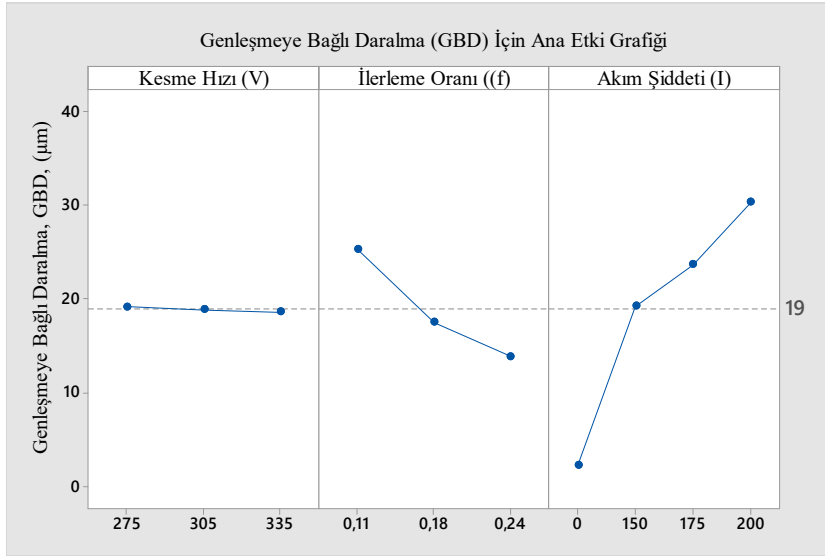
Çizelge 6.24. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde GBD (μm) için ANOVA sonuçları

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Katkı Oranı (%)
Kesme Hızı (V)	2	1,85	0,92	0,08	0,9204	0,04%
İlerleme Oranı (f)	2	812,88	406,44	36,58	0,0000	16,19%
Akım Şiddeti (I)	3	3896,52	1298,84	116,88	0,0000	77,58%
Hata	28	311,14	11,11			6,20%
Toplam	35	5022,38				100,00%

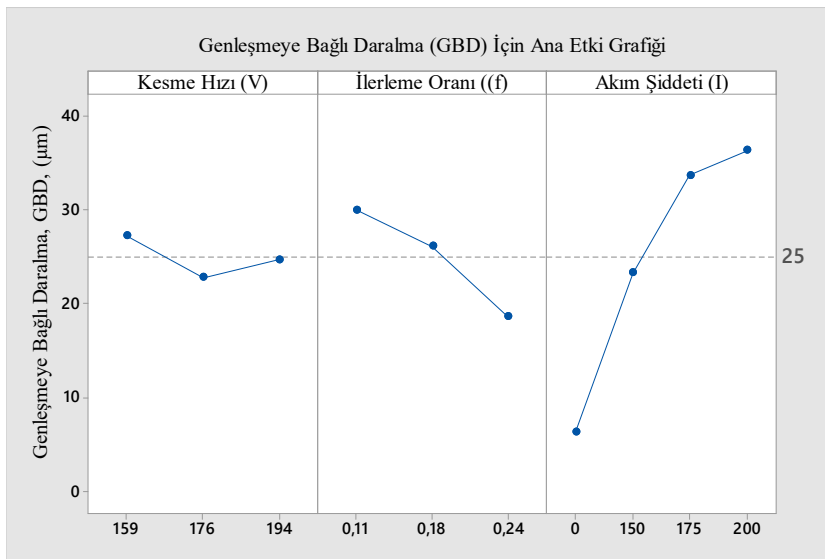
Çizelge 6.25. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde GBD (μm) için ANOVA sonuçları

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Katkı Oranı (%)
Kesme Hızı (V)	2	119,27	59,63	4,44	0,0211	1,89%
İlerleme Oranı (f)	2	808,52	404,26	30,12	0,0000	12,79%
Akım Şiddeti (I)	3	5018,62	1672,87	124,63	0,0000	79,38%
Hata	28	375,84	13,42			5,94%
Toplam	35	6322,25				100,00%

İlerleme oranının (f) GBD üzerine etkisine bakıldığında önemli ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Düşük ilerleme oranlarında (f) işleme süresi uzamakta ve ısı girdisi artmaktadır. Bu da boyutsal ölçümlerde GBD değerinin artmasına neden olmaktadır. Kesme hızının (V) GBD üzerinde belirgin bir etkisi görülememiştir. Bu durum kesme hızının (V) T_{mr} üzerinde en az etkiye sahip işlem parametresi olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.28. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin GBD (μm) üzerine etkisi



Şekil 6.29. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği deneylerinde işlem parametrelerinin GBD (μm) üzerine etkisi

6.3. TIG Esaslı İşleme Yönteminin Dezavantajları

IDİ yönteminde TIG tekniğinin kullanılabilmesi için öncelikle işlenecek malzemenin elektrik iletkenliğine sahip olması gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığında TIG tekniği, lazer ve plazmanın sunduğu farklı mühendislik malzemelerini işleme esnekliğine sahip değildir. IDİ yönteminde ısınan talaş sürekli talaş formuna geçmeye çalışmakta ve düzleşmektedir. Talaşın bu yapısı kontrolünü zorlaştırmaktadır. TIG yönteminde ark oluşabilmesi için elektrot ucu ile iş parçası arasında bir ark mesafesi bulunması şarttır. TIG esaslı IDİ

yönteminde elektrot ve iş parçası arasındaki arkın kesilmesi deneylerde karşılaşılan başlıca problem olmuştur. Resim 6.15 (a)' da görüldüğü gibi talaş elektrot ile iş malzemesi arasına girerek kısa devreye neden olmaktadır. Dinamik gerçekleşen talaş kaldırma işleminde ark mesafesinin korunması zorunluluğu TIG esaslı IDİ yönteminin en büyük dezavantajıdır. Uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi ve torcun doğru konumlandırılması bu olumsuzluğun azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Resim 6.15 (b)' de kısa devre nedeniyle zarar gören elektrot gösterilmektedir. Gerek kısa devre gerekse ark esnasında gerçekleşen aşınmalar elektrotun sık sık bilenmesini gerektirmektedir.

TIG esaslı IDİ yönteminin diğer bir dezavantajı kesme ile eş zamanlı gerçekleşmeyen ön ısıtma nedeniyle iş malzemesi çapında görülen GBD' dir. İşlem parametrelerinin bu değer üzerindeki etkilerine deneysel çalışmalar içinde yer verilmiştir. Bu problemin literatürde herhangi bir çalışma olmaması nedeniyle lazer hariç diğer enerji kaynaklarında da görülebileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca yüksek sıcaklıktaki talaşın ve uzun süreli kullanımlarda kaynak arkının yaydığı UV ışınlarının operatörü olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir.



(a)



(b)

Resim 6.15. Yüksek ısı nedeniyle talaş düzleşmesi (a), kısa devre nedeniyle bozulan elektrot ucu (b)

7. KARAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada IDİ için alternatif bir enerji kaynağı olarak TIG tekniği kullanılmış, konvansiyonel işleme ve TIG esaslı IDİ deneyleri ile yöntemin uygulanabilirliği, avantajları ve dezavantajları araştırılmıştır. Tarama ve tam faktöriyel deney tasarımı yöntemlerine göre hazırlanmış deney planları çerçevesinde deneyler yapılmıştır. Çevrimiçi ölçümlerde kesme işleminde harcanan güç (P_c) ve talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr}) ölçülmüştür. Çevrimdışı ölçümlerde yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve talaş oluşumları incelenmiş, ÇÖS değerini belirlemek için boyutsal ölçümler yapılmıştır. Ölçülen verilerden yola çıkılarak spesifik kesme enerjisi (E_{SK}) ve yığılma faktörü (λ) hesaplanmıştır. Deneylerde elde edilen sonuçlar tartışılmış ve istatistiksel analizi (ANOVA, etki grafikleri) yapılmıştır. Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Ön deneylerde iş malzemesi yüzeyinden ölçülen sıcaklık farkına en çok etki eden işlem parametrelerinin sırasıyla akım şiddeti (I), ilerleme oranı (f) ve kesme hızı (V) olduğu belirlenmiştir. TIG esaslı IDİ yöntemi sayesinde talaş oluşumu kolaylaşır ve yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerlerinde iyileşme sağlanır. Isıtma derinliği kesme derinliğini (a_p) aştığında işlenmiş yüzeyde renk değişimi meydana gelir.
- Kesme hızı (V) ve ilerleme oranı (f) değerlerinin artmasıyla TKO artar, bunun fiziksel bir sonucu olarak P_c artar. TIG esaslı IDİ yönteminde işleme süresinin kısalması ve TKO artışı ısı girdisini azalttığı için T_{mr} düşer. Buna karşılık akım şiddetindeki (I) artış T_{mr} değerinin artmasını sağlar, böylece plastik deformasyon kolaylaşır ve P_c değeri düşer. TIG esaslı IDİ yöntemi sayesinde sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğin P_c değerinde %20,92 ve 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliğin P_c değerinde %17,13 azalma sağlanmıştır.
- Sertleştirilmemiş ve 49 HRC sertliğinde sertleştirilmiş AISI 4340 çeliği P_c değerleri karşılaştırıldığında 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin daha düşük P_c değerleri ile işlendiği görülmüştür. Ancak spesifik kesme enerjisi (E_{SK}) hesaplandığında 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinden birim hacimdeki malzemeyi kesmek için daha fazla enerji harcanması gerektiği bulunmuştur. İş malzemesinin sertliği arttıkça E_{SK} değeri yükselir.
- TIG esaslı IDİ yöntemi E_{SK} değerinin düşmesini sağlar, TKO arttıkça E_{SK} azalır. Böylece TIG esaslı IDİ yöntemi TKO arttıkça daha ekonomik bir yöntem haline gelir. Ön ısıtma için ekstra elektrik enerjisi tüketilir, buna karşın soğutma sıvısının kullanılmaması, kesme işleminin karbür kesici takımlarla gerçekleştirilmesi ve yüzey kalitesinin iyileşmesi TIG esaslı IDİ yönteminin maliyetinin düşmesini sağlar.

- Konvansiyonel işlemeye kıyasla TIG esaslı IDİ yönteminde kesme işlemi daha stabil gerçekleşir. TIG esaslı IDİ yönteminin kullanılması düşük ilerleme oranlarında (f) karşılaşılan ani güç artışını engeller.
- Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliğinin TIG esaslı IDİ yöntemi ile işlenmesinde T_{mr} konvansiyonel işlemeye göre maksimum %71,70 artmıştır. Bu artış 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinde daha düşük bir oranda (%20,41) gerçekleşmiştir. Kesme işleminde harcanan mekanik enerjinin büyük bir kısmı ısıya dönüşür. 49 HRC sertliğindeki iş malzemesinin konvansiyonel yöntemle işlenmesi yüksek E_{SK} ile gerçekleşir. Buna bağlı olarak konvansiyonel işleme ve IDİ yöntemi arasındaki sıcaklık farkı azalır.
- İşlem parametrelerinin T_{mr} üzerindeki etki düzeyleri sırasıyla akım şiddeti (I), ilerleme oranı (f) ve kesme hızı (V) şeklindedir. Kesme hızı (V) T_{mr} üzerinde en düşük etkiye sahip işlem parametresidir. Birbirine yakın kesme hızı (V) değerleri kullanılması bu duruma neden olmuştur.
- TIG esaslı IDİ yönteminde T_{mr} arttıkça talaşın plastik deformasyonu kolaylaşır. IDİ yönteminde, kesme bölgesi sıcaklığının yükseltilmesi metal atomları arasındaki bağ kuvvetini zayıflattığı için kesme işlemi kolaylaşır. Talaşların talaş-takım temas yüzeyleri incelendiğinde konvansiyonel işlemede meneviş rengi, IDİ yönteminde metalik bir renk oluşur.
- IDİ yönteminde yığılma faktörünün (λ) düşmesi talaşın plastik deformasyonunun kolaylaştığını gösterir. λ üzerindeki en etkili işlem parametresi ilerleme oranıdır (f). İlerleme oranı (f) aynı zamanda P_c değeri ve ÇÖS değeri üzerindeki en etkili işlem parametresidir. Kesme hızı (V) ve akım şiddetindeki (I) artış talaş oluşumunu kolaylaştırırken ilerleme oranındaki (f) artış kesme kuvvetlerini artırır ve talaşın plastik deformasyonunu zorlaştırır.
- P_c değerinin ön ısıtma ile düşürülmesi ÇÖS değerini düşürür. TIG esaslı IDİ yönteminde ÇÖS değerinde $40 \mu m'$ a varan bir azalma meydana gelir. Bu açıdan bakıldığında TIG esaslı IDİ ile daha dairesel parçaların üretilmesi mümkündür.
- T_{mr} değerinin artması yüzey pürüzlülüğündeki (R_a) iyileşmeyi olumlu yönde etkiler. TIG esaslı IDİ yöntemi sayesinde sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği R_a değerinde %21,52 ve 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği R_a değerinde %22,28 iyileşme sağlanmıştır. Yüzey pürüzlülüğünü (R_a) azaltmak için düşük ilerleme oranı (f) ve yüksek akım şiddeti (I) değerlerini kullanmak gerekir.
- Kesme anında yığılan talaşın kısa devreye neden olmaması için tungsten elektrot ve kesici takım aynı hızda konumlandırılmamıştır. Ark oluşumu kesme bölgesinde

gerçekleşmediği için TIG tekniği ile üretilen ısının bir kısmı iş malzemesi kütesine dağılır. Kütle boyunca dağılan ısı iş malzemesinin genişlemesine neden olur. Kesmeden bir gün sonra yapılan ölçümlerde iş malzemesi çapında maksimum 47 µm GBD olduğu görülmüştür.

- T_{mr} , Ra değeri iyileşme oranı (%) ve GBD üzerinde en etkili işlem parametresi akım şiddetidir (I). Akım şiddetindeki (I) artış T_{mr} değerinin artmasını sağlar, T_{mr} arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalır. Kesme ile eş zamanlı yapılamayan ön ısıtma nedeniyle T_{mr} arttıkça iş malzemesi kütesine dağılan ısı artar bu da GBD değerinin artmasına neden olur.
- TIG tekniği IDİ için uygulanabilir bir enerji kaynağıdır. Ayrıca diğer enerji kaynaklarına göre erişimi kolay ve bakım maliyeti düşük bir enerji kaynağıdır. TIG tekniğinde lazere benzer şekilde dar bir spotta ön ısıtma yapmak mümkündür. TIG tekniğinin parametrik ayarları (akım şiddeti, koruyucu gaz debisi) hassas bir şekilde yapılabilir.

TIG esaslı IDİ yöntemi deneylerinde belirlenen olumsuzluklar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- TIG tekniği sadece elektrik iletkenliğine sahip iş malzemelerinin işlenmesinde kullanılabilecek bir enerji kaynağıdır.
- TIG tekniğinde ark oluşabilmesi için elektrot ucu ile iş parçası arasında bir ark mesafesi bulunması şarttır. Dinamik gerçekleşen talaş kaldırma işleminde ark mesafesinin korunması TIG tekniğinin zorluklarından birisidir.
- Isınan talaşın düzleşmesi talaşın kontrolünü zorlaştırır, yüksek sıcaklıktaki talaş operatör için tehlike oluşturur. Kontrol edilemeyen talaş, elektrot ve iş parçası arasına girerek kısa devreye neden olur ve arkı sonlandırır.
- Kesme ile eş zamanlı gerçekleşmeyen ön ısıtma ısının bir kısmının iş malzemesi kütesine dağılmasına neden olur. İş malzemesinin soğumasıyla ortaya çıkan GBD, hassas boyutsal toleranslara sahip parçaların üretimini zorlaştırır.
- Uzun süreli kullanımlarda UV ışınları operatörü olumsuz yönde etkiler.

TIG esaslı IDİ yönteminde elde edilen bulgular umut vericidir. Ancak etkileşim durumlarını açıklamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Bu çalışma alanının geliştirilip genişletilmesi için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir.

- Su soğutmalı sisteme sahip bir TIG kaynak makinesi ile deneylerde daha yüksek akım şiddeti (I) değerleri kullanılabilir.
- Düşük kesme hızları (V) ve yüksek kesme derinliği (a_p) değerlerine sahip ağır işleme şartlarında TIG esaslı IDİ yönteminin konvansiyonel işlemeye göre üstünlükleri araştırılabilir.

- TIG esaslı IDİ yönteminin kanal açma, vida açma ve delme gibi farklı kesme işlemlerindeki etkinliği araştırılabilir.
- Boyutsal ölçümler koordinat ölçüm cihazlarında yapılarak boyutsal kararlılık çalışmaları geliştirilebilir.
- İşlenen malzemeye uygun kalitede kaplamalı karbür veya seramik kesici takımların kullanılması TIG esaslı IDİ yönteminin verimliliğini artırabilir.
- TIG esaslı IDİ yönteminin iş malzemesinin mikro yapısına ve sertliğine etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Shokrani, A., Dhokia, V., Newman S.T. (2012). Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 57 (1), 83–101.
2. Wang, Z. Y., Rajurkar, K. P. (2000). Cryogenic machining of hard-to-cut materials. *Wear*, 239(2), 168-175.
3. Hosokawa, A., Ueda, T., Onishi, R., Tanaka, R., Furumoto, T. (2010). Turning of difficult-to-machine materials with actively driven rotary tool. *CIRP annals*, 59 (1), 89-92.
4. Dhar, N. R., Kamruzzaman, M., Ahmed, M. (2006). Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI 4340 steel. *Journal of materials processing technology*, 172(2), 299-304.
5. Jeon, Y., Park, H. W., Lee, C. M. (2013). Current research trends in external energy assisted machining. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 14(2), 337-342.
6. Kalpakjian, S. (2009). *Manufacturing engineering and technology*. (Sixth edition). London: Pearson Education, 64, 869- 871.
7. Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*. (Fourth edition). New Jersey: John Wiley & Sons, 57,717.
8. Madhavulu, G., Ahmed, B. (1994). Hot machining process for improved metal removal rates in turning operations. *Journal of Materials Processing Technology*, 44(3-4), 199-206.
9. Xavierarockiaraj, S., Kuppan, P. (2014). Investigation of cutting forces, surface roughness and tool wear during laser assisted machining of SKD11 Tool steel. *Procedia Engineering*, 97 (1), 1657-1666.
10. Skvarenina, S., Shin, Y. C. (2006). Laser-assisted machining of compacted graphite iron. *International Journal of Machine tools and manufacture*, 46(1), 7-17.
11. Dandekar, C. R., Shin, Y. C., Barnes, J. (2010). Machinability improvement of titanium alloy (Ti–6Al–4V) via LAM and hybrid machining. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50(2), 174-182.
12. Ukar, E., Lamikiz, A., de Lacalle, L. L., Del Pozo, D., Arana, J. L. (2010). Laser polishing of tool steel with CO2 laser and high-power diode laser. *International Journal of machine tools and manufacture*, 50(1), 115-125.
13. Lajis, M. A., Amin, A. N., Karim, A. M., Radzi, H. C. D. M., Ginta, T. L. (2009). Hot machining of hardened steels with coated carbide inserts. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(2), 421-427
14. Ding, H., Shin, Y. C. (2010). Laser-assisted machining of hardened steel parts with surface integrity analysis. *International Journal of Machine tools and manufacture*, 50(1), 106-114.

15. Dandekar, C. R., Shin, Y. C. (2013). Experimental evaluation of laser-assisted machining of silicon carbide particle-reinforced aluminum matrix composites. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66(9-12), 1603-1610.
16. Lonikar, K. V. (2015). Laser assisted machining (LAM) of Inconel 718 with thermal modeling and analysis of process parameters. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 4(7), 308-312.
17. Venkatesan, K., Ramanujam, R., Kuppan, P. J. P. E. (2014). Laser assisted machining of difficult to cut materials: research opportunities and future directions-a comprehensive review. *Procedia Engineering*, 97 (1), 1626-1636.
18. Dabade, U. A., Jadhav, M. R. (2016). Experimental study of surface integrity of Al/SiC particulate metal–matrix composites in hot machining. *Procedia CIRP*, 41 (1), 914-919.
19. Amin, A. N., Dolah, S. B., Mahmud, M. B., Lajis, M. A. (2008). Effects of workpiece preheating on surface roughness, chatter and tool performance during end milling of hardened steel D2. *Journal of Materials Processing Technology*, 201(1-3), 466-470.
20. Rao, T. B. (2020). Reliability analysis of the cutting tool in plasma-assisted turning and prediction of machining characteristics. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 1(1), 1-15.
21. Kttagawa, T., & Maekawa, K. (1990). Plasma hot machining for new engineering materials. *Wear*, 139(2), 251-267.
22. Tosun, N., Ozler, L. (2004). Optimization for hot turning operations with multiple performance characteristics. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 23(11), 777-782.
23. Ranganathan, S., & Senthilvelan, T. (2011). Multi-response optimization of machining parameters in hot turning using grey analysis. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 56(5-8), 455-462.
24. Barrow, G. (1968). *The effect of hot machining by electric current on the mechanics of orthogonal cutting*. In advances in machine tool design and research 1967, Pergamon, 795-819.
25. Xu, W., Liu, X., Sun, J., Zhang, L. (2013). Finite element simulation and experimental research on electric hot machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66(1-4), 407-415.
26. Garcí, V., Arriola, I., Gonzalo, O., Leunda, J. (2013). Mechanisms involved in the improvement of Inconel 718 machinability by laser assisted machining (LAM). *International journal of machine tools and manufacture*, 74 (1), 19-28.
27. Nurul Amin, A. K. M., Arif, M. D., Rasdi, N. H. B. M., Mahmud, K. S. B., Ibrahim, A. H. B., Zawani, M. F. B., Malik, A. F. B. A. (2013). Identification of optimum heating temperature in thermal assisted turning of stainless steel using three different approaches. *In Applied Mechanics and Materials*, 393 (1), 194-199.
28. Baghel, P. K., Nagesh, D. S. (2017). Pulse TIG welding: Process, Automation and Control. *Journal of Welding and Joining*, 35(1), 43-48.

29. Shah, S. R., Parikh, R. H., Chavda, J. R., Sheth, N. R. (2013). Application of Plackett–Burman screening design for preparing glibenclamide nanoparticles for dissolution enhancement. *Powder technology*, 235 (1), 405-411.
30. ELLIS, J., & BARROW, G. (1970). *Contact resistance methods of hot machining*. In advances in machine tool design and research 1969, Pergamon, 253-266.
31. Kannan, M. V., Kuppan, P., Kumar, A. S., Kumar, K. R., Jegaraj, J. J. R. (2014). Effect of laser scan speed on surface temperature, cutting forces and tool wear during laser assisted machining of alumina. *Procedia Engineering*, 97 (1), 1647-1656.
32. Uğraş, A., Kafkas, F., (2019). *Isı destekli işlemede TIG tekniğinin uygulanabilirliği*. 10th international congress on machining, Antalya, 69-75.
33. Leshock, C. E., Kim, J. N., Shin, Y. C. (2001). Plasma enhanced machining of inconel 718: modeling of workpiece temperature with plasma heating and experimental results. *International journal of machine tools and manufacture*, 41(6), 877-897.
34. Maity, K. P., Swain, P. K. (2008). An experimental investigation of hot-machining to predict tool life. *Journal of materials processing technology*, 198(1-3), 344-349.
35. Özler, L., Inan, A., Özel, C. (2001). Theoretical and experimental determination of tool life in hot machining of austenitic manganese steel. *International journal of machine tools and manufacture*, 41(2), 163-172.
36. Prajapati, R. M. H. (2014). *Experimental investigation on effect of machining parameters on surface roughness in thermally assisted turning of mild steel*. International Conference on Multidisciplinary Research & Practice, 1(8), 488-489.
37. Lee, Y. H., & Lee, C. M. (2019). A study on optimal machining conditions and energy efficiency in plasma assisted machining of Ti-6Al-4V. *Materials*, 12(16), 1-14.
38. Sun, S., Brandt, M., and Dargusch, M.S. (2010). Thermally enhanced machining of hard-to-machine materials - A review. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 50(1), 663–680.
39. Shelton, J. A., Shin, Y. C. (2010). Experimental evaluation of laser-assisted micromilling in a slotting configuration. *Journal of manufacturing science and engineering*, 132(2), 1-9.
40. Kumar, M., Melkote, S., Lahoti, G. (2011). Laser-assisted microgrinding of ceramics. *CIRP annals*, 60(1), 367-370.
41. Luo, J., Ding, H., Shih, A. J. (2005). Induction-heated tool machining of elastomers — part 2: chip morphology, cutting forces, and machined surfaces. *Machining Science and Technology*, 9(1), 567–588.
42. Uehara, K., Sakurai, M., Takeshita, H. (1983). Cutting performance of coated carbides in electric hot machining of low machinability metals. *CIRP Annals*, 32(1), 97-100.
43. Kainth, G. S., Chaturvedi, M. N. (1975). Theoretical investigation of temperature in hot machining. *International Journal of Machine Tool Design and Research*, 15(4), 241-256.
44. Trajkovski, S. (1996). Influence of current density on surface finish and production rate in hot machining of austenitic manganese steel. *Advanced Manufacturing Systems and Technology*, 372(1), 535-542.

45. Xu,L.Y., Wu,Q., Ye,B.Y., Hu, X.F., Li,ZH., Qu,X.(2010). Heating current control in electric hot minipore drilling hard-to-cut material. *Applied mechanics and materials*, 35(1), 1605-1608.
46. Black, J.T., Kohser, R.A. (2008). *DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing*. (Tenth Edition). New Jersey: John Wiley&Sons, 860,861.
47. Anık, S. (1991). *Kaynak Tekniği El Kitabı*. İstanbul: Gedik Yayınları, 22, 85.
48. Muncaster, P.T. (1991). *Practical TIG(GTA) Welding*. Cambridge: Abington Publishing, 6, 12, 26, 28, 67, 84.
49. Komaç, E. (2014). *Teknik Eğitim El Kitabı*. Kocaeli: Askaynak. 48,50,51.
50. Askaynak (2019). *İnverter 201 TIG Kaynak Makinesi Kullanım Kılavuzu*. Kocaeli: Askaynak, 12.
51. Kırmacı, A.T. (2007). *Tungsten Elektrotların Hazırlanması ve Seçilmesi için İpuçları*. Kocaeli: Askaynak, 4-7.
52. Anık, S., Vural, M. (1991) *Gazaltı Ark Kaynağı (TIG-MIG-MAG)*. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı, 81.
53. Cebora (2005). *2030M İnvertör Kaynak Makinesi Kataloğu*. Bologna: Cebora, 8-13.
54. Opderbecke, T., Guiheux, S. (2009). TOPTIG: Robotic TIG welding with integrated wire feeder. *Welding International*, 23(7), 523-529.
55. Bacioiu, D., Melton, G., Papaelias, M., Shaw, R. (2019). Automated defect classification of SS304 TIG welding process using visible spectrum camera and machine learning. *NDT & E International*, 107(1), 1-9.
56. Kapil, S., Kulkarni, P., Joshi, P., Negi, S., Karunakaran, K. P. (2019). Retrofitment of a CNC machine for omni-directional tungsten inert gas cladding. *Virtual and Physical Prototyping*, 14(3), 293-306.
57. Vasudeva, B.P., Puneet, N.P., Akshay Kumar, B.V. (2016). *Evaluation of cutting zone temperature in turning of aisi 4340 steel using various tool inserts*. National conference on advances in mechanical engineering science, 115-118.
58. Dhar, N., Islam, S. & Kamruzzaman, M. (2007). Effect of minimum quantity lubrication (mql) on tool wear, surface roughness and dimensional deviation in turning AISI 4340 steel. *Gazi university journal of science*, 20 (2), 23-32.
59. Deepakkumar, P. H., Sadaiah, M. (2011). Investigations on finish turning of AISI 4340 steel in different cutting environments by CBN insert. *International journal of engineering science and technology*, 3(10), 7690-7706.
60. Naigade, D. M., Patil, D. H., Sadaiah, M. (2013). Some investigations in hard turning of AISI 4340 alloy steel in different cutting environments by CBN insert. *International journal of machining and machinability of materials*, 14(2), 165-193.
61. Islam, M. N. (2013). Effect of additional factors on dimensional accuracy and surface finish of turned parts. *Machining science and technology*, 17(1), 145-162.

62. Kumar, S., Singh, D., Kalsi, N. S. (2016). Surface quality evaluation of AISI 4340 steel having varying hardness during machining with TiN-coated CBN inserts. *Proceedings of the institution of mechanical engineers, Part J: Journal of engineering tribology*, 231(7), 925-933.
63. More, A. S., Jiang, W., Brown, W. D., & Malshe, A. P. (2006). Tool wear and machining performance of cBN–TiN coated carbide inserts and PCBN compact inserts in turning AISI 4340 hardened steel. *Journal of materials processing technology*, 180(1-3), 253-262.
64. Suresh, R., Basavarajappa, S., Gaitonde, V. N., Samuel, G. L. (2012). Machinability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated carbide insert. *International journal of refractory metals and hard Materials*, 33(1), 75-86.
65. Masood, S. H., Armitage, K., Brandt, M. (2011). An experimental study of laser-assisted machining of hard-to-wear white cast iron. *International journal of machine tools and manufacture*, 51(6), 450-456.
66. Attia, H., Tavakoli, S., Vargas, R., & Thomson, V. (2010). Laser-assisted high-speed finish turning of superalloy Inconel 718 under dry conditions. *CIRP annals*, 59(1), 83-88.
67. Rashid, R. R., Sun, S., Palanisamy, S., Wang, G., & Dargusch, M. S. (2014). A study on laser assisted machining of Ti10V2Fe3Al alloy with varying laser power. *The International journal of advanced manufacturing technology*, 74(1-4), 219-224.
68. Rozzi, J. C., Pfefferkorn, F. E., Incropera, F. P., Shin, Y. C. (2000). Transient, three-dimensional heat transfer model for the laser assisted machining of silicon nitride: I. Comparison of predictions with measured surface temperature histories. *International journal of heat and mass transfer*, 43(8), 1409-1424.
69. Wang, Y., Yang, L. J., Wang, N. J. (2002). An investigation of laser-assisted machining of Al₂O₃ particle reinforced aluminum matrix composite. *Journal of materials processing technology*, 129(1-3), 268-272.
70. Moon, S. H., Lee, C. M. (2018). A study on the machining characteristics using plasma assisted machining of AISI 1045 steel and Inconel 718. *International journal of mechanical sciences*, 142(1), 595-602.
71. Liu, X., Zhang, F., Liu, J., Zhang, J., Chen, Y., Zhang, Z., ... & Sun, J. (2020). Atmospheric pressure plasma-assisted precision turning of pure iron material. *The International journal of advanced manufacturing technology*, 106(11), 5187-5197.
72. Lo'pez de Lacalle, L. N., Sa' nchez, J. A., Lamikiz, A., Celaya, A. (2004). Plasma assisted milling of heat-resistant superalloys. *Journal of manufacturing science and engineering*, 126(2), 274-285.
73. Kim, J. H., Kim, E. J., Lee, C. M. (2020). A study on the heat affected zone and machining characteristics of difficult-to-cut materials in laser and induction assisted machining. *Journal of Manufacturing Processes*, 57(1), 499-508.
74. Ha, J. H., & Lee, C. M. (2019). A study on the thermal effect by multi heat sources and machining characteristics of laser and induction assisted milling. *Materials*, 12(7), 1-22.

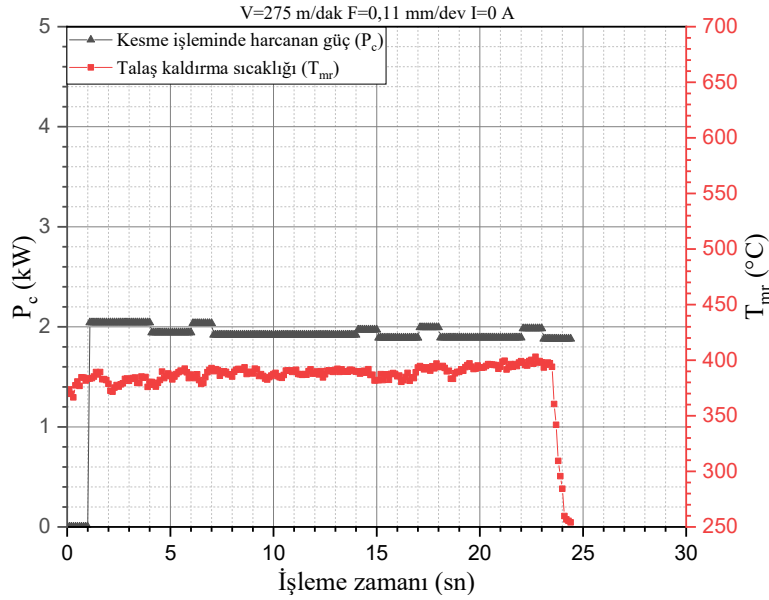
75. Sun, S., Harris, J., Brandt, M. (2008). Parametric investigation of laser-assisted machining of commercially pure titanium, *Advanced Engineering Materials*, 10(1), 565–572.
76. Salem, W. B., Marot, G., Moisan, A., Longuemard, J. P. (1994). Laser assisted turning during finishing operation applied to hardened steels and Inconel 718. *Proceedings of the LANE*, 94(1), 455-464.
77. Chen, S. H., Tsai, K. T. (2017). The study of plasma-assisted machining to Inconel-718. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(12), 1-7.
78. Ding, H., Shin, Y. C. (2013). Improvement of machinability of Waspaloy via laser-assisted machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64(1), 475-486.
79. Davami, M., Zadshakoyan, M. (2008). Investigation of tool temperature and surface quality in hot machining of hard-to-cut materials. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 22(1), 672-676.
80. Ye, B. Y., Liu, J. P., Tang, Y., Peng, R. T., Zhao, X. Z. (2009). Heating current control in electric hot machining based on conservation law of optimum cutting temperature. *Key engineering materials*, 392(1), 294-298.
81. Zahoor, S., Mufti, N. A., Saleem, M. Q., Mughal, M. P., & Qureshi, M. A. M. (2017). Effect of machine tool's spindle forced vibrations on surface roughness, dimensional accuracy, and tool wear in vertical milling of AISI P20. *The international journal of advanced manufacturing technology*, 89(9-12), 3671-3679.
82. Pandey, P., Gupta, V. K. (2011). Duplex machining: an innovative approach for better dimensional accuracy and surface finish. *International journal of machining and machinability of materials*, 10(1-2), 153-167.
83. Ramadan Ali, S. H., Mohamd, O. M. (2015). Dimensional and geometrical form accuracy of circular pockets manufactured for aluminum, copper and steel materials on CNC milling machine using CMM. *International journal of engineering research in Africa*, 17(1), 64-73.
84. Dhar, N. R., Paul, S., Chattopadhyay, A. B. (2001). The influence of cryogenic cooling on tool wear, dimensional accuracy and surface finish in turning AISI 1040 and E4340C steels. *Wear*, 249(10-11), 932-942.
85. Ginta, T. L., Amin, A. K. M., Lajis, M. A. (2012). Suppressed vibrations during thermal-assisted machining of titanium alloy Ti-6Al-4V using PCD inserts. *Journal of Applied Sciences*, 12(23), 2418-2423.
86. Mac, T. B., Banh, T. L., Nguyen, D. T. (2019). Study on Cutting Force and Chip Shrinkage Coefficient during Thermal-Assisted Machining by Induction Heating of SKD11 Steel. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 36(9), 803-811.
87. Wang, Z. Y., Rajurkar, K. P., Fan, J., Lei, S., Shin, Y. C., Petrescu, G. (2003). Hybrid machining of Inconel 718. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(13), 1391-1396.
88. Feyzi, T., Safavi, S. M. (2013). Improving machinability of Inconel 718 with a new hybrid machining technique. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66(5-8), 1025-1030.

89. Thiele, J. D., Melkote, S.N. (1999). Effect of cutting-edge geometry and workpiece hardness on surface generation in the finish hard turning of AISI 52100 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 94(1), 216–226.
90. Fluke Company (2013). *MI3 kızılötesi termometre kataloğu*. Berlin: Raytek, 1-4.
91. Stephenson, D. A., Agapiou, J. S. (2018). *Metal cutting theory and practice*. Florida: CRC press. 29, 532.
92. Natasha, A. R., Othman, H., Ghani, J. A., Haron, C. H. C., Syarif, J. (2014). Chip formation and coefficient of friction in turning S45C medium carbon steel. *International journal of mechanical&mechatronics engineering*.14(6), 89-92.
93. Astakhov, V. P. (2006). *Tribology of metal cutting*. (First edition). London: Elsevier, 43.
94. Uğraş, A., Kafkas, F., (2021). *AISI 4340 çeliğinin ısı destekli işlenmesinde TIG tekniğinin uygulanabilirliği*. 11th International Congress On Machining, Virtual, 245-252.

EKLER

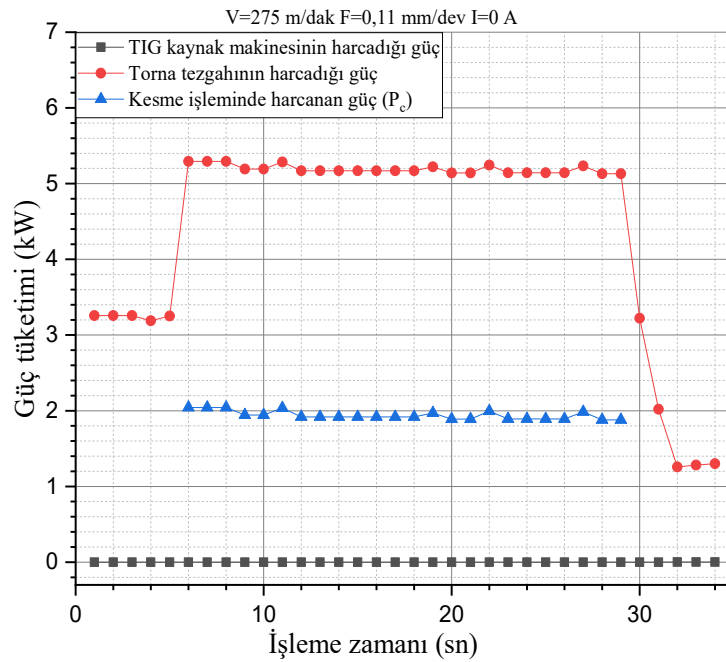
EK-1. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 1. Deney

İşlem parametreleri $V=275$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, konvansiyonel işleme



Resim 1.1. Kesici uç

Şekil 1.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



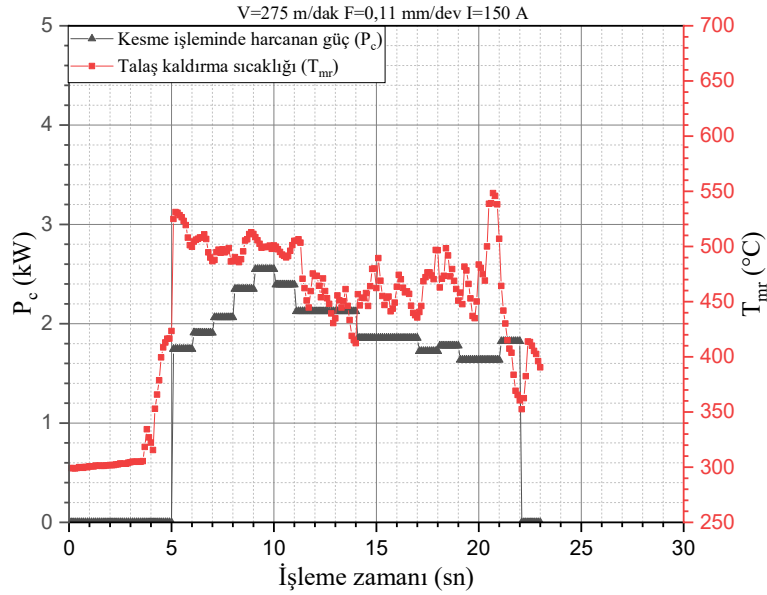
Şekil 1.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 1.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

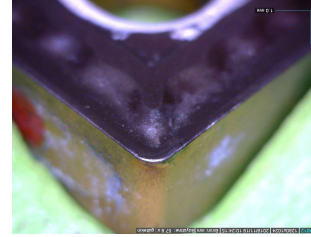
						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17
Kesme işlemi sırasında harcanan güç (P_c)	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	387	388	389	389	389	388

EK-2. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 2. Deney

İşlem parametreleri $V=275$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)



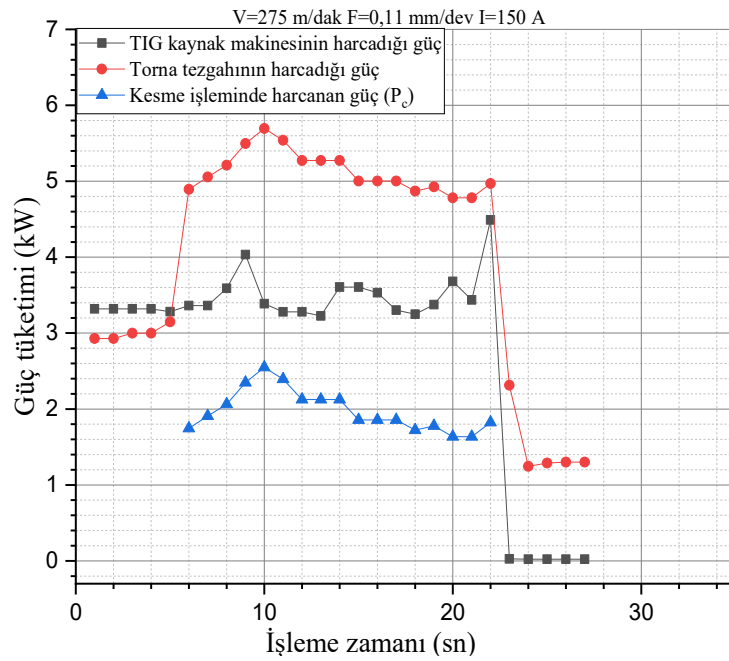
Şekil 2.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



Resim 2.1. Kesici uç



Resim 2.2. Elektrot



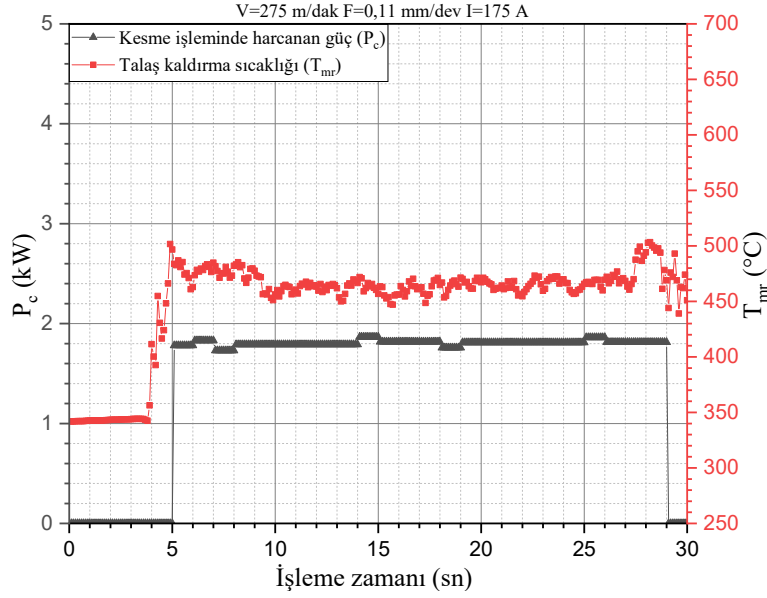
Şekil 2.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 2.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

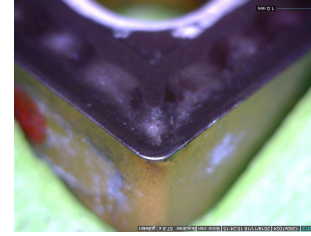
						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,61	3,53	3,30	3,25	3,37	3,41
Torna tezgahının harcadığı güç	5,00	5,00	5,00	4,87	4,93	4,96
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,86	1,86	1,86	1,72	1,78	1,82
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	461	463	465	459	467	463

EK-3. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 3. Deney

İşlem parametreleri $V=275$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)



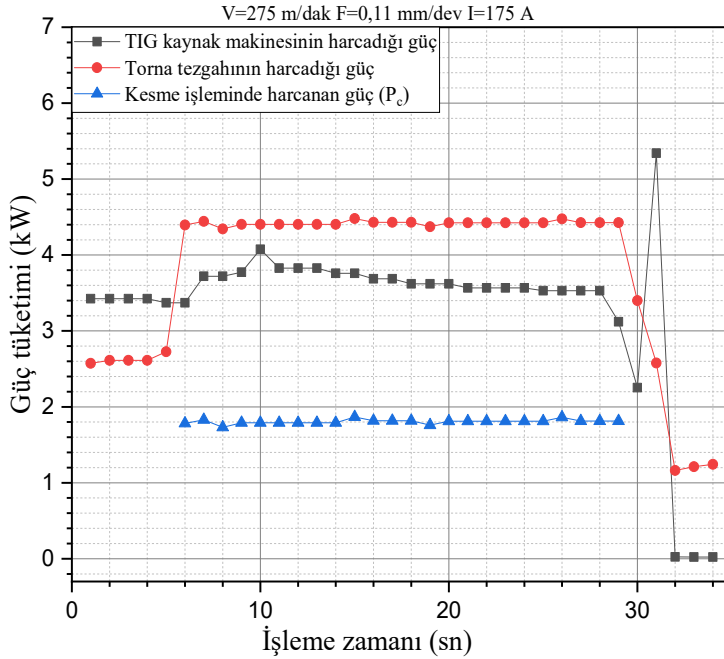
Şekil 3.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



Resim 3.1. Kesici uç



Resim 3.2. Elektrot



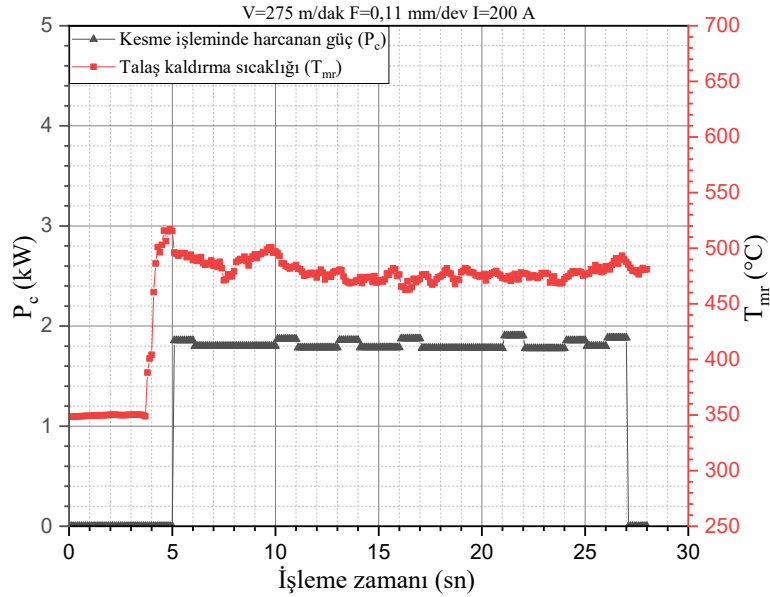
Şekil 3.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 3.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

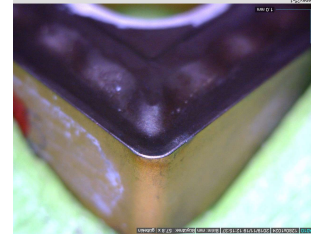
						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,62	3,57	3,57	3,57	3,57	3,58
Torna tezgahının harcadığı güç	4,42	4,42	4,42	4,42	4,42	4,42
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	467	465	468	460	468	466

EK-4. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 4. Deney

İşlem parametreleri $V=275$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)



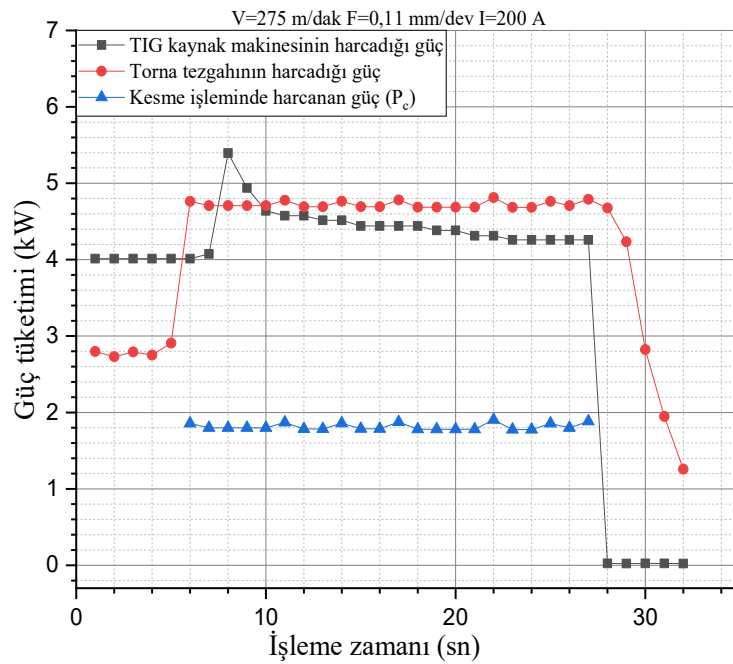
Şekil 4.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



Resim 4.1. Kesici uç



Resim 4.2. Elektrot

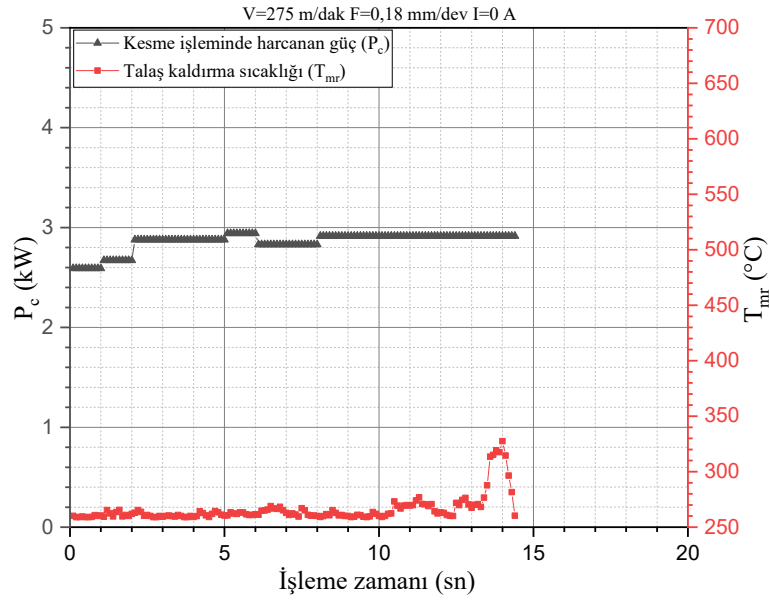


Şekil 4.2. Güç (kW) tüketimleri

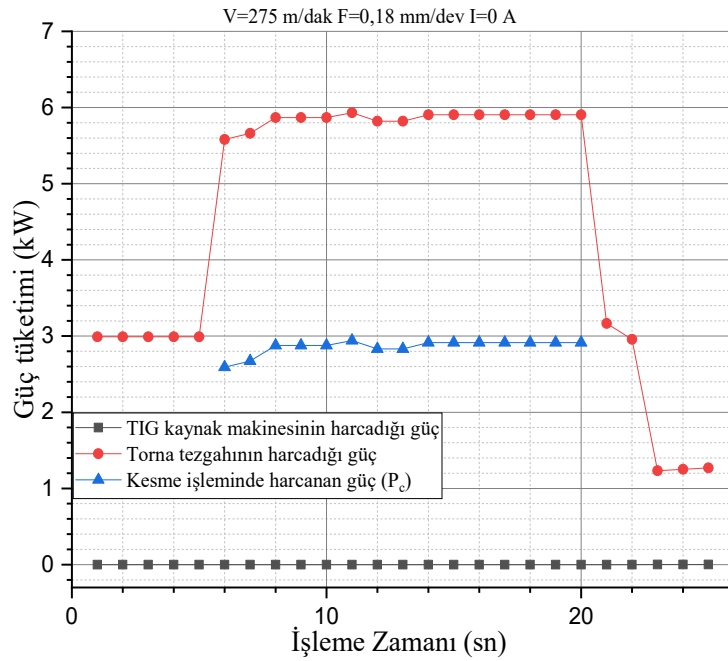
Çizelge 4.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	4,44	4,38	4,38	4,31	4,31	4,36
Torna tezgahının harcadığı güç	4,69	4,69	4,69	4,69	4,81	4,71
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,78	1,78	1,78	1,78	1,90	1,80
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	473	475	478	476	474	475

EK-5. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 5. Deney

İşlem parametreleri $V=275$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, konvansiyonel işleme

Resim 5.1. Kesici uç

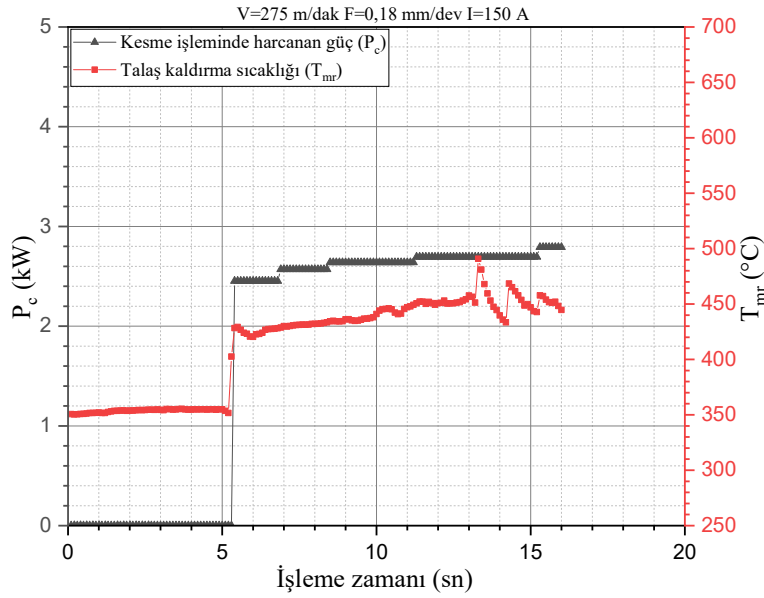


Çizelge 5.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

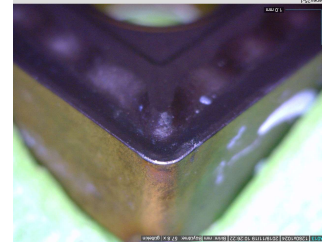
						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90
Kesme işlemi sırasında harcanan güç (P_c)	2,91	2,91	2,91	2,91	2,91	2,91
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	266	264	267	263	265	265

EK-6. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 6. Deney

İşlem parametreleri $V=275$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)



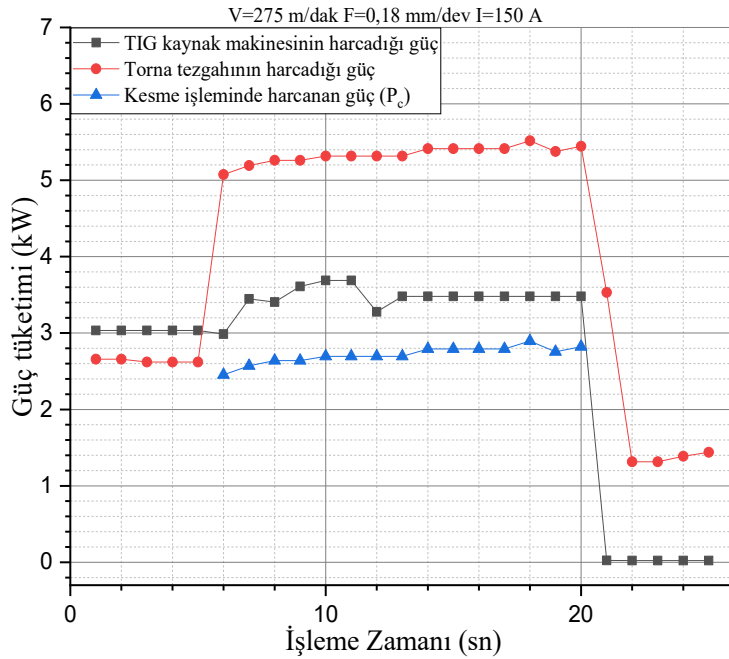
Şekil 6.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



Resim 6.1. Kesici uç



Resim 6.2. Elektrot

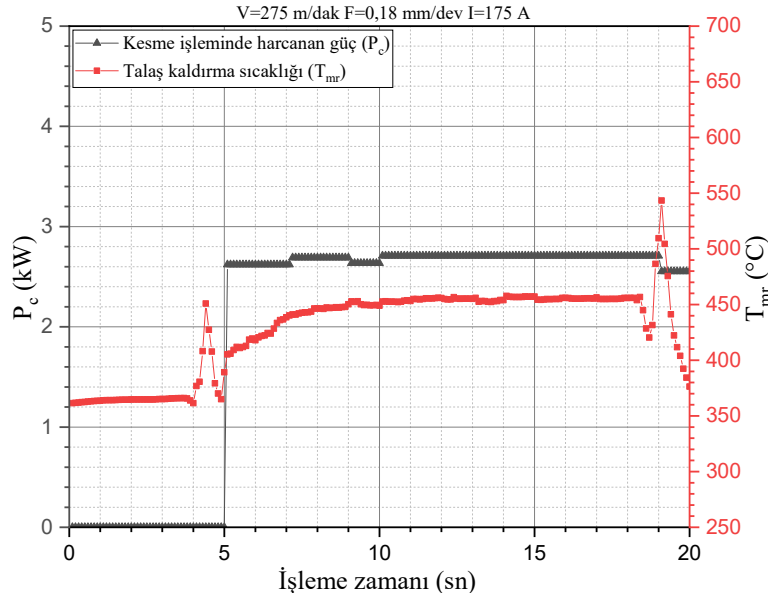
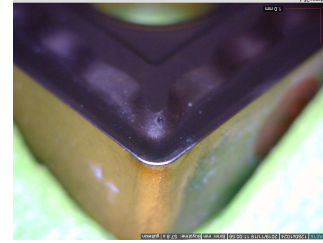


Şekil 6.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 6.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,69	3,69	3,28	3,48	3,48	3,52
Torna tezgahının harcadığı güç	5,32	5,32	5,32	5,32	5,41	5,34
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,69	2,69	2,69	2,69	2,79	2,71
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	451	453	455	454	450	453

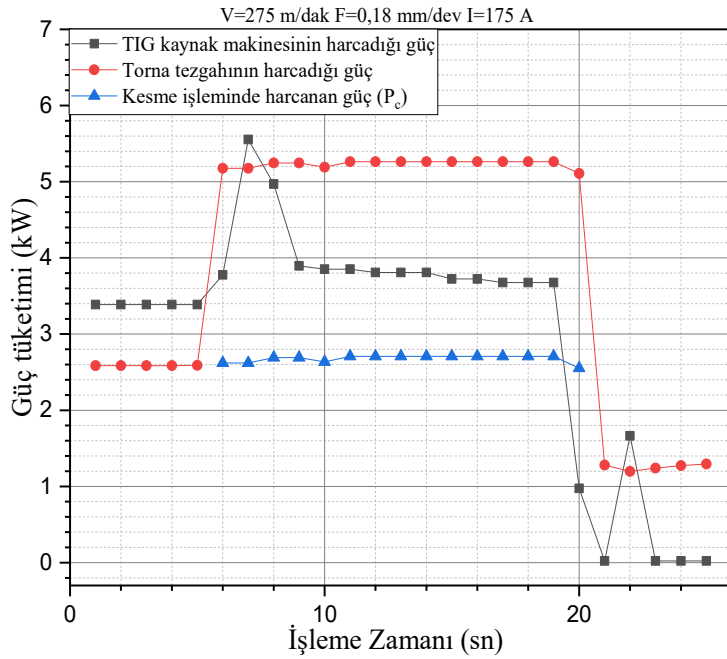
EK-7. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 7. Deney

İşlem parametreleri $V=275$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)Şekil 7.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 7.1. Kesici uç



Resim 7.2. Elektrot

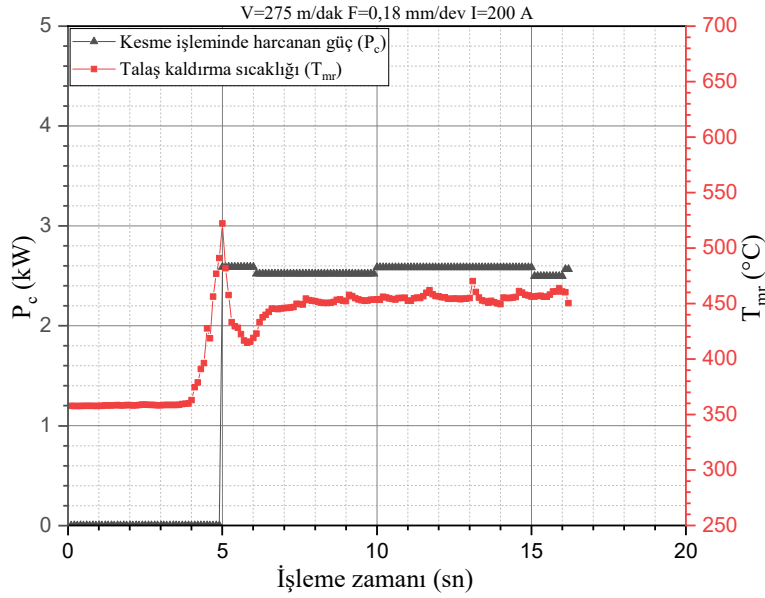
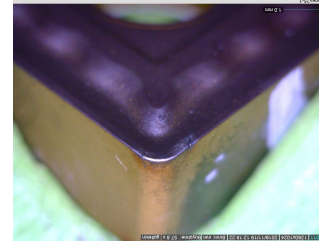


Şekil 7.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 7.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,85	3,81	3,81	3,81	3,72	3,80
Torna tezgahının harcadığı güç	5,26	5,26	5,26	5,26	5,26	5,26
Kesme işlemi sırasında harcanan güç (P_c)	2,71	2,71	2,71	2,71	2,71	2,71
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	453	455	455	453	457	455

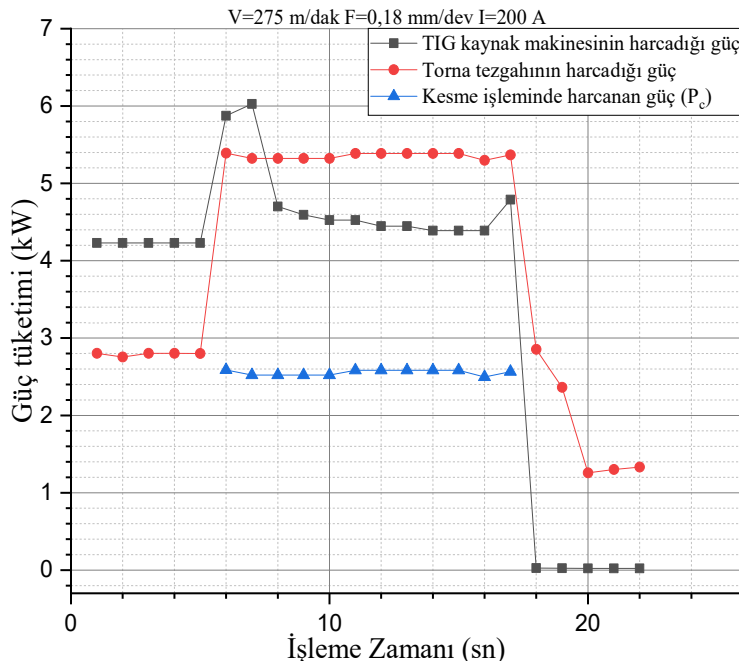
EK-8. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 8. Deney

İşlem parametreleri $V=275$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)Şekil 8.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 8.1. Kesici uç



Resim 8.2. Elektrot



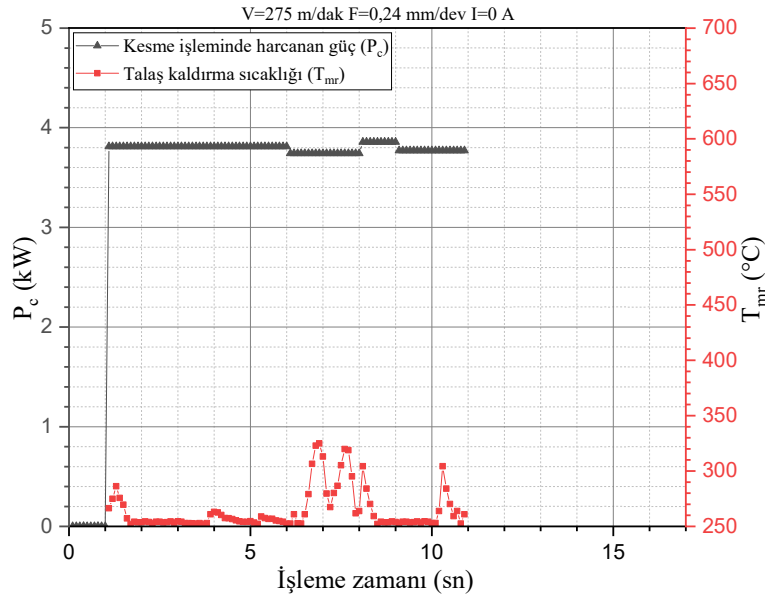
Şekil 8.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 8.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	4,52	4,45	4,45	4,39	4,39	4,44
Torna tezgahının harcadığı güç	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	452	454	457	459	455	455

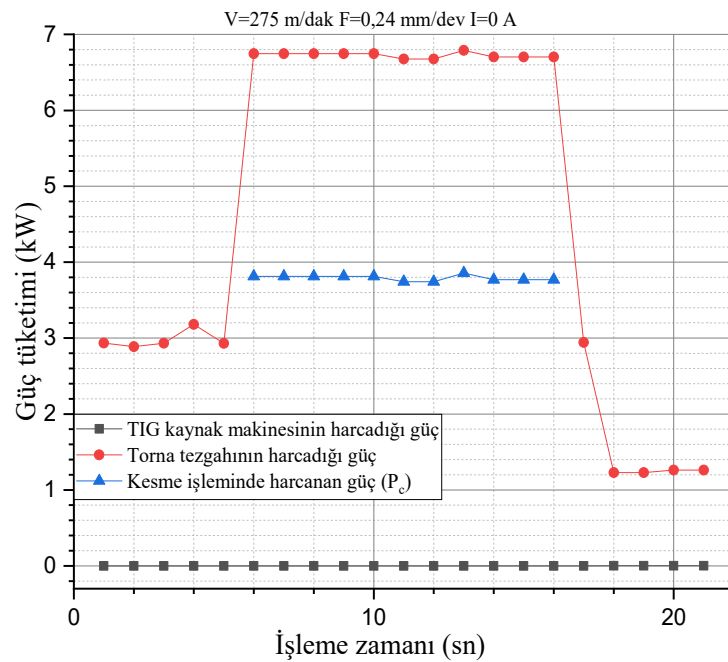
EK-9. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 9. Deney

İşlem parametreleri $V=275$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, konvansiyonel işleme



Resim 9.1. Kesici uç

Şekil 9.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

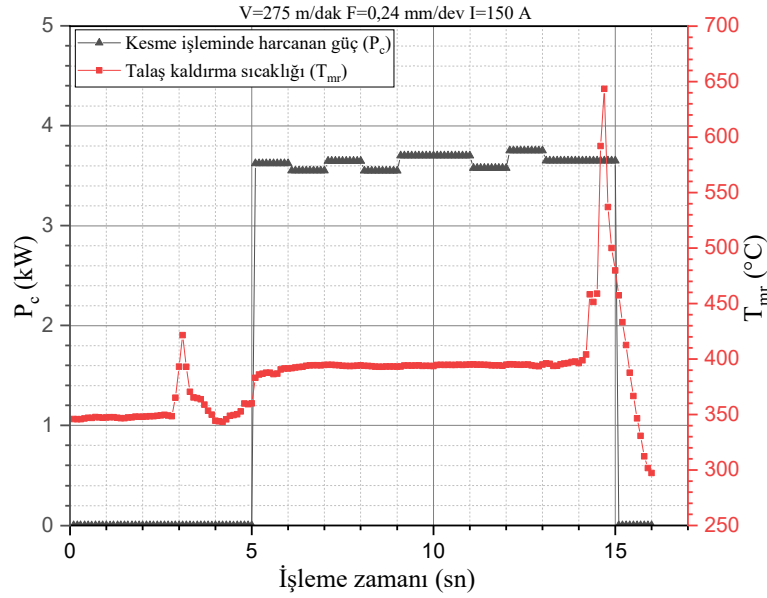
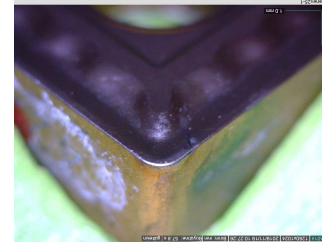


Şekil 9.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 9.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	3,81	3,81	3,81	3,81	3,81	3,81
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	257	259	255	259	255	257

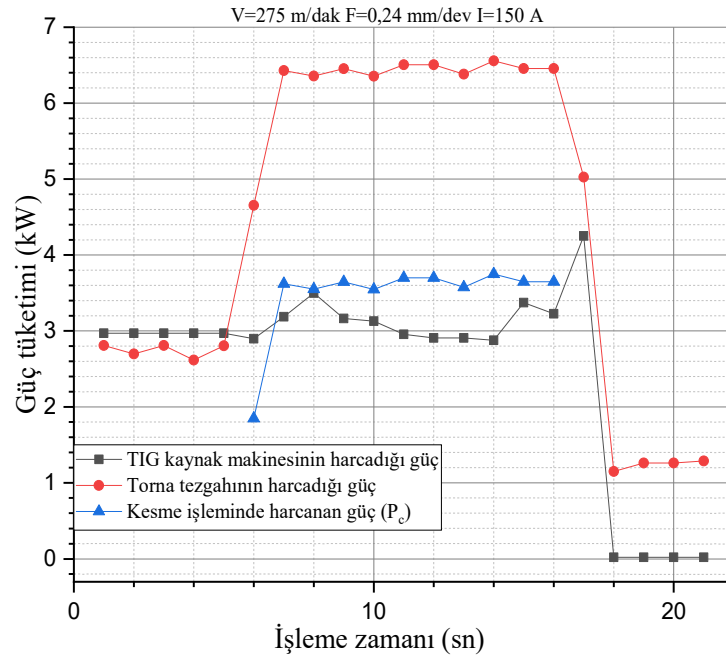
EK-10. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 10. Deney

İşlem parametreleri $V=275$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)Şekil 10.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 10.1. Kesici uç



Resim 10.2. Elektrot

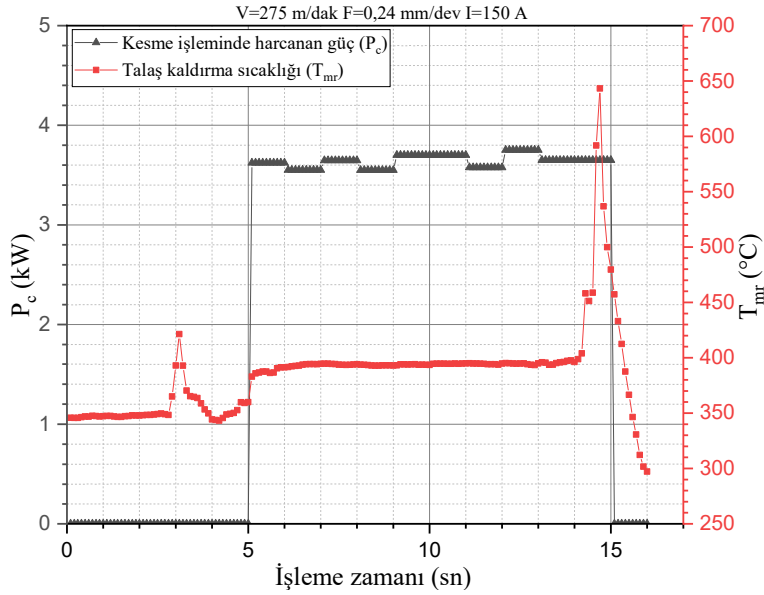
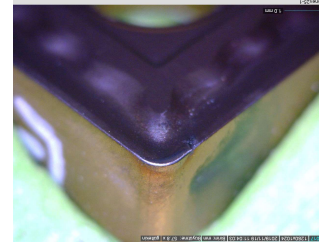


Şekil 10.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 10.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,50	3,17	3,13	2,96	2,91	3,13
Torna tezgahının harcadığı güç	6,36	6,45	6,36	6,51	6,51	6,44
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	3,55	3,65	3,55	3,70	3,70	3,63
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	393	394	393	394	395	394

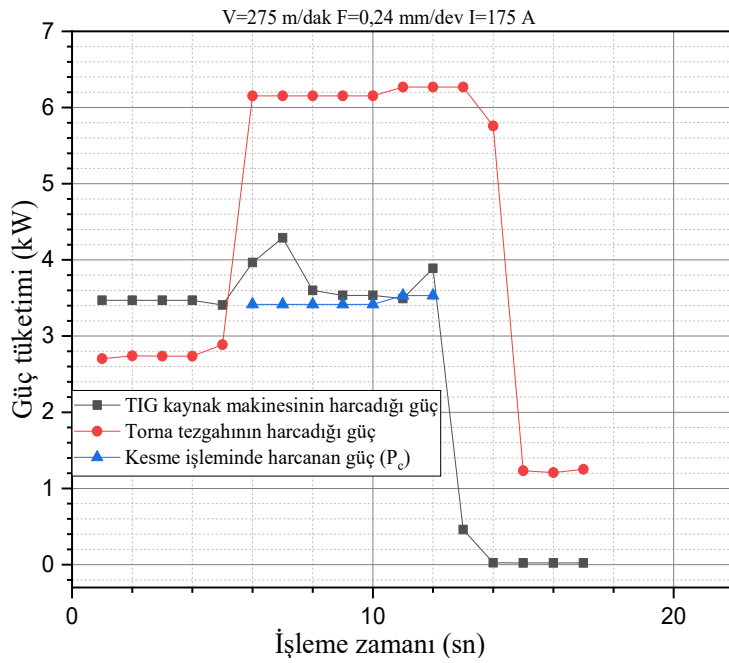
EK-11. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 11. Deney

İşlem parametreleri $V=275$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)Şekil 11.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 11.1. Kesici uç



Resim 11.2. Elektrot

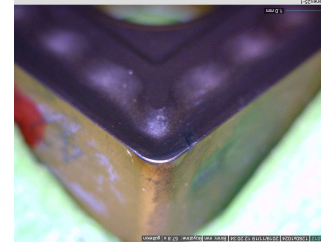
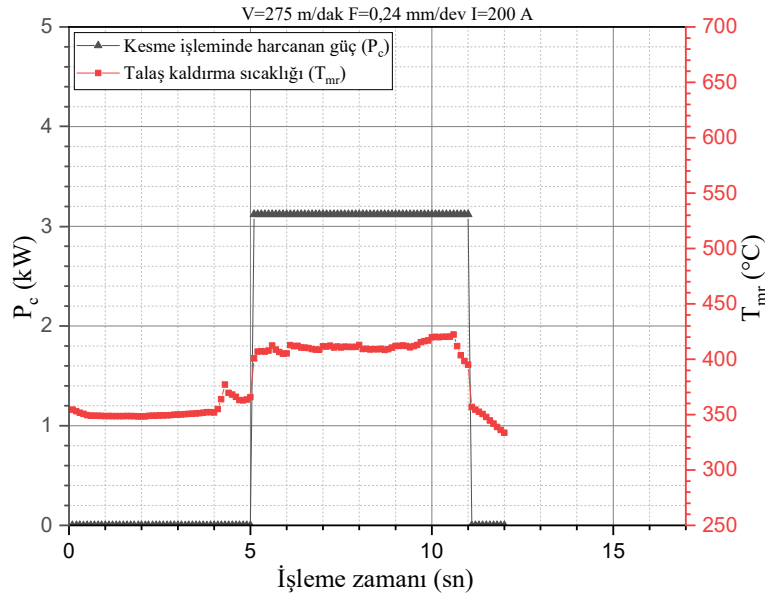


Şekil 11.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 11.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,96	4,29	3,60	3,53	3,53	3,78
Torna tezgahının harcadığı güç	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	3,42	3,42	3,42	3,42	3,42	3,42
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	401	405	401	409	411	405

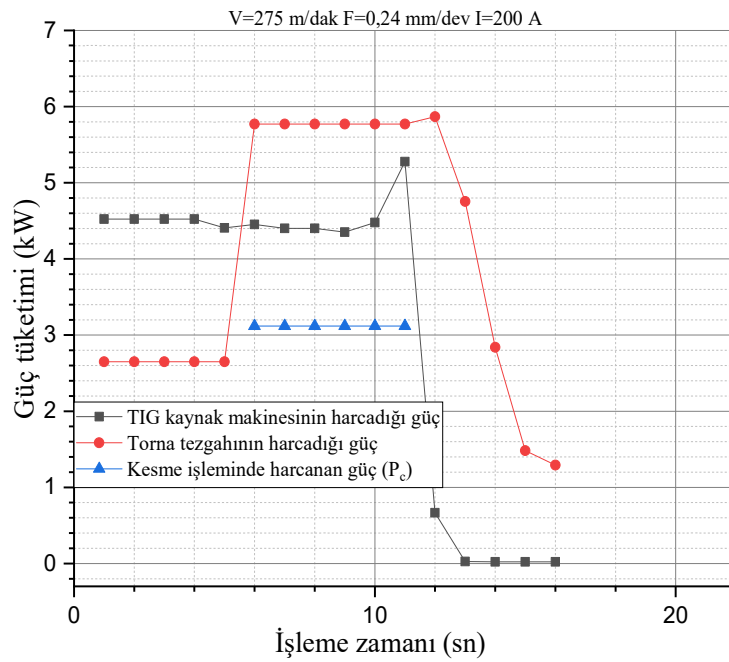
EK-12. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 12. Deney

İşlem parametreleri $V=275$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)

Resim 12.1. Kesici uç



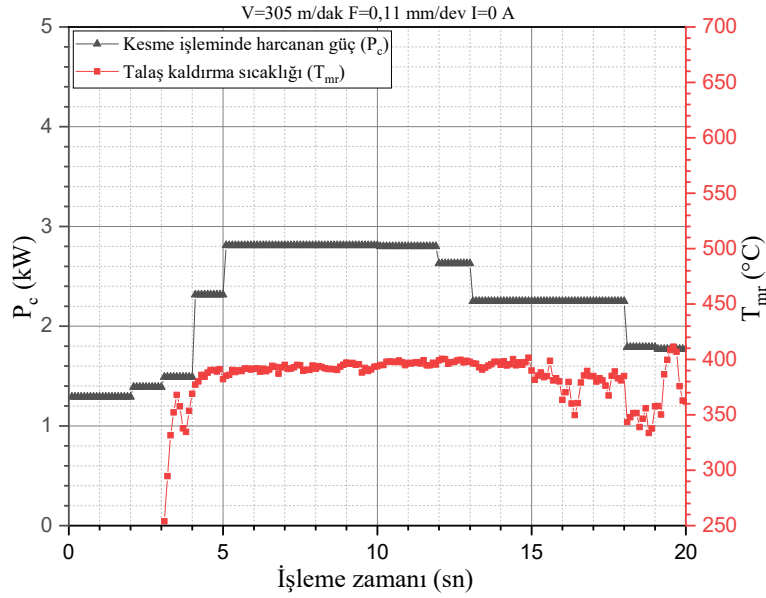
Resim 12.2. Elektrot



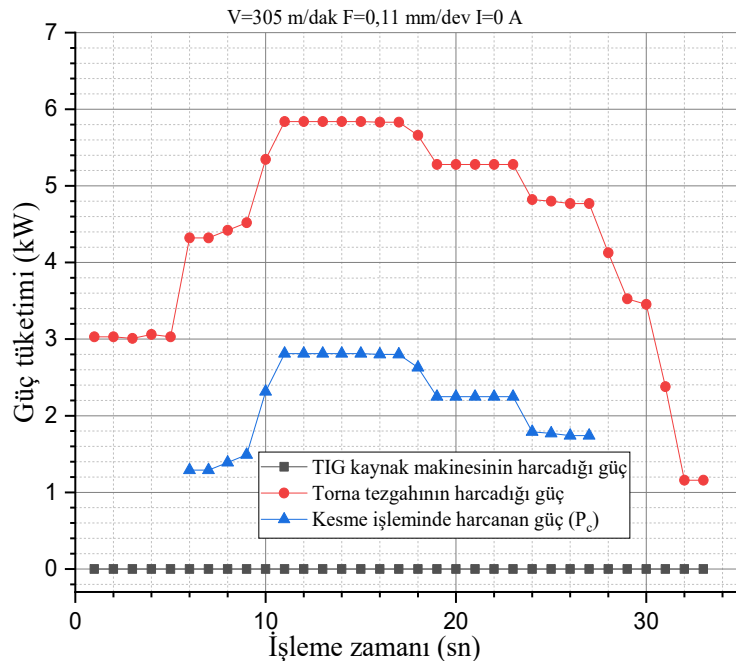
Çizelge 12.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	4,45	4,40	4,40	4,35	4,48	4,42
Torna tezgahının harcadığı güç	5,77	5,77	5,77	5,77	5,77	5,77
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	407	411	411	409	413	410

EK-13. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 13. Deney

İşlem parametreleri $V=305$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, konvansiyonel işleme

Resim 13.1. Kesici uç

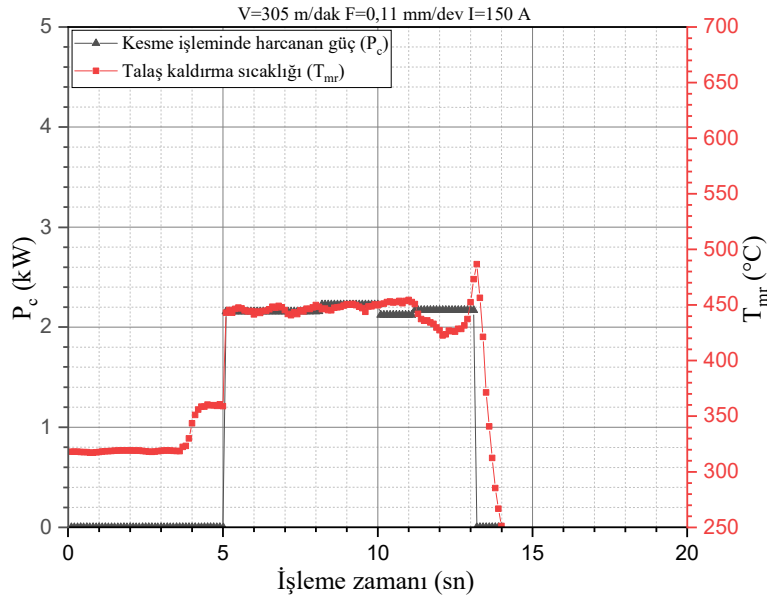
Şekil 13.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Şekil 13.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 13.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	388	391	388	385	379	386

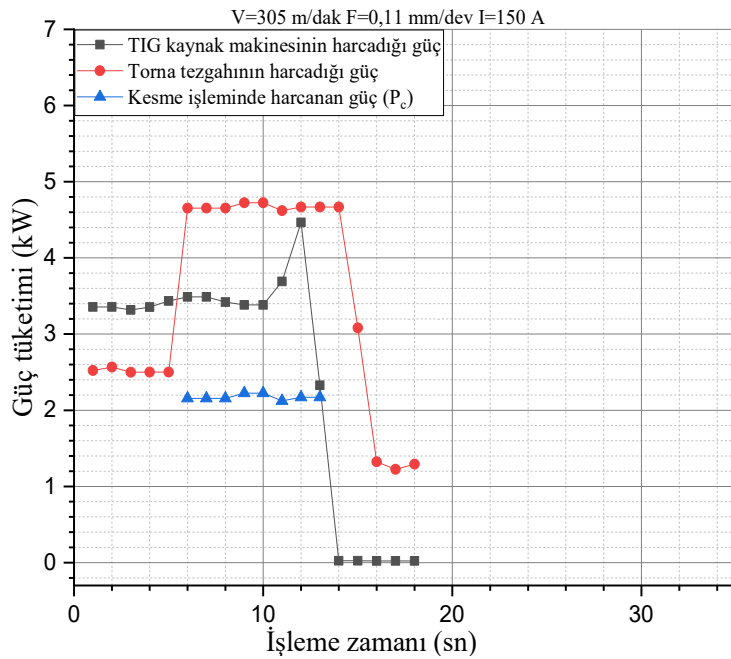
EK-14. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 14. Deney

İşlem parametreleri $V=305$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)Şekil 14.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 14.1. Kesici uç



Resim 14.2. Elektrot



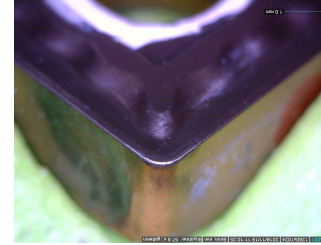
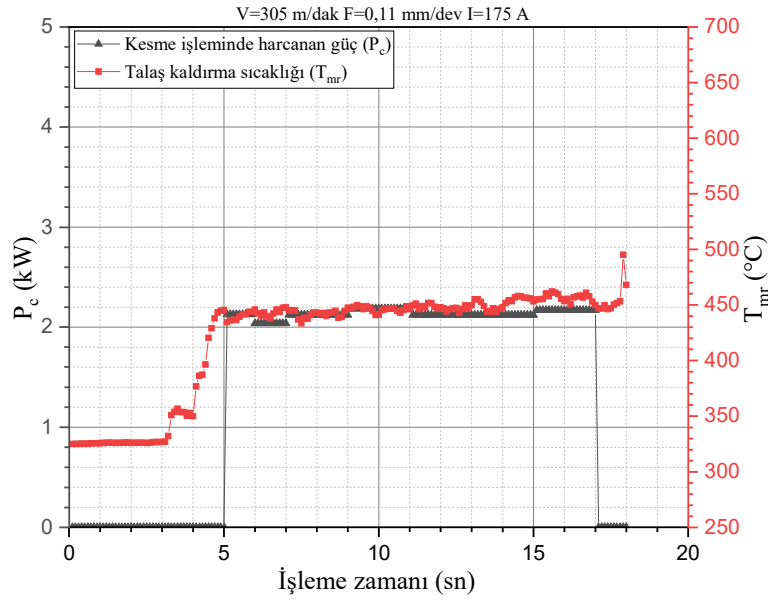
Şekil 14.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 14.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,49	3,49	3,42	3,38	3,38	3,43
Torna tezgahının harcadığı güç	4,65	4,65	4,65	4,72	4,72	4,68
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,16	2,16	2,16	2,22	2,22	2,18
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	447	446	445	448	449	447

EK-15. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 15. Deney

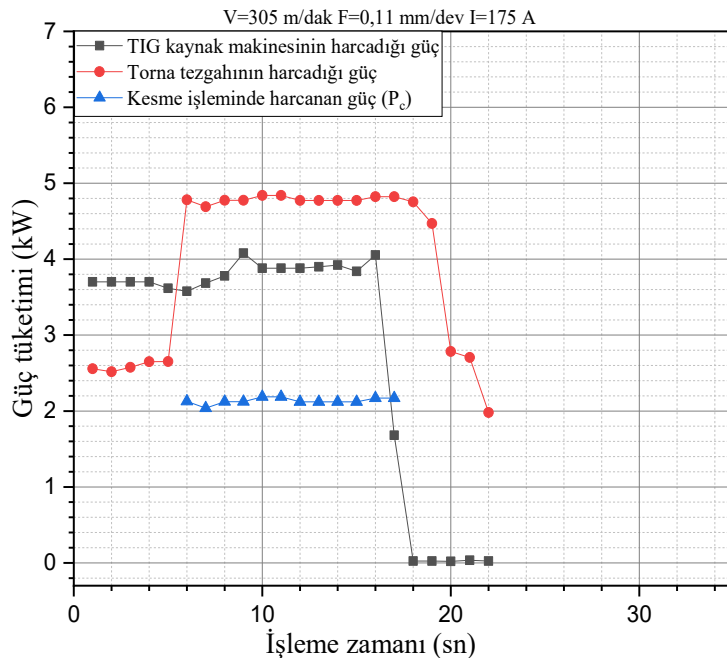
İşlem parametreleri $V=305$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)



Resim 15.1. Kesici uç



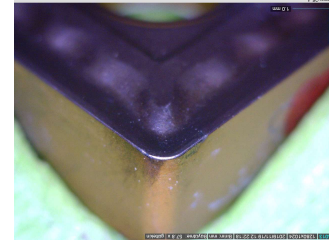
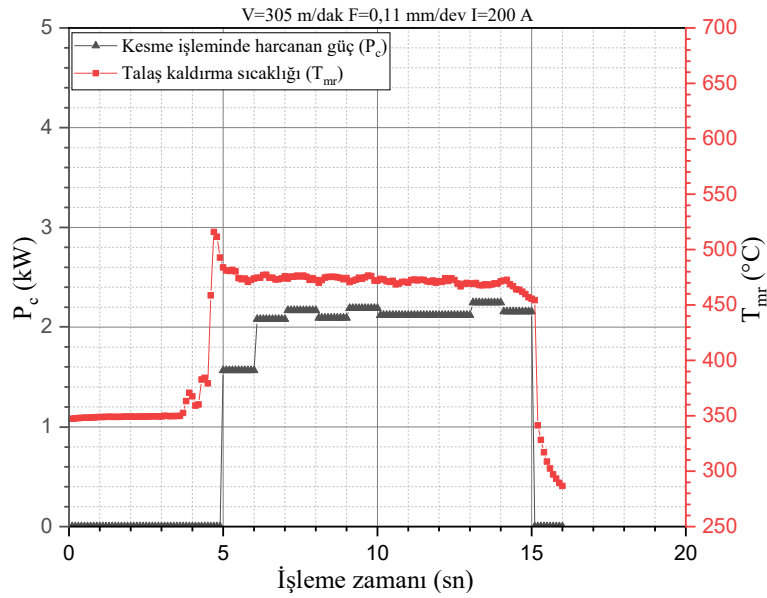
Resim 15.2. Elektrot



Çizelge 15.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,88	3,88	3,90	3,92	3,84	3,88
Torna tezgahının harcadığı güç	4,84	4,77	4,77	4,77	4,77	4,78
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,19	2,12	2,12	2,12	2,12	2,13
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	446	449	447	448	455	449

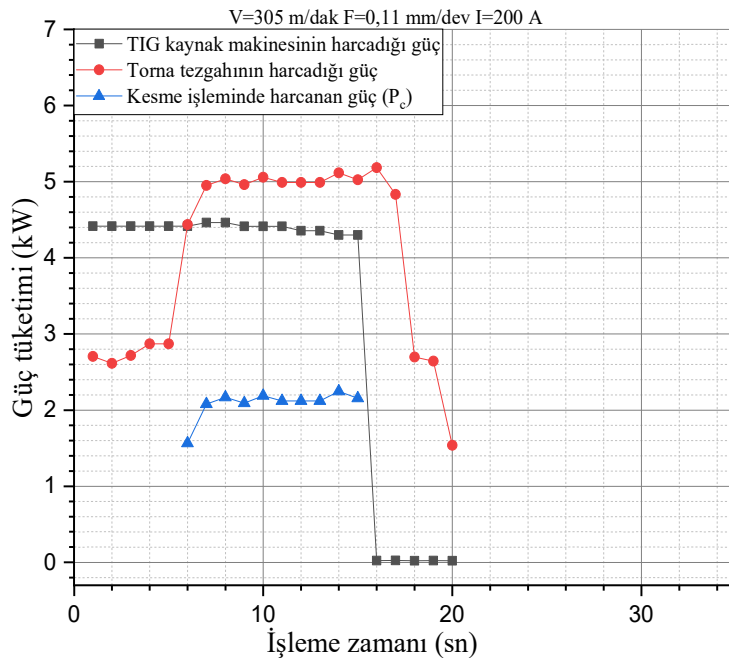
EK-16. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 16. Deney

İşlem parametreleri $V=305$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)

Resim 16.1. Kesici uç



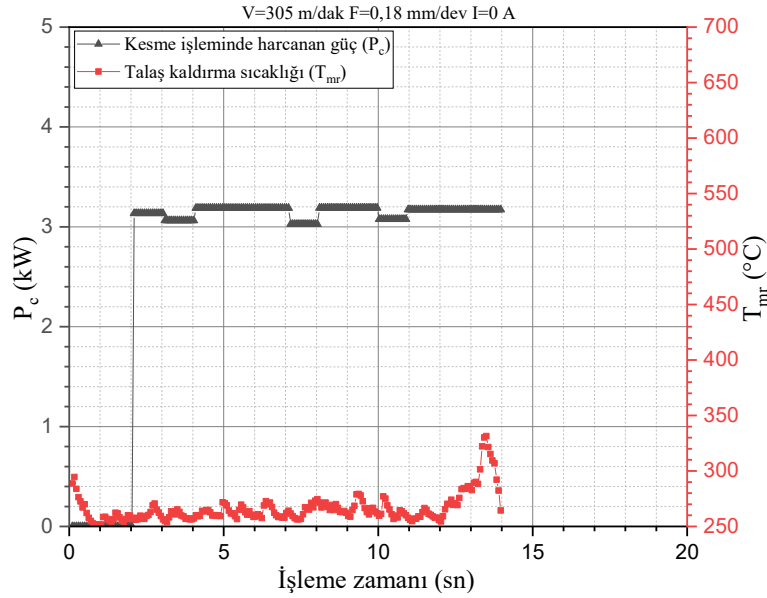
Resim 16.2. Elektrot



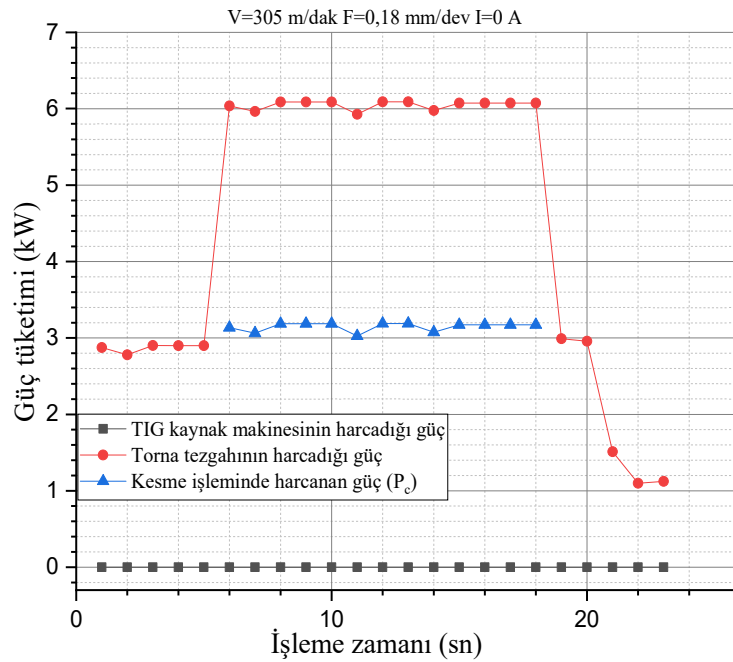
Çizelge 16.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	4,41	4,41	4,41	4,36	4,36	4,39
Torna tezgahının harcadığı güç	4,96	5,06	4,99	4,99	4,99	5,00
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,09	2,19	2,12	2,12	2,12	2,13
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	474	473	471	472	471	472

EK-17. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 17. Deney

İşlem parametreleri $V=305$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, konvansiyonel işleme

Resim 17.1. Kesici uç

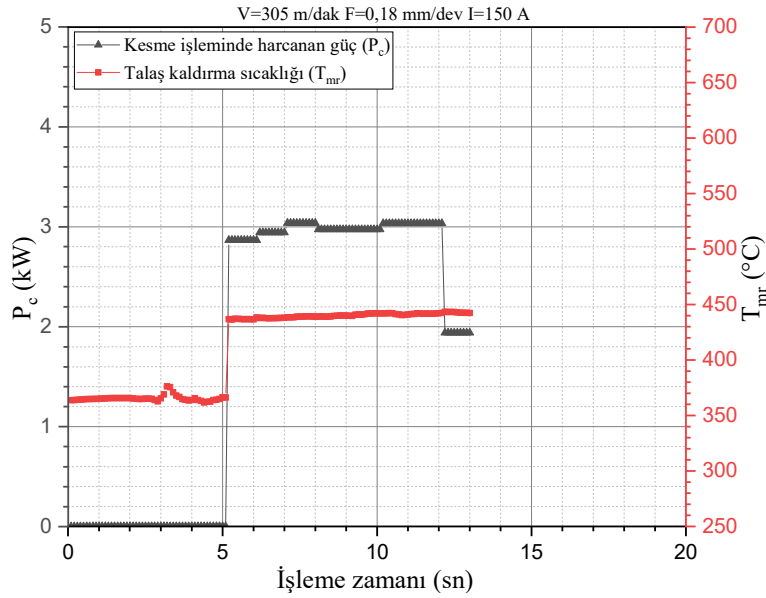
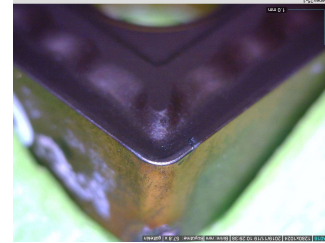
Şekil 17.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Şekil 17.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 17.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	6,09	6,09	6,09	5,93	6,09	6,06
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	3,19	3,19	3,19	3,03	3,19	3,16
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	262	262	263	264	266	263

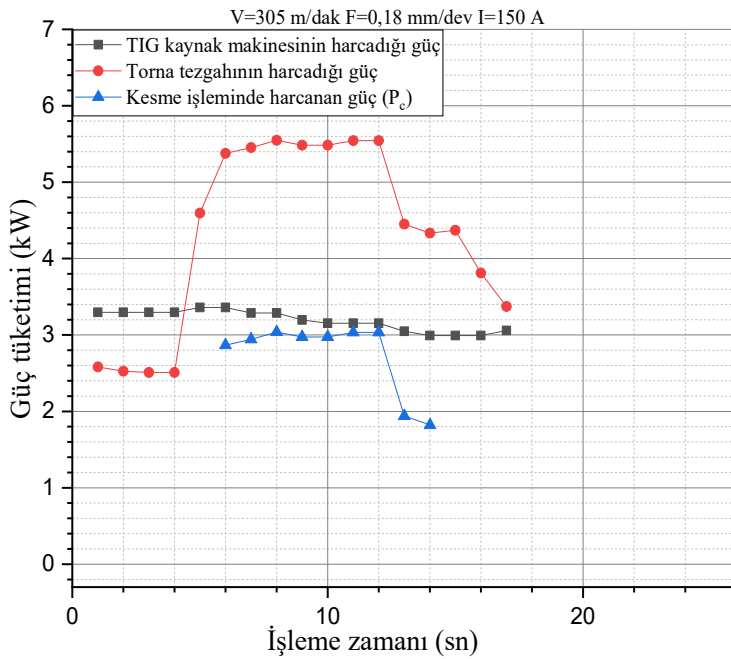
EK-18. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 18. Deney

İşlem parametreleri $V=305$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)Şekil 18.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 18.1. Kesici uç



Resim 18.2. Elektrot

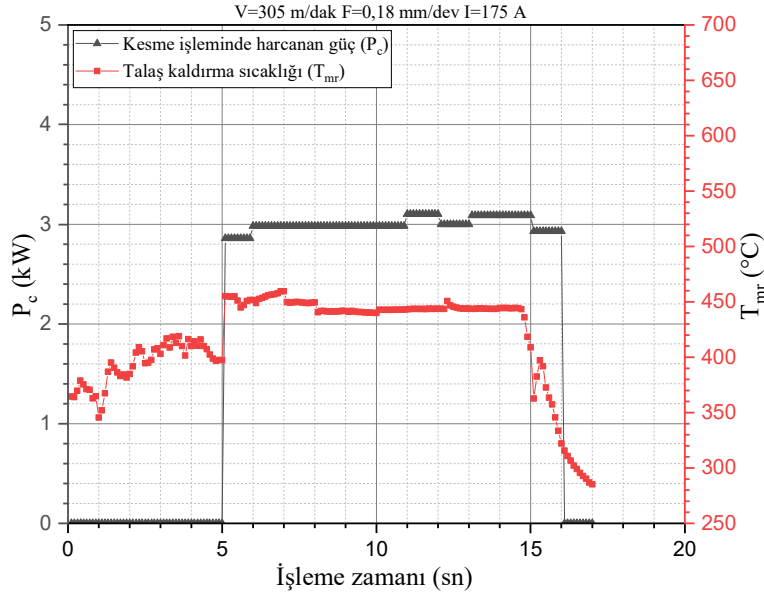


Şekil 18.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 18.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,29	3,20	3,15	3,15	3,15	3,19
Torna tezgahının harcadığı güç	5,55	5,48	5,48	5,54	5,54	5,52
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	3,04	2,97	2,97	3,03	3,03	3,01
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	439	440	441	441	442	441

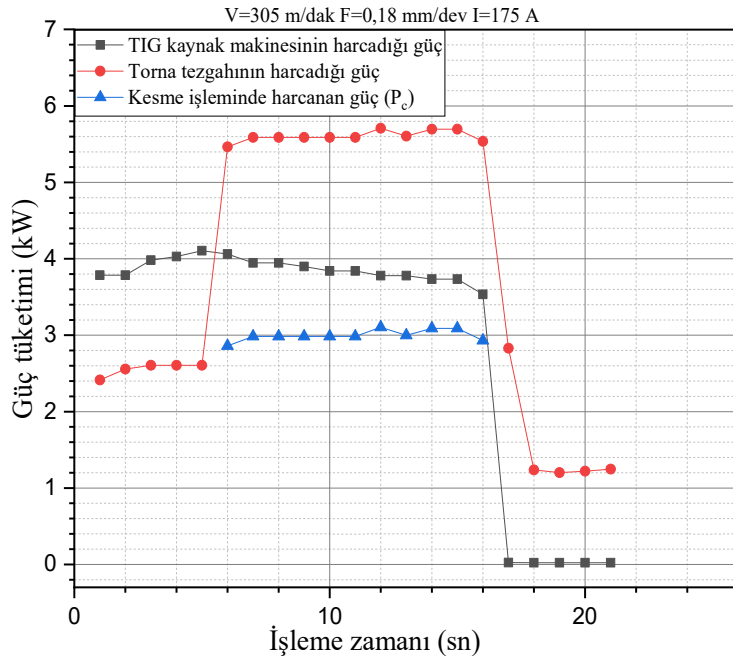
EK-19. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 19. Deney

İşlem parametreleri $V=305$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)

Resim 19.1. Kesici uç



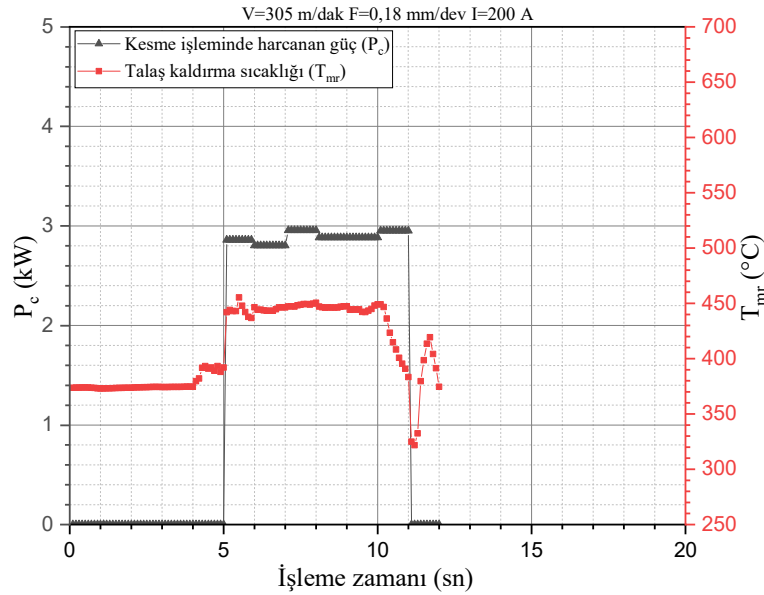
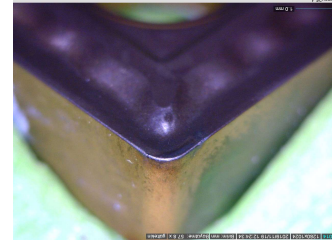
Resim 19.2. Elektrot



Çizelge 19.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,95	3,95	3,90	3,84	3,84	3,90
Torna tezgahının harcadığı güç	5,59	5,59	5,59	5,59	5,59	5,59
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	455	449	441	441	443	446

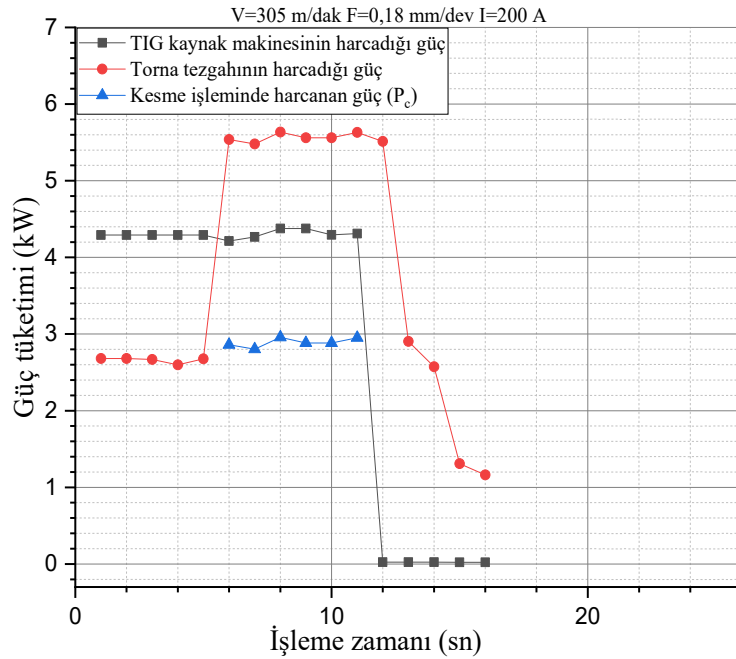
EK-20. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 20. Deney

İşlem parametreleri $V=305$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)Şekil 20.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 20.1. Kesici uç



Resim 20.2. Elektrot

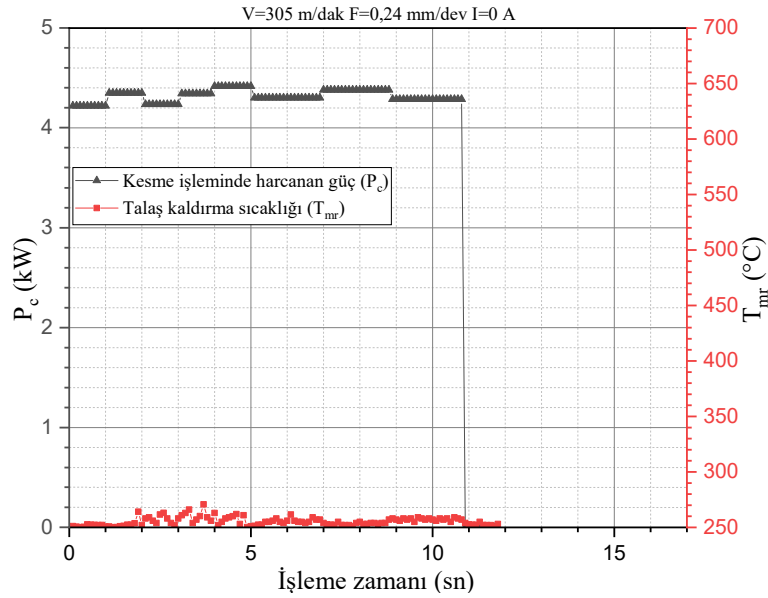


Şekil 20.2. Güç (kW) tüketimleri

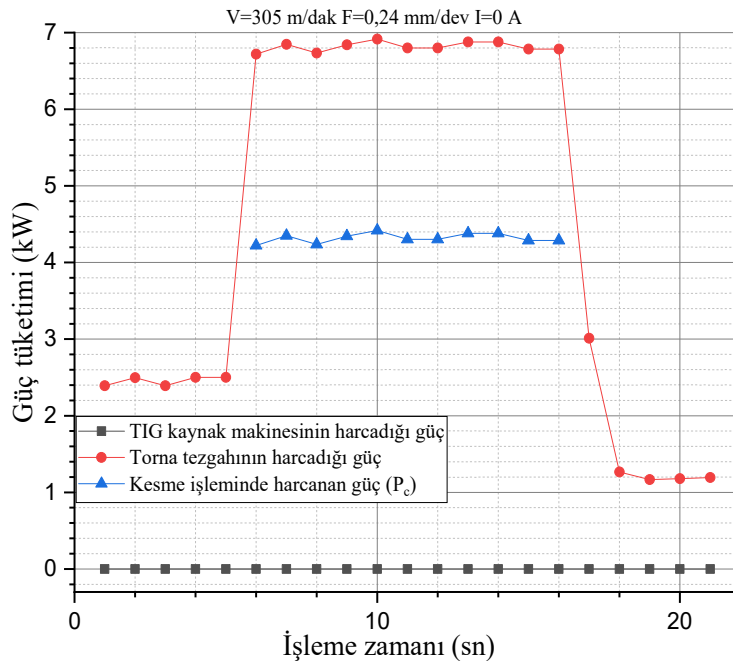
Çizelge 20.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	4,21	4,27	4,38	4,38	4,29	4,31
Torna tezgahının harcadığı güç	5,54	5,48	5,63	5,56	5,56	5,55
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,86	2,80	2,96	2,88	2,88	2,88
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	444	445	449	447	445	446

EK-21. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 21. Deney

İşlem parametreleri $V=305$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, konvansiyonel işleme

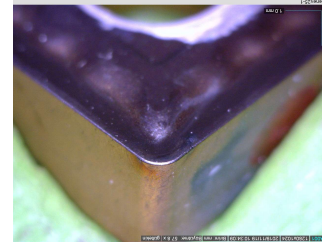
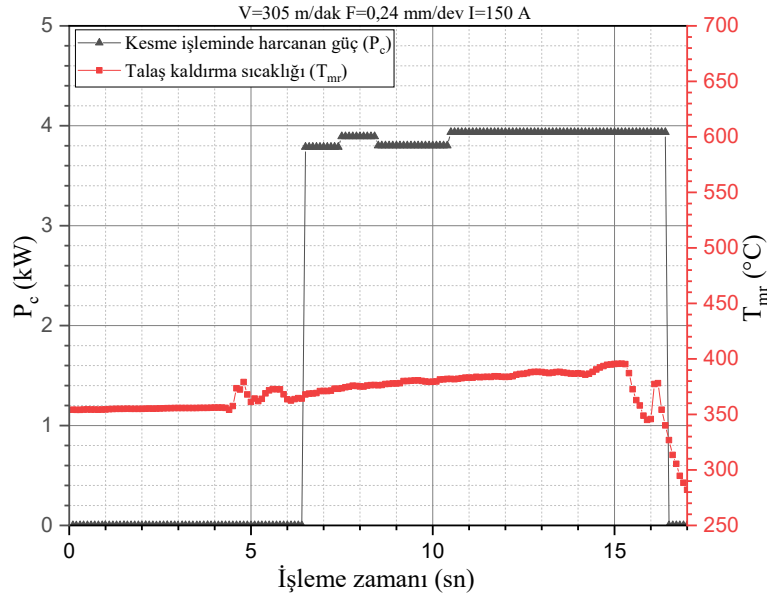
Resim 21.1. Kesici uç



Çizelge 21.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	6,80	6,80	6,88	6,88	6,78	6,83
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	4,30	4,30	4,38	4,38	4,29	4,33
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	255	257	253	254	257	255

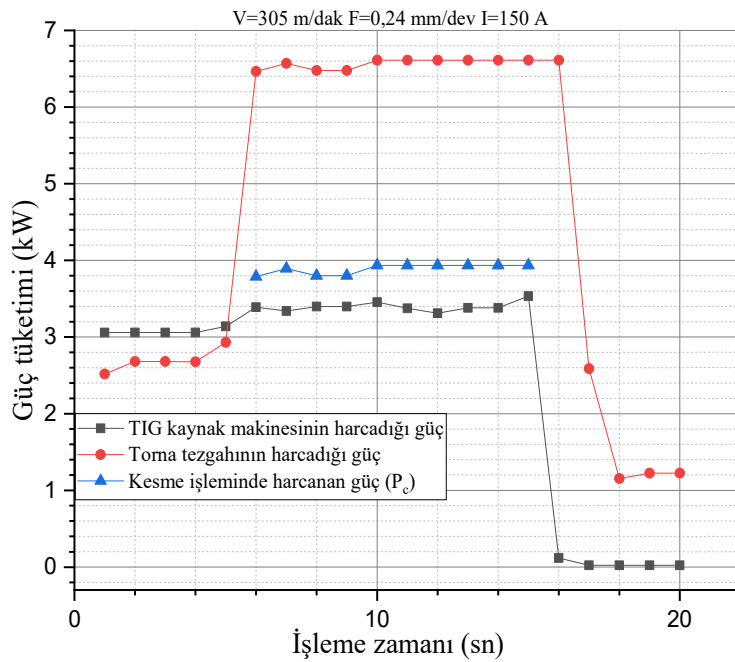
EK-22. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 22. Deney

İşlem parametreleri $V=305$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)

Resim 22.1. Kesici uç



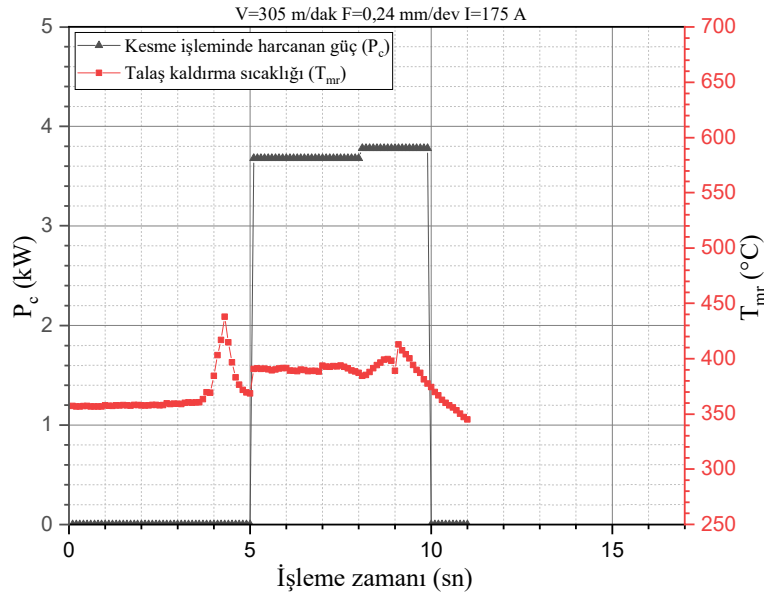
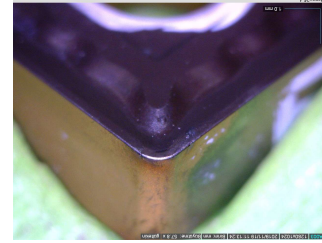
Resim 22.2. Elektrot



Çizelge 22.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,46	3,38	3,31	3,38	3,38	3,38
Torna tezgahının harcadığı güç	6,61	6,61	6,61	6,61	6,61	6,61
Kesme işlemi sırasında harcanan güç (P_c)	3,94	3,94	3,94	3,94	3,94	3,94
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	383	384	388	387	394	387

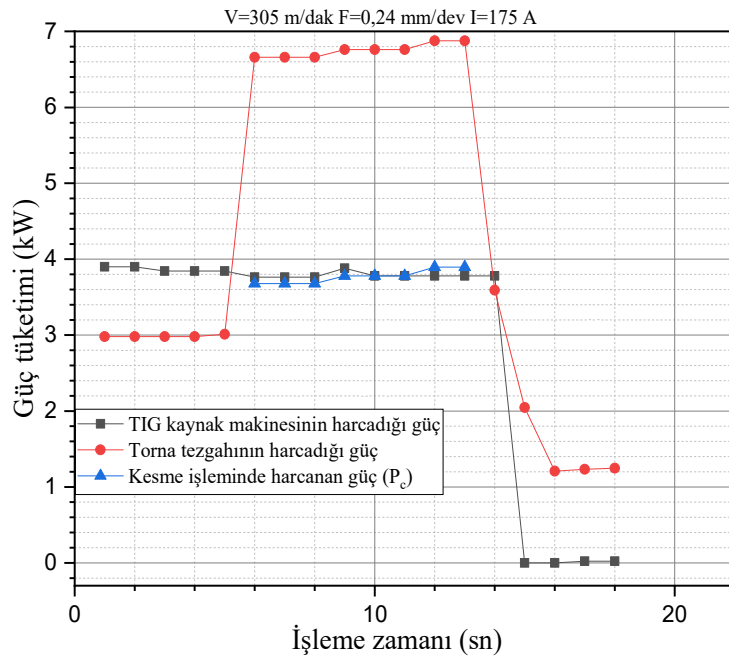
EK-23. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 23. Deney

İşlem parametreleri $V=305$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)Şekil 23.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 23.1. Kesici uç



Resim 23.2. Elektrot

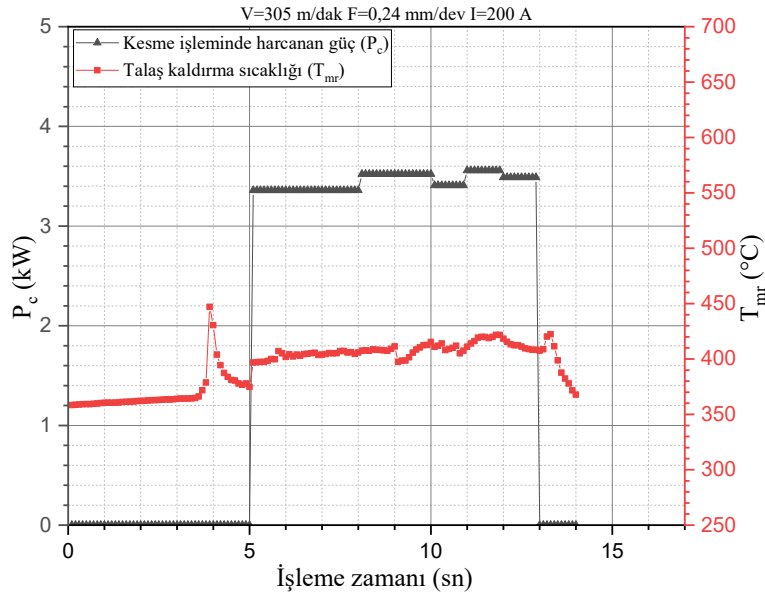
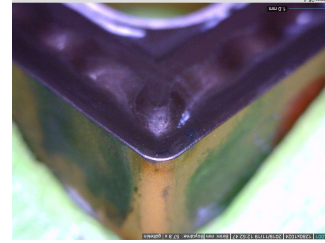


Şekil 23.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 23.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,76	3,76	3,76	3,88	3,78	3,79
Torna tezgahının harcadığı güç	6,66	6,66	6,66	6,76	6,76	6,70
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	3,68	3,68	3,68	3,78	3,78	3,72
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	391	389	392	393	395	392

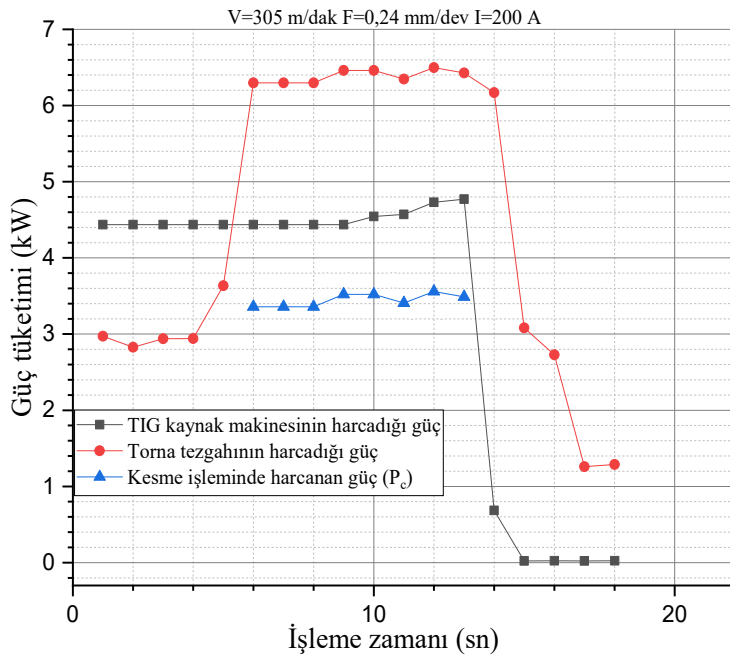
EK-24. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 24. Deney

İşlem parametreleri $V=305$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)Şekil 24.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 24.1. Kesici uç



Resim 24.2. Elektrot

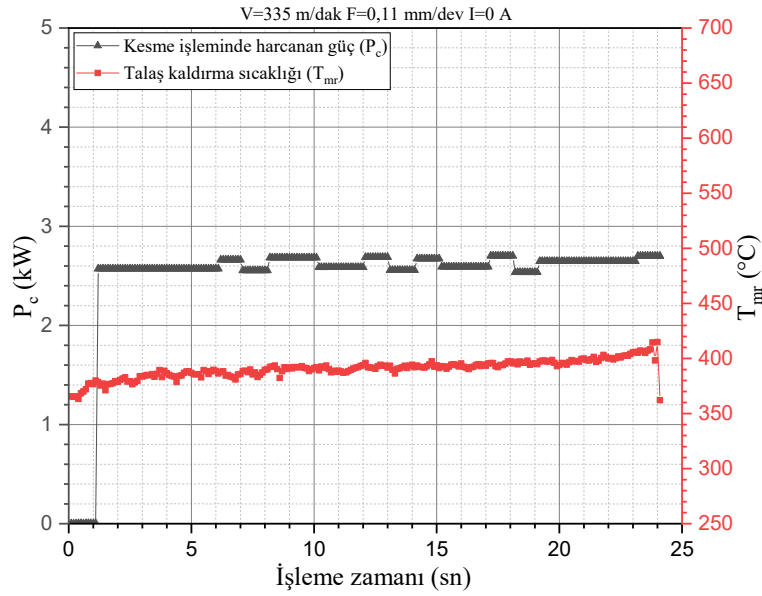


Şekil 24.2. Güç (kW) tüketimleri

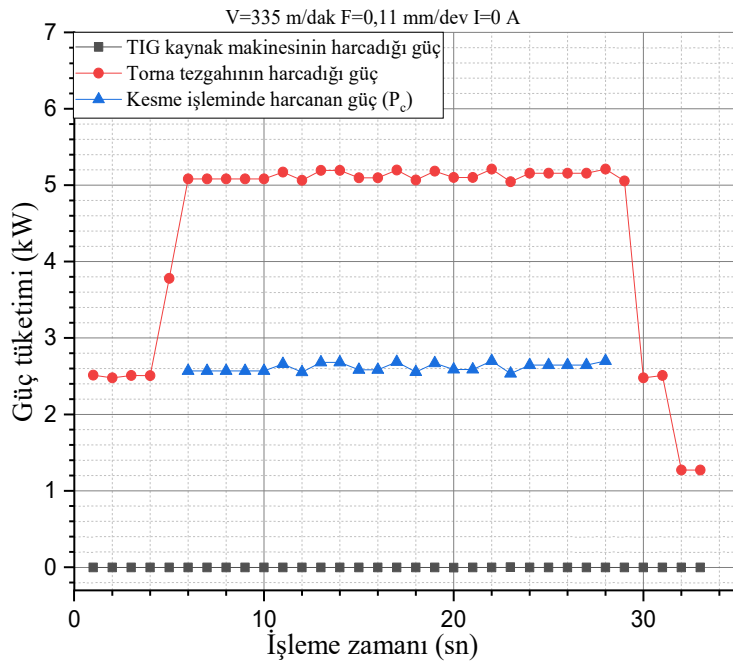
Çizelge 24.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	4,44	4,44	4,44	4,44	4,54	4,46
Torna tezgahının harcadığı güç	6,30	6,30	6,30	6,46	6,46	6,36
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	3,36	3,36	3,36	3,52	3,52	3,42
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	405	409	401	403	406	405

EK-25. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 25. Deney

İşlem parametreleri $V=335$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, konvansiyonel işleme

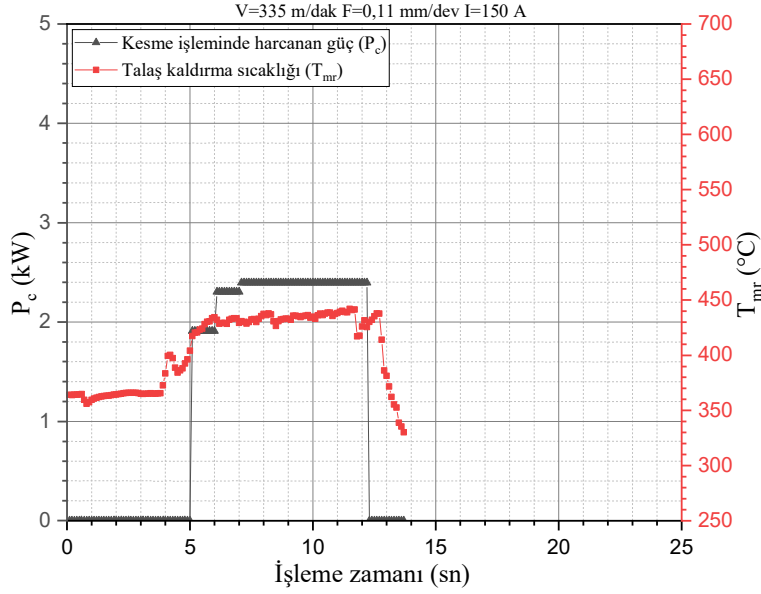
Resim 25.1. Kesici uç



Çizelge 25.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	5,08	5,08	5,08	5,08	5,08	5,08
Kesme işlemi sırasında harcanan güç (P_c)	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	382	387	385	379	383	383

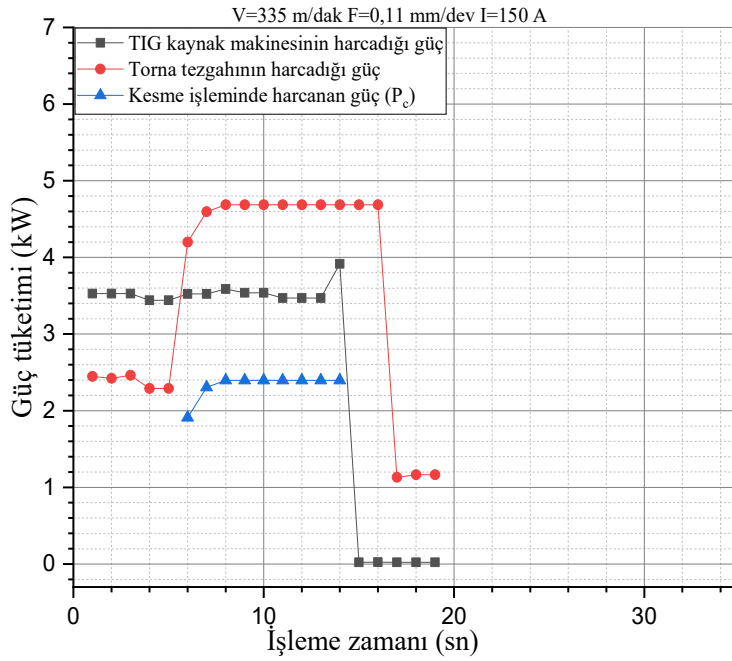
EK-26. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 26. Deney

İşlem parametreleri $V=335$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)Şekil 26.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 26.1. Kesici uç



Resim 26.2. Elektrot

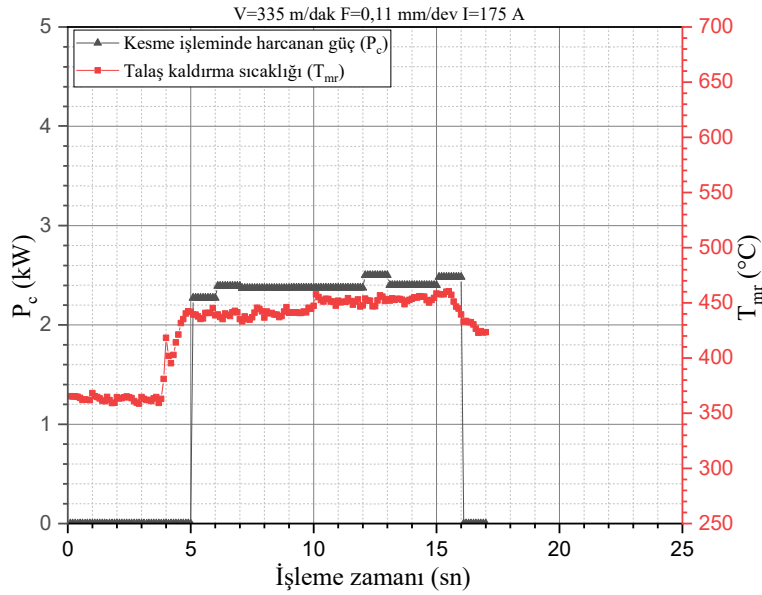
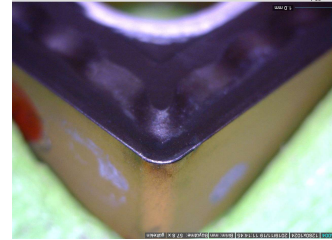


Şekil 26.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 26.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,59	3,54	3,54	3,47	3,47	3,52
Torna tezgahının harcadığı güç	4,69	4,69	4,69	4,69	4,69	4,69
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	432	433	435	437	440	435

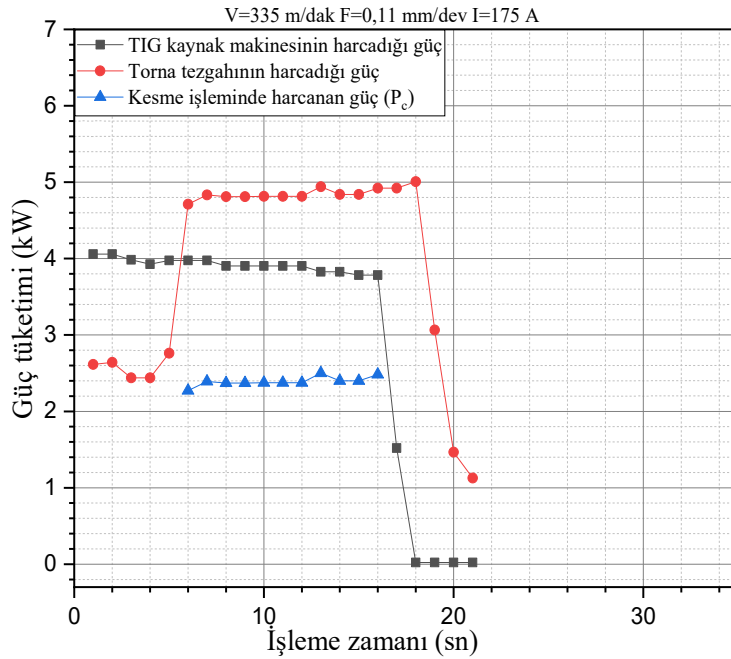
EK-27. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 27. Deney

İşlem parametreleri $V=335$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)Şekil 27.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 27.1. Kesici uç



Resim 27.2. Elektrot

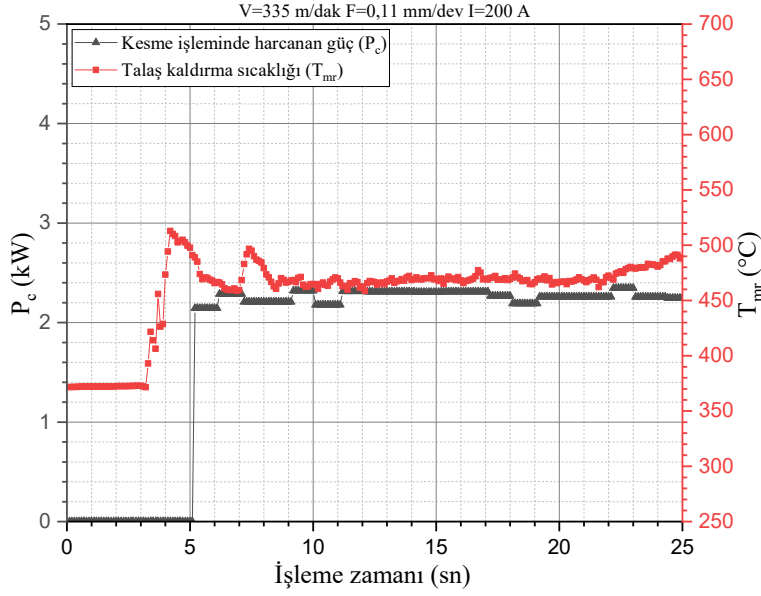
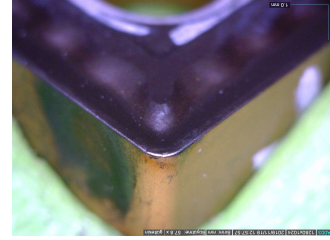


Şekil 27.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 27.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90
Torna tezgahının harcadığı güç	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81
Kesme işlemi sırasında harcanan güç (P_c)	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	439	441	443	453	451	445

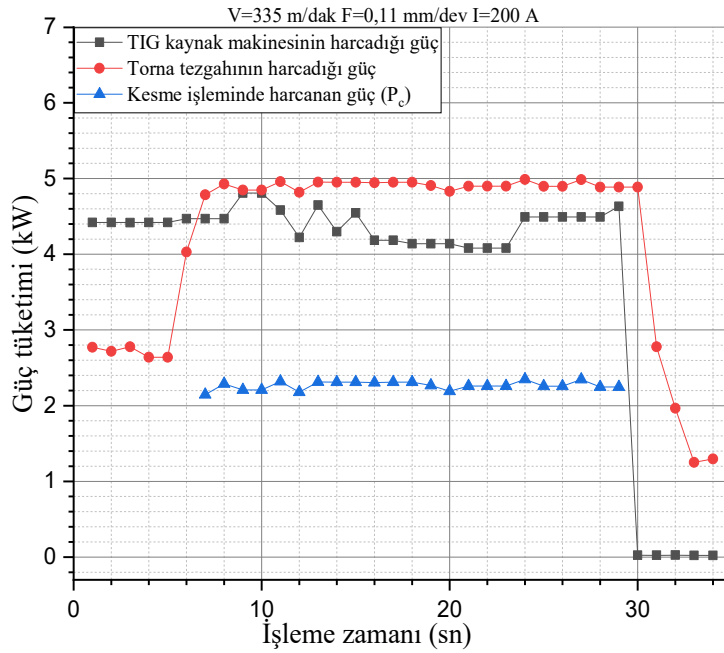
EK-28. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 28. Deney

İşlem parametreleri $V=335$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)Şekil 28.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 28.1. Kesici uç



Resim 28.2. Elektrot



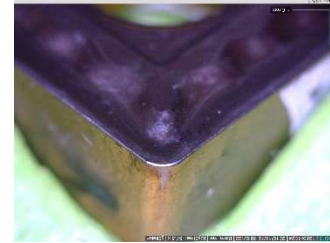
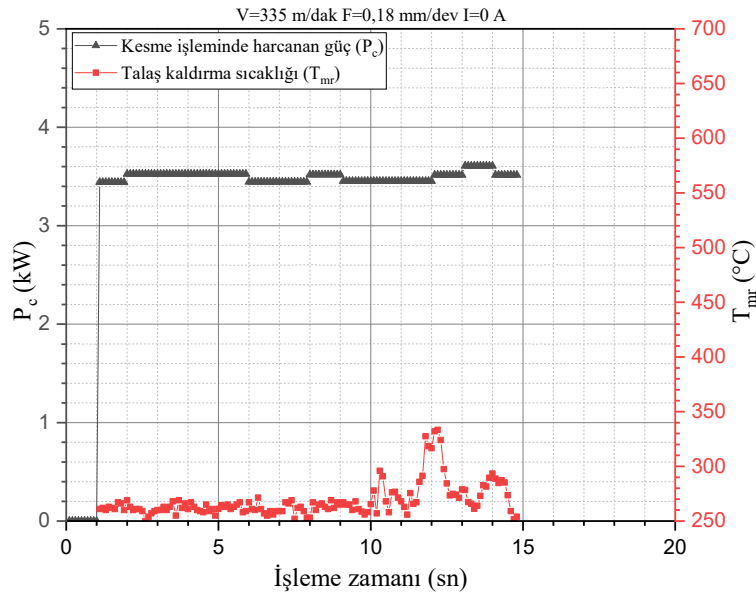
Şekil 28.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 28.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	4,30	4,55	4,18	4,18	4,14	4,27
Torna tezgahının harcadığı güç	4,85	4,85	4,95	4,84	4,91	4,88
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	466	469	468	469	471	469

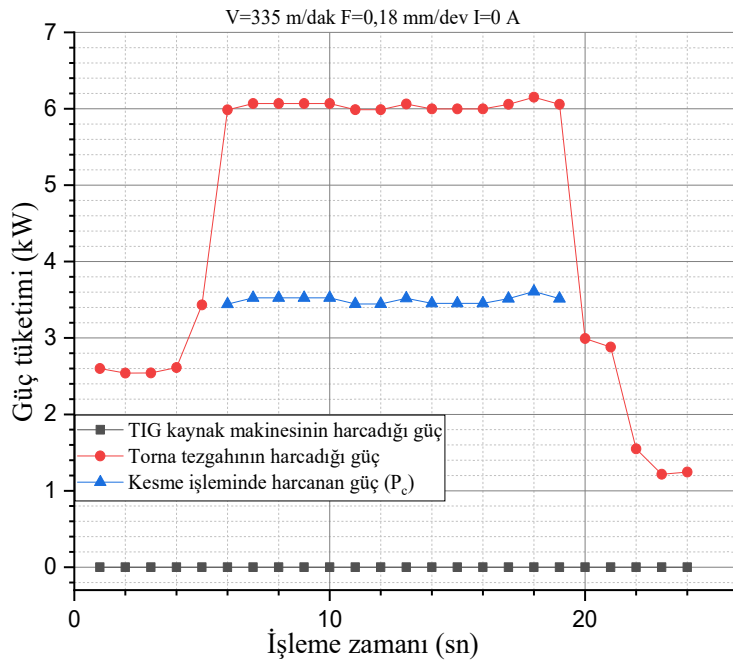
EK-29. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 29. Deney

İşlem parametreleri $V=335$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, konvansiyonel işleme



Resim 29.1. Kesici uç

Şekil 29.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

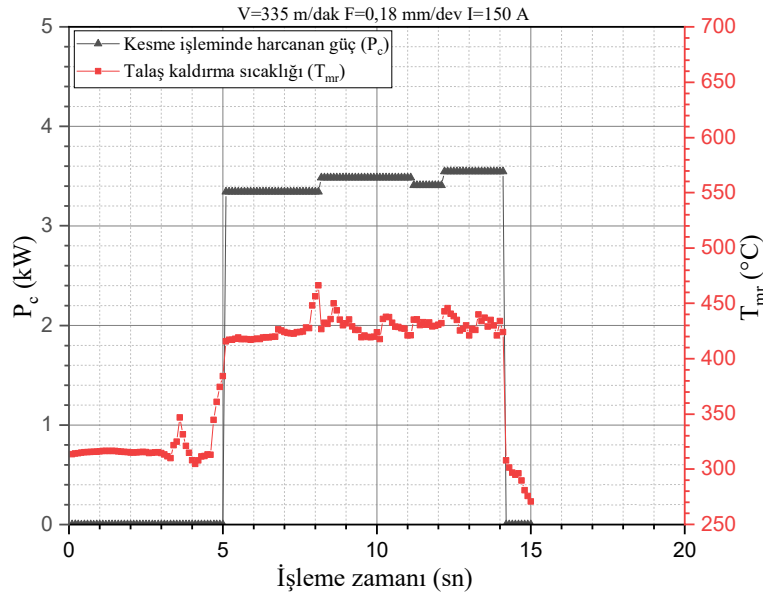
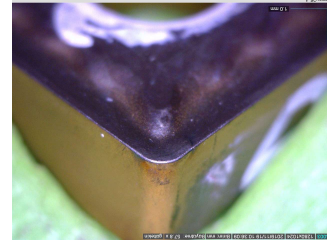


Şekil 29.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 29.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	6,07	6,07	6,07	6,07	5,99	6,05
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	3,52	3,52	3,52	3,52	3,44	3,50
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	259	263	261	263	261	261

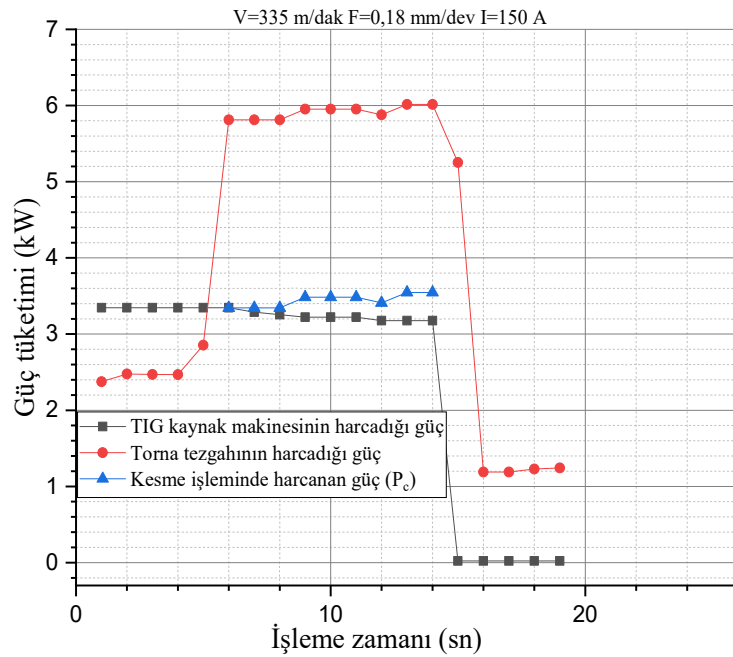
EK-30. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 30. Deney

İşlem parametreleri $V=335$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)Şekil 30.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 30.1. Kesici uç



Resim 30.2. Elektrot

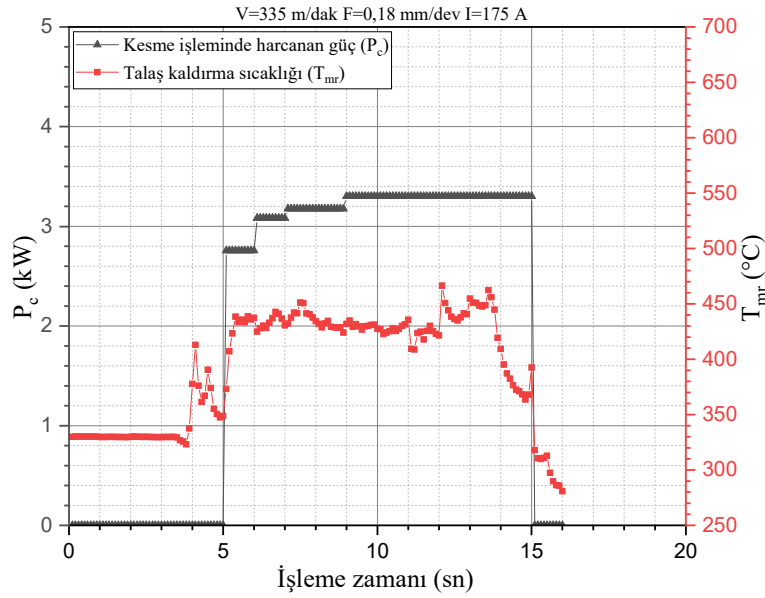


Şekil 30.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 30.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,29	3,25	3,22	3,22	3,22	3,24
Torna tezgahının harcadığı güç	5,81	5,81	5,95	5,95	5,95	5,89
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	3,34	3,34	3,48	3,48	3,48	3,42
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	421	434	435	422	430	428

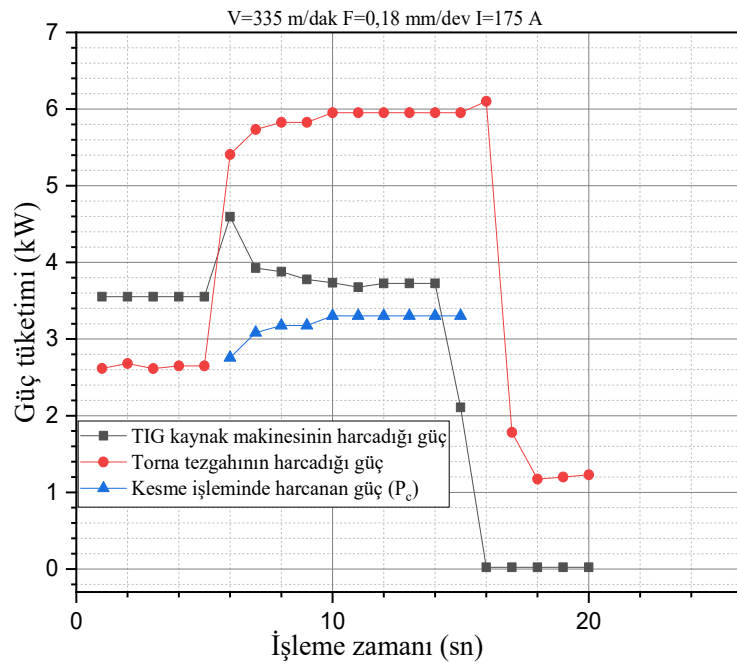
EK-31. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 31. Deney

İşlem parametreleri $V=335$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)Şekil 31.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 31.1. Kesici uç



Resim 31.2. Elektrot

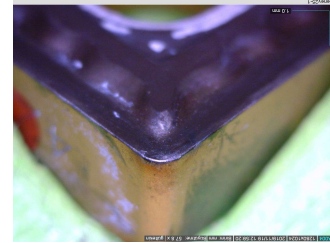
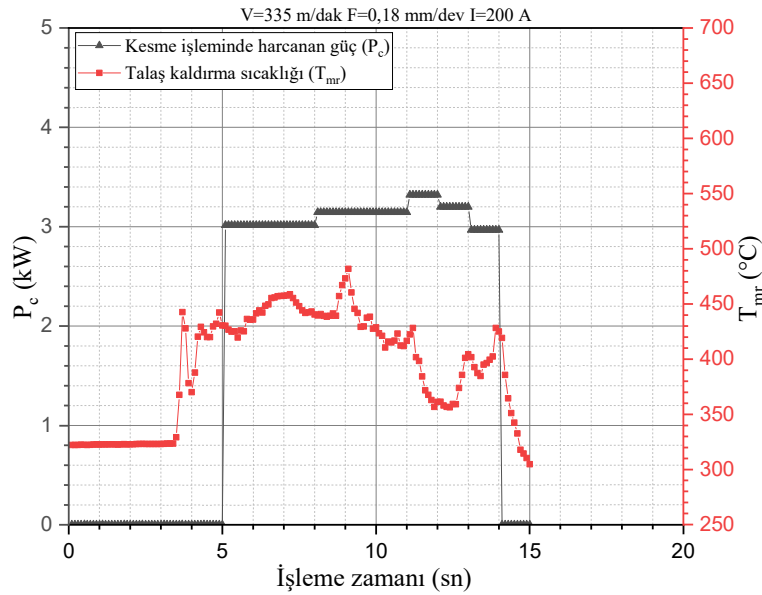


Şekil 31.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 31.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,73	3,68	3,73	3,73	3,73	3,72
Torna tezgahının harcadığı güç	5,95	5,95	5,95	5,95	5,95	5,95
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	430	427	422	443	445	433

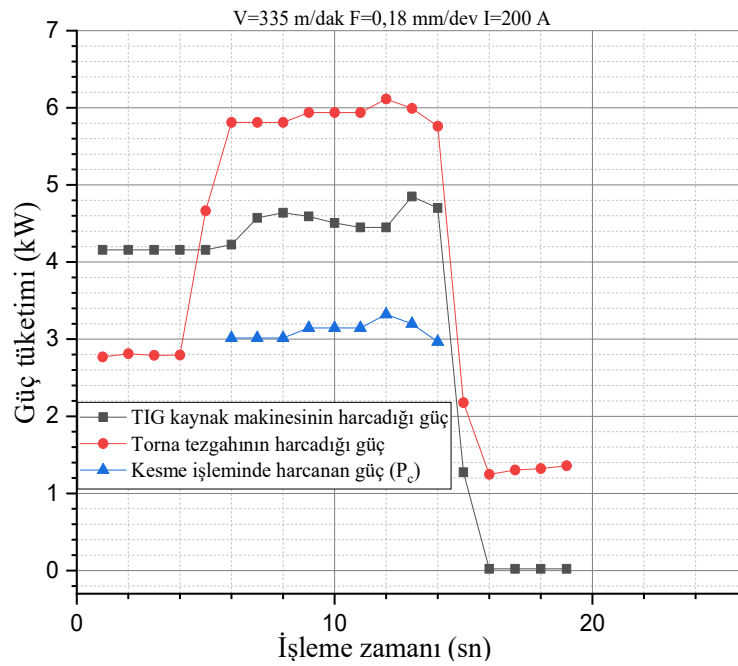
EK-32. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 32. Deney

İşlem parametreleri $V=335$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)

Resim 32.1. Kesici uç



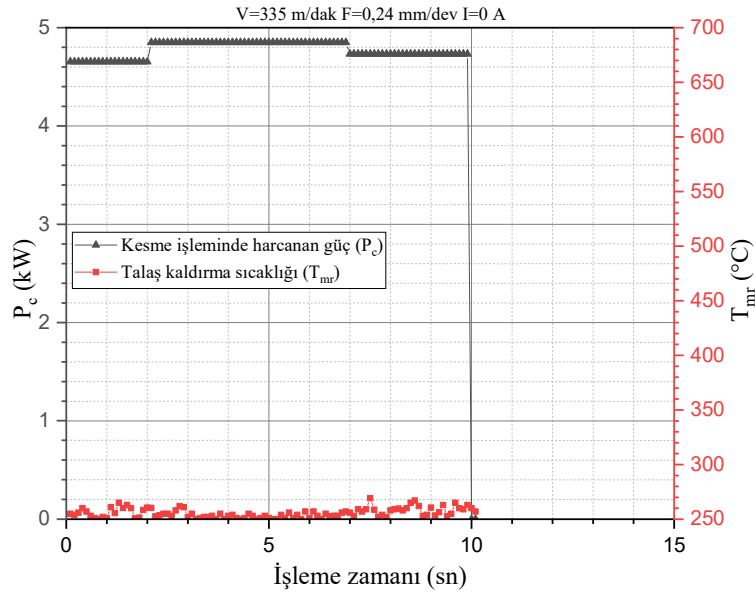
Resim 32.2. Elektrot



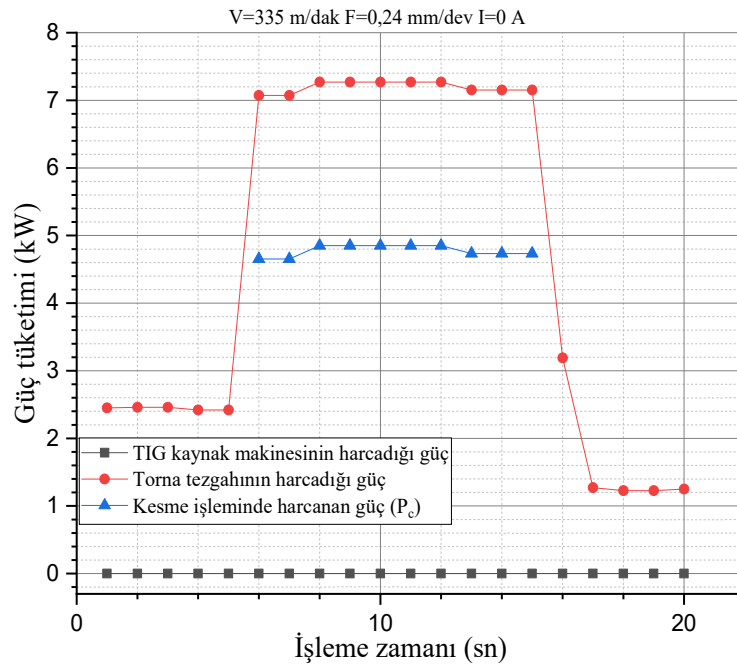
Çizelge 32.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	4,23	4,57	4,64	4,59	4,51	4,51
Torna tezgahının harcadığı güç	5,81	5,81	5,81	5,94	5,94	5,86
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	3,02	3,02	3,02	3,14	3,14	3,07
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	429	451	448	448	442	444

EK-33. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 33. Deney

İşlem parametreleri $V=335$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, konvansiyonel işleme

Resim 33.1. Kesici uç

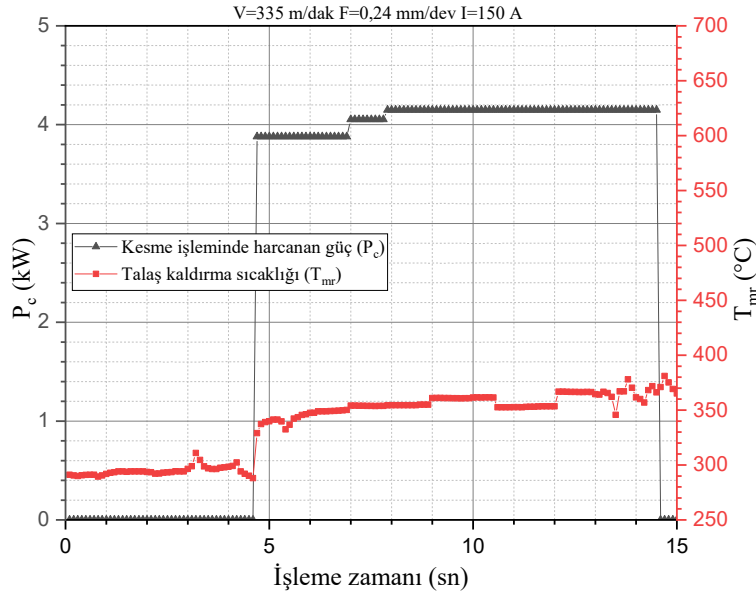
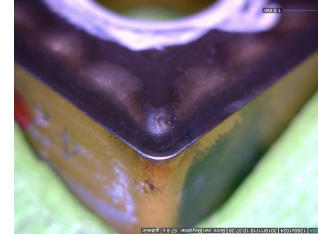
Şekil 33.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Şekil 33.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 33.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	7,27	7,27	7,27	7,27	7,27	7,27
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	251	253	256	253	252	253

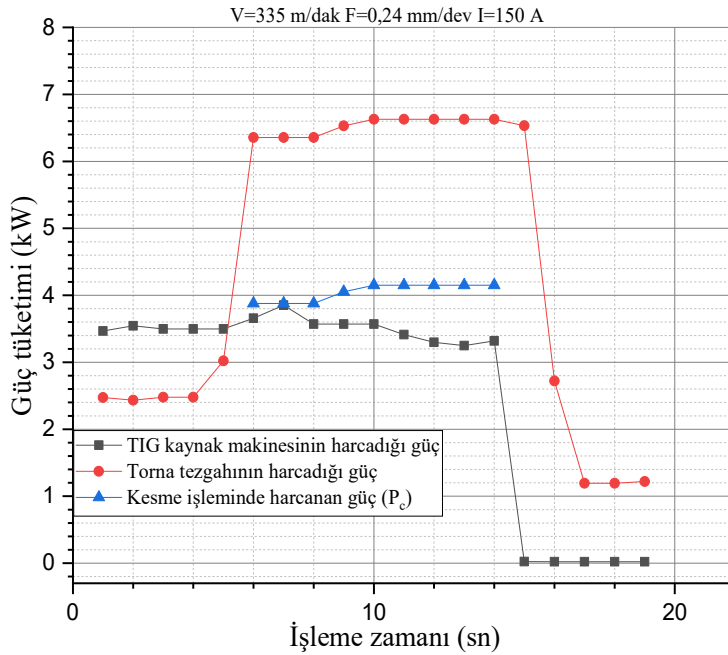
EK-34. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 34. Deney

İşlem parametreleri $V=335$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)Şekil 34.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 34.1. Kesici uç



Resim 34.2. Elektrot

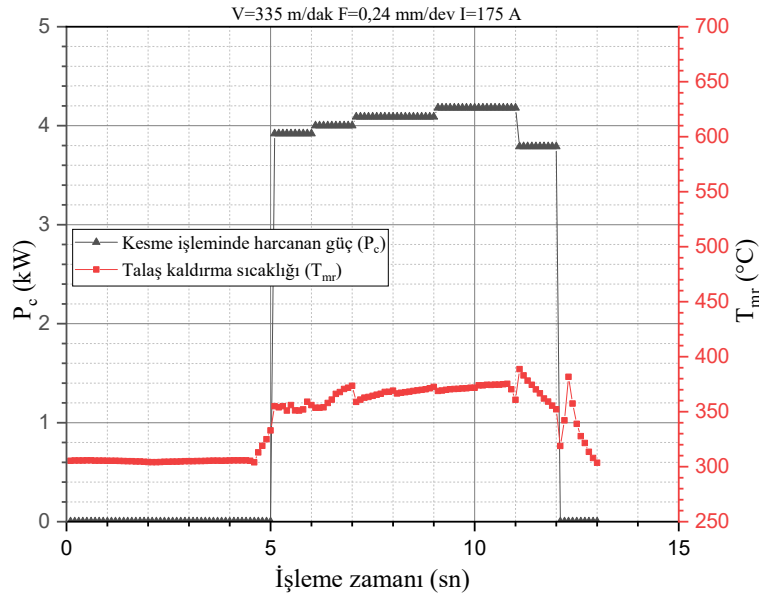
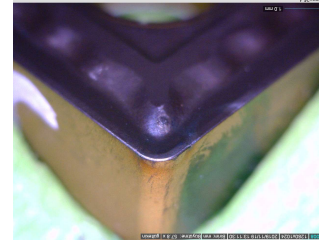


Şekil 34.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 34.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,57	3,41	3,30	3,25	3,32	3,37
Torna tezgahının harcadığı güç	6,63	6,63	6,63	6,63	6,63	6,63
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	355	361	353	365	367	360

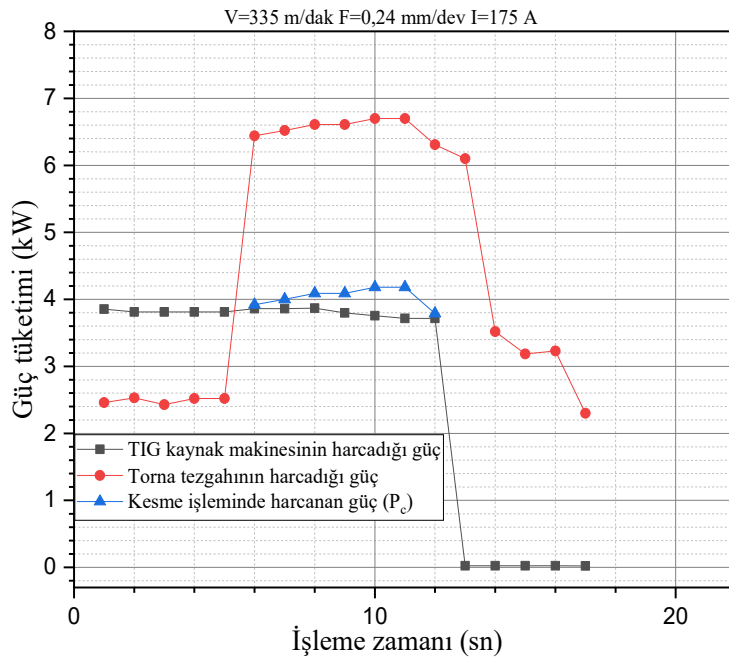
EK-35. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 35. Deney

İşlem parametreleri $V=335$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)Şekil 35.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 35.1. Kesici uç



Resim 35.2. Elektrot

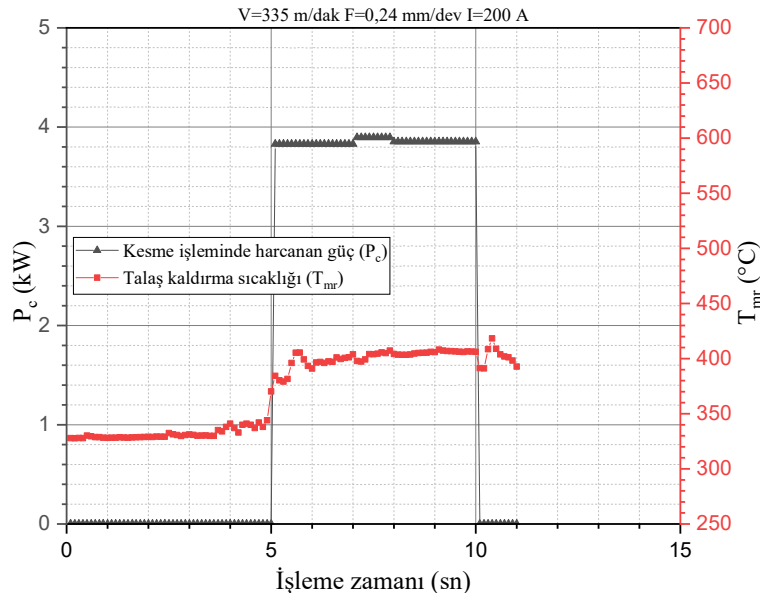


Şekil 35.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 35.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,86	3,87	3,80	3,76	3,72	3,80
Torna tezgahının harcadığı güç	6,52	6,61	6,61	6,70	6,70	6,63
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	4,00	4,09	4,09	4,18	4,18	4,11
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	363	365	369	371	371	368

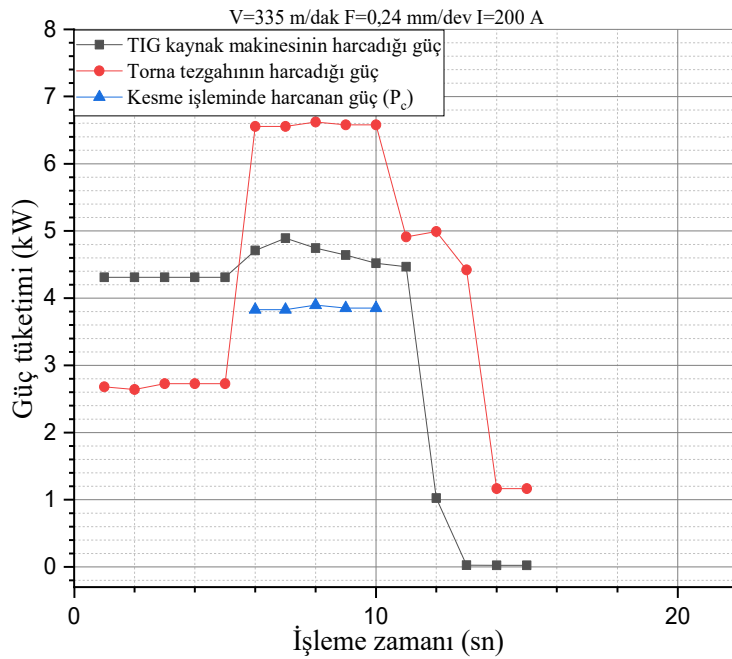
EK-36. Sertleştirilmemiş AISI 4340 çeliği 36. Deney

İşlem parametreleri $V=335$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)Şekil 36.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 36.1. Kesici uç



Resim 36.2. Elektrot

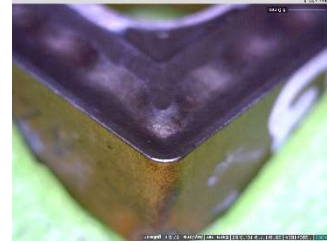
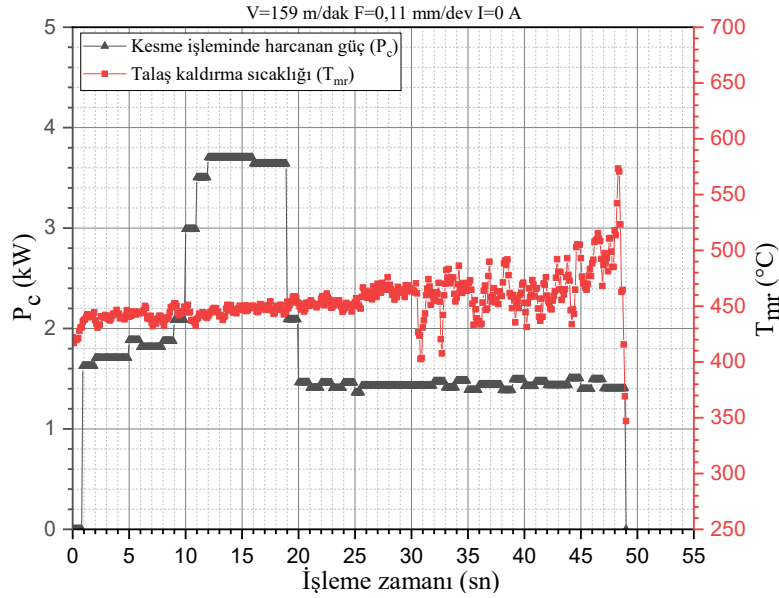


Şekil 36.2. Güç (kW) tüketimleri

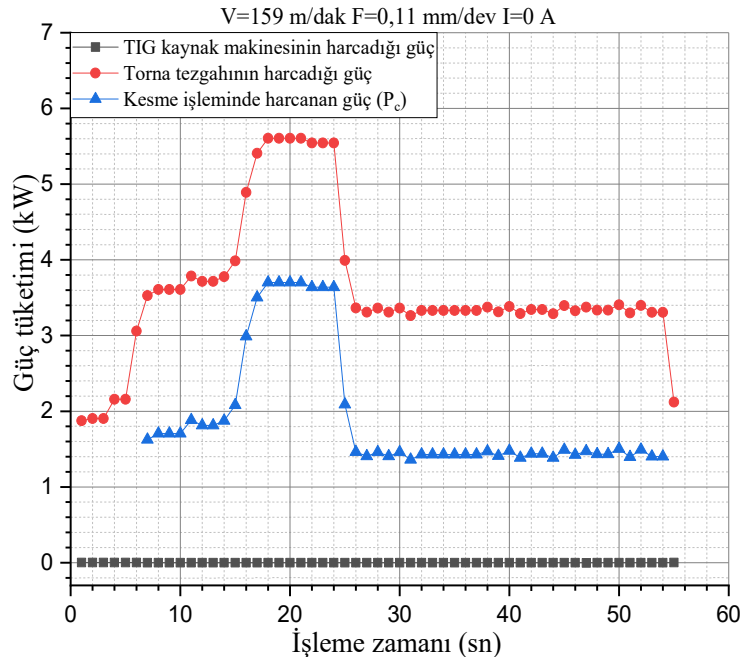
Çizelge 36.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	4,71	4,89	4,74	4,64	4,52	4,70
Torna tezgahının harcadığı güç	6,56	6,56	6,62	6,58	6,58	6,58
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	3,83	3,83	3,90	3,85	3,85	3,85
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	400	405	398	404	399	401

EK-37. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 37. Deney

İşlem parametreleri $V=159$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, konvansiyonel işleme

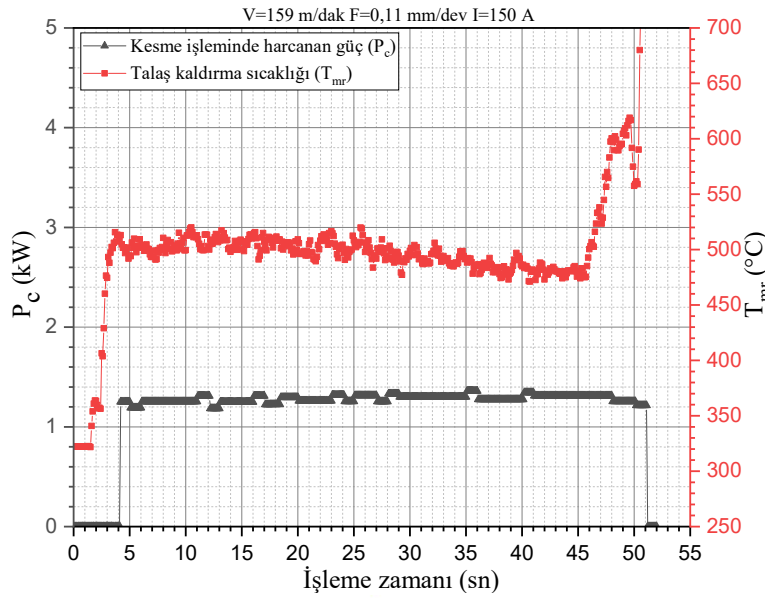
Resim 37.1. Kesici uç



Çizelge 37.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
Kesme işlemi sırasında harcanan güç (P_c)	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	452	461	465	463	450	458

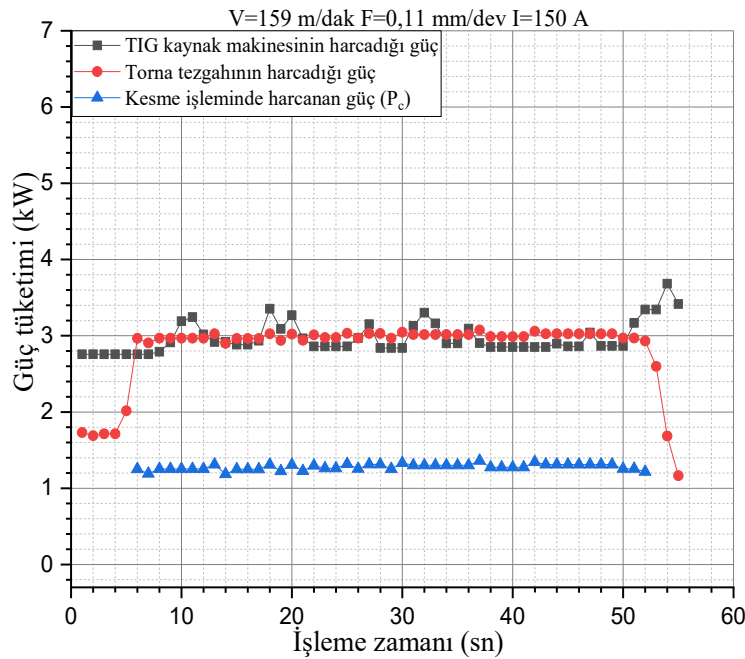
EK-38. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 38. Deney

İşlem parametreleri $V=159$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)

Resim 38.1. Kesici uç

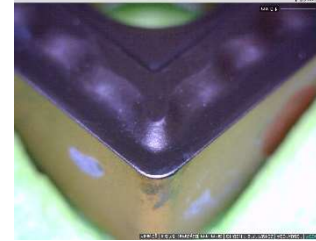
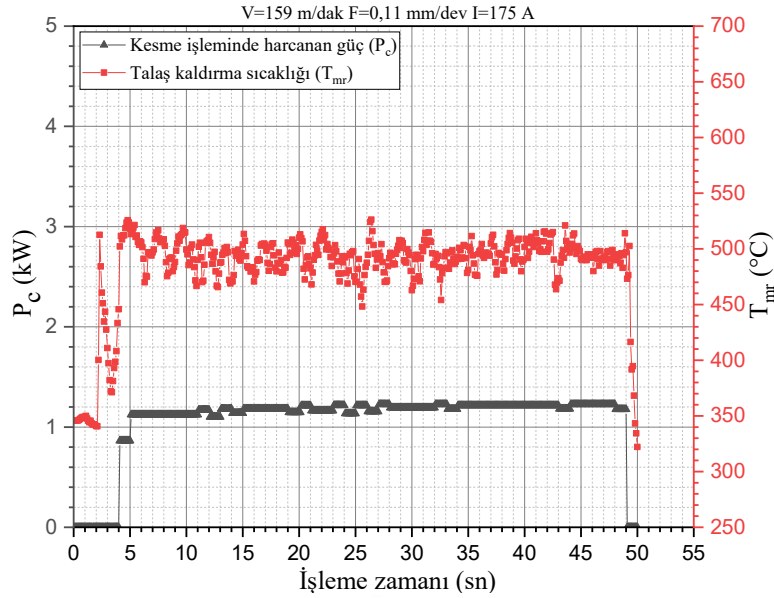


Resim 38.2. Elektrot

Çizelge 38.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı ($^{\circ}C$) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,13	3,30	3,16	2,90	2,90	3,08
Torna tezgahının harcadığı güç	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01
Kesme işlemi harcanan güç (P_c)	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	490	496	491	496	488	492

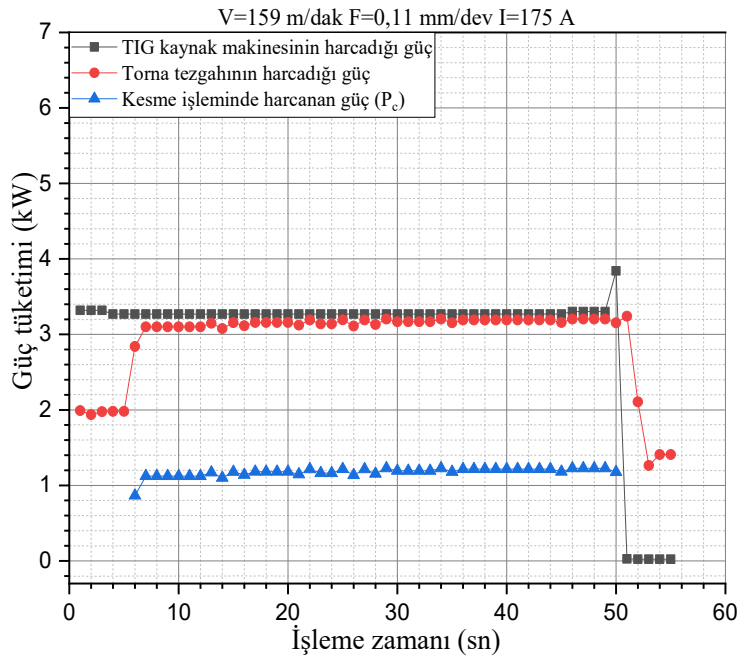
EK-39. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 39. Deney

İşlem parametreleri $V=159$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)

Resim 39.1. Kesici uç

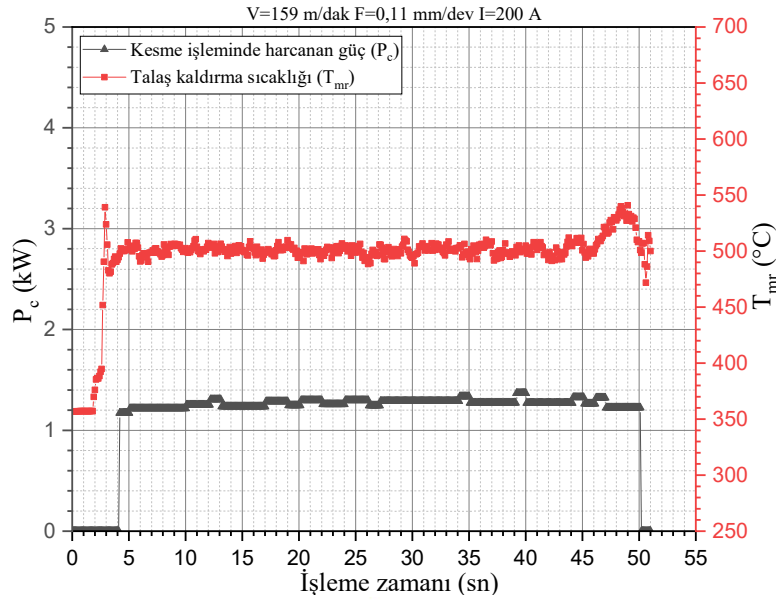


Resim 39.2. Elektrot

Çizelge 39.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı ($^{\circ}C$) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,27	3,27	3,27	3,27	3,27	3,27
Torna tezgahının harcadığı güç	3,19	3,19	3,19	3,19	3,19	3,19
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	493	491	497	495	499	495

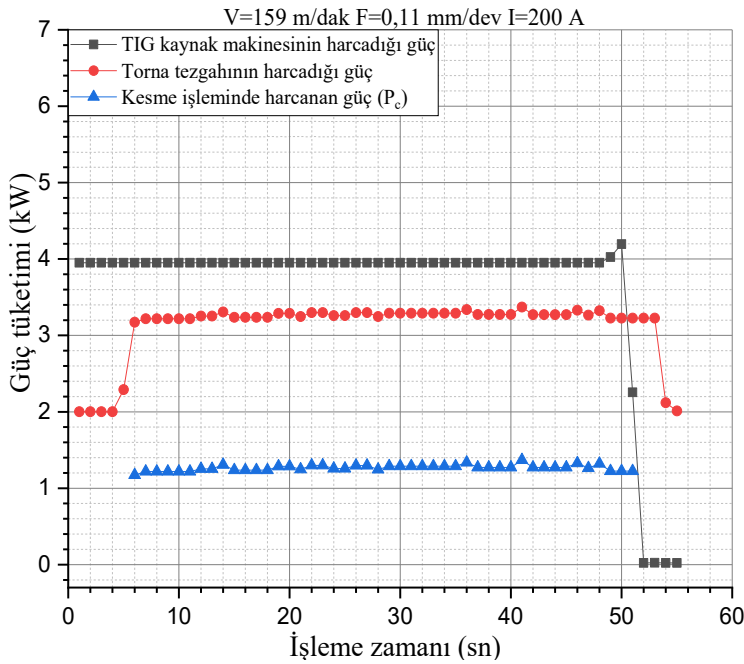
EK-40. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 40. Deney

İşlem parametreleri $V=159$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)Şekil 40.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 40.1. Kesici uç



Resim 40.2. Elektrot



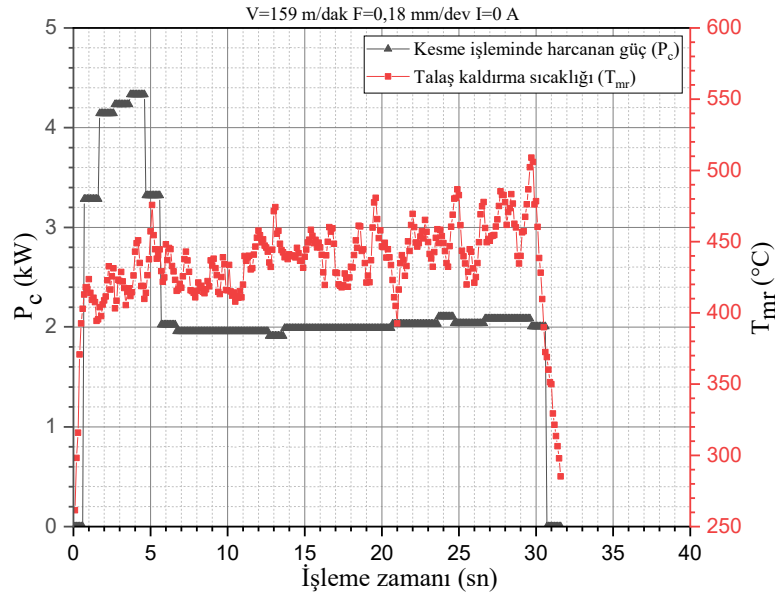
Şekil 40.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 40.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Torna tezgahının harcadığı güç	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	501	497	499	503	503	501

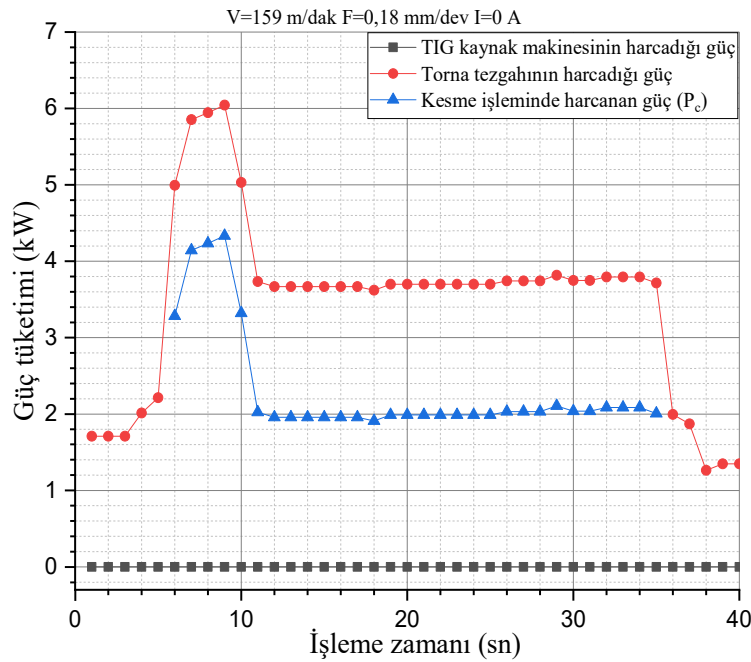
EK-41. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 41. Deney

İşlem parametreleri $V=159$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, konvansiyonel işleme



Resim 41.1. Kesici uç

Şekil 41.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



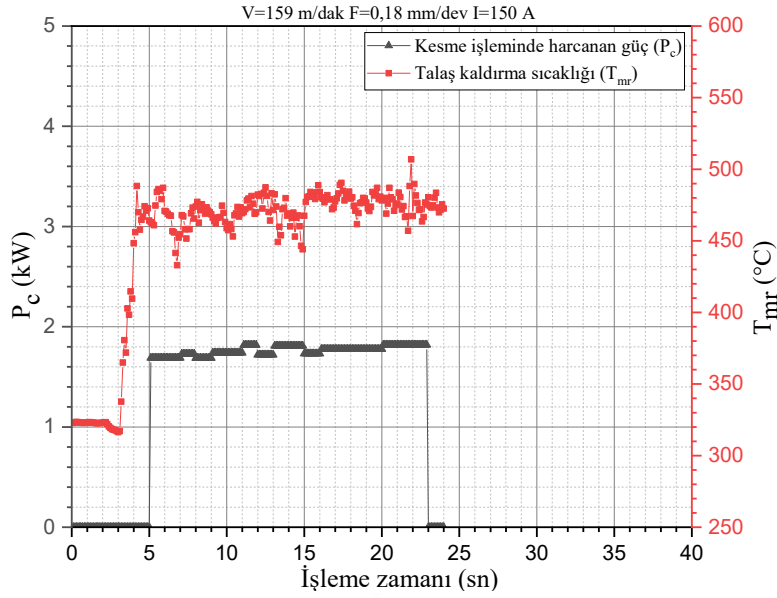
Şekil 41.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 41.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	444	433	440	446	443	441

EK-42. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 42. Deney

İşlem parametreleri $V=159$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)



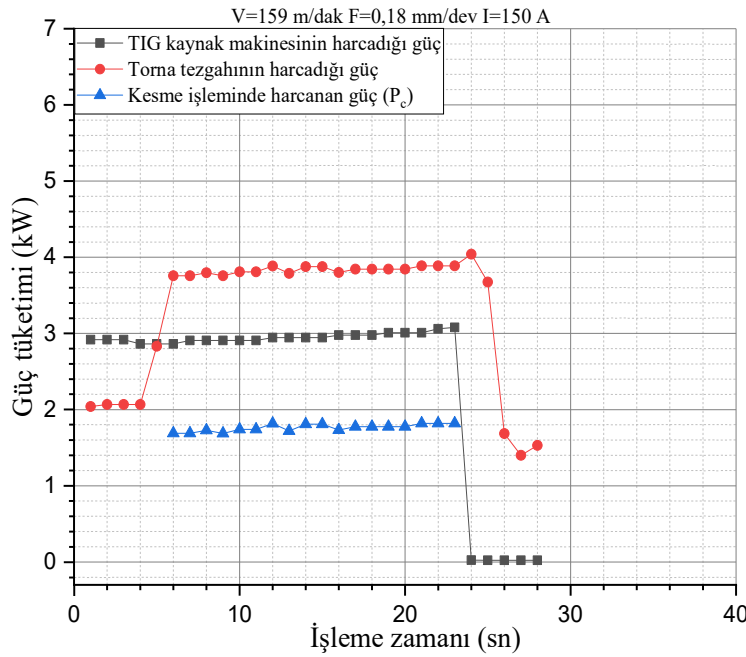
Şekil 42.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



Resim 42.1. Kesici uç



Resim 42.2. Elektrot

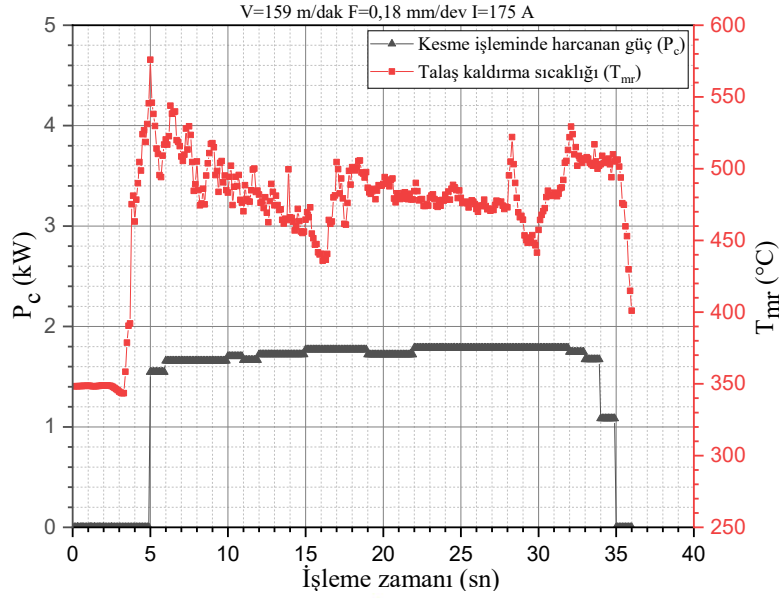
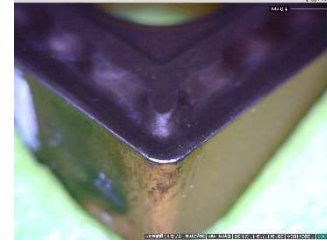


Şekil 42.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 42.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,01	3,01	3,01	3,06	3,08	3,03
Torna tezgahının harcadığı güç	3,84	3,84	3,89	3,89	3,89	3,87
Kesme işlemi harcanan güç (P_c)	1,78	1,78	1,82	1,82	1,82	1,80
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	475	479	477	476	475	476

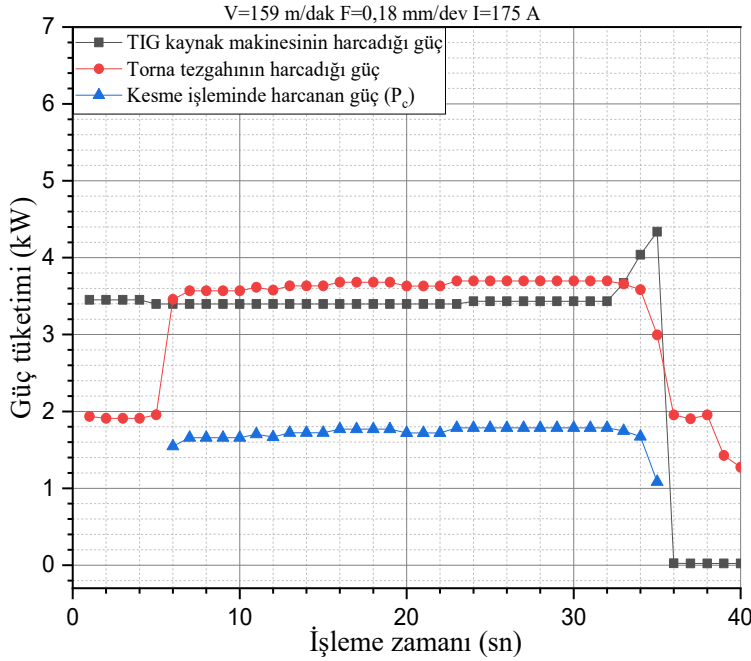
EK-43. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 43. Deney

İşlem parametreleri $V=159$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)Şekil 43.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 43.1. Kesici uç



Resim 43.2. Elektrot



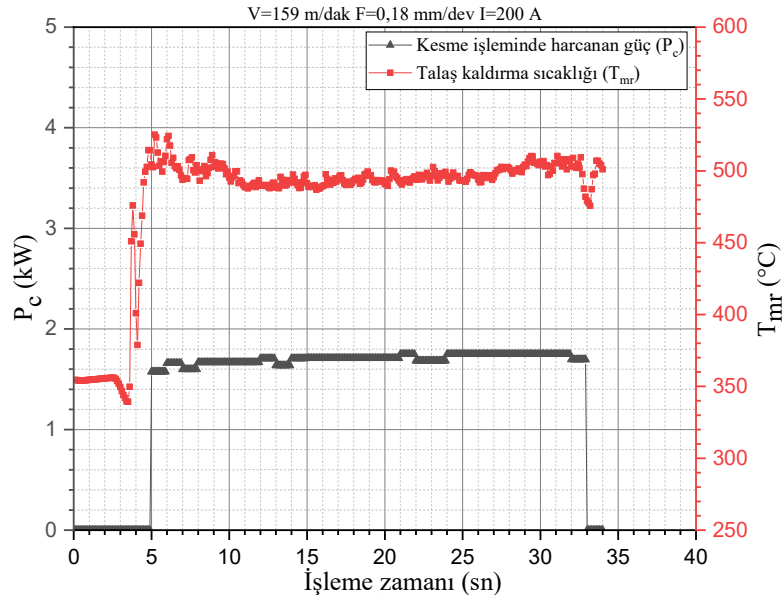
Şekil 43.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 43.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

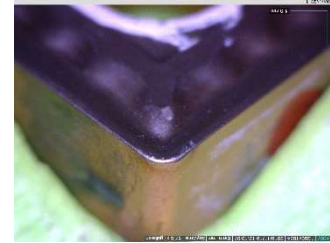
						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43
Torna tezgahının harcadığı güç	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79	1,79
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	483	477	473	475	487	479

EK-44. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 44. Deney

İşlem parametreleri $V=159$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)



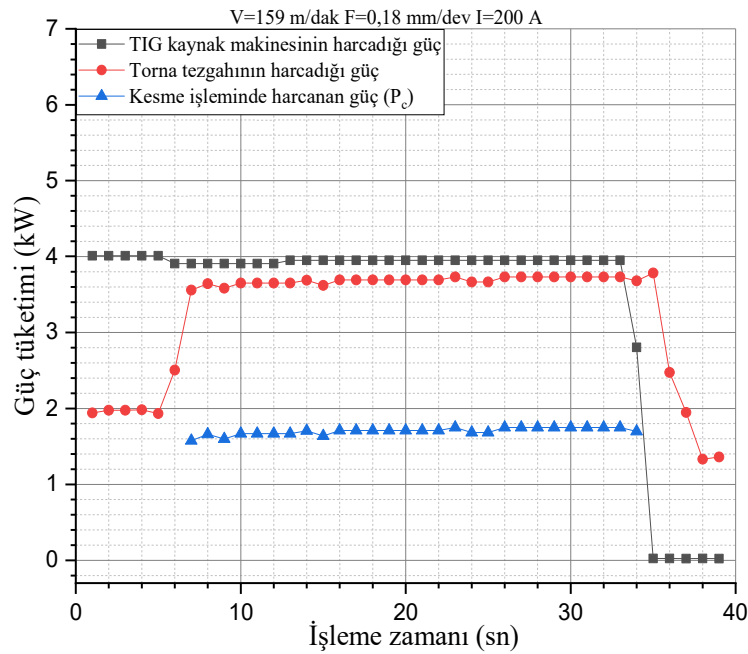
Şekil 44.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



Resim 44.1. Kesici uç



Resim 44.2. Elektrot



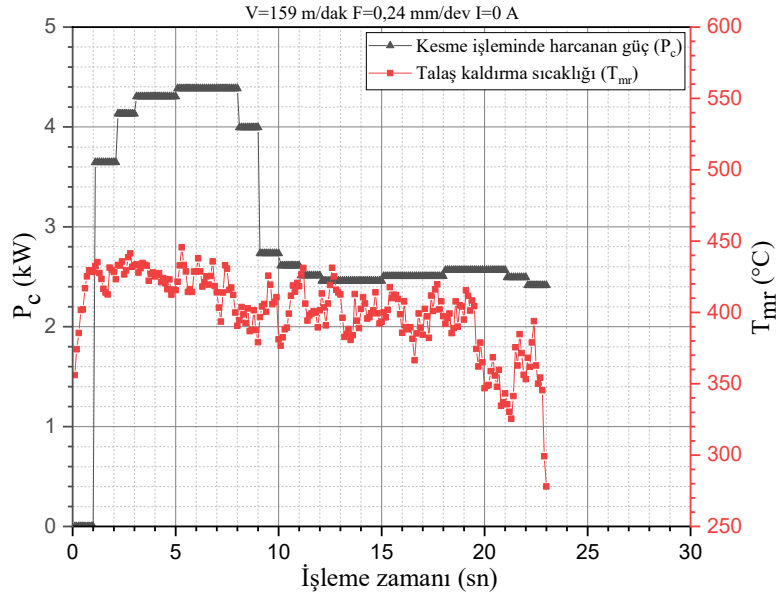
Şekil 44.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 44.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Torna tezgahının harcadığı güç	3,69	3,69	3,69	3,69	3,69	3,69
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	493	489	493	493	495	493

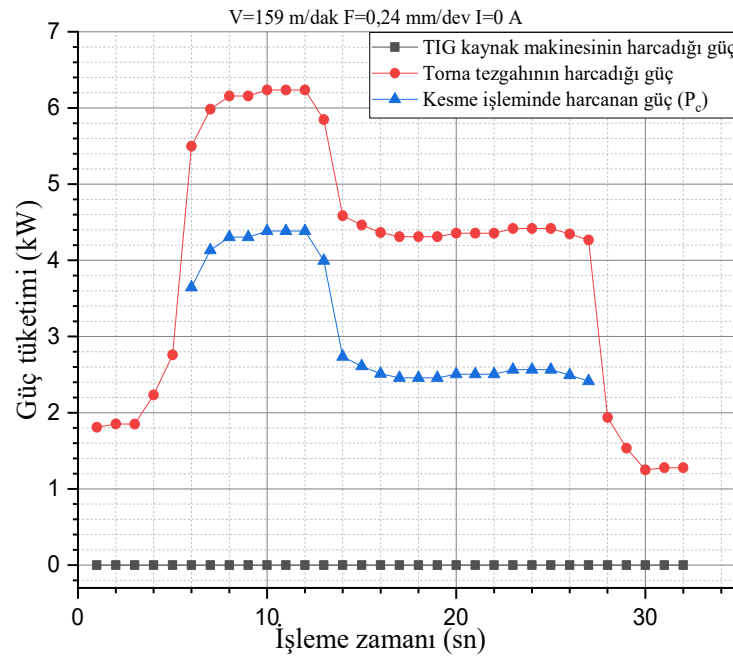
EK-45. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 45. Deney

İşlem parametreleri $V=159$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, konvansiyonel işleme



Resim 45.1. Kesici uç

Şekil 45.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



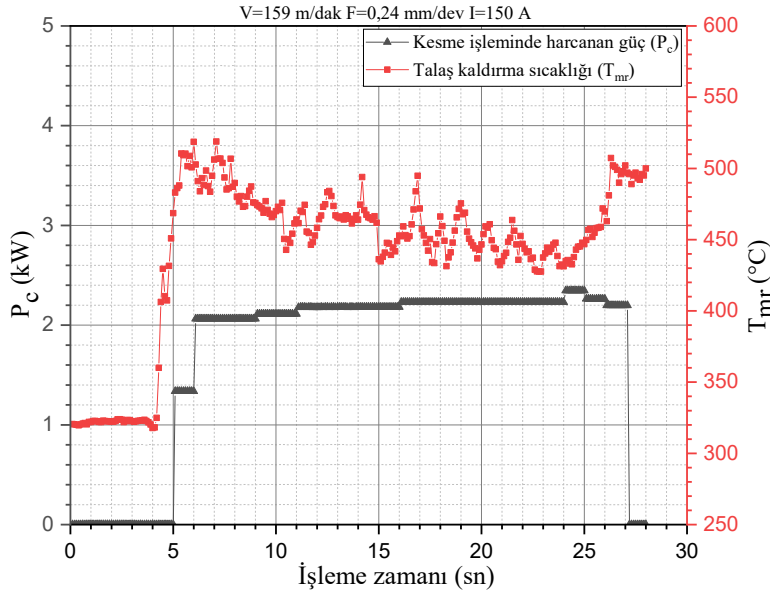
Şekil 45.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 45.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	4,31	4,31	4,36	4,36	4,36	4,34
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,46	2,46	2,50	2,50	2,50	2,48
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	392	401	404	388	404	398

EK-46. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 46. Deney

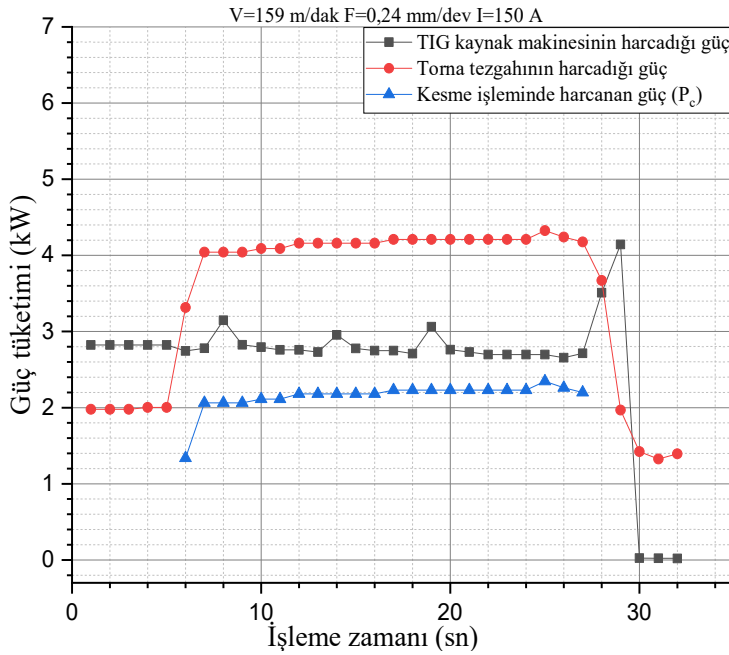
İşlem parametreleri $V=159$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)



Resim 46.1. Kesici uç



Resim 46.2. Elektrot

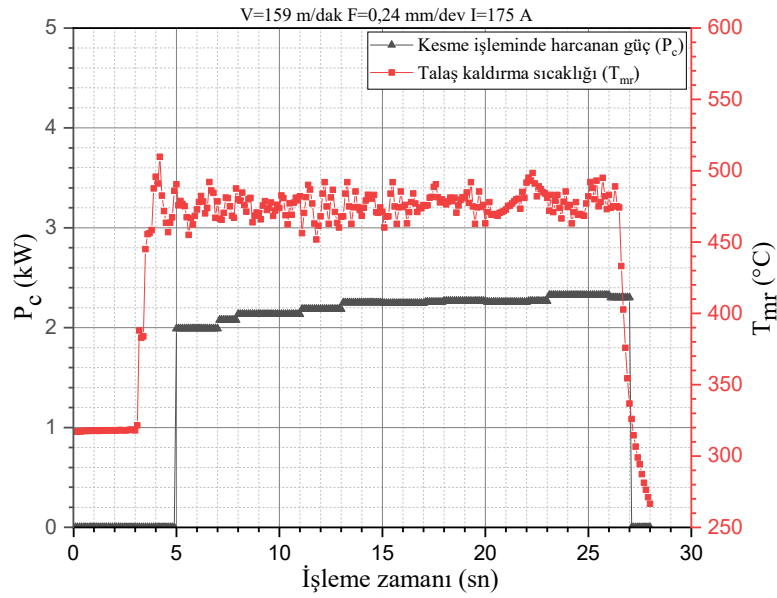


Çizelge 46.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	2,75	2,71	3,06	2,76	2,73	2,80
Torna tezgahının harcadığı güç	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	464	448	454	451	447	453

EK-47. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 47. Deney

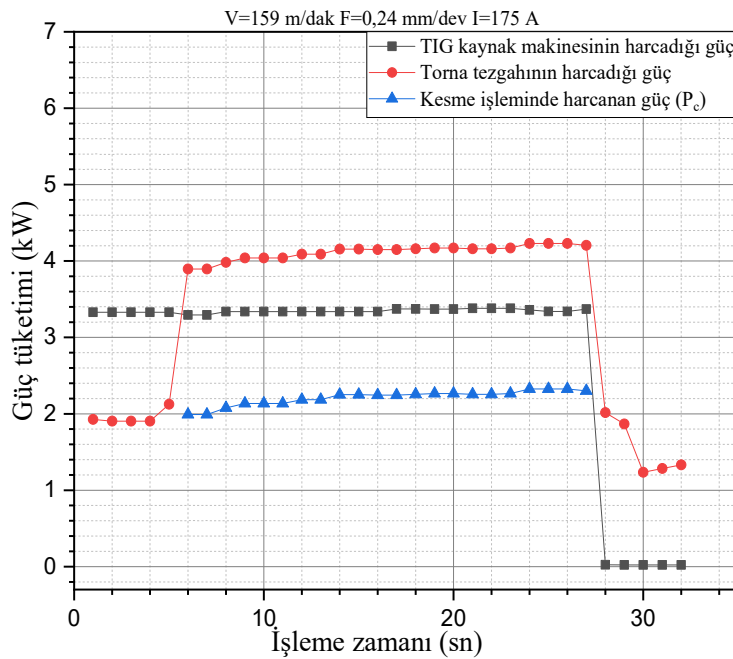
İşlem parametreleri $V=159$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)



Resim 47.1. Kesici uç



Resim 47.2. Elektrot

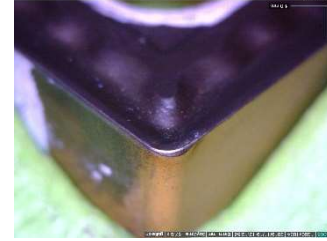
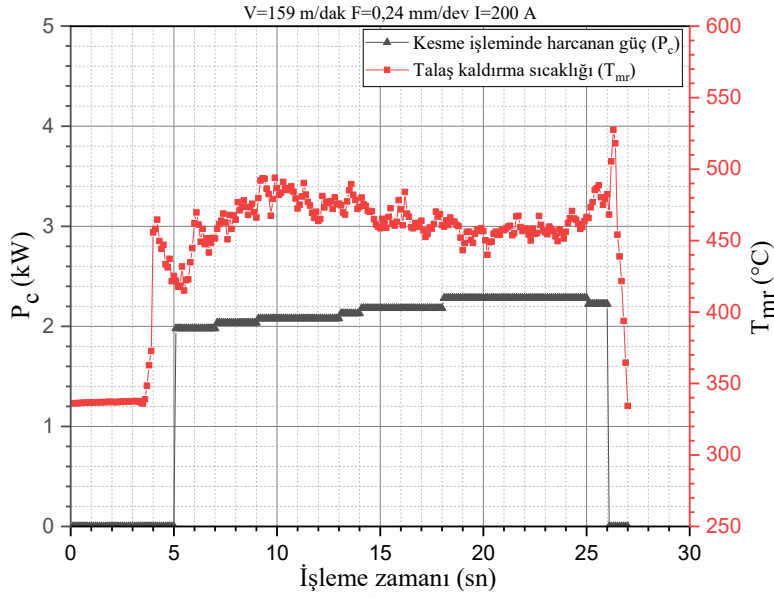


Çizelge 47.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı ($^{\circ}C$) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34
Torna tezgahının harcadığı güç	4,04	4,04	4,04	4,09	4,09	4,06
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,13	2,13	2,13	2,19	2,19	2,15
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	475	473	476	471	474	474

EK-48. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 48. Deney

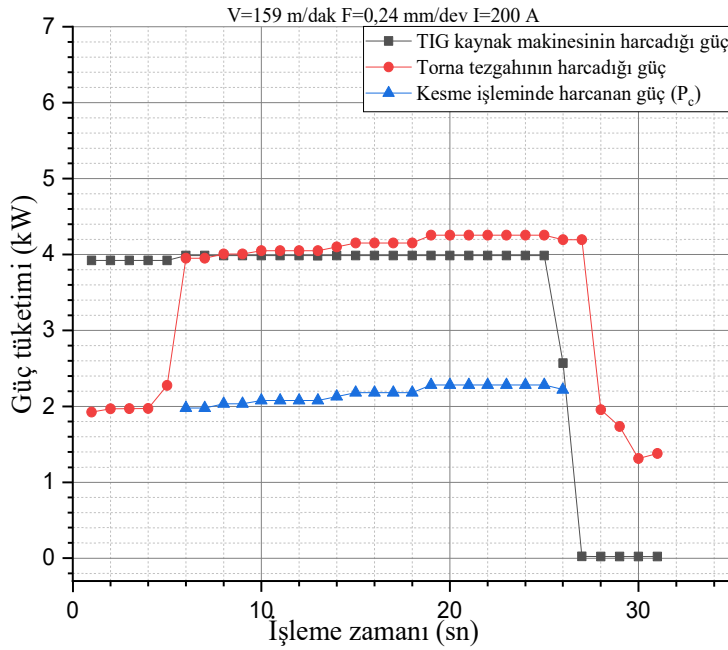
İşlem parametreleri $V=159$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)



Resim 48.1. Kesici uç



Resim 48.2. Elektrot

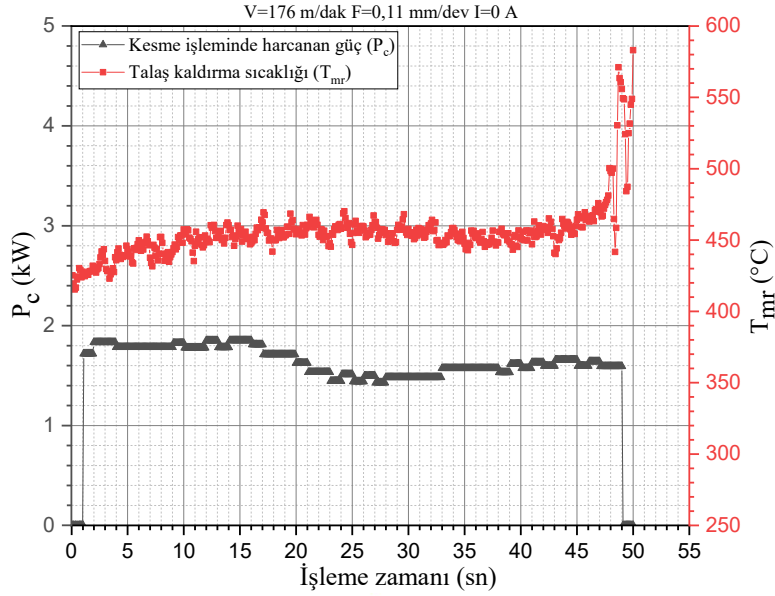


Çizelge 48.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99
Torna tezgahının harcadığı güç	4,05	4,05	4,05	4,05	4,10	4,06
Kesme işlemi sırasında harcanan güç (P_c)	2,08	2,08	2,08	2,08	2,13	2,09
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	485	484	475	475	477	479

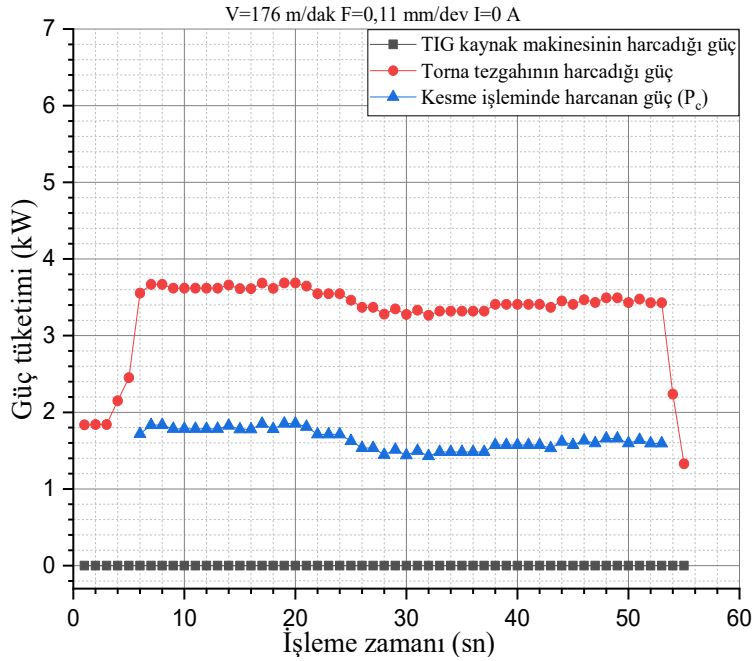
EK-49. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 49. Deney

İşlem parametreleri $V=176$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, konvansiyonel işleme



Resim 49.1. Kesici uç

Şekil 49.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



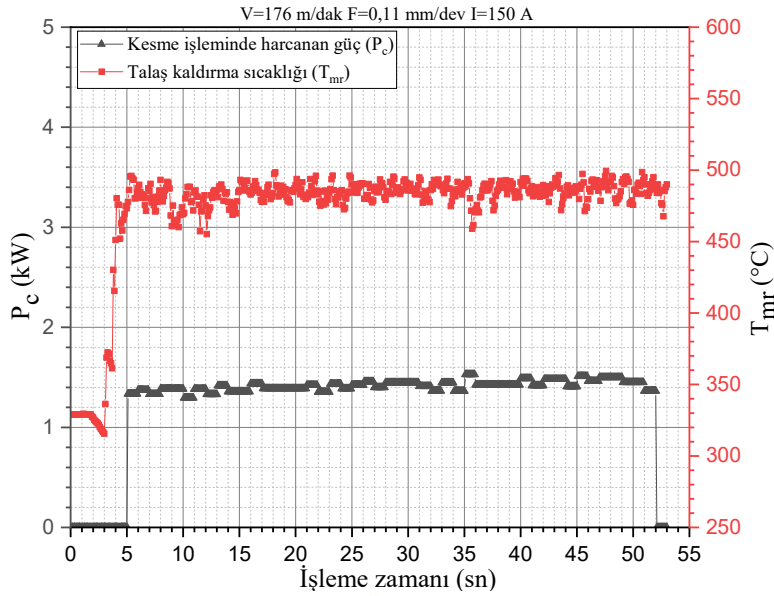
Şekil 49.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 49.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

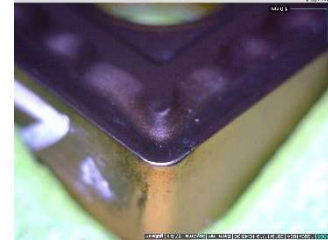
						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41
Kesme işlemi sırasında harcanan güç (P_c)	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	452	452	450	450	449	451

EK-50. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 50. Deney

İşlem parametreleri $V=176$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)



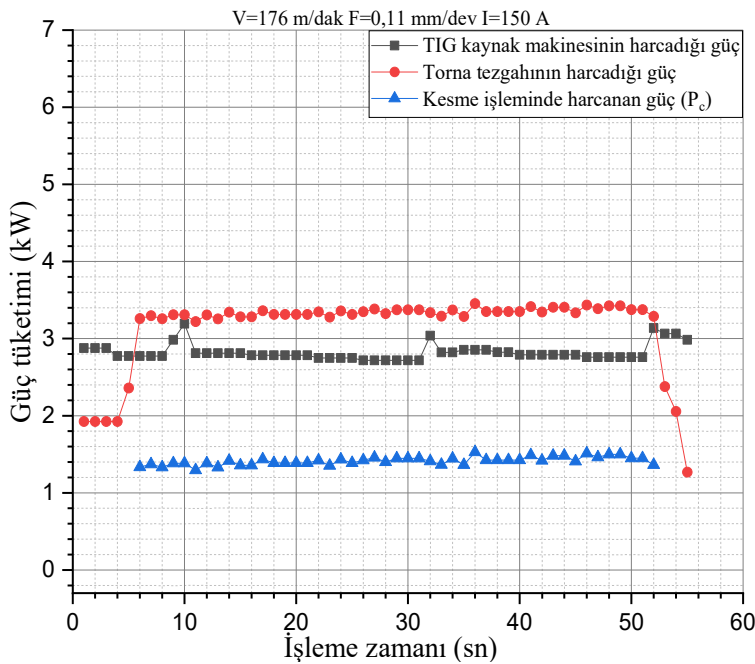
Şekil 50.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



Resim 50.1. Kesici uç



Resim 50.2. Elektrot



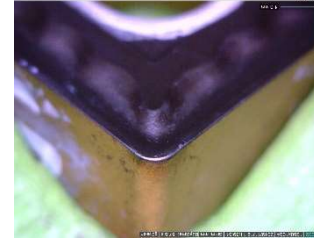
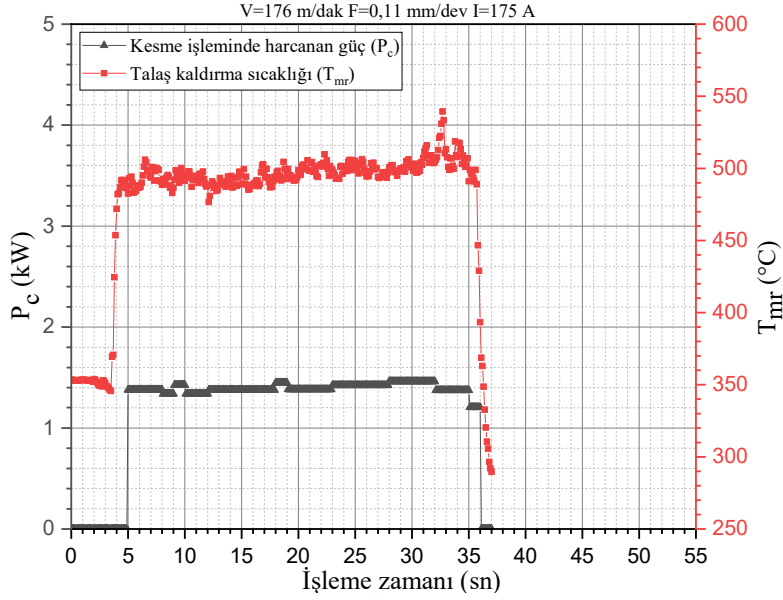
Şekil 50.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 50.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	2,78	2,78	2,78	2,78	2,75	2,77
Torna tezgahının harcadığı güç	3,31	3,31	3,31	3,31	3,35	3,32
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,39	1,39	1,39	1,39	1,42	1,40
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	483	489	483	486	487	486

EK-51. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 51. Deney

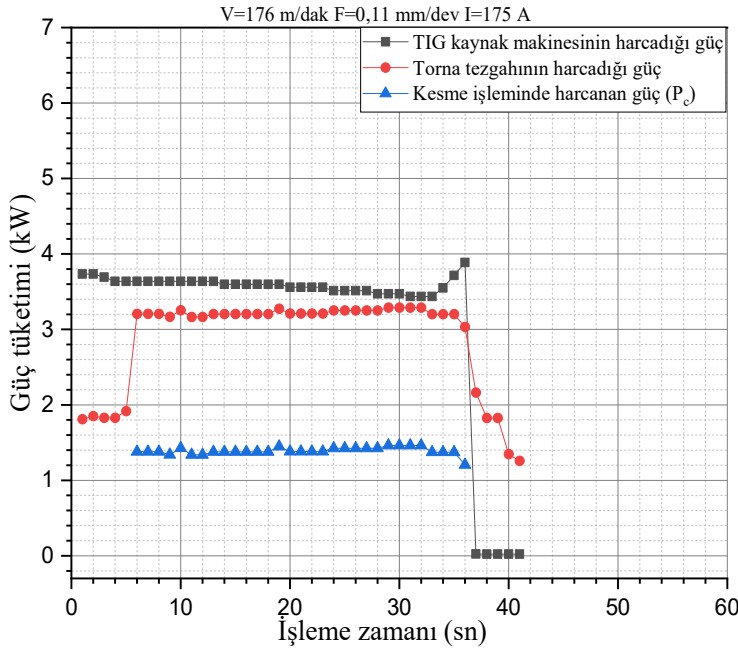
İşlem parametreleri $V=176$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)



Resim 51.1. Kesici uç



Resim 51.2. Elektrot

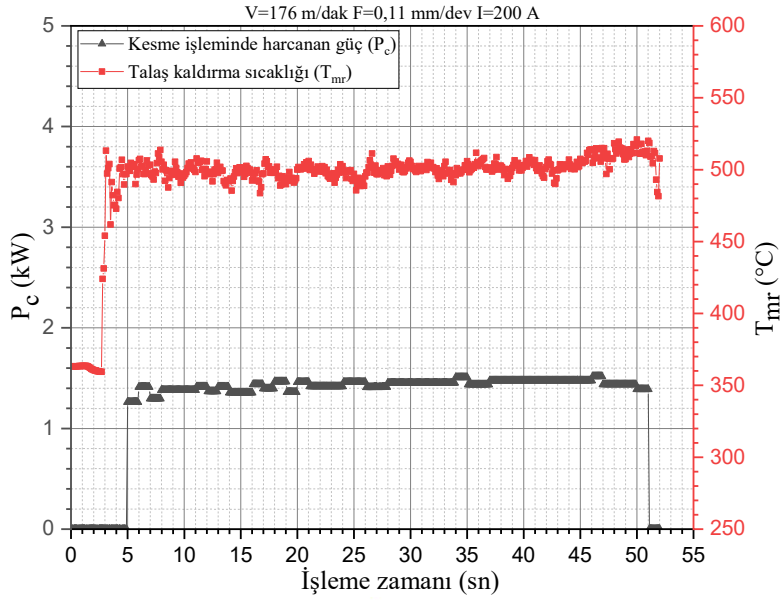


Çizelge 51.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı ($^{\circ}C$) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,64	3,60	3,60	3,60	3,60	3,61
Torna tezgahının harcadığı güç	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	485	490	491	490	493	490

EK-52. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 52. Deney

İşlem parametreleri $V=176$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)



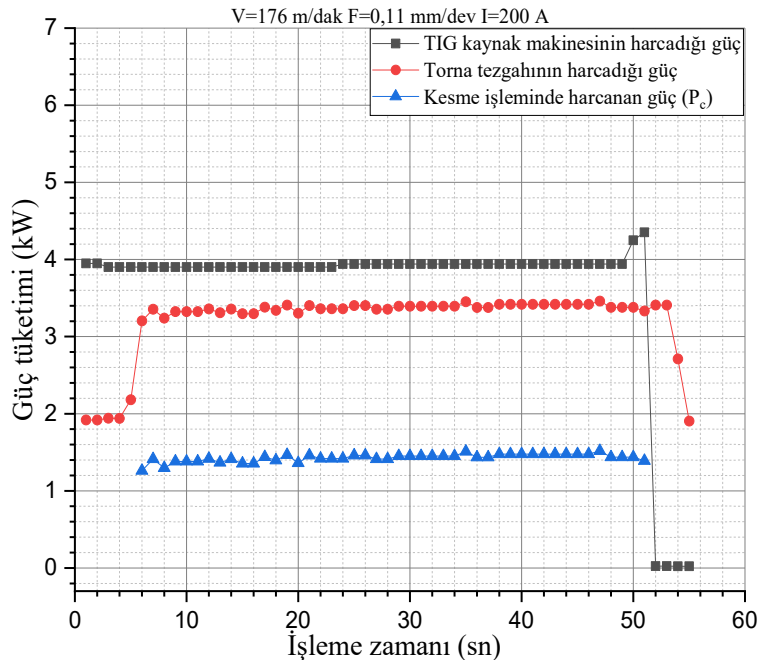
Şekil 52.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



Resim 52.1. Kesici uç



Resim 52.2. Elektrot



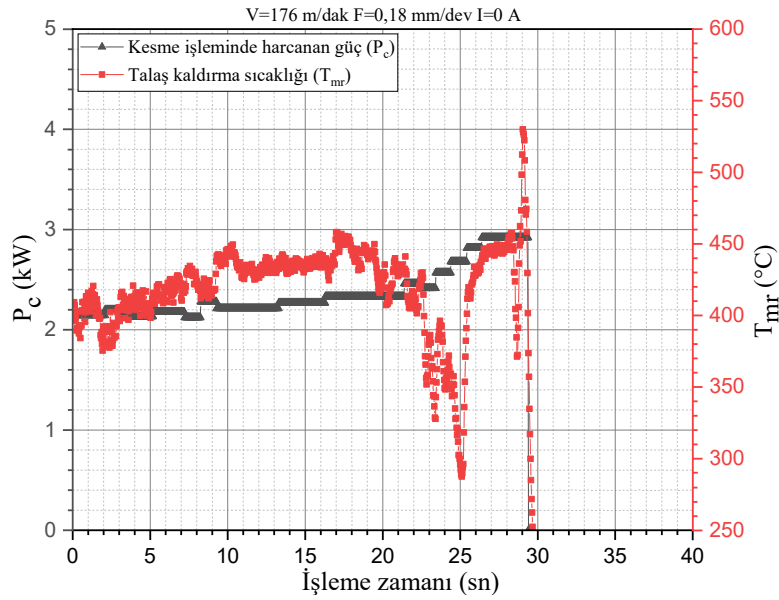
Şekil 52.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 52.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

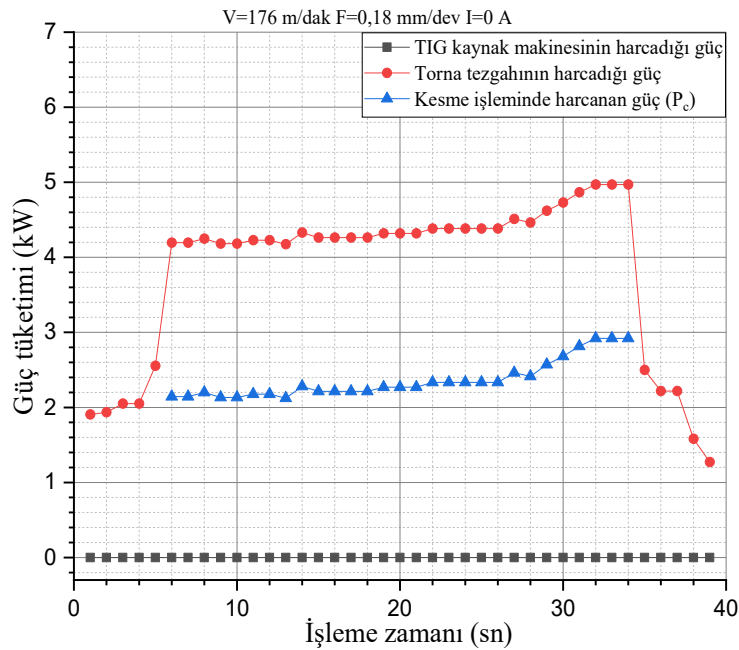
						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90
Torna tezgahının harcadığı güç	3,24	3,32	3,32	3,32	3,36	3,31
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,30	1,38	1,38	1,38	1,42	1,37
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	502	498	498	500	503	500

EK-53. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 53. Deney

İşlem parametreleri $V=176$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, konvansiyonel işleme



Resim 53.1. Kesici uç

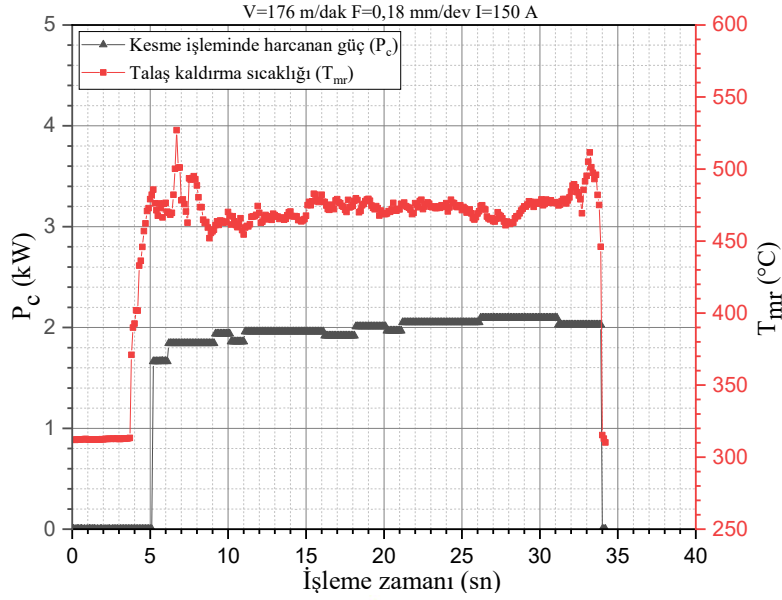


Çizelge 53.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	4,26	4,26	4,26	4,26	4,32	4,27
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	441	435	430	434	435	435

EK-54. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 54. Deney

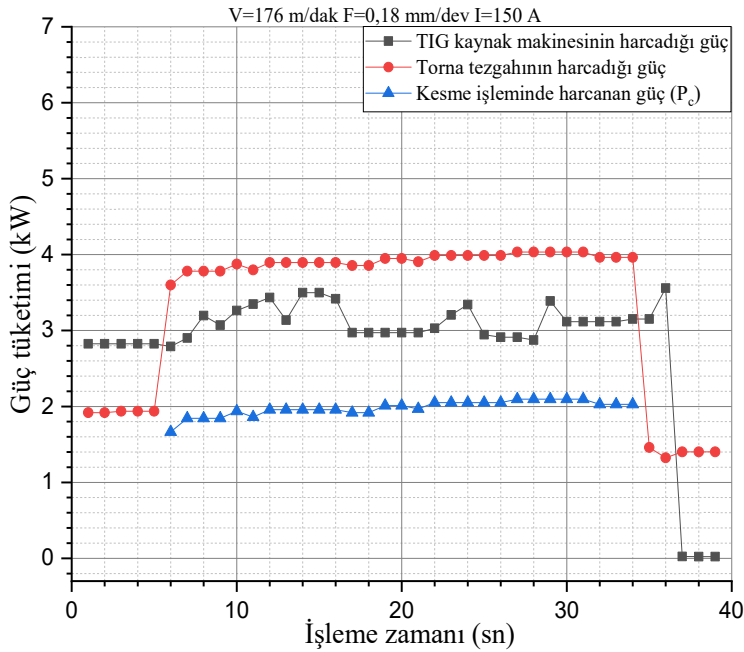
İşlem parametreleri $V=176$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)



Resim 54.1. Kesici uç



Resim 54.2. Elektrot

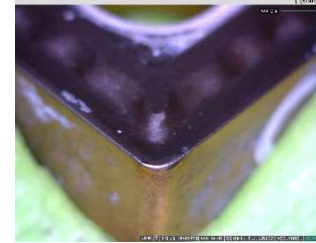
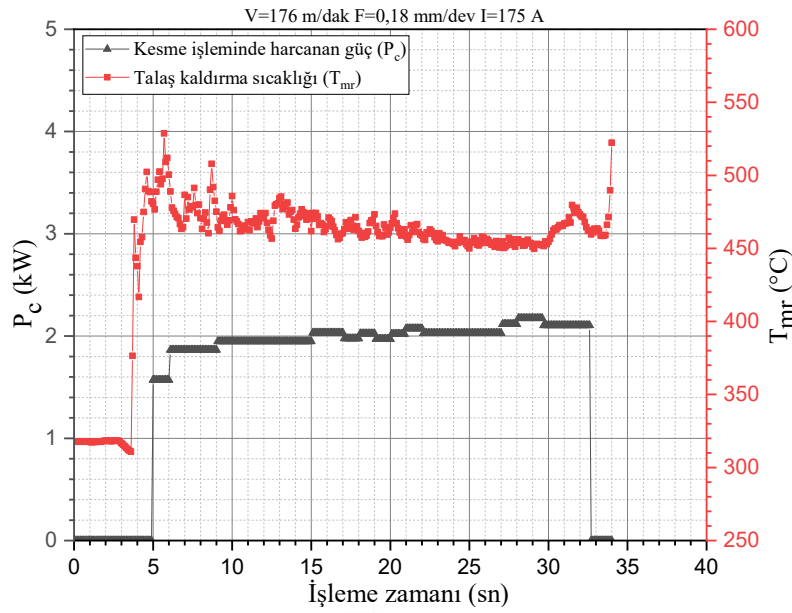


Çizelge 54.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,44	3,14	3,50	3,50	3,42	3,40
Torna tezgahının harcadığı güç	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	467	469	469	469	471	469

EK-55. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 55. Deney

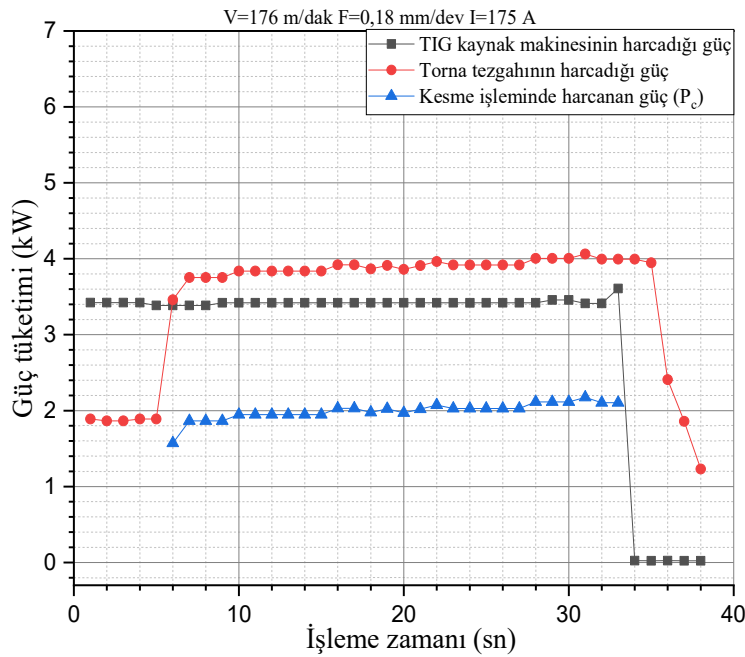
İşlem parametreleri $V=176$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)



Resim 55.1. Kesici uç



Resim 55.2. Elektrot

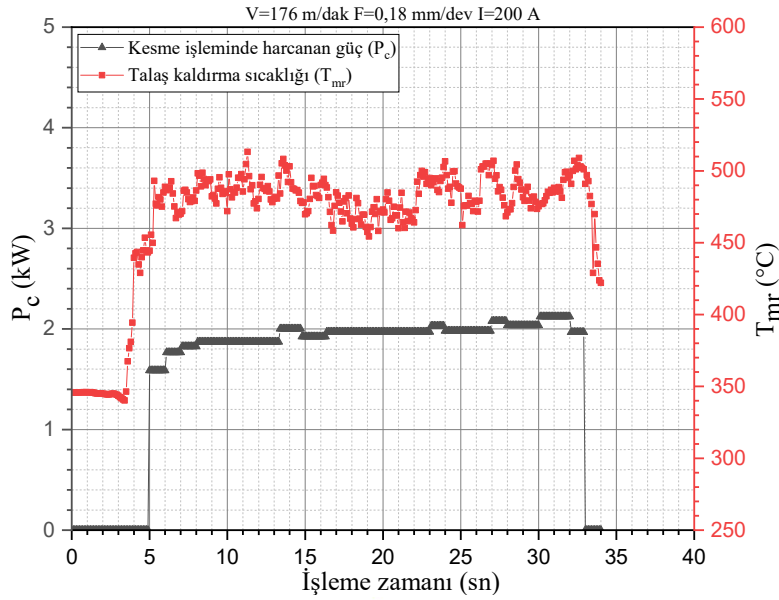


Çizelge 55.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı ($^{\circ}C$) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,42	3,42	3,42	3,42	3,42	3,42
Torna tezgahının harcadığı güç	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	467	469	471	476	471	471

EK-56. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 56. Deney

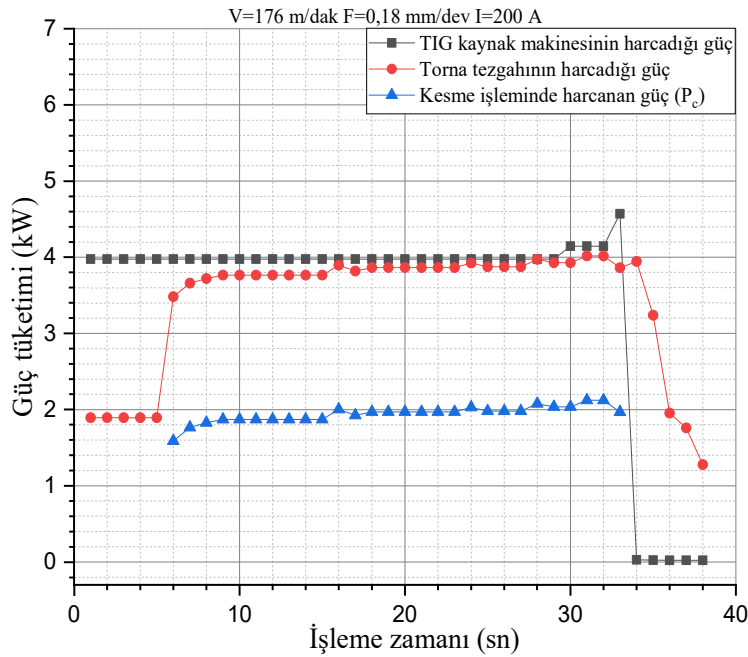
İşlem parametreleri $V=176$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)



Resim 56.1. Kesici uç



Resim 56.2. Elektrot

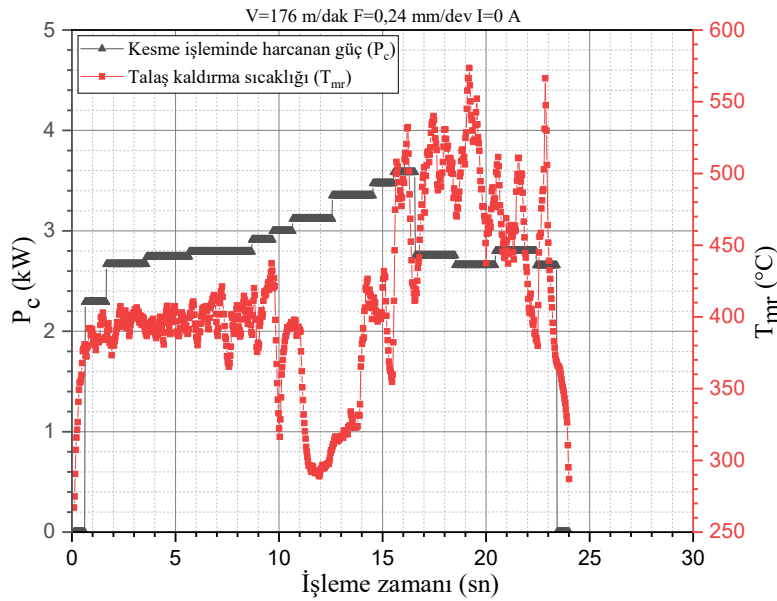


Çizelge 56.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı ($^{\circ}C$) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98
Torna tezgahının harcadığı güç	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	485	488	491	489	485	488

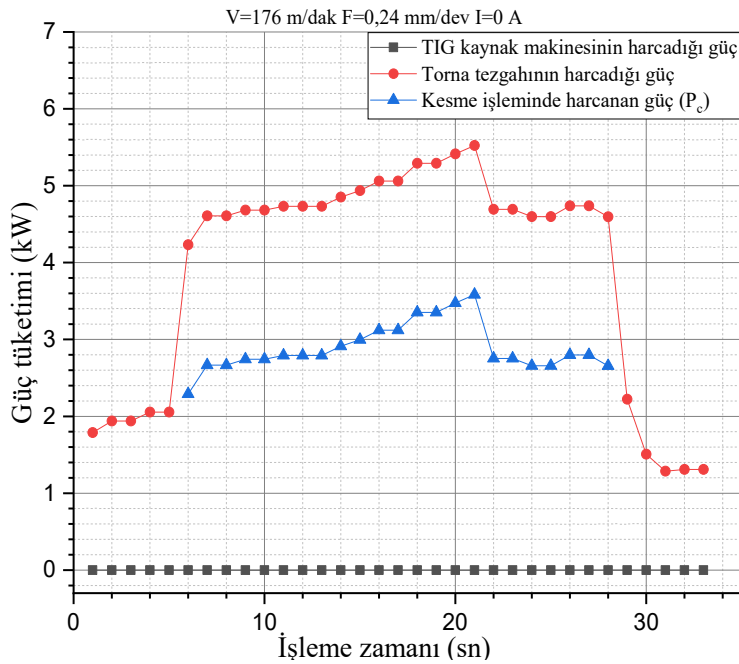
EK-57. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 57. Deney

İşlem parametreleri $V=176$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, konvansiyonel işleme



Resim 57.1. Kesici uç

Şekil 57.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



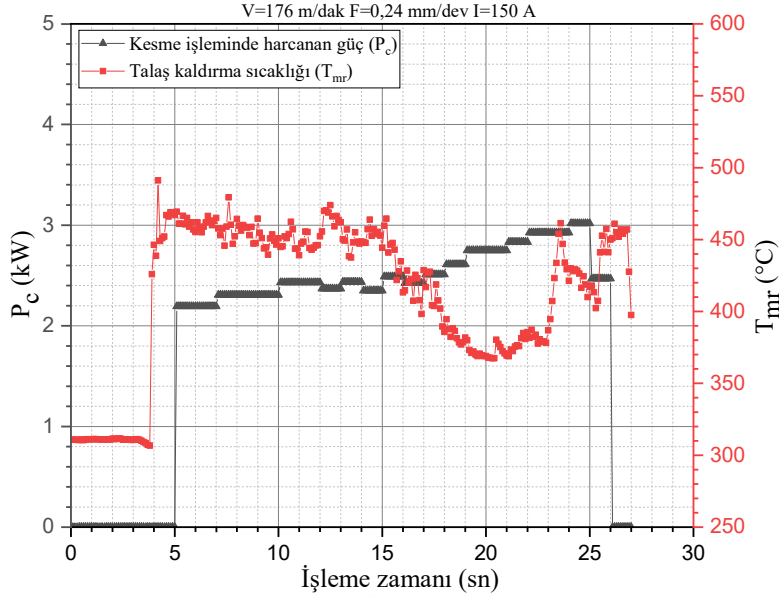
Şekil 57.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 57.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	4,68	4,68	4,73	4,73	4,73	4,71
Kesme işlemi sırasında harcanan güç (P_c)	2,74	2,74	2,79	2,79	2,79	2,77
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	393	395	399	397	399	397

EK-58. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 58. Deney

İşlem parametreleri $V=176$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)



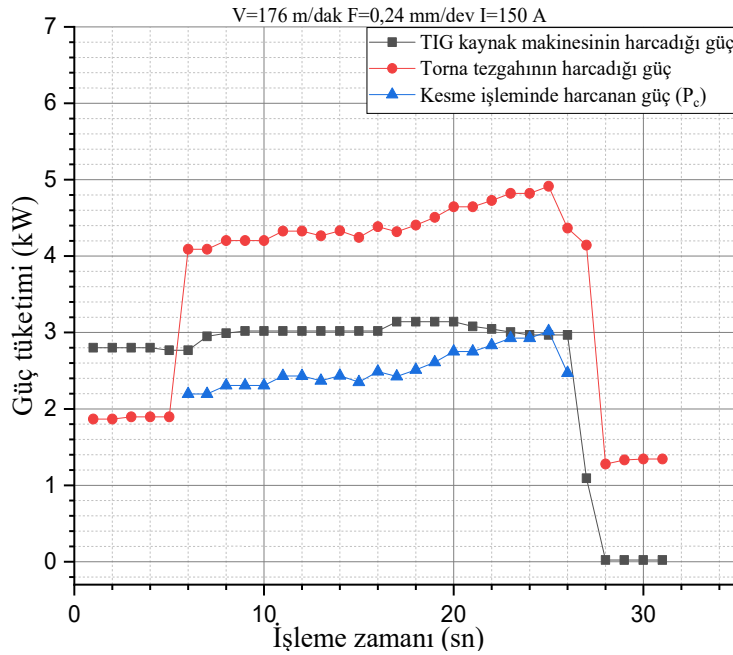
Şekil 58.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



Resim 58.1. Kesici uç



Resim 58.2. Elektrot



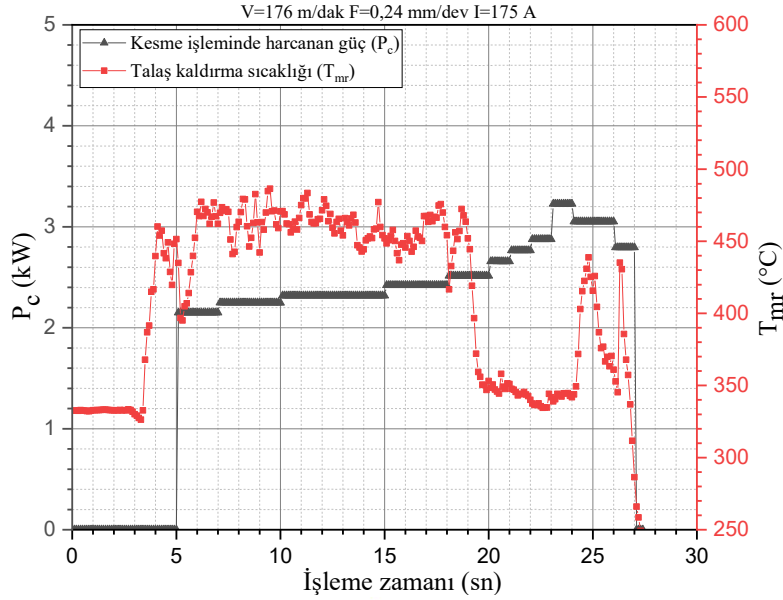
Şekil 58.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 58.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	2,99	3,02	3,02	3,02	3,02	3,01
Torna tezgahının harcadığı güç	4,20	4,20	4,20	4,33	4,33	4,25
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,31	2,31	2,31	2,43	2,43	2,36
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	458	456	448	449	448	452

EK-59. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 59. Deney

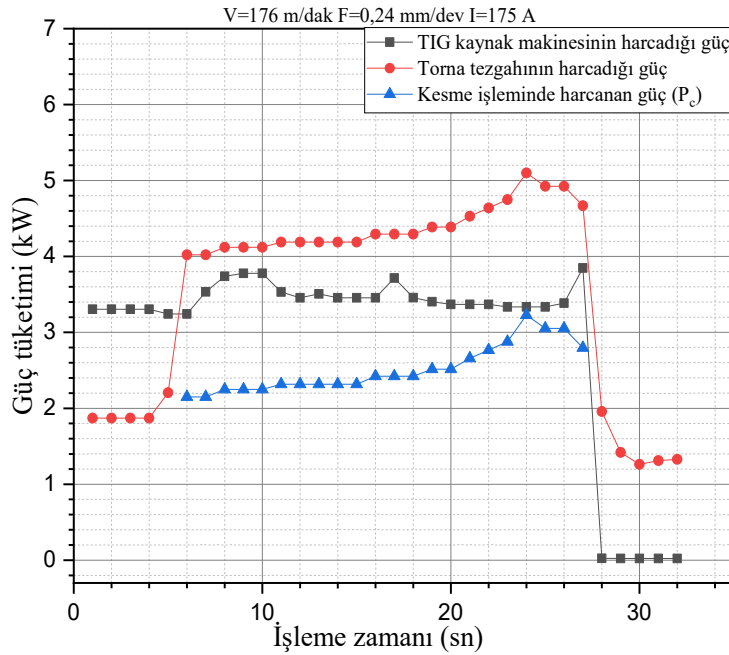
İşlem parametreleri $V=176$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)



Resim 59.1. Kesici uç



Resim 59.2. Elektrot

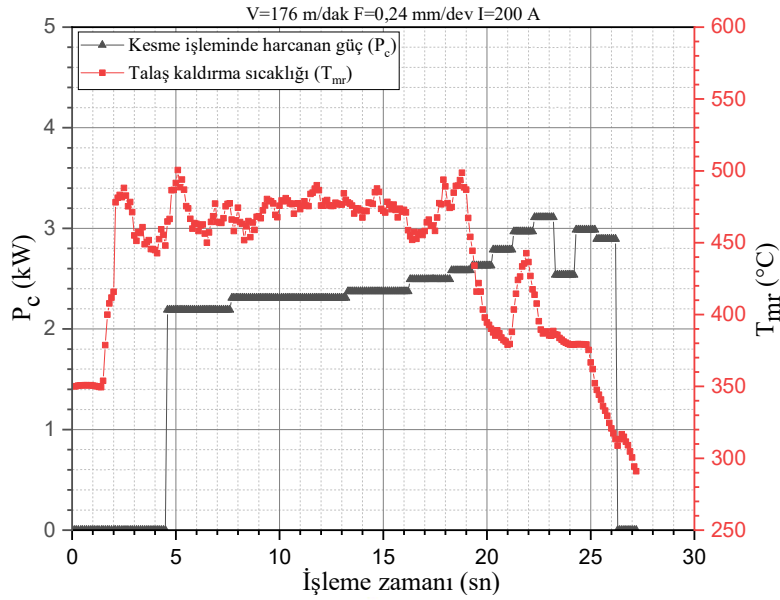


Çizelge 59.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı ($^{\circ}C$) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,53	3,45	3,51	3,46	3,46	3,48
Torna tezgahının harcadığı güç	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	464	470	464	457	457	462

EK-60. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 60. Deney

İşlem parametreleri $V=176$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)



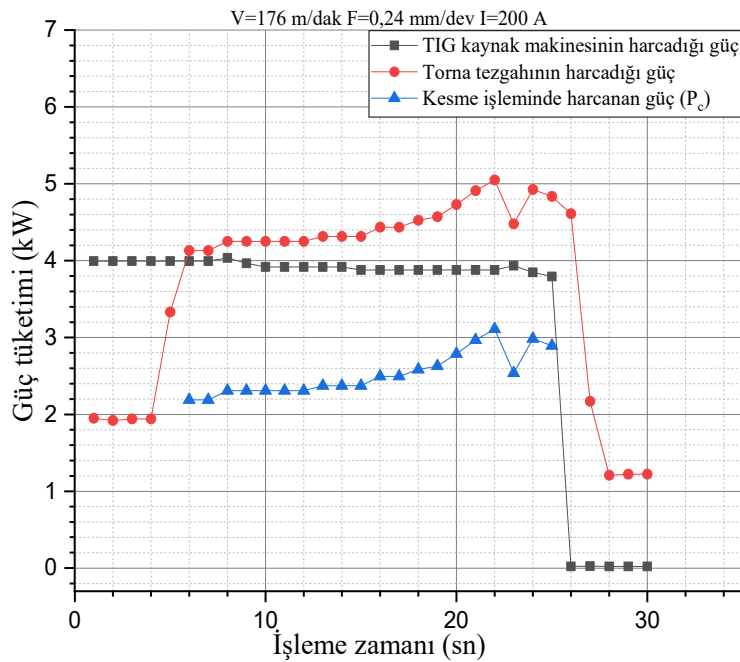
Şekil 60.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



Resim 60.1. Kesici uç



Resim 60.2. Elektrot



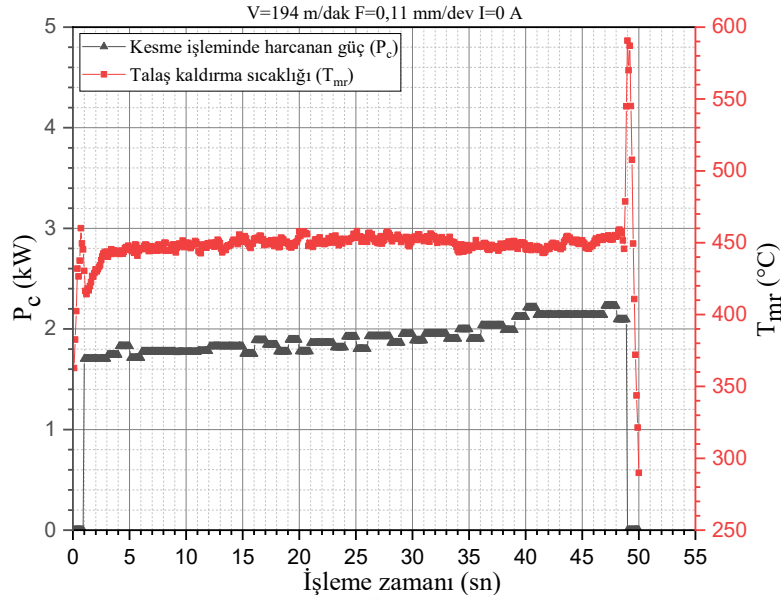
Şekil 60.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 60.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	4,04	3,97	3,92	3,92	3,92	3,95
Torna tezgahının harcadığı güç	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	463	475	477	481	478	475

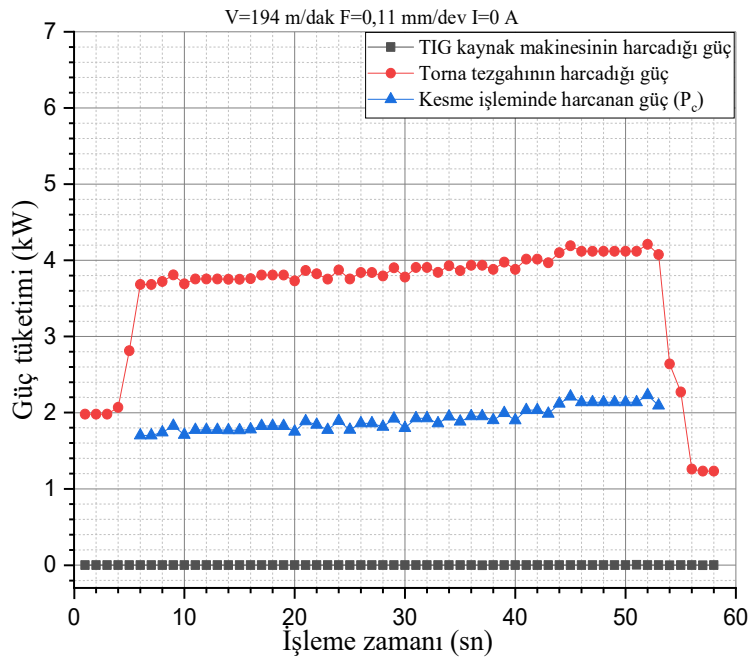
EK-61. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 61. Deney

İşlem parametreleri $V=194$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, konvansiyonel işleme



Resim 61.1. Kesici uç

Şekil 61.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



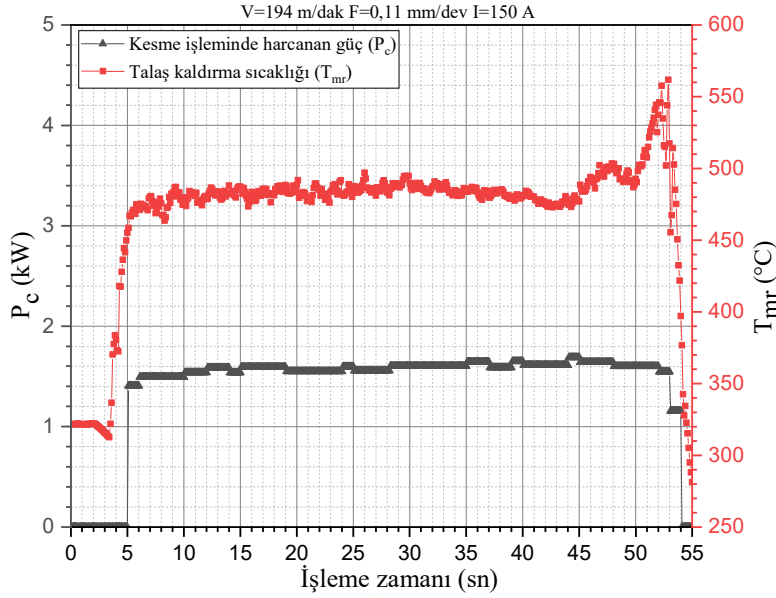
Şekil 61.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 61.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	446	446	447	448	449	447

EK-62. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 62. Deney

İşlem parametreleri $V=194$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)



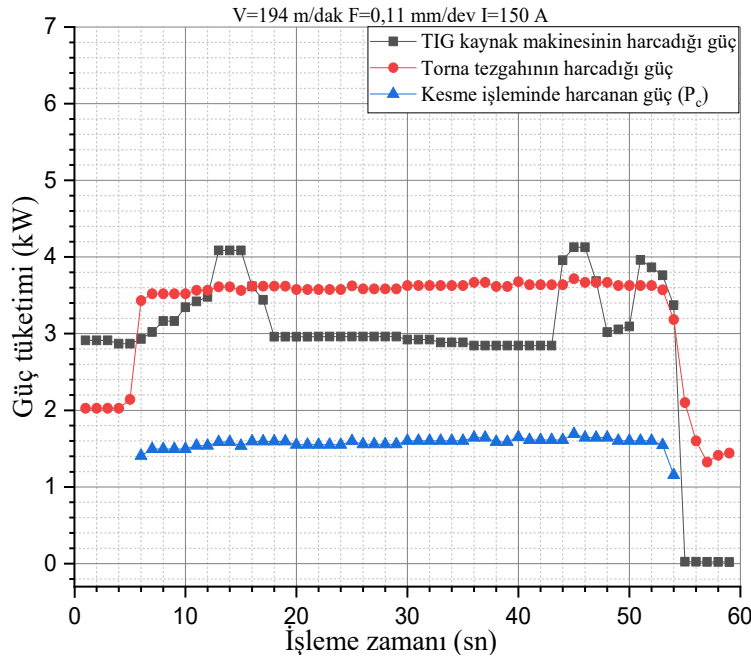
Şekil 62.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



Resim 62.1. Kesici uç



Resim 62.2. Elektrot



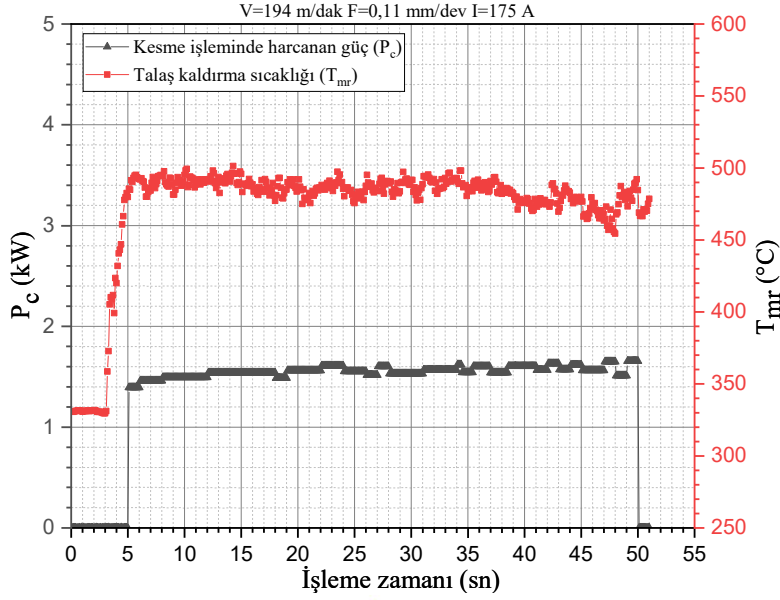
Şekil 62.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 62.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96
Torna tezgahının harcadığı güç	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	485	482	484	481	487	484

EK-63. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 63. Deney

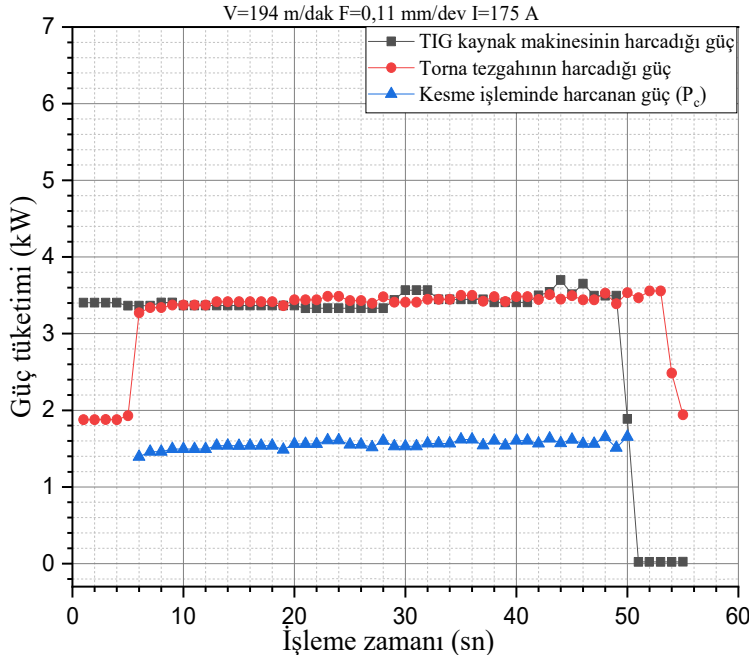
İşlem parametreleri $V=194$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)



Resim 63.1. Kesici uç



Resim 63.2. Elektrot

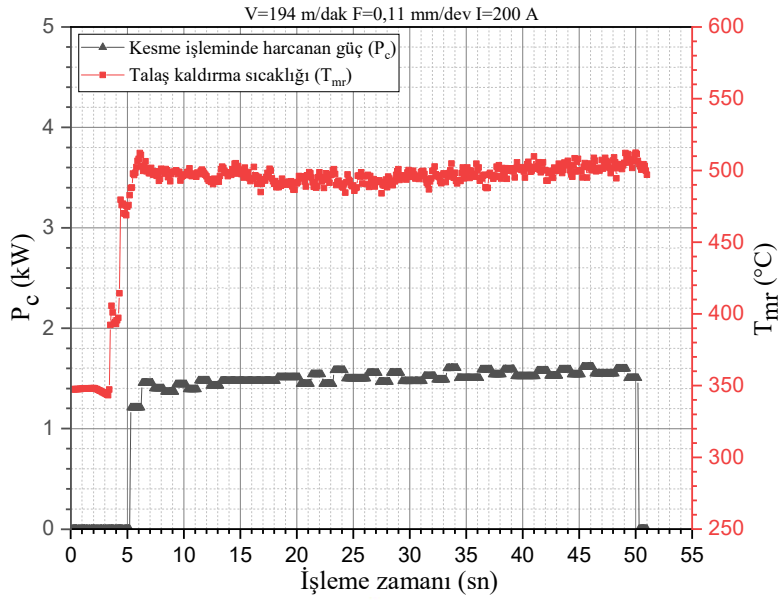


Çizelge 63.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı ($^{\circ}C$) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,37	3,37	3,37	3,37	3,37	3,37
Torna tezgahının harcadığı güç	3,42	3,42	3,42	3,42	3,42	3,42
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	491	495	488	485	485	489

EK-64. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 64. Deney

İşlem parametreleri $V=194$ m/dak, $f=0,11$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)



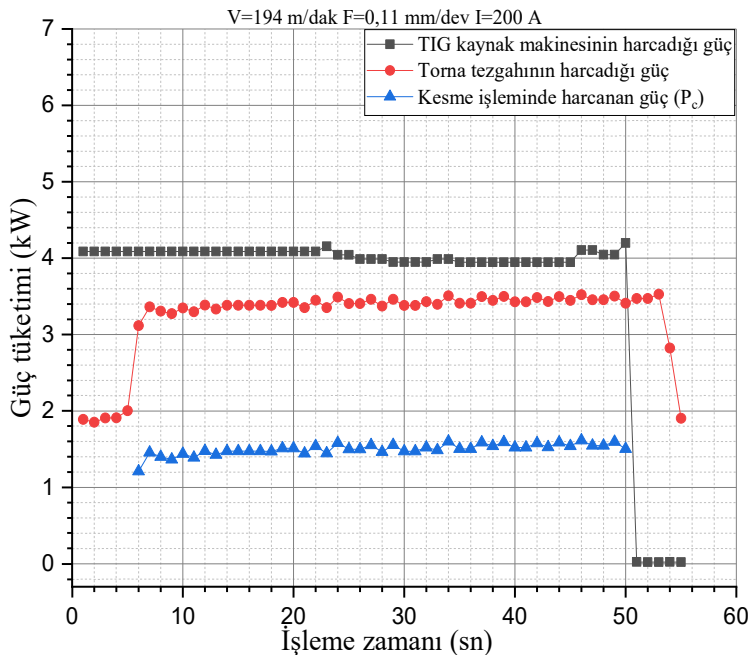
Şekil 64.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



Resim 64.1. Kesici uç



Resim 64.2. Elektrot



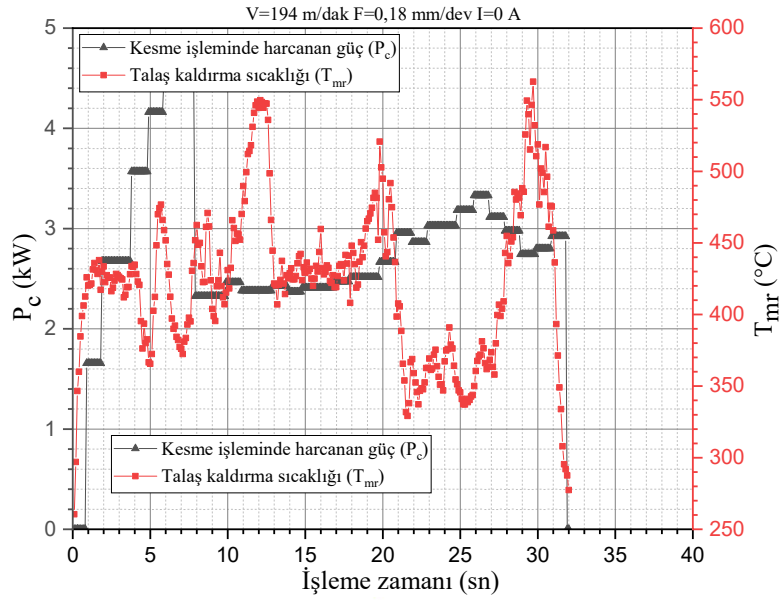
Şekil 64.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 64.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	4,09	4,09	4,09	4,09	4,09	4,09
Torna tezgahının harcadığı güç	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	499	501	497	493	495	497

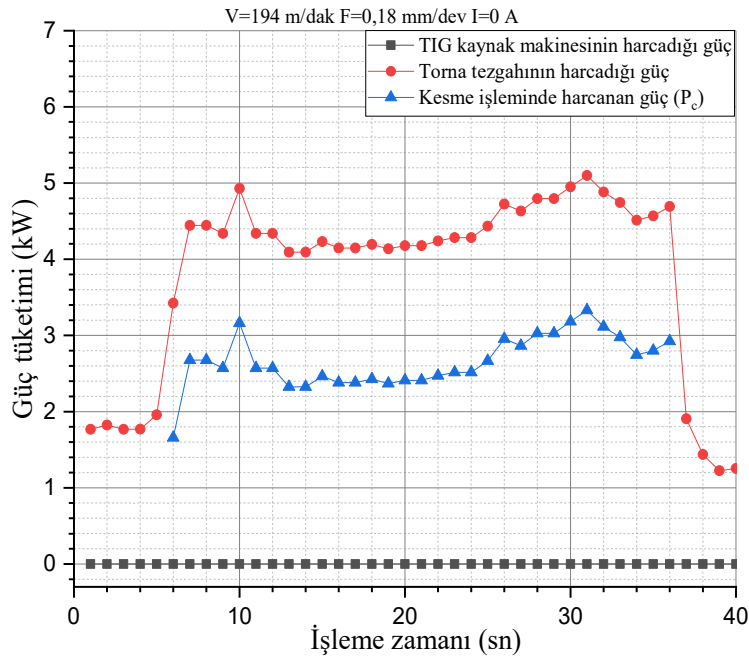
EK-65. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 65. Deney

İşlem parametreleri $V=194$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, konvansiyonel işleme



Resim 65.1. Kesici uç

Şekil 65.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



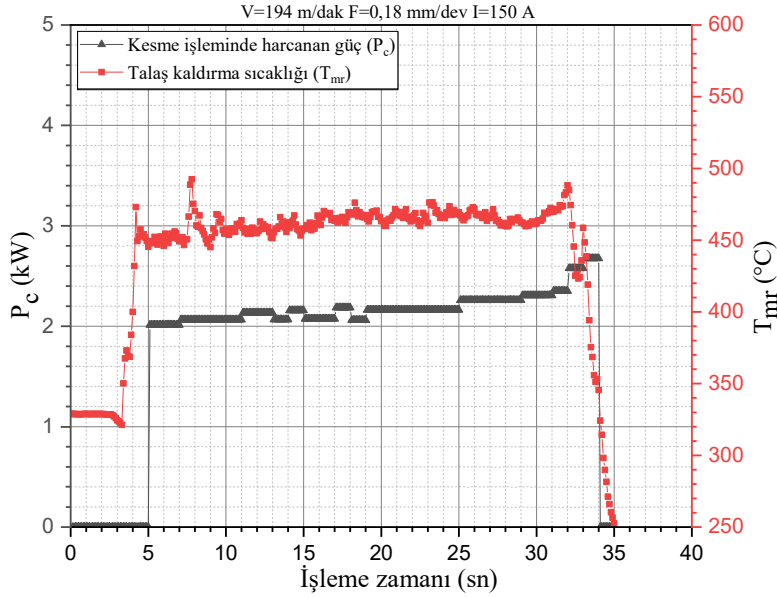
Şekil 65.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 65.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	4,14	4,18	4,18	4,24	4,28	4,20
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,39	2,41	2,41	2,47	2,52	2,44
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	431	429	433	431	435	432

EK-66. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 66. Deney

İşlem parametreleri $V=194$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)



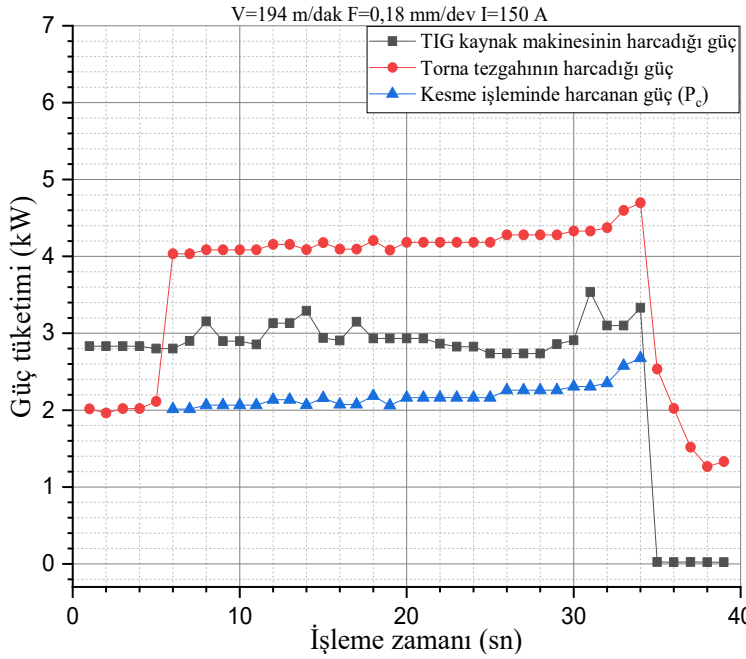
Şekil 66.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



Resim 66.1. Kesici uç



Resim 66.2. Elektrot

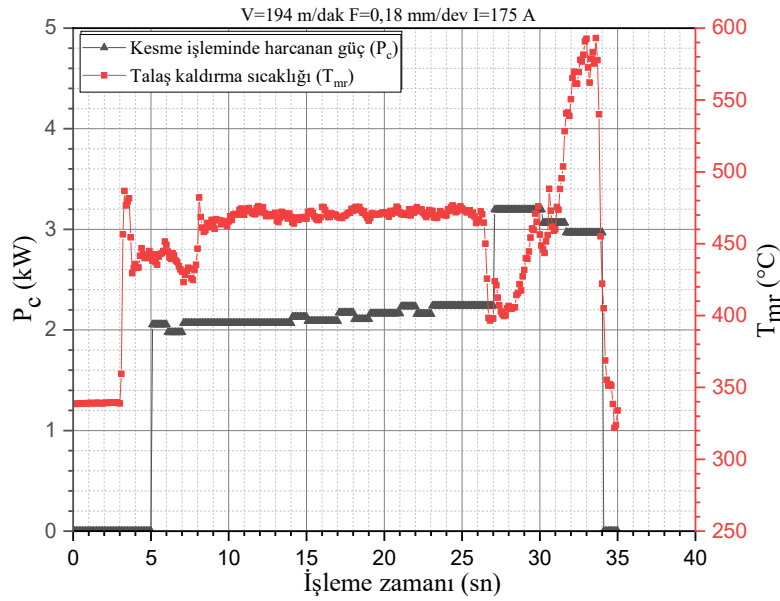


Şekil 66.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 66.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	2,93	2,86	2,83	2,83	2,74	2,84
Torna tezgahının harcadığı güç	4,18	4,18	4,18	4,18	4,18	4,18
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	465	467	465	471	469	467

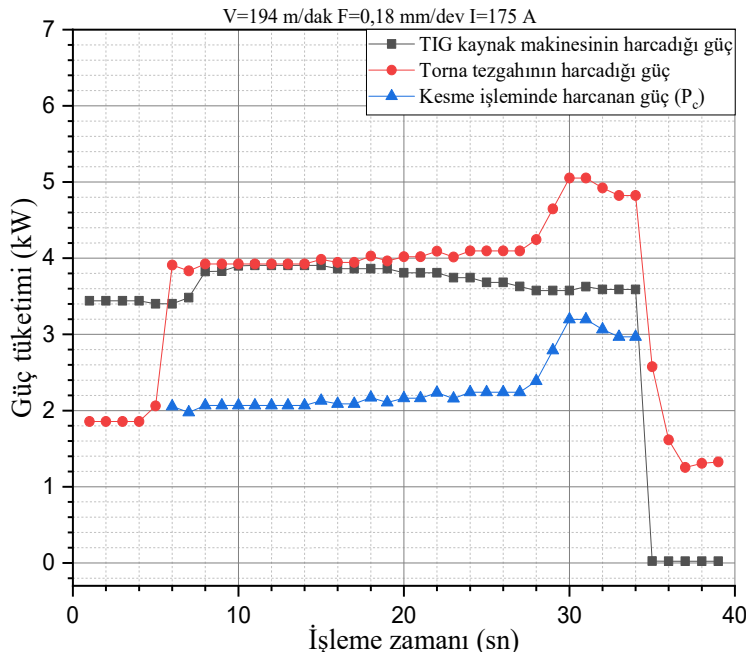
EK-67. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 67. Deney

İşlem parametreleri $V=194$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)Şekil 67.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki

Resim 67.1. Kesici uç



Resim 67.2. Elektrot



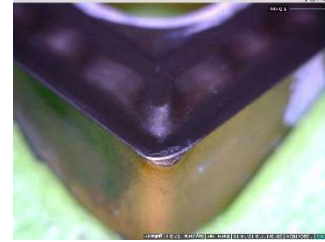
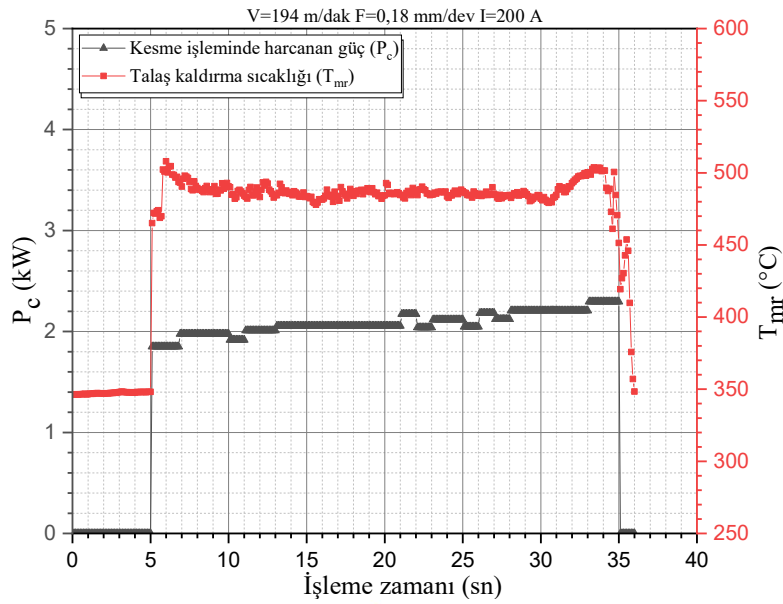
Şekil 67.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 67.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90
Torna tezgahının harcadığı güç	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	465	471	473	471	469	470

EK-68. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 68. Deney

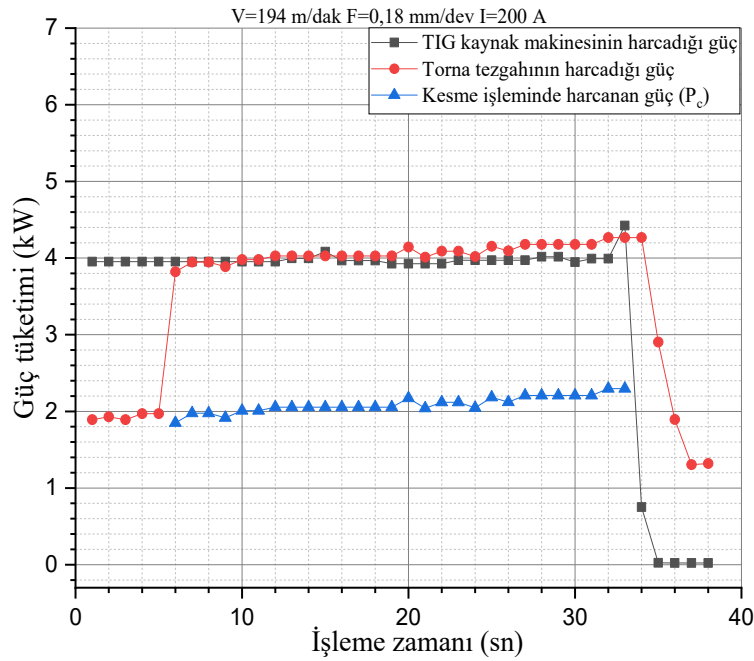
İşlem parametreleri $V=194$ m/dak, $f=0,18$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)



Resim 68.1. Kesici uç



Resim 68.2. Elektrot

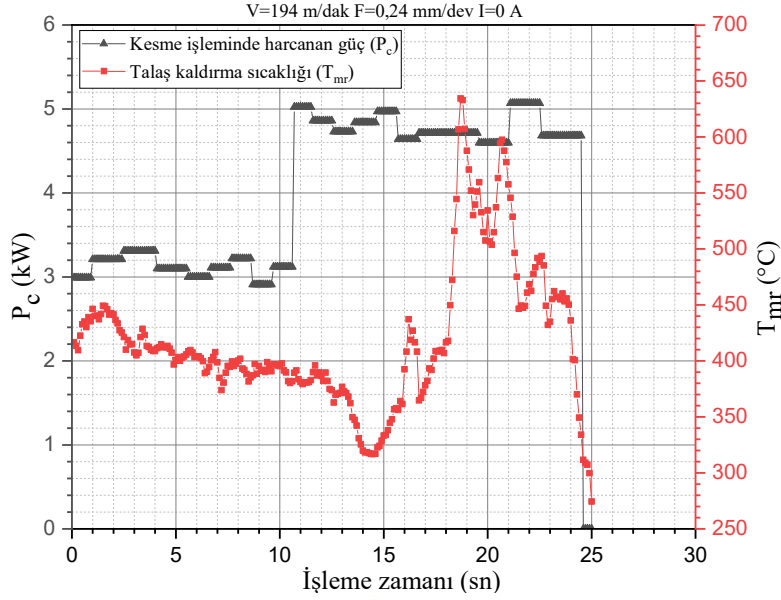


Çizelge 68.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı ($^{\circ}C$) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	4,08	3,97	3,97	3,97	3,93	3,98
Torna tezgahının harcadığı güç	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	484	485	487	485	487	486

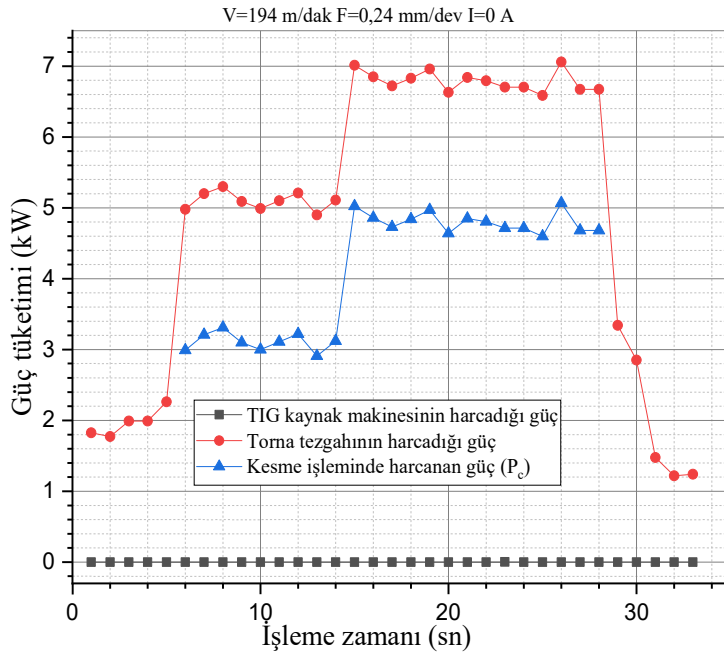
EK-69. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 69. Deney

İşlem parametreleri $V=194$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, konvansiyonel işleme



Resim 69.1. Kesici uç

Şekil 69.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



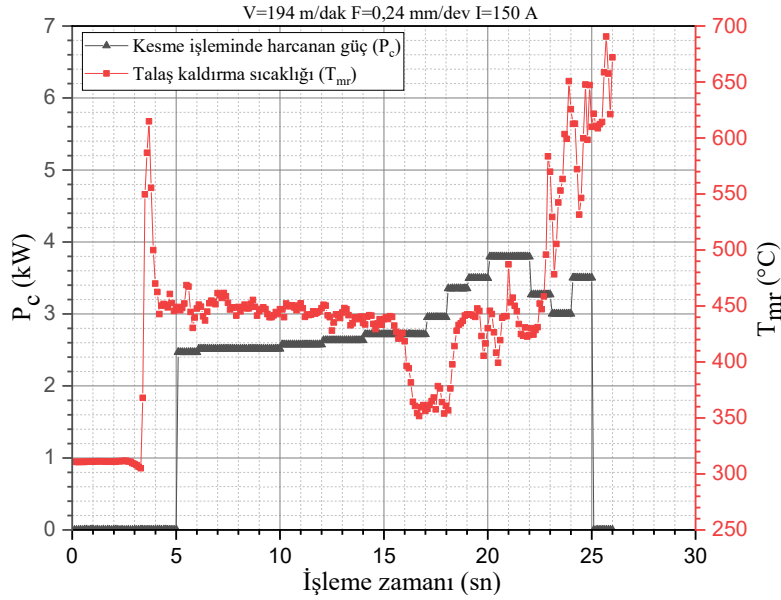
Şekil 69.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 69.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Torna tezgahının harcadığı güç	4,99	5,40	5,21	4,90	5,11	6,64
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	3,00	3,11	3,22	2,91	3,12	3,07
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	401	393	393	393	391	394

EK-70. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 70. Deney

İşlem parametreleri $V=194$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (150 A)



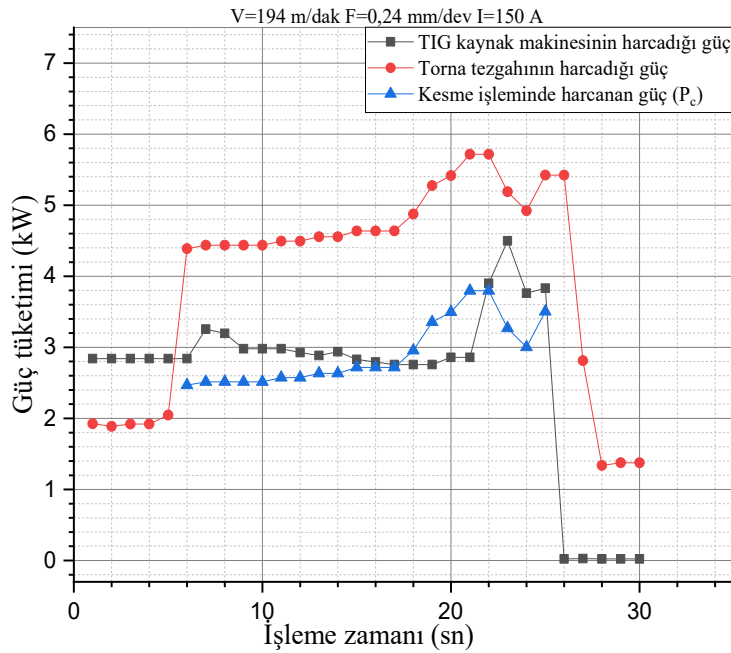
Şekil 70.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



Resim 70.1. Kesici uç



Resim 70.2. Elektrot



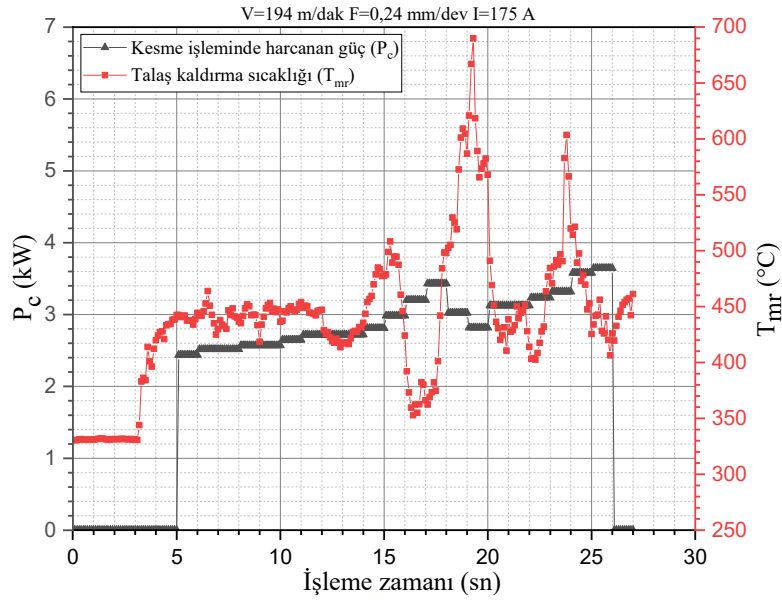
Şekil 70.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 70.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	2,98	2,93	2,88	2,94	2,83	2,91
Torna tezgahının harcadığı güç	4,49	4,49	4,55	4,55	4,64	4,54
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,57	2,57	2,63	2,63	2,72	2,62
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	449	444	441	440	436	442

EK-71. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 71. Deney

İşlem parametreleri $V=194$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (175 A)



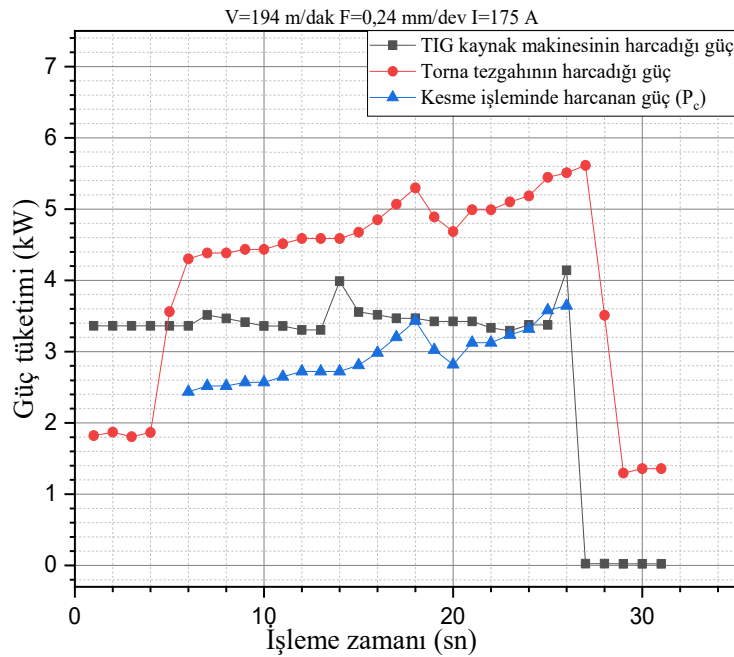
Şekil 71.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



Resim 71.1. Kesici uç



Resim 71.2. Elektrot



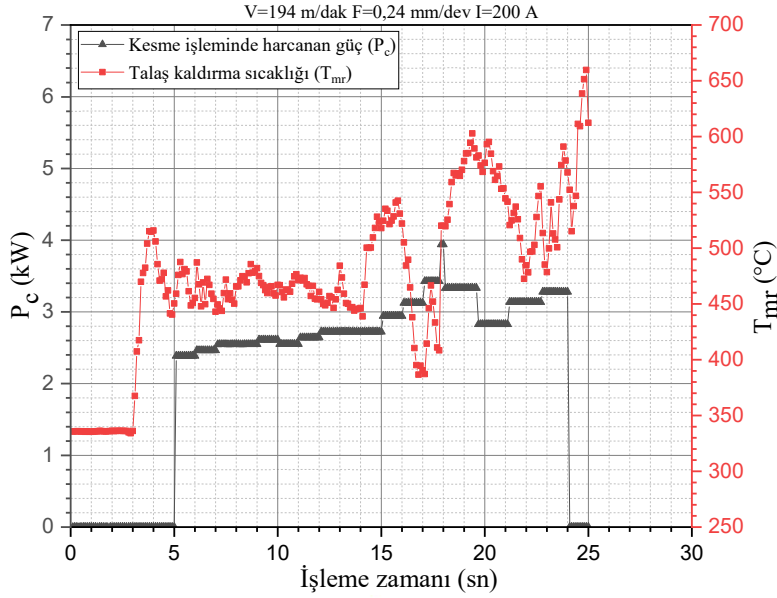
Şekil 71.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 71.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	3,51	3,47	3,41	3,36	3,36	3,42
Torna tezgahının harcadığı güç	4,38	4,38	4,44	4,44	4,51	4,43
Kesme işleminde harcanan güç (P_c)	2,52	2,52	2,57	2,57	2,65	2,57
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	443	439	441	445	447	443

EK-72. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği 72. Deney

İşlem parametreleri $V=194$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev, $IDİ$ (200 A)



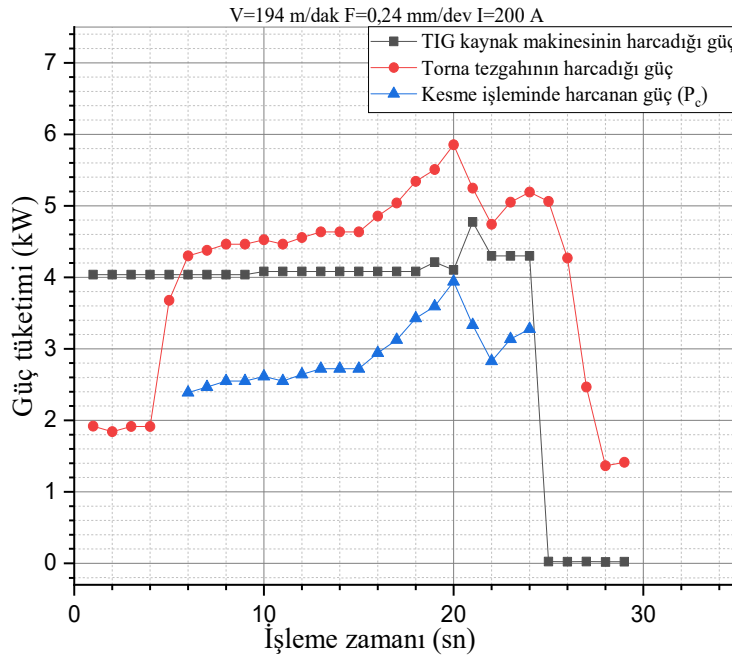
Şekil 72.1. P_c (kW) ile T_{mr} (°C) arasındaki ilişki



Resim 72.1. Kesici uç



Resim 72.2. Elektrot



Şekil 72.2. Güç (kW) tüketimleri

Çizelge 72.1. Güç tüketimleri (kW) ve talaş kaldırma sıcaklığı (°C) değerleri

						Ortalama
Kaynak makinesinin harcadığı güç	4,04	4,04	4,04	4,08	4,08	4,06
Torna tezgahının harcadığı güç	4,38	4,46	4,46	4,53	4,46	4,46
Kesme işlemi sırasında harcanan güç (P_c)	2,46	2,55	2,55	2,61	2,55	2,54
Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr})	460	456	477	466	467	465



GAZİ GELECEKTİR..