

## Sertleştirilmiş AISI 4340 Çeliğin Isı-Destekli İşlenmesinde TIG Tekniğinin Uygulanabilirliği

Atakan Uğraş<sup>1,\*</sup>, Fırat Kafkas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Porsuk Meslek Yüksekokulu, Eskişehir, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ankara, Türkiye

### MAKALE BİLGİSİ

**Alınma:** 25.07.2020

**Kabul:** 20.08.2020

#### Anahtar Kelimeler:

Isı destekli işleme

TIG

Kesme gücü

AISI 4340

### ÖZET

Isı destekli işleme yöntemi, iş parçası yüzeyinin bir enerji kaynağı ile bölgesel olarak ısıtılması ve ardından bu bölgenin kesici takım tarafından işlenmesi prensibine dayanmaktadır. Isı destekli işlemede ısıtma işlemi için lazer, indüksiyon, plazma ve oksijen-gaz alevi gibi farklı türden enerji kaynakları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaca en uygun enerji kaynaklarından biri de maliyeti düşük, ulaşılması ve kontrolü kolay, otomasyona uygun bir enerji kaynağı olan Tungsten İnert Gaz (TIG) yöntemidir. Bu çalışmada, TIG yönteminin ısı destekli işleme için uygulanabilirliği ve talaş kaldırma işleminde harcanan güç üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneylerde iş malzemesi olarak 49HRC sertliğinde AISI 4340 çeliği kullanılmıştır. Tornalama işleminde, kaplamalı karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Çalışma, TIG yönteminin ısı destekli işleme için uygun bir enerji kaynağı olabileceğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, TIG yönteminin uygulanabilirlik açısından bazı avantaj ve dezavantajlara sahip olduğunu göstermiştir. TIG yöntemiyle yapılan ısı destekli işlemede konvansiyonel işleme göre kesme için harcanan güçte %46'ya varan iyileşme sağlanmıştır. Ayrıca konvansiyonel işleme göre daha dengeli bir işleme gerçekleşmiştir. TIG yöntemiyle yapılan ısı destekli işlemede yüksek kesme hızları ve kısa devre oluşumu nedeniyle arkın kesilmesi başlıca dezavantaj olarak belirlenmiştir.

## Feasibility of TIG Technique in Heat-Assisted Machining of Hardened AISI 4340 Steel

### ARTICLE INFO

**Received:** 25.07.2020

**Accepted:** 20.08.2020

#### Keywords:

Heat-assisted machining

TIG

Cutting power

AISI 4340

### ABSTRACT

Heat-assisted machining method is based on the principle that locally heated the surface of work piece by the energy source and then this zone is machined by the cutting tool. For heating process in heat assisted machining different types of energy sources such as laser, induction, plasma and oxy-gas flame are commonly used. One of the most suitable energy sources for this purpose is the Tungsten Inert Gas (TIG) method, which is cost-effective, easy to access, easy to control and being suitable energy source for automation. In this paper, the applicability of the TIG method for heat-assisted machining and the effects on the power expended in the chip removal process was investigated. In the experiments, 49HRC hardened AISI 4340 steel is used as work material. Coated carbide cutting tools were used in the turning process. The study showed that the TIG method can be suitable energy source for heat assisted machining. The results showed that the TIG method has some advantages and disadvantages in terms of applicability. An improvement up to 46% has been achieved in the power consumed for cutting compared to conventional machining in heat-assisted machining with TIG method. In addition, more stable machining has been realized comparing to conventional machining. The main disadvantage of the heat-assisted machining with TIG method is the arc failure due to high cutting speeds and short circuit formation.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mevcut üretim teknolojileri ile yapılan üretimlerde yüksek kesme kuvveti, yüksek kesme sıcaklığı, kötü yüzey, kısa takım ömrü karşılaşılan başlıca sorunlardır. Düşük kesme hızları kullanılması

\* Sorumlu yazar, e-posta: atakanugras@gmail.com

nedeniyle işleme zamanı uzamaktadır. Bu sorunların birleşmesi ile üretim maliyetleri artmaktadır. İşlenmesi zor malzemelerin işlenebilirliğini geliştirme ile ilgili çalışmalar hala araştırmacılar için ilgi çekici bir özelliğe sahiptir. Bu malzemelerin yüksek dayanımı, sertliği ve gerinim sertleşmesi gibi özellikleri yüksek kesme enerjisi gerektirmektedir. Bunun sonucu olarak kesme bölgesindeki sıcaklık artmaktadır. Ancak kesme bölgesindeki bu sıcaklık kesici takımın plastik deformasyonuna, ısıya bağlı takım aşınmalarına ve takım malzemesi ile iş malzemesi arasındaki kimyasal ilişkinin pekişmesine yol açmaktadır.

Bahsedilen sorunlar gerçekleşmediği sürece kesme bölgesinde açığa çıkan ısı işlenebilirliğe olumlu yönde etki etmektedir. Bu yüzden araştırmacılar kesme işlemlerinde kritik bir role sahip olan ısının yönetilmesine ve kontrol edilmesine odaklanmışlardır. Çalışmaların bir kısmı kesme bölgesindeki sıcaklığın düşürülmesine ait çalışmalardır. Burada işlenmesi zor malzemeleri işlemek için minimum miktarda yağlama, yüksek basınçlı soğutma, kriyojenik işleme ve soğutulmuş hava ile işleme kesme bölgesindeki sıcaklığı düşürmek için kullanılan yöntemlerdendir. Diğer bir grup çalışma ise kesme bölgesindeki sıcaklığı artırmaya yönelik yapılan çalışmalardır. Bunlar ısı destekli işleme (Heat-Assisted Machining) başlığı altında toplanabilir. Lazer [1], plazma [2], oksijen-gaz alevi [3], indüksiyon akımı [4] ve Tungsten Inert Gas (TIG) tekniği [5] iş malzemesini ısıtmak için kullanılan tekniklerdir.

Isı, malzemelerin şekillendirilmesine olumlu yönde etki etmekte ve işlemede plastik deformasyonu kolaylaştırmaktadır. Isıtma sayesinde kesme bölgesindeki malzemenin akma dayanımı, sertliği ve pekleşme eğilimi düşer, böylece takım tezgâhının harcadığı güç azalır [2] ve talaş kaldırma işlemi daha düşük kesme kuvvetleri ile gerçekleşmiş olur [6]. Isı destekli işleme ile talaş kaldırma oranı artar [7], takım aşınması azalır [8], yüzey kalitesi iyileşir [9], sertleştirilmiş parçalar karbür kesici takımlarla işlenebilir [10], taşlama işlemi elimine edilebilir [11], soğutma sıvısı kullanılmadığı için çevreye verilen zararlar azalır [12]. Isı destekli işlemede kullanılan enerji kaynağı ısıtmayı dar bir bölgede yapmalıdır [13]. Isıtma derinliği kesme derinliğini aşmamalıdır.

Isı destekli işleme için kullanılan enerji kaynakları değerlendirildiğinde; ekonomiklik ve ulaşılabilirlik, kontrol kolaylığı ve düşük bakım maliyeti gibi özellikler aranmaktadır. Günümüzde yapılan çalışmalarda lazerin ısı destekli işlemede yaygın şekilde kullanıldığı görülmektedir. Lazer ısıtma işlemini etkili biçimde gerçekleştirmede esneklik ve kontrol kolaylığı sağlar, ayrıca otomasyonu kolaydır. Ancak lazer kurulum ve bakım maliyeti yüksek bir enerji kaynağıdır. Yüksek radyasyon/yoğunlaştırılmış enerji kaynağı olarak operatör, takım-tezgâhi ve çevre için zararlı etkiler oluşturabilir. Bu açıdan bakıldığında, TIG kaynak yöntemi ideal bir enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır. TIG kaynak yöntemi 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. Amin ve arkadaşları [5] çalışmalarında TIG kaynak makinesini ısı kaynağı olarak kullanmışlardır. Çalışmalarında, AISI 304 paslanmaz çeliğin işlenmesinde titreşim genliğini ve takım aşınmasını düşürecek optimum kesme sıcaklığını araştırmışlardır. Deneyler sonucunda AISI 304 paslanmaz çeliğin TIG yardımcı ısı destekli işlenmesinde optimum kesme sıcaklığını 450 °C olarak bulmuşlardır.

Bu çalışmada, harcanan güç bakımından ısı destekli işleme ile konvansiyonel işleme karşılaştırılmıştır. Ayrıca ulaşılabilir ve maliyeti düşük bir enerji kaynağı olan TIG tekniğinin ısı destekli işleme için uygulanabilirliği araştırılmıştır. Deneylerde işlenmesi zor bir malzeme olan 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 çeliği kullanılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

TIG kaynağında pek çok parametre bulunmaktadır. Önceki çalışmada TIG kaynağı parametrelerinden hangilerinin ısı destekli işleme için etkin parametreler olduğu belirlenmiştir ve yüzey sıcaklığı üzerindeki en etkili TIG parametresinin akım şiddeti olduğu görülmüştür [14]. Tablo 1'de deneylere ait çalışma parametreleri ve bunların seviyeleri gösterilmektedir. Kesme parametrelerinden kesme hızı (m/dak) ve ilerleme oranı (mm/dev) değişken alınırken kesme derinliği sabit 1 mm alınmıştır. İşleme parametreleri ve bunların seviyelerine göre hazırlanmış deney planı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. İşleme parametreleri ve seviyeleri(Machining parameters and levels)

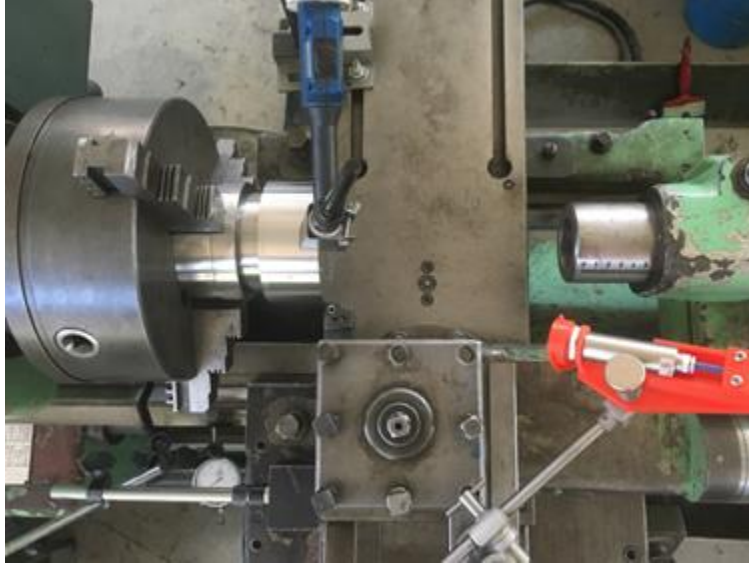
Parametreler	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Kesme hızı (V)	m/dak	159	176	194
İlerleme oranı (f)	mm/dev	0.11	0.18	0.24
Akım (A)	Amper	150	175	200

Isı destekli işleme deneyleri aynı kesme şartlarında konvansiyonel olarak tekrar edilmiştir. Çalışmada iyi bir tokluğa sahip olan ve yaygın kullanılan bir çelik türü olan AISI 4340 çeliği kullanılmıştır. Numuneler üç farklı kesme hızına göre Ø104x120 mm-Ø115.5x120 mm-Ø127 x120 mm boyutlarında hazırlanmış ardından 49 HRC değerinde sertleştirilmiştir.

Tablo 2. Konvansiyonel ve ısı destekli işleme için deney planı (Test plan for conventional and heat-assisted machining)

Deney No	Kesme hızı-V (m/dak)	İlerleme-f (mm/dev)	Akım-A (Amper)	Deney No	Kesme hızı-V (m/dak)	İlerleme-f (mm/dev)	Akım-A (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

Deney düzeneği Şekil 1’de gösterilmektedir. Deneyler maksimum devir sayısı 1000 dev/dak olan, 7 kW gücündeki bir universal torna tezgâhında yapılmıştır. Deneylerde ısı kaynağı olarak maksimum 200 A akım şiddetinde çalışabilen hava soğutmalı bir TIG kaynak makinesi kullanılmıştır. Elektrot ucu ile iş malzemesi arasındaki ark mesafesi 2 mm alınmıştır. Kesici takım olarak Sandvik firmasının SNMG 12 04 08-QM 4225 ISO kodlu kaplamalı karbür kesici ucu kullanılmıştır. Kesici ucu bağlamak için PSBNR2525M12 ISO kodlu takım tutucu kullanılmıştır.



Şekil 1. TIG tekniğinin kullanıldığı ısı destekli işleme deney düzeneği (Heat assisted machining experimental setup using TIG technique)

İş malzemesi üzerinde oluşan yüksek akım ve deney şartlarının oluşturduğu riskler nedeniyle dinamometre kullanılmamıştır. Torna tezgâhının talaş kaldırma esnasında harcadığı gücü belirlemek için Şekil 2’de verilen üç fazlı bir enerji ölçer sistemi kullanılmıştır. Ölçülen güç verileri .xlsx uzantılı dosyalar şeklinde Ethernet bağlantısı kullanılarak bilgisayara aktarılmıştır. Talaş kaldırma oranı (MRR) kesme işleminin performansı hakkında kullanıcılara fikir vermektedir. MRR kesme deneylerinde kullanılan kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği şeklindeki üç bağımsız değişkenin çarpımından elde edilen bir orandır. Deneylerde yapılan güç ölçümlerine göre MRR’deki artışa bağlı olarak kesme anında harcanan güçteki değişim (Güç/MRR) değerlendirilmiştir. Elde edilen verilerin istatistiksel analizinde Minitab programı kullanılmıştır.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan enerji ölçer sistemi görünümü (View of energy meter system used in experiments)

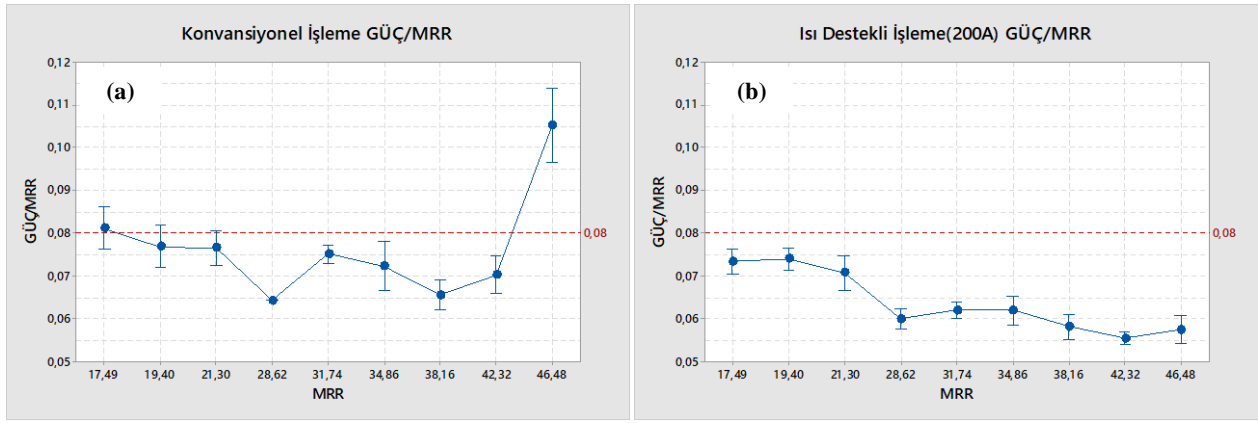
### 3. DENEY VE OPTİMİZASYON SONUÇLARI (EXPERIMENT AND OPTIMIZATION RESULTS)

Tablo 2'deki deney planına göre gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen kesme anında harcanan ortalama güç, talaş kaldırma oranı (MRR) ve ısı destekli işleme neticesinde güç tüketimindeki iyileşmeler Tablo 3'de yer almaktadır. Isı desteği alınarak yapılan tüm işlemlerde kesme anında torna tezgâhının harcadığı gücün aynı şartlardaki konvansiyonel işleme göre azaldığı tespit edilmiştir. Harcanan güç bakımından en iyi sonucun 34 numaralı deneyde elde edildiği görülmektedir. 33 numaralı deneyde konvansiyonel işleme şartlarında kesici takım üzerine gelen yükleri karşılayamamış ve kırılmıştır. Isı destekli işleme için her kesme şartında güç gereksiniminin konvansiyonel işleme göre daha az olduğu görülmektedir. Yüzde iyileşme miktarlarına bakıldığında ısı destekli işleme sayesinde konvansiyonel işleme göre kesme anında harcanan güçte bir kazanım sağlandığı görülmektedir. Ancak TIG yöntemi kullanılarak yapılan ısı destekli işleme kendi içinde değerlendirildiğinde 150A, 175A ve 200A kullanılarak yapılan işlemler arasında belirgin bir farkın olmadığı, iyileşme oranlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu yakınlığa ark oluşumunda yaşanan güçlükler ve akım değerlerinin birbirine çok yakın olmasının neden olduğu düşünülmektedir. Kesme anında harcanan güçteki yüzde iyileşme miktarının yanı sıra Güç/MRR oranı işlemin verimliliği hakkında fikir vermektedir. Konvansiyonel işleme göre ısı destekli işlemede daha düşük güçler kullanılarak aynı oranda talaş kaldırılmıştır.

Şekil 3'teki grafiklerde konvansiyonel işleme ve 200A kullanılan ısı destekli işleme için kesme anında harcanan gücün MRR'deki artışa göre değişimi değerlendirilmiştir. Isı destekli işlemede güç gereksiniminin MRR arttıkça azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Benzeri bir azalma eğilimi konvansiyonel işlemede görülememiştir. Isı destekli işlemedeki bu değişime kesme bölgesine ısı girdisinin artması nedeniyle malzeme sertliğindeki azalma neden olabilir [8].

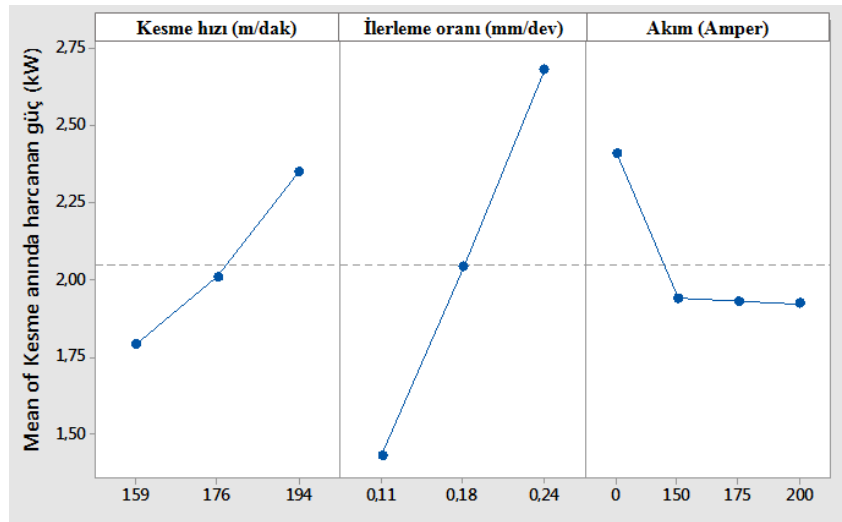
Tablo 3. MRR-Güç ilişkisi ve kesme sırasında harcanan güçteki iyileşmeler (MRR-Power relationship and improvements in power consumed during cutting)

Deney No	MRR (cm <sup>3</sup> /dk)	Güç (kW)	Güç/MRR	İyileşme %	Deney No	MRR (cm <sup>3</sup> /dk)	Güç (kW)	Güç/MRR	İyileşme %
1	17.5	1.42	0.081		19	31.7	2.01	0.063	16 %
2	17.5	1.29	0.074	9 %	20	31.7	1.97	0.062	18 %
3	17.5	1.19	0.068	16 %	21	42.3	2.97	0.070	
4	17.5	1.28	0.073	10 %	22	42.3	2.40	0.057	19 %
5	28.6	1.84	0.064		23	42.3	2.32	0.055	22 %
6	28.6	1.80	0.063	2 %	24	42.3	2.35	0.055	21 %
7	28.6	1.76	0.062	4 %	25	21.3	1.63	0.077	
8	28.6	1.71	0.060	7 %	26	21.3	1.57	0.074	4 %
9	38.2	2.50	0.066		27	21.3	1.55	0.073	5%
10	38.2	2.22	0.058	11 %	28	21.3	1.51	0.071	8 %
11	38.2	2.23	0.059	11 %	29	34.9	2.52	0.072	
12	38.2	2.22	0.058	11 %	30	34.9	2.16	0.062	14 %
13	19.4	1.49	0.077		31	34.9	2.21	0.063	12 %
14	19.4	1.44	0.074	4 %	32	34.9	2.16	0.062	14 %
15	19.4	1.39	0.072	7 %	33	46.5	4.90	0.105	
16	19.4	1.44	0.074	4 %	34	46.5	2.62	0.056	46 %
17	31.7	2.38	0.075		35	46.5	2.72	0.059	44 %
18	31.7	1.96	0.062	18 %	36	46.5	2.67	0.057	45 %



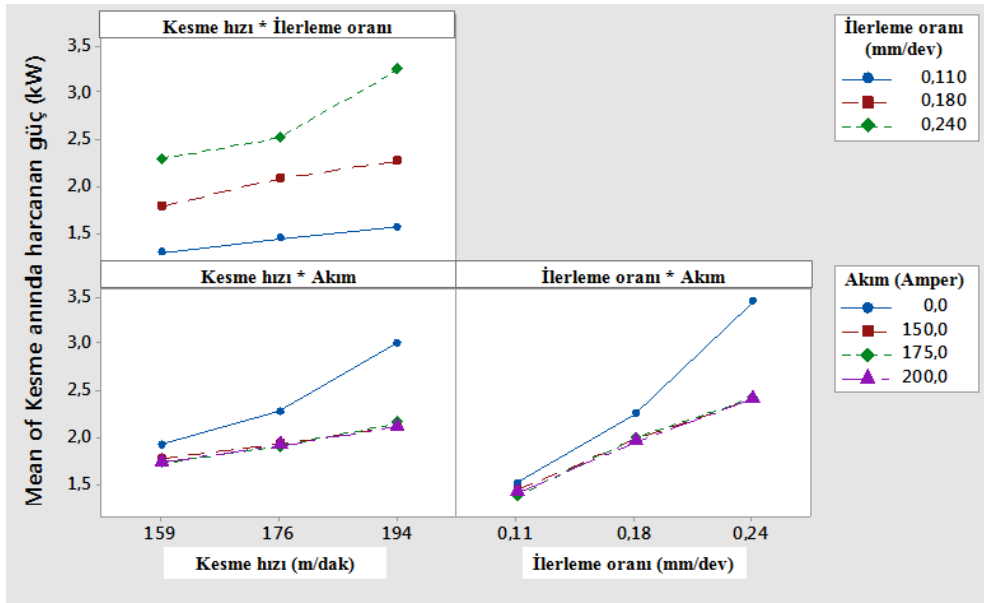
Şekil 3. a) Konvansiyonel işlemedeki Güç/MRR oranı, b) Isı destekli işlemedeki Güç/MRR oranı (Power/MRR ratio in conventional machining, b) Power/MRR ratio in heat assisted machining)

Şekil 4’de kesme hızı, ilerleme oranı ve akım parametrelerinin kesme anında harcanan güce etkilerini gösteren etki grafikleri verilmiştir. Konvansiyonel işlemeye (0 amper) göre ısı destekli işlemin harcanan gücün azalmasında etkili olduğu görülmektedir. Ancak ısı destekli işlemede 150 A ile 200 A arasındaki farkın harcanan gücü önemli ölçüde azaltacak bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Bu duruma, akım seviyeleri arasındaki farkın az olması önemli bir etkidir. Daha yüksek akım değerlerinin kullanılması durumunda, harcanan gücünde buna bağlı olarak önemli düzeyde düşeceği değerlendirilebilir. İlerleme oranı ve kesme hızındaki artışın kesme işleminin doğası gereği harcanan gücü artırdığı görülmektedir. Kesme hızı ve ilerleme oranı arttığında işleme süresi kısalmakta, dolayısıyla ısıtma süresi azalmaktadır [15]. Buna bağlı olarak ısı destekli işleme yardımıyla sağlanan ısı girdisi azalmaktadır.



Şekil 4. İşleme parametrelerinin kesme için harcanan güce etkileri (The effects of machining parameters on the power consumed for cutting)

Şekil 5’de kesme hızı, ilerleme oranı ve akım değerlerinin kesme anında harcanan güç üzerindeki ikili etkileşimleri verilmiştir. Kesme hızı ve ilerleme oranı arttıkça torna tezgâhında kesme için harcanan güçte artmıştır. Kesme hızı - akım ve ilerleme oranı - akım etkileşimlerine bakıldığında konvansiyonel işleme ile ısı destekli işleme arasındaki fark belirginleşmektedir. Ancak, burada farklı akım değerlerinin kesme anında harcanan güç üzerinde neredeyse aynı etkiyi oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 5. İşleme parametreleri etkileşiminde harcanan gücün değişimi (The change in the power consumed in the interaction of processing parameters)

Tablo 4’de varyans analizi (ANOVA) verilmiştir. 49 HRC sertliğindeki AISI 4340 iş malzemesinin TIG yöntemi kullanılan ısı destekli işleme sistemi ile işlenmesinde deney faktörlerinin etki oranlarına bakılacak olursa kesme anında harcanan güce sırasıyla ilerleme oranı, kesme hızı ve akım etki etmektedir. Tablo 4 incelendiğinde yüksek bir hata oranı olduğu görülmektedir. Bu durumun konvansiyonel işleme esnasındaki güç tüketim dalgalanmasından meydana geldiği düşünülmektedir.

Tablo 4. Isı destekli işlemede harcanan güç için ANOVA tablosu (ANOVA table for power consumed in heat assisted machining)

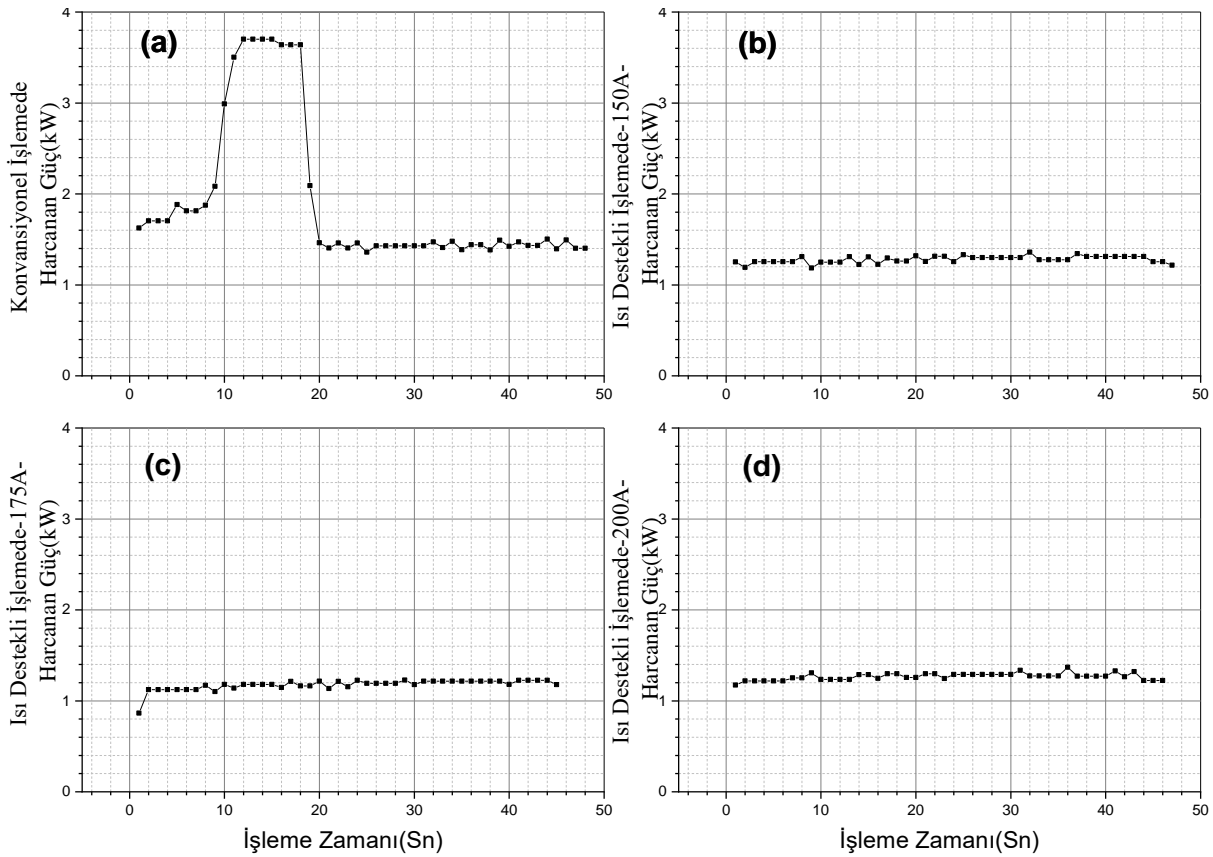
Faktörler	SD	KT	KO	F-Değeri	Katkı Oranı (%)
Lineer model					
V-Kesme Hızı (m/dak)	2	1.918	0.959	7.86	11.87 %
f-İlerleme (mm/dev)	2	9.312	4.656	38.18	57.61 %
A-Akım (Amper)	3	1.52	0.507	4.16	9.40 %
Hata	28	3.414	0.122		21.12 %
Toplam	35				100.00 %

SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KO: Kareler Ortalaması

Konvansiyonel işlemeye ait Şekil 6a’da verilen grafikte başlangıçta ani bir güç artışı meydana geldiği görülmektedir. Harcanan güçteki artışa, iş malzemesinin sertliği nedeniyle kesici takımın kesmeye başlayamaması sonucu artan sürtünmelerin yol açtığı değerlendirilmektedir. Isı destekli işlemede kesmeden az önce yapılan ön ısıtma nedeniyle iş malzemesi sertliği azalmaktadır dolayısıyla ısı destekli işlemeye ait Şekil 6b, Şekil 6c ve Şekil 6d’de verilen grafiklerde benzer güç artışı görülmemektedir. Isı destekli işlemede kesme işleminin konvansiyonel işlemeye göre daha dengeli gerçekleştiği değerlendirilmektedir.

TIG yönteminde ark oluşabilmesi için elektrot ucu ile iş parçası arasında bir ark mesafesi bulunması şarttır. TIG yöntemi ile gerçekleştirilen ısı destekli işlemede elektrot ve iş parçası arasındaki arkin kesilmesi deneylerde karşılaşılan başlıca problem olmuştur. Yüksek kesme hızlarında ark oluşumunda sorunlar yaşanmıştır. Ayrıca kesme anında talaşın elektrot ile parça arasına girmesi nedeniyle elektrot ucu bozulmuş ve ark kesilmiştir. Dinamik gerçekleşen talaş kaldırma

işleminde ark mesafesinin korunması zorunluluğu TIG tekniğinin lazer yardımcı işlemeye göre en büyük dezavantajdır.



Şekil 6.  $V=159$  m/dak ve  $f=0.11$  mm/dev kesme şartlarında harcanan güç değişimi; a) Konvansiyonel, b) 150A ısı destekli, c) 175A ısı destekli, d) 200A ısı destekli (The change in power consumed at cutting conditions  $V=159$  m/min and  $f=0.11$  mm/rev; a) Conventional, b) 150A heat assisted, c) 175A heat assisted, d) 200A heat assisted)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, sertleştirilmiş AISI 4340 çeliği enerji kaynağı olarak TIG yönteminin kullanıldığı bir ısı destekli işleme sistemi ile tormalanmıştır. Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Yapılan çalışmalar, TIG yönteminin ısı destekli işleme için uygun bir ısı kaynağı olduğu göstermiştir. Bu bakımdan, TIG yöntemi, lazer ve plazmanın yanında, ısı destekli işleme için kullanılacak alternatif bir enerji kaynağıdır.
- Isı desteği sayesinde kesme işlemi konvansiyonel işlemeye göre daha dengeli bir şekilde gerçekleşmiştir. Konvansiyonel işlemede başlangıçta meydana gelen ani güç artışının ısı destekli işlemede meydana gelmediği görülmüştür.
- Isı destekli işlemede, konvansiyonel işlemeye göre güç tüketiminde %46'ya varan iyileşme sağlanmıştır.
- Isı destekli işlemede MRR arttıkça torna tezgâhının güç gereksiniminin azalma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir.
- Akım şiddetindeki artışın kesme anında harcanan güç üzerinde belirgin bir iyileşmeye sağlamadığı belirlenmiştir.
- Talaşın ark bölgesine girmesi sonucu kısa devre oluşması ve yüksek kesme hızlarında ark kesilmesi olduğu tespit edilmiştir.



## **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

1. M. Anderson, R. Patwa, Y.C. Shin, Laser-assisted machining of Inconel 718 with an economic analysis, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46: 1879–1891, 2006.
2. G. Madhavulu, B. Ahmed, Hot machining process for improved metal removal rates in turning operations, *Journal of Materials Processing Technology*, 44: 199-206, 1994.
3. N. Tosun, L. Ozler, Optimisation for hot turning operations with multiple performance characteristics, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 23: 777–782, 2004.
4. J. Luo, H. Ding, A. J. Shih, Induction-heated tool machining of elastomers- Part 2: Chip morphology, cutting forces, and machined surfaces, *Machining Science and Technology*, 9: 567–588, 2005.
5. A.K.M.N. Amin, M.D. Arif, N.H.B.M. Rasdi, K.S.B. Mahmud, A.H.B. Ibrahim, M.F.B. Zawani, A.F.B.A. Malik, Identification of optimum heating temperature in thermal assisted turning of stainless steel using three different approaches, *Applied Mechanics and Materials*, 393: 194-199, 2013.
6. S. Xavierarockiaraj, P. Kuppan, Investigation of cutting forces surface roughness and tool wear during laser assisted machining of SKD11 tool steel, *Procedia Engineering*, 97: 1657 – 1666, 2014.
7. S. Skvarenina, Y.C. Shin, Laser-assisted machining of compacted graphite iron, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46: 7–17, 2006.
8. C.R. Dandekar, Y.C. Shin, J. Barnes, Machinability improvement of titanium alloy (Ti–6Al–4V) via LAM and hybrid machining, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50: 174–182, 2010.
9. E. Ukar, A. Lamikiz, L.N. Lo’pez de Lacalle, D. Del Pozo, J.L. Arana, Laser polishing of tool steel with CO2 laser and high-power diode laser. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50:115–125, 2010.
10. M.A. Lajis, A.K.M.N. Amin, A.N.M. Karim, H.C.D.M. Radzi, T.L. Ginta, Hot machining of hardened steels with coated carbide inserts, *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(2): 421-427, 2009.
11. H. Ding, Y.C. Shin, Laser-assisted machining of hardened steel parts with surface integrity analysis, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50: 106–114, 2010.
12. A. Shokrani, V. Dhokia, S.T. Newman, Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 57: 83–101, 2012.
13. V.G. Navas, I. Arriola, O. Gonzalo, J. Leunda, Mechanisms involved in the improvement of Inconel 718 machinability by laser assisted machining (LAM), *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 74: 19–28, 2013.
14. A. Ugras, F. Kafkas, Isı destekli işlemede TIG tekniğinin uygulanabilirliği, 10th International Congress on Machining, 07-09 Kasım 2019, Antalya.
15. M.K. Venkatesh, P. Kuppan, K.A. Senthil, K.K. Ramesh, R.J. John, Effect of laser scan speed on surface temperature, cutting forces and tool wear during laser assisted machining of alumina, *Procedia Engineering*, 97: 1647-1656, 2014.