

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN
KESİCİ TAKIM ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emin Ali EPCİM

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN
KESİCİ TAKIM ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Emin Ali EPCİM
(506201208)**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut Ercan AÇMA

TEMMUZ 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 506201208 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Emin Ali EPCİM**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN KESİCİ TAKIM ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı: **Prof. Dr. M. Ercan AÇMA**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Necip ÜNLÜ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nilgün KUŞKONMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **18 AĞUSTOS 2023**
Savunma Tarihi : **18 TEMMUZ 2023**



ÖNSÖZ

Çalışmalarında bana destek olan ve yol gösteren Prof. Dr. Ercan AÇMA hocam başta olmak üzere bugünlere gelmemde katkısı olan tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez kapsamında numunelerin tedarikinden her türlü teknik altyapı ve bilgiyi bana sağlayarak bu tezi tamamlamamda emeği olan başta Makine Takım Endüstri A.Ş. CEO'su Levent SİPAHİ, Üretim Direktörü Aykut AŞIK, Isıl İşlem Şefi Celil GÜLDAŞ, Bölge Müdürü Aykut MURÇAK olmak üzere tüm Makine Takım A.Ş. çalışanlarına şükranlarımı sunarım.

Eğitim hayatımın tamamında desteklerini bizlerden esirgemeyen ve bana bu olanakları sağlayan amcam Mustafa Yılmaz EPCİM ve babam Mehmet Yalçın EPCİM başta olmak üzere tüm aileme teşekkür ederim.

Haziran 2023

Emin Ali EPCİM
(Malzeme Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
TABLO LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. TEORİK BİLGİLER.....	3
2.1 Takım Çelikleri Hakkında Genel Bilgi.....	3
2.1.1 Takım çeliklerinin tarihi.....	3
2.1.2 Takım çeliklerinin üretimi.....	6
2.1.2.1 Konvansiyonel yöntemlerle takım çeliğinin üretimi.....	6
2.1.2.2 Elektro cüruf ergitme (ESR) yöntemi ile takım çeliği üretim.....	7
2.1.2.3 Toz metalurjisi (PM) yöntemi ile takım çeliği üretim.....	9
2.1.3 Takım çeliklerinin türleri, özellikleri ve kompozisyonu.....	10
2.1.3.1 Sıcak iş takım çelikleri.....	10
2.1.3.2 Soğuk iş takım çelikleri.....	13
2.1.3.3 Plastik kalıp takım çelikleri.....	16
2.1.3.4 Yüksek hız takım çelikleri.....	18
2.2 Kesici Takımlar.....	23
2.2.1 Kesici kenarın tanımları.....	23
2.2.1.1 Serbest açısı.....	24
2.2.1.2 Kama açısı.....	25
2.2.1.3 Talaş açısı.....	25
2.2.2 Matkap ve kılavuzların üretimi.....	25
2.2.2.1 Matkapların üretim metotları.....	25
2.2.2.2 Kılavuzların üretim metotları.....	26
2.2.3 Matkap ve kılavuzların geometrisi.....	27
2.2.4 Matkap ve kılavuzların ömrü.....	31
2.2.4.1 Kesme kuvveti deneyi.....	32
2.2.4.2 Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi.....	33
2.2.4.3 Talaş şekillerinin değerlendirilmesi.....	35
2.3 Takım Çeliklerine Uygulanan Isıl İşlemleri.....	36
2.3.1. Normalizasyon.....	36
2.3.2. Gerilim giderme.....	37
2.3.3. Sertleştirme.....	39
2.3.4.1 Östenitleme.....	39
2.3.4.2 Su verme.....	40
2.3.4.3 Temperleme.....	41
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve SONUÇLAR.....	43
3.1 Numunelerin Üretimi ve Isıl İşlem Koşulları.....	43

3.2 Sertlik ve Tane Sayısı.....	46
3.3 MicroTap ve XRD.....	53
3.4 Mikroyapılar.....	60
4. GENEL DEĞERLENDİRME VE YORUMLAR.....	63
KAYNAKLAR.....	67
EKLER.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	79



TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1: 1800'lerin snunda çeşitli firmaların çelik numunelerin kompozisyonu. ...	4
Tablo 2.2: 1902'de yüksek hızlı çelik üretimi yapan üreticilerin kompozisyonları. ...	5
Tablo 2.3: Çeşitli sıcak-iş çelik alaşımlarının kimyasal kompozisyonu.	11
Tablo 2.4: Çeşitli sıcak-iş çelik alaşımlarının ısıtma işlem koşulları.	12
Tablo 2.5: Çeşitli soğuk-iş çelik alaşımlarının kimyasal kompozisyonu.	14
Tablo 2.6: Çeşitli soğuk-iş çelik alaşımlarının ısıtma işlem koşulları.	14
Tablo 2.7: Çeşitli takım çeliklerinin kompozisyonları.	17
Tablo 2.8: Çeşitli yüksek hız takım çeliklerinin kompozisyonu.	19
Tablo 2.9: T serisi ve M serisi takım çelikleri için önerilen ısıtma işlem şartları.	21
Tablo 3.1: Numune takip tablosu, sertlik ve menevişli sertlik sonuçları.	46
Tablo 3.2: M6 kılavuzların MicroTap sonuçları.	53
Tablo 3.3: M8 kılavuzların MicroTap sonuçları.	53



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Konvansiyonel yöntemler ile takım çeliği üretimi akış şeması.....	7
Şekil 2.2: ESR yöntemi ile takım çeliği üretimi akış şeması.....	8
Şekil 2.3: Toz metalurjisi yöntemi ile takım çeliği üretim akış şeması.....	9
Şekil 2.4: Sıcak iş çeliklerinin örnek ısıl işlem rejimi.	13
Şekil 2.5: Yağda sertleşen takım çeliğinin mikro yapısı	14
Şekil 2.6: Soğuk iş çeliklerinin örnek ısıl işlem rejimi.....	15
Şekil 2.7: Yağda sertleştirilmiş takım çeliği mikroyapısı.....	15
Şekil 2.8: O6 takım çeliğinde grafik dağılımı, x1000.	16
Şekil 2.9: 17Cr-0.65C plastik kalıp çeliği TTT diyagramı.....	18
Şekil 2.10: Tavlanmış M2 yüksek hız çeliğinin mikro yapısı. 2000x.	20
Şekil 2.11: Yaygın kalite yüksek hız çeliklerin geçici ısıl işlemi.....	22
Şekil 2.12: Helisel matkapta açıları.	24
Şekil 2.13: Çeşitli delik işleme yöntemleri.....	26
Şekil 2.14: Helisel matkap ucu tanımı.	27
Şekil 2.15: Farklı malzemeler için helisel matkap tipleri.	278
Şekil 2.16: Bir helisel matkabın kesme kenar geometrisi (DIN.6581).....	28
Şekil 2.17: Kılavuz (D.371).....	29
Şekil 2.18: Kılavuz ağzı (D.371).	30
Şekil 2.19: Isı etkisinde talaş kaldırma işleminde dayanma zamanı deneyleri.....	31
Şekil 2.20: Talaş kaldırma kuvvetlerinin, talaş ve eğim açısıyla değişimi.....	33
Şekil 2.21: Karbonlu çeliklerin mekanik özellikleri ve kesme kuvvetleri.....	34
Şekil 2.22: Düşük alaşımlı çeliklerin kesme kuvvetleri, mekanik özellikleri.	35
Şekil 2.23: S miktarına göre kesme kuvveti ve mekanik özellikler.	35
Şekil 2.24: Talaş kaldırma işleminde talaş formları.	36
Şekil 2.25: Farklı sıcaklıklarda stres giderme ve stresin zamana göre değişimi.	38
Şekil 2.26: Gerilim giderme esnasında stresin zamanla sıcaklığa göre fonksiyonu..	38
Şekil 2.27: Yüksek hız takım çeliklerinin ısıl işleminin illüstrasyonu.	40
Şekil 2.28: M2 yüksek hızlı takım çeliği için TTT diyagramı.	41
Şekil 2.29: M2 yüksek hız takım çeliği için temperleme eğrisi.	42
Şekil 3.1: Takım çeliklerinin kompozisyonu.....	43
Şekil 3.2: Takım çeliklerinin başlıca özelliklerinin karşılaştırılması.	44
Şekil 3.3: BÖHLER tarafından önerilen ısıl işlem koşulları, işlem sonrası sertlik ..	44
Şekil 3.4: BÖHLER tarafından oluşturulan S705 çeliği menevişleme eğrisi.....	45
Şekil 3.5: Sertleştirme sıcaklığı ve sertlik ilişkisi, M6 kılavuz.	47
Şekil 3.6: Sertleştirme sıcaklığı ve tane sayısı ilişkisi, M6 kılavuz.	48
Şekil 3.7: Sertleştirme sıcaklığı ve menevişli sertlik ilişkisi, M6 kılavuz.....	48
Şekil 3.8: Sertleştirme sıcaklığı ve sertlik ilişkisi, M8 kılavuz.	49
Şekil 3.9: Sertleştirme sıcaklığı ve tane sayısı ilişkisi, M8 kılavuz.	49
Şekil 3.10: Sertleştirme sıcaklığı ve menevişli sertlik ilişkisi, M8 kılavuz.....	50
Şekil 3.11: Sertleştirme sıcaklığı ve sertlik ilişkisi, 6 mm matkap.....	50
Şekil 3.12: Sertleştirme sıcaklığı ve tane sayısı ilişkisi, 6mm matkap.....	51
Şekil 3.13: Sertleştirme sıcaklığı ve menevişli sertlik ilişkisi, 6 mm matkap.	51
Şekil 3.14: Sertleştirme sıcaklığı ve sertlik ilişkisi, 8 mm matkap.....	52

Şekil 3.15: Sertleştirme sıcaklığı ve tane sayısı ilişkisi, 8 mm matkap	52
Şekil 3.16: Sertleştirme sıcaklığı ve menevişli sertlik ilişkisi, 8 mm matkap.	53
Şekil 3.17: Kılavuz çekme işleminin yapıldığı cihaz, akrobat	55
Şekil 3.18: Diş açmak için C45 çeliğinden hazırlanmış aparat	55
Şekil 3.19: Diş çekme işleminde ortaya çıkan talaş.....	55
Şekil 3.20: MicroTap yazılımının kullanıldığı bilgisayar.....	56
Şekil 3.21: Sertleştirme sıcaklığı ve kalıntı östenit arasında ki ilişki, M6 kılavuz....	56
Şekil 3.22: Menevişli sertlik ve ortalama kuvvet arasında ki ilişki, M6 kılavuz.....	57
Şekil 3.23: Ortalama kuvvet ve kalıntı östenit arasında ki ilişki, M6 kılavuz.	57
Şekil 3.24: Sertleştirme sıcaklığı ve kalıntı östenit arasında ki ilişki, M8 kılavuz....	58
Şekil 3.25: Menevişli sertlik ve ortalama kuvvet arasında ki ilişki, M8 kılavuz.....	59
Şekil 3.26: Ortalama kuvvet ve kalıntı östenit arasında ki ilişki, M8 kılavuz.	59
Şekil 3.27: X °C‘ de sertleştirilmiş, temperlenmemiş çeliğin mikro yapısı, x100	60
Şekil 3.28: X °C‘ de sertleştirilmiş, temperlenmiş çeliğin mikro yapısı, x100	60
Şekil 3.29: X+5 °C‘ de sertleştirilmiş, temperlenmemiş çeliğin mikro yapısı, x100	60
Şekil 3.30: X+5 °C‘de sertleştirilmiş, temperlenmiş çeliğin mikro yapısı, x100	60
Şekil 3.31: X+10 °C‘de sertleştirilmiş, temperlenmemiş çeliğin mikro yapısı,x100	60
Şekil 3.32: X+10 °C‘de sertleştirilmiş, temperlenmiş çeliğin mikro yapısı, x100	60
Şekil 3.33: X+15°C‘ de sertleştirilmiş, temperlenmemiş çeliğin mikro yapısı,x100	61
Şekil 3.34: X+15°C‘ de sertleştirilmiş, temperlenmiş çeliğin mikro yapısı, x100	61
Şekil 3.35: X+20°C‘ de sertleştirilmiş, temperlenmemiş çeliğin mikro yapısı,x100	61
Şekil 3.36: X+20°C‘ de sertleştirilmiş, temperlenmiş çeliğin mikro yapısı, x100	61
Ek 1: M8 kılavuzlar için MicroTap kesme kuvvetleri deneyi sonuçları	69
Ek 2: M6 kılavuzlar için MicroTap kesme kuvvetleri deneyi sonuçları	70
Ek 3: M8-1 numaralı numune için XRD sonuçları.....	71
Ek 4: M8-3 numaralı numune için XRD sonuçları.....	68
Ek 5: M8-5 numaralı numune için XRD sonuçları.....	69
Ek 6: M6-1 numaralı numune için XRD sonuçları.....	74
Ek 7: M6-1 numaralı numune için XRD sonuçları.....	75
Ek 8: M6-1 numaralı numune için XRD sonuçları.....	76
Ek 9: M6-5no’lu numunenin kesici bölgesinin makro fotoğrafı	77
Ek 10: M6-1no’lu numunenin kesici bölgesinin makro fotoğrafı	77
Ek 11: M8-5no’lu numunenin kesici bölgesinin makro fotoğrafı	77
Ek 12: M8-1no’lu numunenin kesici bölgesinin makro fotoğrafı	78

ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN KESİCİ TAKIM ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

ÖZET

Takım çelikleri metal işleme endüstrisi için vazgeçilmezdir. Aynı zamanda bugünkü teknoloji seviyesine ulaşmamızı sağlayan en önemli etkenlerden biridir. Gelişmiş ülkelerin tümünde takım tezgahları ve takım teknolojisine yüksek önem verilmektedir. Özellikle otomotiv, havacılık ve savunma sektörleri için yadsınamaz bir öneme sahip olan takım teknolojilerinde, ülkemizde hali hazırda üretilmekte olan takımların geliştirilmesi amacıyla bu çalışma yapılmıştır. İşleme teknolojisini geliştirmenin 5 yolu olan;

- Kaplama,
- Tezgah dizaynı,
- Isıl işlem,
- Takım malzemesi,
- Takım açılarından, ısıl işlem yoluyla takımların performansının geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Temel olarak 4 ana gruba ayrılan takım çeliklerinden biri olan yüksek hız takım çeliklerinin sertleştirme işlemi esnasında uygulanan östenite alma ısıl işleminin sıcaklığının, takım çeliklerinin işlevi için belirleyici olan sertlik, menevişli sertlik, kalıntı östenit ve kesme esnasında takım üzerinde oluşan kuvvetlere etkisi incelenmiştir. İncelenen bu kavramlar aracılığıyla takımın ömrü için optimum olan östenitleme sıcaklığı araştırılmıştır.

Bu çalışmada işleme endüstri için oldukça önemli olan BÖHLER marka S705 çelik kullanılmıştır. DIN kodu 1.3243 ve AISI kodu M35 olan bu çelik yüksek miktarda karbonun yanında, krom, tungsten, molibden, vanadyum ve kobalt gibi alaşım elementleri içermektedir. S705, endüstriyel uygulamalar için geleneksel bir yüksek hız çeliğidir. İyi dengelenmiş bir alaşımı ve kobalt içeriği ile her zaman işi bitirmeyi başarır. Yüksek sertlik, mükemmel kesme özellikleri, olağanüstü basınç dayanımı, yüksek sıcak sertliği ve iyi tokluk özelliklerine sahip kobalt alaşımlı yüksek hız çeliğidir. S705 çeliği aşağıdaki önemli özelliklere sahiptir;

- İyi tokluk ve süneklik,
- Yüksek aşınma direnci,
- Çok yüksek basınç dayanımı,
- Yüksek kenar stabilitesi,
- Çok yüksek sıcak sertlik (kırmızı sertlik).

Östenitleme sıcaklıkları arasında 5 °C olan 5 farklı sıcaklık olarak seçilmiştir. Daha sonra 3 adımlı menevişleme ile menevişi verilen takımlar çeşitli testlere tabi tutulmuştur.

Menevişleme olmadan, sadece östenitleme sıcaklığının etkisini görebilmek için menevişleme öncesi ve sonrası sertlikler ölçülmüş ayrıca mikroyapı fotoğrafları alınmıştır. Alınan fotoğraflar ile tane sayısı hesaplanmıştır. Daha sonra menevişlenen numuneler ile MicroTap test cihazı ve entegre yazılım ile işleme esnasında anlık olarak takıma binen kuvvetler ölçülmüştür. Menevişlenmiş numunelere ayrıca XRD uygulanarak kalıntı östenit miktarı tespit edilmiştir. Tüm bu sonuçları daha iyi karşılaştırmak adına grafiklere dökülüp, sonuçlar incelenmiştir.



THE EFFECTS OF HEAT TREATMENT PARAMETERS ON CUTTING TOOL PROPERTIES

SUMMARY

Tool steels are indispensable for the metalworking industry. It is also one of the most important reviews that allows us to reach real technology. A high emphasis is placed on machine tools and tool technology throughout the advanced country. This study was carried out for the general purpose of the tools currently being produced, especially in tool technologies, which have an undeniable time for the automotive, aerospace and defense sectors. With 5 ways to develop processing technology;

- Coating,
- Bench design,
- Heat treatment,
- Tool steel,
- In terms of tools angles, it is aimed to improve the performance of tools through heat treatment.

Coating is very important for tool steel performance. The main ways to improve the coating may be to change the coating rows, change the coating types, or change the coating thicknesses. Especially with the developing technology in the last quarter century, thinner coatings can be applied to the tools. Titanium nitride and titanium carbide are the most common types of coatings. However, in the study, the tools were not coated in order to see the effect of the hardening temperature more clearly.

Tools angles and materials used in tool making are another important factor affecting tool performance. The angles must be compatible with each other so that they are exposed to the least possible friction and force from the moment the tool removes the chip until it is completely removed from the system. However, over sharpened angles can cause tools to break quickly. For this reason, it is best to choose the angles specifically for the material to be processed. The microstructure cleanliness of the material used in tool making is very important since the tools are exposed to multiple and suddenly very variable forces during machining. In this way, unwanted errors can be avoided. The raw materials of all samples used in the study were selected from the same steel and the same serial number and standard angles were given to all of them. In this way, the effect of curing temperature on performance has been studied more clearly.

The austenitization heat wear temperature applied during the hardening process of high-speed tool steels, which is basically one of the tool steels consisting of 4 main groups, causes the effect of impact, tempered exit, residual austenite and forces on the tool during cutting, which are discharges for the function of steel tools. The optimum austenitizing temperature for tool life was investigated through these concepts.

In this study, BÖHLER brand S705 steel, which is very important for the processing industry, was used. DIN code 1.3243 and AISI code M35, this steel contains high

amounts of carbon as well as alloying elements such as chromium, tungsten, molybdenum, vanadium and cobalt. The conventional high-speed steel for industrial applications in machining. With a well-balanced alloy composition and cobalt content, this type always manages to get the job done. Cobalt-alloyed molybdenum high-speed steel with high hardness, excellent cutting properties, outstanding compressive strength, high hot hardness, and good toughness. S705 steel has the following important characteristics;

- Good toughness and ductility,
- High wear resistance,
- Very high compressive strength,
- High edge stability,
- Good grindability,
- Very high hot hardness (red hardness).

All of the above features are essential for a good tool. A good toughness will prevent the tool from breaking in sudden force fluctuations. High wear resistance is very important for tool life and performance, especially in long chipping machining. The hot hardness of tools operating at high speeds such as drilling and milling is very important so that the rigidity of the tool does not deteriorate at high speeds and indirectly at high temperatures.

Austenitization temperatures of 5 °C were selected as 5 different temperatures. Then, the tools that were tempered with 3-step tempering were subjected to various tests.

In order to see only the austenitization temperature without tempering, the pre and post tempering traces were measured and microstructure photographs were taken. The number of grains was calculated from the photographs taken. Then, with the tempered samples, the forces on the tool as compression during machining were measured with the MicroTap test device and integrated software. The residual austenite amount was determined by applying XRD to the tempered samples. In order to better compare all these results, the results are poured into the results and the results are reached.

When the results are examined, it is seen that the hardness values increase with the increasing hardening temperature.

The samples were examined under the microstructure and the improvement in carbide formation and distribution was clearly seen with the increase of the hardening temperature. In addition, grains grew with the increase of hardening temperature. Although grain growth and hardness were inversely correlated, this relationship could not be determined. The reason for this is stated in the evaluation section.

It was observed that the amount of residual austenite decreased with increasing hardening temperature. Although the samples with different diameters were hardened under the same heat treatment conditions, differences were observed in the amount of residual austenite.

It has been shown that increasing curing temperature increases performance by cutting tests. At the same time, it has been observed that increasing curing temperature reduces the force deviation between the holes.

As a result, increasing hardening temperature increased the hardness and decreased the residual austenite, the cutting forces decreased and the cutting performance increased with the effect of hardness and residual austenite.





1. GİRİŞ ve AMAÇ

2.Dünya savaşı sonrasında pek çok alanda olduğu gibi sanayi ve ticaretle de yeni bir döneme girildi. Çok daha rekabetçi ve daha az hata toleransı beklentileri olan bu yeni dönemde şirketler gerek işletme gerek imalat konularında yeni arayışlara girmiştir. Daha ucuza daha kaliteli ürün üretmenin yollarını araştırmışlardır.

Bu arayışlardan talaşlı imalat konuları da payını almıştır. İşlenen parçanın hassasiyeti ve uygulanan işleme yönteminden beklentiler, gittikçe artan teknik ve ekonomik koşulların sağlanabilmesi için, kesme işlemine katılan kesici takımlar, kesme geometrileri, kesme koşulları, malzemelerin işlenebilme özellikleri ve takım tezgahlarında önemli teknoloji gelişmeler meydana gelmiştir.

Daha üstün kesici takım ve takım tezgahı endüstrilerine sahip olan ülkeler daha yüksek endüstriyel gelişim gösterirler. Nitekim dünyada, Almanya, Japonya, Kore, Tayvan gibi ileri teknoloji ürünlere sahip ülkelerin hepsi işleme teknolojileri konusunda da söz sahibidir. Bu ülkeler özellikle işleme makineleri tasarımı, takım çeliği ve kesici takım imalatı konularında teknoloji ve bilgilerini oldukça geliştirmiştir.

GENERAL MOTORS takım tezgahları direktörünün de belirttiği gibi, ‘‘ Eğer Japonya’dan en iyi kesici takım ve takım tezgahını alırsanız bu en az iki yıldan beri TOYOTA MOTORS’ da kullanılıyordur. Eğer Batı Almanya’dan en iyi kesici takım ve tezgahı alırsanız en az bir buçuk yıldan beri BMW’de kullanılıyordur.’’

Diğer bir deyişle üretimde en iyi olabilmek için öncelikle en iyi kesici takım ve takım tezgahlarına sahip olmamız gerekmektedir. Bu da ancak ülkemiz imkanlarıyla takım ve tezgahları üretip, geliştirmemizle gerçekleşebilir.

Bu tez, ülkemizi bahsedilen ülkelerdeki bilgi ve teknoloji seviyesine bir adım dahi olsa yakınlaştırmak amacıyla ülkemizin konusunda ilk ve tek üreticisi olan Makine Takım Endüstri A.Ş.’nin desteğiyle yazılmıştır.



2. TEORİK BİLGİLER

2.1. Takım Çelikleri Hakkında Genel Bilgi

Takım çelikleri, sertlik, aşınma direnci, tokluk ve yüksek sıcaklıklarda yumuşamaya karşı direnç gibi benzersiz özelliklere sahip bir tür karbon ve alaşımlı çeliktir.

Krom, vanadyum, molibden ve tungsten gibi karbür oluşturan elementler, takım çeliklerinde, çeşitli kombinasyonlarda kullanılır. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda daha iyi çalışmasına yardımcı olan kobalt veya nikelde içerebilirler. Metalleri damgalamak, biçimlendirmek, kesmek ve ayrıca polimerleri şekillendirmek için kullanılırlar ve sertliği artırmak için genellikle ısıtılma işlemine tabi tutulurlar.

2.1.1 Takım çeliklerinin tarihi

İlk Yunanlıların, İsa'nın doğumundan birkaç yüzyıl önce çelik üretiminin farkında olduklarına ve bunu yaptıklarına şüphe yoktur. Bu malzemelerin demir ve çelik yapımında kullanıldığını gösteren tarihhöncesi demir ocakları ve izabe makineleri keşfedilmiştir ve bu malzemelerden yapılan aletlerin antik çağa kadar uzandığı kesindir.

Eski çeliklerin nasıl yapıldığına dair çok az bilgi var, ancak demirin karbon için büyük bir afinitesi olduğundan, dövme sırasında demirin karbonlu yakıtla temasının karbonu emmesi ve demiri normalden daha sert hale getirmesi son derece muhtemeldir. Demirin suya daldırılarak sertleştirilebileceğinin tesadüfi keşfi ise büyük olasılıkla bir sonraki adımdı. Bugün bildiğimiz şekliyle demir veya çelik, şüphesiz o zamanlar üstün aletler yapacak olsa da, metal kesme sanatı, yalnızca bir yüzyıl yıl önce başlayan makine çağına kadar gerçekten başlamamıştı.

İsa'nın zamanından önce, yüksek kaliteli çeliklerin var olduğu kesindir. Hindistan'dan "Wootz Çeliği", Şam, Suriye'den "Damaskus Çeliği" ve Toledo, İspanya'dan "Toledo Çeliği", bu tür çelikleri temsil ediyordu. Bu çelikler muhtemelen ilkel bir pota prosedürü kullanılarak üretiliyordu. Bununla birlikte, bu yöntemin orta çağ boyunca uygarlıklar tarafından kaybedildiği, ancak 1750 civarında İngiltere'de

Benjamin HUNTSMAN tarafından yeniden keşfedildiği ve bir pota kullanarak çelik yapma yöntemi olan HUNTSMAN süreci adının ortaya çıktığı görülüyor.

Takım çelikleri, HUNTSMAN' ın pota tekniğini keşfetmesinden önce sementasyon işlemiyle üretilmekteydi. Bu, demirin, kömüre veya başka bir karbon sağlayıcı maddeye yakın bir yerde ısıtılmasıyla sağlandı.

1868 yılında Robert MUSHET' ın aklına gelene kadar, pota yöntemiyle yapılan takım çeliğine alaşım eklemek kimsenin aklına gelmiyordu [3]. Ayrıca MUSHET, üzerinde çalıştığı çelik çubuklarından birinin, çok eski zamanlardan beri çeliği sertleştirmek için kullanılan su verme olmaksızın ısıtıldıktan sonra sertleşme özelliğine sahip olduğunu keşfetti. Böyle eşsiz bir durum, çubuğun daha detaylı incelenmesine yol açtı ve çeliğin tungsten içerdiği MUSHET tarafından ortaya çıkartıldı. Bu keşif, yaygın olarak yüksek hız çeliğinin doğuşu olarak kabul edilir ve tartışmasız çelik metalurjisindeki en büyük başarılarından biridir.

MUSHET' ın ürettiği özel çelik hızla satıldı ve geniş bir uygulama alanı buldu. SHEFIELD' deki CLYDE STEEL WORKS' ten, HENRY GLADWIN, soğuması için kapıya yerleştirilmiş MUSHET çelik çubuklarından birinin daha arkaya yerleştirilmiş çubuklardan önemli ölçüde daha sert olduğunu kaydetti. Bay GLADWIN, suçun kapıdan giren hava akımı olduğunu düşündü ve MUSHET çeliklerinin önemli ölçüde üstün ısıtılma işlemiyle sonuçlanan bir dizi teste başladı. Tungsten çeliği kuşkusuz tesadüfen keşfedildi, ancak çok şanslı bir kazaydı ve aynı şey MUSHET çelik ısıtılma işlem prosedürü için de söylenebilir.

Tablo 2.1.: 1800'lerin sonunda çeşitli firmaların çelik numunelerin kompozisyonu.

Numune	C	W	Cr	Mn	Mo
1	1.67	7.6	3.7	0.4	0
2	2.2	5.9	0.6	1.35	0
3	1.2	8.05	2.1	1.35	0
4	1.4	0	3.5	1.6	4.5

Fark edileceği gibi, farklı şirketler tarafından yapılan kendiliğinden sertleşen çeliğin bileşimi son derece değişkendi. Bu çelik türü, dikkate değer kesme ve aşınma özelliklerine sahip olmasına rağmen, yapılması gereken son işlem veya ince işler için uygun değildir. Bu çelikten yapılan aletlerin mikro yapısı kaba tanelerden oluşması sebebiyle ince işler ve finiş işlemleri için uygun değildi. Ancak yeni çelik alaşımlarının geliştirilmesiyle bu sorun kolaylıkla aşılabildi.

Yüksek hız çeliğinin öncüsü olan MUSHET çeliği, yavaş yavaş yerini benzer kompozisyonlara sahip kendiliğinden sertleşen çeliklere bıraktı ve bu da bugün yüksek hız çelikleri olarak bildiğimiz çeliklerin gelişimine yol açtı. Bu nedenle, yüksek hız çeliğinin 1896 ile 1902 yılları arasında geliştirildiği ve herhangi bir kişi veya şirket tarafından değil oluşan bilgi birikimi ve ortaya çıkan ihtiyaçlar sebebiyle pek çok firma tarafından, kendilerine özgü kompozisyonlarla geliştirilmiştir. 1902'de, üreticilerin yüksek hız çeliklerini uyumlu hale getirmek için hangi kompozisyonun en iyi olduğunu bilmek için hala kat etmeleri gereken çok yol vardı. Aşağıda 1902'de aşağıdaki kompozisyonlara göre yüksek hızlı çelik üretimi yapan bir dizi üreticinin kompozisyonları verilmiştir.

Tablo 2.2.: 1902'de yüksek hızlı çelik üretimi yapan üreticilerin kompozisyonları.

Numune	C	Mn	Cr	W	Mo
1	0.63	-	4	-	6
2	0.42	-	4.95	10.75	-
3	0.57	0.43	3.3	11.58	-
4	0.75	-	-	19.5	-
5	0.37	-	5.1	13.83	-
6	0.62	-	6.5	21.06	-
7	0.84	0	2.76	11.25	-
8	0.56	-	2.95	9.74	-
9	0.6	0	-	-	9.25

Kompozisyonlarda görüldüğü gibi vanadyum elementi ilk yapılan yüksek hız çeliklerinde bulunmamaktaydı. Bunun sebebi vanadyum elementinin ya da bu

elementin sağlayacağı avantajların bilinmiyor oluşu değil, vanadyum arzının Fransa, İsviçre ve diğer orta Avrupa ülkelerinde az olması ve dolayısıyla fiyatlarının yüksek olmasıdır. Bu tip element eksiklikleri ile tarih boyunca da karşılaşmıştır. Örnek olarak, ikinci dünya savaşı döneminde oluşan tungsten kıtlığı ve dolayısıyla fiyatlarındaki artış yüksek hız çeliklerinde önemli bir yeri olan bu elementin kullanımına engel teşkil etmiş ve kullanım azaltılmıştır.

Yüksek hız çeliği endüstrisinde son zamanlardaki en büyük gelişmeler, çeliklerin kompozisyonunda değil, üretim tarzlarında ve ısıl işlemlerinde olmuştur. 1910'da tanıtılan ve 1915'te Amerikan takım çeliği endüstrisinde genel kullanım bulmaya başlayan ark ocakları, yüksek hız çeliklerinin imalatındaki dikkate değer gelişmelerden biri olmuştur; çünkü ark ocağında, o zamanlar yıllardır kullanılan pota yöntemiyle ulaşılamayan bir çeliğin homojenliği ve saflığı elde edilebilir.

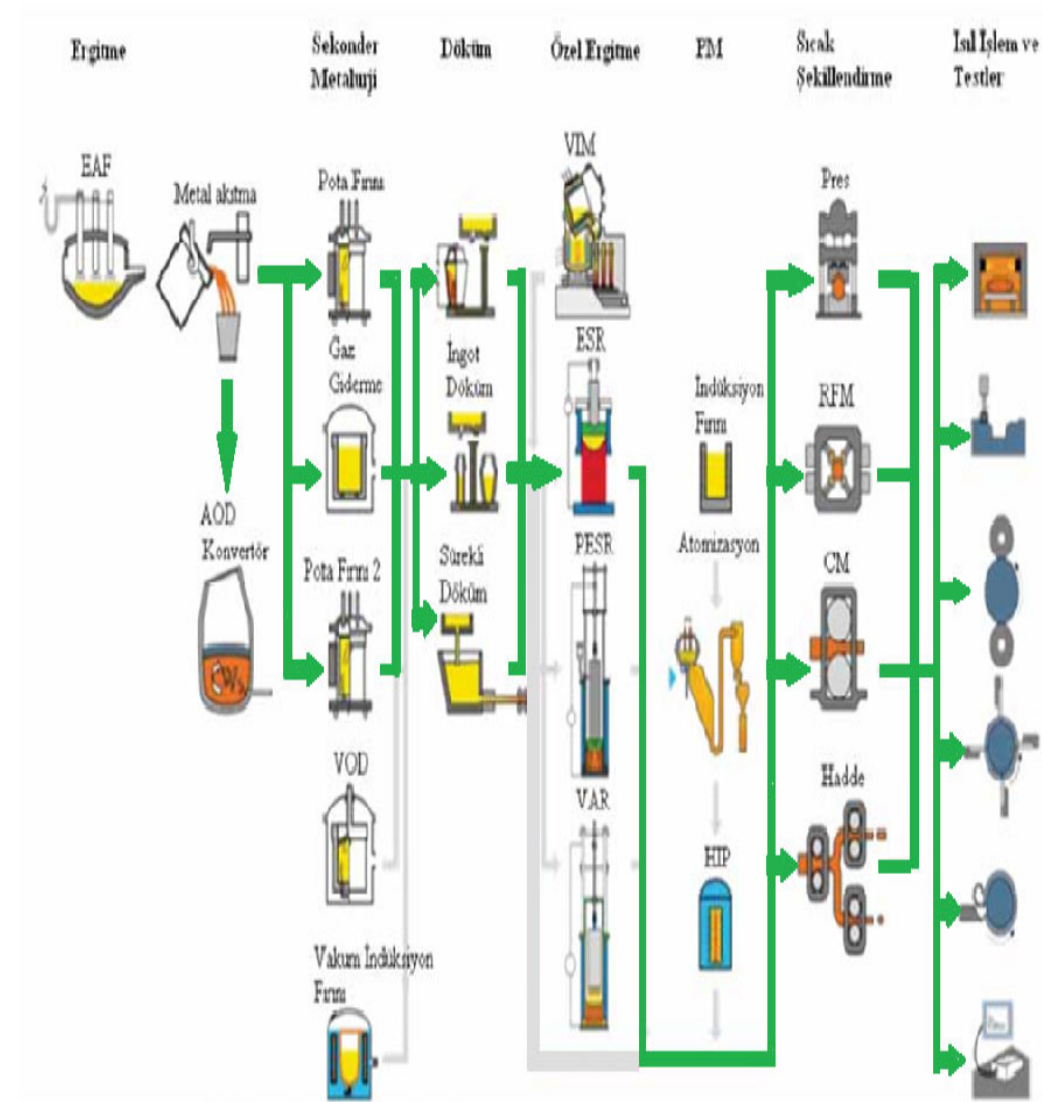
2.1.2 Takım çeliklerinin üretimi

Günümüzde takım çelikleri ark ocağı gibi konvansiyonel yöntemler kullanılarak üretilirken, daha yüksek performans dolayısıyla daha temiz ve homojen bir mikroyapı istenen özel durumlarda ESR (Elektro cüruf ergitme) yada PM(Toz metalurjisi) teknolojileri üretimde kullanılmaktadır.

2.1.2.1 Konvansiyonel yöntemler ile takım çeliği üretimi

Elektrik ark ocaklarında büyük miktarda hurda eritilir. Daha sonra çeliğin kimyasal bileşimini dengelemek için ikincil bir metalürjik işleme ve çeşitli boyutlardaki kalıplarda katılaşmadan önce eriyiği rafine etmek için bir gaz giderme işlemine tabi tutulur. Nispeten yavaş katılaşma süreci nedeniyle, mikro ve makro seviyelerde segregasyon kaçınılmazdır. Çeliğin kimyasal bileşimi ve eriyiğin soğuma hızı bu homojensizliklerin yoğunluğunu kontrol eder. Dövme veya haddelemeden sonra, bu çelikler özelliklerinde belirgin bir anizotropi sergiler. Bununla birlikte, bu tür takım çeliklerinin özellikleri, temel gereksinimlerin çoğunu karşılamaktadır.

Çok eksenli mekanik veya sık sık termal yüklere maruz kalan yüksek gerilimli takımlar, daha iyi özellikler ve daha homojen takım çelikleri gerektirir. Yüksek kaliteli takım çeliği üretmek için yeniden ergitme teknikleri (elektro cüruf yeniden ergitme (ESR) veya vakum ark yeniden ergitme (VAR)) kullanılır. Yeniden ergitme işlemi, temizliği ve homojenliği önemli ölçüde artırır. Bu takım çeliklerinin sıcak dövme veya haddelemeden önceki ve sonraki özel ısıl işlemleri, en yüksek talepleri karşılamak için farklı özellikleri garanti eder.

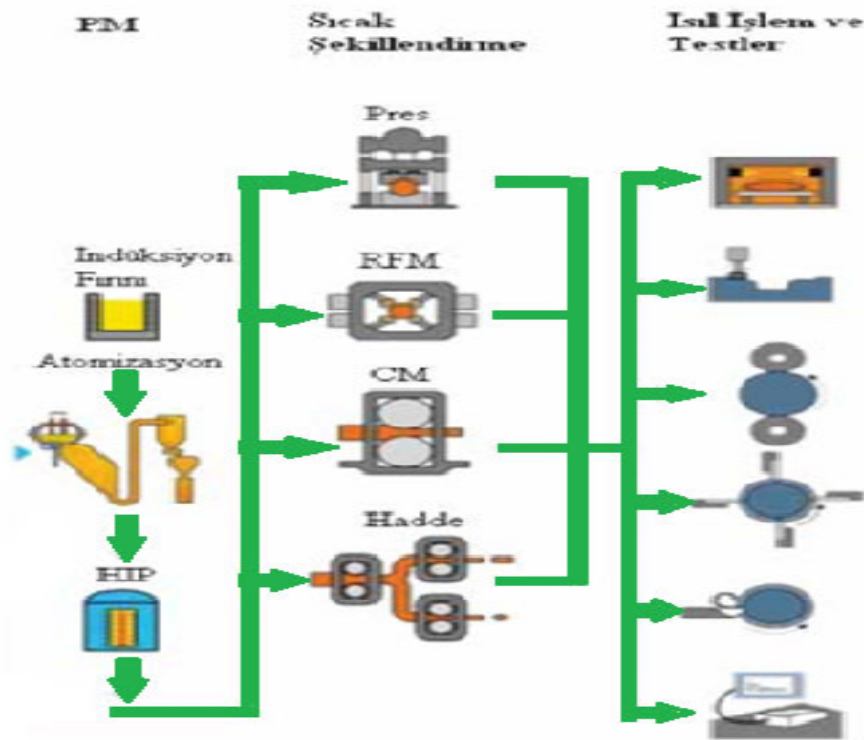


Şekil 2.2: ESR yöntemi ile takım çeliği üretimi akış şeması.

2.1.2.3 Toz metalurjisi (PM) yöntemi ile takım çeliği üretim

Homojenlik, toz metalurji (PM) takım çeliğinin en önemli özelliklerinden biridir. Katılaşma hacmi, atomize toz parçacıklarının boyutuyla sınırlıdır. Aşırı katılaşma oranları, segregasyon eğilimlerini azaltır ve geleneksel metalürjinin sınırlarının çok ötesinde kimyasallara sahip takım çeliklerinin üretilmesini sağlar. Bu sayede, özel uygulamalar için ilgili özelliklere sahip yeni takım çelikleri üretilebilir. Bu üretim yöntemi ile geliştirilmiş sertlik, aşınma direnci ve/veya korozyon direnci olan bileşimlerin imali sağlanmıştır.

Toz metalürjisinin avantajları ancak belirli önlemlere sıkı sıkıya bağlı kalındığında elde edilebilir. Geniş spesifik yüzey alanları nedeniyle, metal tozları oldukça reaktiftir ve oksidasyona ve diğer kirletici maddelere karşı hassastır. Bu, toz metalurjik malzemelerin üretim süreci boyunca yoğun bir şekilde korunmasını gerektirir. Toz metalürjisi takım çeliklerinin üretimi için yerleşik bir teknoloji olarak kabul edilebilse de, bu malzemelerin uygulamaları öncelikle yüksek sertlik ve aşınma direnci gerektiren yüksek hız çelikleri ve soğuk iş çelikleri alanına odaklanmıştır.



Şekil 2.3: Toz metalurjisi yöntemi ile takım çeliği üretim akış şeması.

2.1.3 Takım eliklerinin türleri, özellikleri ve kompozisyon

Bu kısımda takım çeliklerinin türleri ve bu türler özelinde çeliklerden beklenen özellikler, farklı türdeki çeliklerin kompozisyonu ve bu kompozisyonlardaki farklılıklar incelenmiştir.

Farklı ekstrem koşullar altında çalışan farklı özelliklerle sahip pek çok takım çeliği alaşıımı vardır. Bunlar 4 adet ana grup altında incelenebilir;

2.1.3.1 Sıcak iş takım elikleri

Sıcak iş takım çelikleri, adında anlaşılacağı üzere yüksek sıcaklıklarda, mekanik ve kimyasal dayanım istenen uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu elikler alaşıımında kullanılan krom, molibden, vanadyum, kobalt ve özellikle tungsten sayesinde yüksek sıcaklıklarda rahatlıkla kullanılabilir.

Tablo 2.3.: Çeşitli sıcak-ış çelik alaşımlarının kimyasal kompozisyonu.

AISI type	UNS no.	Kompozisyon (wt%)								
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Co
Krom çelikleri	sıcak-ış									
H10	T20810	0.35-0.45	0.25-0.70	0.80-1.20	3.00-3.75	0.30max.	2.00-3.00	-	0.25-0.75	-
H11	T20811	0.33-0.43	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30max.	1.10-1.60	-	0.30-0.60	-
H12	T20812	0.30-0.40	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30max.	1.25-1.75	1.00-1.70	0.50max.	-
H13	T20813	0.32-0.45	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30max.	1.10-1.75	-	0.80-1.20	-
H14	T20814	0.35-0.45	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30max.	-	4.00-5.25	-	-
Tungsten çelikleri	sıcak-ış									
H21	T20821	0.26-0.36	0.15-0.40	0.15-0.50	3.00-3.75	0.30max.	-	8.50-10.00	0.30-0.60	-
H22	T20822	0.30-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	1.75-3.75	0.30max.	-	10.00-11.75	0.25-0.50	-
H23	T20823	0.25-0.35	0.15-0.40	0.15-0.60	11.0-12.75	0.30max.	-	11.00-12.75	0.75-1.25	-
H24	T20824	0.42-0.53	0.15-0.40	0.15-0.40	2.50-3.50	0.30max.	-	14.00-16.00	0.40-0.60	-
H25	T20825	0.22-0.32	0.15-0.40	0.15-0.40	3.75-4.50	0.30max.	-	14.00-16.00	0.40-0.60	-
H26	T20826	0.42-0.55	0.15-0.40	0.15-0.40	3.75-4.50	0.30max.	-	17.25-19.00	0.75-1.25	-
Molibden çelikleri	sıcak-ış									
H42	T20842	0.55-0.70	-	0.15-0.40	3.75-4.50	0.30max.	4.50-5.50	5.50-6.75	1.75-2.20	-

Görüldüğü üzere, krom ana alaşım elementli sıcak iş çelikleri yüksek miktarda molibdenin yanında içeren genellikle orta karbonlu (0.40 wt%) çeliklerdir. H10'dan H14'e kadar isimlendirilir.

Genellikle daha az karbon miktarına sahip olup, yüksek oranlarda tungsten içiren alaşımlar ise H21'den H26'ya kadar isimlendirilir.

H42'de ise ana alaşım elementi olarak molibden kullanmıştır.

Sıcak iş takım çelikleri, sıcak haddeleme, sıcak dövme ve ekstrüzyon gibi zorlu koşullarda çalıştırılır. Bu sebeple termal şoka, deformasyona, yüksek sıcaklıktaki korozyona ve yüksek sıcaklık sebebiyle çarpılmaya karşı dirence sahip olması gerekmektedir. Bu gereklilikleri karşılamak için çok sıkı ısı işlem disiplini gereklidir.

Bu çeliklerde herhangi bir normalizasyon işlemine ihtiyaç duyulmaz, sadece yumuşatma için 875-900°C' de tavlama yapılır. Tam tavllanmış halleri yaklaşık 200 HB civarındadır.

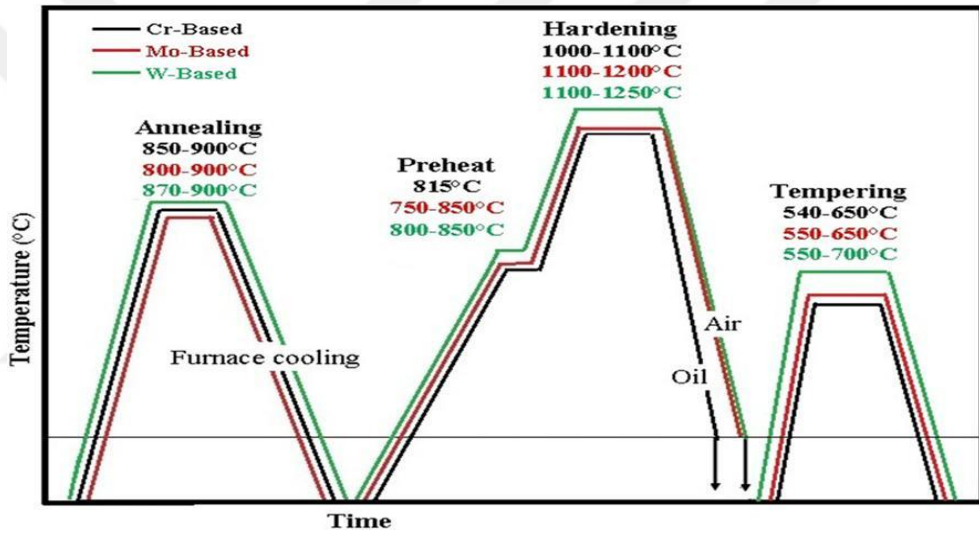
Tablo 2.4.: Çeşitli sıcak-iş çelik alaşımlarının ısı işlem koşulları.

Sembol	Normalizasyon (°C)	Tavlama (°C)	Ön ısıtma (°C)	Sertleştirme (°C)	Su verme ortamı	Temperleme (°C)
H10-H14	-	845-900	815	995-1065	Hava	540-650
H21-H26	-	870-900	815-870	1095-1260	Yağ, hava	595-815
H42	-	815-900	730-845	1095-1220	Yağ, hava, tuz	565-650

Cr alaşımlı (H10-14) sıcak iş takım çelikleri normalde HRC 55–65 civarındaki sertlik düzeyine kadar havada sertleştirilir. Sertleşme sıcaklığı yaklaşık 1000°C'de tutulur ve bu sıcaklıkta karbürlerin çoğu çözelti içine alınır, çelik alaşımca oldukça zengin hale gelen östenit sayesinde havada su vererek yüksek sertliğe ulaşabilir hale gelir. Östenitleme işlemi yapılırken çelik 800°C sıcaklıkta bir süre bekletilerek sıcak gradyanı ortadan kaldırılır.

W alaşımlı çelikler, 1100°C'nin üzerindeki yüksek sıcaklıklardan 1250°C'ye kadar hava veya yağda sertleştirilir. Yüksek sıcaklıklara mukavemetli tungsten karbürü östenit içinde tamamen çözmek için yüksek sertleştirme sıcaklığı gereklidir. H26 çeliği hariç, W bazlı çeliklerin su verilmiş sertliği ortalama olarak HRC 50'dir; ancak H26 çeliğinin su verilmiş sertliği yaklaşık HRC64'tür. Termal şoku en aza indirmek için,

östenitleştirme sürecindeki ısıtma rejimi, termal şoktan kaynaklanan bozulma problemlerinden tamamen kurtulmak için 800–850°C' sıcaklıkta beklemeyi de içerir. Aynısı, sertleştirmeden sonra su verilmiş sertliğin bileşime ve su vermeye bağlı olarak HRc 54–65 arasında değiştiği Mo alaşımlı çelikler için de geçerlidir. Sıcak iş takım çeliği hazırlama üzerine yakın zamanda yapılan bir araştırma, H11 çeliğinin seçici lazer eritme yöntemiyle eklemeli üretiminin, çeliğin geleneksel yöntemle karşılaştırılabilir çekici mekanik özellikler elde etmesini sağlayabileceğini göstermiştir. Üretme; hava ile sertleştirilmiş çeliğin mikro yapısı çita içerir tavlama sırasında karmaşık karbürlere dönüşen martenzit ve M3C.[9] Böylece, bu aşağıdan yukarıya yaklaşımın, gerekli özelliklerden ödün vermeden girift şekilli aletlerin çok kolaylıkla imal edilmesini sağlayacağı görülmektedir.



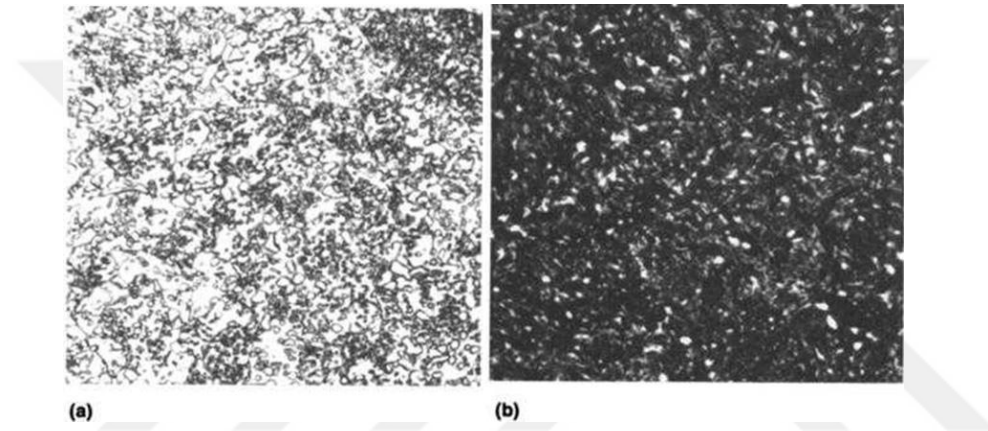
Şekil 2.4.: Sıcak iş çeliklerinin örnek ısıtma işlem rejimi.

2.1.3.2 Soğuk iş takım çelikleri

Yağda sertleşen (O-serisi) soğuk iş takım çelikleri ötektoid üstü tiptedir; bu çelikler ağırlıkça %1 ila %1,5 arasında manganez içerir; bazı çeşitlerde karbür oluşturan elementler olarak tungsten ve krom da mevcuttur. Bu çeliklerin kullanım amaçları gereği, çözünmemiş karbürlere kasıtlı olarak mikro yapılarda tutulur. Yüksek karbon içeriği göz önüne alındığında bu çelikler genellikle 850–900°C sıcaklıkta normalize edilir, ayrıca dövme sıcaklığında uzun süreli ısıtma dekarbürizasyona neden olabilir ve bu nedenle dekarbürizasyondan kaçınmak için gerekli önemin gösterilmesi gerekir. Bu derecedeki tüm serilerin ısıtma işlem döngüsü, Şekil 2.2'de şekilde sunulmaktadır.

Tablo 2.5.: Çeşitli soğuk-ış çelik alaşımlarının kimyasal kompozisyonu.

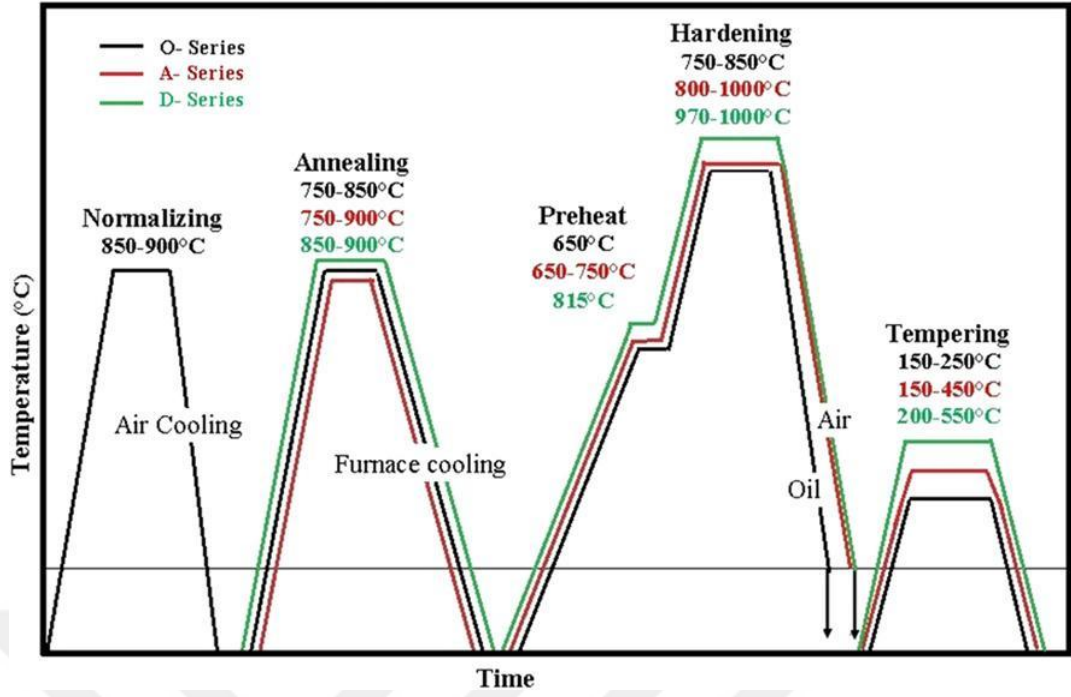
AISI	Kompozisyon (wt%)							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V
O1	0.85-	1.00-	0.50m	0.40-	0.30ma	-	0.40-	0.30
	1.00	1.40	ax.	0.60	x.		0.60	max.
O2	0.85-	1.40-	0.50m	0.50ma	0.30ma	0.30ma	-	0.30
	0.95	1.80	ax.	x.	x.	x.		max.
O6	1.25-	0.3-	0.55-	0.50ma	0.30ma	0.20-	-	-
	1.55	1.11	1.10	x.	x.	0.30		



Şekil 2.5: a) Yağda sertleşen takım çeliğinin mikro yapısı; 725C'de tavllanmış O2 takım çeliğinden oluşan bir ferrit matriste küreselleştirilmiş karbürler, b) 815C'de östenitlenmiş, yağda su verilmiş ve 220C'de 58,5 HRC sertliğe temperlenmiş O1 takım çeliğinde temperlenmiş martenzit matrisinde küreselleştirilmiş karbürler.

Tablo 2.6.: Çeşitli soğuk-ış çelik alaşımlarının ısıtma işlem koşulları.

Sembol	Tavlama (°C)	Ön ısıtma(°C)	Sertleştirme (°C)	Su verme ortamı	Temperleme (°C)
O	750-850	650	750-850	Yağ	150-250
A	750-900	650-750	800- 1000	Hava	125-450



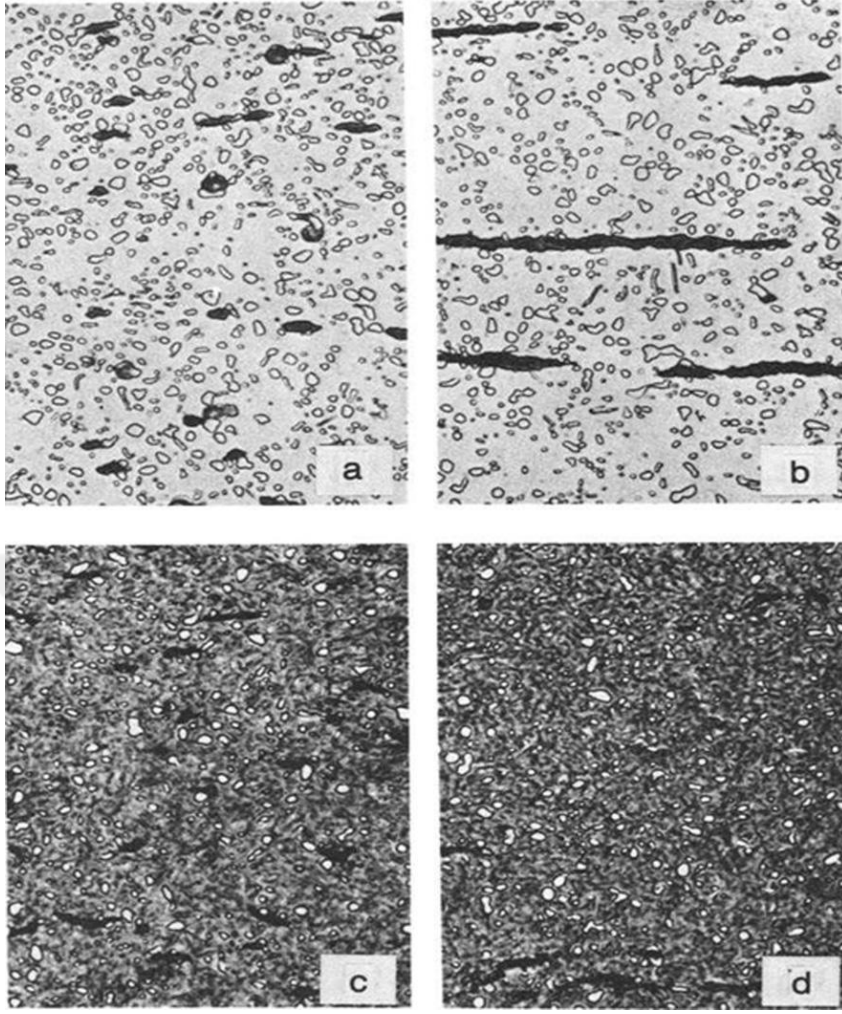
Şekil 2.6.: Soğuk iş çeliklerinin örnek ısıt işlemleri.

Daha yüksek östenitleme sıcaklıkları, çözeltideki tüm karbonu çözme eğilimindedir. Sonuç olarak, sertleştirilmiş ve temperlenmiş çelik, Şekil 2 4 'te gösterildiği gibi mikro yapısında kalıntı östenit içerir.

O6 çeliği büyük miktarda silikon içerdiğinden (ağırlıkça %1,5'e kadar), grafitleşme meydana gelir. Grafit, katı bir yağlayıcı görevi görür ve kalıbın kullanım ömrünü uzatır. Bu çeliğin mikro yapısı, grafiti gösteren Şekil 2.5'te gösterilmektedir. Tavlanmış durumdaki çelik grafit sferoitleri içerir ve sertleştirmeden sonra yüksek aşınma direnci sağladığı bilinen gömülü çözünmemiş karbürlere sahip martenzitik bir matris sergiler.



Şekil 2.7.: Yağda sertleştirilmiş takım çeliği mikroyapısı, kalıntı östenit ve martenzit mikroyapıda görülmektedir. (O1 takım çeliği, 980°C östenitleme, 220°C temperleme).



Şekil 2.8.: O6 takım çeliğinde grafik dağılımı, x1000, a) Tavlanmış mikroyapı, enine kesit, (b) Tavlanmış mikro yapı, uzunlamasına kesit, (c) Sertleştirilmiş mikro yapı, enine kesit, (d) Sertleştirilmiş mikro yapı, uzunlamasına kesit.

2.1.3.3 Plastik kalıp takım çelikleri

Kalıp çeliği, ana alaşım elementleri olarak krom ve nikel ile düşük karbon içerir. P2 ve P6 çelikleri, düşük karbon içerikleri nedeniyle P serisi kesitlerde karbürleşmeye karşı daha hassastır. Tablo 2.7 yaygın kalıp çeliği türlerinin kimyasal bileşimini göstermektedir. Bu tip çeliklerde, parçanın yüzeyinde yeterince yüksek bir sertlik seviyesi elde edebilir ve iyi bir aşınma direncine sahiptir. Karbürlemeden önceki çok düşük ilk sertliği nedeniyle, pürüzsüz bir kalıp izlenimi yaratmak için işlenebilir. Takım çeliği genellikle kalıp oluşturulduktan sonra karbonlanır. Karbonlanmış kalıp daha sonra istenen yapı ve özellikleri elde etmek için ısıtılma işlemine tabi tutulur. Karbürize bileşenler, yüzeyde 55-60 HRC nihai sertliğini elde etmek için sertleştirilir ve temperlenir. Ek olarak, P20 ve P21, 35 HRC civarında bir ısıtılma işlem sertliğine sahiptir.

ve karmaşık kalıplar ve şekiller kolayca işlenebilir. Bununla birlikte, plastik kalıplama uygulamaları için çelik, 65HRc'lik bir yüzey sertliği elde etmek için karbürizasyona tabi tutulur. Bu çelikler genellikle son şeklini almadan önce sertleştirilir. Bu nedenle, işlemeden sonra ek yüksek sıcaklıkta ısıtılma işlemi gerekmez. P-serisi çelikler, genellikle sıcak yumuşamaya karşı düşük bir dirence sahip olduklarından, özellikle plastik transfer kalıplamada düşük sıcaklıklarda kullanım için tasarlanmıştır. Plastik kalıplar çok ağır olduğundan ve büyük kalıp bloklarının yeterli dayanıklılık, temizlik ve sertleşebilirlik gereksinimlerini karşılaması gerektiğinden, P serisi çelik bir elektrik ark ocağında eritilir ve ardından temizlik için vakum işlemine tabi tutulur.

Tablo 2.7.: Çeşitli takım çeliklerinin kompozisyonları

AISI	UNS no.	Kompozisyon (wt%)								
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Al
P2	T516 02	0.10max.	0.10-0.40	0.10-0.40	0.75-1.25	0.10-1.50	0.15-0.40	-	-	-
P6	T516 06	0.05-0.15	0.35-0.70	0.10-0.40	1.25-1.75	3.25-3.75	-	-	-	-
P2 0	T516 20	0.28-0.40	0.60-1.00	0.20-0.80	1.40-2.00	-	0.30-0.55	-	-	-
P2 1	T516 21	0.18-0.22	0.20-0.40	0.20-0.40	0.50max.	3.90-4.25	-	-	0.15-0.25	1.05-1.25

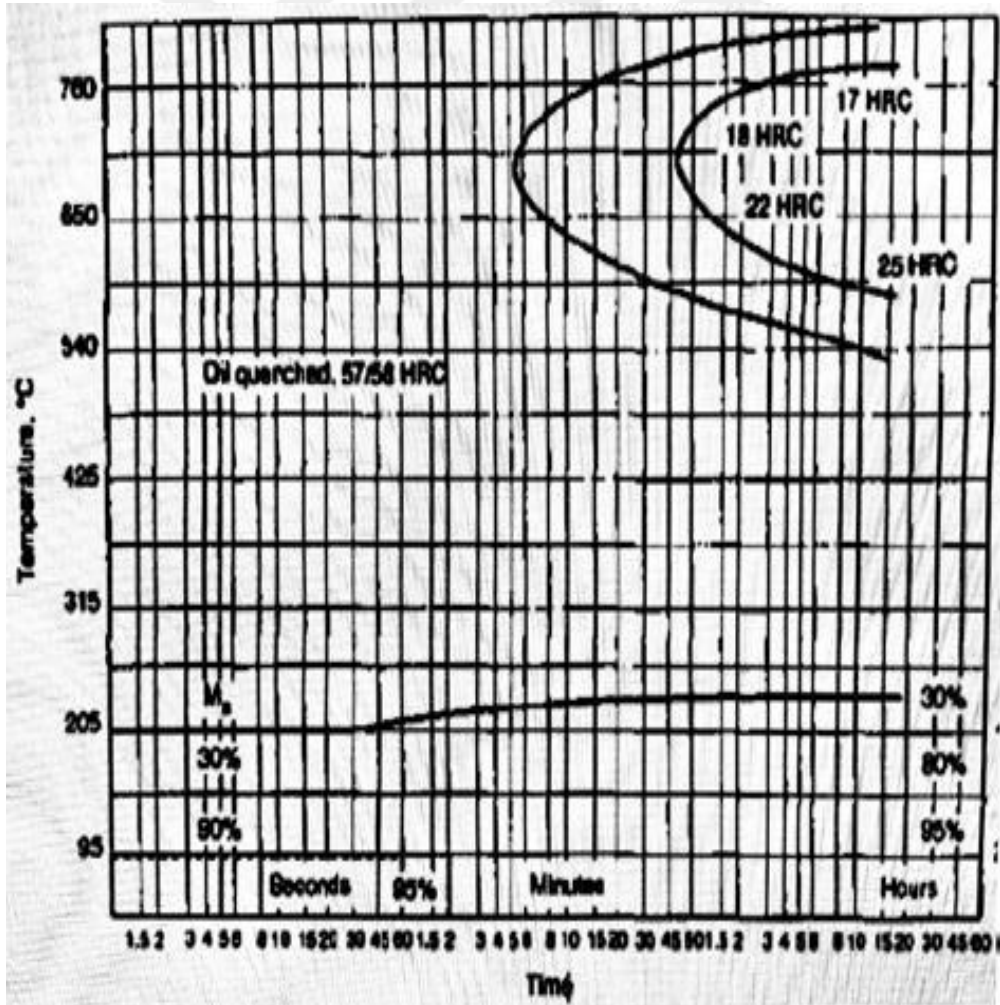
Genel olarak çelik, yüzeyi sertleştirilmiş, karbonlanmış olduğundan, nihai mikro yapıda daha fazla martensit elde edilebildiğinden, sertleştirmeden sonra iyi sertlik sağlamak için yağla su verme daha iyidir.

Şekil 2.9.'da P-serisi yüksek kromlu yüksek karbonlu çeliğin TTT diyagramı, havayla soğutma sırasında %90'ın üzerinde martensit ile yüksek sertleşebilirliği göstermektedir. Genel olarak, P-serisi çelikler yaklaşık 900°C'de su verilir ve daha sonra istenen sertliği elde etmek için 175-300°C sıcaklık aralığında temperlenir. Ancak P20 ve P21 kaliteleri için sertleştirmeden önce normalleştirme ısıtılma işlemi uygulanır. 900°C'den gerçekleştirilen normalleştirme işlemi, ince yapıyı rafine eder ve ince, homojen bir yapı oluşumunu destekler. Ayrıca, alaşım elementlerinin içeriği yüksek olduğundan, yüksek sıcaklıklarda (500-600°C) tavlama, ikincil sertleştirmeden faydalanabilir. Genel olarak, önceden sertleştirilmiş kalıp çeliğinin mikro yapısı ve

mekanik özellikleri, temperleme sıcaklığından büyük ölçüde etkilenir. 718H kalıp çeliği (0.35C-0.3Si-1.4Mn-2Cr-0.9Ni-0.2Mo) üzerinde yakın zamanda yapılan bir araştırma, tavlama sıcaklığının artmasının çeliğin akma dayanımı, çekme dayanımı ve sertlik değerlerini azalttığını göstermiştir. Bu davranış, dislokasyon yoğunluğunun azalması ve martenzit çıkıntısının geri kazanılmasıyla temperlenmiş karbürlerin oluşumuna atfedilir. Ayrıca, deneylerin sonuçlarına dayanarak, bu tür kalıp çeliği için en uygun sıcaklığın 530–560°C arasında olması gerektiği öne sürülmüştür.

2.1.3.4 Yüksek hız takım çelikleri

Yüksek hız takım çeliklerinin kompozisyonunda 0.8 ila 1.5%wt aralığında yüksek oranda karbonun yanında, %18 tungsten, %4 krom ve %1 ila %5 arası vanadyum bulunur. Bazı HSS tip çeliklerde yüksek oranda kobalt bulunur. Kobalt, özellikle sıcak sertlik dayanımını yükseltmesi sebebiyle HSS'lerde sıklıkla tercih edilmektedir. Yüksek karbon ve vanadyum ise aşınma direncini arttırmada önemli rol oynar.



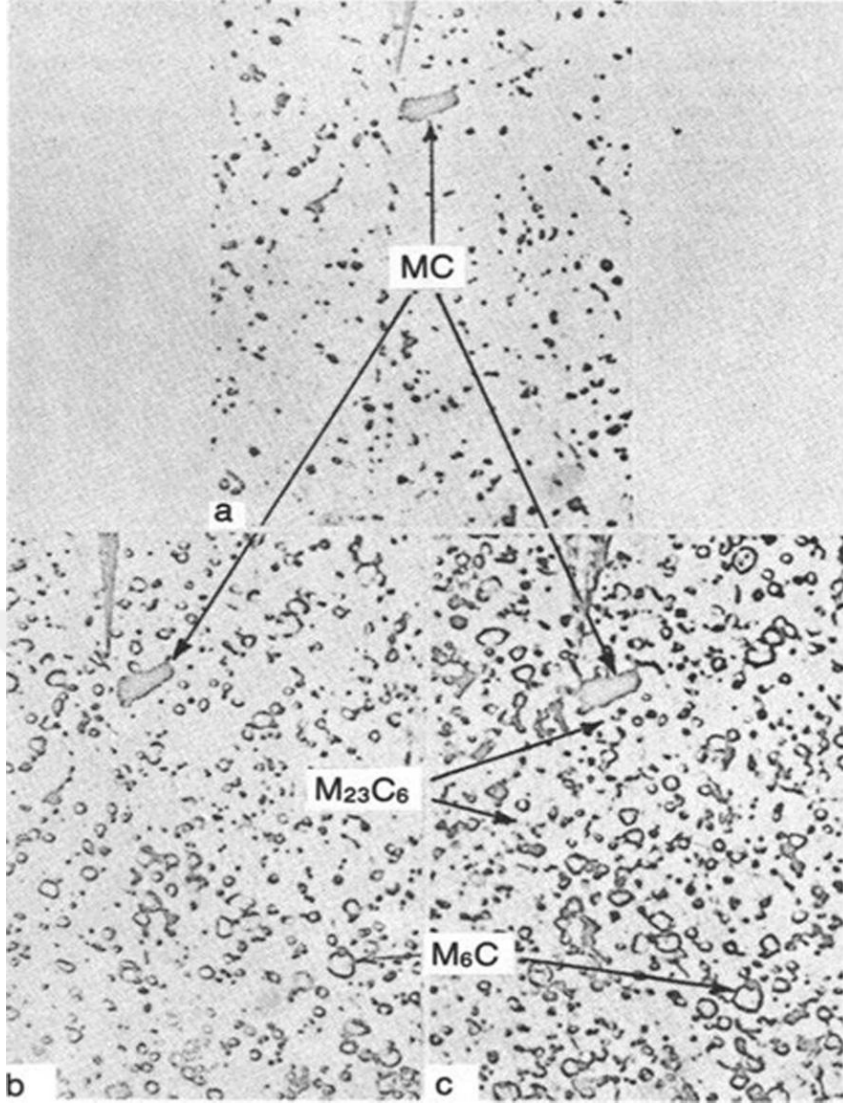
Şekil 2.9.: 17Cr-0.65C plastik kalıp çeliği TTT diyagramı.

Tablo 2.8.: Çeşitli yüksek hız takım çeliklerinin kompozisyonu.

AISI	UNS	Kompozisyon (wt%)							
		C	Mn	Si	Cr	Mo	W	V	Co
Molibden Alaşımlılar									
M1	T11301	0.78-	0.15-	0.20-	3.50-	8.20-	1.40-	1.00-	-
		0.88	0.40	0.50	4.00	9.20	2.10	1.25	
M2	T11302	0.78-	0.15-	0.20-	3.75-	4.50-	5.50-	1.75-	-
		0.88	0.40	0.45	4.50	5.50	6.75	2.20	
M30	T11330	0.75-	0.15-	0.20-	3.50-	7.75-	1.30-	1.00-	4.00-
		0.85	0.40	0.45	4.25	9.00	2.30	1.40	5.00
M34	T11334	0.85-	0.15-	0.20-	3.50-	7.75-	1.40-	1.90-	7.75-
		0.92	0.40	0.45	4.00	9.20	2.10	2.30	8.75
M41	T11341	1.05-	0.20-	0.15-	3.75-	3.25-	6.25-	1.75-	4.75-
		1.15	0.60	0.50	4.50	4.25	7.00	2.25	5.75
M42	T11342	1.05-	0.15-	0.15-	3.50-	9.00-	1.15-	0.95-	7.75-
		1.15	0.40	0.65	4.25	10.00	1.85	1.35	8.75
M46	T11346	1.22-	0.20-	0.40-	3.70-	8.00-	1.90-	3.00-	7.80-
		1.30	0.40	0.65	4.20	8.50	2.20	3.30	8.80
M47	T11347	1.05-	0.15-	0.20-	3.50-	9.25-	1.30-	1.15-	4.75-
		1.15	0.40	0.45	4.00	10.00	1.80	1.35	5.25
M48	T11348	1.42-	0.15-	0.15-	3.50-	4.75-	9.50-	9.50-	8.00-
		1.52	0.40	0.40	4.00	5.50	10.50	10.50	10.0
Tungsten Alaşımlılar									
T1	T12001	0.65-	0.10-	0.20-	3.75-	-	17.25-	0.90-	-
		0.80	0.40	0.40	4.50		18.75	1.30	
T2	T12002	0.80-	0.20-	0.20-	3.75-	1.0max.	17.50-	1.80-	-
		0.90	0.40	0.40	4.50		19.00	2.40	
T5	T12005	0.75-	0.20-	0.20-	3.75-	0.50-	17.50-	1.80-	7.00-
		0.85	0.40	0.40	5.00	1.25	19.00	2.40	9.50
T6	T12006	0.75-	0.20-	0.20-	4.00-	0.40-	18.50-	1.50-	11.0-
		0.85	0.40	0.40	4.75	1.00	21.00	2.10	13.0
Diğer takım çelikleri									
M50	T11350	0.78-	0.15-	0.20-	3.75-	3.90-	-	0.80-	-
		0.88	0.40	0.60	4.50	4.75		1.25	
M52	T11352	0.85-	0.15-	0.20-	3.50-	4.00-	0.75-	1.65-	-
		0.95	0.40	0.60	4.30	4.90	1.50	2.25	

Yüksek hız takım çeliklerinde, yüksek sıcaklıklarda yumuşamaya karşı dayanımlı olması beklenmektedir, bu sebeple HSS grubunda ısıtılma işlem son derece önemlidir. M1, M2, M30, M34 grubu çelikler su verme sonrasında 65 HRC sertliğe ulaşırken, daha yüksek karbon-kobalt alaşımına sahip çelikler 69-70 HRC sertliğe ulaşabilmektedir. Yüksek hız çelikleri daha yumuşak ve talaşlı imalatla kolaylık sağlayan bir malzeme elde etmek için önceden belirlenen sıcaklıkta tavlânır.

Yüksek hız çeliği, mikro yapısında birkaç türde karbür içerir. M_6C ve MC tipi tungsten veya molibden açısından zengin karbürler, katılaşma sırasında oluşan ve daha sonra sıcak işlem sırasında modifiye olan birincil karbürlerdir. Şekildeki tavlânmış mikro yapı ayrıca krom açısından zengin $M_{23}C_6$ karbürleri göstermektedir.



Şekil 2.10.: Tavlanmış M2 yüksek hız çeliğinin mikro yapısı. 2000x.

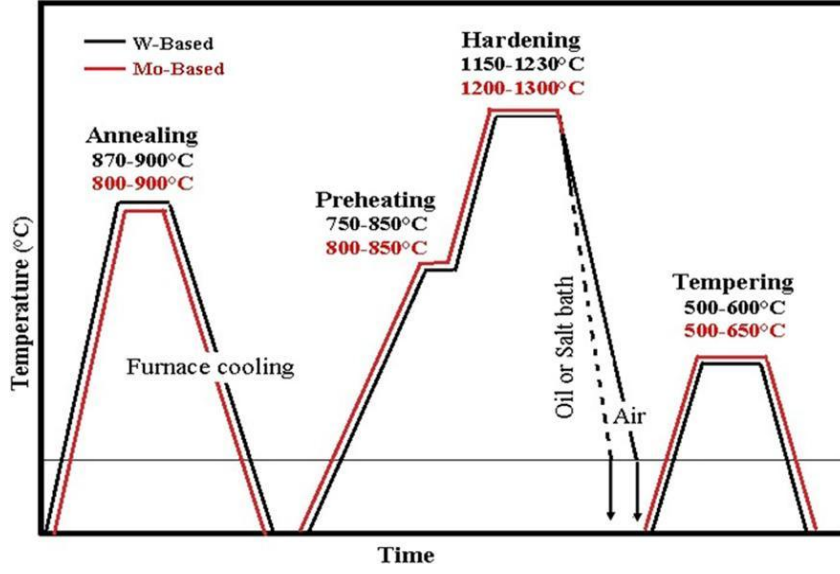
Östenitleme, yüksek hız çeliğinin ısıtılmasında çok önemli bir adımdır. Diğer takım çeliklerinden farklı olarak, HSS'lerde östenitleme sırasında karbür çözünmesi çok zordur ve tüm bileşimlerdeki çeliklerde neredeyse her zaman bir miktar karbür bulunur. Yüksek erime noktalı tungsten bazlı çelikler 1290-1330 °C gibi yüksek sıcaklıklarda östenitlenebilirken, düşük erime noktalı molibden bazlı çelikler nispeten düşük sıcaklıklarda östenitlenebilir (1220-1230 °C). $M_{23}C_6$ karbürü, 1100°C'de östenit içinde tamamen çözünür. Bununla birlikte, M_6C ve MC karbürlerin östenitleme sıcaklıklarında tamamen erimesi çok zordur. Tavlanmış, molibden alaşımlı yüksek hız çeliğinin mikro yapısı, yapı içinde karbürlerin varlığını gösterir (Şekil 2.3). Östenitleme sıcaklığı, östenitin karbon içeriği ile çözünmemiş karbür miktarı arasında bir denge sağlanacak şekilde seçilir. Bu nihai olarak sertleştirilmiş çeliğin sertliğini belirler ve nihai olarak ısıtılma işlemi görmüş çeliğin elde edilebilecek mukavemet

özelliklerini belirler. Yüksek hız çeliklerinin temperlenmesi, matrisle ilişkili bir dizi geçiş karbürünün oluşumu yoluyla ikincil sertleşme sergiler. Bağdaşım stresi, dislokasyonlarla güçlü bir şekilde etkileşime girer ve pekleştirme sağlar.

Tablo 2.9.: T serisi ve M serisi takım çelikleri için önerilen ısıtma işlem şartları

Sembol	Normalizasyon (°C)	Ön ısıtma(°C)	Tavlama (°C)	Sertleştirme (°C)	Su verme ortamı	Temperleme (°C)
T-serisi	-	870-900	750-850	1150-1250	Yağ, hava, tuz	500-600
M-serisi	-	800-900	800-850	1200-1300	Yağ, hava, tuz	500-650

Sıradan özelliklere sahip yüksek hız çeliğinin ısıtma işlemi için genel bir ısıtma işlem rejimi, Şekil 2.4'te gösterilmektedir. Görüldüğü üzere ön ısıtma gereklidir. Daha önce bahsedildiği gibi, bu ön ısıtmanın amacı, yüksek alaşım içeriklerinden dolayı yüksek hız çelikleri için bir problem olan termal şoku önlemektir. Normal uygulamalar için yağla su verme mümkündür, ancak yüksek hız çeliğinin tuz banyosu ısıtma işlemi daha güvenlidir. Tuz banyosu ısıtma işlemi sadece bozulmayı en aza indirmekle kalmaz, aynı zamanda dekarbürizasyonu en aza indirmeye de büyük ölçüde yardımcı olur. Molibden çeliği, yüksek aşınma direnci ve yüksek sıcaklık sertliği gerektiren W yüksek hız çeliğinden daha yüksek bir ısıtma sıcaklığı gerektirir. NbC-M48 HSS çeliğin ve sement karbürün sıvı faz sinterlemesi yoluyla M-48 çeliğinin sertliğini ve kırılma tokluğunu iyileştirmeye yönelik yeni bir yaklaşım, 1300 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda başarıyla uygulandı. 1300°C'nin altında ıslanabilirlik düşüktür ve sıvı fazın akışkanlığı düşüktür, bu da sinterlemeyi zorlaştırır. Sonuçlar, bu tür sıvı faz sinterlenmiş gövdeler için iyi bir sertlik ve kırılma tokluğu kombinasyonunun bu teknikte elde edilebileceğini göstermiştir.



Şekil 2.11.: Yaygın kalite yüksek hız çeliklerin geçici ısı işlemleri.

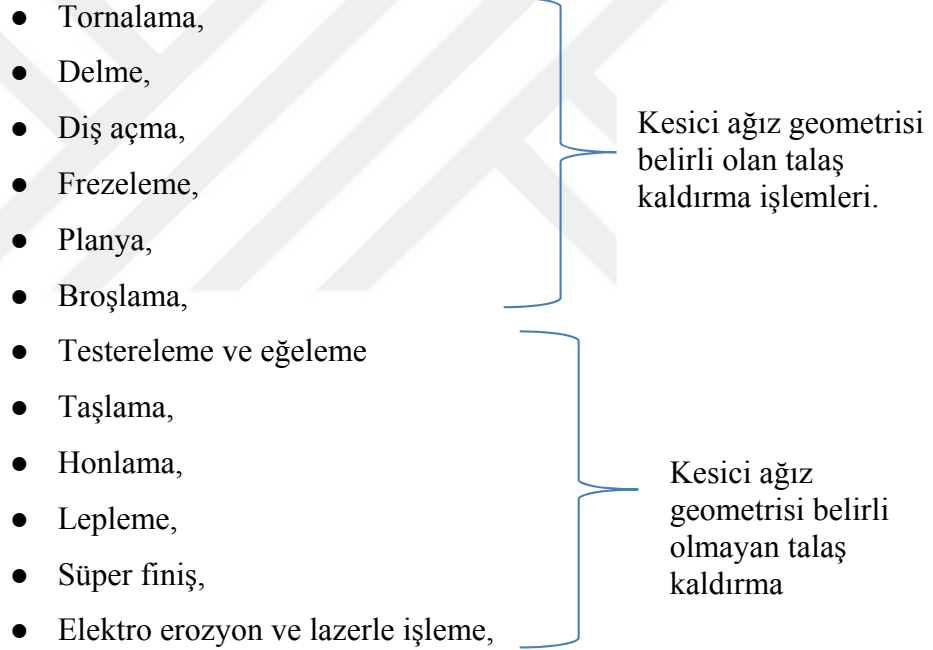
Yağda su verilmiş tungsten bazlı yüksek hız çelikleri, HRc 65 sertlik değerine ulaşabilir. Mikro yapı, temperlenmiş martenzitik bir matris içinde iyi dağılmış karbür parçacıkları içerir. Bu çözünmemiş karbürler yüksek aşınma direnci sağlar. Yüksek aşınma direnci ve iyi kızıl sertliği nedeniyle, bu çelik türü özellikle kesme aletleri, matkap uçları, freze bıçakları vb. için uygundur. Tungsten bazlı çelikler, Yüksek hız çeliklerinin ısı işlemleri için tuz banyosunun kullanılması, bu çeliklerde çarpılma ve dekarbürizasyonu önleyebileceği için şiddetle tavsiye edilir. Yüksek hız çeliğinin yüksek karbon içeriği nedeniyle, ısı işleminden önce sıcak işlem sırasında önemli ölçüde karbon kaybeder ve bu nedenle yüzeylerde oksit pulları oluşur. Sıcak iş malzemesi genellikle ısı işleminden önce soğuk çekilir. Yüksek hız çeliğinin vakumlu ısı işlemleri, tuz banyosu işleminden daha güvenilir ve popüler hale gelmiştir. Tuz banyosundan vakumlu ısı işleme geçilmesinin temel nedeni, vakumlu ısı işlem sırasında malzemenin oksit tabakasını azaltmak veya yok etmektir. Vakum altında, yüksek hız çeliğinin yüzeyindeki oksit tabakası, östenitleme ısıtması sırasında çelikteki karbon ile kimyasal reaksiyona girerek CO oluşumuna yol açar ve son olarak yüzeyin sertliğini azaltır.

Araştırmacılar, $M_{23}C_6$ karbürlerinin (Cr, W, Mo) 900 °C'de ayrışarak karbon kaybetmeye başladığını ve karbürler 1100 °C'de tamamen çözünene kadar oksit indirgenmesi nedeniyle CO oluşum hızının kademeli olarak azaldığını buldular.[7] Yüksek hız çeliğinin sertliği, mevcut olan oksit tabakasının kalınlığına bağlıdır. Oksit tabakası ne kadar kalın olursa, su verme işleminden sonra çeliğin sertliği o kadar düşük

olur. M2 çeliğinde karşılaşılan yaygın bir sorun, işleme operasyonları sırasında kenar aşınması ve malzemenin takıma yapışmasıdır. Nitrür bazlı kaplamalar, talaşlı imalat endüstrisinde kullanılan plazma nitrürlenmiş parlak M2 çeliklere katodik fiziksel buhar biriktirme ile uygulanmıştır. Sonuçlar, kaplamanın daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

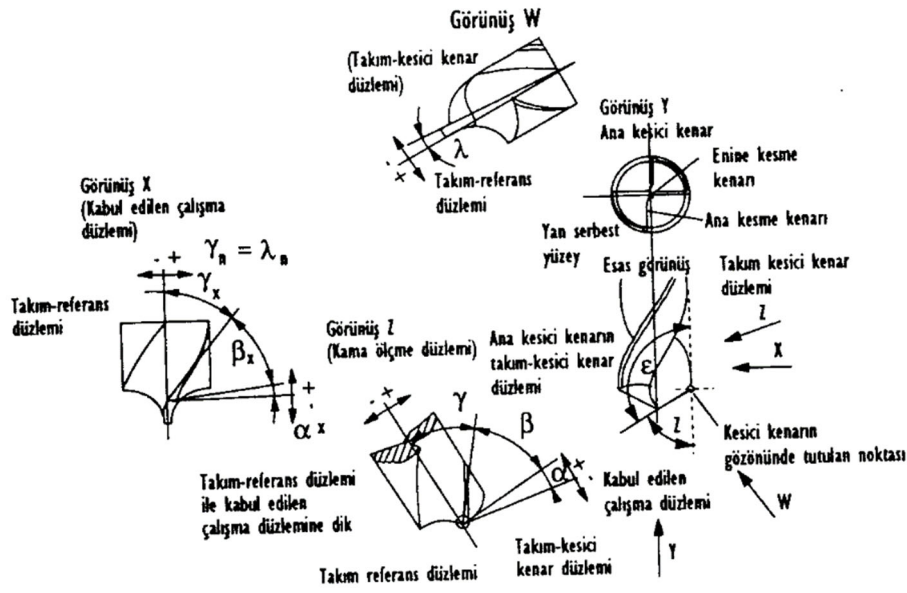
2.2. Kesici Takımlar

İmalat teknikleri oldukça kısa sürede olağanüstü gelişmiştir. Bu gelişme, beraberinde işleme takımlarında da ciddi değişimlere sebep olmuştur. Uluslararası standartlarda imalat yöntemlerinin tasvirinde talaşlı imalatların yeri açıkça belirtilmiştir. Bu sınıflandırma kesici takım açısından;



2.2.1. Kesici kenarının tanımları

Talaş kaldırma işlemi esnasında, takımın kesici yüzeyi, işlenecek yüzeye basınçla temas etmektedir. Uygulanan basınç, işlenecek yüzeyde elastik ve plastik deformasyona neden olarak, talaş kaldırma işlemini gerçekleştirir. Oluşan talaş, belirlenmiş ağız kesme geometrisine bağlı olarak talaş yüzeyi üzerinden akarak sistemden uzaklaştırılır.



Şekil 2.12.: Helisel matkapta açılar.

h	Talaş kalınlığı
h_{ch}	Talaş kalınlığı (Talaş kırılmadan sonra)
V_c	Kesme hızı
α	Serbest açı
β	Kama açısı
γ	Talaş açısı

Bütün talaş kaldırma işlemlerinde, talaşın, oluşumu, akışı, talaş kuvvetleri ve takım aşınması gibi, kesici takımın kesme geometrisi tarafından etkilenmektedir. Kesme geometrisine ait tanımlar DIN 6581 ve ISO 3002/1'de belirlenmiş ve aşağıdaki tanımlar bu normlar üzerinden anlatılmıştır.

2.2.1.1. Serbest açısı(α)

Serbest açısı, kama düzleminde ölçülen serbest yüzey ve kesici kenar arasındaki açıdır. Kesici kenar noktasından geçtiği düşünülen kama düzleminde kesme kamasının dışında bulunuyorsa açı pozitifdir.

Serbest yüzey üzerindeki aşınma, direkt olarak serbest açısına bağlıdır. Serbest açısı dolayısıyla takım ömrünü direkt etkilemektedir. Serbest açısı büyükse, takım ağzı iki yönden zayıflamaktadır ve bu yüksek ısı birikimine, dolayısıyla sertliğin çabuk

düşmesine sebebiyet vermektedir. Serbest açı çok küçük olduğunda ise takım ucunun kırılma riski artar.

2.2.1.2. Kama açısı(β)

Kama açısı, kama düzleminde ölçülen serbest yüzey ile kama düzlemi arasındaki açıdır.

2.2.1.3. Talaş açısı(γ)

Talaş açısı, kama ölçme düzleminde ölçülen talaş yüzeyi ve referans düzlemi arasındaki açıdır. Talaş açısı, göz önüne alınan kesici kenar noktasından geçtiği düşünülen referans düzlemi kama ölçme düzleminde kesme kaması dışında kalıyorsa pozitifdir. Talaş açısı hem pozitif hem negatif olabilir. Talaş açısının pozitif olması, talaş akışının kolay olmasını sağlar. Bu sayede kesme ve ilerleme kuvvetlerinin düşük olmasını daha kaliteli bir yüzey oluşmasını sağlar. Ancak, yüksek talaş açısı talaş kırmada yetersiz olur ve sünek malzemelerin kesiminde sarma yapabilir. Negatif talaş açısı ise talaş yüzeyinde krater aşınmasına sebep olur ve takımın ömrünü azaltır.

2.2.2. Matkap ve kılavuzların üretimi

2.2.2.1. Matkapların üretim metotları

Matkap uçlarının 3 temel üretim yöntemi vardır;

- Haddeleme
- Frezeleme
- Taşlama

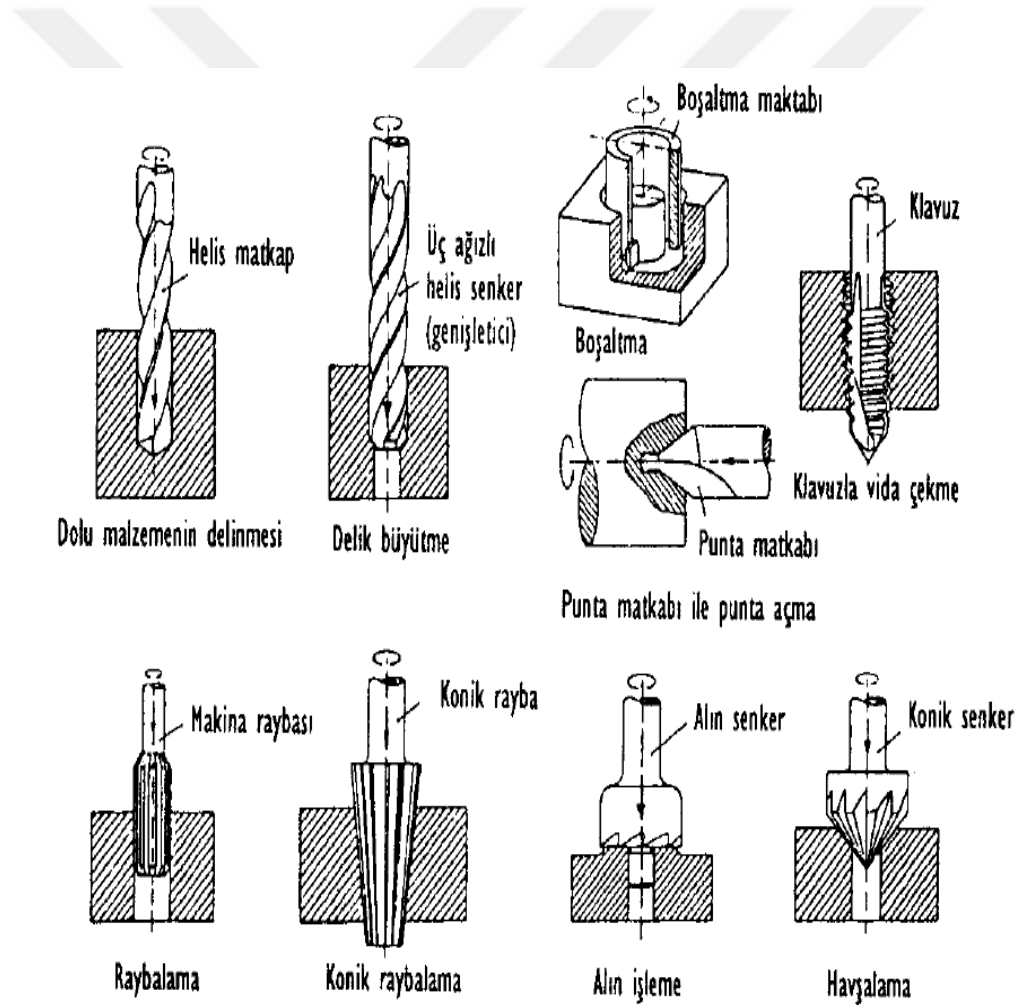
Tüm üretim metotlarının birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Haddeleme yöntemi ile üretilen matkaplarda frezeleme ve taşlamanın sebep olduğu yüzey hataları bulunmadığından kırılmaya ve darbeli çalışmaya daha dayanıklıdır. Haddelenmiş matkap uçları, diğerlerine nazaran daha yüksek performans gösterir.

Taşlanmış matkaplar, CNC ve NC sistemlerde hassas delik delme için daha uygundur. Bu matkapların talaş yüzeyi hassas bir şekilde işlendiğinden talaş kolaylıkla kayar ve yüzeyin hassas olarak işlenmesi sağlanır.

Farklı mekanik özelliklere sahip malzemelerde, matkap ucunun helis ve uç açıları yeniden tasarlanarak işlenecek malzemeye uygun hale getirilebilir.

2.2.2.2. Kılavuzların üretim metotları

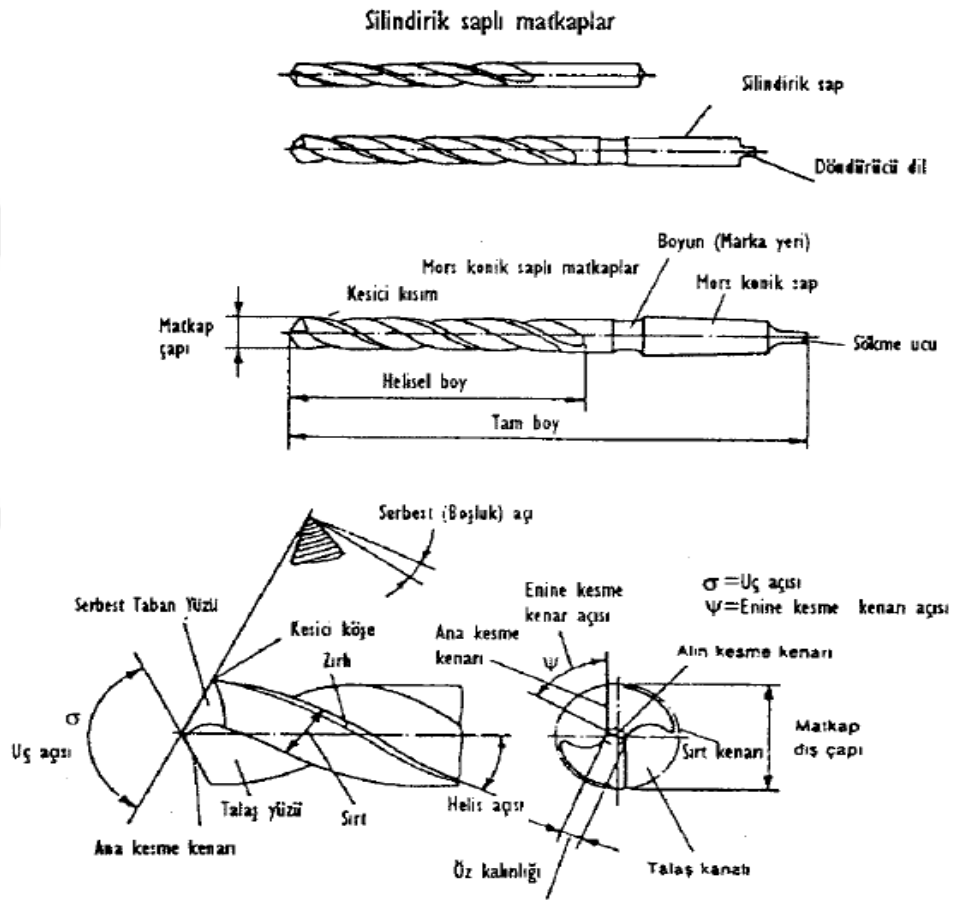
Kılavuzlar, ince işleme bölgeleri ve vida adımları gibi dar toleranslı yapılara sahip olduğundan haddeleme yöntemi bu ürünlerin üretimi için uygun değildir. Kılavuz üretiminde frezeleme ve taşlamanın beraber kullanıldığı matkaba göre daha karmaşık bir imalat organizasyonu gerektirir.



Şekil 2.13.: Çeşitli delik işleme yöntemleri.

2.2.3. Matkap ve kılavuzların geometrisi

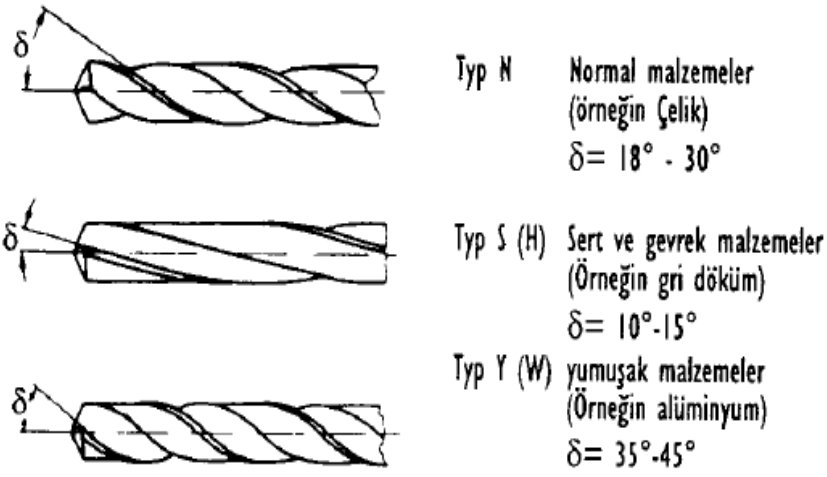
Matkap uçlarında uç açısı delinecek malzemenin mekanik özelliklerine göre seçilmelidir. Büyük bir uç açısı, matkabin eksenden kaymasına ve delik çapının büyümesine neden olurken, küçük uç açısına sahip olan matkaplar, iyi merkezleme ve ölçü hassasiyeti sağlarken, delik çevresinde yüksek bir sürtünmeye sebep olur. Bu sebeple matkapların uç açısında genelde 118° tercih edilir.



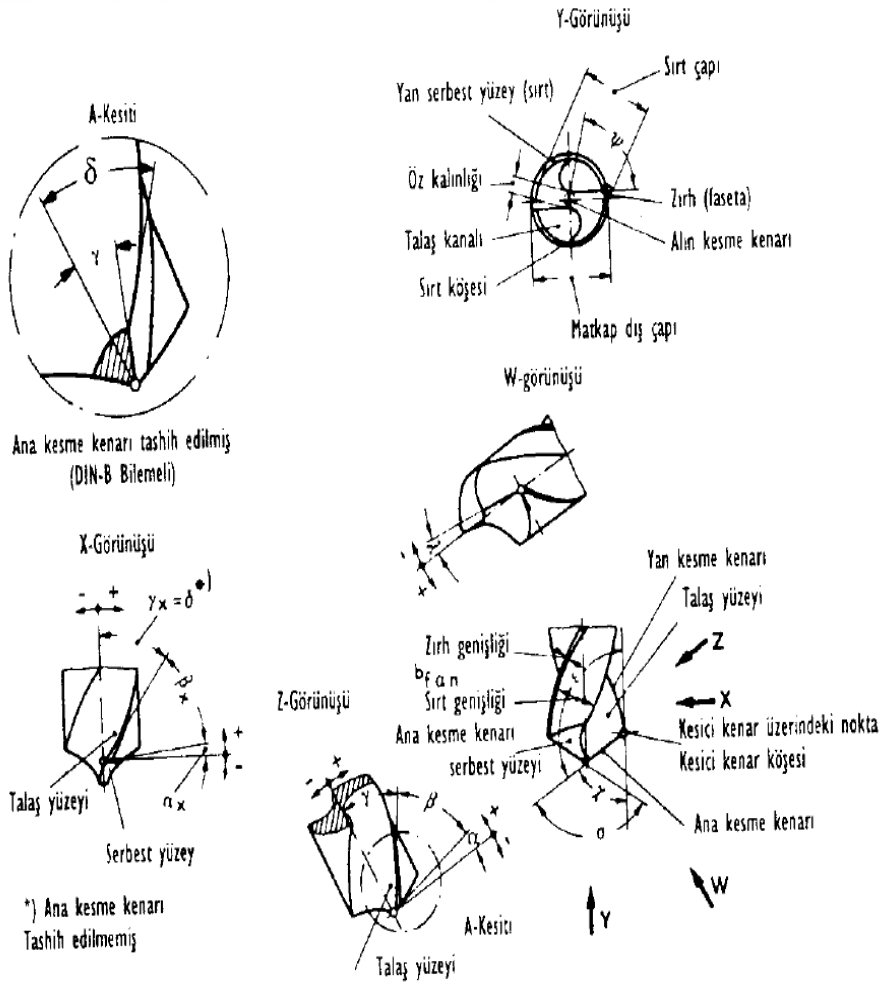
Şekil 2.14.: Helisel matkap ucu tanımı.

90° 'lik uç açısı daha çok sert plastik malzemelerin delinmesinde kullanılan matkap uçlarında kullanılır. Ana kesme kenarlarından, yan kesme kenarlarına daha hızlı bir geçiş sağlanır ve uç körelmesinin önüne geçilir.

130° 'lik uç açısı daha çok yumuşak malzemelerde kullanılır. Ayrıca uzun talaş veren hafif metaller gibi malzemelerde 140° 'lik uç açısı tercih edilir.



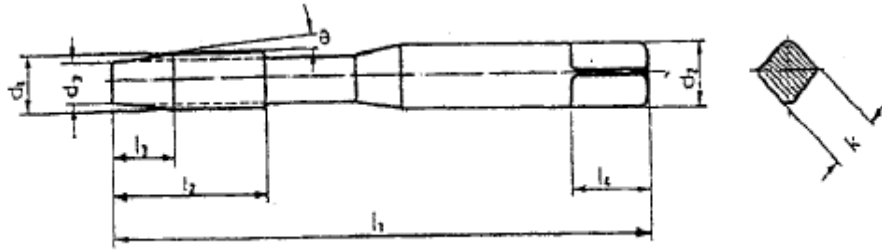
Şekil 2.15.: Farklı malzemeler için helisel matkap tipleri.



Şekil 2.16.: Bir helisel matkabın kesme kenar geometrisi (DIN.6581).

Metal kesme enstitüsüne göre, kılavuz, çevresinde arzu edilen formda dişleri bulunan bir veya birden fazla kesici elemandan meydana gelen silindirik veya konik vida kesici takımdır. Kılavuzun ağızlama kısmı rotasyonel ve eksenel hareketlerin kombinasyonu

sonunda dişi bir vida keser ve bu hareketi esnasında kendi açmış olduğu vidadan destek görür.



Şekil 2.17.: Kılavuz (D.371).

d_1 : Anma çapı

d_2 : Şaft çapı

d_3 : Ağızlama kısmı uç çapı

k : Dört köşe ölçü

l_1 : Tam boy

l_2 : Kesici kısım boyu

l_3 : Ağızlama kısmı boyu

l_4 : Dört köşe boyu

θ : Ağızlama açısı

Kılavuzun ağızlama kısmı

Ağızlama açısı(θ): Ağızlama kısmı boyuna doğrultusu ile, kılavuz eksenini arasında kalan ve kesici kenardan geçen eksenel düzlemde ölçülen açıdır.

Ağızlama kısmı sırt düşürmesi(h): Ağızlama kısmında sırt yüksekliğinin, kesici kenardan başlayarak bir önceki talaş kanalına doğru sürekli azalmasıdır.

Vidalı kısım: Üzerinde sırt ve talaş kanalları oluşturulmuş kısımdır.

Kesici kenar: Kılavuz sırt yüzeyi ile talaş yüzeyi arası kesittir.

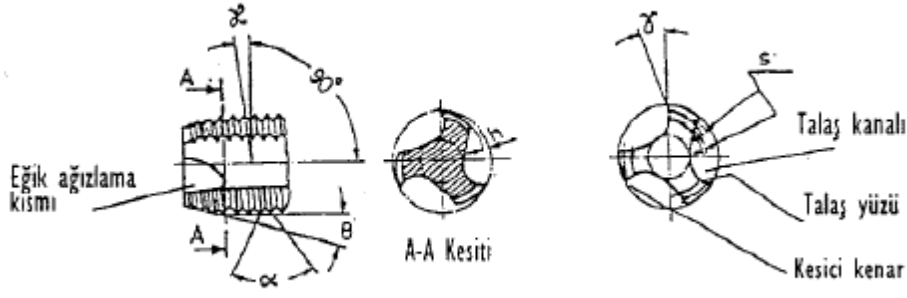
Talaş yüzeyi: Kesici kenardan talaş kanalına doğru uzanan, kılavuzun kesme yönündeki yüzeyidir.

Talaş kanalı: Kılavuzun vidalı kısmı boyunca uzanan, taşlama veya frezeleme ile özel biçim verilerek boşaltılmış kısımdır.

Sırt yüzeyi: Kılavuzun vidalı kısmında, iki talaş kanalı arasında kalan ve üzerinde vida dişlerinin oluşturduğu yüzeydir.

Şaft kısmı: Kılavuzu, makineye bağlamaya yarayan ve sonunda çevirici dört köşe yapılmış kısımdır.

Eğik ağızlama kısmı: Ağızlama kısmına ait talaş yüzeyinin uca doğru radyal ve eksenel doğrultularda belli açılar arasında taşlanarak oluşturulan kısımdır.



Şekil 2.18.: Kılavuz ağız (D.371).

α : Diş açısı

s: Vida kısmı sırt düşürmesi

h: Ağızlama kısmı sırt düşürmesi

γ : Talaş açısı

θ : Ağızlama açısı

χ : Vida helis açısı

Dış çap ve bölüm çapı:

Talaş açısı(γ): Talaş yüzeyi ile kesme kenarı ve kılavuz ekseninden geçen düzlem arasındaki açıdır.

Dış çap: Vidalı kısmın üzerinde ve ağızlama kısmının bitim noktasında ölçülen değerdir.

Kılavuz vidası: Kılavuz sırtında çeşitli yöntemlerle belli bir helis açısı altında oluşturulmuş ve belirlenmiş profilde kesici çıkıntılardır.

Vida anma çapı: Dış çapın nominal değeridir.

Diş açısı(α): İki komşu diş yanını ekstenel düzlemde oluşturdukları açıdır.

Vida helis açısı(χ): Çapı bölüm çapına eşit olan silindir üzerindeki helisin herhangi bir noktasının teğeti ile, eksene dik düzlem arasındaki açıdır.

Bölüm çapı: Ekseni kılavuz eksenine ile aynı olan ve vida profilindeki dişlerini eşit değerlerde kestiği düşünülen silindirin çapıdır.

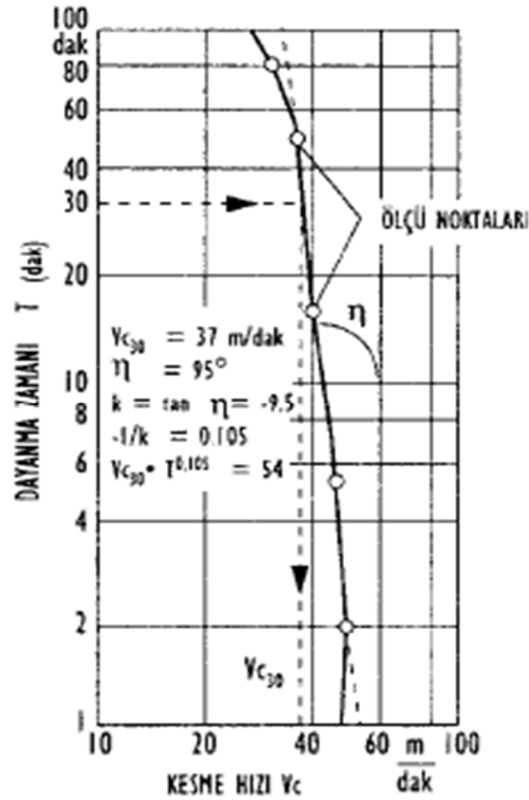
Adım: Vida profilinde aynı vida ağzının aynı yönde iki komşu diş yanı arasında eksene paralel bir doğru üzerinde ölçülen açıklıktır.

Vida kısmı sırt düşürmesi(s): Diş profilindeki bölüm çapının kesici kenardan bir önceki talaş kalınlığına doğru, radyal yönde ölçü düşmesidir.

2.2.4. Matkap ve kılavuzların ömrü

Bir malzemenin işlenebilme özelliği, operasyona etki eden tüm özellikleri içermektedir. Bu özellik ile malzemenin işleme sırasında karşılaştığı zorluklar anlaşılır. Malzemenin işlenebilme özelliği, takım ömrüne doğrudan etki eder. İşlenebilme özelliği; işleme yöntemi, kesici takım malzemesi ve kesme özelliklerinin bir fonksiyonudur. Takım ömrü ve işlenebilirlik birbirleriyle sıkı ilişkileri olan iki kavramdır.

Takım ömrü, bir kesici takımın operasyona başlamasından öngörülen kriterler doğrultusunda kullanılamaz hale gelinceye kadar geçen zamandır. Takım ömrünü elde etmek için, işletmelerde kullanılan kesme şartlarında uzun süreli deneyler ile tespit edilebilir ya da kesme kuvvetleri, aşınma ve talaş yapısı incelenerek, daha kısa süreli deneyler ile göreceli olarak tahmin edilebilir.



Şekil 2.19.: Isı etkisinde talaş kaldırma işleminde dayanma zamanı deneyleri.

Yukarıdaki grafikte de görüldüğü üzere kesme hızında yapılacak küçük bir değişim eğrinin eğimine büyük oranda tesir eder ve ömürde değişimler meydana gelir. Bu durum sıcaklığın tesirini gösterir.

Kesici takım ve iş parçası, büyük veya küçük talaş kesitine bağlı olarak göstermiş olduğu ömür farklılık göstermektedir. Takımın körlenmesine kesme sıcaklığı etki etmediği durumda ömür üzerinde aşınmanın etkin olduğu koşullarda aşınma ömür-tornalama deneyi yapılır.

“Verein Deutscher Eisenhüttenleute”(Alman Demirhaneciler Derneği) talaş kaldırma ile ilgili deneyleri standartlaştırma yoluna gitmiş ve bilgileri “Stahl-Eisen Prüfblatt” ’ın 1160-52/1178-52 bölümünde toplamıştır. Bu sayede farklı yerlerde yapılan farklı deneyler birbirleriyle rahat bir şekilde karşılaştırılabilir olmuştur. Talaş kaldırılarak yapılan farklı deneyler birbiriyle karşılaştırılabilmesi için aşağıdaki faktörler mümkün mertebe stabil olmalıdır;

1. İş parçasına ait yapı ve mukavemet özellikleri,
2. Kesici takımın, mekanik ve kimyasal özellikleri,
3. Tezgah çeşidi ve kesme kuvvetlerinin uygulanış tarzı,
4. Kesme şartları.

“Stahl-Eisen Prüfblatt” ’ta şartları belirtilen deneyler;

1. Sıcaklığa bağlı dayanma süresi deneyi
2. Aşınmaya bağlı dayanma süresi deneyi
3. Keski kalemi metoduyla aşınma deneyi
4. Artan kesme hızıyla yapılan deneyler
5. Kesme kuvvetleri deneyi
6. Talaş oluşumu deneyi

2.2.4.1. Kesme kuvveti deneyi

Kesme kuvveti deneyinde, talaşın ayrışması ve deformasyonu için gerekli kuvvetler ile takım ve iş parçası arasındaki kuvvetlerin toplamı ölçülür. Böylece talaş kaldırma olayına etki eden malzeme özellikleri hakkında bilgi edinilmiş olunur. Test süresi oldukça kısa olması ve ekonomik olması metodun sık sık tercih edilmesinin sebebidir.

Bu deneyin amacı, takımlardaki kesme kenarlarının dayanıklılığı, aşınma mukavemeti ve buna bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki artışı göstermektedir.

2.2.4.2. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

Kesme kuvvetinin değeri önemlidir. F_c , F_f ve F_p değerlerinden oluşur. F_c , kesme kuvveti, F_f , ilerleme kuvveti, F_p ise pasif kuvvettir. Kesme kuvveti aşağıdaki durumlar için önemli bir etkidir;

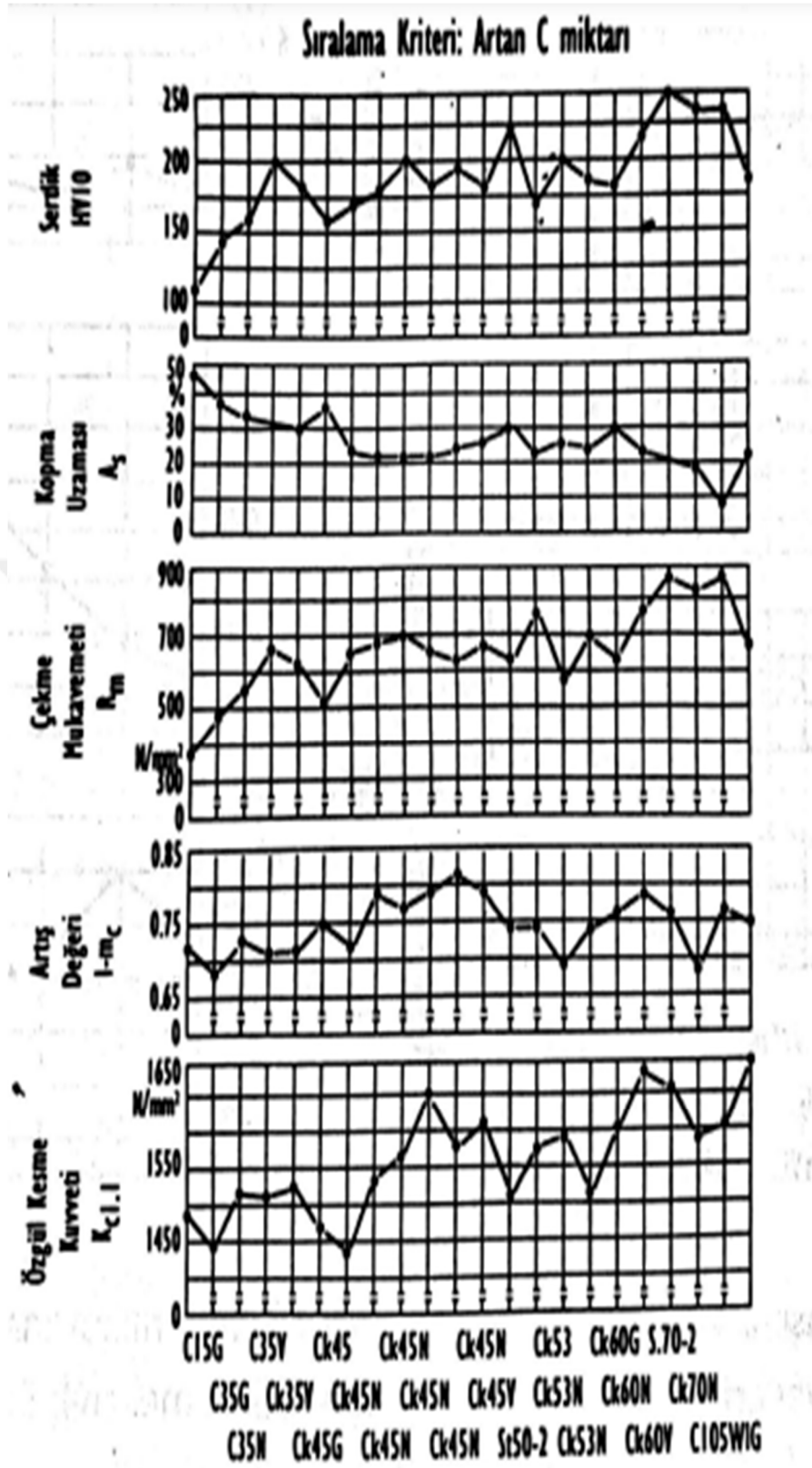
- Tezgah konstrüksiyonlarında,
- Kesme şartlarının tespit edilmesinde,
- Ölçü hassasiyeti tahmininde,
- Aşınma, titreşim ve ömür tayininde.

Şekilde, kesme eğrisinin ekstrem değere yükselmesi metal transferi ile açıklanabilir. Kesme hızının yükselmesi ile kuvvetlerin azalması ise, yükselen ısı ile malzeme mukavemetinin azalmasıdır, bu sayede kesici takımların kızıl sertliğinin tayini yapılabilir.

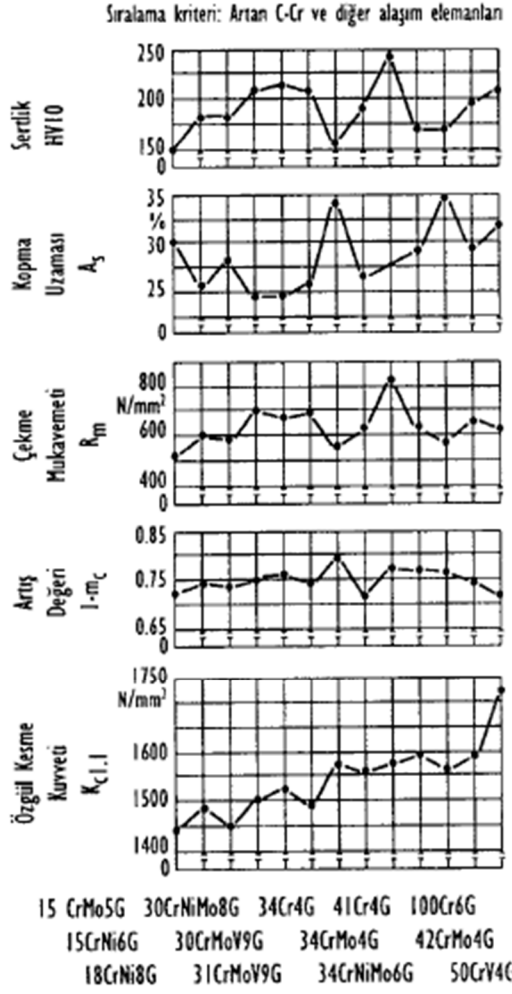
ETKİ BÜYÜKLÜKLERİ	AÇILARDA YAPILAN DEĞİŞİME BAĞLI OLARAK TALAŞ KALDIRMA KUVVETLERİNİN DEĞİŞİMİ		
	KESME KUVVETİ F_c	İLERLEME KUVVETİ F_f	PASSİV KUVVETİ F_p
AZALAN ↓ TALAŞ AÇISI EĞİM AÇISI	↑ % 1.5	↑ % 5.0	↑ % 4.0
	↑ % 1.5	↑ % 1.5	↑ % 10.0
ARTAN ↑ TALAŞ AÇISI EĞİM AÇISI	↓ % 1.5	↓ % 1.5	↓ % 4.0
	↓ % 1.5	↓ % 1.5	↓ % 10.0

Şekil 2.20.: Talaş kaldırma kuvvetlerinin, talaş ve eğim açısıyla değişimi.

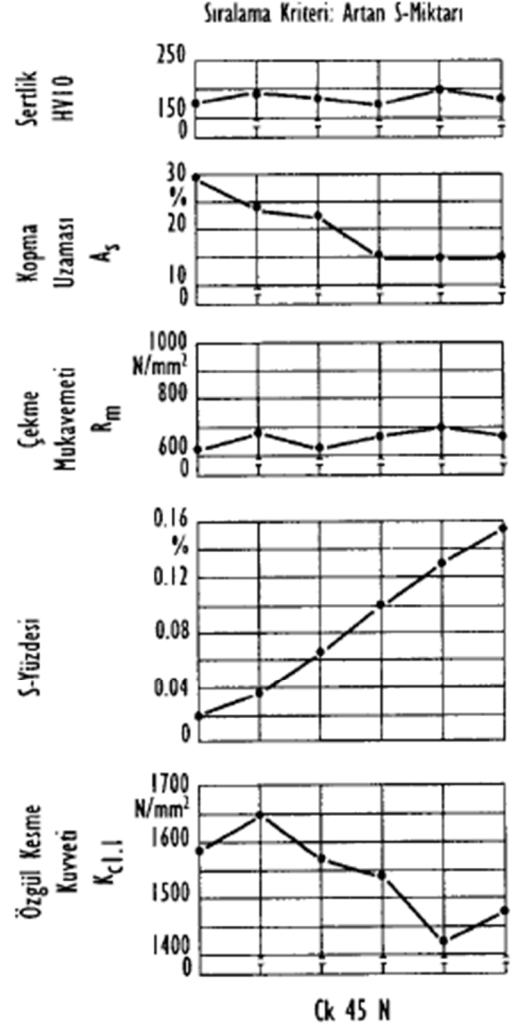
Aşınmalar kesme kuvvetine değişik şekilde etki ederler. Yüksek talaş açısı ile oluşan krater aşınması, kesme kuvvetinin azalmasını sağlar. Buna karşı serbest yüzey üzerindeki serbest yüzey aşınması etkisi ile kesme kuvveti yükselir.



Şekil 2.21. Karbonlu çeliklerin mekanik özellikleri ve kesme kuvvetleri.



Şekil 2.22.: Düşük alaşımlı kromlu çeliklerin kesme kuvvetleri, mekanik özellikleri.

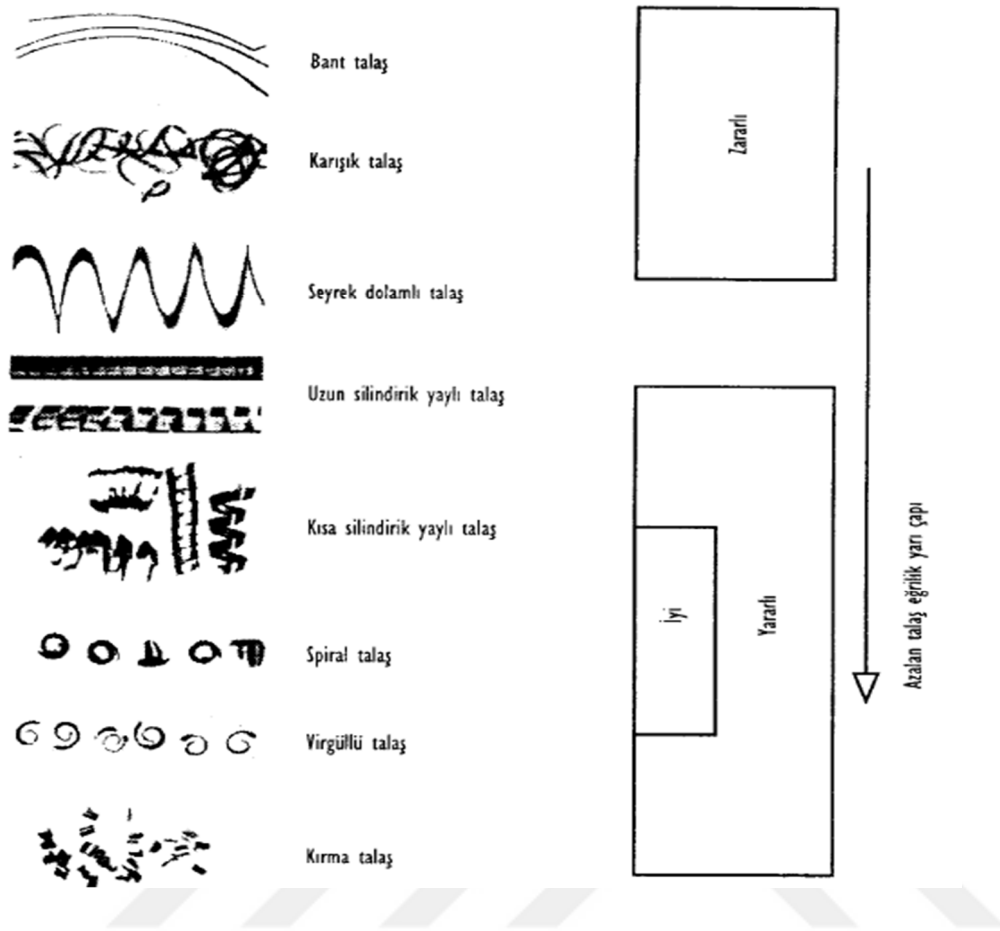


Şekil 2.23.: S miktarına göre kesme kuvveti ve mekanik özellikler.

Tekrarlanan kesme kuvvetleri deneyi ile farklı koşullarda üretilen takımların performansları ölçülebilir. Takım, ne kadar az kesme kuvveti ile talaş kaldırabilirse, takım performansı o denli iyi olarak görülür.

2.2.4.3. Talaş şekillerinin değerlendirilmesi

Talaşın büyüklüğü, formu ve transferi işleme operasyonlarının performansı açısından oldukça değerlidir. Talaşın oluşumuna etki eden faktörler, kesme şartları ve kesme geometrisidir. Isıl işlemin talaş yapısına etkisi çok olmamakla beraber, kesme kuvvetleri testi için talaşların mümkün mertebe aynı formda olması önemlidir.



Şekil 2.24.: Talaş kaldırma işleminde talaş formları.

2.3 Takım Çeliklerine Uygulanan Isıl İşlemler

Takım çelikleri ekstrem koşullar altında çalıştığından mikro yapıları da oldukça önemlidir. Doğru ısıtma işlemi tekniği doğru şekilde uygulanmadığı takdirde ısıtma işlemi sonrası elde edilen ürün çöp olacaktır. Özellikle kalıp söz konusu olduğunda işleme için harcanan saatler ve emekte ısıtma işlemi hatasıyla beraber boşa gidecektir. Bu sebeple takım çelikleri gibi çeliklerin ısıtma işlemi oldukça hassas bir konudur. Bu başlık altında takım çeliklerine uygulanan ısıtma işlemi uygulamalarından bahsedilecektir.

2.3.1. Normalizasyon

Çelik dökümden sonra katılaştığında yapısı homojen olmaz. Yapılan ısıtma ve sıcak şekillendirme, yapıyı neredeyse homojen hale getirir. Bu homojenleştirme işlemi, istenen sonuca ulaşmak için uzun süre östenitleme sıcaklığı gibi yüksek bir sıcaklıkta

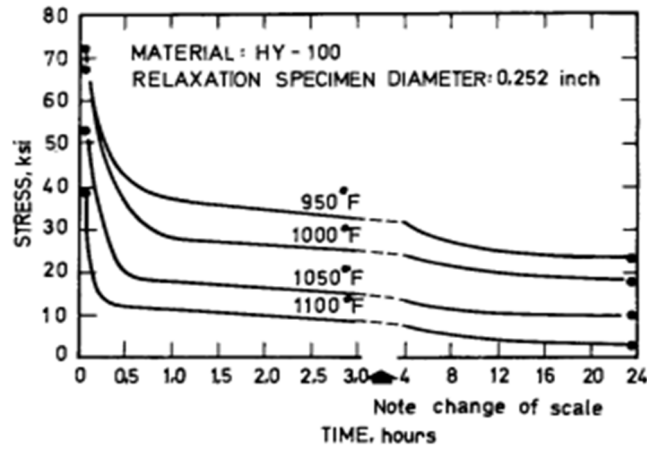
gerçekleştirilen bir difüzyon ve ya normalizasyon tavlaması ile hızlandırılabilir. Bu uygulama, özel durumlarda(yüksek et kalınlığı gibi) uygulanmaktadır, çünkü yüksek sıcaklıklar ve uzun uygulama süreleri maliyetleri çok yükseltmektedir.

2.3.2. Gerilim giderme

Çelik işlendiğinde veya plastik olarak deforme edildiğinde, soğuk işlenmiş yüzey üzerinde gerilimler oluşur. Bu gerilimler sertliğin artmasına neden olarak çeliğin daha fazla işlenmesini giderek zorlaştırır. Ek olarak, sonraki ısı işlemler sırasında çeliğin bozulmasına neden olabilirler bu sebeple 1-2 saatlik bir stres giderme işlemi ile hafifletilmeleri ya da giderilmeleri gerekir. Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler için 550-650°C, sıcak iş ve yüksek hız çelikleri için 600-750,°C sıcaklıklar gereklidir. Bu işlemde faz değişikliği olmaz, ancak yeniden kristalleşme meydana gelebilir. Termal stresin oluşmaması için soğutma sırasında parçanın bir fırın içinde yaklaşık 500 °C'ye kadar yavaşça soğutulması önerilir. Bundan sonra, havada serbestçe soğutulabilir.

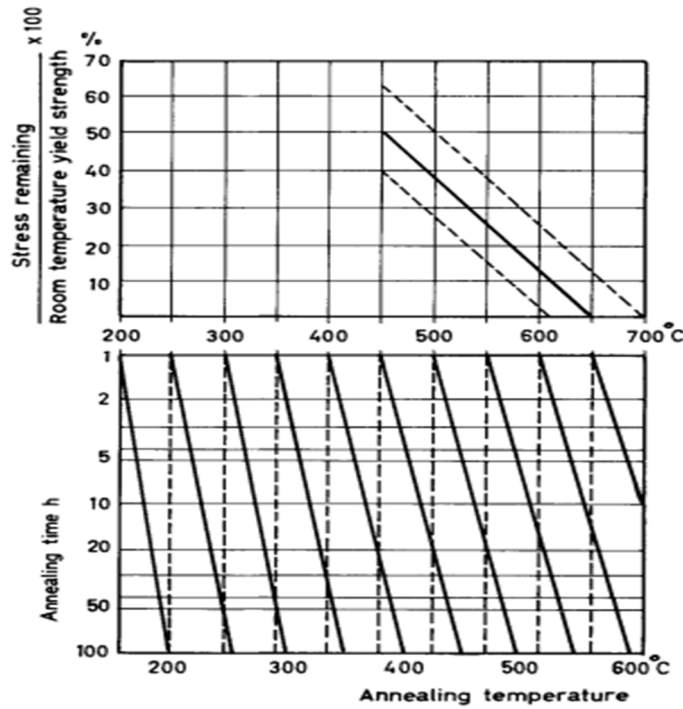
İç gerilimlerden maksimum düzeyde kurtulmayı gerektiren çok büyük takımları ve makine bileşenlerine uygulama yapılırken, soğutma hızı ilk başta çok yavaş olmalıdır(Her saatte sadece birkaç santigrat derece). Sıcaklık düştükçe soğutma oranları artırılabilir, ancak havada serbest soğutma yalnızca 300 °C civarındaki sıcaklıklar için önerilir. Çelik maksimum sıcaklığına ulaştığında ilk yavaş soğumanın önerilmesinin nedeni, akma dayanımının düşük olması ve yüzey ile merkez birbirine çok yakınsa indüklenen gerilimin bunu aşma riskinin olmasıdır. Hızlı veya eşit olmayan soğumanın bir sonucu olarak çelikte iç gerilimler oluşursa veya dövme önemli ölçüde düzleşirse, dövme parçaların gerilimi de giderilmelidir. Dökümler ve kaynaklar gibi bazı durumlarda, özellikle alaşımlı çelikten yapılanlarda, normalizasyon sonrası gerilim giderme işlemi gerekir.,

İç gerilmelerin mümkün olduğu kadar ortadan kaldırılması gerekiyorsa, yukarıdaki uygun sıcaklık aralığının üst ucuna yakın bir yerde tavlama yapılmalıdır. Ne yazık ki, yüksek sıcaklıklar sertleştirilmiş ve temperlenmiş çeliğin yüzeyini kabul edilemez şekilde oksitleyebileceği veya aşırı derecede yumuşatabileceği için bu her zaman pratik değildir.



Şekil 2.25.: Farklı sıcaklıklarda stres giderme sonrası stresin zamana göre değişimi.

ROSENSTEİN, stres azaltma ısıl işleminin etkinliğini değerlendirmek için bir yöntem geliştirdi. Bu yöntem, 482 ila 593 °C sıcaklıklarda 24 saate kadar akma dayanımları 25 ila 125 kP/mm² olan 13 çelik üzerinde test edildi. Numune bir sürünme test cihazına yerleştirildi, test sıcaklığına kadar ısıtıldı ve ardından bu sıcaklıkta yaklaşık akma noktasına kadar kuvvet yüklendi. Test sıcaklığında gerilim gevşemesi ilerledikçe, makine uygulanan gerilimi otomatik olarak azalttı, böylece gösterge uzunluğu sabit kaldı.



Şekil 2.26.: Gerilim giderme esnasında stresin zamanla sıcaklığa göre fonksiyonu.

Şeklin 2.22'nin ortasındaki eğriden, 450°C'de 1 saat tavlamanın gerilimi sadece yaklaşık %50 oranında azalttığını görebiliriz. Tam gerilim giderme, örneğin 650°C'de 1 saat veya 600°C'de 15 saat tavlama gerektirir. ROSENSTEIN'in sonuçları, BOFORS'ta gerilim giderme tavından önce ve sonra çelik üzerinde yapılan gerilim ölçümleriyle oldukça iyi bir uyum içindedir.

Su verme işleminin ardından gerilim giderme veya tavlama yapılırsa, martenzit ayrışması meydana geldiği sürece daha düşük bir sıcaklığa ısıtma önemli ölçüde gerilim azalması sağlayacaktır.

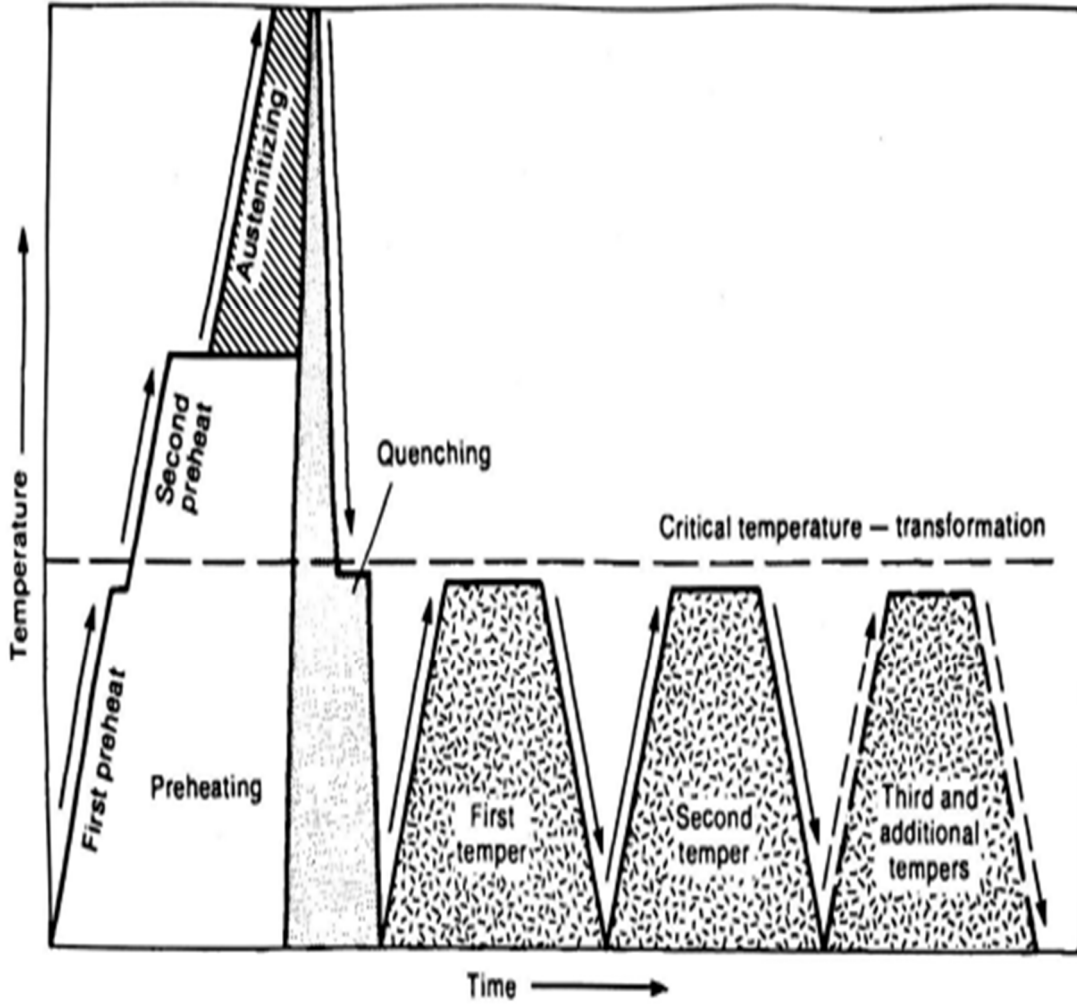
Sertleştirilmiş ve temperlenmiş çeliğin gerilim gidermesi için, her iki diyagram da zaman ve sıcaklığın fonksiyonları olduğundan, gerilim giderme diyagramı o çeliğin temperleme diyagramı ile birleştirilebilir. Bu şekilde gerilim gidermenin süresi ve sıcaklığı, sertlikten ödün vermeden optimize edilebilir.

2.3.3. Sertleştirme

2.3.3.1. Östenitleme

Östenitleme, ön ısıtma sonrası, sertleştirme ısıtma işlemindeki ikinci adımdır. Östenitleme zaman ve sıcaklığa bağlı olarak değişen bir operasyondur. Yüksek hızlı takım çelikleri, özelliklerini genişletmek için östenitleme sırasında çok sayıda farklı alaşımlı karbürün çözülmesine dayanır. Bu farklı karbürler, metalin erime noktasından 28 ila 56 °C üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılması dışında önemli miktarda çözünmezler. Bu sıcaklık, ele alınan yüksek hızlı takım çeliğine bağlıdır ve yaklaşık 1150 ila 1290 °C aralığındadır. Yüksek hızlı takım çeliği için tipik olarak tavsiye edilen tutma süresi, Yüksek hızlı takım çeliği tipine, takım konfigürasyonuna ve kesit boyutuna bağlı olarak yaklaşık 2 ila 6 dakikadır.

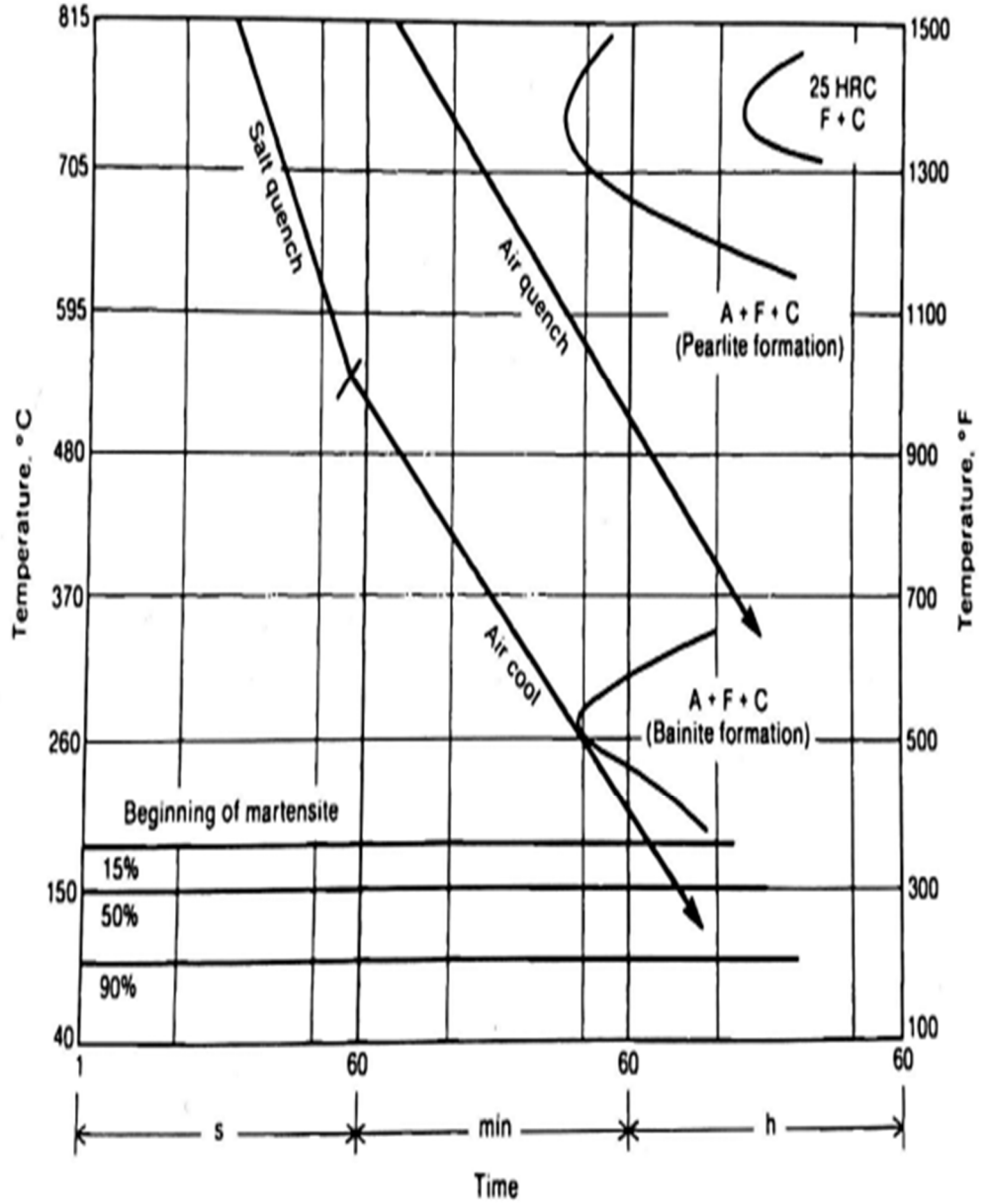
Sertleşme sıcaklığının düşürülmesi tipik olarak sertliği düşürürken, darbe tokluğunu artırır. Sertleşme sıcaklığının yükseltilmesi, oda sıcaklığında ısıtma işlemi görmüş sertliği artıracak ve ayrıca kızıl sertliği de artıracaktır.



Şekil 2.27.: Yüksek hızlı takım çeliklerinin ısıtılmasının illüstrasyonu.

2.3.3.2. Su verme

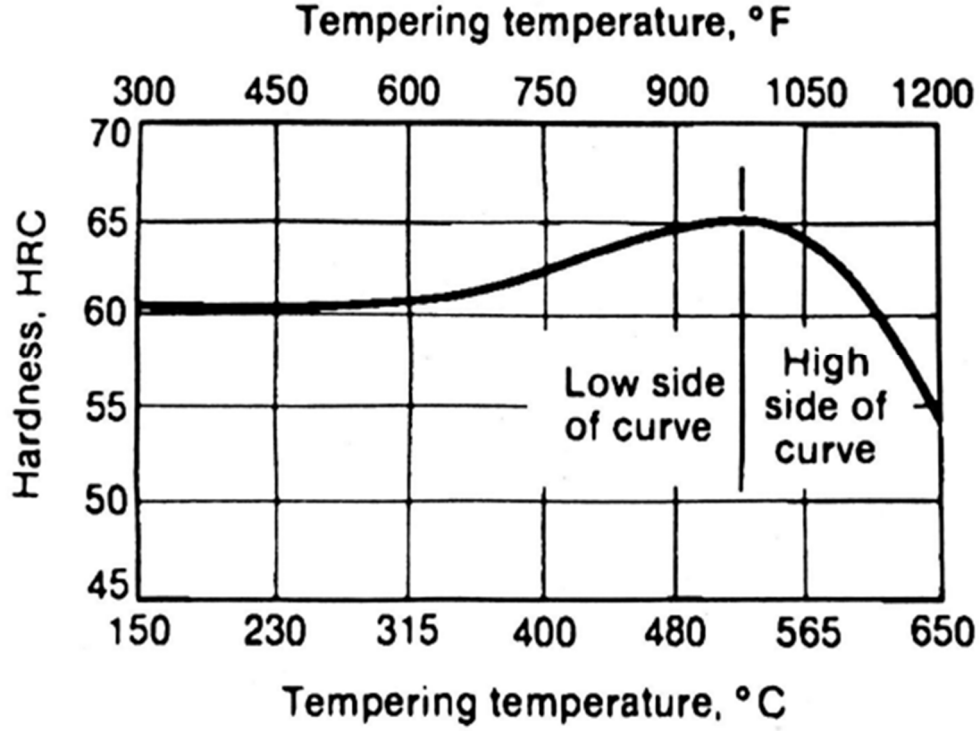
İş parçası östenitleme sıcaklığından soğutulduğunda, yüksek sıcaklıkta oluşan östenit sert martenzitik bir yapıya dönüşür. Kontrol edilmesi gereken soğuma hızı, ilgili çeliğin analizi ile belirlenir. Bazı durumlarda, yüksek hız çeliğine iki aşamada su verilir. Önce yaklaşık 540-595 °C'lık bir sıcaklıkta bir erimiş tuz banyosunda veya yağda su verilir, ardından ortam sıcaklığına yakın bir havayla soğutulur. Su vermenin en hafif şekli havayla soğutmadır. Bununla birlikte, yüksek hız çelikleri, yapının büyük kısmını istenen martenzitik duruma dönüştürmek için yalnızca daha küçük veya daha ince bölümlerde yeterince hızlı havayla söndürülür. Östenit-martenzit dönüşümü şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.28.: M2 yüksek hızlı takım çeliği için TTT diyagramı.

2.3.3.3. Temperleme

Östenitleme ve su vermenin ardından, çelik yüksek gerilimli bir durumdadır ve bu nedenle çatlamaya karşı çok hassastır. Temperleme, çeliğin tokluğunu artırır ve ayrıca Şekil 2.25.'deki temperleme eğrisinin sağındaki zirvede gösterildiği gibi ikincil sertlik sağlar. Temperleme, çeliğin ara bir sıcaklık aralığına (her zaman kritik dönüşümün altında) yeniden ısıtılmasını içerir.



Şekil 2.29.: M2 yüksek hız takım çeliği için temperleme eğrisi..

Temperleme, gerilim gidermeye ve su verme adımında tutulan östenitin, martenzite dönüştürülmesini sağlar. Karmaşık karbürlerin bir miktar çökmesi de meydana gelir ve bu da ikincil sertliği daha da artırır. Tutulan östenitin dönüştürülmesi ve yeni oluşan martenzitin temperlenmesi işlemi, birden fazla temperleme adımı gerektirir. Yüksek hız çeliği, her biri 2-4 saat bekleme süresi olan 2-4 sertleştirme işlemi gerektirir. Sertleşme süreleri, östenitleme sıcaklıkları ve su verme hızları çeliğin evsafına bağlıdır. Yüksek hız çeliği, çoğu kalite için minimum 540°C' ye birkaç kez temperlenmelidir. Yukarıda belirtilen dönüşümleri optimize etmek için, tavlama eğrisinin ikincil sertlik zirvesinin sağ (yüksek) tarafını tercih etmek önemlidir.

Bazı durumlarda, östenitten martenzite dönüşümü sürdürmek için tavlama ile birlikte kriyojenik işlem kullanılır. Soğuk işlemin etkisi üzerine birçok test yapılmıştır ve sonuçlar genellikle su verme ve ilk temperlemeden sonraki soğuk işlemin martenzite dönüşümü, çoklu temperlemenin dönüşümü etkilemesiyle aynı şekilde etkilediğini göstermektedir. Yüksek hız çeliği, su verme işleminden hemen sonra soğuk işleme tabi tutulursa, ortaya çıkan boyut değişikliği, yeni oluşan kırılğan martenzit tarafından telafi edilemeyebilir ve çatlama ve deformasyon meydana gelebilir. Genel olarak, çelik uygun şekilde su verilmiş ve temperlenmişse, sıfır altı işlemin gerekli olmadığı kabul edilir..

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve SONUÇLAR

3.1. Numunelerin Üretimi ve Isıl İşlem Koşulları

Matkapların üretimi 3 grup altında toplam 10 adımdan oluşmaktadır. 3 grup sırasıyla,

- Ön işlemler,
- Sertleştirme ısı işlemi,
- Son işlemlerden oluşmaktadır.

Üretim, Avusturya menşeli, BÖHLER firmasından tedarik edilen, konvansiyonel yöntemlerle üretilmiş S705 malzeme numaralı uzun çubuklar halindeki takım çeliklerinin, üretilecek ürüne göre belirli boylar da tam otomatik testereler de kesilmesi ile başladı. Sonrasında, MAİSER marka otomat tornalama makineleri ile, shaftın arka kısmındaki ve kesicinin uç kısmındaki açılar verilmek suretiyle, kaba şekil verme işlemi tamamlandı. Böylelikle operasyonun ilk grubu olan ön işlemler tamamlandı.

BÖHLER kalite	kimyasal kompozisyon %						Standartlar		
	C	Cr	W	Mo	V	Co	Diğerleri	DIN / EN	AISI
KONVANSİYONEL YÜKSEK HIZ ÇELİĞİ									
BÖHLER S200	0.76	4.10	18.00	-	1.10	-	-	< 1.3355 >	HS18-0-1 T1
BÖHLER S400	1.02	3.80	1.80	8.60	1.90	-	-	< 1.3348 >	HS2-9-2 M7
BÖHLER S401	0.84	3.80	1.80	8.60	1.20	-	-	< 1.3346 >	HS2-9-1 M1
BÖHLER S404	0.89	3.80	1.00	4.30	1.80	-	-	< 1.3326 >	HS2-4-1 M52
BÖHLER S600 ¹⁾	0.90	4.10	6.20	5.00	1.80	-	-	< 1.3343 > - 1.3554 LW	HS6-5-2C - M2 reg.C
BÖHLER S607	1.21	4.10	6.20	5.00	2.90	-	-	< 1.3344 >	HS6-5-3 - M3 Cl. 2
BÖHLER S610 ²⁾	0.95	4.00	4.00	4.00	2.00	-	+ Al	< 1.3330 >	HS4-4-2 -
BÖHLER S500 ¹⁾	1.10	3.90	1.40	9.20	1.00	7.80	-	< 1.3247 >	HS2-9-1-8 - M42
BÖHLER S705 ¹⁾	0.92	4.10	6.20	5.00	1.90	4.80	-	< 1.3243 >	HS6-5-2-5 - M35
BÖHLER S710 ²⁾	0.92	4.10	4.25	4.15	1.95	4.75	+ Al	< 1.3230 >	HS4-4-2-5 -

Şekil 3.1.: Takım çeliklerinin kompozisyonu.

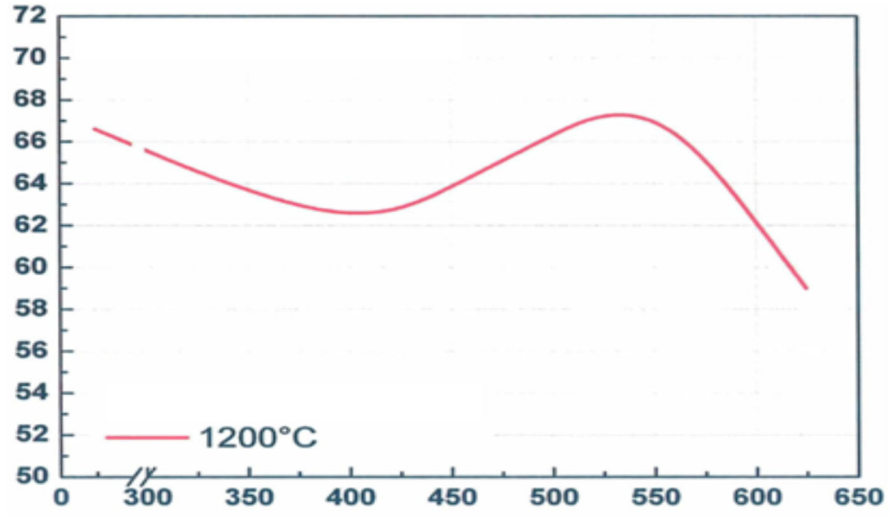
	Basınç Dayanımı	Öğütülebilirlik	Sıcak sertlik	Sertlik	Aşınma direnci	Kesilme direnci
BÖHLER S705	★★★	★★★	★★★★	★★	★★	★★★★
BÖHLER S200	★★★	★★	★★★	★★	★★★	★★
BÖHLER S400	★★★	★★★	★★★	★★★	★★	★★
BÖHLER S401	★★	★★★	★★	★★★	★★	★★★
BÖHLER S404	★★	★★★	★★	★★★	★★	★★
BÖHLER S500	★★★★	★★★	★★★★	★★	★★★	★★★
BÖHLER S600	★★★	★★★	★★★	★★	★★	★★★
BÖHLER S607	★★★	★★★	★★★	★★	★★★	★★★
BÖHLER S630	★★★	★★★	★★★	★★	★★	★★★
BÖHLER S730	★★★	★★★	★★★★	★★	★★	★★★★

Şekil 3.2.: Takım çeliklerinin başlıca özelliklerinin karşılaştırılması.

Tezin araştırma konusu olan sertleştirme ısıtma işlemi için kaba şekli verilmiş malzemeler toplanarak, vakum altında ısıtma işlemi görmek üzere aparatlara yerleştirilerek TAV markalı yatay fırınlara konuldu. Sertleştirme sıcaklığının belirlenmesi için firmanın tecrübesi ve BÖHLER tarafından sağlanan bilgiler kullanıldı. Isıtma işlemi sıcaklıkları firmanın ticari sırrı olması sebebiyle yayınlanamayacaktır. Ancak, uygulanan ısıtma işlemleri arasındaki sıcaklık farkları belirtilecektir. Çelikler östenit faza geçtikten sonra havada soğutulularak sertleştirilmiş, nihai şekil ve temperleme için operasyonun son grubuna sevk edilmiştir.

BÖHLER kalite	Tavlama sonrası sertlik	Sertleştirme sıcaklığı	Su verme	Menevişleme sonrasında elde edilebilir sertlik
BÖHLER S500	Maks. 280 HBW	1160 - 1180 °C	Yağ, Hava, Tuz banyosu (500 - 550 °C), Gaz	67 - 69 HRC
BÖHLER S600	Maks. 280 HBW	1190 - 1230 °C	Yağ, Hava, Tuz banyosu (500 - 550 °C), Gaz	64 - 66 HRC
BÖHLER S705	Maks. 280 HBW	1190 - 1230 °C	Yağ, Hava, Tuz banyosu (500 - 550 °C), Gaz	64 - 66 HRC
BÖHLER S290 MICROCLEAN	Maks. 350 HBW	1150 - 1210 °C 1150 - 1190 °C	Tuz banyosu Gaz	66 - 70 HRC
BÖHLER S390 MICROCLEAN	Maks. 300 HBW	1150 - 1230 °C	Yağ, Hava, Tuz banyosu (500 - 550 °C), Gaz	65 - 69 HRC
BÖHLER S590 MICROCLEAN	Maks. 300 HBW	1075 - 1180 °C	Yağ, Hava, Tuz banyosu (500 - 550 °C), Gaz	65 - 67 HRC
BÖHLER S690 MICROCLEAN	Maks. 280 HBW	1150 - 1200 °C	Yağ, Hava, Tuz banyosu (500 - 550 °C), Gaz	64 - 66 HRC
BÖHLER S790 MICROCLEAN	Maks. 280 HBW	1050 - 1180 °C	Yağ, Hava, Tuz banyosu (500 - 550 °C), Gaz	64 - 66 HRC

Şekil 3.3.: BÖHLER tarafından önerilen ısıtma işlemi koşulları, işlem sonrası sertlik.



Şekil 3.4.: BÖHLER tarafından oluşturulan S705 çeliği menevişleme eğrisi.

Son aşama, ısıtıl işleminden kaba şekil verilmiş çubukların boyutsal düzeltmeleri ile başlar. Bu işlem tamamen el emeği ve ustalıklarla icra edildi. Akabinde, HAUX marka CNC taşlama tezgahlarında uygun açılarda kanallar açıldı ve matkaplar toleranslar dahilinde kullanıcı ölçüsüne getirildi. Sonrasında, yine HAUX marka CNC taşlama tezgahlarında kesici özellik kazanması için matkapların uçları bilendi ve öz kalınlıkları ayarlandı ve menevişlenmek üzere tekrar fırına gönderildi. Buradan da gözle kontrol işlemi için kalite departmanına yönlendirildi. Kontrol edilen matkaplar uygun koşullar altında saklamak için paketlenildi.

Kılavuzlar içinde ilk 2 gruptaki aşamalar aynıdır. Kılavuzlar, şekil olarak matkaplara göre daha farklı ve daha hassas işlenmesi gerektiğinden 3. gruptaki operasyonlar farklı makineler ile icra edildi. Sertleştirme ısıtıl işleminden çıkan kaba şekli verilmiş çubuklar ilk olarak GRİNGHELLİ marka özel taşlama tezgahlarında son ölçüde form verilmek üzere taşlandı. JUNKER marka taşlama tezgahlarında kanal açma işlemleri tamamlandı ve vida dişleri açıldı. Ardından sırasıyla menevişleme ve gözle kontrolleri tamamlanarak uygun şekilde paketlenildi.

3.2 Sertlik ve tane sayısı

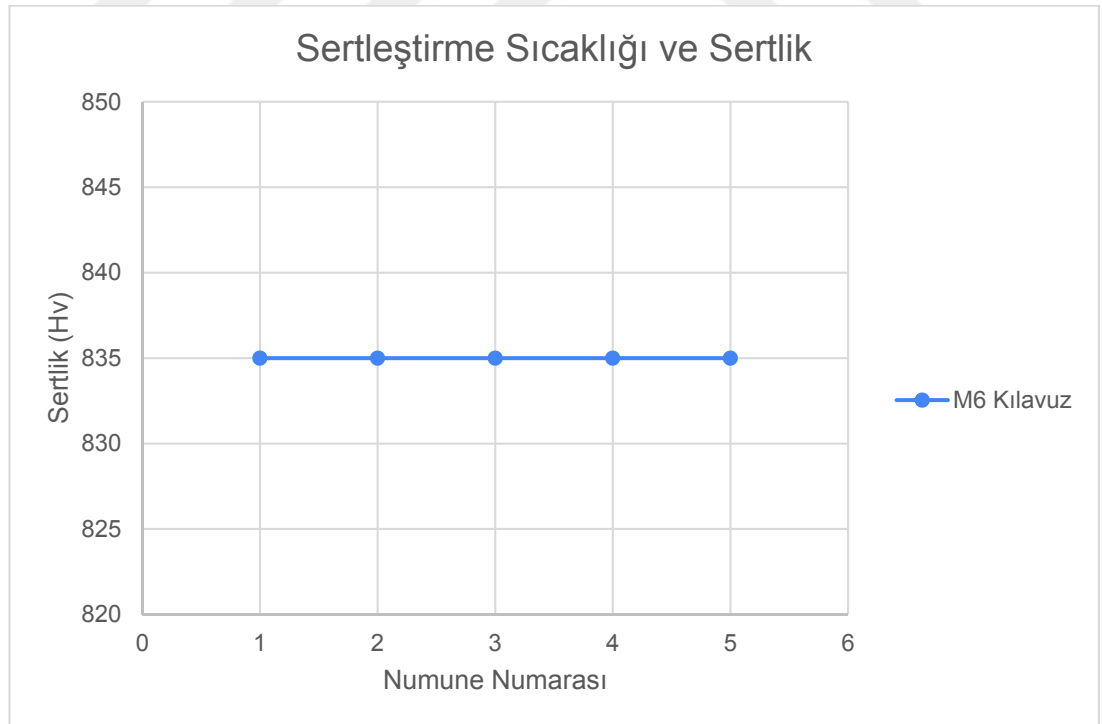
Tablo 3.1.: Numune takip tablosu, sertlik ve menevişli sertlik sonuçları.

Ölçü	Malzeme			Standart Sertlik	Numune No.	Sertleştirme Sıcaklığı (°C)	Tane Sayısı (SG)	Sertlik (Hv)	Temperleme Koşulları	
	DIN/EN	AISI/SAE	Böhler						3 Meneviş	
									Sıcaklık (°C)	Sertlik (Hv)
M6	1.3243	M35	S705	850+70	1	X	18	835	Y-Z-Y	835
M6	1.3243	M35	S705	850+70	2	X+5	16	835	Y-Z-Y	858
M6	1.3243	M35	S705	850+70	3	X+10	16	835	Y-Z-Y	858
M6	1.3243	M35	S705	850+70	4	X+15	16	835	Y-Z-Y	858
M6	1.3243	M35	S705	850+70	5	X+20	15	835	Y-Z-Y	882
M8	1.3243	M35	S705	850+70	1	X	19	835	Y-Z-Y	835
M8	1.3243	M35	S705	850+70	2	X+5	15	835	Y-Z-Y	835
M8	1.3243	M35	S705	850+70	3	X+10	16	847	Y-Z-Y	858
M8	1.3243	M35	S705	850+70	4	X+15	16	835	Y-Z-Y	870
M8	1.3243	M35	S705	850+70	5	X+20	15	847	Y-Z-Y	882
Çap 6 mm	1.3243	M35	S705	850+70	1	X	18	824	Y-Z-Y	858
Çap 6 mm	1.3243	M35	S705	850+70	2	X+5	17	824	Y-Z-Y	858
Çap 6 mm	1.3243	M35	S705	850+70	3	X+10	15	824	Y-Z-Y	870
Çap 6 mm	1.3243	M35	S705	850+70	4	X+15	16	835	Y-Z-Y	847
Çap 6 mm	1.3243	M35	S705	850+70	5	X+20	15	835	Y-Z-Y	814
Çap 8 mm	1.3243	M35	S705	850+70	1	X	17	824	Y-Z-Y	858
Çap 8 mm	1.3243	M35	S705	850+70	2	X+5	16	824	Y-Z-Y	858
Çap 8 mm	1.3243	M35	S705	850+70	3	X+10	15	824	Y-Z-Y	870
Çap 8 mm	1.3243	M35	S705	850+70	4	X+15	16	835	Y-Z-Y	847
Çap 8 mm	1.3243	M35	S705	850+70	5	X+20	15	847	Y-Z-Y	824

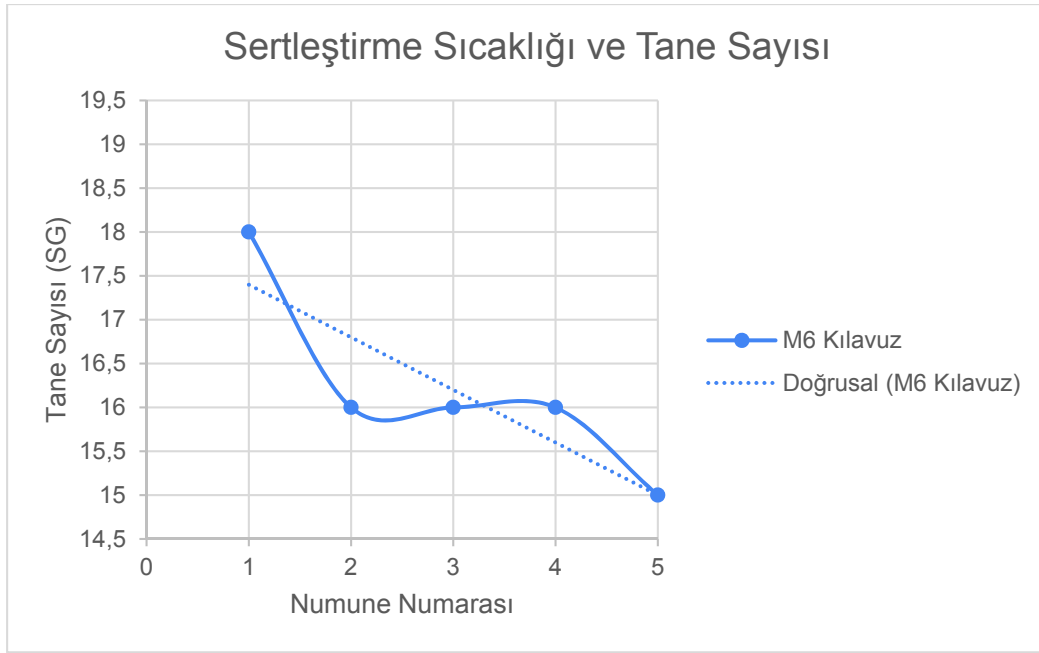
Üretilen tüm takımlar doğru şekilde paketlenildikten sonra, testler için metalografi laboratuvarına sevk edilmiştir. Numuneler uygun şekilde zımparalanmıştır. Sadece sertleştirme ısısal işlemi yapılmış olan numuneler üzerinde sertlik, vickers sertlik ölçme cihazında, ölçülmüştür. Aynı işlem, sertleştirme sonrası menevişlenmiş numuneler içinde yapılmıştır. Sertlik ölçme işlemlerinden sonra parlatılan numuneler, alkollü nitrik asit çözeltisinde dağlanmıştır. Dağlanan numunelerin, 100x büyütmede mikro yapıları fotoğraflanmış ve inç-karedeki tane sayısı hesaplanmıştır. ASTM standartları yardımı ile tane büyüklükleri de görülmüştür.

Yapılan tüm bu deneyler ile sertleştirme ısısal işlemi ile sertlik, tane sayısı ve menevişli sertlik kavramları arasındaki ilişki incelenmiştir. Sonuçların daha rahat görülmesi ve yorumlanması için Şekil 3.5 ile Şekil 3.16 arasında görüldüğü gibi grafik haline getirilmiştir.

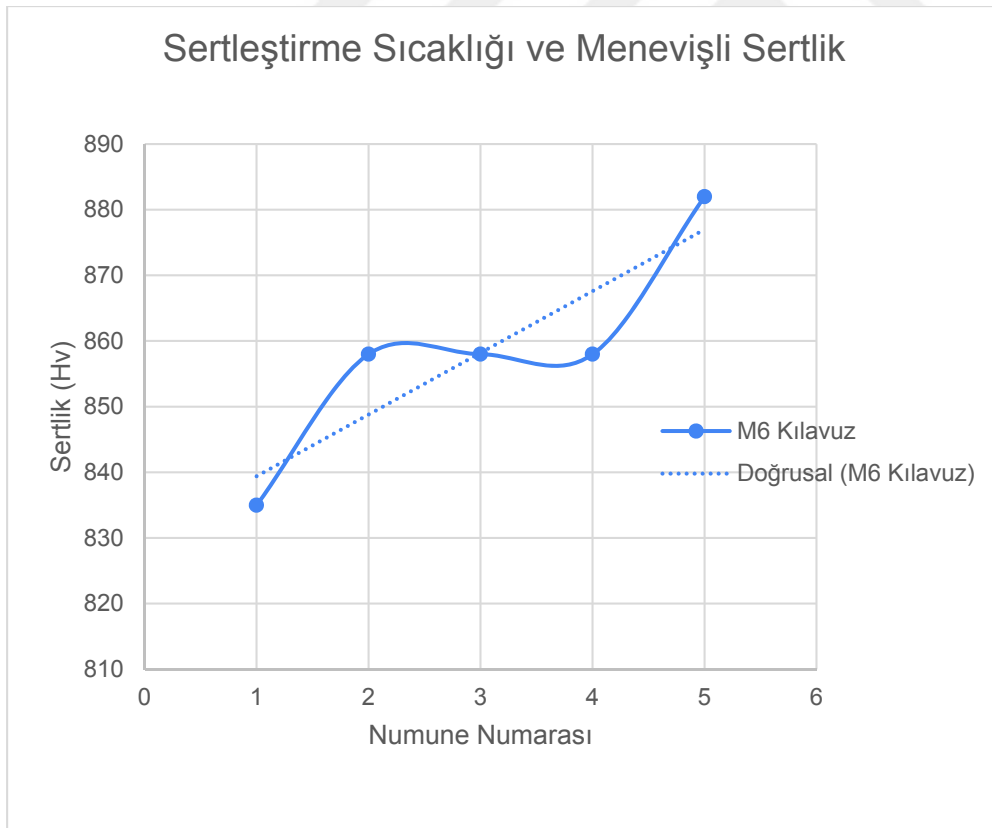
Oluşturulan grafiklerle beraber görüldüğü gibi sertleştirme ısısal işleminin sıcaklığı ile sertleştirme sonrası sertlik, menevişli sertlik ve tane sayısı arasında bir ilişki olduğu görülmektedir.



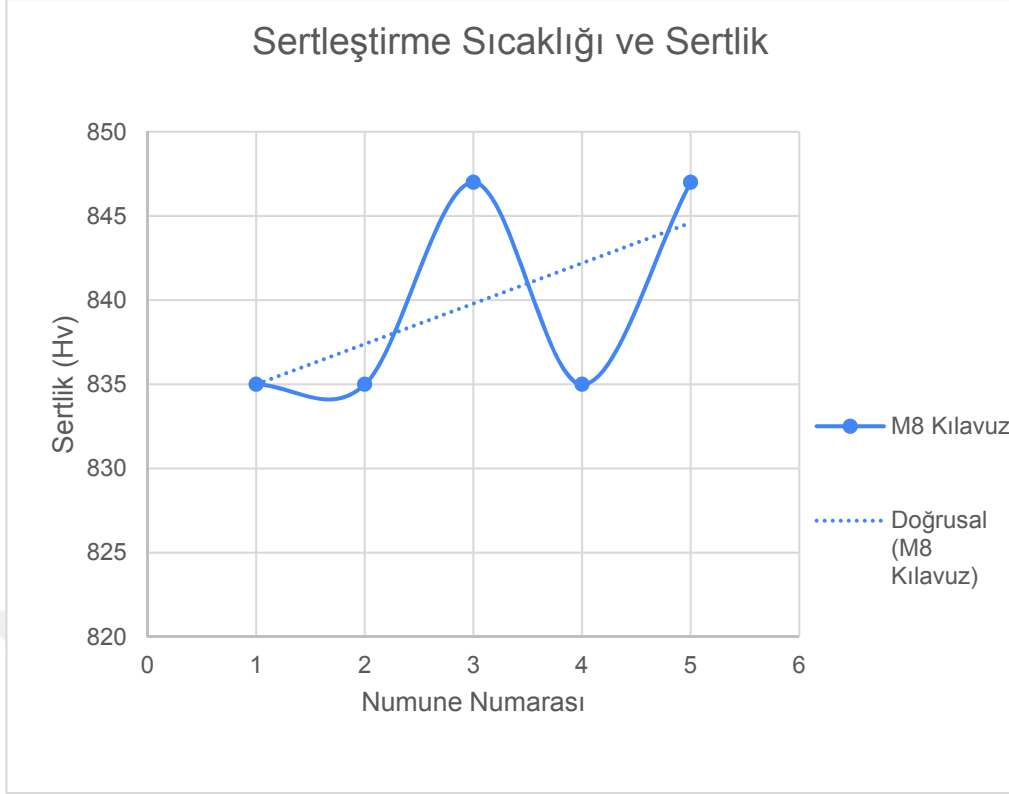
Şekil 3.5.: Sertleştirme sıcaklığı ve sertlik ilişkisi, M6 kılavuz.



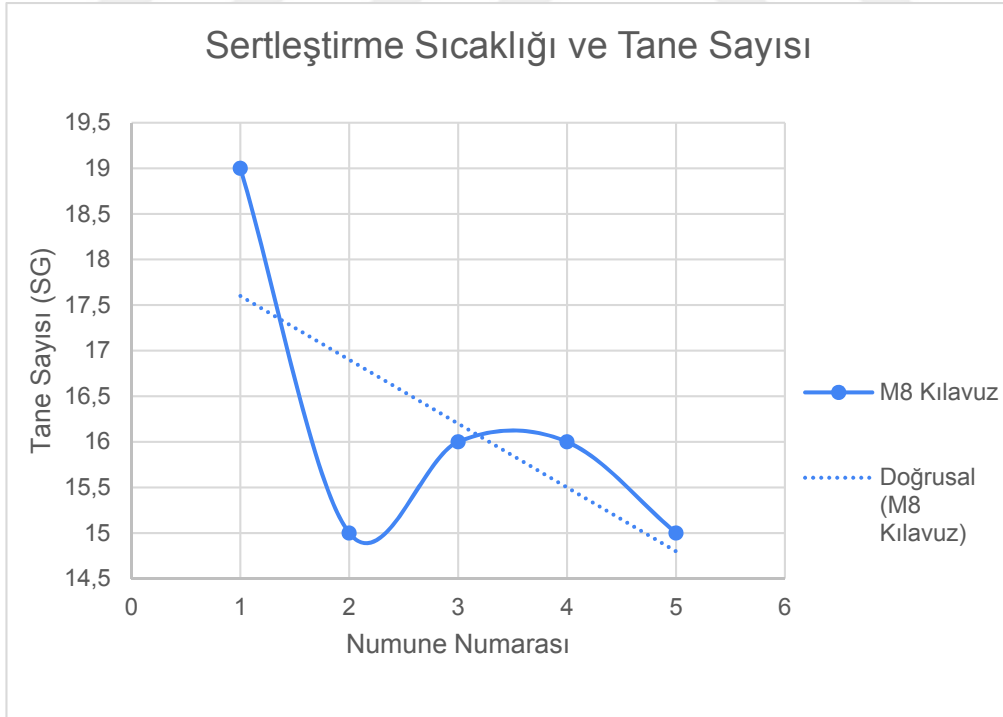
Şekil 3.6.: Sertleştirme sıcaklığı ve tane sayısı ilişkisi, M6 kılavuz.



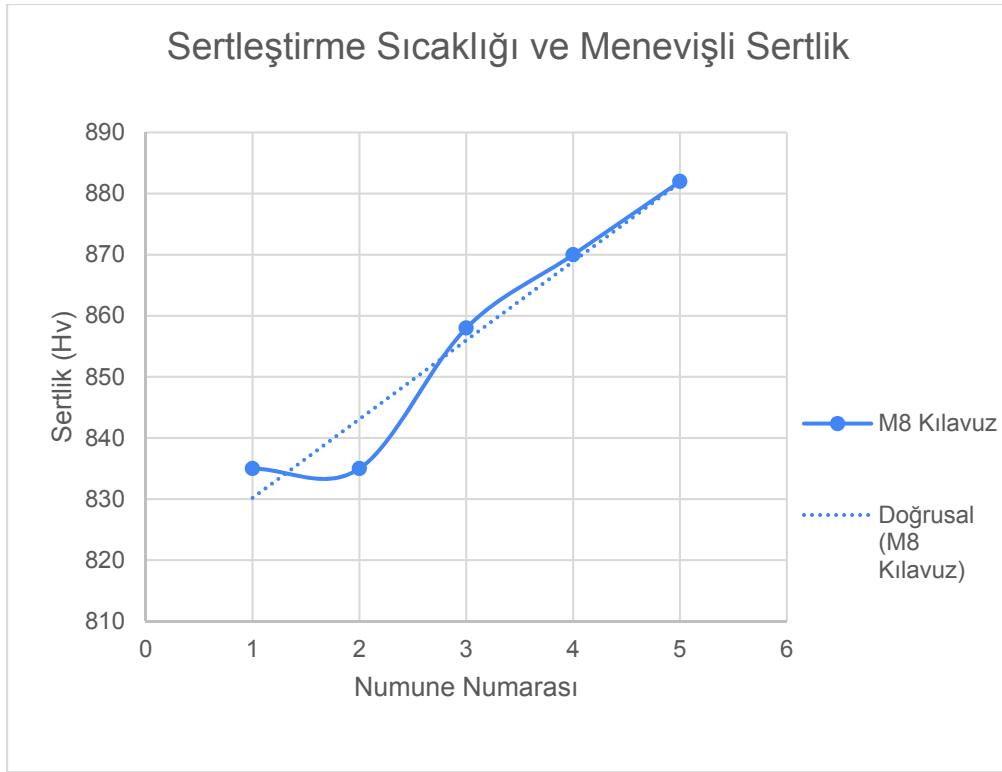
Şekil 3.7.: Sertleştirme sıcaklığı ve menevişli sertlik ilişkisi, M6 kılavuz.



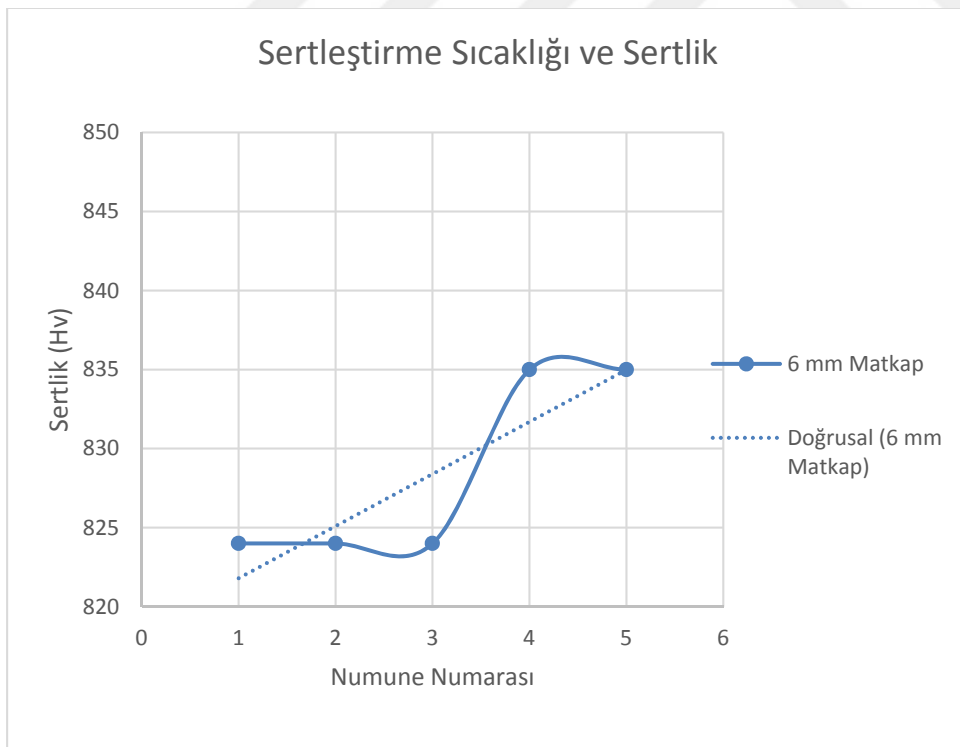
Şekil 3.8.: Sertleştirme sıcaklığı ve sertlik ilişkisi, M8 kılavuz.



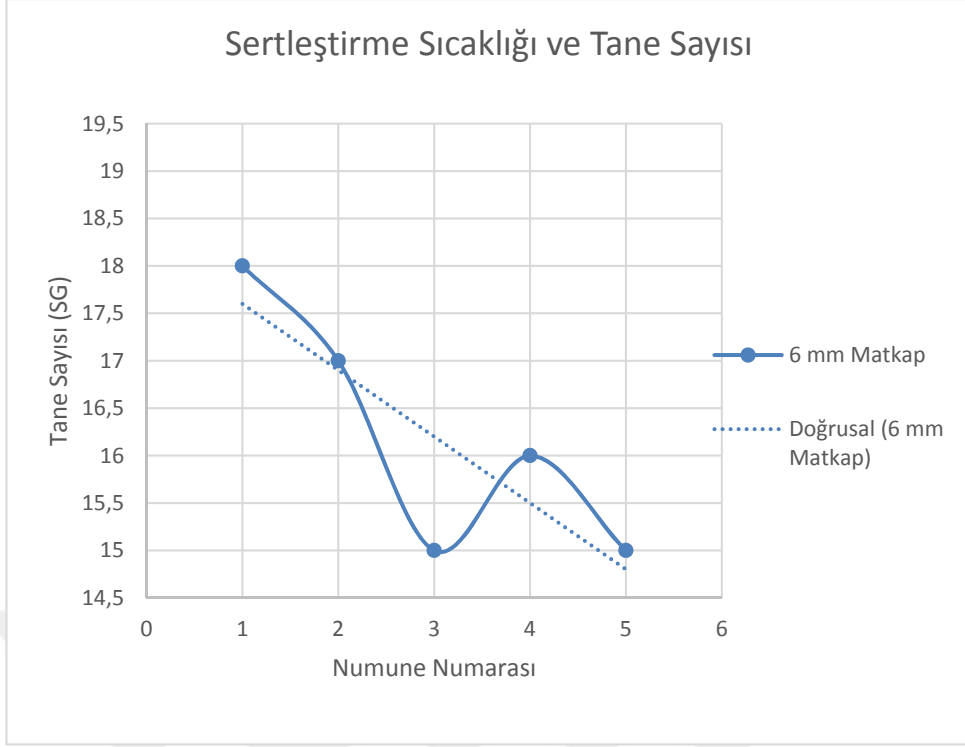
Şekil 3.9.: Sertleştirme sıcaklığı ve tane sayısı ilişkisi, M8 kılavuz.



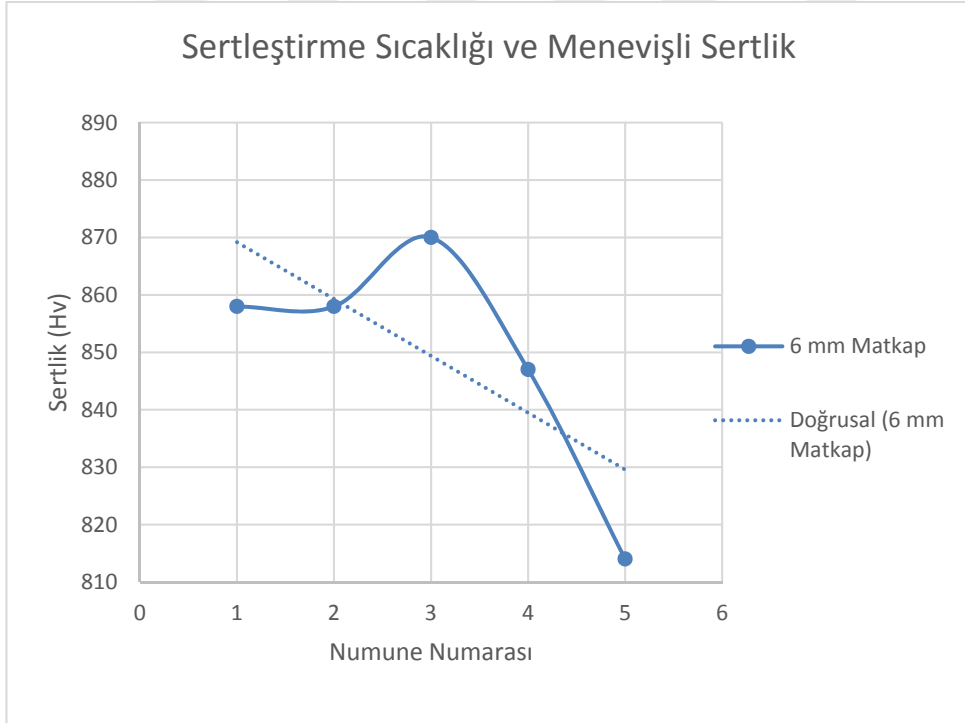
Şekil 3.10.: Sertleştirme sıcaklığı ve menevişli sertlik ilişkisi, M8 kılavuz.



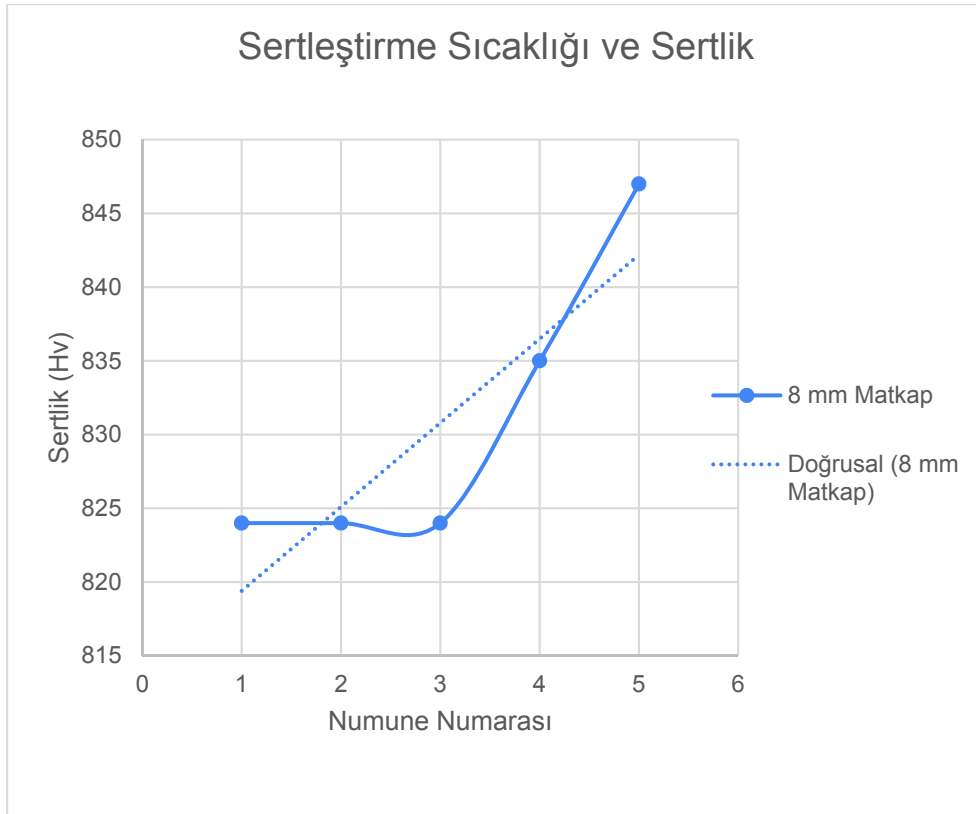
Şekil 3.11.: Sertleştirme sıcaklığı ve sertlik ilişkisi, 6 mm matkap.



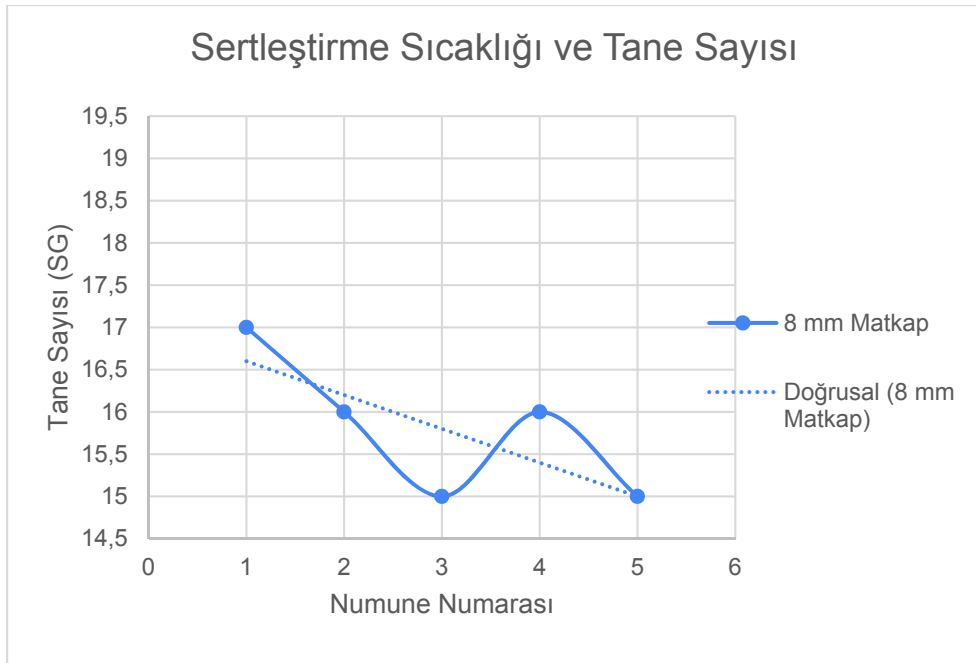
Şekil 3.12.: Sertleştirme sıcaklığı ve tane sayısı ilişkisi, 6mm matkap.



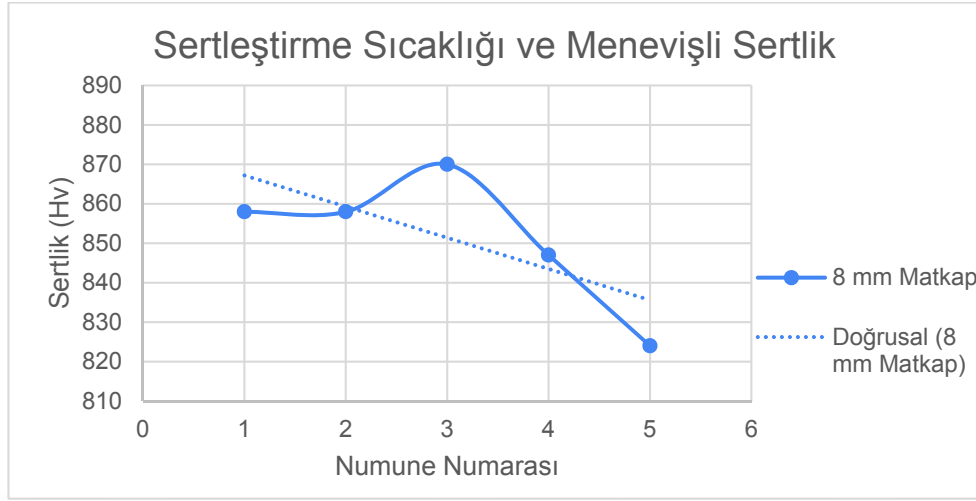
Şekil 3.13.: Sertleştirme sıcaklığı ve menevişli sertlik ilişkisi, 6 mm matkap.



Şekil 3.14.: Sertleştirme sıcaklığı ve sertlik ilişkisi, 8 mm matkap.



Şekil 3.15.: Sertleştirme sıcaklığı ve tane sayısı ilişkisi, 8 mm matkap.



Şekil 3.16.: Sertleştirme sıcaklığı ve menevişli sertlik ilişkisi, 8 mm matkap.

3.3 MicroTap ve XRD

Tablo 3.2.: M6 kılavuzların MicroTap sonuçları.

	Numune Numarası	Ortalama Kuvvet**	Standart Sapma**	Ortalama (%)	Standart Sapma (%)	Kalıntı Östenit Miktarı (%)	Menevişli Sertlik (Hv)
Boy							
M6	1	179,4	21,4	118,7	242,1	1,5	835
M6	2	162,6	12,5	107,6	141,9		858
M6	3	157,8	14,7	104,5	166,3	1,3	858
M6	4	153,2	7,5	101,4	85,2		858
M6	5	151,1	8,8	100	100	1,2	882

Tablo 3.3.: M8 kılavuzların MicroTap sonuçları.

	Numune Numarası	Ortalama Kuvvet	Standart Sapma	Ortalama (%)	Standart Sapma (%)	Kalıntı Östenit Miktarı (%)	Menevişli Sertlik (Hv)
Boy							
M8	1	350,9	32	109,5	206,7	2,1	835
M8	2	339	32,8	105,8	211,9		835
M8	3	338,3	43,5	105,6	280,9	1,5	858
M8	4	343,8	38,4	107,3	247,6		870
M8	5	320,3	15,5	100	100	1,3	882

MicroTap yazılımı ile farklı sertleştirme sıcaklıklarıyla ısıtılma işlemi görmüş kılavuzların diş açma işlemi esnasında anlık olarak üzerine binen kuvvetler ölçülmüştür. Aynı kılavuz ile tekrar eden diş açma işlemi sonucunda maksimum ve ortalama birer kuvvet tespit edilip, bu ortalama ve maksimum kuvvette, kılavuzun, keskinliği ve dolayısıyla ömrü hakkında rölatif olarak bir değerlendirme yapma imkanı sağlamıştır.

Deney, sanayide akrobat olarak anılan bir diş açma makinesi, MicroTap yazılımı yüklü bir bilgisayar ve diş açmak için yaptırılmış bir aparat ile icra edilmiştir. Diş açma esnasında Winkel marka kılavuz çekme yağı kullanılarak sürtünmenin önüne geçilmesi amaçlanmıştır. M6 kılavuzlar için 12 mm diş açma derinliği ve 637 RPM dönme hızı, her numune için sabit olacak şekilde belirlenmiştir. M8 kılavuzlar için ise 15 mm diş açma derinliği ve 438 RPM dönme hızı belirlenmiştir. Deney düzeneği ile ilgili fotoğraflar tezin devamında mevcuttur.

Diş açma işlemi sonrası, kullanılmış kılavuzlar için makro fotoğraflar Zoller marka, GENIUS 3s model makine ile çekilmiştir. Bu fotoğraflar ekler kısmında mevcuttur.

Tablodaki kalıntı östenit miktarı laboratuvar bünyesinde bulunan MALVERN PANALYTICAL AERIS marka, XRD cihazı kullanılarak hesaplanmıştır. Aradaki sıcaklık farkını arttırarak kalıntı östenit miktarındaki değişim daha net gösterilmek istenmiştir. Bu sebeple M6 ve M8 kılavuzlar için yalnızca 1-3-5 numaralı numunelere test yapılmıştır. XRD sonuçları ile ilgili grafikler ekler bölümünde mevcuttur.

Sertleşme ısıtılma işleminin işleminin yapıldığı sıcaklık ile kalıntı östenit miktarı arasında yakın ilişkiler tespit edildi. Bu ilişkiyi daha iyi görebilmek için veriler grafik haline getirildi.

Menevişli sertliğin, diş açma esnasında ki ortalama kuvvet ve kalıntı östenit arasındaki bağlantıyı incelemek için 3 eksenli grafikler oluşturuldu, bu sayede östenitleme sıcaklığı ve yukarıda bahsedilen kavramlar arasında ilişki arandı.



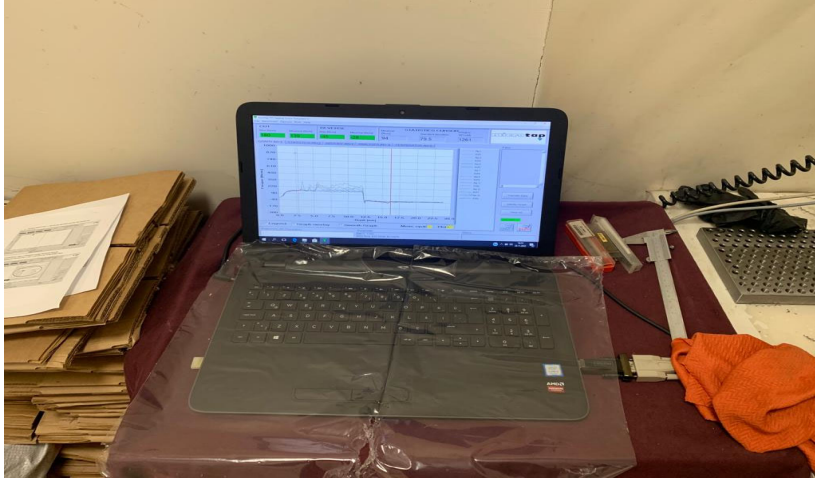
Şekil 3.17.: Kılavuz çekme işleminin yapıldığı cihaz, akrobat



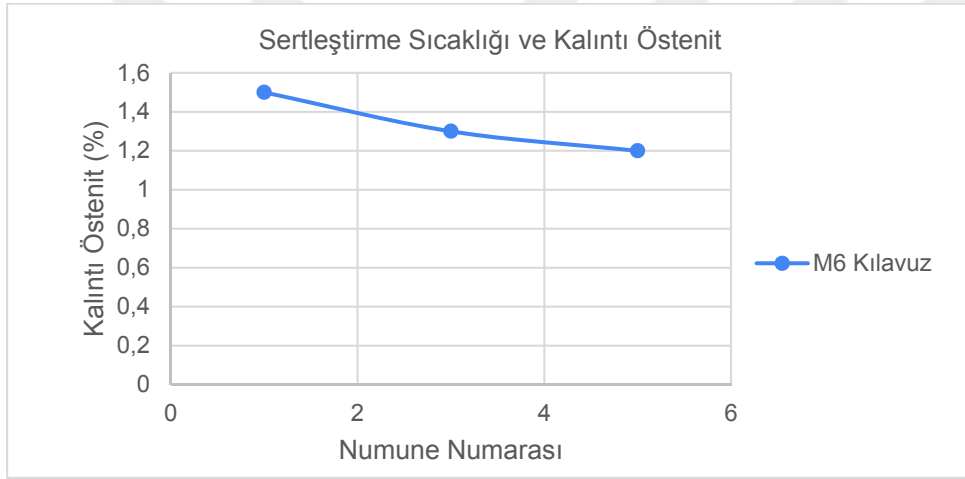
Şekil 3.18.: Diş açmak için C45 çeliğinden hazırlanmış aparat



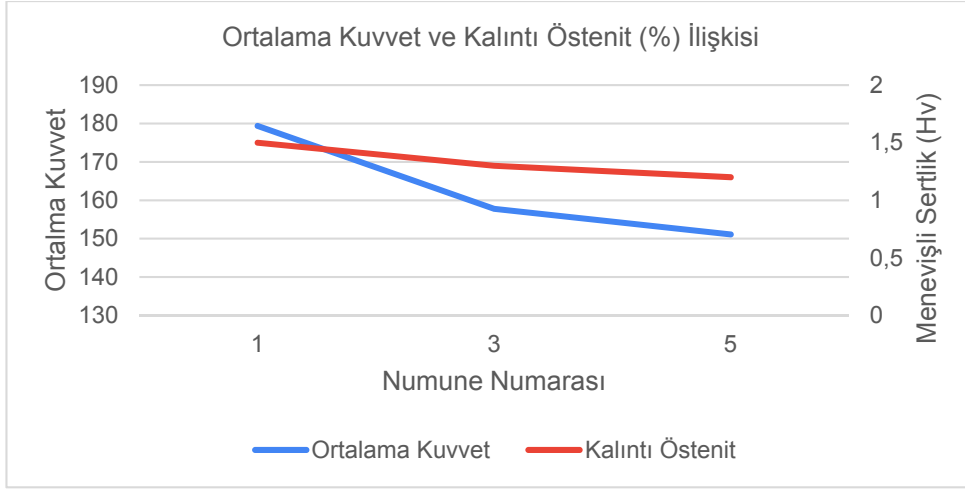
Şekil 3.19.: Diş çekme işleminde ortaya çıkan talaş



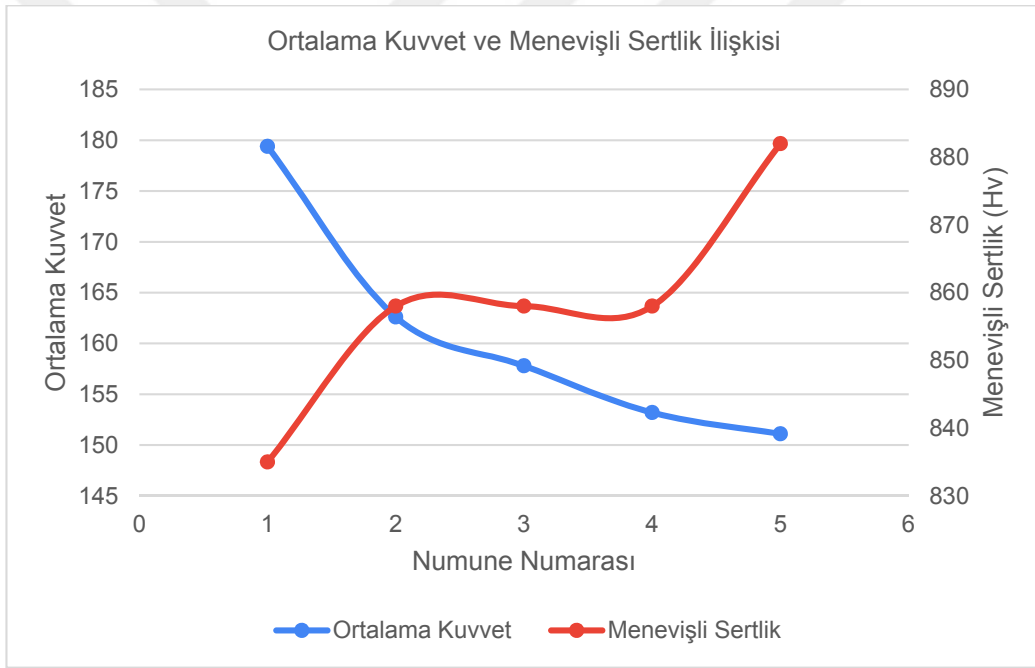
Şekil 3.20.: MicroTap yazılımının kullanıldığı bilgisayar



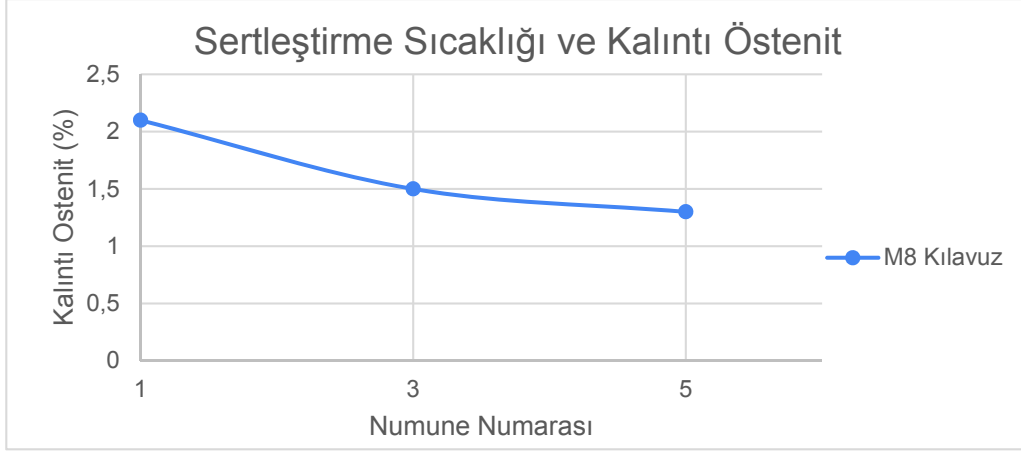
Şekil 3.21.: Sertleştirme sıcaklığı ve kalıntı östenit arasında ki ilişki, M6 kılavuz



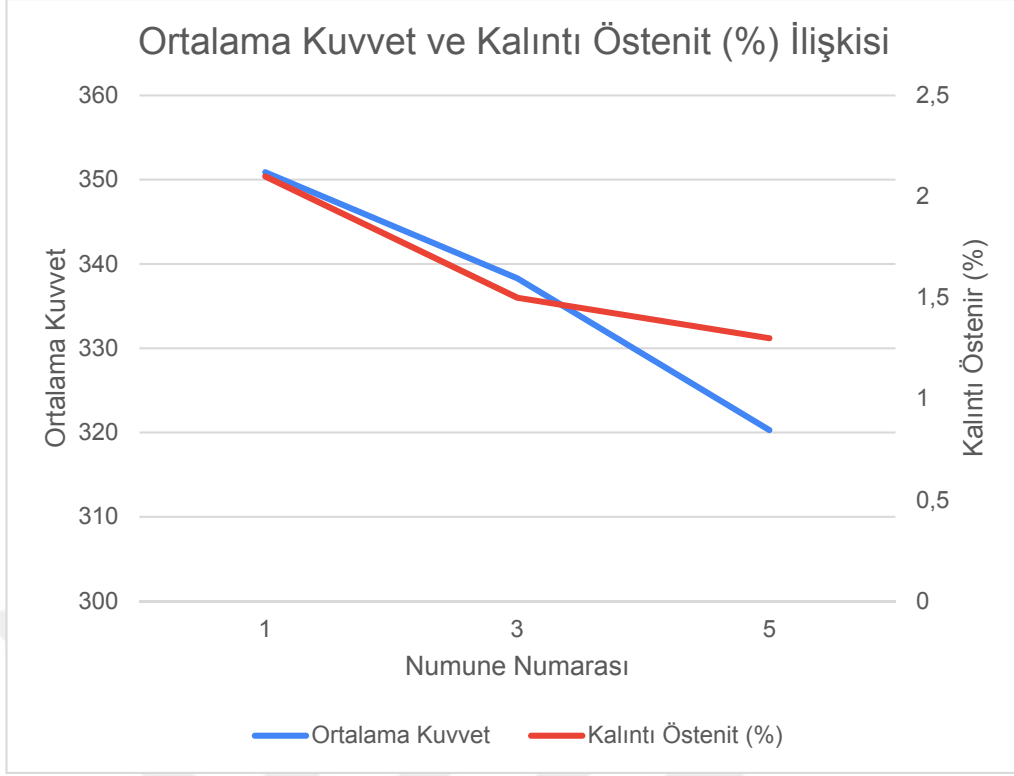
Şekil 3.22.: Menevişli sertlik ve ortalama kuvvet arasında ki ilişki, M6 kılavuz.



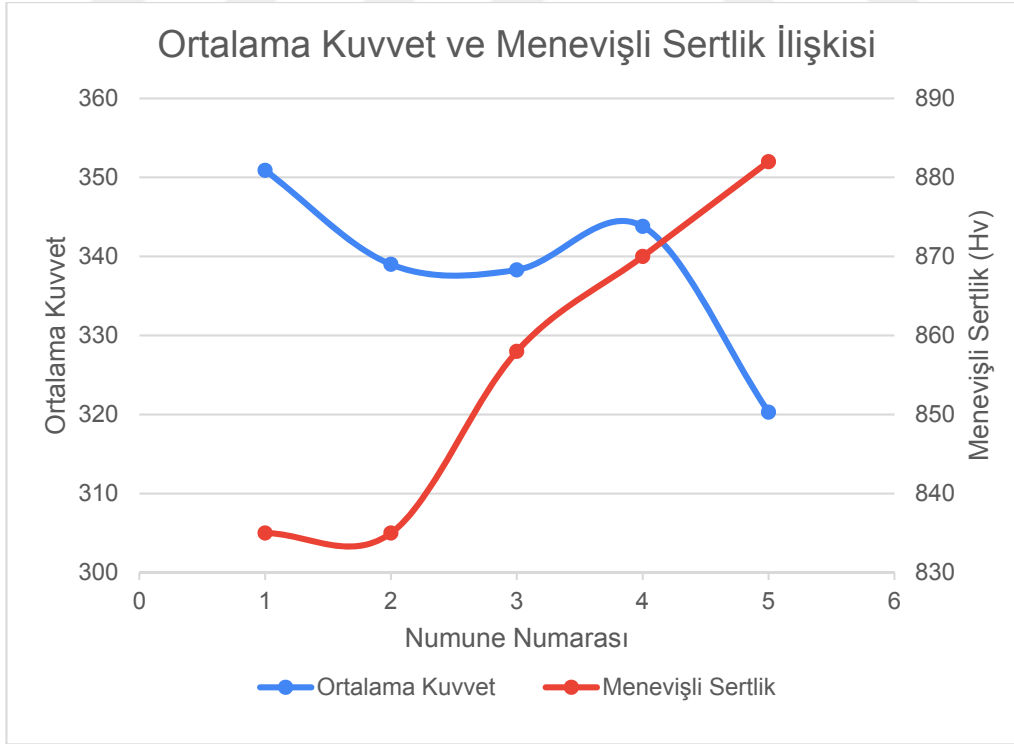
Şekil 3.23.: Ortalama kuvvet ve kalıntı östenit arasında ki ilişki, M6 kılavuz.



Şekil 3.24.: Sertleştirme sıcaklığı ve kalıntı östenit arasında ki ilişki, M8 kılavuz.



Şekil 3.25.: Menevişli sertlik ve ortalama kuvvet arasında ki ilişki, M8 kılavuz.

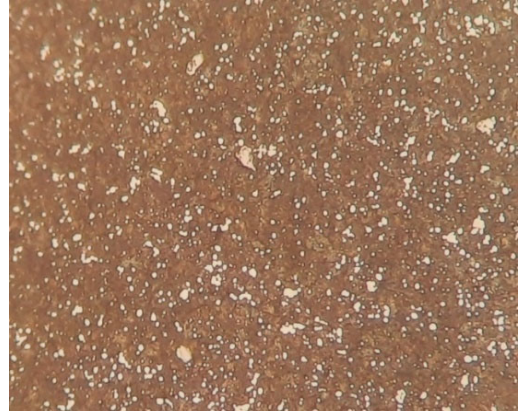


Şekil 3.26.: Ortalama kuvvet ve kalıntı östenit arasında ki ilişki, M8 kılavuz.

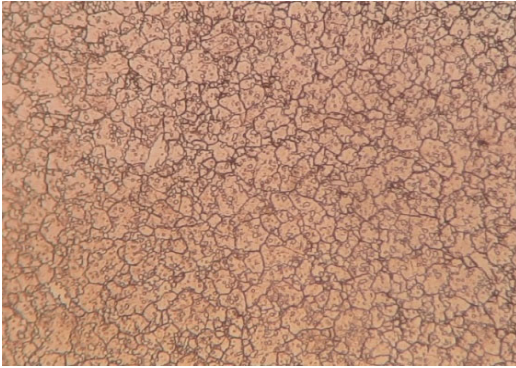
3.4 Mikroyapılar



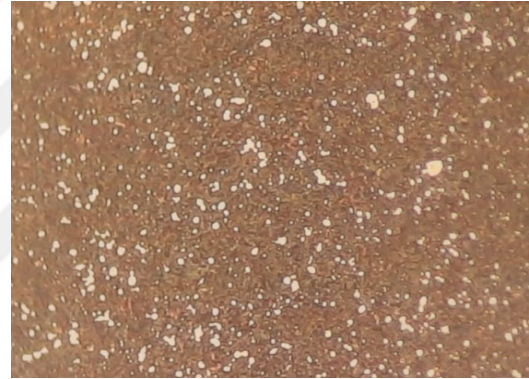
Şekil 3.27.: X °C' de
sertleştirilmiş,
temperlenmemiş çeliğin
mikro yapısı, x100



Şekil 3.28.: X °C' de
sertleştirilmiş,
temperlenmiş çeliğin
mikro yapısı, x100



Şekil 3.29.: X+5 °C' de
sertleştirilmiş,
temperlenmemiş çeliğin
mikro yapısı, x100



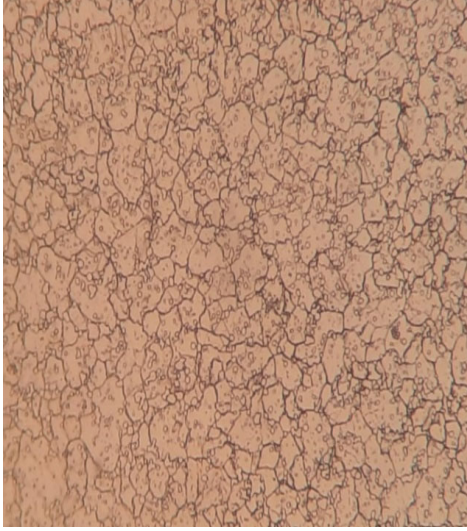
Şekil 3.30.: X+5 °C' de
sertleştirilmiş,
temperlenmiş çeliğin
mikro yapısı, x100



Şekil 3.31.: X+10 °C' de
sertleştirilmiş,
temperlenmemiş çeliğin
mikro yapısı, x100



Şekil 3.32.: X+10 °C' de
sertleştirilmiş,
temperlenmiş çeliğin
mikro yapısı, x100



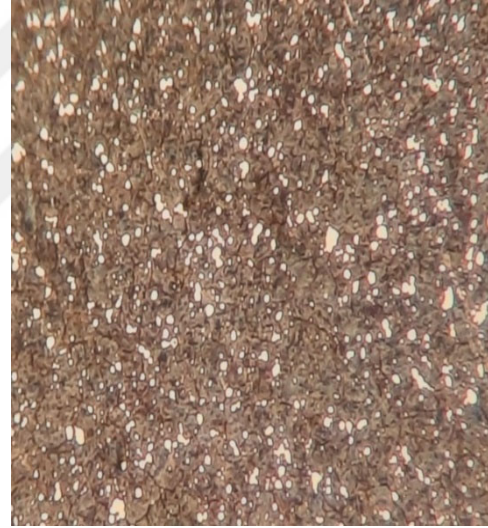
Şekil 3.33.: X+15°C' de
sertleştirilmiş,
temperlenmemiş
çeliğin mikro yapısı,
x100



Şekil 3.34.: X+15°C' de
sertleştirilmiş,
temperlenmiş çeliğin
mikro yapısı, x100



Şekil 3.35.: X+20°C' de
sertleştirilmiş,
temperlenmemiş
çeliğin mikro yapısı,
x100



Şekil 3.36.: X+20°C' de
sertleştirilmiş,
temperlenmiş çeliğin
mikro yapısı, x100



4. GENEL DEĞERLENDİRME ve YORUMLAR

Şekil 3.5, 3.8, 3.11, 3.14 'te görüldüğü gibi sertlik sabit kalma ya da artma eğilimindedir. Artma eğiliminde olmasının sebebi, her yüksek sıcaklıktan da düşük sıcaklıktan da belirli bir soğutma hızıyla soğutulması ve bu sebeple malzemede oluşan iç gerilmelerin sonucu olarak değerlendirilebilir.

Şekil 3.6, 3.9, 3.12, 3.15 'te ki grafiklerde östenitleme sıcaklığı ve tane sayısı ilişkisi gösterilmiştir. Grafiklerin tamamında artan östenitleme sıcaklığı ile beraber tane sayısında bir düşüş ve dolaylı olarak tane yapılarında büyüme gözlemlenmektedir. Bu sonuçlar beklentiyle oldukça tutarlıdır. Numuneler tüm sıcaklıklarda eşit sürede bekletilmelerine rağmen yüksek sıcaklıklarda ki taneler sıcaklık farkının sağlamış olduğu ekstra enerji ile daha hızlı büyümüş ve bu da belirli alanda ki tane sayısının azalmasına sebep olmuştur.

3.7., 3.10.no'lu şekillerde östenitleme sıcaklığı ve menevişleme işleminden sonra ölçülen sertliğin grafiği gösterilmektedir. Her iki grafikte de eğimin pozitif olduğu görülmektedir. S705 çeliğin içinde yüksek miktarda karbonun yanında, krom, molibden, tungsten, vanadyum ve kobaltında olduğunu göz önüne aldığımızda, yüksek sıcaklıklarda ki östenitleme işleminde bu elementler daha iyi çözülecek ve menevişleme sonrasında daha çok sayıda, daha iyi dağılımlı kompleks karbür alaşımları oluşturacağı söylenebilir. Sertlik artışının arkasında ki sebepte bu olarak görülmektedir.

Şekil 3.13, 3.16 'da ise matkapların östenitleme sıcaklığı ve menevişleme işleminden sonra ölçülen sertliğin grafiği gösterilmektedir. Kılavuzdakilerin aksine sertlik düşüş eğilimindedir. Sonuçlar ilk alındığında, sertliklerin yanlış ölçüldüğü düşünüldü ve test tekrar edildi ancak sonuçlar benzer çıktı. Daha sonra menevişleme ısıl işleminin rejimine bakıldığında fırındaki teknik bir aksaklıktan dolayı menevişleme sürelerinin değiştiği fark edildi bu sebeple buradaki sertlikler çalışmada kullanılmayacaktır.

3.3no'lu bölümde östenitleme sıcaklığı ve kalıntı östenitin yanında MicroTap ile elde edilen ortalama kuvvetler ve kalıntı östenitin ilişkisi ile beraber ortalama kuvvet ve

menevişli sıcaklık arasında ki ilişki incelenip grafik haline getirilmiştir. Şekil 3.21 ve 3.24 incelendiğinde östenitleme sıcaklığının artışıyla beraber kalıntı östenitte iyileşme gözlenmiştir.

M6 ve M8 kılavuzları arasında herhangi bir malzeme ya da ısı işlem farkı olmamasına rağmen kalıntı östenit miktarlarında farklılıklar göze çarpmaktadır. Bunun sebebi ise numunelerin çapındaki farklılıklar sebebiyle ısınma ve soğuma hızında ki farklılık olarak öngörülmektedir.

Şekil 3.22 ve 3.25 incelendiğinde menevişli sertlik ve ortalama kuvvetin zıt yönlerde hareket ettiğini görebiliriz. Yükselen sertlik, takımın rijitliğini artırarak daha geç aşınmasına sebep olmaktadır. Aynı zamanda yüksek sertlik, iş parçasından daha kolay talaş kaldırılmasını sağlamaktadır. Bu iki faktör göz önüne alındığında yükselen östenitleme sıcaklığının, menevişli sertliği yükselttiğini ve sertliğinde daha kolay kesim sağladığı için kesme için gereken ortalama kuvveti azalttığı söylenebilir.

Yükselen sertliğin, ortalama kesme kuvvetini düşürdüğünden kılavuzun ömrünü arttıracakları öngörülebilir.

3.23. ve 3.26. şekillerdeki grafikler incelendiğinde kalıntı östenit ve ortalama kuvvet doğrusal bir orantı olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak ise kalıntı östenitin sertliğinin, martenzite göre oldukça düşük olmasıdır. Sertliği düşük olan, kalıntı östenit arttıkça talaş kaldırma zorlaşmakta ve ortalama kuvvetler artmaktadır.

Talaş şekilleri incelendiğinde yüksek menevişli sertliğe sahip numunelerde sarmal fakat düzgün talaşlar görülürken, düşük sertliğe sahip numunelerde zaman zaman karışan talaşlar kesmenin zorlaşması ve helis kanallarının dolması sebebiyle gözlenmiştir.

Ölçülen kuvvetlerdeki standart sapma Tablo 3.2 ve 3.3 'te gösterilmiştir. Yükselen sertlik ile beraber ölçülen kuvvetlerdeki standart sapmanın düştüğü görülmüştür. Yükselen sertlik ile beraber gelişen aşınma direncinin bu olayın gerçekleşmesindeki rolü oldukça önemlidir.

3.4. bölümdeki parlatılmış ve dağlanmış numunelerin menevişli ve menevişsiz olmak üzere mikroyapı fotoğrafları mevcuttur. Sayfaların sol kısımlarında ki menevişsiz mikroyapı fotoğrafları (Şekil 3.23, 3.25, 3.27, 3.29, 3.31) incelendiğinde numunelerin ASTM standartlarına göre ince taneli yapıya sahip olduğu görülmekte. Yapıdaki yüksek karbon ve diğer alaşım elementleri ince yapı oluşmasında oldukça etkindir.

Menevişleme sonrası beklenildiği gibi karbür alaşımlarının oluştuğu gözlemlenmiştir.

Menevişli numunelerin mikroyapıları incelendiğinde, karbür oluşumlarının daha bol ve homojen olduğu görülmektedir. Buda sertlik ve kuvvet deneylerinin sonucu doğrular niteliktedir.

Tüm sonuçlar göz önüne alındığında, yükselen sertleştirme sıcaklıklarında yapılan östenitleme işleminin, menevişleme sonrası sertliği doğrudan etkilediği, yükselen sıcaklığın sertliği arttırdığı görülmüştür. Artan sertlik yardımıyla, takımın daha düşük kuvvetle aynı işlemi yapabildiği MicroTap deneyleri ile tespit edilmiştir.

Ayrıca MicroTap deneyleri ile kuvvetler arasında oluşan standart sapmanın da yükselen östenitleme sıcaklığı ile daha makul seviyelere indiği gözlenmiştir. Bu sayede iş esnasında takımın sarsıntısı azalmış daha hassas ve doğru işleme yapabilmektedir.

Yükselen östenitleme sıcaklığı ile daha çok diş açılma imkanı daha düşük sarsıntı ile sağlanmıştır. Bu şekilde yükselen sıcaklıklarda daha optimum koşulların sağlandığı görülmekte. Kesin olarak optimum sıcaklığın belirlenmesi için maliyet ve hasar analizlerinin de üretici firma tarafından yapılması gerekmektedir.

Ayrıca, takımların, kesici diş bölgelerindeki tane ve karbür yapıları da daha hassas bir inceleme bir başka çalışmanın konusu olabilir.

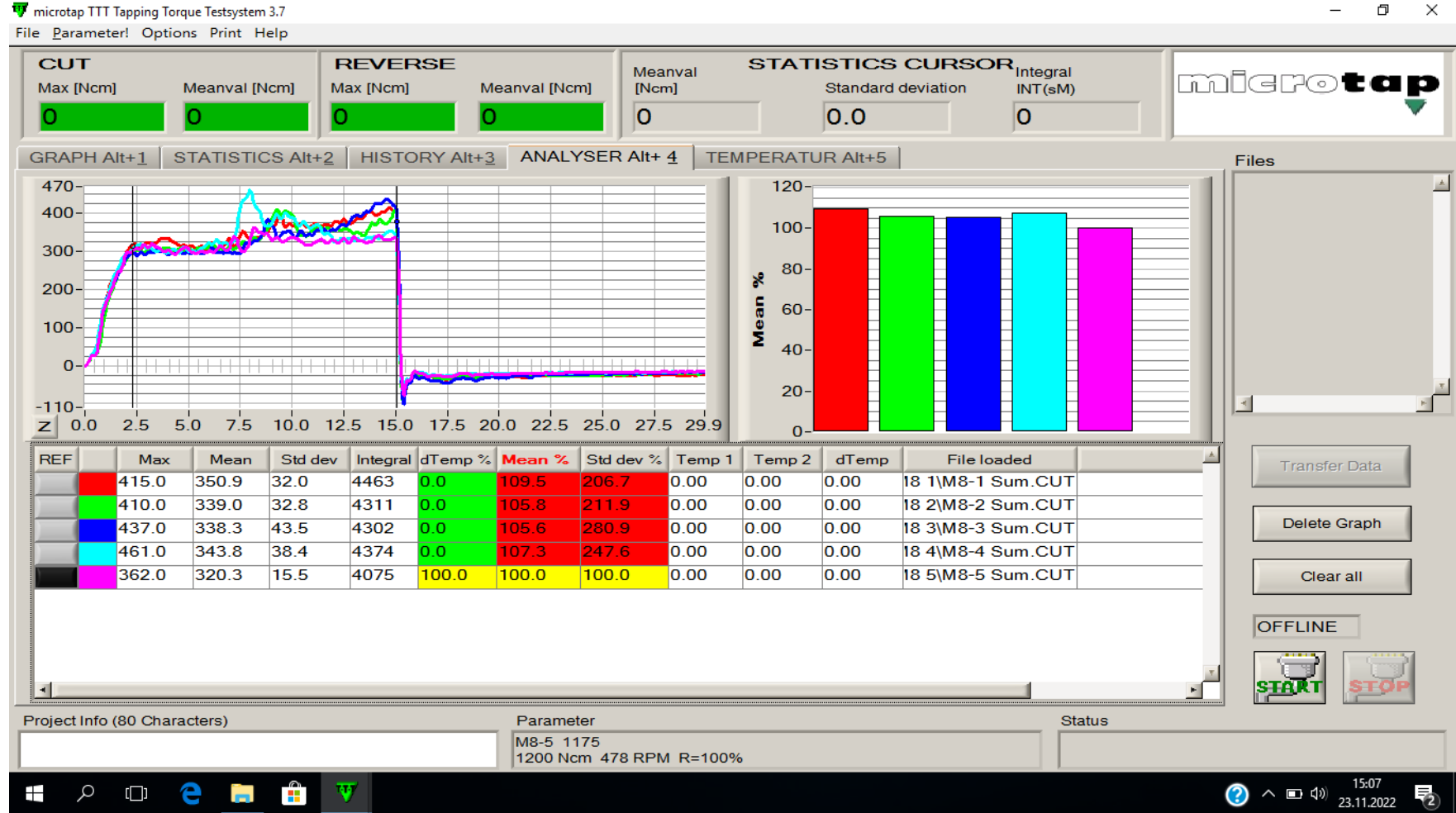


KAYNAKLAR

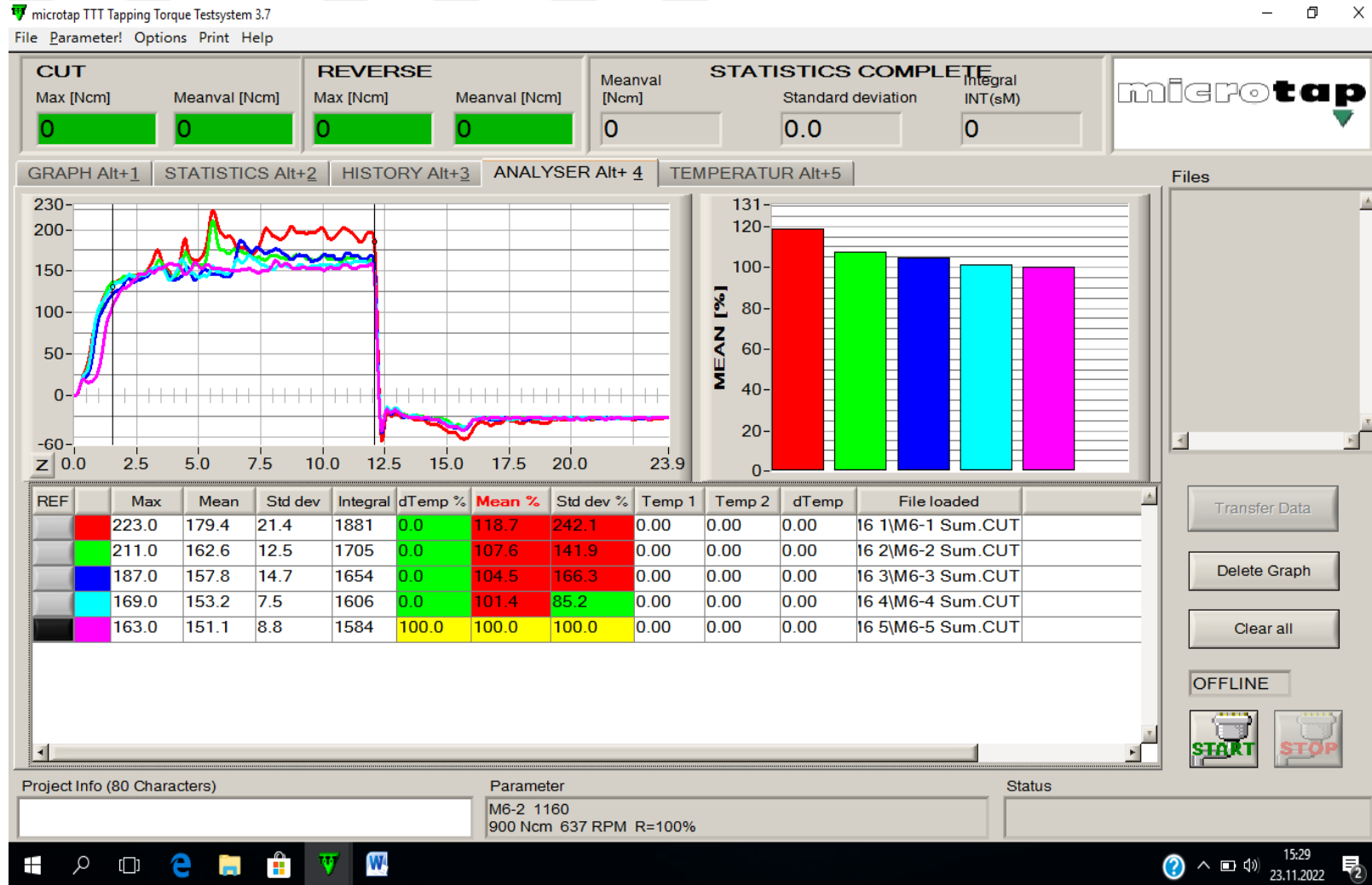
- [1] **Avuncan, G.** (1998). *Talaş Kaldırma Ekonomisi ve Kesici Takımlar*. İstanbul : Makine Takım Endüstri A.Ş.
- [2] **Klein, H. J., Pridgeon, J. W.**. *Effective Electroslag Remelting of Superalloys*. Stellite Division, Cabot Corporation, Kokomo, Indiana
- [3] **Gill, J. P.** (1922). *High Speed Steel - Its History, Development, Manufacture, Metallography, and Constitution, Including an Extended Bibliograph*. (Master Thesis), Missouri University of Science of Technology, Scholars' Mine, Missouri.
- [4] **ASTM International.** (1998). Tool Steels, fifth ed., p. 219.
- [5] **Hacisalihoglu, I., Yildiz, F., Alsaran, A.**, 2017. Wear performance of different nitride-based coatings on plasma nitrided AISI M2 tool steel in dry and lubricated conditions. *Wear* 384–385, 159–168.
- [6] **Hadian, A., Zamani, C., Clemens, F.J.**, 2018. Effect of sintering temperature on microstructural evolution of M48 high speed tool steel bonded NbC matrix cemented carbides sintered in inert atmosphere. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials* 74, 20–27
- [7] **Rousseau, A.F., Partridge, J.G., Gozükara, Y.M., Gulizia, S., McCulloch, D.G.**, 2016. Carbon evolution during vacuum heat treatment of High Speed Steel. *Vacuum* 124, 85–88.
- [8] **Blickwede, D.J., Cohen, M., Roberts, G.A.**, 1950. The effect of vanadium and carbon on the constitution of high speed steel. *Transactions ASM* 42, p1161.
- [9] **Casati, R., Coduri, M., Lecis, N., Andrianopoli, C., Vedani, M.**, 2018. Microstructure and mechanical behavior of hot-work tool steels processed by selective laser melting. *Materials Characterization* 137, 50–57.
- [10] **Thelning, K.E.** , *Steel and its Heat Treatment Bofors Handbook*, 1974
- [11] **Bayer, Alan M., Becherer, B.A., Vasco, T.** *Steel and its Heat Treatment Bofors Handbook*, 197



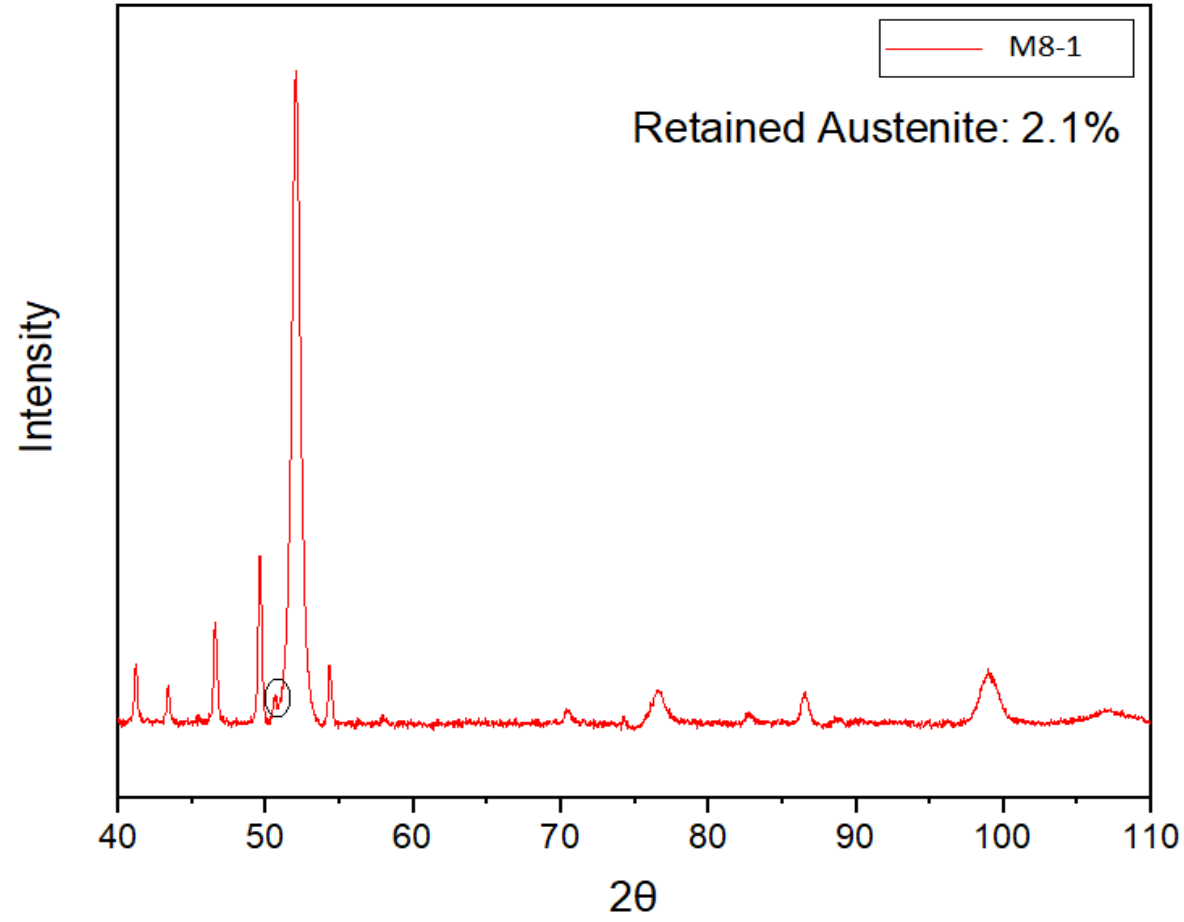
EKLER



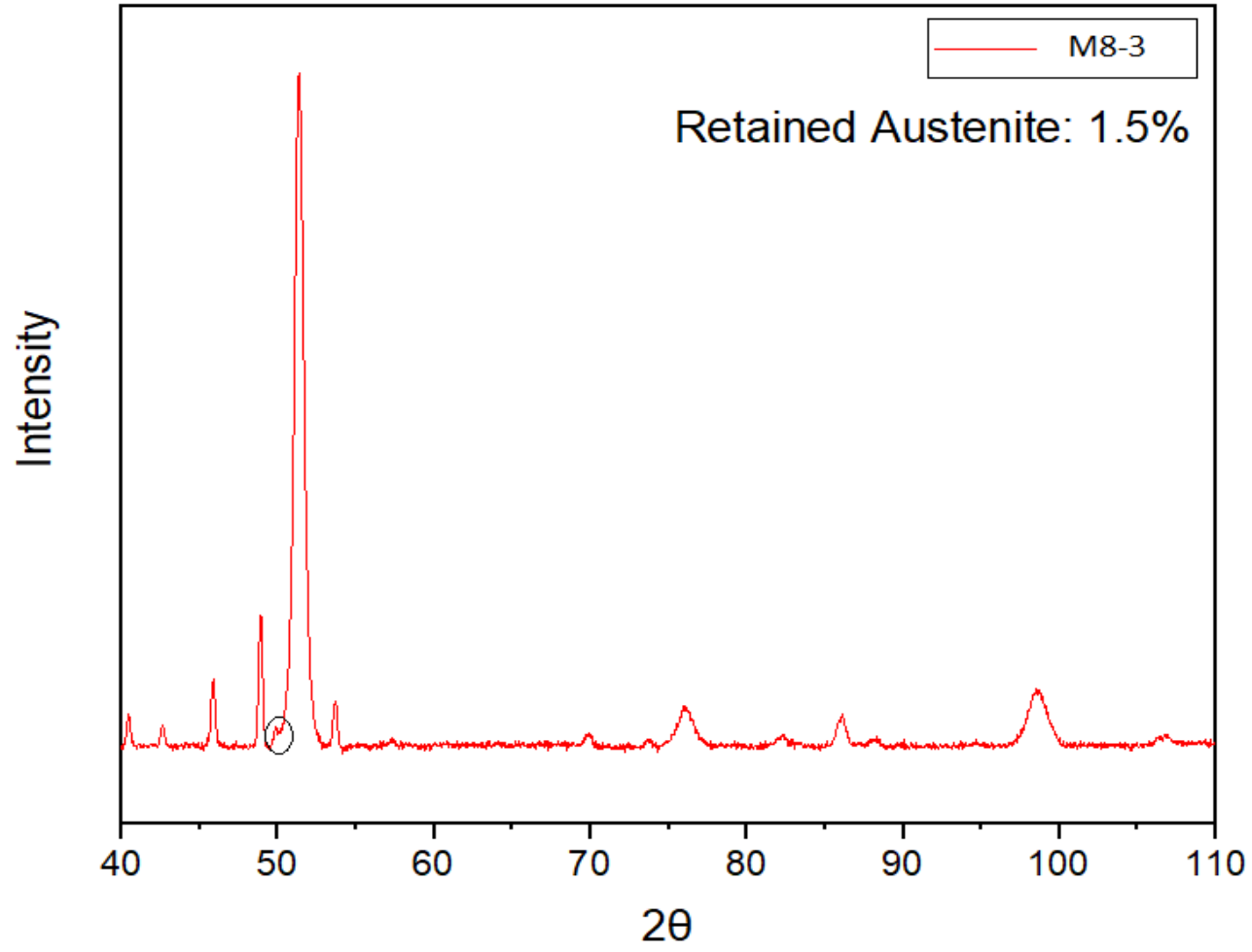
EK 1: M8 kılavuzlar için MicroTap kesme kuvvetleri deneyi sonuçları



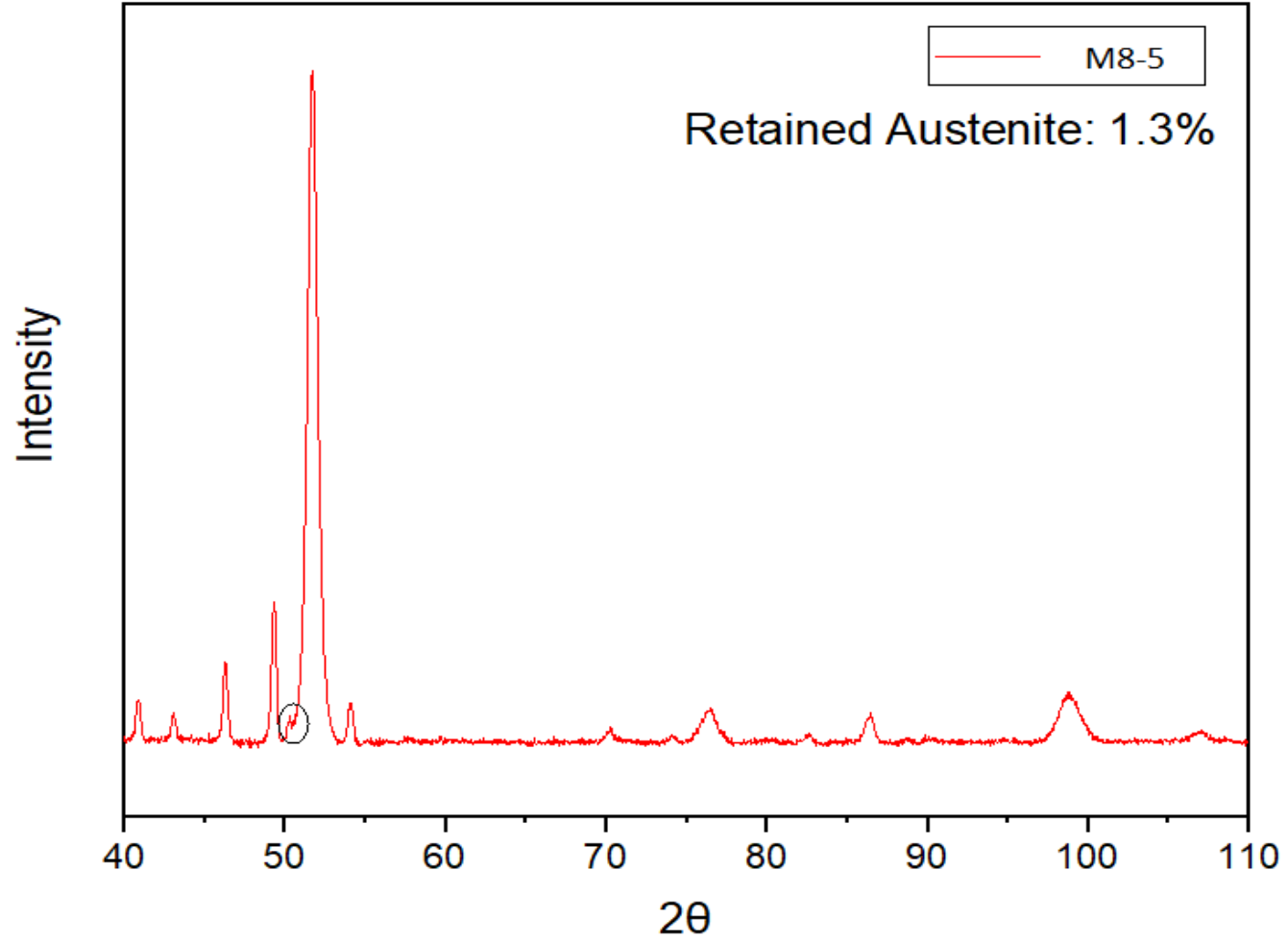
EK 2: M6 kılavuzlar için MicroTap kesme kuvvetleri deneyi sonuçları



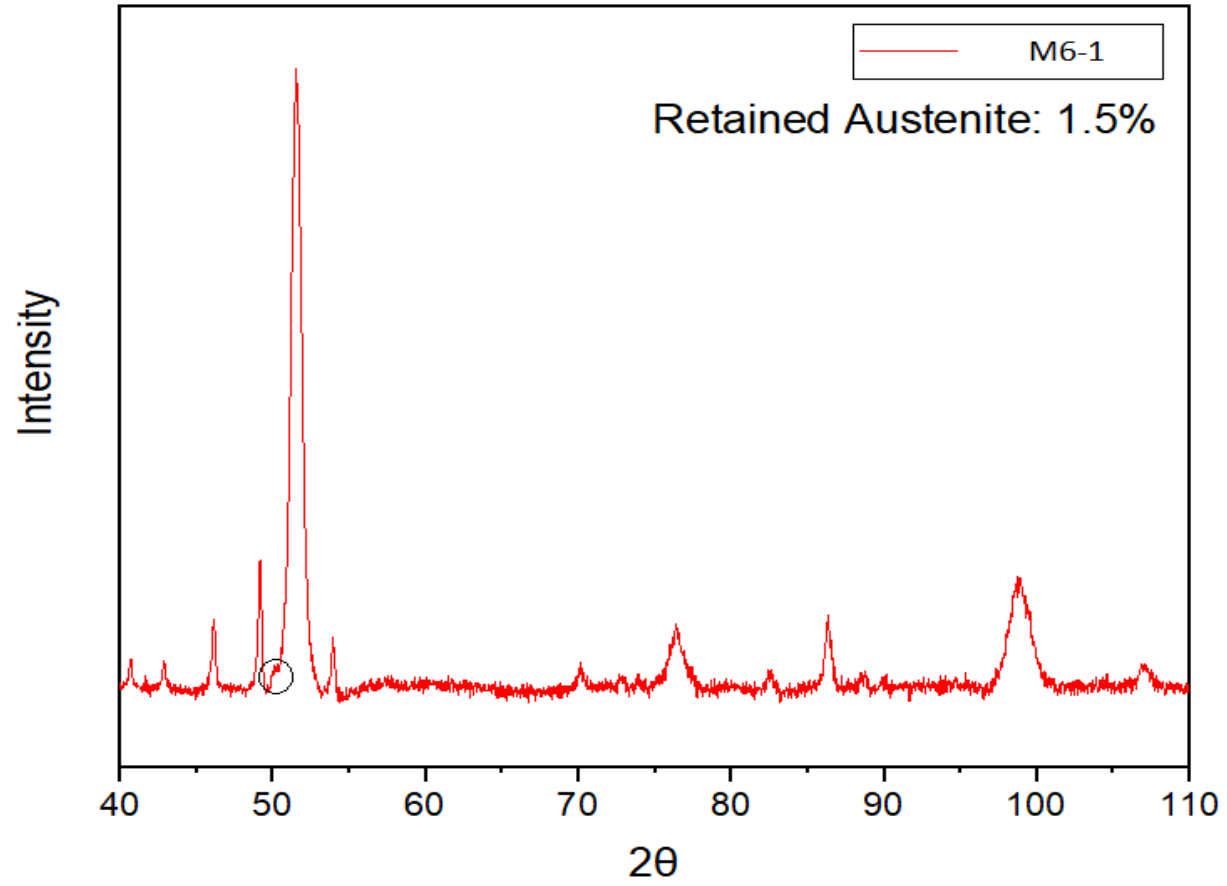
Ek 3: M8-1 numaralı numune için XRD sonuçları



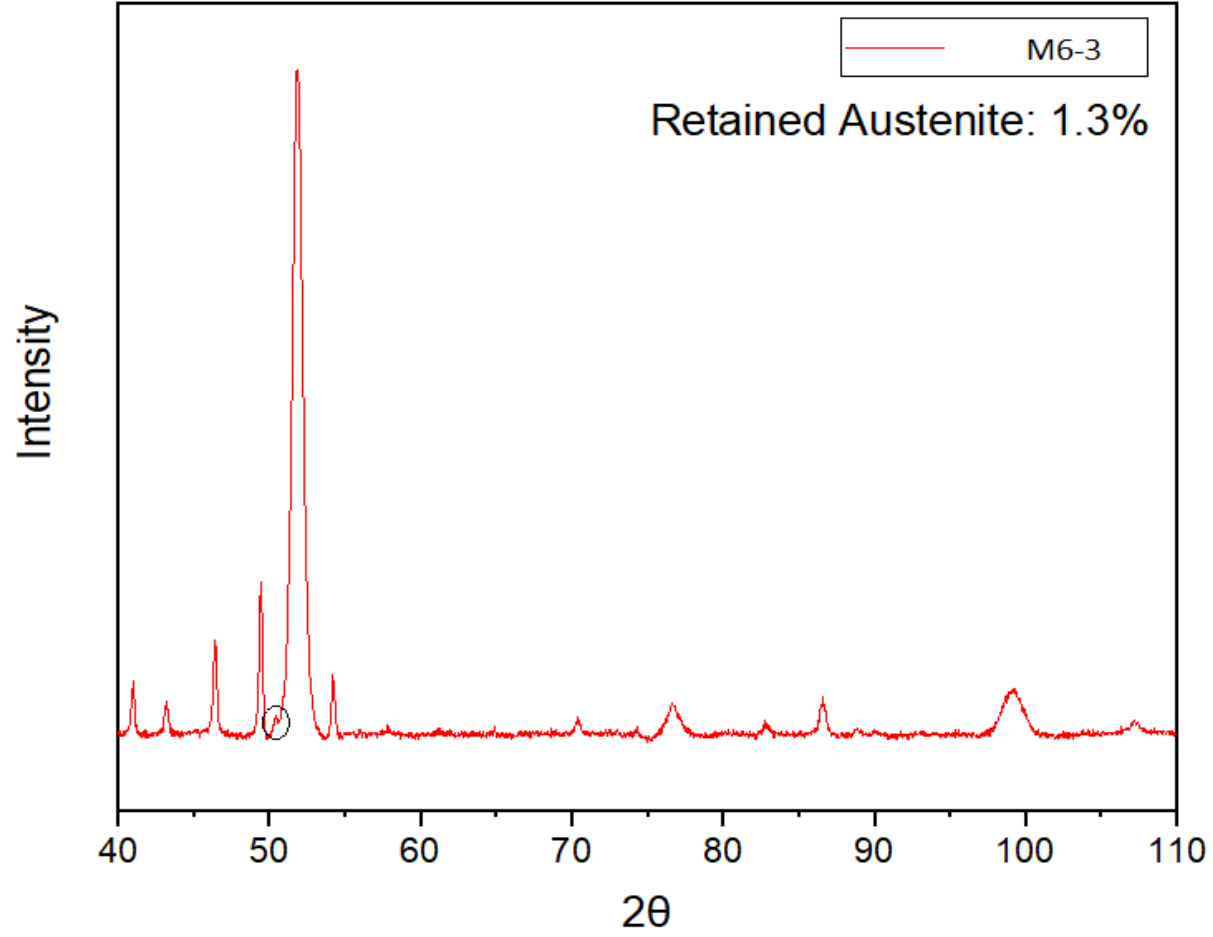
Ek 4: M8-3 numaralı numune için XRD sonuçları



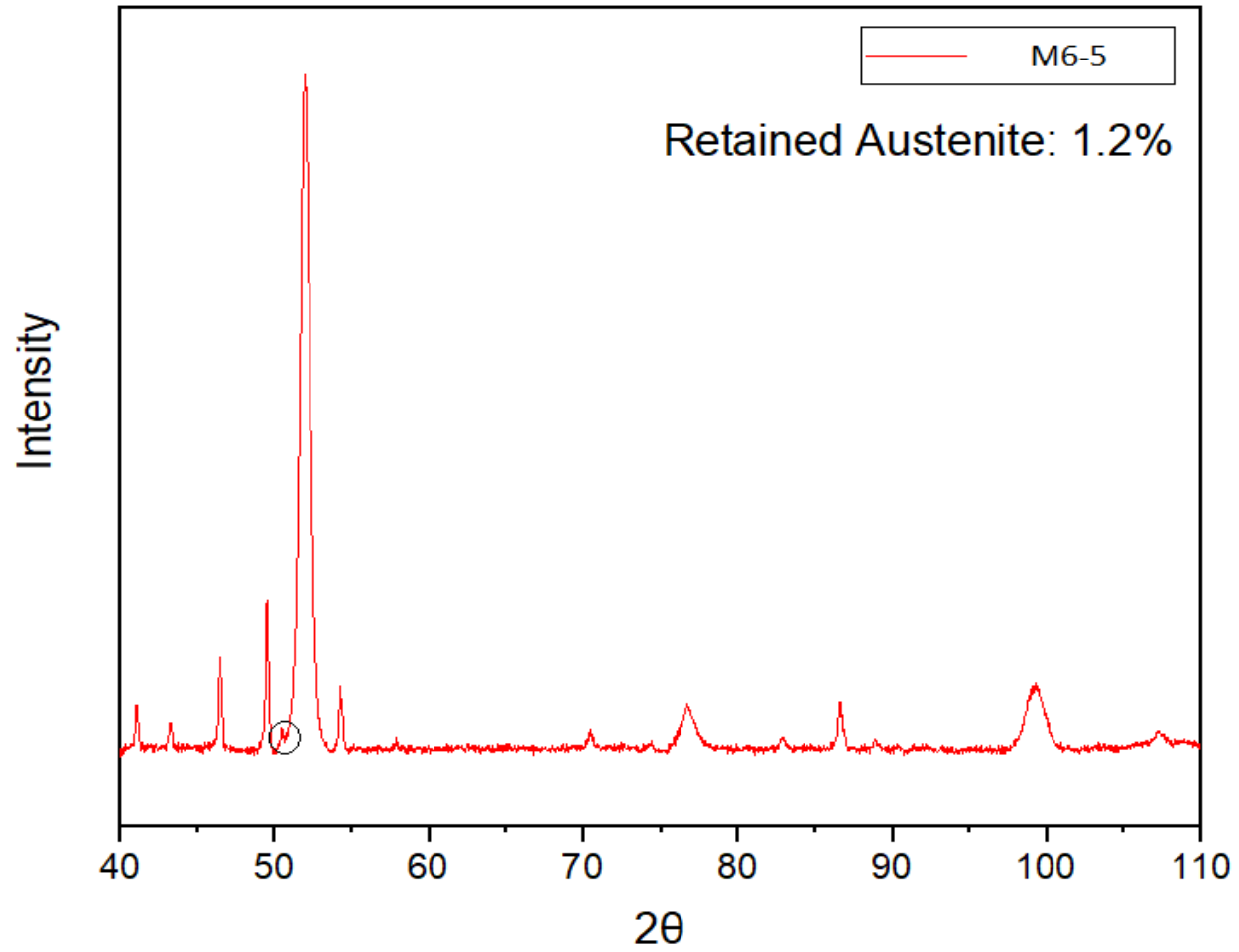
Ek 5: M8-5 numaralı numune için XRD sonuçları.



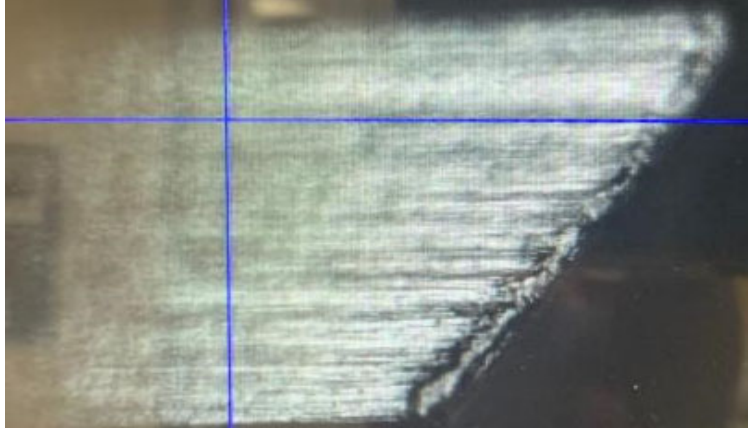
Ek 6: M6-1 numaralı numune için XRD sonuçları.



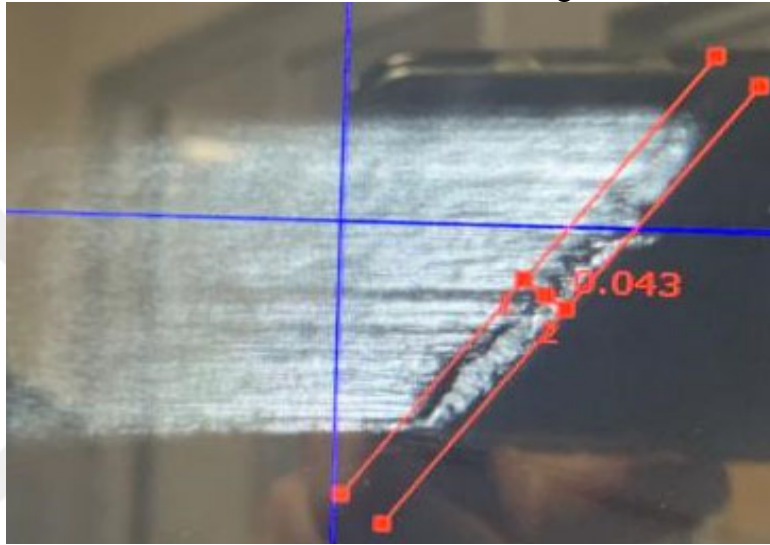
Ek 7: M6-1 numaralı numune için XRD sonuçları



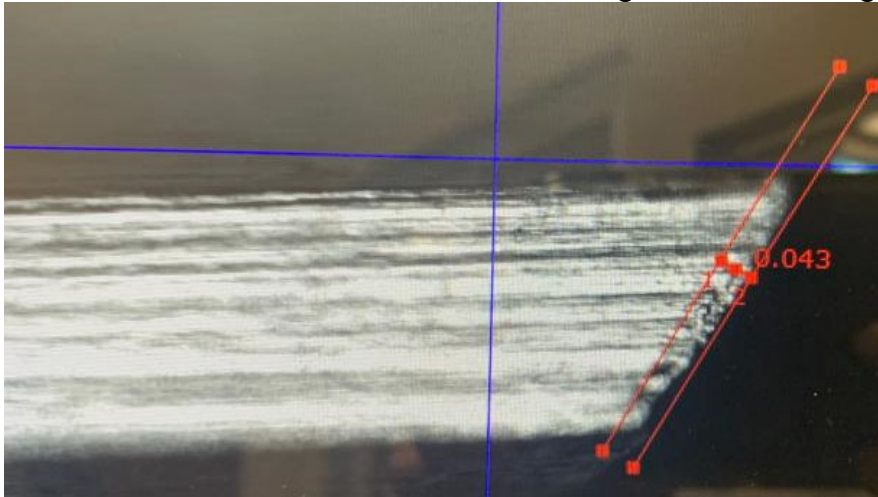
Ek 8: M6-1 numaralı numune için XRD sonuçları



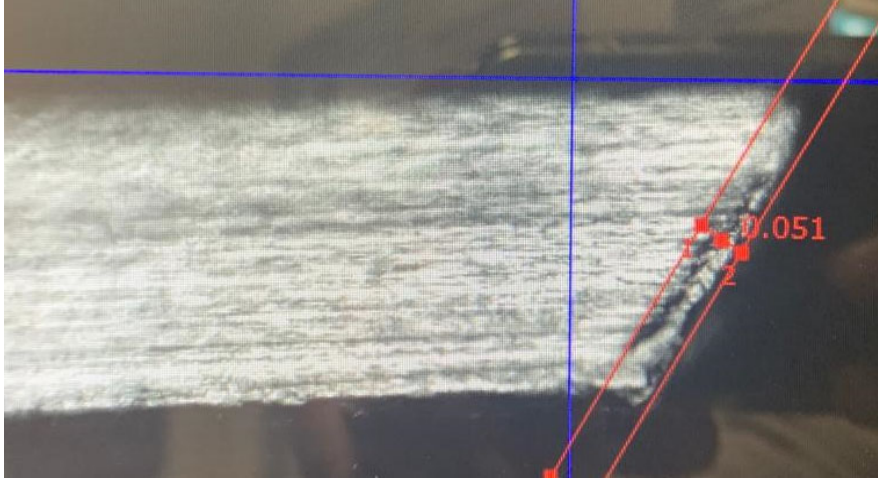
Ek 9: M6-5no'lu numunenin kesici bölgesinin makro fotoğrafı



Ek 10: M6-1no'lu numunenin kesici bölgesinin makro fotoğrafı



Ek 11: M8-5no'lu numunenin kesici bölgesinin makro fotoğrafı



Ek 12: M8-1no'lu numunenin kesici bölgesinin makro fotoğrafı



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Emin Ali EPCİM

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği
- **Yüksek lisans** : 2023, İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- 2020-.... Epcimler Sanayi Malzemeleri Ltd. Şti.