



**T.C.
Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Nitrürleme Ve İndüksiyon İle Yüzey
Sertleştirme İşlemlerinin Talaşlı İmalat
Parametrelerine Etkilerinin İncelenmesi**

Rümeysa DEMİRTAŞ

Yüksek Lisans Tezi



**NİTRÜRLEME VE İNDÜKSİYON İLE YÜZEY
SERTLEŞTİRME İŞLEMLERİNİN TALAŞLI İMALAT
PARAMETRELERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Rümeysa DEMİRTAŞ



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NİTRÜRLEME VE İNDÜKSİYON İLE YÜZEY SERTLEŞTİRME
İŞLEMLERİNİN TALAŞLI İMALAT PARAMETRELERİNE ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

Rümeysa DEMİRTAŞ
0009-0006-2150-9377

Prof. Dr. Hande GÜLER ÖZGÜL
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YÜZEY İŞLEM VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

BURSA-2024
Her Hakkı Saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NİTRÜRLEME VE İNDÜKSİYON İLE YÜZEY SERTLEŞTİRME İŞLEMLERİNİN TALAŞLI İMALAT PARAMETRELERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Rümeysa DEMİRTAŞ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüzey İşlem ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hande GÜLER ÖZGÜL

Yüzey pürüzlülüğü, bir malzemenin yüzeyindeki şekilsel düzensizliklerin ölçümüdür. Malzemenin görünümünü etkileyerek ürün kalitesini belirleyebilmekle beraber diğer taraftan mekanik özellikleri üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Endüstriyel uygulamalarda yüzey pürüzlülüğü, ürün tasarımı ve üretim süreçlerinde dikkat çekmektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılan çelik düşük karbon oranına sahip S235JR malzemedir. Bu çelik malzemeye iki farklı yüzey sertleştirme yöntemi uygulanmıştır. Vakum nitrürleme işleminde yaklaşık olarak 550-600°C arasında sıcaklıklarda fırın içerisine amonyak, karbondioksit ve hava gazları verilerek malzeme yüzeyine N ilavesi ile malzemenin kimyasal yapısının değiştirilmesi prensibine dayanmaktadır. İndüksiyon işleminde yaklaşık olarak 850°C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda elektrik akımı ile bobinlerin içerisine yerleştirilen malzemenin ısıtılması ve ani bir şekilde soğutulması ile malzeme sertliğini arttırmak için kullanılan bir yöntemdir. Sertleştirme işlemlerinin ardından S235JR malzemeye bazı mekanik testler (çekme testi, vickers sertlik testi) yapılmış ve ham malzemeye göre karşılaştırılmalar gerçekleştirilmiştir. Işık mikroskobu altında serleştirme yapılmış malzeme görüntüleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Isıl işlem sonrasında malzeme yüzeyine talaşlı imalat yöntemlerinden biri olan alın frezeleme ve taşlama işlemleri yapılmıştır. S235JR çelik malzemenin nitrürleme ve indüksiyon ile yüzey sertleştirme işlemi öncesinde yapılan frezeleme ve taşlama işlemleri ile nitrürleme ve indüksiyon işlemleri sonrası aynı parametrelerde yapılan frezeleme ve taşlama işlemlerinin yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Bu tez çalışmasındaki amaç, ısıl işlem ve sonrasında talaşlı imalat sürecinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: nitrürleme, indüksiyon, yüzey pürüzlülük, frezeleme, taşlama, sertlik testi, ışık mikroskobu

2024, ix+74 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF NITRIDING AND INDUCTION AND SURFACE HARDENING ON MACHINING PARAMETERS

Rümeysa DEMİRTAŞ

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Surface Treatment and Technologies

Supervisor: Prof. Dr. Hande GÜLER ÖZGÜL

Surface roughness is the measurement of shape irregularities on the surface of a material. While it can determine product quality by affecting the appearance of the material, it also has a significant effect on its mechanical properties. In industrial applications, surface roughness attracts attention in product design and production processes. The steel used in this study is S235JR material with low carbon content. Two different surface hardening methods have been applied to this steel material. In the vacuum nitriding process, it is based on the principle of changing the chemical structure of the material by adding N to the material surface by introducing ammonia, carbon dioxide and air gases into the furnace at temperatures between approximately 550-600°C. Induction process is a method used to increase the hardness of the material by heating and suddenly cooling the material placed inside the coils with electric current at high temperatures up to approximately 850°C. After the hardening processes, some mechanical tests (tensile test, vickers hardness test) were performed on the S235JR material and comparisons were made with the raw material. Hardened material images were examined in detail under a light microscope. After the heat treatment, face milling and grinding operations, which are one of the machining methods, were performed on the material surface. The milling and grinding processes performed before the nitriding and induction surface hardening process of S235JR steel material and the milling and grinding processes performed with the same parameters after the nitriding and induction processes were compared in terms of surface roughness. The aim of this thesis study is to examine the effects of heat treatment and subsequent machining process on surface roughness.

Key words: nitriding, induction, surface roughness, milling, grinding, hardness test, light microscope

2024, ix+74 pages

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamda her zaman ve her konuda destek olan, bilgi ve deneyimi ile çalışmalarımı yönlendiren kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Hande GÜLER ÖZGÜL'e teşekkürlerimi sunarım.

Numune temini ve lazer kesim işlemi sırasında yardımcı olan MKS Çelik Pres Makina firmasına, ısıtıl işlem konusunda yardımlarını benden esirgemeyen AS Çelik firmasına ve Katre İndüksiyon firmasına teşekkür ederim. Ayrıca talaşlı imalat işlemlerinin uygulanmasında yardımcı olan Taner KAPLAN'a (Kayra Makine) ve Şeker Fabrikası Müdürü Yaşar ÖZÜDOĞRU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Mekanik test konusunda yardımcı olan Yasin ÖZEN'e (Megem) ve tez çalışmamda tecrübelerini ve bilgilerini benimle paylaşan ayrıca yüzey pürüzlülük ölçümü konusunda yardımcı olan Abdullah Aytuğ ASLAN'a (Trimes Mühendislik) desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince karşılaştığım her sıkıntıda yanımda olan ve her konuda yardımcı olan sevgili babam Rafet DEMİRTAŞ'a ve büyük sabır gösteren sevgili annem Öznur DEMİRTAŞ'a, her konuda beni destekleyen canım ablalarım Sağra KESKİN'e ve Emine Nur GÜNGÖR'e, tecrübesini ve bilgisini benimle paylaşan canım kız kardeşim Nur Hüda DEMİRTAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunar ve bu çalışmayı biricik aileme armağan ederim.

Rümeysa DEMİRTAŞ

22/02/2024

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Çelik Nedir?	3
2.1.1. Çeliklerin sınıflandırılması	7
2.1.2 S235JR (St37) yapı çeliği.....	9
2.2. Talaşlı İmalat.....	10
2.2.1. Talaş kaldırmayı etkileyen faktörler	11
2.2.2. Talaşlı imalat yöntemleri.....	13
2.3. Yüzey Sertleştirme Yöntemleri.....	20
2.3.1.Kimyasal yapısını değiştirmeden yapılan yüzey sertleştirme işlemi	20
2.3.2. Kimyasal yapısını değiştirerek yapılan yüzey sertleştirme işlemi	24
2.3.3. Nitrüleme işlemine uygun çelik seçimi	30
2.4. Yüzey Pürüzlülüğü.....	32
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	33
3.1. Deney Malzemesi.....	33
3.2. Deneysel Çalışma.....	37
3.3. S235JR Malzemelere Vakum Nitrüleme İşlemi Yapılması.....	38
3.4. S235JR Malzemelere İndüksiyon İşlemi Yapılması	39
3.5. Deneysel Çalışmada Kullanılan Ölçüm Cihazları ve Tezgâhları.....	40
3.5.1. Çekme testi.....	40
3.5.2. Mikro sertlik testi	42
3.5.3. Işık mikroskobu analizi	43
3.5.4. Frezeleme işlemi	46
3.5.5. Satıh yüzey taşlama işlemi	47
3.5.6. Yüzey pürüzlülük testi	48
4. BULGULAR	50
4.1. Çekme Testi Analiz Sonuçları	50
4.2. Sertlik Testi Analiz Sonuçları	57

4.3. Frezeleme Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları.....	59
4.4. Taşlama Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları.....	64
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	68
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	74



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Al	Alüminyum
N	Azot
Cu	Bakır
Fe	Demir
σ	Gerilme (MPa)
P	Fosfor
H	Hidrojen
f	İlerleme hızı
C	Karbon
S	Kükürt
Cr	Krom
Co	Kobalt
V	Kesme hızı
t	Kesme derinliği
r	Kesici uç radyüsü
KA	Kesme açısı
TM	Kesici/iş parçası malzeme ikilisi
Mo	Molibden
μm	Mikrometre
Mn	Manganez
Ni	Nikel
O	Oksijen
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülük
Si	Silisyum
Vi	Titreşim
T	Takım ömrü
V	Vanadyum
HV	Vickers sertlik değeri
W	Wolfram

Kısaltmalar	Açıklama
AISI	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
EN	Avrupa Standardı
DIN	Alman Standartlar Enstitüsü
SAE	Otomobil Mühendisleri Derneği

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Demir-karbon denge diyagramı (Anonim, 2010).....	4
Şekil 2.2. Çelik içerisine ilave edilen karbonun dayanım ve sertliğe etkileri (Akdoğan Eker, 2008).....	5
Şekil 2.3. Çeliğe ilave edilen karbon oranının çekme ve akma dayanımı ve sertliği üzerine etkisi (Akdoğan Eker, 2008).....	5
Şekil 2.4. Çeliğe ilave edilen karbon oranının darbe dayanımı ve sünekliğe üzerine etkisi (Akdoğan Eker, 2008).....	6
Şekil 2.5. Çeliklerin sınıflandırılması (Anonim, n.d.-a).....	7
Şekil 2.6. Üretim yönteminin sınıflandırılması.....	10
Şekil 2.7. Talaş kaldırma işlemine ait kesit görüntüsü (Pınarlık & Abdulla, 2015).....	11
Şekil 2.8. Takım ve iş parçası birbirine göre izafi hareketleri (Işık, 2012)...	12
Şekil 2.9. Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan yöntemler.....	13
Şekil 2.10. Frezelemede kullanılan yatay freze tezgâhı (Yaldız, n.d.).....	15
Şekil 2.11. Frezeleme işleminde kullanılan düşey freze tezgâhı (Yaldız, n.d.).....	15
Şekil 2.12. Düzlemsel taşlama (Yamak, n.d.)	16
Şekil 2.13. Silindirik taşlama (Yamak, n.d.).....	17
Şekil 2.14. Taşlama tezgâhı (Yamak, n.d.).....	17
Şekil 2.15. İki delik çeşidi: a)açık delik b)kör delik (Çelik, n.d.).....	18
Şekil 2.16. Elle yapılan raybalama tekniği (Anonim, 2018).....	19
Şekil 2.17. Yüzey sertleştirme işlemi yapılmış dişli fotoğrafı (Şengül, n.d.)..	20
Şekil 2.18. Kimyasal yapısını değiştirmeden yapılan sertleştirme.....	21
Şekil 2.19. İndüksiyon akımı ile sertleştirme yapılan malzeme (Anonim, n.d.-b).....	22
Şekil 2.20. Akım frekansına göre sertleşme derinliğinin değişimi (Alaybeyoğlu, 2021).....	23
Şekil 2.21. Kimyasal yapısının değiştirilmesi ile malzemeye uygulanan sertleştirme yöntemleri.....	24
Şekil 2.22. Çelik malzeme yüzeyinde oluşan nitrürlenmiş bölge (Önder, 2013).....	25
Şekil 2.23. Plazma nitrüleme işleminin şematik gösterimi (U. Özdemir & Erten, 2003).....	27
Şekil 2.24. Nitrüleme işlemi sonucu farklı malzemelere ait sertlik değerleri (Anonim, n.d.-c).....	28
Şekil 2.25. Gaz nitrüleme işlem basamakları (Küçük, 2023).....	29
Şekil 2.26. Gaz nitrüleme sürecine ait difüzyon mekanizması (Gecü, 2014)	30
Şekil 2.27. Alaşım elementlerinin sertliğe olan etkisi (Topçu, 2010).....	31
Şekil 3.1. S235JR malzeme ait mikroskop görüntüsü (Çölova, 2021).....	33
Şekil 3.2. 500x dağlama sonrası nitrürlenme yapılmış malzeme.....	34
Şekil 3.3. 500x dağlama sonrası kenara yakın bölge nitrür bölgesi.....	34
Şekil 3.4. 500x dağlama sonrası indüksiyon malzeme.....	35
Şekil 3.5. 500x dağlama sonrası kenara yakın bölge indüksiyon bölge.....	35
Şekil 3.6. Spektral kimyasal analiz cihazı.....	36
Şekil 3.7. Deneysel akış şeması.....	37
Şekil 3.8. Nitrüleme işleminin gerçekleştirildiği vakum fırını.....	38
Şekil 3.9. Malzeme yüzeyine uygulanan indüksiyon işlemi.....	39
Şekil 3.10. Düz kesitli çekme test numunesi.....	40

Şekil 3.11.	Lazer kesim işlemi yapılmış S235JR malzeme görüntüsü.....	41
Şekil 3.12	Vickers mikro sertlik ölçüm cihazı.....	42
Şekil 3.13.	Kesme cihazı.....	43
Şekil 3.14.	Bakalite alma cihazı.....	44
Şekil 3.15.	Zımparalama ve parlatma cihazı.....	44
Şekil 3.16.	Işık mikroskobu cihazı.....	45
Şekil 3.17.	Bakalite alınmış malzeme görüntüsü.....	45
Şekil 3.18.	DAHLIH 1020 BA CNC frezeleme cihazı.....	46
Şekil 3.19.	Korloy marka WNMX09T316 kodlu bir karbür uç.....	47
Şekil 3.20.	Satın yüzey taşlama cihazı.....	48
Şekil 3.21.	Ortalama yüzey pürüzlülük Ra ölçüm cihazı.....	49
Şekil 3.22.	Cihazın ölçüm sırasındaki görseli.....	49
Şekil 4.1.	Ham malzeme gerilme- uzama diyagramı.....	50
Şekil 4.2.	Nitrüleme yapılmış malzeme gerilme- uzama diyagramı.....	51
Şekil 4.3.	İndüksiyon yapılmış malzeme gerilme- uzama diyagramı.....	51
Şekil 4.4.	Ham ve nitrüleme işlemi yapılmış malzemelerin dayanım değer karşılaştırılması.....	52
Şekil 4.5.	Ham ve indüksiyon işlemi yapılmış malzemelerin dayanım değer karşılaştırılması.....	53
Şekil 4.6.	Nitrüleme işlemi yapılmış malzemedeki plastik şekil değişimi...	54
Şekil 4.7.	Ham ve nitrüleme ile sertleştirilmiş malzeme arasında % uzama değer karşılaştırması.....	55
Şekil 4.8.	Ham ve indüksiyon ile sertleştirilmiş malzeme arasında % uzama değer karşılaştırması.....	56
Şekil 4.9.	İndüksiyon işlemi yapılmış malzemedeki plastik şekil değişimi...	56
Şekil 4.10.	Ham ve nitrüleme ile sertleştirilmiş malzemelerin sertlik değerleri karşılaştırması.....	57
Şekil 4.11.	Ham ve indüksiyon ile sertleştirilmiş malzemenin sertlik değerleri karşılaştırma.....	58
Şekil 4.12.	S235JR malzeme üzerinde oluşan çizik.....	58
Şekil 4.13.	Ham ve nitrüleme ile sertleştirilmiş malzemenin 2000 ilerleme miktarındaki yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırması.....	59
Şekil 4.14.	Ham ve indüksiyon ile sertleştirilmiş malzemenin yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırması.....	60
Şekil 4.15.	S235JR 2000 ilerleme miktarında frezeleme işlemi yapıldıktan sonraki görüntüsü.....	61
Şekil 4.16.	S235JR 500 ilerleme miktarında frezeleme işlemi yapıldıktan sonraki görüntüsü.....	61
Şekil 4.17.	Ham ve nitrüleme ile sertleştirilmiş malzemenin 500 ilerleme miktarındaki yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırılması.....	62
Şekil 4.18.	Ham ve indüksiyon ile sertleştirilmiş malzemenin 500 ilerleme miktarındaki yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırılması.....	63
Şekil 4.19.	Ham malzeme ve nitrüleme yapılmış malzeme arasında ortalama yüzey pürüzlülük değer karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.20.	Ham malzeme ve indüksiyon yapılmış malzeme arasında ortalama yüzey pürüzlülük değer karşılaştırılması.....	65
Şekil 4.21.	Ham malzeme ve nitrüleme yapılmış malzeme arasında ortalama yüzey pürüzlülük değer karşılaştırılması.....	66
Şekil 4.22.	Ham ve indüksiyon işlemi yapılmış malzeme arasında ortalama yüzey pürüzlülük değer karşılaştırılması.....	67

ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. S235JR malzemenin kimyasal kompozisyonu (Çölova, 2021).....	9
Çizelge 2.2. Nitrürleme yöntemi ile sertleştirilen bazı çelikler ve ulaşılan düşük sertlik değerleri (Kekik, 2015).....	31
Çizelge 3.1. S235JR çeliğinin malzeme standart kodları.....	33
Çizelge 3.2. S235JR malzemenin fiziksel özellikleri.....	33
Çizelge 3.3. S235JR malzemenin kimyasal kompozisyonu.....	36
Çizelge 3.4. Cihaz hakkında genel teknik özellikler.....	41
Çizelge 3.5. Taşlama cihazı hakkında genel bilgiler.....	47
Çizelge 3.6. Cihaz hakkında genel bilgiler.....	48
Çizelge 4.1. Çekme dayanımı verileri.....	50
Çizelge 4.2. S235JR malzemeye ait % uzama.....	54
Çizelge 4.3. Sertlik ölçüm sonuçları ve ortalamaları.....	57
Çizelge 4.4. 2000 ilerleme miktarına ait ölçüm sonuçları.....	59
Çizelge 4.5. 500 ilerleme miktarına sahip ölçüm sonuçları.....	61
Çizelge 4.6. Kaba taşlama işlemine ait veriler.....	64
Çizelge 4.7. İnce taşlama ait yüzey pürüzlülük değerleri ve ortalamaları	66

1. GİRİŞ

Malzeme özelliklerinin belirlenebilmesi için uygulanan imalat yöntemi, yüzey kaplama yöntemi ve uygulanacak ısı işlem yönteminin doğru ve uygun bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Malzeme yüzeyinde sertleştirme yapabilmek için kullanılan yöntemlerin ve parametrelerin etkili olduğu görülmüştür (Karşlı et al., 2021).

Yüzey sertleştirme yöntemleri incelendiğinde, sertleştirilen malzemenin özelliklerine, gereken sertlik değerine ve derinliğine, uygulanabilirliğine, malzemenin kullanım koşullarına ve geliştirilen teknolojiye bağlı olarak birçok farklı yüzey sertleştirme yönteminin kullanıldığı görülmektedir. Uygulamaya bağlı olarak; sert ve aşınmaya dayanıklı bir yüzeye sahip olan ancak iç yapısında süneklik gerektiren çelik malzemelere yüzey sertleştirme işlemi uygulanmaktadır. Bu amaçla, malzeme yüzeyinin istenen derinliğine kadar sertleşen ve sünek iç yapıdan ödün vermeyen çeşitli yüzey sertleştirme işlemleri geliştirilmiştir (U. Özdemir & Erten, 2003).

Nitrürleme yüzey sertleştirme yöntemlerinden biridir. Nitrürleme yönteminin iş parçasında uygulanmasıyla yüksek yüzey sertlik değerlerinin elde edilmesi, işlem maliyetinin düşük olması, boyutsal değişimlere sebep olmaması ve parametrelerinin kontrolü ile ihtiyaca uygun olarak yapılabilmesi gibi sağladığı avantajlar bu yöntemin önemini ve kullanımını arttırmaktadır (Korkmaz, 2020).

İndüksiyon yüzey sertleştirmede kullanılan bir yöntemdir. Karbon oranı %0,35'e olan çelikler sertleştirilebilir. Diğer yöntemler ile bu kadar düşük oranda karbon içeren çelikleri sertleştirmeye çalışmak mümkün değildir. Bunun sebebi ise, bünyelerinde düşük miktarda karbon oranı bulunması ve sert bir yapı olan martenzit yapıya geçerek karbür oluşturmamalarıdır (Yıldırım et al., 2017).

İmalat işlemlerinde kullanılan yöntemler yüzey pürüzlülüğü kalitesinde önemli bir etkidir ve kalite bakımından da farklılık göstermektedir. Parçanın kullanım alanlarına göre yüzey pürüzlülük değeri belirlenerek yüzeye uygun imalat yöntemi tercih edilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü; uç yarıçapı, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği gibi birçok parametrelere bağlıdır. Bu parametreleri değiştirerek etkileri de incelenmektedir (Demirdöğen et al., 2022).

İyi işlenebilirlik ve uygun yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşmak için optimum kesme koşullarının oluşturulması gerekmektedir. Bu nedenle; tezgâhın cinsi, kesici takım özellikleri, kesme koşulları, kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği gibi parametreler işlenebilirliği önemli ölçüde etkileyen değişkenlerdir. Doğru kesme şartları altında yüzey pürüzlülük değerlerinin optimum seviyede elde edilmesi için birçok araştırma yapıldığı görülmektedir (M. Özdemir, 2019).

Bu tez çalışmasında S235JR düşük karbonlu çelik malzeme kullanılmıştır. Bu çelik kolay şekil alabilen ve kaynaklanabilen bir çeliktir. Bu çeliğe iki farklı yöntem ile sertleştirme yapılmıştır. Bu yöntemlerden biri vakum nitrürleme, diğeri ise indüksiyon işlemidir. Vakum nitrürleme ile çelik yüzeyine N emdirilme işlemi uygulanırken, indüksiyon işleminde ise çelik malzeme yüksek sıcaklıklarda akım kullanılarak ısıtılması ve ani bir şekilde soğutulma işlemi yapılarak sertleştirilme yapılmıştır. Bazı mekanik testler uygulanarak değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu işlemler doğrultusunda farklı talaşlı imalat işlemleri yüzeye uygulanması ile yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılmıştır. Bu tez çalışmasındaki amaç, gerçekleştirilen işlemler neticesinde ham malzemeye göre kıyaslamalar yapılarak yüzey pürüzlülük üzerine etkileri incelenmiş ve sonuçları tartışılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Çelik Nedir?

Çelik malzemelerin nasıl ortaya çıktığına ve nerede kullanıldığına dair kesin bir bilgi olmamasına rağmen bazı teoriler vardır. 60 yüzyıl öncesinde demirden yapılmış olan aletlerin kullanıldığına dair bilgiler mevcuttur. Çelik sanayisindeki gelişmelerin 18. yüzyılda başladığı anlaşılmaktadır. Çelik, 1856-1864 yılları arasında Pierre Martin ve William Siemens'in tabanda hazırlama metodunu kullanmaları, Henry Bessemer'in ve Sydney Thomas'ın 1955'te değiştirgeçte arıtma sistemini keşfetmeleri ve Benjamin Huntsman 1970 yılında potadan iki ergitme metodunu bulmasıyla gelişimini sürdürmüştür (Aksoy, 2015).

Çelik, sanayi endüstrisinde en çok ihtiyaç duyulan malzemelerden biridir. Çelik malzemenin hem sert hem de aşınmaya karşı dayanıklı yapıda olması beklenir. Farklı alanlarda kullanılan çelik malzemelerin sertliği de farklılık gösterir. Örneğin, otomobilin teker hareketini sağlayan milin sertliği ile tren hareketini sağlayan milin sertlik değerleri birbirinden farklıdır. Malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla yüzey sertleştirme yöntemleri uygulanır (Yıldırım et al., 2017).

Çelik, Demir (Fe) ve Karbon (C) alaşımıdır. Karbondan farklı olarak alaşım elementleri ve empürite elementler de bulunur. Çeliğin iç yapısı ve içerdiği elementlerin kimyasal bileşimi çeliğe farklı özellikler kazandırır. Çeliğe değişik oranlarda alaşım elementleri katılabileceği gibi, çeşitli işlemler ile de içyapı kontrol edilerek kullanım amacına göre değişik özelliklerde çelik elde edilir. Manganez (Mn), Fosfor (P), Kükürt (S) ve Silisyum (Si) üretim sırasında hammaddeden kaynaklanan elementler olup, çelik bünyesinde belirli oranlarda bulunur. Diğer elementler (Cr, Ni vs.) istenilen miktarlarda çelik bünyesine ilave edilir (Ceran, 2007b).

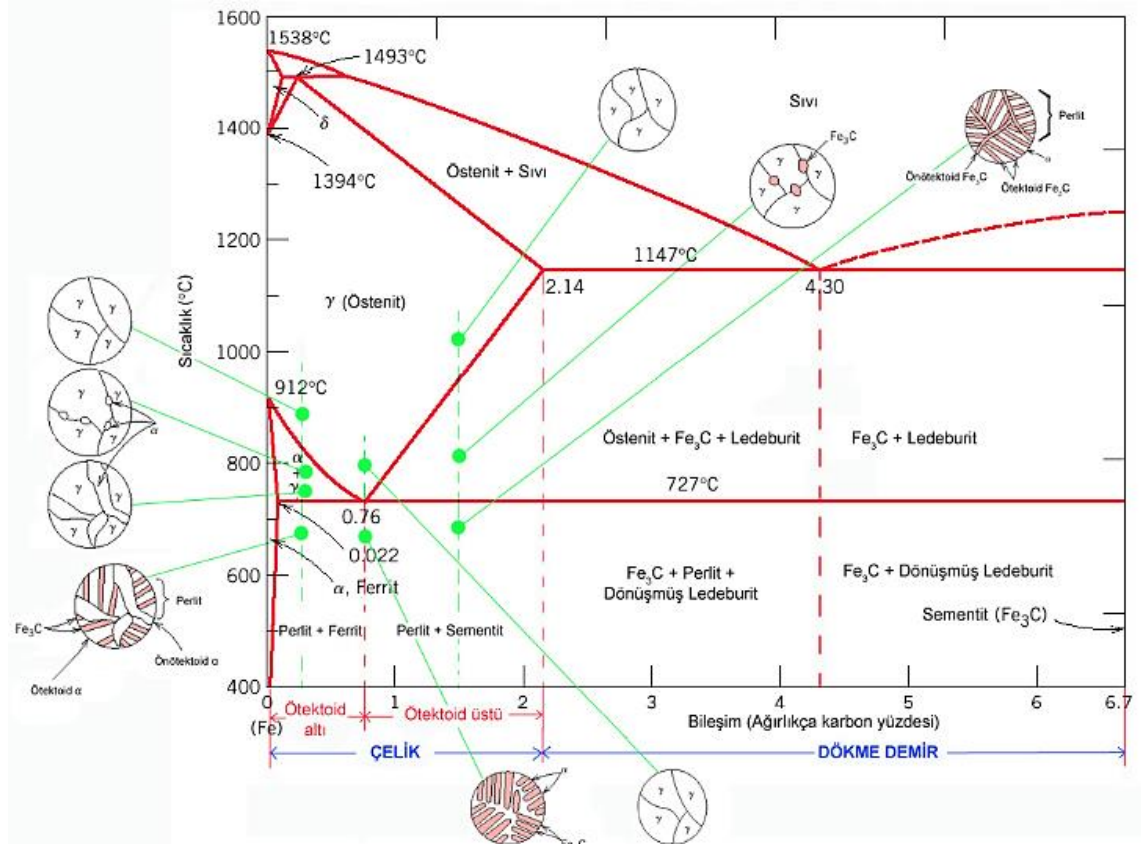
Çeliklerin temel özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Isıl işleme karşı hassas olan çelik malzemelere uygulanan işlemler malzemeye istenilen sertlik, mekanik, fiziksel elektriksel, korozyon ve yüksek sıcaklık gibi özellikler kazandırmayı amaçlamaktadır.
- Belli sıcaklıklar altında ısıtılan çelik yapılar şekil alabilme (presleme, haddeleme, dövme) özelliği kazanır. Kimyasal bileşim ve iç yapı olarak uygun olan çeliklere

presleme, haddeleme gibi yöntemlerle soğuk şekillendirme yapılabilir. Kimyasal bileşim açısından uyumlu olan çelikler kaynak yöntemi ile birleştirilebilir.

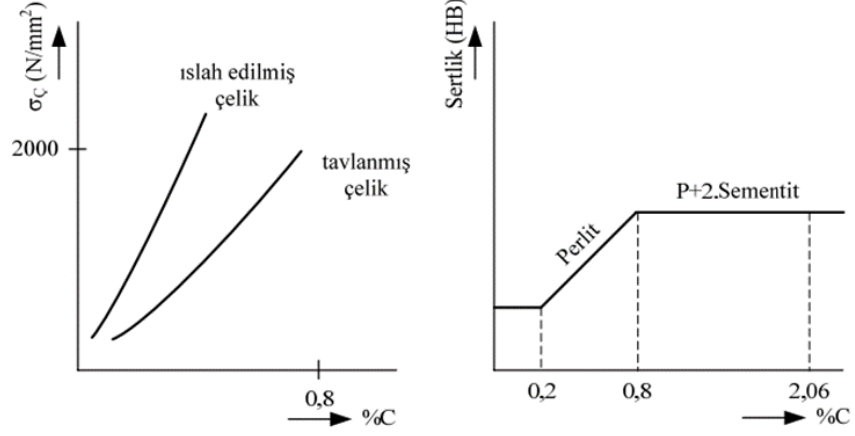
- Çelik malzemelere talaş kaldırma işlemleri uygulanarak istenilen şekil ve yüzey düzgünlüğüne getirilmek amaçlanmaktadır.
- Çeliklerin büyük bir kısmı çeşitli yöntemler kullanılarak metal ile kaplanmaya, emaye yapılmaya, boyanmaya ve plastik maddeler ile kaplanmaya elverişlidir (Ceran, 2007b).

Demir-karbon denge diyagramı Şekil 2.1 incelendiğinde, çelik bölgesinin %2,11'e kadar karbon bulunduran bölge olduğu ve dökme demir bölgesinin ise 2,12 ve 6,67 %C bulundurduğu varsayılmaktadır (Kekik, 2015).

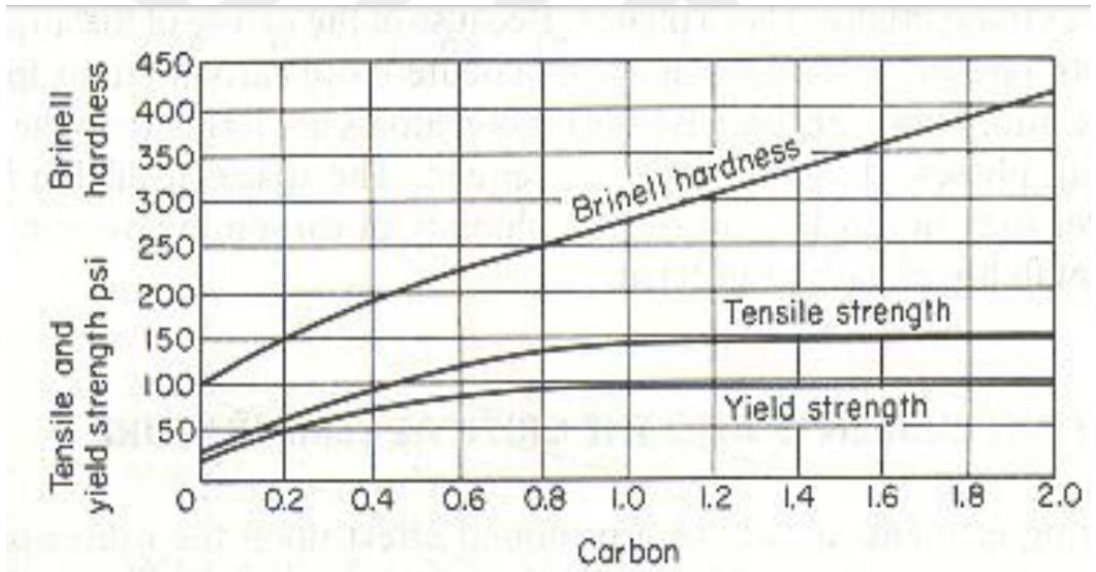


Şekil 2.1. Demir-karbon denge diyagramı (Anonim, 2010)

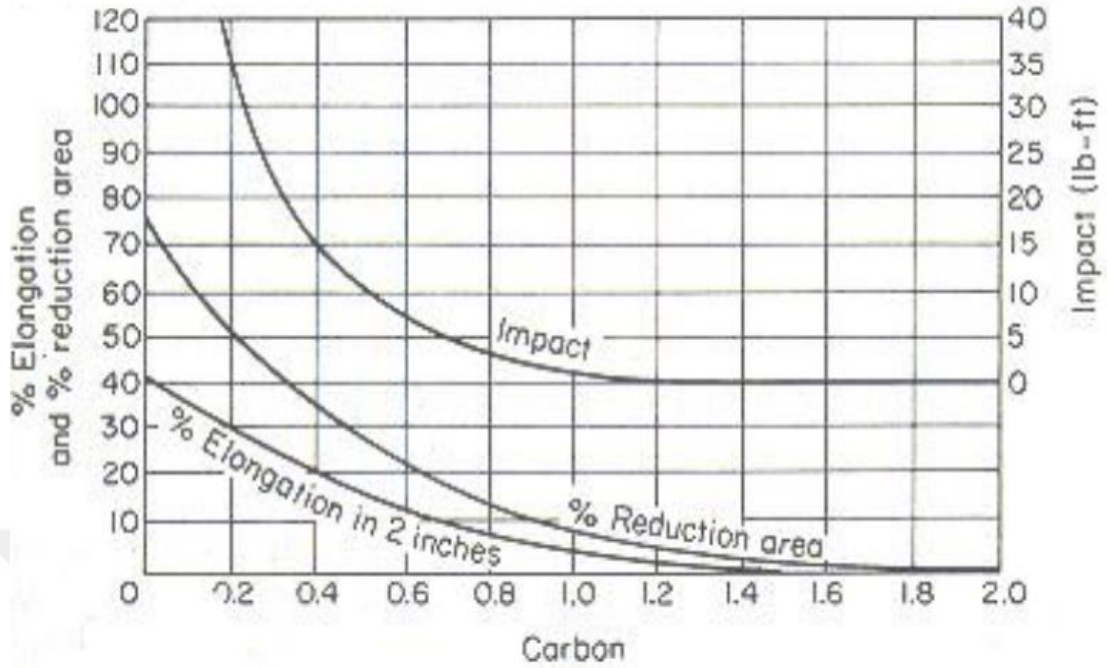
Karbon elementi çeliğin özelliklerinin değişmesine büyük oranda etki etmektedir. Karbon oranının etkisi Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Çelik içerisinde ilave edilen karbonun dayanım ve sertliğe etkileri (Akdoğan Eker, 2008)



Şekil 2.3. Çeliğe ilave edilen karbon oranının çekme ve akma dayanımı ve sertliği üzerine etkisi (Akdoğan Eker, 2008)



Şekil 2.4. Çeliğe ilave edilen karbon oranının darbe dayanımı ve sünekliğe üzerine etkisi (Akdoğan Eker, 2008)

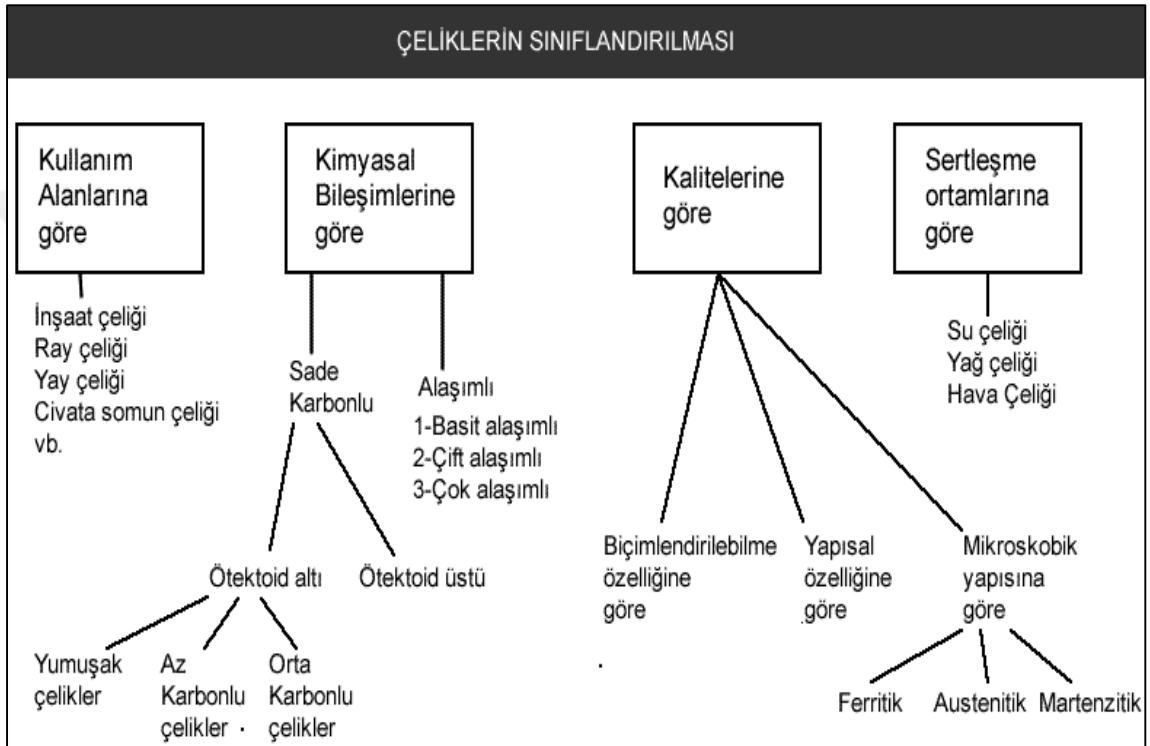
Katkı elemanlarının ilavesinin çeliğe kazandırdığı en önemli özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Malzemenin dayanımı ve sertliğini artırır.
- Sertleştirme işlemini kolaylaştırır.
- Malzemenin çekirdeğine kadar sertleştirmeyi sağlar.
- Korozyona karşı direncini artırır.
- Mıknatıslanma özelliğini iyileştirir.
- Yüksek sıcaklıklara karşı dayanımını artırır.
- Elektrik direnci yükseltir.
- Isı etkisi altında genleşmeyi ayarlar ve kristal yapısını inceltir (Karagöz, 2008).

Katkı elemanları olarak: Karbon (C), Silisyum (Si), Manganez (Mn), Fosfor (P), Kükürt (S), Oksijen (O), Azot (N), Hidrojen (H), Bakır (Cu), Krom (Cr), Molibden (Mo), Nikel (Ni), Wolfram (W), Vanadyum (V), Kobalt (Co), Alüminyum (Al) gibi elementleri sıralamak mümkündür.

2.1.1. Çeliklerin sınıflandırılması

Çelik, karbon miktarı % 0,02-2,06 bulunduran demir karbon alaşımıdır. Çelikleri kendi içerisinde gruptandırmak, çeliklerin daha kolay anlaşılmasını sağlayacaktır. Çelikleri kullanım alanlarına göre, bileşimlerine göre, üretim metoduna ve uygulanan ısıl işlem yöntemlerine göre çeşitli sınıflarda incelemek mümkündür (U. Yılmaz, 2016). Çeliklerin sınıflandırılması Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Çeliklerin sınıflandırılması (Anonim, n.d.-a)

Bu sınıflandırmalar içerisinde en yaygın kullanılan sınıflandırma çeşidi ise bileşimine göre çelikleri sınıflandırmadır. Çelikler yüksek karbonlu, orta karbonlu ve düşük karbonlu olacak şekilde 3 farklı grupta sınıflandırılmaktadır (Yahyaoğlu, 2021).

Kullanım alanlarına göre çelikler

Metalürji sanayisindeki çelikler genel olarak belli bir hedefe göre üretilmekte ve kullanım alanlarına göre çelikler isimlendirilmektedir. Bu çelikler, makine imalat çelikleri, takım çelikleri, yay çelikleri ve paslanmaz çelikler gibi birçok şekilde sınıflandırılmaktadır (Aksoy, 2015).

Alaşım elementlerine göre elikler

Alaşım elementlerinin miktarına göre bu gruptaki çelikler 2 gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

- Alaşımlı elikler
- Alaşımsız elikler

Alaşım elementi olarak yalnızca karbon elementinin bulunduğu grubun adı alaşımsız çeliklerdir. Bu grup çelikler sade karbonlu çelikler olarak da adlandırılmaktadır. Düşük, orta ve yüksek karbonlu elik olarak kendi içerisinde sınıflandırılmaktadır. Karbondan farklı olarak başka alaşım elementlerini belli miktarlarda içeren grubun adı alaşımlı elikleridir. Düşük ve yüksek alaşımlı çelikler olmak üzere kendi içerisinde 2 gruba ayrılmaktadır (U. Yılmaz, 2016).

Sertleştirme yöntemine göre çelikler

eliklere herhangi bir ısıl işlemin uygulanması ile mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için hem uygun bir elik hem de doğru bir yöntemin seçilmesi gerekmektedir. Isıl işlem yöntemine göre çeliklerin gruplandırılmasındaki amaç, ısıl işlem uygulanacak çeliğin seçimini daha kolay hale getirmektedir (U. Yılmaz, 2016).

Sertleştirme sürecinde ortam önemli bir etken olduğundan dolayı çeliklerin gruplandırılmasında bu ortamlar da kullanılmaktadır. Bu ortamlar aşağıdaki şekilde sıralanmıştır (Aksoy, 2015).

- Hava eliği
- Su eliği
- Yağ eliği

Kalitelerine göre elikler

Bu bölümde ise çelikler kalitelerine göre aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır (Anonim, n.d.-a).

- Biimlendirilme  zelliklerine göre: kesme, delme, dövme ve bükme gibi
- Yapısal  zelliklerine göre: korozyona, ısıya aşınama karşı dirençleri gibi
- Mikroskobik yapılarına göre çelikler: ferritik, östenitik ve martenzitik gibi

2.1.2. S235JR (St37) yapı çeliği

S235JR çeliği maksimum % 0,2 karbon miktarı bulunduran yapısal karbon çeliğidir. S235JR yapı çeliği inşaat sektörü, otomotiv sektörü, hizmet sektörü, yapı sektörü ve imalat sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu çeliğin içerisinde farklı çeşitte kimyasal elementler ve bileşenler bulunmaktadır. S235JR çeliği içerisinde C, Mn, P, S, N, Cu elementleri barındırmaktadır (Akgündüz, 2022).

Çeliğin mekanik özelliklerini etkileyen önemli elementlerden biri karbondur. Karbon elementi çeliğin temel yapı malzemesi olarak görülmektedir. Karbon miktarı çelik malzemeler için çekme ve akma mukavemetini önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca şekil alma ve şekil değiştirme özelliklerini çelik malzemeye kazandıran ve yapısında bulundurduğu elementlerden dolayı kaynak edilebilirliği de zorlaştırmaktadır (Akgündüz, 2022).

S235JR çelik malzeme sıcak haddeleme yapılmış çeliklerin içerisinde en yumuşak olanıdır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan ve çok tercih edilen bu çelik kolay şekil alabilme, sorunsuz şekilde kesim yapılabilmesi, kaynak yapılabilirliği gibi avantajlara sahiptir (Çölova, 2021).

S235JR çelik malzemesinin içerisinde bulunan Fosfor (P) ve Mangan (Mn) elementleri akma mukavemetini ve çekme mukavemetini artırmaktadır. Çeliğin imalatında Fosfor ve Mangan elementi çeliğin üretim süreci içinde yer almaktadır (Akgündüz, 2022).

S235JR malzemenin kimyasal kompozisyonu aşağıdaki Çizelge 2.1’de verilmiştir.

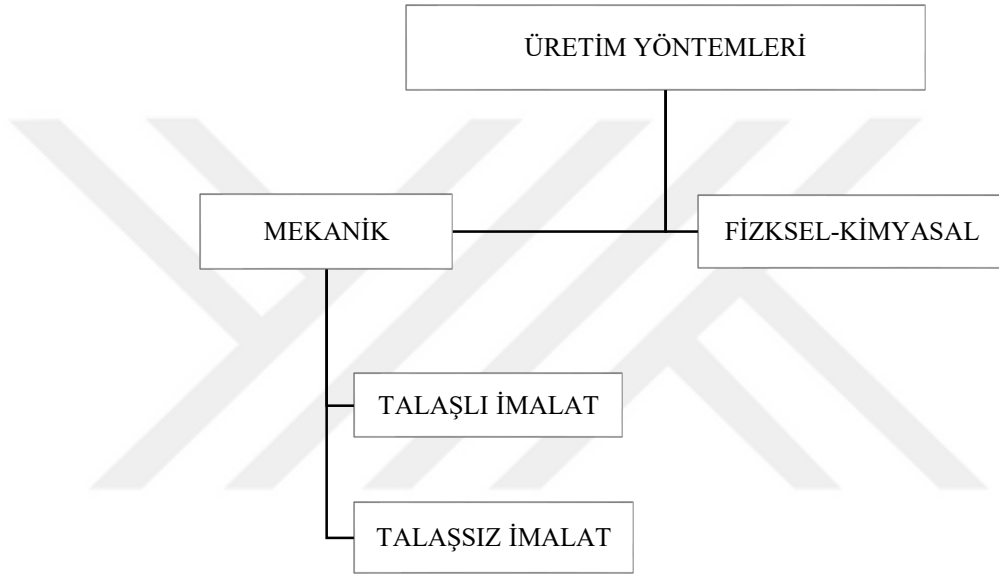
Çizelge 2.1. S235JR malzemenin kimyasal kompozisyonu (Çölova, 2021)

Element	Ağırlık (Maks.)
C (Karbon)	0,2
Mn (Manganez)	1,4
P (Fosfor)	0,04
S (Kükürt)	0,04
N (Azot)	0,012
Cu (Bakır)	0,55

2.2. Talaşlı İmalat

Talaşlı imalatın hedefi hammadde halinde bulunan bir malzemenin uygun olan bir ekipman yardımı ile yontularak istenilen bir forma dönüştürülmesidir. Bu yontulma işleminin asıl amacı nihai ürüne ulaşmaktır. Talaş kaldırma olarak da isimlendirilen bu yöntem kesici takımların aracılığı ile gerçekleştirilir (Yağlı, 2022).

İmalat yöntemleri kendi içerisinde mekanik ve fiziksel-kimyasal olmak üzere iki ana grupta Şekil 2.6’ da incelenmektedir.



Şekil 2.6. Üretim yöntemlerinin sınıflandırılması

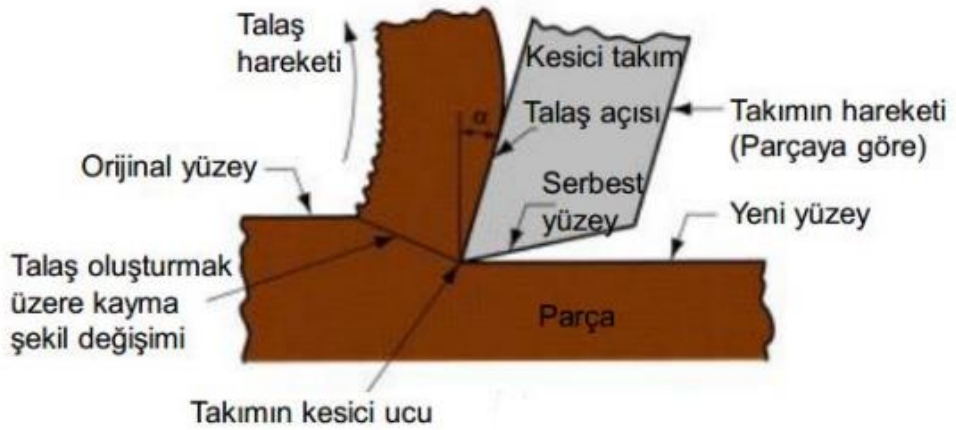
Mekanik imalat yöntemleri talaşlı imalat ve talaşsız imalat olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Talaşsız imalat yöntemindeki temel prensip iş parçası üzerinden talaş kaldırmadan uygun görülen kuvvetler altında istenilen şekli elde etmeye dayalıdır. Bu yöneme örnek olarak döküm, dövme, kaynak, haddeleme, presleme, çekme, bükme, lehim ve perçinleme gibi işlemler sıralanabilir (E. Öztürk, 2021).

Talaşlı imalat yöntemindeki temel prensip belli şekil ve boyutlarda tasarlanan iş parçasının uygun görülen kesici takım ve ekipmanların kullanılmasıyla malzemenin fazla olan kısmının yüzeyden uzaklaştırılmasıdır. Bu yöntemdeki asıl hedef son ürüne ulaşmaktır. Yaygın olarak kullanılan bu yöneme örnek olarak frezeleme, tornalama, raybalama, diş açma, planyalama ve vargelleme gibi yöntemleri sıralamak mümkündür (Yağlı, 2022).

2.2.1. Talaş kaldırmayı etkileyen faktörler

Talaşlı imalat metal bir malzemeye arzu edilen boyut ve istenilen şeklin malzemeye kazandırılması işlemidir. Bu işlemin gerçekleşebilmesi için uygun bir talaş oluşumu gerekmektedir. Şekil 2.7’de talaş kaldırma işlemine ait kesit görüntüsü verilmiştir. Talaş kaldırmayı etkileyen bazı faktörler mevcuttur. Bunları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Aktaş, 2021):

- Takım ömrü (T)
- Kesme hızı (V)
- Kesme derinliği (t)
- İlerleme hızı (f)
- Kesme açısı (KA)
- Titreşim (Vi)
- Kesici uç radyüsü (r)
- Soğutma sıvıları
- Kesici/iş parçası malzeme ikilisi (TM)



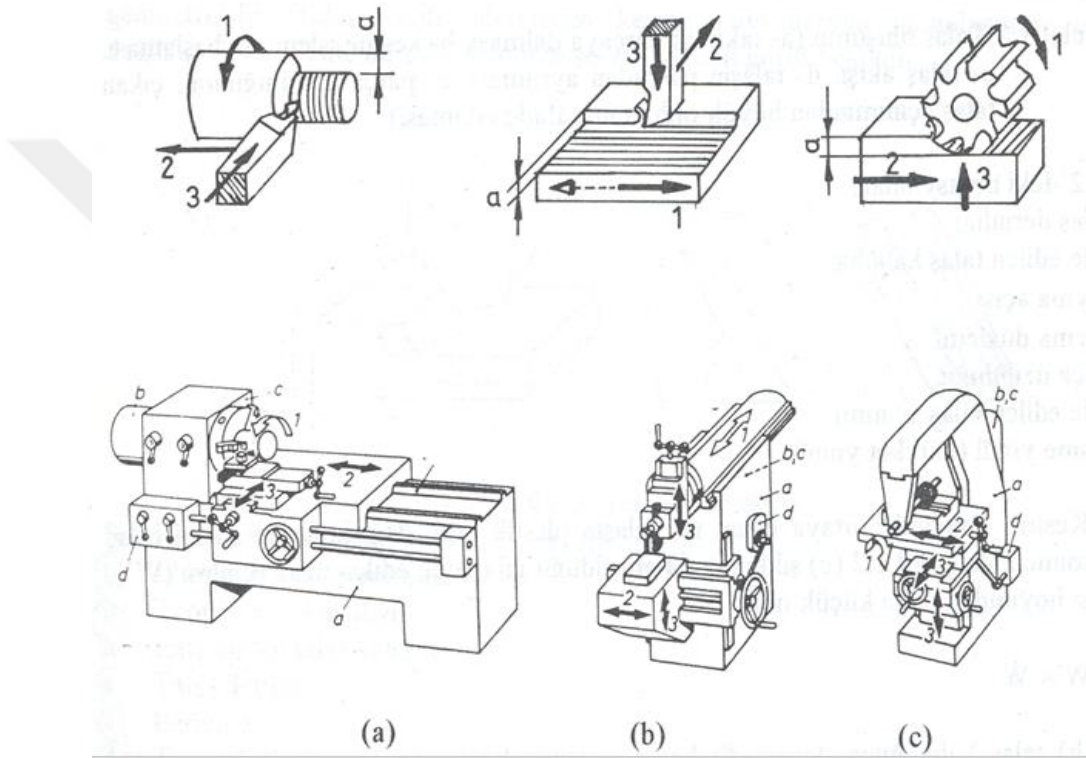
Şekil 2.7. Talaş kaldırma işlemine ait kesit görüntüsü (Pınarlık & Abdulla, 2015)

Takım tezgâhının işlenen malzemenin üzerinden tabaka halinde fazla olan malzemeyi yüzeyden uzaklaştırarak talaş kaldırabilmesi için bazı koşullar sağlanmalıdır. Bunlar:

- Seçilen kesici takımı işlenecek malzemedен daha sert olmalı,
- İş parçasının üzerine kesici takımın kuvvet yönünde hareket ettirilmesi,

- Kesici takım 1ş parçasının üzerine bir kuvvet uygulamalı,
- Talaş kaldırma işleminin yapılabilmesi için seçilen kesici takım ve malzeme arasında izafî bir hareket meydana gelmeli,
- Kesme işlemini gerçekleştirecek kesici takımını uygun bir geometriye sahip olmalı (Işık, 2012),

Torna, freze ve vargel gibi tezgâhların takım ve iş parçası birbirini üzerindeki izafî hareketleri Şekil 2.8’de gösterilmektedir.



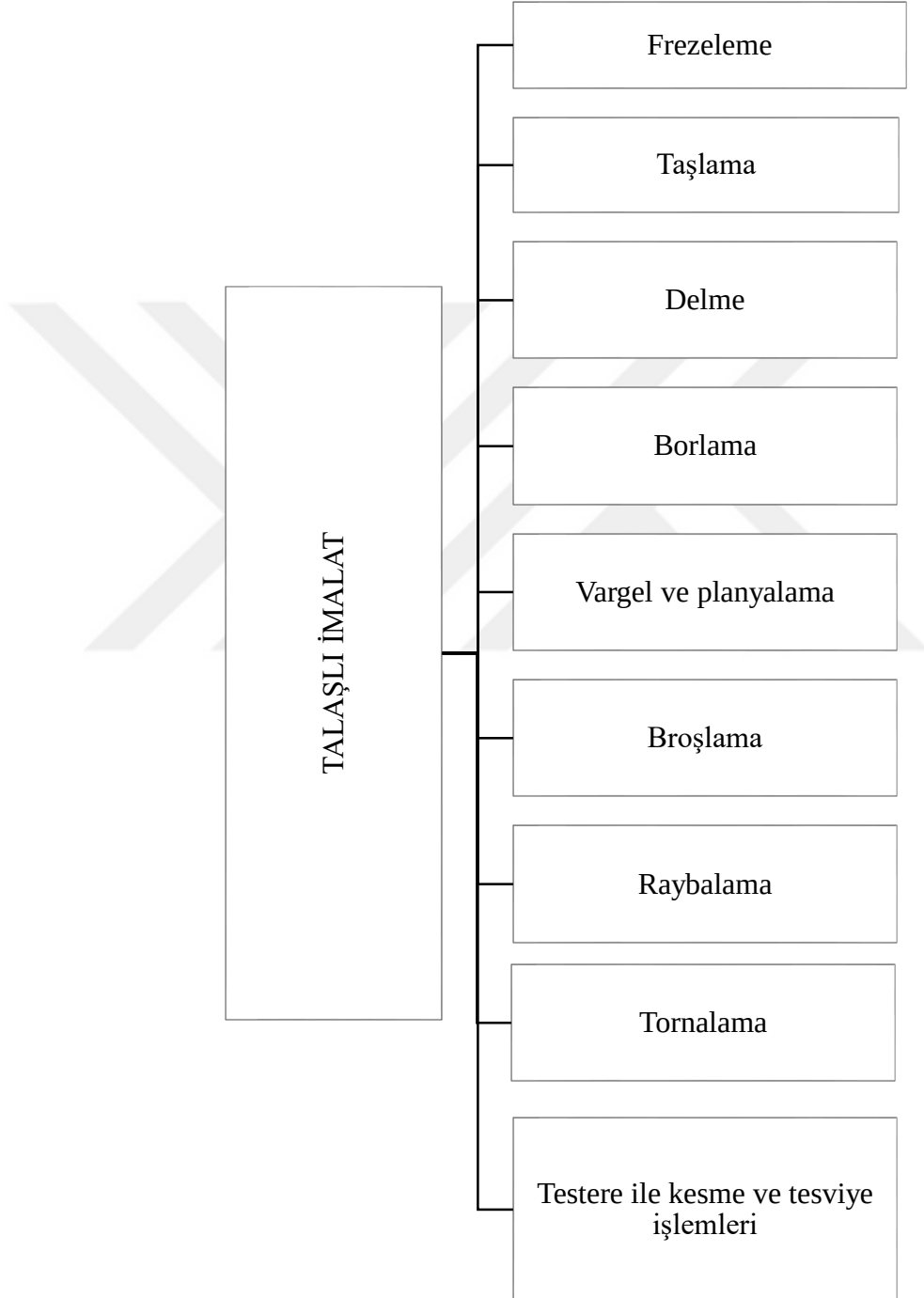
Şekil 2.8. Takım ve iş parçası birbirine göre izafî hareketleri (Işık, 2012)

Talaşlı imalat yapan takım tezgâhları çalışma özellikleri bakımından üç şekilde gruplandırılır. Bunlar;

1. Talaş kaldırma metoduna göre
2. Kontrol yöntemine göre
 - Elle kontrol
 - Otomatik kontrol: mekanik ve nümerik kontrollü tezgâhlar
3. Amacına göre üniversal ve tek amaçlı tezgâhlar (Işık, 2012)

2.2.2. Talaşlı imalat yöntemleri

Talaşlı imalatta birçok teknik kullanılarak yüksek boyutsal hassasiyet ve iyi bir yüzey kalitesine sahip farklı geometrilerde şekiller üretilmektedir (Yamak, n.d.). Şekil 2.9’da talaşlı imalatta kullanılan teknikler gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan yöntemler

Frezeleme

Frezeleme yöntemindeki işleyiş, kesici takımın döndürülerek iş parçası üzerinden talaş kaldırılması ile gerçekleştirilen imalat yöntemlerinden biridir. Çalışma prensibi, tabla üzerine sabitlenmiş iş parçasının üzerine kesici takımın doğrusal ve ya dairesel bağlı hareketi ile farklı oranlarda talaş kaldırılarak iş parçasından uzaklaştırılmasına dayanmaktadır (Şeker, 2020).

Bu yöntemde genel olarak düzgün geometrilili parçalar ve silindirik olmayan parçalar işlenmektedir. Frezelemede işlem hızı bazı parametrelere bağlıdır. Bular aşağıda sıralanmıştır.

- Kesici takımın diş derinliği
- İş parçasının ilerleme hızı
- Kesici takıma verilen işleme derinliği

Bu parametreler işlem uygulanacak parçanın yüzey özelliklerini ve iş parçasından uzaklaştırılacak talaşın şeklini etkilemektedir (Yamak, n.d.).

Frezelemede kesme hızı; iş parçası yüzeyinden kesici takımın dönme hareketi yaparak talaş kaldırma amacıyla dakikada metre cinsinden aldığı yoldur. Kesme hızına ait denklem (2.1)'de ve birimler aşağıda gösterilmektedir (E. Öztürk, 2021).

Burada;

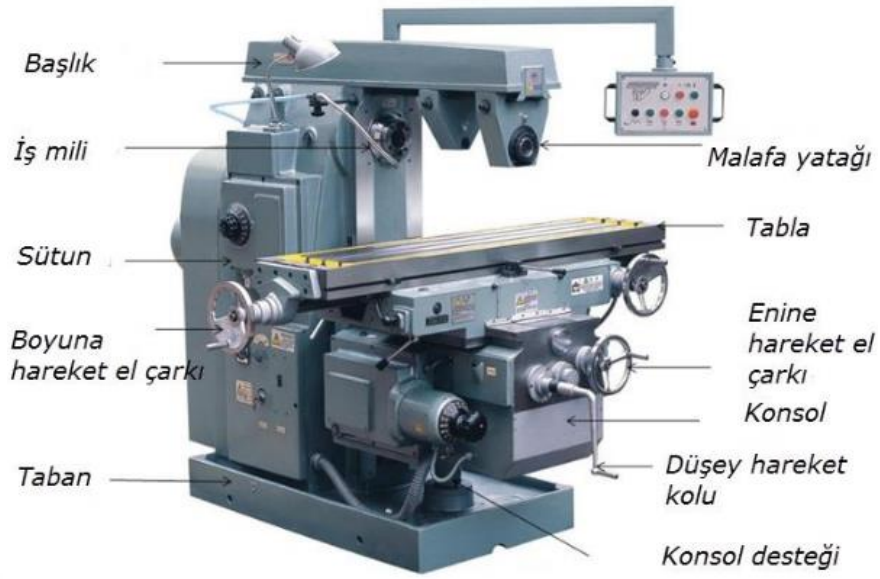
$$V = \pi \times D \times N / 1000 \quad (2.1)$$

V: Kesme Hızı (m/dk)

D: Kesici Takımın Çapı (mm)

N: Devir Sayısı (dev/dk)

Freze tezgâhlarının isimlendirilmesinde takımın bağlandığı iş milinin konumu önem arz etmektedir. Mil konumunun yatay ve dikey olmasına göre adlandırılırlar. Yatay olan tezgâhlara; yatay freze ve dikey olan tezgâhlara; düşey freze denir. Hem yatay hem de dikey olarak çalışan frezelere universal freze denilmektedir (Yaldız, n.d.). Frezeleme işleminde kullanılan tezgâhlar Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Frezelemede kullanılan yatay freze tezgâhı (Yaldız, n.d.)



Şekil 2.11. Frezeleme işleminde kullanılan düşey freze tezgâhı (Yaldız, n.d.)

Frezeleme işlemi, yüksek üretim hızı, iş parçasına 3 boyutlu şekillerin kazandırılmasında ve meydana getirilen şekil çeşitliliğinden dolayı yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Frezelemede kullanılan kesici takıma freze kesicisi ve freze kesici takımın uçlarına da diş denilmektedir. Frezeleme işleminde kullanılan kesici takımın dişleri iş parçasından talaş kaldırarak malzemeye istenilen formu vermektedir. Her kesme işleminde, kesici dişler darbe kuvvetine dayanacak şekilde üretilmektedir. Frezeleme işlemi, iki ana grupta içinde gruplandırılmaktadır (Camcı, 2020). Bunlar;

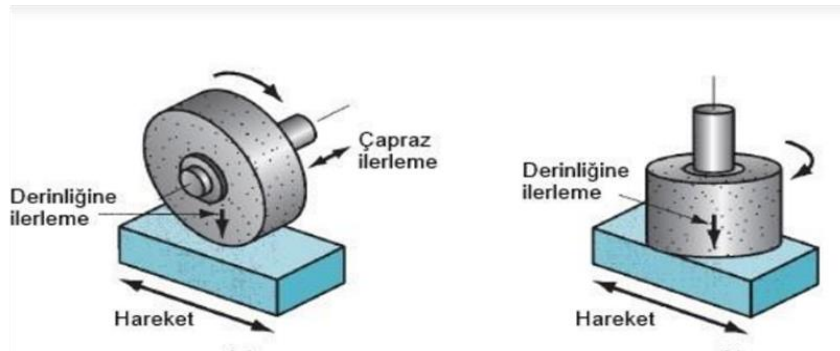
- Alın frezeleme
- Çevresel frezeleme

Alın frezeleme talaş kaldırma işleminde silindirik freze çakısı ya da takma uçlu freze çakısı ile iş parçası üzerinden talaşın uzaklaştırılması metodudur. Bu metotta kullanılan freze çakısı frezelenmekte olan yüzey bölgesine diktir. Düz frezeleme olarak da bilinen çevresel frezelemede ise malzemeye uygulanan işlemler direkt olarak takımın çevresinde bulunan dişler vasıtasıyla yapılmaktadır (Anonim, 2021).

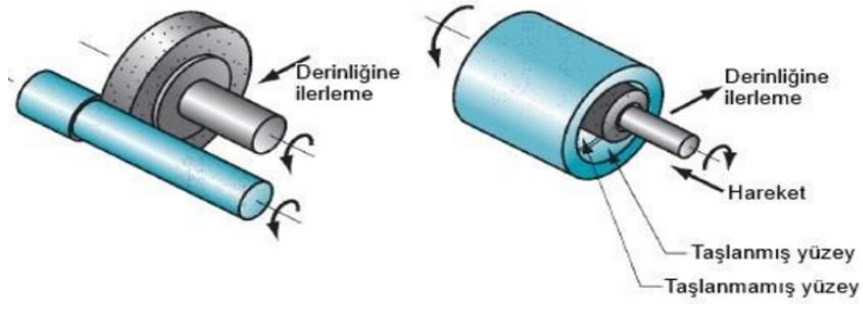
Taşılama

Taşılama, talaşlı imalat yöntemlerinden biridir. Bu yöntem taş olarak isimlendirilen bir takımın dönmesi veya ilerleme hareketi yapmasıyla gerçekleşmektedir. Taşılama tezgâhının çeşidine göre, takım veya iş parçası tarafından ilerleme hareketi belirlenir. Taşılama yönteminin amacı, işlenen parçaların yüzey kalitesini iyileştirmektedir (Yamak, n.d.). Taşılama yöntemi iki gruba ayrılır ve Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'te gösterilmiştir. Bunlar:

- Düzlemsel taşılama
- Silindirik taşılama

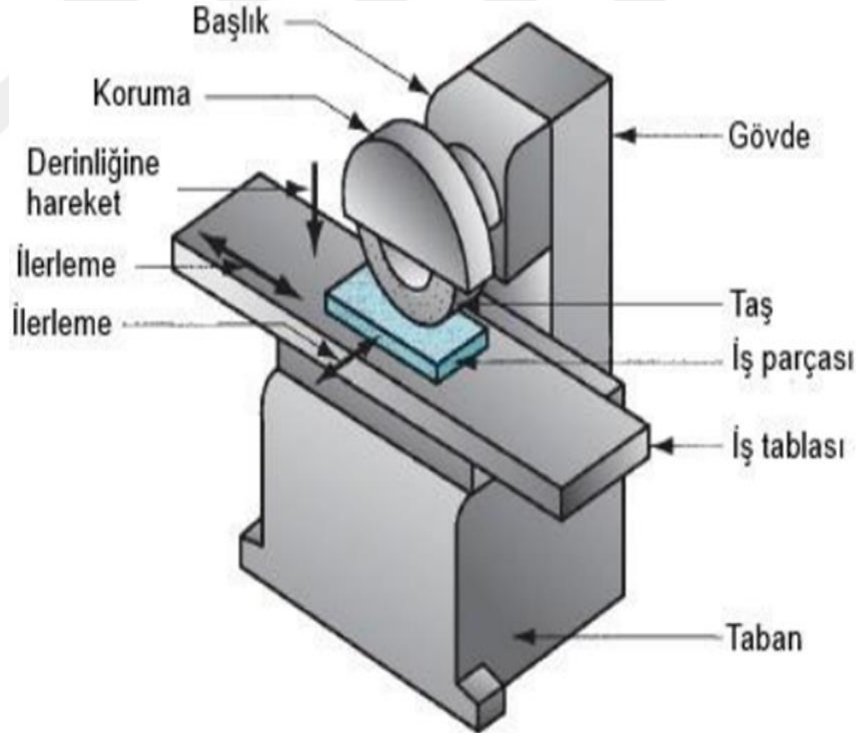


Şekil 2.12. Düzlemsel taşılama (Yamak, n.d.)



Şekil 2.13. Silindirik taşlama (Yamak, n.d.)

Taşlama yönteminde düşük miktarda talaş kaldırılarak iş parçası yüzeyinin daha pürüzsüz ve daha hassas bir ölçüye getirilmesi hedeflenmektedir. Taşlama, talaş kaldırma yönteminin iş parçası üzerine uygulanması ile meydana gelen hataların ve kusurların taşlama tezgâhı ile düzeltilerek kusursuz bir hale getirilmesine denir (Anonim, 2023). Taşlama tezgâhına ait görüntü Şekil 2.14’de verilmiştir.

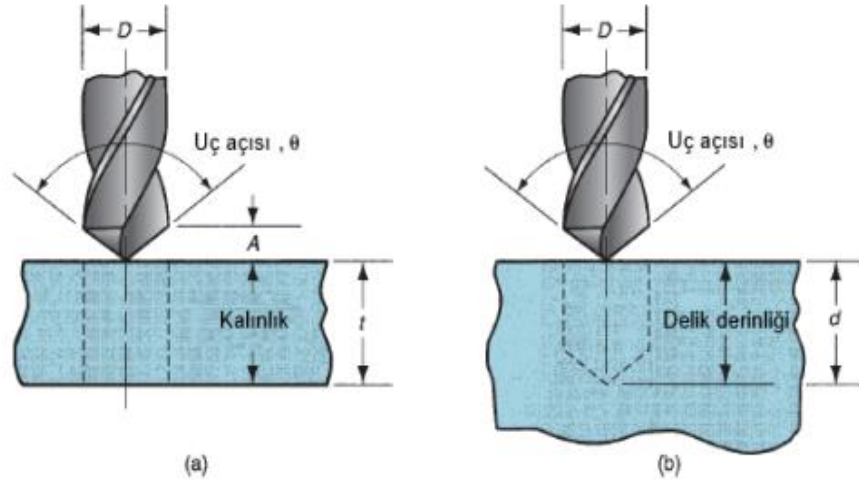


Şekil 2.14. Taşlama tezgâhı (Yamak, n.d.)

Delik delme

Talaş kaldırma işlemleri arasında delik delme yöntemi yaklaşık olarak %33'ünü içermektedir. Bu yöntem talaş kaldırma işlemleri arasında önemli bir yere sahiptir (Meral et al., 2011). Şekil 2.15'te iki delik çeşidi gösterilmiştir.

Delik delme yönteminin mantığı genellikle iş parçası sabit tutulup, matkap olarak isimlendirdiğimiz takımlar ile parça üzerinde kesme ve ilerleme hareketleri yapılarak talaş kaldırılmasıdır. Bu yöntemin uygulanma aşamaları ise delme, deliği genişletme ve raybalama işlemlerinden oluşur. Malzeme üzerinde açmak istediğimiz deliğin çapından daha küçük bir çapa sahip olan matkap kullanılarak delme işlemi yapılır. Oluşturulan deliğin istenilen çapa getirmek için daha büyük çaplı matkaplar kullanır ve çap genişletilir. Bu uygulanan işlemlerin ardından malzeme üzerindeki deliğin yüzey kalitesini arttırmak için rayba adı verilen takımlar kullanılır. Böylece son işlem olan raybalama yöntemi gerçekleştirilmiş olur (Çelik, n.d.).



Şekil 2.15. İki delik çeşidi: a) açık delik b) kör delik (Çelik, n.d.)

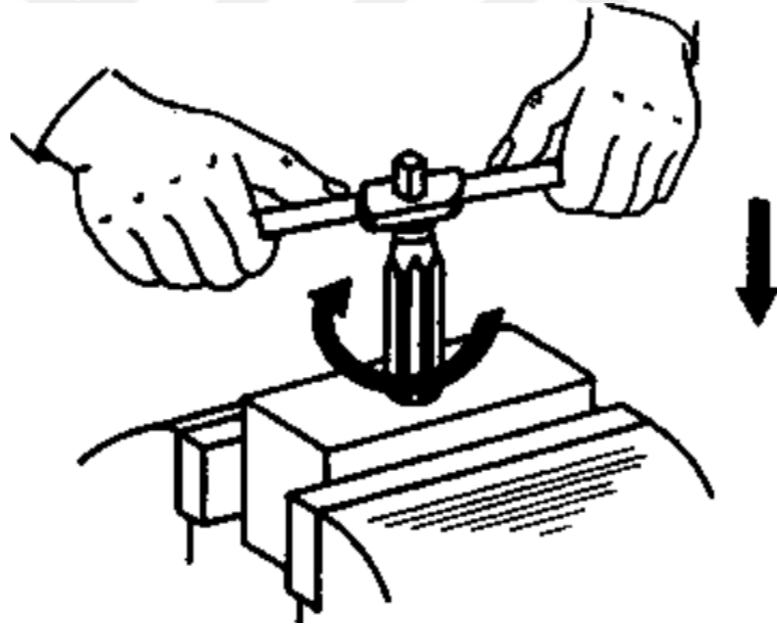
Delik delme yönteminde kullanılan tezgahalar ile beraber pratikliği sağlamak için el matkapları da kullanılmaktadır. İş parçası üzerinde açılan deliğin geometrisi kullanılan matkap ucunun açısına bağlıdır (Çelik, n.d.).

Raybalama

Talaşlı imalat yöntemlerinden biri de raybalamadır. Bu yöntemde amaç delik iç yüzeylerinin iyileştirilmesi ve istenilen tolerans değerlerinde yapılmasıdır. Rayba olarak adlandırılan takımlar raybalama işleminde kullanılır. Elle yapılan raybalama tekniği Şekil 2.16’da gösterilmiştir. Sonuç olarak; delik iç yüzeylerinin yüzey kaliteleri daha iyi bir duruma getirilir ve istenilen ölçülerde işlenmiş olur (Anonim, 2018).

İşlenecek parçaya göre uygun rayba seçiminde dikkat edilecek önemli unsurlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Raybalama yöntemine uygun iş parçası
- İş parçasının çapı
- İş parçasının sertliği
- Malzeme yüzeyinden uzaklaştırması gereken talaş miktarı ve imalat özellikleri



Şekil 2.16. Elle yapılan raybalama tekniği (Anonim, 2018)

2.3. Yüzey Sertleştirme Yöntemleri

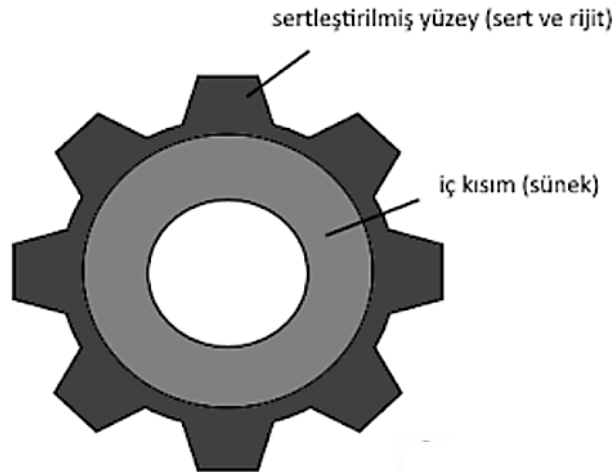
Yüzey sertleştirme yöntemleri malzemelerin yüzeylerine ısı işlem uygulanması ile gerçekleştirilir. Bu sertleştirme işlemlerinin amacı malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliklerini iyileştirmektir. Malzemelerin mukavemet değerini, aşınma dirençlerini ve yoruma dayanımlarını arttırmaktadır. Yüzey sertleştirme yöntemi malzemenin cinsine, uygulanacak yöntemin maliyetine, malzemelerin boyutlarına göre farklılıklar gösterebilir (Çölova, 2021).

Yüzey sertleştirme yöntemlerini iki ana gruba ayırılır (Anonim, 2011). Bunlar;

1. Kimyasal yapısını değiştirmeden malzemeye uygulanan yüzey sertleştirme işlemi
2. Kimyasal yapısını değiştirerek malzemeye uygulanan yüzey sertleştirme işlemi

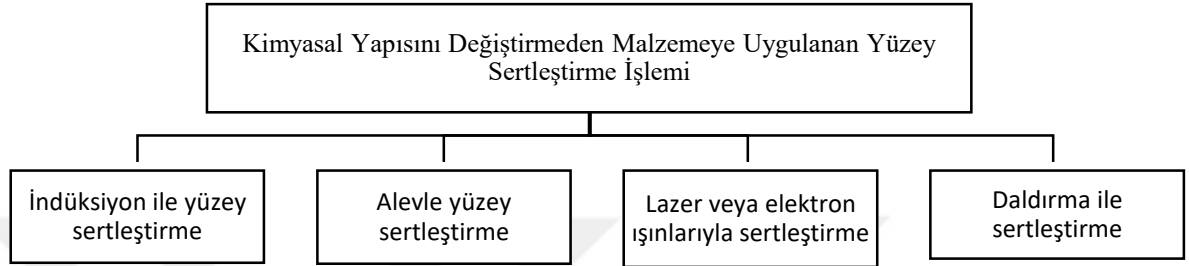
2.3.1. Kimyasal yapısını değiştirmeden yapılan yüzey sertleştirme işlemi

Malzemelerin kimyasal yapısını değiştirmeden yüzeye uygulanan sertleştirme işlemindeki amaç iç yapıların yumuşak ve dış yüzeyin ise daha sert olması beklenen malzemeler için uygulanır. Yüzeyi sertleştirilmiş dişli görseli Şekil 2.17’de verilmiştir (Anonim, 2011). Yapısında sertleştirilme işlemi için % 0,35- 0,70 karbon miktarı bulunduran çeliklere uygulanır. Çeliklerin merkez bölgesi değişime uğratılmadan yüzey bölgesinin sertleştirme yapılabilmesi için ısı birikimi gerekmektedir (Karagöz, 2008).



Şekil 2.17. Yüzey sertleştirme işlemi yapılmış dişli fotoğrafı (Şengül, n.d.)

Makine elemanları bu yöntem ile sertleştirerek basma dayanımına karşı etkili olur. Bu yöntemin uygulanma prensibi, malzeme yüzeyinin uygun sıcaklıklarda ısıtılması ve arkasından uygun bir soğutma sıvısı kullanılarak soğutulması işlemidir. Malzemelerin yüzeylerine kimyasal bileşimini değiştirmeden uygulanan sertleştirme işlemi aşağıdaki Şekil 2.18’de gösterilmiştir (Anonim, 2011).



Şekil 2.18. Kimyasal yapısını değiştirmeden yapılan sertleştirme

İndüksiyon akım ile yüzey sertleştirme

İndüksiyon akımı ile yüzey bölgesinin sertleştirme işlemi malzemenin östenitik yapıya getirilmesi ile dış yüzeyin su verilerek soğutulması ve daha sert bir yapı olan martenzitik yapı oluşturulması prensibine dayanır. Yüksek frekansa sahip alternatif akımın geçtiği bobinlerin içerisine malzeme düzgün bir şekilde yerleştirilerek yüzey bölgesi ısıtılmaktadır (Topçu, 2010).

İndüksiyon işlemi ile sertleştirilen malzemede sert katman derinliği hassas şekilde kontrol edilebilmektedir. Bu işlemde çok kısa süre içerisinde östenitleme sıcaklığına çıkılmasıyla birlikte malzeme yüzeyi sertleştirilmektedir. Ani bir şekilde soğutma işleminin yapılmasıyla sıcaklığın öze doğru yayılmasının engellenmesinden dolayı yüzeyde aşınmaya daha dirençli sert bir yapı olan martenzit meydana gelmektedir. Bu metodun kullanılmasıyla malzeme yüzeyinde elde edilen martenzitik yapı, aşınma direncini iyileştirilmesi ve yüzey bölgesinde meydana gelen basma kalıntı gerilmeleri yüzünden yorulma sınırına olumlu bir şekilde katkı sağlamaktadır (Oktay et al., 2018).

Malzemeye yüksek frekanslı alternatif akım verilmesi ile yüksek frekanslı manyetik alan oluşur. Meydana gelen yüksek frekanslı akımlar metal malzemenin yüzey bölgesinde hareket halinde olmasıyla oluşan akımlara karşı malzemenin direnç göstermesi ile yüzeyi

ısınmaya başlar. Elektrik akımı bobine verilir ve indüksiyon ile malzeme yüzeyinde elektrik akımı oluşur. Malzeme yüzeyinin boyutuna bağlı olarak saniyeler içinde sertleştirme yapılır. Ani bir şekilde serleştirilmiş olan malzemenin yüzeyine uygun soğutma sıvısı kullanılır. Şekil 2.19’da indüksiyon akımı ile sertleştirme yapılan malzemeye ait görsel verilmiştir. İndüksiyon işlemi ile yüksek sıcaklıklarda ısıtılan malzemeler için soğutma sıvısı olarak genellikle su kullanılmaktadır (Anonim, 2011).



Şekil 2.19. İndüksiyon akımı ile sertleştirme yapılan malzeme (Anonim, n.d.-b)

İndüksiyon akımı ile sertleştirilme yöntemin avantajları ve dezavantajları aşağıda belirtilmiştir (Anonim, 2011):

Avantajları

- Alevle sertleştirme yöntemine göre yüksek oranda ısı girdisi vardır.
- Seri üretim için uygundur. Malzemelerin süre, sıcaklık ve yüzeye nüfuz derinliğini ayarlamak daha kolaydır.
- Küçük tesis alanlarında bile bu sertleştirme yöntemi yapılabilmektedir.

- İndüksiyon yöntemi ile sertleştirilen malzemeler kısa süre içerisinde ısıtılır. Bu işlem gerçekleşirken herhangi bir gaz salınımı gerçekleşmez. Bu sayede daha temiz bir çevre oluşur.
- Malzeme yüzeyini kısa süre içerisinde ısıtıldığından dolayı çevrenin ısınması çok düşüktür.
- Malzeme yüzeyine gerçekleştirilen bu işlem ısı girdisi elektronik ortamlarda daha iyi ayarlanabilir.

Dezavantajlar

- Düşük karbonlu çelikler diğer yöntem ile ulaştığı sertlik değerine ulaşamaz, yüksek karbonlu çeliklerde çatlama oranı yüksektir. Bundan dolayı malzeme seçimi sınırlıdır.
- Keskin ve köşeli kenarlara sahip malzemelerin bu kısımlarında çok fazla ısınma oluşacağından bazı zorluklarda meydana gelecektir.
- Bu yöntemde tesis alanının elektrik üretimi ve ayarlama aletleri masraflıdır.

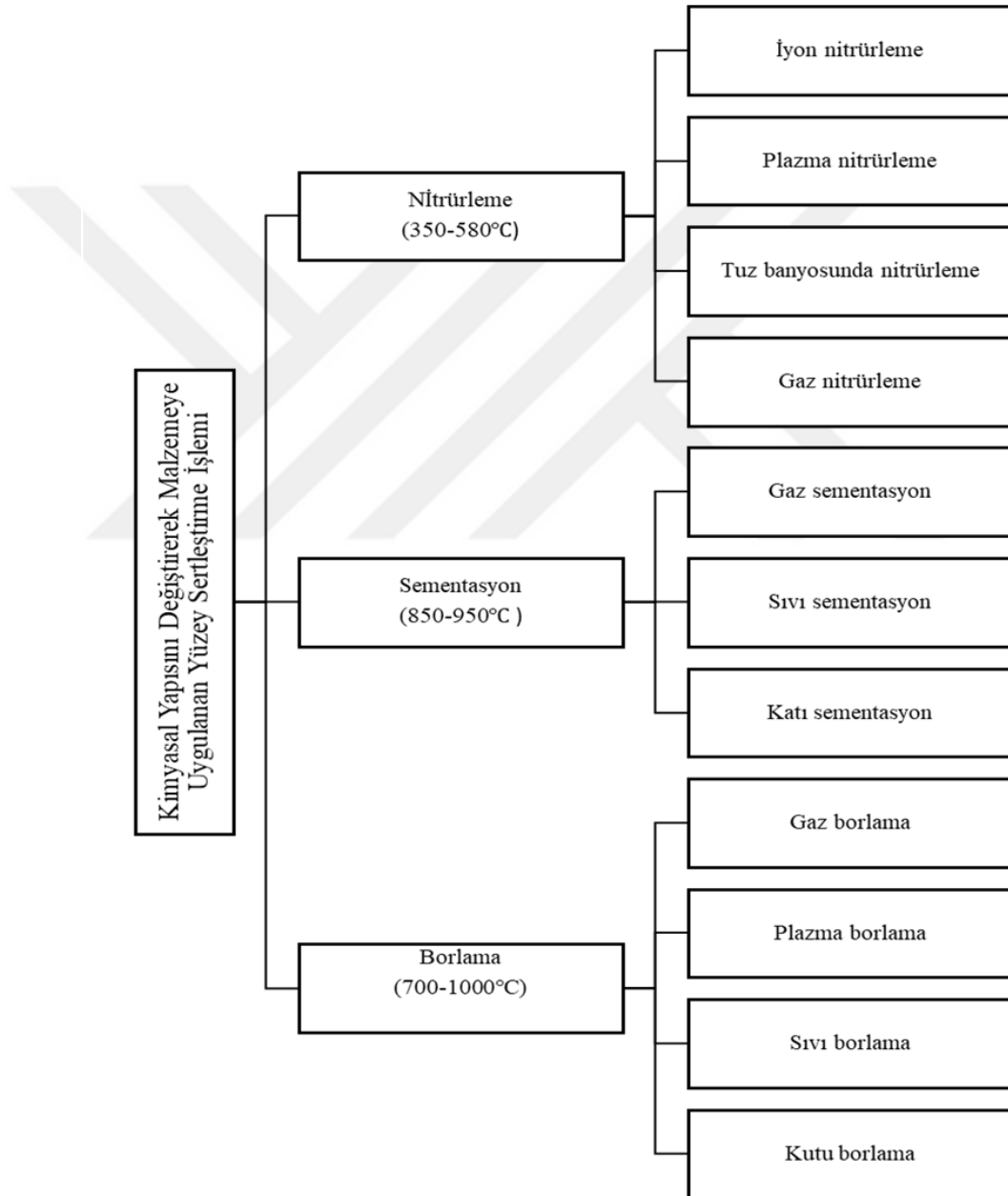
İndüksiyon akımı ile sertleştirme yöntemi, manyetik alan içerisindeki metalin iç kısmında elektrik akımının oluşturulması prensibine dayanır. Malzemedeki sertleşme derinliği akım frekansı ile değişmektedir ve meydana gelen etkileri Şekil 2.20’de gösterilmiştir. Rastgele seçilen bir frekansta, ısıtma süresinin artırılması ile sertleşme derinliğinin de artırılması sağlanmaktadır (Alaybeyoğlu, 2021).

Frekans (Hz)	Elektrik enerjisinin girme derinliği (mm)	Sertleşme derinliği (mm)
1.000	1,50	4,60-8,90
3.000	0,90	3,80-5,10
10.000	0,50	2,50-3,80
120.000	0,15	1,50-2,50
500.000	0,08	1,0-2,0
1.000.000	0,05	0,25-0,75

Şekil 2.20. Akım frekansına göre sertleşme derinliğinin değişimi (Alaybeyoğlu, 2021)

2.3.2 Kimyasal yapısını değiştirerek yapılan yüzey sertleştirme işlemi

Kimyasal yapısı değiştirilerek sertleştirilen malzemenin yüzeyine dışarıdan C ve N gibi farklı elementlerin ilavesiyle iç yapısı yumuşak, dış yüzeyi daha sert malzeme elde edilir (Anonim, 2011). Bu sertleştirme işlemleri yeteri kadar karbon bulunmayan ve malzemenin çekirdeğine kadar sertleşme yeteneğine sahip olmayan çeliklere uygulanmaktadır (Karagöz, 2008). İşlemler Şekil 2.21’de sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.21. Kimyasal yapısının değiştirilmesi ile malzemeye uygulanan sertleştirme yöntemleri

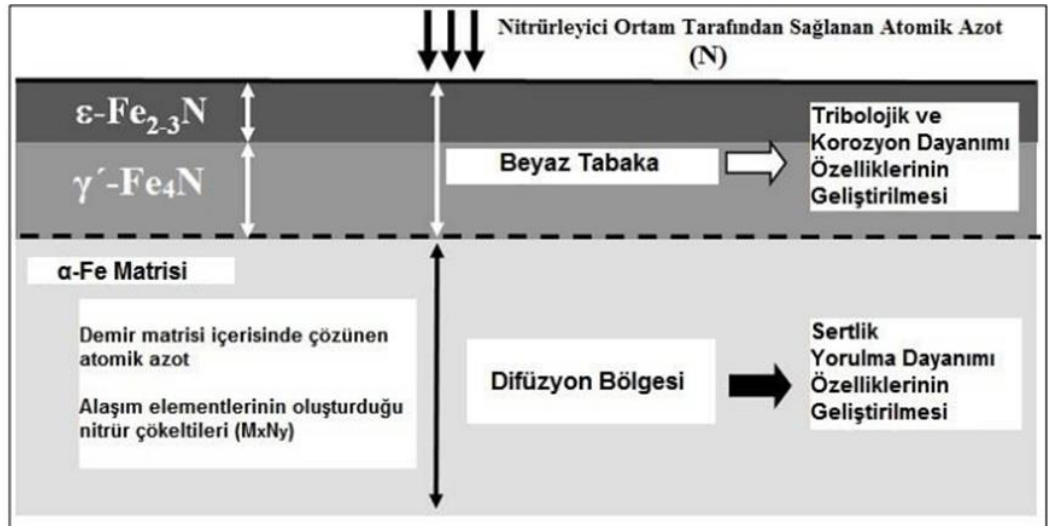
Nitrürleme ve Yöntemleri

Nitrürleme, malzemelerin yüzeyine azot atomlarının difüze edilmesi ile yüzey sertliklerinin iyileştirilmesi için yapılan termokimyasal bir işlemdir. Bu yüzey sertleştirme yöntemi diğer yöntemlere göre daha düşük sıcaklıklarda yapılır. Nitrürleme işleminde sıcaklık değeri uygulanacağı çeliğin türüne göre değişiklik göstermesine karşılık, yaklaşık olarak 500°C'dir (Akçakese, 2011).

Nitrürleme yöntemi uygulanan malzemelerin daha iyi bir yüzey sertliğine sahip olmasının yanı sıra malzemenin aşınma, yorulma ve korozyon dayanımının da arttırılmasını sağlayan ısıtım işlem sürecidir. Bu yöntemde genel olarak, çeliğin yüzeyinden içeriye azot elementinin difüzyonu ile malzemenin yüzey özellikleri de değiştirilir (Erözek, 2014).

Nitrürleme, çelik bir malzemenin azot elementinin bulunduğu bir ortamda sıcaklık değeri 480-650°C arasında tutulması ile malzeme yüzeyine azot yayılımının gerçekleşmesiyle yüzeyin sertliğini artırma işlemidir. Nitrürleme yöntemi ile sementasyon yönteminden daha yüksek değerlerde yüzey sertliği elde edilir. Bu sertlik yüksek sıcaklıklarda da kararlıdır (Ceran, 2007a).

Nitrürleme işlemi yapılmış malzemenin yüzey bölgesinde beyaz tabaka olarak adlandırılan bir bileşke tabaka ve alt kısımda difüzyon bölgesi oluşmaktadır. Bu anlatılan bölgeler Şekil 2.22'de gösterilmiştir (Önder, 2013).



Şekil 2.22. Çelik malzeme yüzeyinde oluşan nitrürlenmiş bölge (Önder, 2013)

Yüzey sertleştirme işlemlerinden biri olan nitrürleme işlemi ile yüksek sertlik değerlerine ulaşılabilmesi için çelik malzemelerin azota ilgisinin fazla olması ve kararlı nitrürler oluşturabilecek özel alaşım elementini bulundurması gerekmektedir. Düşük alaşımlı çeliklere ve saf demire bu işlem gerçekleştirilebilir. Fakat gaz nitrürleme işlemi ile elde edilen sertlik değeri 35 HRC'dir. Krom, Molibden, Vanadyum, Tungsten, ve Alüminyum gibi alaşım elementleri içeren nitrürlenebilir çeliklere bu işlemin uygulanması ile yüksek sertlik değerleri kazandırılmış ve çeliklerde bulunan alaşım elementleri kararlı nitrürler meydana getirmiştir (Akçakese, 2011).

Nitrürleme yöntemi yüzeye azot emdirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Azot atomlarının çapı karbon atomlarının çapından daha küçük olmasından dolayı malzeme yüzeyine nüfuz etmesi kolaydır. Azotun malzeme yüzeyine difüze edilmesi ostenitin bulunmadığı düşük sıcaklıklarda gerçekleşirse kırılğan olmayan bir yapı elde edilir. Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklere 590 °C'nin altındaki difüzyon sıcaklıklarında nitrürleme işlemi uygulanarak yüksek sertlik değerine ulaşılır. Fakat düşük sıcaklıklarda difüzyon işlemi de yavaş gerçekleşir ve nitrürlerin çökmesi ince olur. Sertleşme işleminin derinliklere nüfuz etmesi için daha uzun süreler beklemek gerekmektedir. 1 mm derinliğine ulaşabilmek için gereken süre 60-70 saattir (A. Öztürk, 2017).

Nitrürleme metodu, geleneksel yüzey sertleştirme işlemleri ile karşılaştırıldığında çelik malzemelerin deniz suyu korozyonuna ve oksidasyona karşı daha yüksek direnç göstermektedirler (Akçakese, 2011).

Nitrürleme işlemi ile yüzeyi sertleştirilen çelik malzemelere kazandırılan özellikleri aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür:

- Yüksek sertlik değeri ve aşınmaya karşı yüksek direnç
- Korozyon direncinin yüksek olması ve paslanmaz olmayan çelikler içinde iyi olması
- Temperleme işlemine karşı yüksek bir direnç ve yüksek sıcaklık sertliği
- Diğer yüzey sertleştirme yöntemlerine kıyasla daha yüksek boyutsal kararlılık
- Yüksek yorulma dayanımı ve düşük yoruma çentik hassasiyeti (U. Özdemir & Erten, 2003)

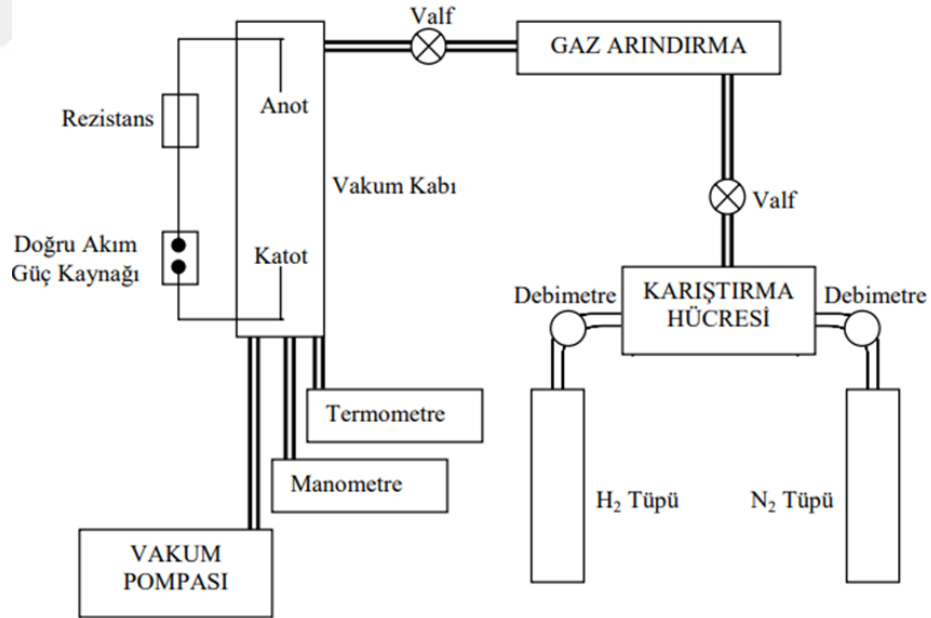
Nitrürleme, çelik malzeme içerisine azot atomlarının difüze edilmesi ile gerçekleştirilen termokimyasal bir yöntemdir. Bu yüzey sertleştirme yöntemi piyasanın ihtiyaçlarına göre gaz nitrürleme, plazma nitrürleme ve tuz banyosu nitrürleme gibi çeşitli alt başlıklar altında sınıflandırılmaktadır (Şahinoğulları, 2019)

Plazma Nitrürleme

Plazma nitrürleme yöntemi iyon nitrürleme olarak da bilinmektedir. Bu yöntemde kullanılan azotun malzemenin yüzey bölgesinde difüze edilebilmesi için aktif plazma hali ve reaktif plazma halinden faydalanılmaktadır (Şahinoğulları, 2019).

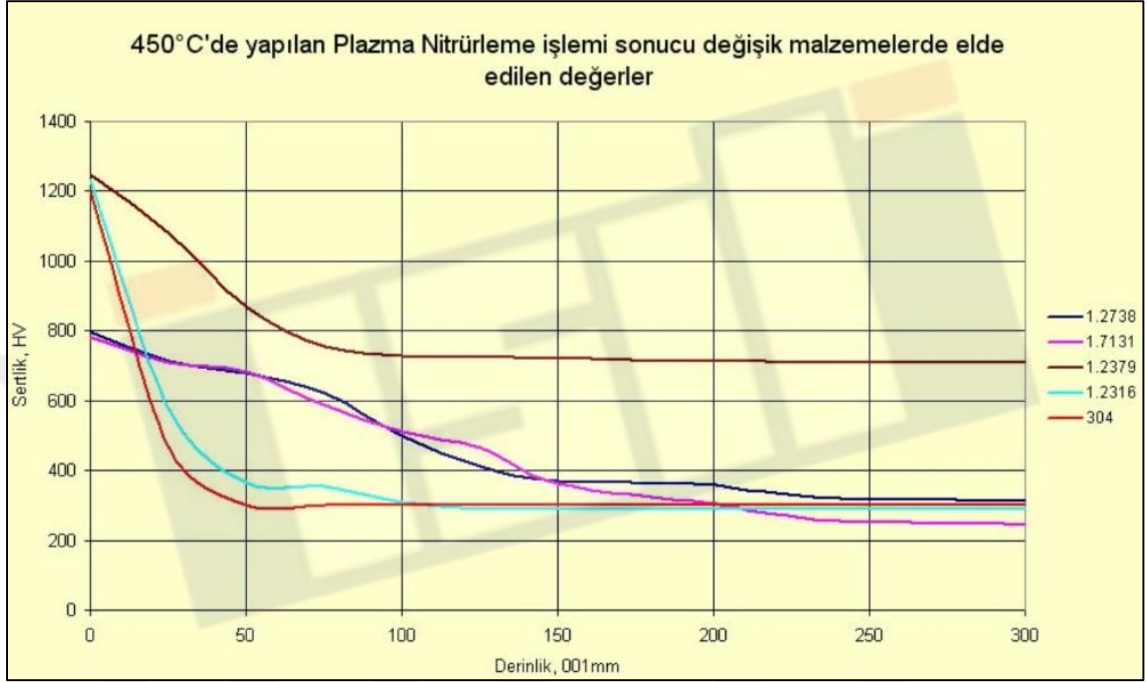
Vakum ortamında yüksek voltajlı elektrik enerjisinin kullanılmasıyla azot plazma haline getirilir. İyonize olmuş azotun, katot görevi yapan malzemeye çarpması sağlanmaktadır. Malzemeye uygulanan bu işlem malzemeyi ısıtır, yüzeyini temizler ve ortaya çıkan azotun çeliğe difüze edilmesi sağlanır (Gecü, 2014).

Şekil 2.23'te plazma nitrürleme işleminin yapıldığı sistemin şematik olarak verilmiştir (U. Özdemir & Erten, 2003).



Şekil 2.23. Plazma nitrürleme işleminin şematik gösterimi (U. Özdemir & Erten, 2003)

Plazma ile yüzey sertleştirme yöntemi ile malzemenin yüzey ve yüzeye yakın bölgelerde yapısal özelliklerinin iyileştirilmesi ile aşınma, korozyon direnci ve yorulma dayanımının artırılması sağlanır (Güven et al., 2014). 450°C’de plazma nitrürleme işlemi uygulanmış farklı malzemelere karşı elde edilen sertlik değerleri Şekil 2.24’de gösterilmiştir.



Şekil 2.24. Nitrürleme işlemi sonucu farklı malzemelere ait sertlik değerleri (Anonim, n.d.-c)

Plazma içinde bulunan pozitif yüklü azot iyonları negatif (katot) halindeki malzeme yüzeyine çarpar. Bu çarpma esnasında azotun iyonlaşarak aldığı fazla enerji miktarını malzemeye aktarır. Bu fazla enerjinin çarpmanın etkisiyle malzemenin yüzeyine difüze olmasıyla gerçekleşir. Kullanılan gazlar ise N_2 , $N_2 + H_2$ gaz karışımı veya amonyak (NH_3) olabilir (İğdil et al., 2012).

Tuz Banyosu Nitrürleme

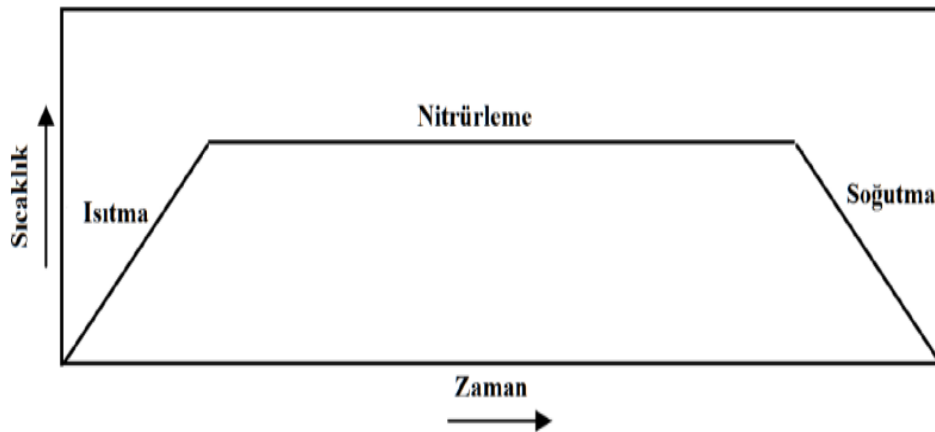
Tuz banyosu ile nitrürleme yönteminde siyanitleri ve siyanatları kapsayan erimiş tuz banyosunda malzemelerin bekletilmesiyle yüzey sertleştirme gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem karbon çeliklerine, düşük alaşımlı çeliklere, takım çeliklerine, paslanmaz çeliklerine ve dökme demirlere yapılmaktadır. Bu uygulanan işlem sırasında malzemenin boyutsal kararlılığı korunmaktadır. Yani sertleştirme işleminin bir daha işlem görmeyecek malzemelere yapılması gerekmektedir (Gecü, 2014).

İşlem sırasındaki nem oranı %2 ve genellikle tuz karışımları %30 NaCl, %39 KCl, %25 Na_2CO_3 ya da K_2CO_3 gibi karışımlar kullanılmaktadır. Bu yöntemin avantajları ise çalışma ve bakım maliyetinin düşük olması, kolayca kullanılması ve çok alan kaplamayan küçük yığın tipi fırınlara gerek duyulması gibidir (Akçakese, 2011).

Gaz Nitrürleme

Nitrürleme işlemi genellikle çeliklerde amonyak ve amonyak-hidrojen atmosferinde 495-565 °C' de gerçekleştirilir. Gaz nitrürleme yönteminin diğer uygulanan yöntemlere (plazma veya tuz banyosu) kıyasla sağladığı avantaj fırın içindeki yük yerleşiminin esnek olmasıdır. Fırın atmosferi içindeki amonyak yüksek sıcaklıklarda ayrışır ve çelik yüzeyinden yayılan atomik azotun kaynağını oluşturur (Korkmaz, 2020).

Gaz nitrürleme işlemi dişliler, krank milleri, kam takipçileri, ekstrüzyon vidası, plastik enjeksiyon kalıbı gibi alanlarda uygulanmaktadır. Cr, Mo, V, Al gibi nitrür yapıcı element bulunduran çeliklere uygulandığında daha etkili sonuçlar elde edilir. Bu yöntemde daha iyi sonuçlar elde edebilmek için nitrürleme işleminden önce malzemeye sertleştirme ve menevişleme yapılabilir. Bu yöntem sementasyon ve karbonitasyon yöntemlerle karşılaştırıldığında daha düşük sıcaklıklarda uygulanır. Düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesinden dolayı faz dönüşümü gerçekleşmemekte ve malzemenin durumu kararlıdır. Gaz nitrürleme işlemi üç basamaktan oluşmaktadır. Bu işlem basamakları Şekil 2.25'te gösterildiği gibi sırasıyla ısıtma, nitrürleme ve ardından soğutma şeklindedir (Küçük, 2023).

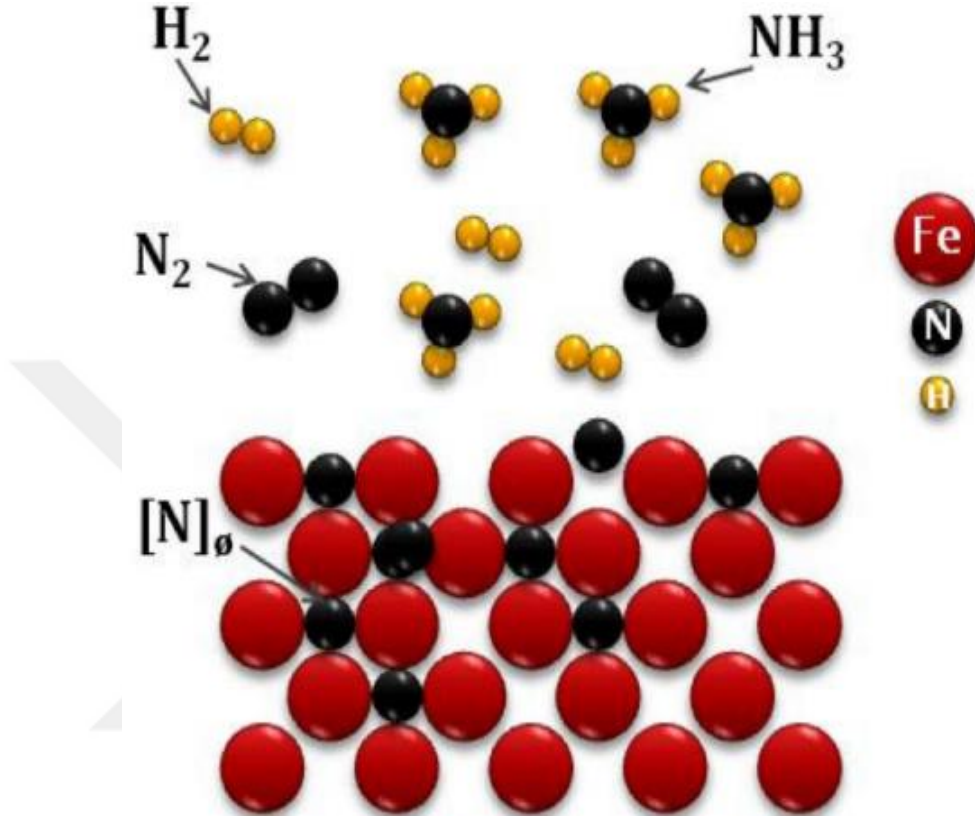


Şekil 2.25. Gaz nitrürleme işlem basamakları (Küçük, 2023)

Gaz nitrürleme sürecindeki temel ayrışma reaksiyonu (2.2) aşağıda verilmiştir.



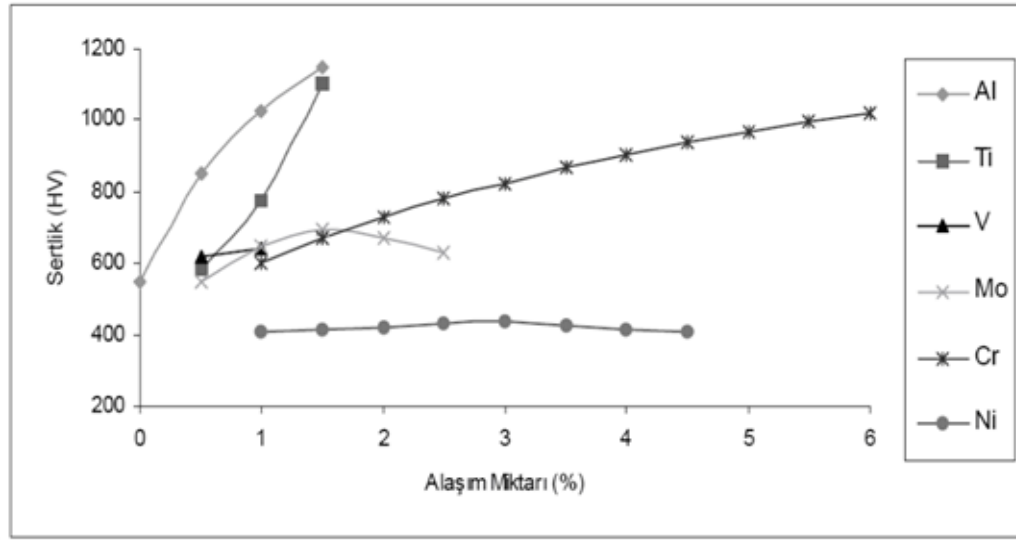
Sürecin difüzyon mekanizması Şekil 2.26'da gösterilmiştir.



Şekil 2.26. Gaz nitrürleme sürecine ait difüzyon mekanizması (Gecü, 2014)

2.3.3. Nitrürleme işlemine uygun çelik seçimi

Nitrürleme işlemi yapılacak çeliğin içerdiği alaşım miktarının yüksek olması durumunda daha verimli sonuçlar elde edilir. Nitrürleme yöntemiyle sertleştirilecek çelikte alaşım elementleri, kimyasal bileşim, yüksek temperleme sıcaklığı ve çeliğin kullanım yeri ve ortam özelliklerine uygunluğu gibi özelliklere dikkat edilmelidir. Genel olarak bu yöntem için doğrudan su verilerek sertleştirilebilen çelikler seçilmelidir. Nitrürleme yöntemi ile sertleştirilen çelik için gerekli sertliğe ulaşabilmek için V, Al, Cr, Mo gibi alaşım elementleri bulunması gerekir. Alaşım elementlerinin çeliğin nitrürleme işlemine sağladığı katkı Şekil 2.27'de gösterilmiştir. Çizelge 2.2'de nitrürleme yöntemi ile sertleştirilen bazı çelikler ve ulaşılan düşük sertlik değerleri verilmiştir (Kekik, 2015).



Şekil 2.27. Alaşım elementlerinin sertliğe olan etkisi (Topçu, 2010)

Çizelge 2.2. Nitrürleme yöntemi ile sertleştirilen bazı çelikler ve ulaşılan düşük sertlik değerleri (Kekik, 2015)

Nitrürleme İşleminin Uygulandığı Çelikler	En Düşük Sertlik Değeri	
	Knoop (Kg/mm ²)	R _C
AISI 4131, AISI 4140, AISI 4150	450	45
AISI 4330, AISI 8640	400	40
Nitralloy 135	1000	70 +
AISI H11 Sıcak İş Çeliği	1000	70 +
AISI 430, AISI 466 Paslanmaz Çelik	1200	-

Nitrürleme yöntemi ile sertleştirilen malzemenin sertlik derinliği 200 ila 300 mikron arasında değişiklik göstermekte olup servis esnasında azot atomlarına uygulanmış olan yük doğrultusu ile yüzeyden iç kısma doğru sertlik derinliğinde artış gösterebilmektedir (Asan, 2007).

2.4. Yüzey Pürüzlülüğü

İşlenmiş olan bir parça yüzeyinde kullanılan iş parçası ve seçilen işleme metodunun ne olduğu fark etmeksizin yüzey pürüzlülüğünün oluşması beklenen bir durumdur. Tornalama, frezeleme, taşlama gibi birçok talaşlı imalat yönteminin kullanılması malzeme yüzeyinde farklı formlar alınmasına neden olur (Horozoğlu, 2013).

İşlenmiş olan malzeme yüzeyinin yapısı, kalite açısından en önemli faktördür. Malzemelerin işlenmesi için seçilen yöntemde kullanılan parametreler yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilemektedir. Yüzey kalitesini belirleyen etken yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğü, kullanılan yöntemdeki ilerleme miktarı, paso derinliği, kesme hızı, devir sayısı gibi faktörler bağlıdır (V. Yılmaz, 2009)

Yüzey pürüzlülük değerlerinin iyileştirilmesi için bazı parametreler bulunmaktadır: kesme derinliklerinin azaltılması, düşük ilerleme, yüksek kesme hızları, kesme sıvısının arttırılması, kesici takımın uç yarıçapının ve talaş açısı değerlerinin yüksek olması gibi (B. Yılmaz & Güllü, 2020).

Yüzey pürüzlülüğü; yalnızca aşınma, yorulma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojik özellikler olarak değil ayrıca sızdırmazlık, elektrik, ısı iletimi vb. gibi çeşitli alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Bu nedenle makine bileşenlerinin yüzey pürüzlülük değerlerinin belirlenmesinde önemlidir (Kabasakaloğlu & Kam, 2020).

Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen sebepler aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır;

- Takım tezgâhlarının yeterli rijitlikte olmaması
- İlerleme hızında meydana gelen düzensizlikler
- Takım tutucu ve takım ucunun rijit olmaması
- Kesici takımın tasarımı
- Takım geometrisi
- Kesme parametreleri
- Takımların yanlış bir şekilde konumlandırılması ve iş parçasının bağlanma hataları (Camcı, 2020)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Deney Malzemesi

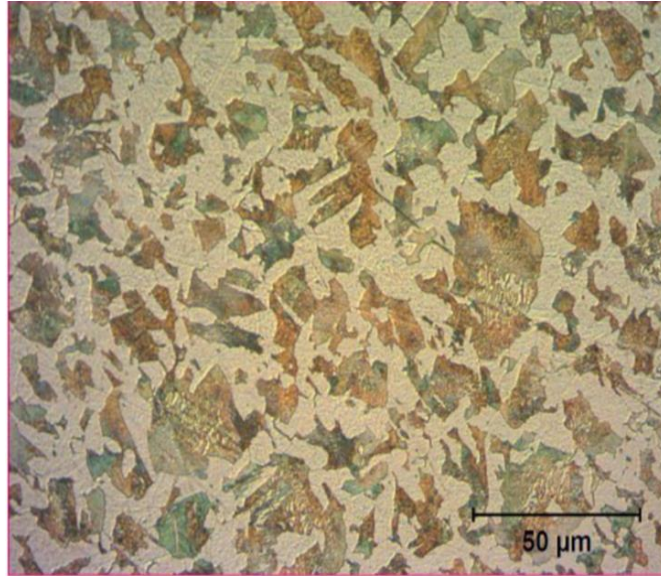
Tez çalışmasında iş parçası olarak seçilen malzeme St 37 (S235JR) kaynaklanması ve kolayca işlenebilir ve şekillendirebilir özelliklere sahip alaşımsız yapısal çeliğidir. MKS Çelik Pres Makina firması tarafından tedarik edilen S235JR çeliğin standartlara göre malzeme kodları Çizelge 3.1 ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.2, görseli Şekil 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. S235JR çeliğinin malzeme standart kodları

DIN	EN	AISI/SAE/St
17100	S235JR	St37

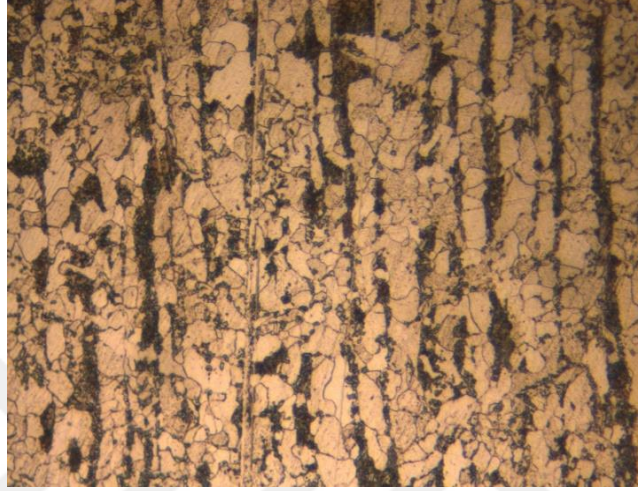
Çizelge 3.2. S235JR malzemenin fiziksel özellikleri

S235JR Malzemenin Fiziksel Özellikleri	
Yoğunluk	7,85g/cm ³
Ergime Noktası	1420-1460°C
Isı İletkenlik	50,2W/mK (20°C’de)
Termal Genleşme Katsayısı	11,7µm/m°C (20°C’de)

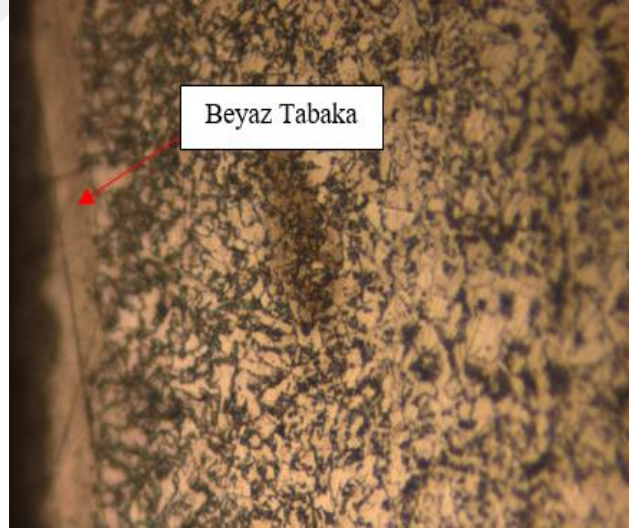


Şekil 3.1. S235JR malzeme ait mikroskop görüntüsü (Çölova, 2021)

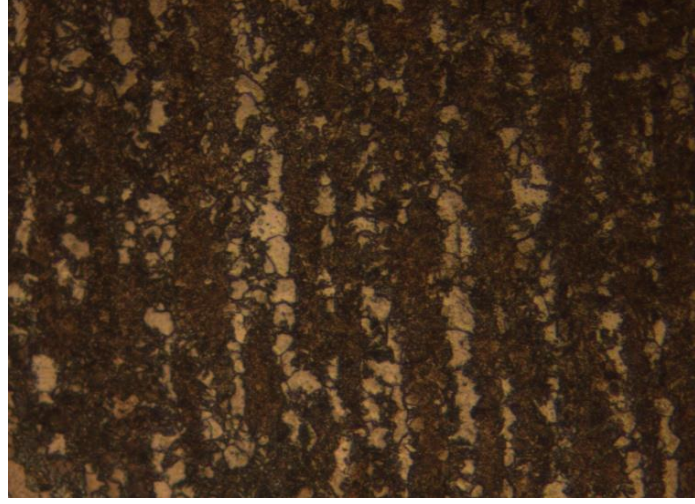
S235JR malzemeye iki farklı yüzey sertleştirme metodu kullanılmıştır. İndüksiyon ve nitrürleme işlemi yapılmış olan malzemeye ışık mikroskobu altında 500x büyütme ile nital dağlama sonrasındaki görüntüler elde edilmiştir. Bu görseller Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.2. 500x dağlama sonrası nitrürleme yapılmış malzeme



Şekil 3.3. 500x dağlama sonrası kenara yakın bölge nitrür bölgesi



Şekil 3.4. 500x dağlama sonrası indüksiyon malzeme



Şekil 3.5. 500x dağlama sonrası kenara yakın bölge indüksiyon bölge

S235JR malzemeye uygulanan sertleştirme yöntemleri ile mikroskopta görüntü analizleri yapılmıştır. Vakum nitrüleme yapılmış malzemede beyaz bir tabaka oluştuğu ve indüksiyon işleminde ise S235JR malzemenin östenitik yapıya getirilmesi ve dış yüzeye su verilerek soğutulması ile sert bir yapı oluştuğu görölmüştür. Her iki sertleştirme yönteminde de kenara yakın bölgelerde tane oluşumlarında bir ufalma olduğu görölmüştür.

S235JR metal malzemenin kimyasal kompozisyonunu tayin etmek için Türkiye Şeker Fabrikaları A. Ş. Eskişehir Makina Fabrikasında spektral kimyasal analiz yapılmıştır. Ham malzemeye uygulanan işlem sonrasında düşük karbonlu bir çelik olduğu teyit edilmiştir. Malzemenin kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.3'te ve işlemin gerçekleştirildiği cihazın görüntüsü Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. S235JR malzemenin kimyasal kompozisyonu

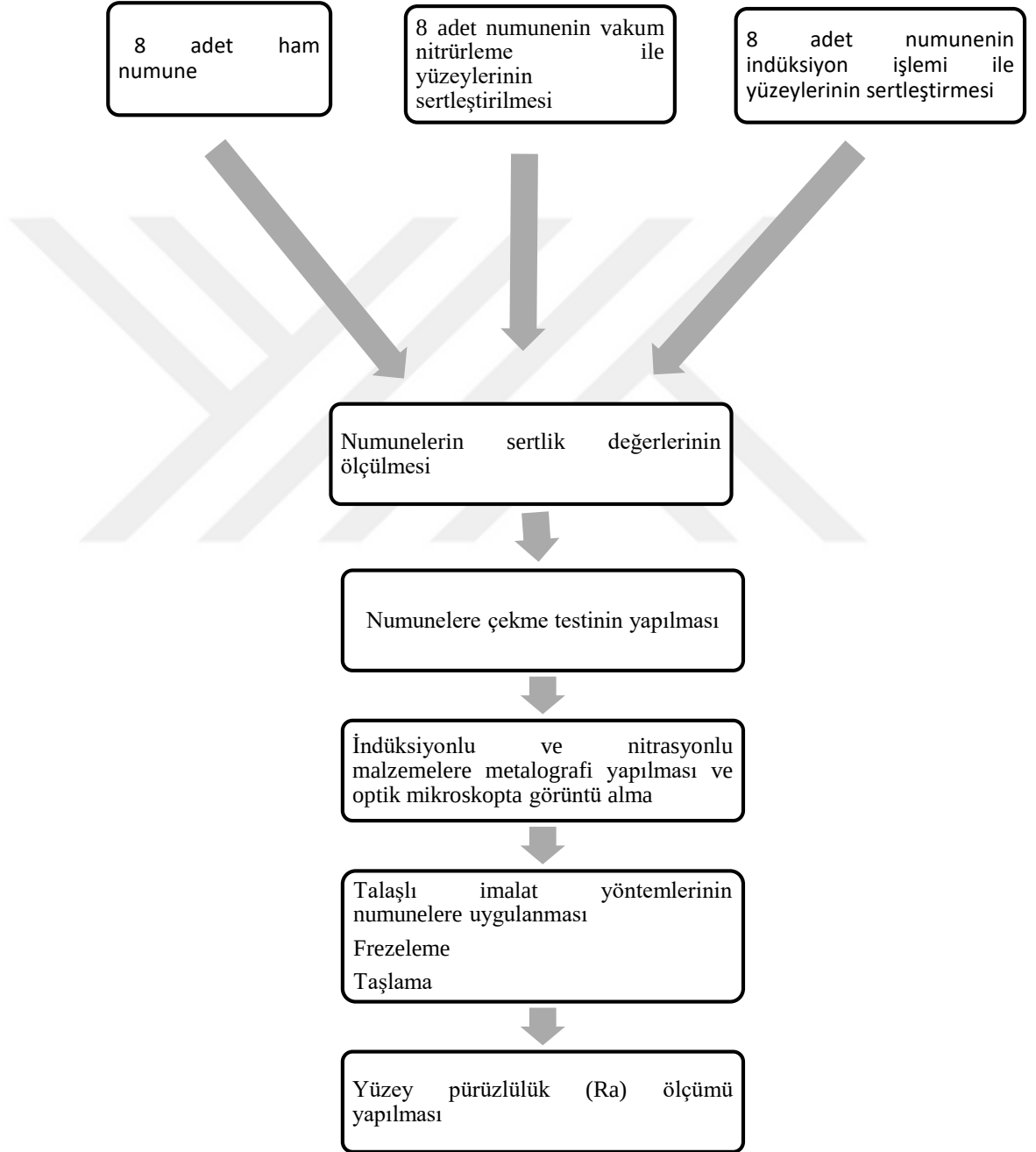
Kimyasal Kompozisyon							
% C	%Si	%Mn	% P	% S	% Cr	% Ni	%Mo
0.167	0.163	1.27	0.0094	0.0045	0.0466	0.0862	0.0169
% Al	% Cu	% Co	% Ti	% V	% W	% Pb	% Sn
0.0347	0.249	0.0052	0.0162	0.00058	< 0.0050	< 0.0010	0.0157
% Zn	% Fe						
0.0026	97.9						



Şekil 3.6. Spektral kimyasal analiz cihazı

3.2. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada S235JR çelik malzemenin nitrürleme ve indüksiyon işlemi olmaksızın yapılan talaşlı imalatı ile nitrürleme ve indüksiyon işlemi sonrasında aynı parametrelerle yapılan talaşlı imalatı sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Deneysel çalışmaya ait akış şeması Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Deneysel akış şeması

3.3. S235JR Malzemelere Vakum Nitrürleme İşlemi Yapılması

Korkmaz Çelik firması tarafından 8 adet numuneye vakum nitrürleme işlemi yapılarak numune yüzeyindeki sertlik miktarı arttırılmıştır. Vakum nitrürleme işlemi 16 bar azot ve hidrojen soğutma kapasitesine sahip 1500 kg'lık şarj vakum fırınlarda NADCA tarafından belirtilen standartlara göre yapılmıştır. Vakum fırınına ait görsel Şekil 3.8'de ve cihazın özellikleri Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Bu işlemde numuneler yaklaşık olarak 8-10 saat boyunca 550-600°C arasında bir sıcaklıkta tutulmuştur. Nitrürleme işlemi sırasında fırın içerisine amonyak, karbondioksit ve hava gazları verilmiştir. Numunelere 1 bar basınçta soğutma işlemi yapılarak 1-2 saat içerisinde oda sıcaklığına getirilmiştir.

Çizelge 3.3. Vakum Sertleştirilme Fırının Özellikleri

Vakum Sertleştirilme Fırını	
Ölçü	600×600×900mm
Şarj Kapasitesi	1500 kg
Soğutma Basıncı	16 bar



Şekil 3.8. Nitrürleme işleminin gerçekleştirildiği vakum fırını

3.4. S235JR Malzemelere İndüksiyon İşlemi Yapılması

İndüksiyon ile yüzey sertleştirme işleminde elektrik akımından faydalanılarak ve bobin içerisinde malzemelerin yüksek sıcaklıklar altında ısıtılıp hızlı bir şekilde soğutulması prensibine dayanan yöntemdir. Bu çalışma kapsamında toplam da 8 adet malzeme indüksiyon yöntemiyle sertleştirilmiştir. S235JR malzemelerin yüzeylerine 850 °C ve yaklaşık 40 saniye boyunca basınçlı su yardımıyla soğutulma işlemi yapılmıştır. İndüktör ile malzeme arasındaki mesafe 3 mm ve soğutma sıvısı olarak kullanılan suyun sıcaklığı 30°C'dir. Sertleştirme için kullanılan cihazın özellikleri 125 kilowatt ve 20 hertz orta frekansa sahiptir. Cihazın görseli Şekil 3.9'da verilmiş olup, malzeme yüzeyine yapılan indüksiyon işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Malzeme yüzeyine uygulanan indüksiyon işlemi

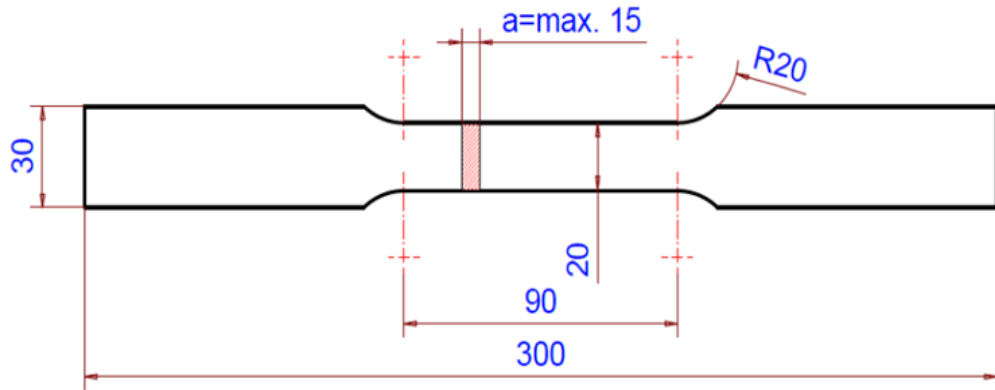
3.5. Deneysel Çalışmada Kullanılan Ölçüm Cihazları ve Tezgâhları

Bu çalışma sırasında yapılan deneyler ile elde edilen veriler doğrultusunda sonuçların değerlendirilebilmesi için yüzey pürüzlülük ölçümleri (Ra), çekme testleri, mikro sertlik testleri (vickers), metalografik numune hazırlama işlemi ve mikroskop cihazı (numunelerden görüntü alma) kullanarak gerçekleştirilmiştir. Talaşlı imalat işleminde kullanılan cihazlar ile belli parametreler kullanılarak yüzeyden talaş kaldırma yapılmıştır. Kullanılan cihazların, tezgâhların özellikleri ve ölçüm detayları başlıklar halinde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.5.1. Çekme testi

Çekme testi, mühendislik malzemelerinin statik bir yük altında elastik ve plastik davranışlarının belirlenmesi ve sınıflandırılması amacıyla gerçekleştirilmektedir. Deneyin yapılabilmesi için malzemenin boyutlarının standartlara uygun olması gerekmektedir. Malzeme çekme cihazının çenelerine bağlanarak değişken kuvvetler uygulanması prensibine bağlıdır. Bu cihazdaki çenelerden bir tanesi sabit hızla hareket ettirilerek malzemenin değişken kuvvet altında şekil değiştirmesi ve uygulanan kuvvete karşılık gelen uzama miktarı hakkında bilgi edinilir.

Bu çalışma kapsamında kullandığımız malzemenin ölçüleri çekme testinin gerçekleşeceği MEGEM'e (Endüstriyel Mesleki Eğitim ve Danışmanlık Hizmetleri A.Ş.) ait ölçülere göre hazırlanmıştır. Malzemenin ölçüleri Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Lazer kesim işlemi S235JR malzemede bu ölçülere göre uygulanmış ve Şekil 3.11'de görseli verilmiştir.



Şekil 3.10. Düz kesitli çekme test numunesi



Şekil 3.11. Lazer kesim işlemi yapılmış S235JR malzeme görüntüsü

Kullanılan S235JR malzemenin kalınlığı 6 mm olarak belirlenmiştir. Her bir gruptan (ham malzeme, nitrürleme uygulanmış malzeme, indüksiyon uygulanmış malzeme) üçer adet olacak şekilde malzemeler hazırlanmış ve deney ALŞA MCK 600 Elektro marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Bu cihaza ait bilgiler Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Cihaz hakkında genel teknik özellikler

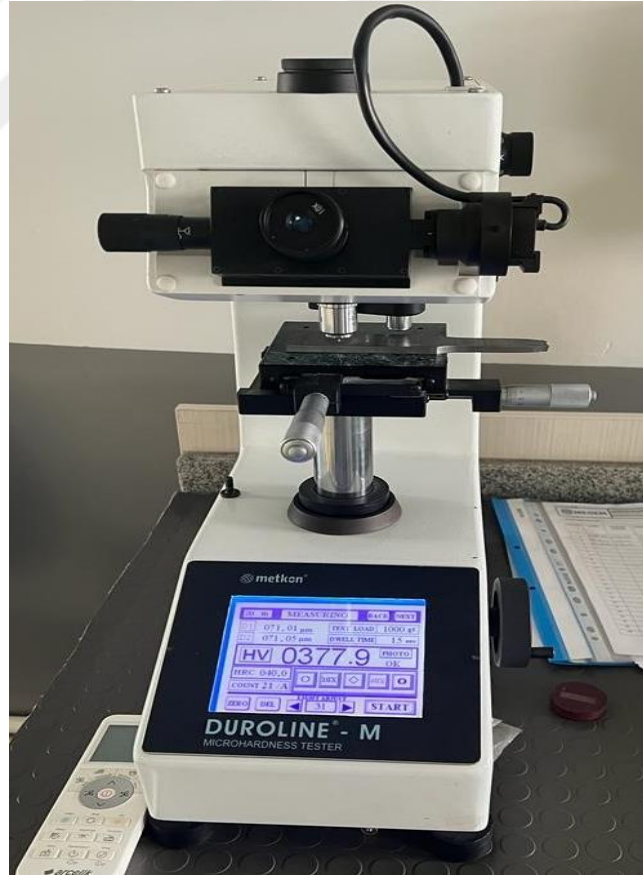
Cihaz Hakkında Genel Teknik Özellikler		
Cihazın adı	ALŞA MCK 600 ELEKTRO	
Kapasite	600 KN	
Yükleme	Elektromekanik servo motorlu	
Çene tipi	Kayar Çene	
Test Mesafesi	650mm-1000mm-1200mm	
Çalışma sıcaklığı	18-26°C	
Ağırlık	90 kg	
Güç	200-400W	
Deplasman-Hassasiyeti	+ -0.1%mm	
Kuvvet ölçüm rezilasyonu	1/300000	

3.5.2. Mikro sertlik testi

Sertlik testi, malzemenin çizilmeye karşı gösterdiği dirençtir. Malzeme yüzeyine uygun görülen bir batıcı uçun batırılması ve yüzeyde izin oluşması prensibine dayanır. Malzeme yüzeyinde meydana gelen izin büyüklüğü ile malzemenin sertliği arasında ters bir orantı vardır.

MEGEM'in laboratuvarında bulunan ve sertlik ölçümü için kullandığımız Metkon Doruline-M cihaz ile işlem gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için elmas piramit uç kullanılmıştır. Test edilecek olan S235JR malzemenin yüzeyine 1000 gram yük, 15 saniye tatbik süresi kullanılmıştır. Bir adet malzeme yüzeyinden beş farklı noktada ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerin ortalaması alınarak bir hesaplama yapılmıştır.

Sonuç olarak; Vickers sertlik değerleri ham malzeme, nitrürleme yapılmış malzeme ve indüksiyon yapılmış malzeme için bulunmuştur. Vickers sertlik ölçüm cihazı Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Vickers mikro sertlik ölçüm cihazı

3.5.3. Işıık mikroskobu analizi

Bu alışma sırasında nitr rl me ve indüksiyon işlemi yapılmış olan S235JR malzemelere Metkon Metacut 250 kesme cihazı ile soğutma sıvısı ile düzgün ve hassas kesme işlemi yapılmıştır. Kesilen numuneler Osmangazi  niversitesi laboratuvarında bulunan Struers CitoPress-1 cihaz ile sıcak numune kalıplama ile bakalite alınmıştır. Bundan sonraki işlemler MEGEM'in laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kalıba alınan numuneler Metkon Forcipol 2V cihaz ile zımparalama 120-320-600-800-1000 şeklinde kademeli bir şekilde yapılmıştır. Metkon Monocrstalline Diamond Suspensin 6 micron solüsyon ile bakalite alınmış numunelere parlatma işlemi yapılmıştır. Metalografik olarak hazırlanan numuneler Nikon Eclipse MA100 cihaz ile ışık mikroskobunda 500x büyütmeyle (ters metal mikroskobu) görüntü alabilmek için ayna parlaklığına ulaşan malzemelere %2 nital (2ml HNO₃, 98 ml C₂H₅OH)  zeltisiyle dağlama yapılmıştır.

Kesme cihazı şekil 3.13'te, bakalite alma cihazı şekil 3.14'de, zımparalama ve parlatma cihazı şekil 3.15'te, ışık mikroskobu şekil 3.16'da, bakalite alınmış malzemelere ait görüntü şekil 3.17'de gösterilmiştir.



şekil 3.13. Kesme cihazı



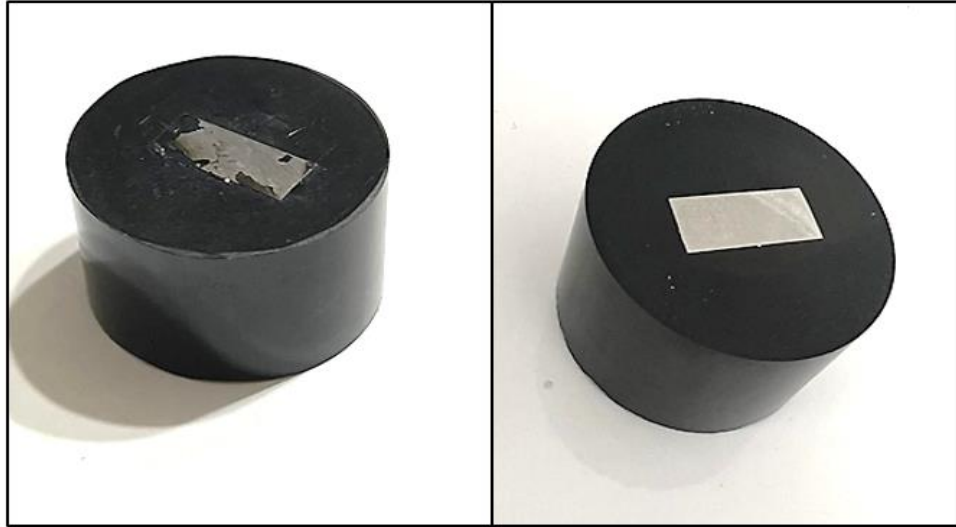
Şekil 3.14. Bakalite alma cihazı



Şekil 3.15. Zımparalama ve parlatma cihazı



Şekil 3.16. Işık mikroskobu cihazı



Şekil 3.17. Bakalite alınmış malzeme görüntüsü

3.5.4. Frezeleme işlemi

Bu çalışma kapsamında talaşlı imalat işlemlerinden biri olan frezeleme işlemi belli parametreler belirlenerek S235JR malzemenin yüzeyine uygulanmıştır. Kullandığımız malzemenin boyutu 30×30×6mm olacak şekilde şerit testere ile kesim yapılarak hazır hale getirilmiştir. Kayra Makine firması tarafından temin edilen DAHLIH 1020 BA CNC cihaz ile alın frezeleme yapılarak malzemenin yüzeyinden talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Talaş kaldırmada Korloy marka WNMX09T316 kodlu bir karbür uç kullanılmış ve Şekil 3.19’da gösterilmiştir. Frezeleme işleminde kullanılan kesme parametreleri (ilerleme, talaş derinliği vs.) frezeleme işleminde elde edilen veriler üzerine yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Malzemenin yüzeyinden 1 mm kadar derinlik verilmiştir. 1200 dev/dk sabit tutularak, ilerleme miktarları değiştirilmiştir. İlerleme miktarları minimum için 500 verilirken, maksimum için 2000 verilmiştir. 3 grup şeklinde sınıflandırdığımız (ham malzeme, nitrüleme yapılmış malzeme, indüksiyon yapılmış malzeme) ve her grupta 8 adet malzeme kullandığımız bu çalışma için kullanılan CNC cihazının görseli Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.18. DAHLIH 1020 BA CNC frezeleme cihazı



Şekil 3.19. Korloy marka WNMX09T316 kodlu bir karbür uç

3.5.5. Satış yüzey taşlama işlemi

Taşlama işlemi talaşlı imalat yöntemlerinden biridir. Taşlama işleminde döner silindirik taş yardımıyla malzeme yüzeyinden düşük miktarda talaş kaldırılarak daha pürüzsüz ve hassas bir ölçüye getirilmesi hedeflenir. Satış yüzey taşlama işlemi için Türkiye Şeker Fabrikaları A. Ş. Eskişehir Makina Fabrikası'nda bulunan JOTES SPC 20a cihazı kullanılmış ve manyetik tabla üzerine yerleştirilen malzemelerin yüzeyinden döner silindirik taş yardımıyla talaş kaldırılmıştır. Talaşı malzeme yüzeyinden uzaklaştırmak için kesme sıvısı olarak bor yağı kullanılmıştır. Taşlama işlemi, kaba taşlama ve bu işlem sonrası ince taşlama olacak şekilde iki aşamalı süreçtir. S235JR malzemenin yüzeyine kaba taşlama işlemi yaklaşık olarak 15 dakika, ince taşlama işlemi ise yaklaşık 25 dakika kadar uygulanmıştır. İşlem sırasında kullanılan cihaz hakkında genel bilgiler Çizelge 3.5'te ve Şekil 3.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Taşlama cihazı hakkında genel bilgiler

Satış Yüzey Taşlama Cihazı	
Marka	JOTES SPC 20a
Taşlama taşı boyutları	200×20mm
Manyetik masa boyutları	500×200mm



Şekil 3.20. Satih yüzey taşlama cihazı

3.5.6. Yüzey pürüzlülük testi

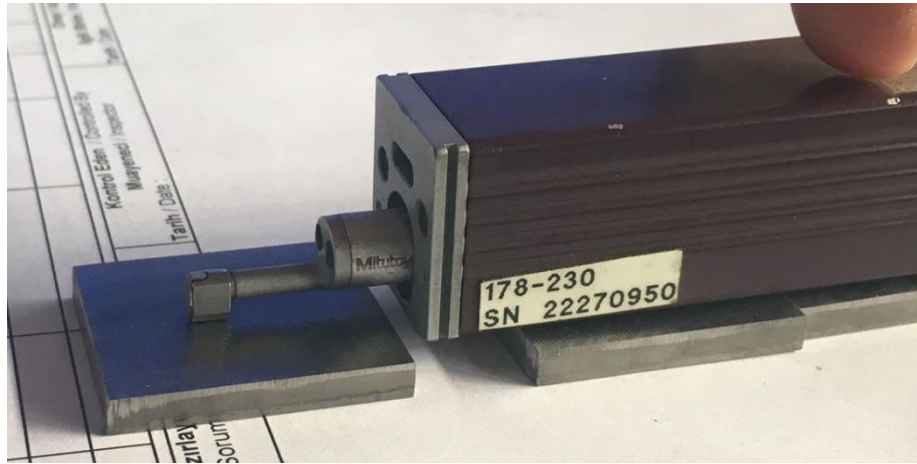
Yüzey pürüzlülük testi için, üç gruba ayırdığımız malzeme gruplarına belli parametreler altında frezeleme ve taşlama işlemlerinin uygulanmasından sonra Ra ölçümleri yapılmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) ölçümleri, Surfes SJ-210 Mitutoyo profilometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz Trimes Mühendislik Sanayi ve Ticaret Limited Şirket firması tarafından temin edilmiştir. Deneyisel çalışmada kullanılan cihazın genel özellikleri Çizelge 3.6'da ve görselleri Şekil 3.21'de ve Şekil 3.22'de verilmiştir.

Çizelge 3.6.Cihaz hakkında genel bilgiler

Surfest SJ-210 Mitutoyo Yüzey Pürüzlülük Cihazı	
Dedektör ölçüm kuvveti	0.75 mN (meganeuton)
Kullanılan kalem uç	Elmas iğne
Kalem uç çapı ve derecesi	2 μ m ve 60°
Pürüzlülük ölçüm aralığı (Z ekseni- dikey)	360 μ m (-200 μ m ...+160 μ m)
Pürüzlülük ölçüm aralığı (X ekseni- yatay)	16 mm
Ağırlık	500 gr



Şekil 3.21. Ortalama yüzey pürüzlülük Ra ölçüm cihazı



Şekil 3.22. Cihazın ölçüm sırasındaki görseli

4. BULGULAR

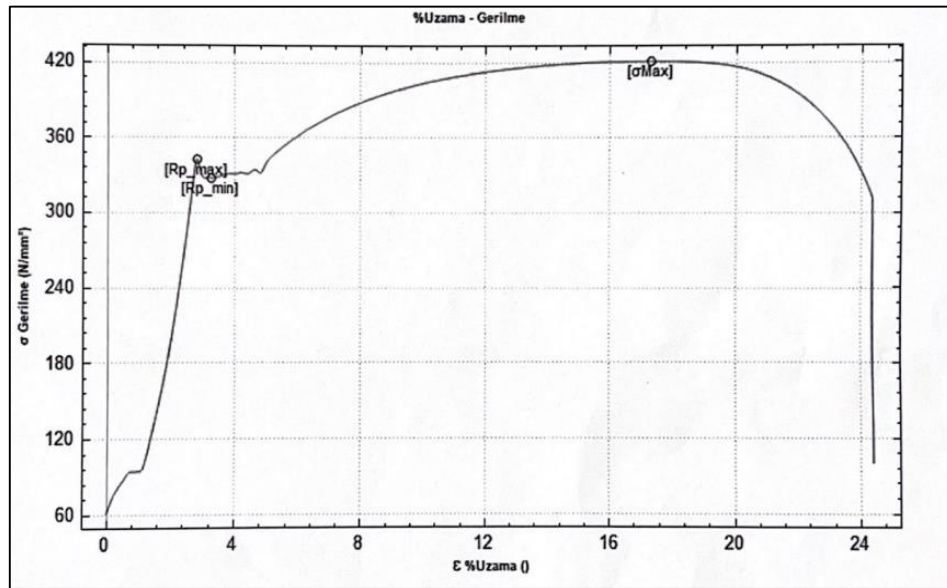
Nitrüleme ve indüksiyon yöntemleri uygulanan S235JR malzemelerin çekme testi, %uzama miktarı, mikro sertlik (vickers) testi ve yüzey pürüzlülük ölçümleri (Ra) bu kısımda ham maddeye göre kıyaslamalar yapılarak incelenmiştir.

4.1. Çekme Testi Analiz Sonuçları

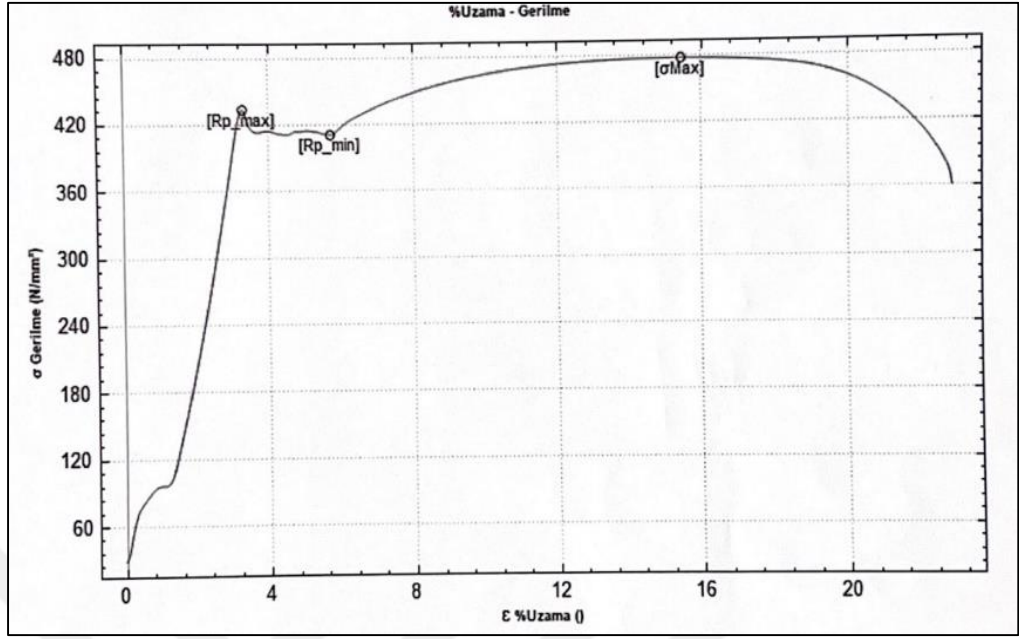
Çekme testi ham malzemeye, indüksiyonlu malzemeye ve nitrüleme yapılmış malzemeye üçer defa yapılacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Çalışma için kullanılan S235JR malzemenin yüzeyine sertleştirme işlemi yapılarak çekme dayanımının ham malzemeye kıyasla arttığını gözlemlenmiştir. Aşağıdaki Çizelge 4.1’de çekme dayanımı verileri verilmiştir. Deney işleminde her grup için gerilme-uzama (F-ΔL) diyagramları Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çekme dayanımı verileri

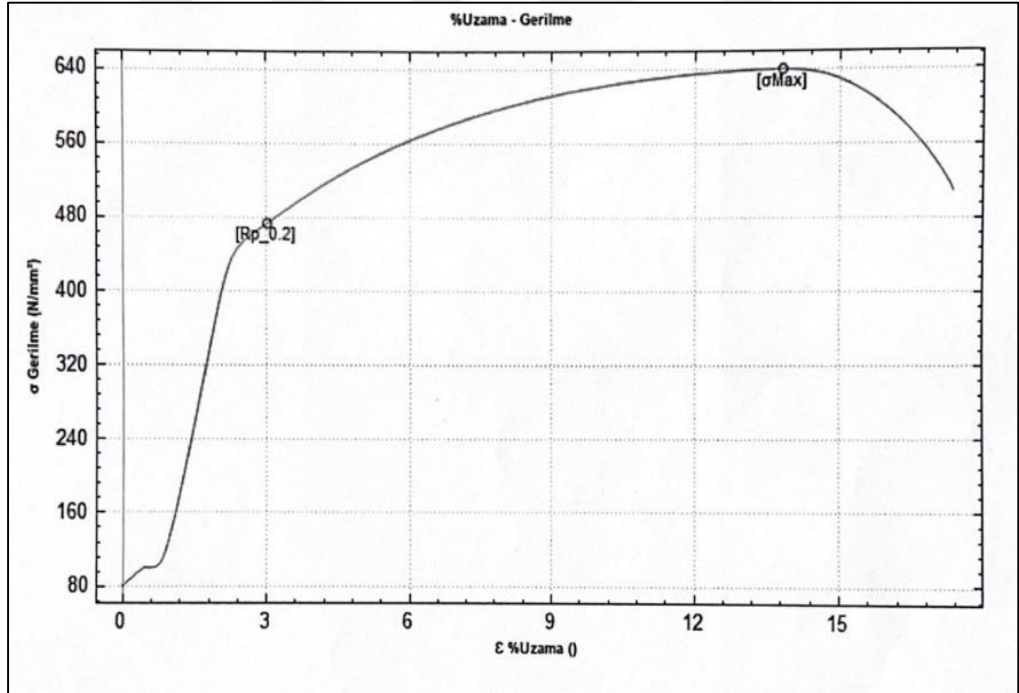
S235JR	Çekme Dayanımı (σ_c)			Ortalama
Ham malzeme	421,38	419,82	420,71	420,6
İndüksiyon malzeme	639,47	662,55	598,49	633,5
Nitrüleme malzeme	476	476,67	480,56	477,7



Şekil 4.1. Ham malzeme gerilme-uzama diyagramı

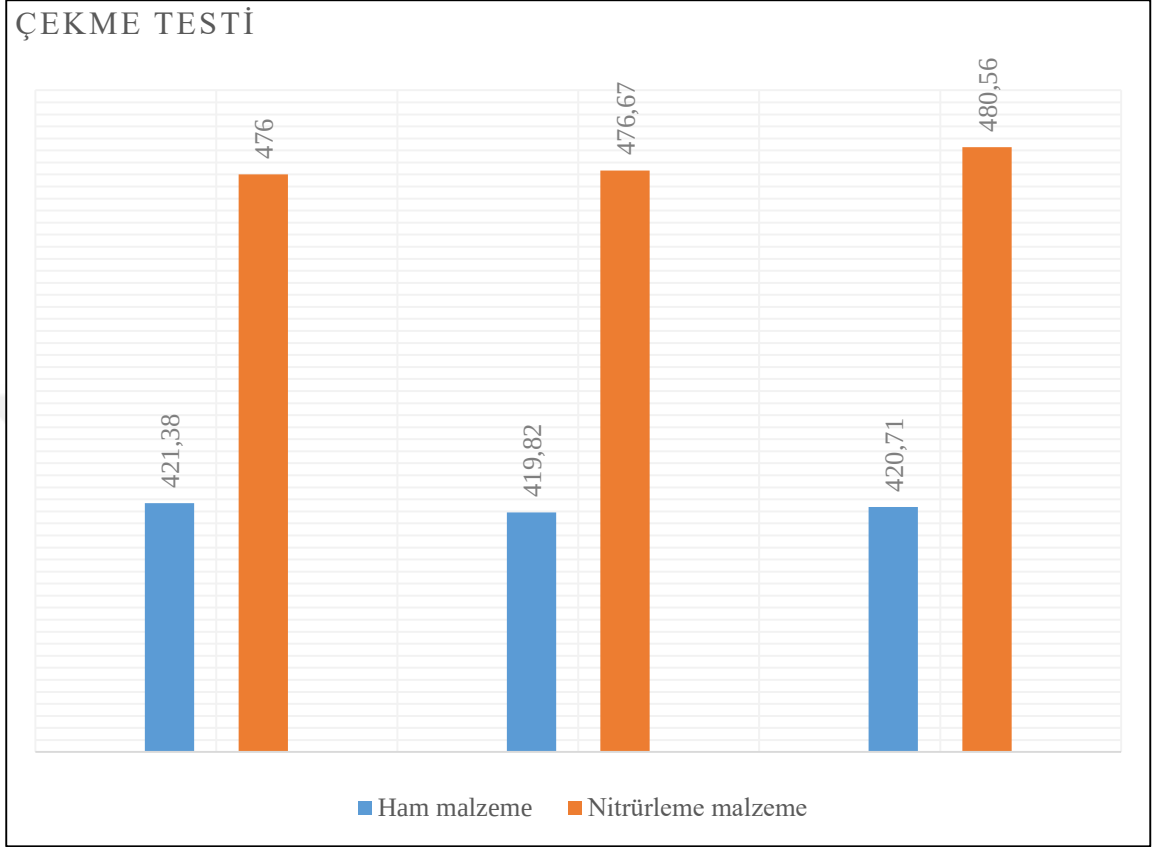


Şekil 4.2. Nitrürleme yapılmış malzeme gerilme-uzama diyagramı



Şekil 4.3. İndüksiyon yapılmış malzeme gerilme-uzama diyagramı

Her grup için 3'er defa gerçekleştirilen çekme deneyinde malzemelerin ortalaması alınmış ve ham malzemeye göre yüzdelik artış oranları bulunmuştur. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te ham malzemeye göre dayanım kıyaslaması yapılmıştır.

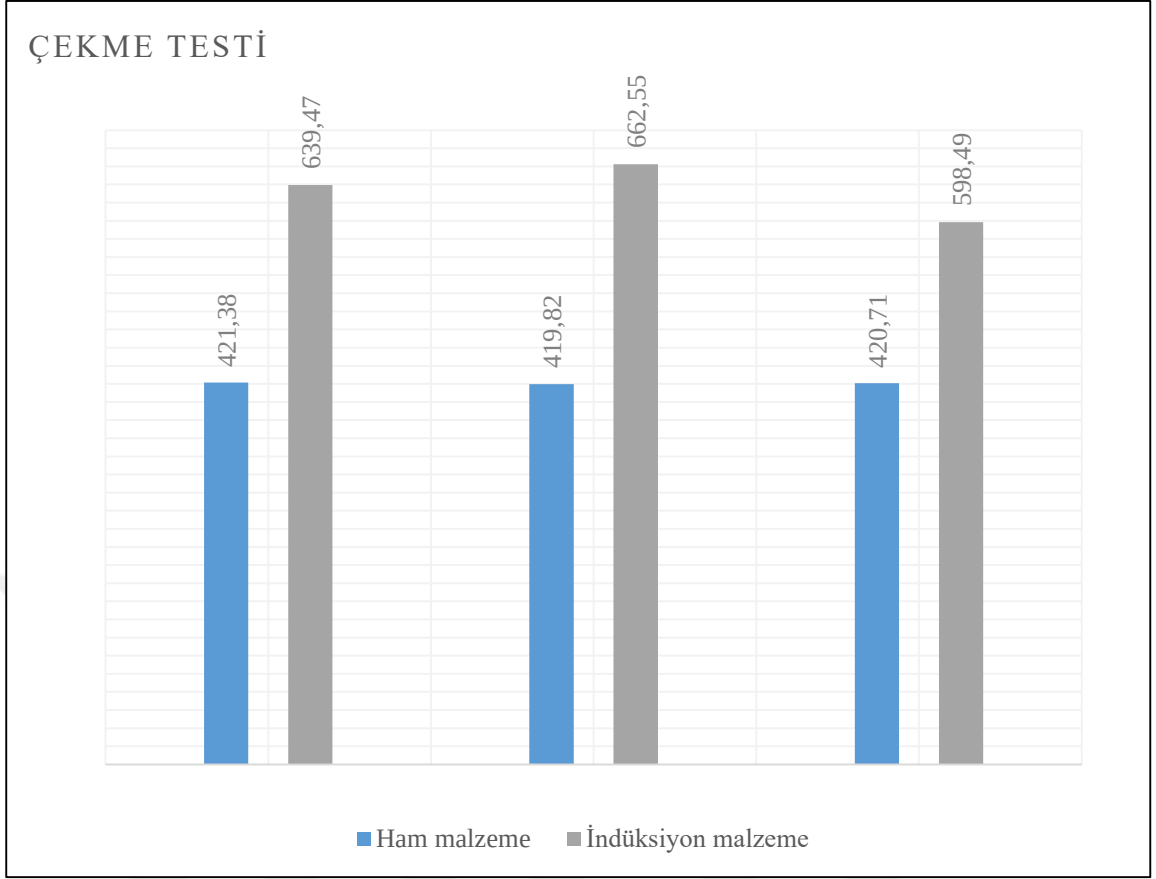


Şekil 4.4. Ham ve nitrüleme işlemi yapılmış malzemelerin dayanım değer karşılaştırılması

Ham malzemeye uygulanan nitrüleme işlemi ile çekme dayanımı yaklaşık olarak % 14 artış göstermiştir. Ham malzemeye göre bu artışın matematiksel hesaplaması (4.1)'de aşağıda verilmiştir.

$$\{ [(420,6-477,7)/420,6] \times 100 \} \quad (4.1)$$

Sonuç: %13,60



Şekil 4.5. Ham ve indüksiyon işlemi yapılmış malzemelerin dayanım değeri karşılaştırılması

Ham malzemeye uygulanan indüksiyon ile yüzey sertleştirmede, çekme dayanımı yaklaşık olarak % 51 şeklinde bir artış söz konusu olmuştur. Bu değerin bulunmasındaki matematiksel hesaplama aşağıda (4.2)'de verilmiştir.

$$\{ [(420,6-633,5)/420,6] \times 100 \} \quad (4.2)$$

Sonuç: %50,62

Malzemeye uygulanan her iki farklı yüzey sertleştirme yönteminde de S235JR malzeme dayanımı arttığı görülmüştür. Ortam koşulları ve yüzey sertleştirme yöntemi sırasında uygulanan parametreler önemli ölçüde etkilemiştir.

Kopma uzaması (KU): Çekme malzemesinin ilk boyu ve deney sonrasında meydana gelen uzama olan son boyun ölçülür. Malzemenin boyunda meydana gelen uzama $\Delta L = l_k - l_0$ formülü ile bulunur. Aşağıdaki bağlantı (4.3) ile malzemenin sünekliğini gösterir.

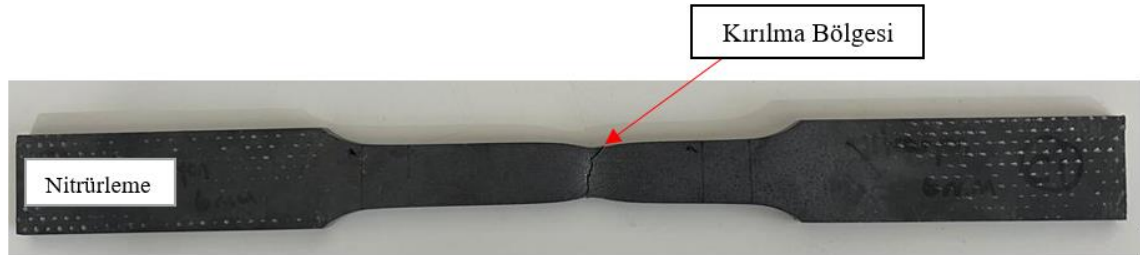
$$KU(\%) = \Delta L / L_0 \times 100 \quad (4.3)$$

Çizelge 4.2’de farklı sertleştirme yöntemi ile sertleştirilen S235JR malzemede % uzama ve ortalama değerleri verilmiştir. Şekil 4.7’de ve Şekil 4.8’de ham malzeme ve sertleştirme uygulanmış S235JR malzemeler arasında karşılaştırma yapılmıştır.

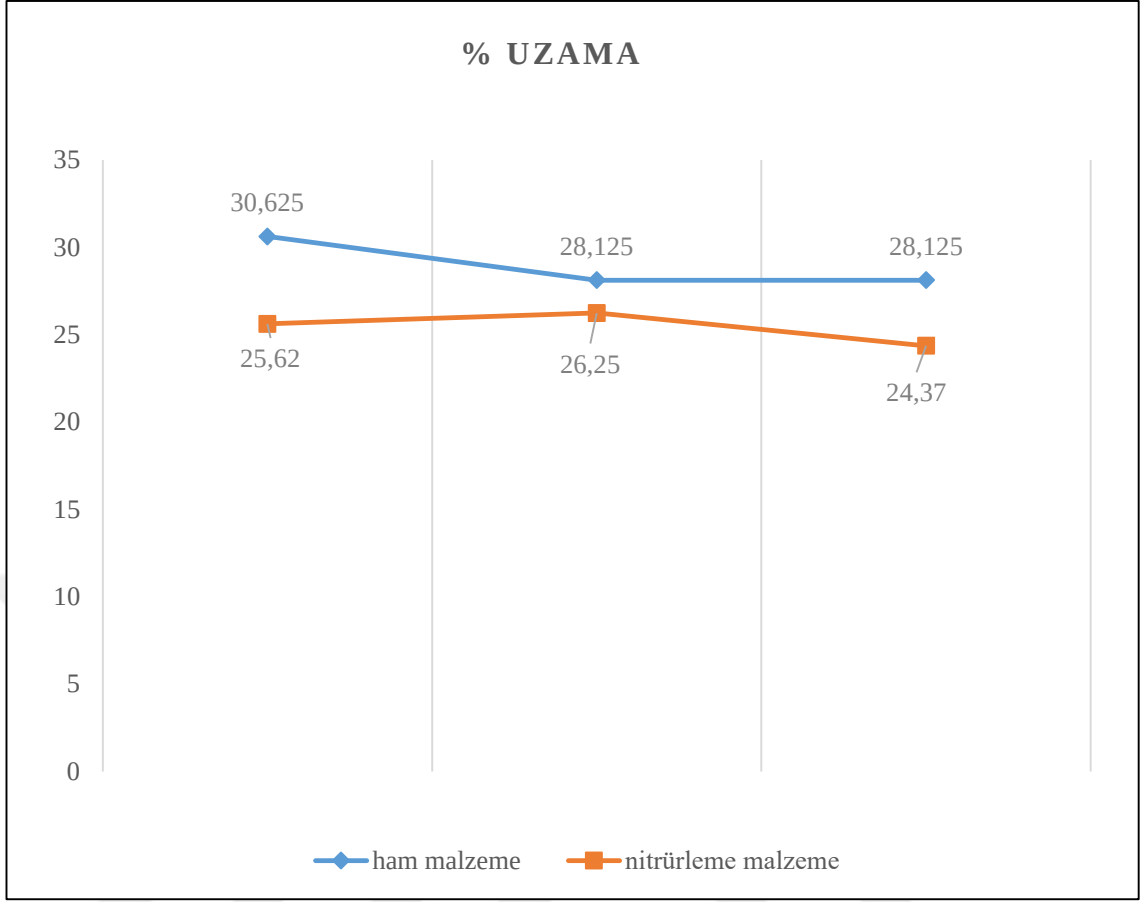
Çizelge 4.2. S235JR malzemeye ait % uzama

S235JR	% Uzama Değerleri			Ortalama
Ham malzeme	30,625	28,125	28,125	28,958
Nitrürleme malzeme	25,62	26,25	24,37	25,413
İndüksiyon malzeme	21,875	19,37	19,37	20,205

Ham malzemeye uygulanan nitrürleme işlemine göre uzama miktarında %12,245 değerinde bir azalma söz konusudur. Matematiksel işlemi (4.4)’de gösterilmiştir. Yani malzemeye uygulanan işlem ile malzeme belli bir dayanım kazanmış ve süneklik bakımından bir azalma söz konusu olmuştur. Bu azalma yaklaşık olarak % 12’ dir. Nitrürleme yapılmış malzemenin çekme testine ait görüntü Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Süneklikte oluşan bu azalma dayanımda meydana gelen artış ile desteklenmektedir. Ham malzemeye uygulanan nitrürleme ile dayanım değerinde yaklaşık % 14’lük artış oluşmuştur. Ham malzemeye göre uzama miktarındaki azalma Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Nitrürleme işlemi yapılmış malzemedeki plastik şekil değişimi

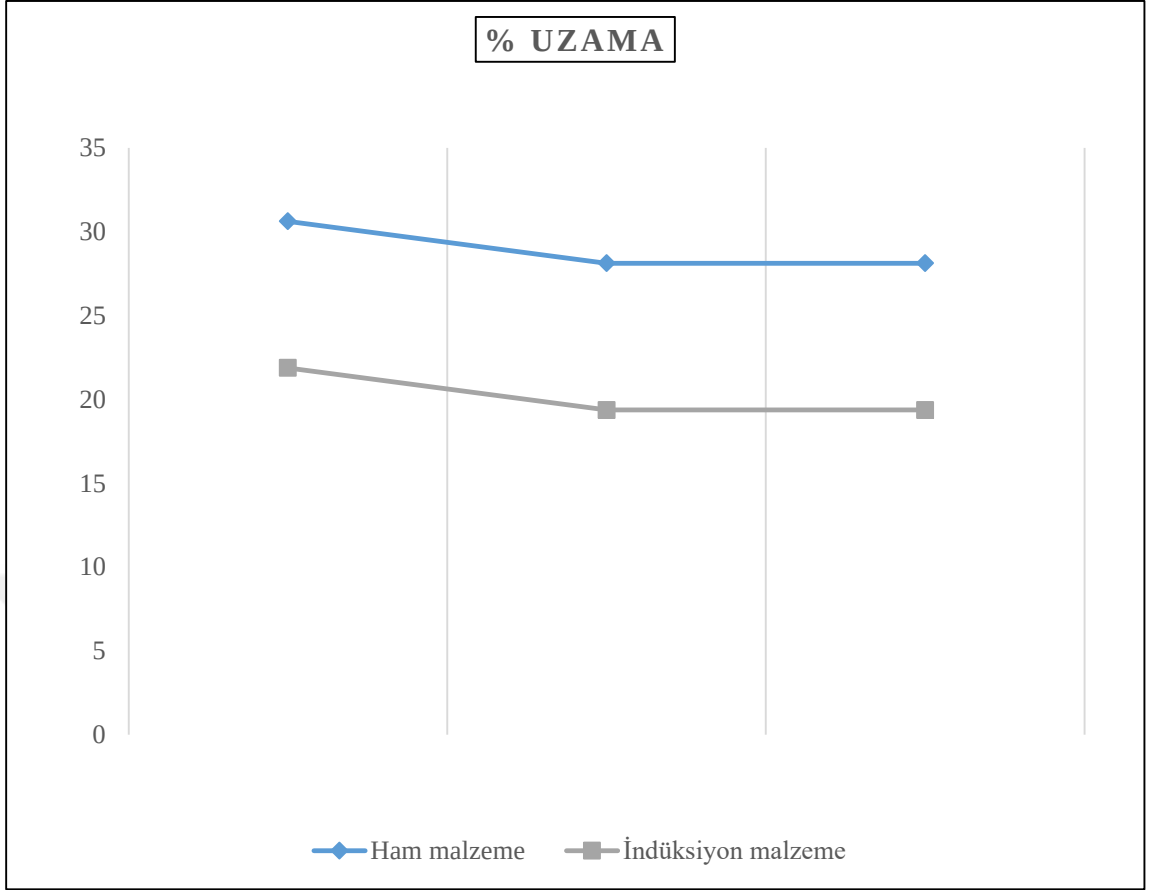


Şekil 4.7. Ham ve nitrüleme ile sertleştirilmiş malzeme arasında % uzama değeri karşılaştırması

$$\{[(28,958 - 25,413) / 28,95] \times 100\} \quad (4.4)$$

Sonuç: %12, 245

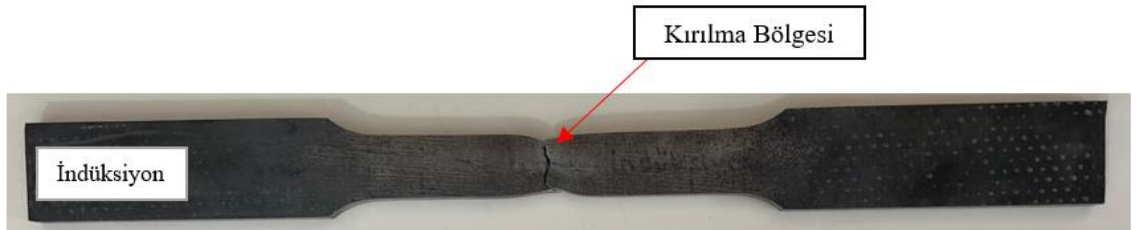
İndüksiyon yöntemi ile sertleştirilen ham malzemedeki uzama miktarında % 30,226 azalma olduğu görülmüş ve Şekil 4.8’de verilmiştir. Yani ham malzemeye uygulanan işlem ile mekanik özelliklerinin iyileştirildiği fark edilmiştir. Matematiksel işlemi (4.5)’te verilmiştir. Süneklikte yaklaşık %30 azalma olurken dayanımda yaklaşık % 51 oranında artış meydana gelmiştir. Yani malzemedeki uzama miktarındaki azalma dayanımı desteklemektedir. İndüksiyon işlemi ile sertleştirilen S235JR malzemenin çekme testi sonrasına ait görüntü Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Ham ve indüksiyon malzeme arasında % uzama değeri karşılaştırması

$$\{[(28,958- 20,205) /28,958]\times100\} \quad (4.5)$$

Sonuç: % 30,226



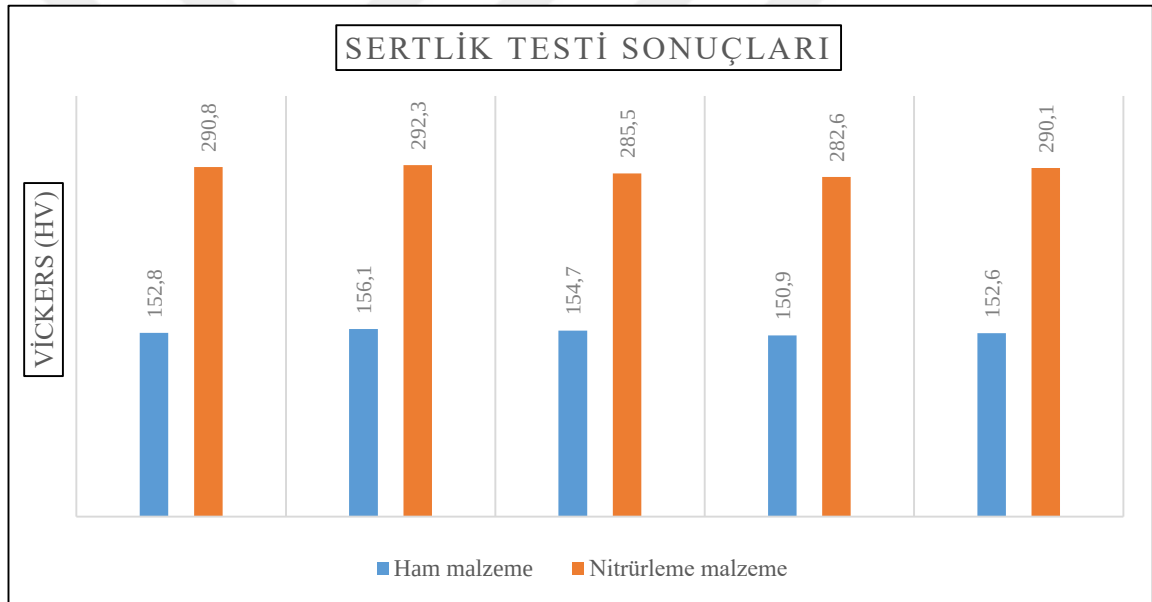
Şekil 4.9. İndüksiyon işlemi yapılmış malzemedeki plastik şekil değişimi

4.2. Sertlik Testi Analiz Sonuçları

Vickers sertlik ölçümü üç grup (ham malzeme, nitrüleme malzeme ve indüksiyon malzeme) için yapılmıştır. Her bir gruptan 1 malzemenin yüzeyinden beş farklı noktada ölçümler yapılmış olup Çizelge 4.3'te ortalamaları alınmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Sertlik ölçüm sonuçları ve ortalamaları

S235JR	Sertlik Ölçüm Sonuçları					Ortalama
Ham malzeme	152,8	156,1	154,7	150,9	152,6	153.42 HV
Nitrüleme malzeme	290,8	292,3	285,5	282,6	290,1	288.26 HV
İndüksiyon malzeme	214,9	216,5	211,4	223,4	207,2	214.68 HV

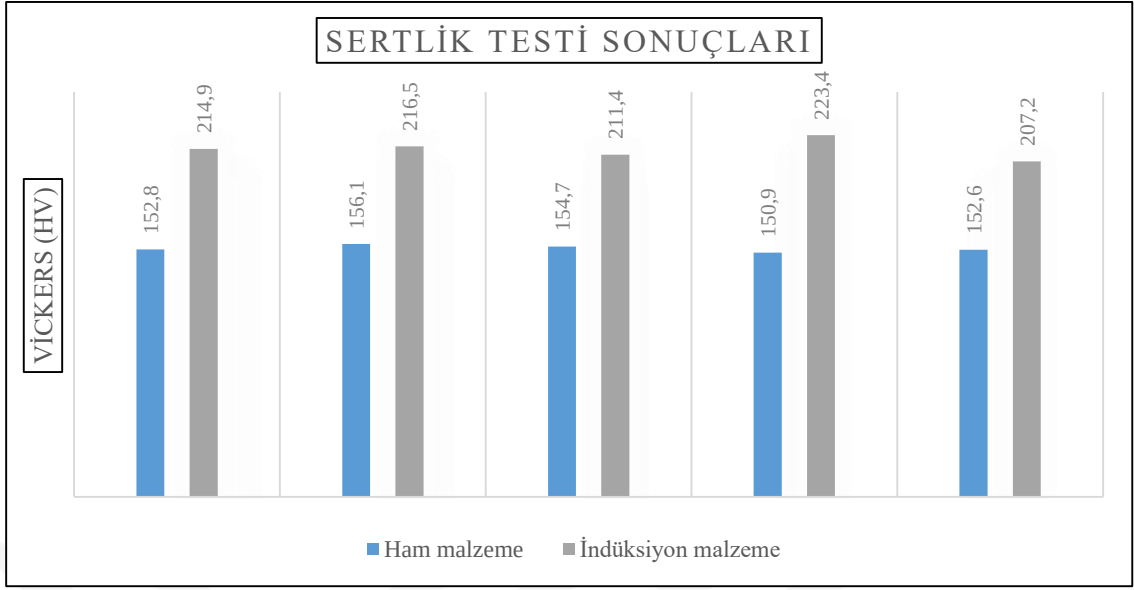


Şekil 4.10. Ham ve nitrüleme ile sertleştirilmiş malzemelerin sertlik değerleri karşılaştırması

Ham malzemeye uygulanan nitrüleme ile sertleştirme işlemi, malzemenin yüzey sertliğinin yaklaşık olarak %88 arttırmıştır. Bu işlemin matematiksel olarak hesaplanması (4.6)'da verilmiştir.

$$\{ [(288,26-153,42)/153,42] \times 100 \} \quad (4.6)$$

Sonuç: % 87,889



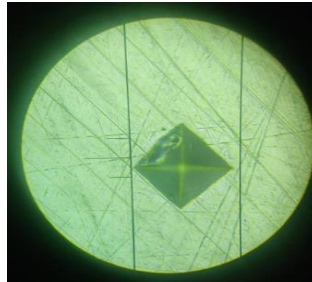
Şekil 4.11. Ham ve indüksiyon ile sertleştirilmiş malzemenin sertlik değerleri karşılaştırma

Şekil 4.11’de incelediğimizde indüksiyon ile sertleştirme işlemi uygulanmış malzemenin yüzey sertlik değeri yaklaşık olarak % 40 olarak arttırmıştır. Ham malzemeye göre artış miktarının matematiksel olarak hesaplanması (4.7)’de aşağıda gösterilmiştir.

$$\{[(214,68-153,42)/153,42] \times 100\} \quad (4.7)$$

Sonuç: %39,93

S235JR malzemeye indüksiyon ve nitrüleme işlemi ile sertleştirerek sertlik değerlerinde artış meydana gelmiştir. Nitrüleme işleminde elde edilen %88 ‘lik artışın sebebi olarak vakum fırının içerisinde kullanılan amonyak, karbondioksit ve hava gazları, malzeme yüzeyinde farklı bileşikler oluşması sertlikteki artışın sebebi olarak düşünülmektedir. Sertlik ölçümünün gerçekleştirildiği malzeme üzerinde oluşan çizik Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. S235JR malzeme üzerinde oluşan çizik

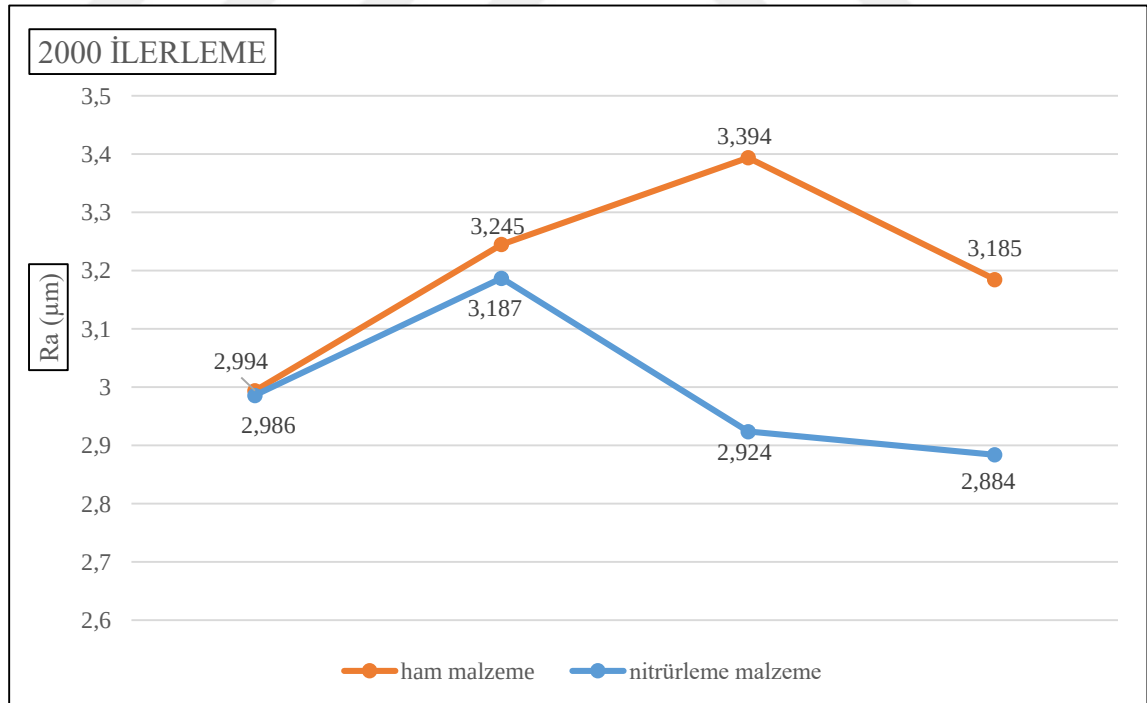
4.3. Frezeleme Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

İki farklı yöntem ile sertleştirilmiş S235JR malzemenin yüzeyine uygulanan alın frezeleme işleminde ilerleme miktarı değiştirilerek yüzeyden talaş kaldırılması ve düzensiz şekiller oluşur. Yapılan bu işlem sonucunda profilometre kullanılarak, ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te bu ölçümlerin sonuçları ve ortalaması verilmiştir.

Çizelge 4.4. 2000 ilerleme miktarına ait ölçüm sonuçları

Devir:1200 dev/dk Derinlik:1mm İlerleme Miktarı:2000 mm/dk	S235JR	Ra (ortalama pürüzlülük)				Ortalama
	Ham malzeme	2,994	3,245	3,394	3,185	
	Nitrüleme malzeme	2,986	3,187	2,924	2,884	
	İndüksiyon malzeme	2,159	2,602	2,464	2,728	

Ham malzeme ve nitrüleme yöntemi ile sertleştirilmiş malzemeye göre yüzey pürüzlülük değerini azalttığı tespit edilmiştir. Şekil 4.13'de maksimum 2000 ilerleme miktarında ham malzeme ve nitrüleme yapılmış malzemelerin Ra değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Ham ve nitrüleme ile sertleştirilmiş malzemenin 2000 ilerleme miktarındaki yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırması

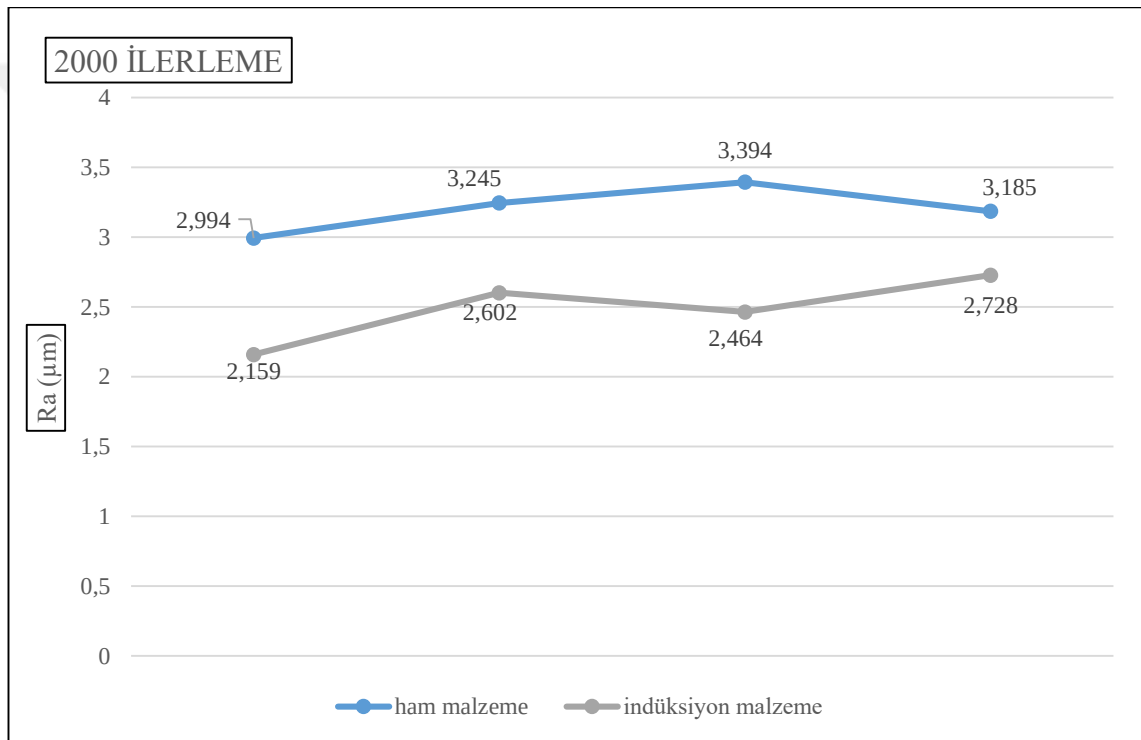
Ham malzemeye göre nitrürleme ile sertleştirilen S235JR malzemenin azalış miktarının hesaplaması (4.8)'de verilmiştir.

$$[(2.99525- 3.2045)/3.2045] \quad (4.8)$$

Azalış miktarı: -0,0653 μm

% Azalış miktarı: -6,52988

Ham malzeme ve indüksiyon ile sertleştirilmiş malzemeye göre yüzey pürüzlülük değerini azalttığı görülmüştür. Şekil 4.14'de 2000 ilerleme miktarında ham malzeme ve indüksiyon yapılmış malzemelerin Ra değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Ham ve indüksiyon ile sertleştirilmiş malzemenin yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırması

Ham malzemeye göre indüksiyon ile sertleştirilen S235JR malzemenin azalış miktarının hesaplaması (4.9)'da verilmiştir.

$$[(2.48825-3.2045)/3.2045] \quad (4.9)$$

Azalış miktarı: -0.22351 μm

% Azalış miktarı: -22.3514

Bu çalışmada yüzey sertleştirme işleminin yüzey pürüzlülük değerlerini azalttığı görülmüştür. Bu azalma indüksiyon işlemi sonrası %22 iken nitrürleme işlemi sonrası ise % 6,5 olduğu belirlenmiştir. Nitrürleme işleminde elde edilen sertlik değeri en yüksek iken, pürüzlülük ölçümlerinde en düşük değer elde edilmiştir. Şekil 4.15'te 2000 ilerleme miktarı malzeme üzerindeki düzensiz şekillere ait görsel verilmiştir.



Şekil 4.15. S235JR 2000 ilerleme miktarında frezeleme işlemi yapıldıktan sonraki görüntüsü

Minimum ilerleme miktarı 500mm/ dk olarak belirlenmiş olup ve Çizelge 4.5'te yüzey pürüzlülük sonuçları ve ortalamaları gösterilmiştir. İşlemin uygulandığı malzeme görüntüsü Şekil 4.16'da verilmiştir.

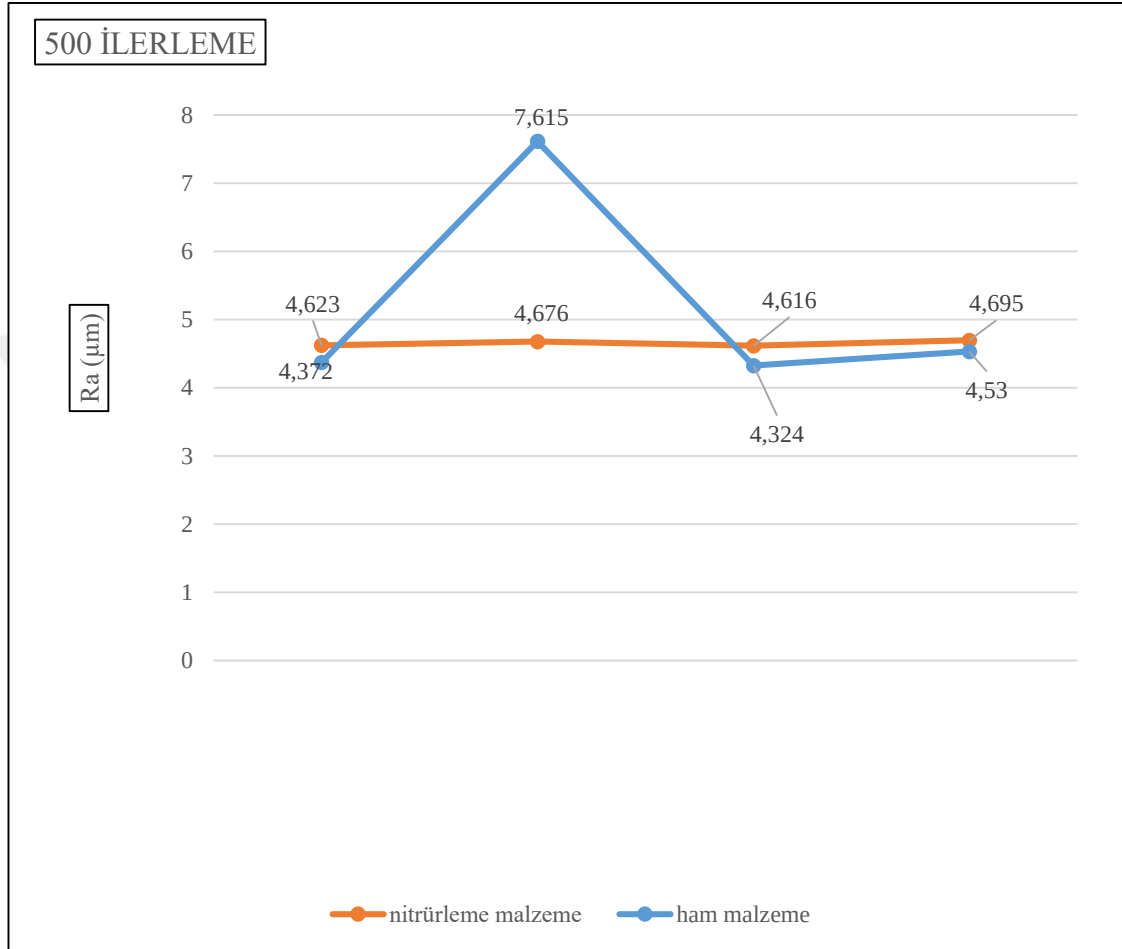
Çizelge 4.5. 500 ilerleme miktarına sahip ölçüm sonuçları

Devir:1200 dev/dk Derinlik:1mm İlerleme Miktar: 500mm/dk	S235JR	Ra (ortalama pürüzlülük)				Ortalama
	Ham malzeme	4,372	7,615	4,324	4,53	5,21025
	Nitrürleme malzeme	4,623	4,676	4,616	4,695	4,6525
	İndüksiyon malzeme	4,303	4,692	4,507	4,513	4,50375



Şekil 4.16. S235JR 500 ilerleme miktarında frezeleme işlemi yapıldıktan sonraki görüntüsü

Minimum ilerleme miktarı olarak 500 mm/dk olarak seçilen ham malzemeye göre nitrürlenme ve indüksiyon ile sertleştirilmiş S235JR malzemede azalma olduğu görülmektedir. Ham ve nitrürlenme ile sertleştirilmiş malzemelerin Ra değerleri Şekil 4.17’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.17. Ham ve nitrürlenme ile sertleştirilmiş malzemenin 500 ilerleme miktarındaki yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırılması

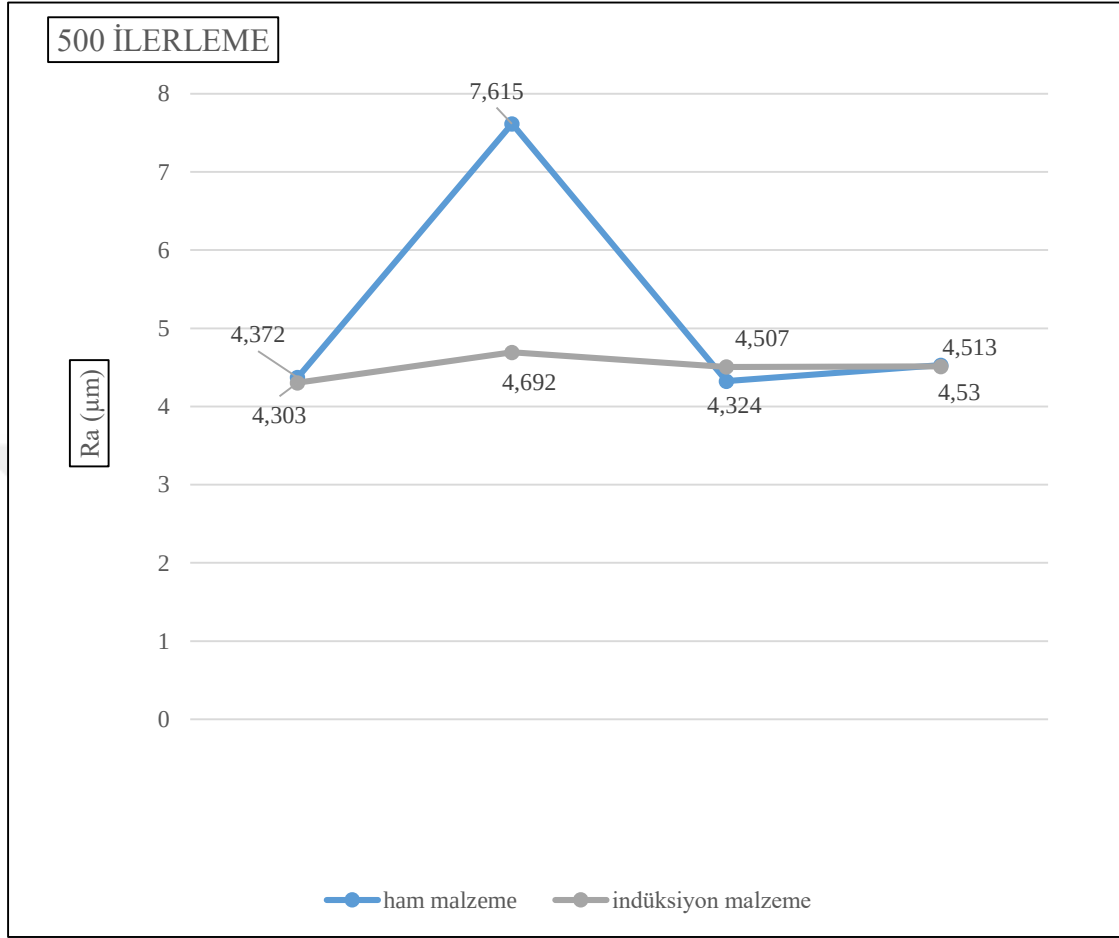
Şekil 4.17’de görüldüğü gibi ham malzemeye göre nitrürlenme ile sertleştirilen S235JR malzemenin azalış miktarının hesaplaması (4.10)’da verilmiştir.

$$[(5,21025-4,6525)/5,21025] \quad (4.10)$$

Azalış miktarı: 0,10704 μm

% Azalış miktarı: 10,704

Nitrüleme yapılmış malzemenin ham malzemeye göre ortalama yüzey pürüzlülük değerinde yaklaşık olarak % 11 azalma olduğu görülmüştür.



Şekil 4.18. Ham ve indüksiyon ile sertleştirilmiş malzemenin 500 ilerleme miktarındaki yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırılması

Ham malzemeye göre indüksiyon ile sertleştirilen S235JR malzemenin azalış miktarı 0,13559 olarak bulunmuş ve matematiksel hesaplaması (4.11)'de verilmiştir. Şekil 4.18'de ham ve indüksiyon ile sertleştirilmiş malzemenin 500 ilerleme miktarındaki yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırılmıştır.

$$[(5,21025-4,50375)/5,21025] \quad (4.11)$$

Azalış miktarı: 0,13559 µm

% Azalış miktarı: 13,559

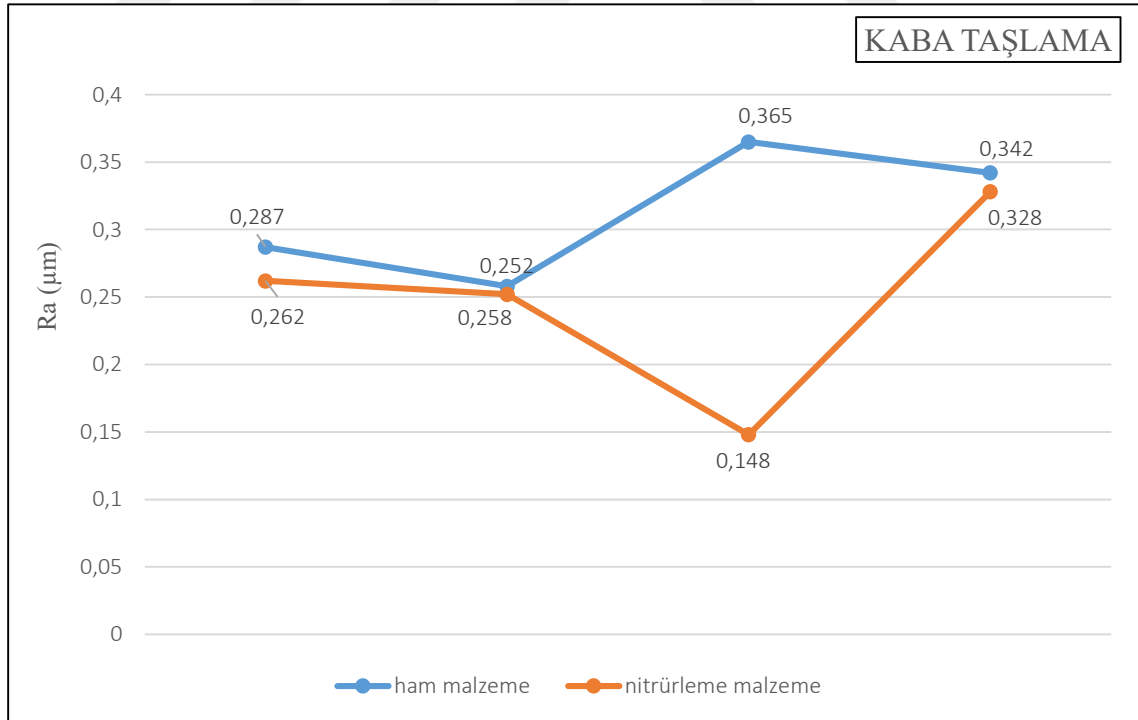
4.4. Taşlama Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

Ham malzemeye uygulanan nitrüleme ve indüksiyon işlemlerine taşlama işlemi uygulanarak yüzeyden talaş uzaklaştırılmıştır. Malzeme üzerinde meydana gelen şekil düzensizliklerin ölçümü profilometre kullanılarak, ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) ölçümleri yapılmıştır. Kaba taşlama ve bu işlem sonrası ince taşlama olacak şekilde 2 aşamalı bir süreçten oluşmaktadır. Kaba taşlama işlemine ait sonuçlar ve ortalamalar Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Kaba taşlama işlemine ait veriler

Kaba Taşlama (15 dk)	S235JR	Ra (Ortalama Pürüzlülük)				Ortalama
	Ham malzeme	0,287	0,258	0,365	0,342	0,313
	Nitrüleme malzeme	0,262	0,252	0,148	0,328	0,2475
	İndüksiyon malzeme	0,523	0,324	0,507	0,576	0,4825

Kaba taşlama yapılan ham ve nitrüleme ile sertleştirilmiş malzemelere ait kıyaslama Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19. Ham malzeme ve nitrüleme yapılmış malzeme arasında ortalama yüzey pürüzlülük değeri karşılaştırılması

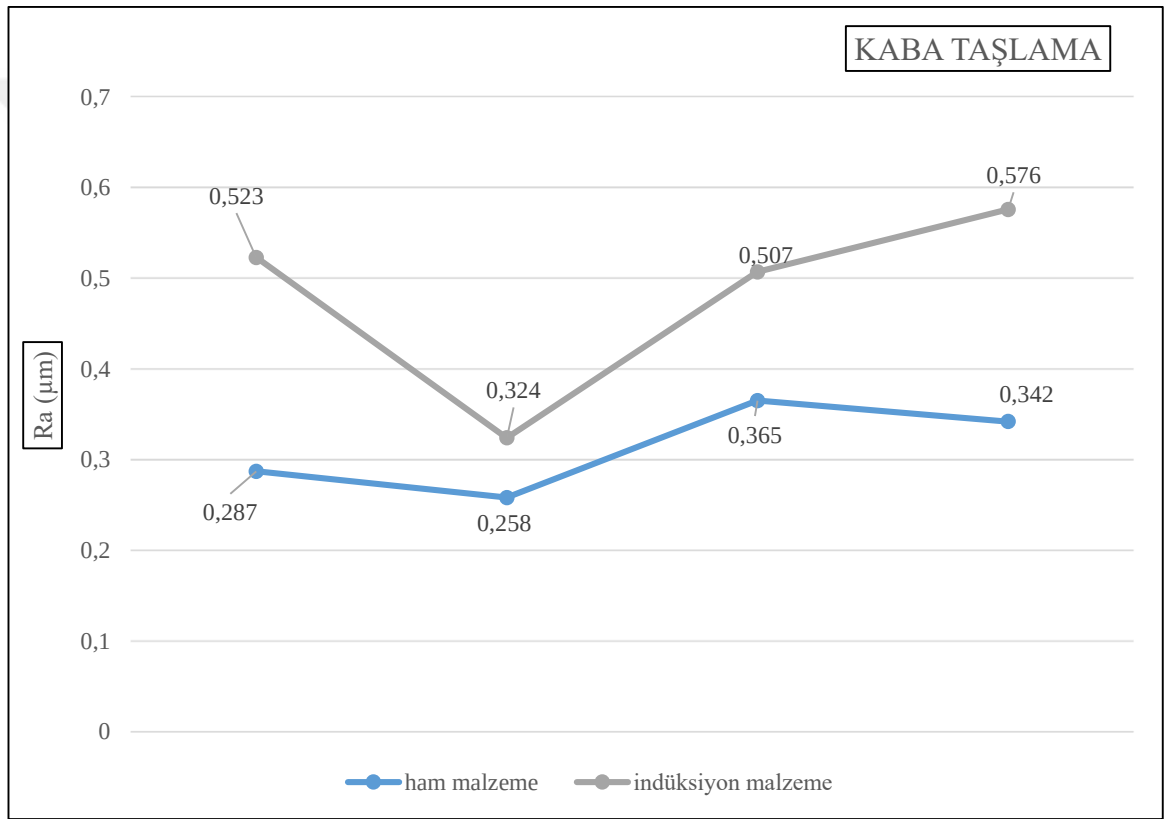
Şekil 4.19.'da görüldüğü gibi yaklaşık olarak %21 azalma olduğu görülmüştür. Matematiksel olarak hesaplaması (4.12)'de verilmiştir.

$$[(0,313-0,2475)/0,313] \quad (4.12)$$

Azalış miktarı: 0,20926 μm

% Azalış miktarı: 20,926

Ham ve indüksiyon ile sertleştirilmiş malzemedeki kaba taşlama işlemine ait kıyaslama Şekil 4.20'de verilmiştir. Ham malzemeye göre yüzey pürüzlülük sonucu yaklaşık % 54 artış meydana gelmiştir.



Şekil 4.20. Ham malzeme ve indüksiyon yapılmış malzeme arasında ortalama yüzey pürüzlülük değeri karşılaştırılması

Kaba taşlama ham ve indüksiyon ile sertleştirilmiş malzemedeki matematiksel hesaplaması (4.13)'te verilmiştir.

$$[(0,313-0,4825)/0,313] \quad (4.13)$$

Artış miktarı: -0,54153 μm

% Artış miktarı: -54,153

İnce taşlama yapılan S235JR malzemeye ait elde edilen sonuçlar ve ortalamaları Çizelge 4.7’de görülmektedir.

Çizelge 4.7. İnce taşlama ait yüzey pürüzlülük değerleri ve ortalamaları

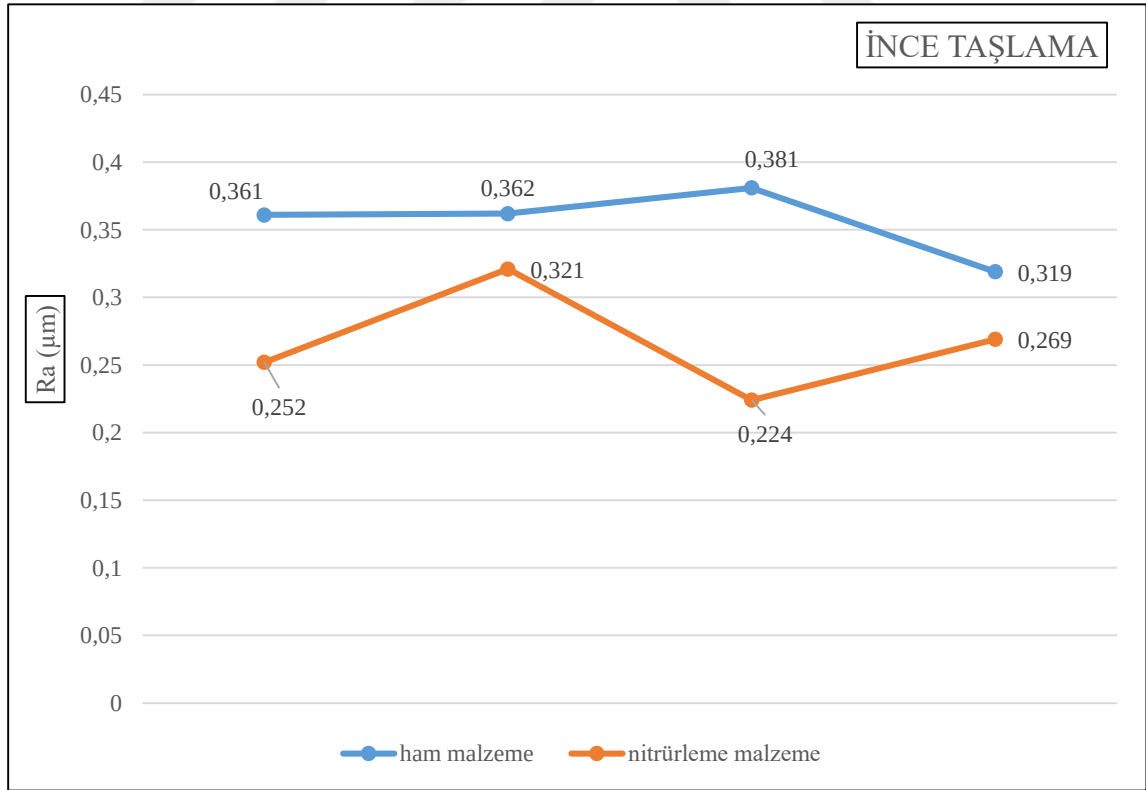
İnce Taşlama (25 dk)	S235JR	Ra (Ortalama Pürüzlülük)				Ortalama
	Ham malzeme	0,361	0,362	0,381	0,319	0,35575
	Nitrüleme malzeme	0,252	0,321	0,224	0,269	0,2665
	İndüksiyon malzeme	0,421	0,398	0,409	0,368	0,399

İnce taşlama işlemi ham ve nitrüleme ile sertleştirilmiş malzemedeki azalma Şekil 4.21’de verilmiştir. Bu değer yaklaşık olarak %25’tir. Bu değerın hesaplaması (4.14)’de verilmiştir.

$$[(0,35575-0,2665)/0,35575] \quad (4.14)$$

Azalış miktarı: 0,25087 μm

% Azalış miktarı: 25,087



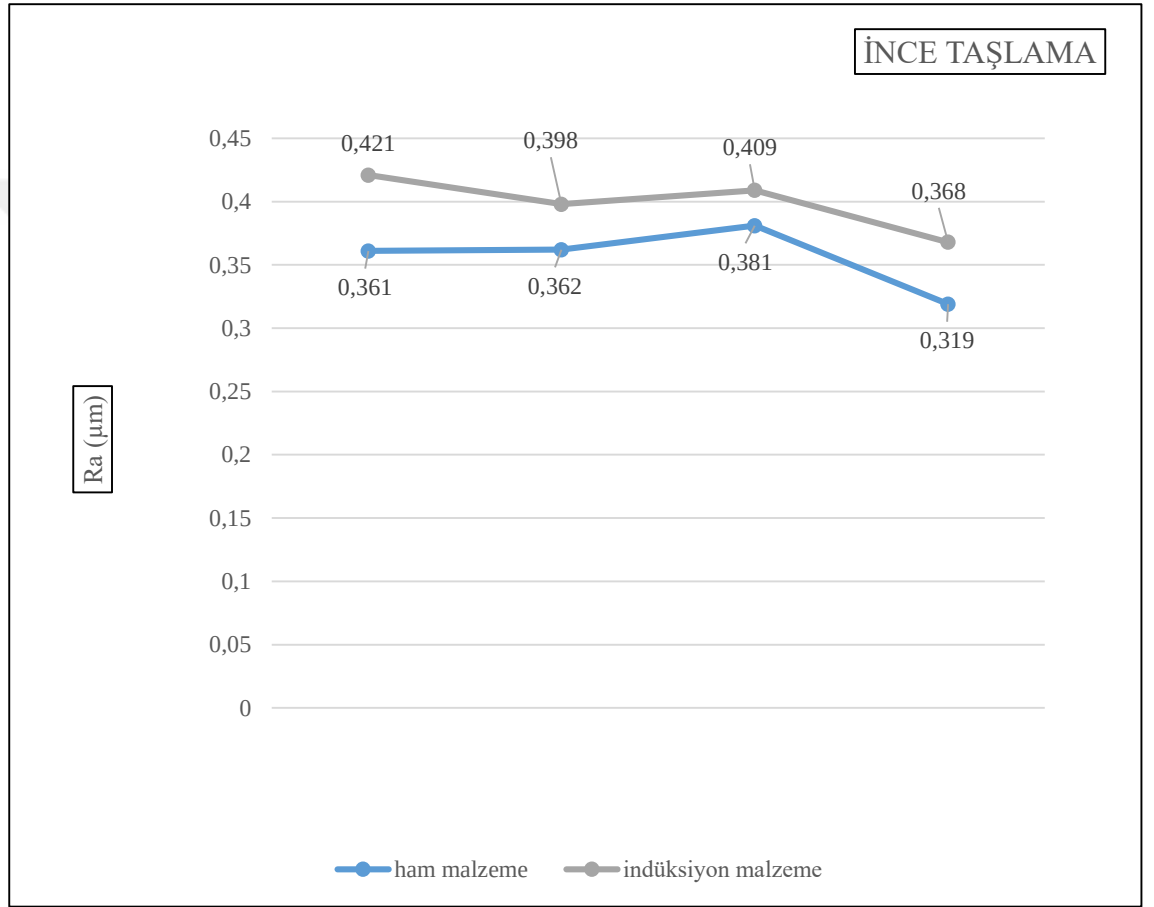
Şekil 4.21. Ham malzeme ve nitrüleme yapılmış malzeme arasında ortalama yüzey pürüzlülük değeri karşılaştırılması

İndüksiyon ile sertleştirilmiş malzemede ise Şekil 4.22’de görüldüğü gibi yüzey pürüzlülük ortalamasında bir artış meydana gelmiştir. Bu artıştaki değer % 12 olarak elde edilmiştir. Matematiksel olarak hesaplaması (4.15)’te verilmiştir.

$$[0,35575-0,399)/0,35575] \quad (4.15)$$

Artış miktarı: -0,12157 μm

% Artış miktarı: -12,15



Şekil 4.22. Ham ve indüksiyon işlemi yapılmış malzeme arasında ortalama yüzey pürüzlülük değeri karşılaştırılması

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Ham malzemeye kıyasla, her iki işlemde de sertlik ve dayanımda artış, uzama da ise azalma olduğu görülmüştür. Nitrüleme işleminde, malzemenin yüzeyinde oluşan sert ve dayanıklı bir nitrür tabakası malzemenin dayanım anlamında yüzey özelliklerini iyileştirirken, aynı zamanda bu tabaka genellikle daha az esnek ve daha kırılğan yapıya neden olmaktadır. İndüksiyon ile yüzey sertleştirme işleminde ise, malzeme hızla ısıtılıp ve sonra hızla soğutulduğu için, beynit (veya martenzit) adı verilen sert bir fazın oluşumuna neden olur. Bu faz ise, malzemenin sertliğini artırır ancak aynı zamanda malzemenin plastik deformasyon yeteneğini azaltarak uzama özelliğini düşürür. Bu iki açıklama, tez kapsamında gerçekleştirilen sertlik ve dayanımdaki artış ve uzama oranındaki azalışı göstermektedir.

Frezeleme işleminde ise, hem nitrülenmiş hem de indüksiyon ile sertleştirilmiş malzemelerde, frezelemede ilerleme hızı arttıkça, yüzey pürüzlülüğü azalmıştır (frezeleme hızı azaldıkça, yüzey pürüzlülüğü artmıştır) . Bu durum, daha yüksek kesme hızlarında daha düzgün bir yüzey elde edildiğini gösterir. Diğer taraftan, her iki malzemenin her iki ilerleme hızındaki frezeleme işleminde (yani nitrüleme ve indüksiyon uygulanmış malzemenin 2000 mm/dk ve 500 mm/dk ilerleme hızlarında), ham malzemeye kıyasla yüzey pürüzlülüğünde azalma görülmüştür. Nitrülenmiş ve indüksiyon işlemi uygulanmış malzemenin sertlik ve dayanım değeri, ham malzemeye kıyasla daha fazladır. Bu durum yüzey sertleştirme işlemi uygulamanın, frezeleme işleminde daha az yüzey deformasyonu oluşturması anlamına gelir, bu da daha düzgün bir yüzey oluşturur. Taşlama işleminde, nitrülenmiş malzemedeki ham malzemeye kıyasla yüzey pürüzlülüğünde azalma, indüksiyonla sertleştirme işleminde ise yüzey pürüzlülüğünde artış oluşmuştur. Nitrülenmiş malzeme, ham malzemeye kıyasla daha yüksek sertliğe sahiptir. Yüksek sertlik, taşlama işleminde kesici takımın malzeme üzerinde daha iyi kontrol sağlamasına ve daha düzgün bir kesim elde etmesine yardımcı olabilir, bu da daha düşük pürüzlülük seviyelerine yol açabilir. Diğer taraftan indüksiyon ile sertleştirme işlemi sonucu oluşan sert yüzeyin derinliği, taşlama işlemi açısından önemlidir. Eğer sertleşen yüzey yeterince derin değilse, taşlama işlemi bu sert yüzeyi geçip ve daha yumuşak olan ham malzemeye ulaşabilir, sonuç olarak bu durum yüzey pürüzlülüğünde artışa neden olabilir. Ancak tez kapsamında yüzey kalınlığı ile ilgili bir ölçüm yapılmamıştır.

KAYNAKLAR

- Akçakese, O. (2011). *Yüksek Alaşımli Çeliklerin Nitrürlenmesi* [İstanbul Teknik Üniversitesi]. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/645186>
- Akdoğan Eker, A. (2008). *Demir – Karbon Denge Diyagramı*. <http://www.kocaelimakine.com/digeruniv/demir-karbon-denge-diyagrami-aysegul-akdogan-eker.pdf>
- Akgündüz, O. (2022). *Üretim Sahasında Kullanılacak Malzeme Transfer Arabası İmalat Ve Analizi* [Batman Üniversitesi]. <https://earsiv.batman.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12402/4277>
- Aksoy, A. (2015). *Çelik Malzemelerde Hasar Analizi* [İstanbul Teknik Üniversitesi]. <https://polen.itu.edu.tr/bitstreams/2f664700-1035-453e-a8d7-9ef23433dbcd/download>
- Aktaş, E. (2021). *Çeliklerin Talaşlı İmalat Prosesinde İşlenebilirlik Performansı İle İşletme Maliyeti Optimizasyonu* [Uşak Üniversitesi]. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/741218>
- Alaybeyoğlu, Y. (2021). 7. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi (P. G. Gülçin Akgören (ed.); 1.baskı). Asos Yayınevi. https://kongre.akademikiletisim.com/files/ubcak7/ubcak7_tam_metin_kitabi.pdf
- Anonim. (n.d.-a). *Çeliklerin Sınıflandırılması*. Makine Eğitimi. Retrieved December 27, 2013, from <https://www.makinaegitimi.com/celiklerin-siniflandirilmesi/>
- Anonim. (n.d.-b). *İndüksiyon İle Yüzey Sertleştirme*. Retrieved December 29, 2023, from <http://tr.induction-duolin.com/induction-hardening-machine-product/>
- Anonim. (n.d.-c). *Nitrürleme İşleminde Elde Edilen Örnek Sertlik Derinlik Diyagramları*. İstanbul Isıl İşlem. Retrieved January 4, 2024, from <https://www.istanbulisil.com/bilgi-sayfaları/nitrurleme-isleminde-elde-edilen-ornek-sertlik-derinlik-diyagramları>
- Anonim. (2010). *Demir Karbon Denge Diyagramı*. <https://www.kocaelimakine.com/genel/demir-karbon-denge-diyagrami.pdf>
- Anonim. (2011). *Metal Teknolojisi Isıl Yüzey Sertleştirme*. https://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Isıl_Yüzey_Sertleştirme.pdf
- Anonim. (2018). *Makine Teknolojisi Delme Ve Vida İşlemleri*. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller/Malzeme.pdf
- Anonim. (2021). *Frezeleme Nedir? Frezeleme Yöntemleri Nelerdir?* Artmakina. <https://www.artmakina.com/tr/blog/frezeleme-nedir-frezeleme-yontemleri-nelerdir#:~:text=Silindik freze çakısıyla talaş kaldırma,bulunan dişler aracılığı ile yapılır.>
- Anonim. (2023). *Taşlama Nedir?* <https://ferromagnet.biz/taslama-nedir/#:~:text=Talaşlı imalatla nihai işlem olarak,pürüzsüz hale getirilmesine taşlama denir.>

- Asan, N. Ö. (2007, November). Tekrarlanan Gaz Nitrasyon İşleminin AISI H13 Ekstrüzyon Kalıbının Kırılma Hasarına Etkisi. *8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı*, 665–676. <http://www.endil.yildiz.edu.tr/proceedings/73.pdf>
- Camcı, H. (2020). *AISI D2 Çeliğinin Minimum Miktarda Yağlama Yöntemi (MQL) kullanılarak Frezelemesinde İşlenebilirliğinin İncelenmesi* [Bartın Üniversitesi]. <https://acikerisim.bartın.edu.tr/bitstream/handle/11772/5414/HarunCamcı.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Çelik, A. (n.d.). *Makina ve Teçhizat*. https://abs.cu.edu.tr/Dokumanlar/2016/İSG120/432166255_makine-ve-techizat-unite-5-www.isgbolumu.com_.pdf
- Ceran, M. (2007a). Isıl İşlem Eğitimi. In *İşçi Sürekli Eğitimleri* (p. 136). Hv. Snf. ve Tek. Eğt. Mrk. K.lığı Basımevi.
- Ceran, M. (2007b). Malzeme Bilgisi Eğitimi. In *İşçi Sürekli Eğitimleri* (p. 71). Hv. Snf. ve Tek. Eğt. Mrk. K.lığı Basımevi.
- Çölova, Ö. (2021). *Karbürleme Yapılan Genel Yapı Çeliğinin Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi* [Karabük Üniversitesi]. <http://acikerisim.karabuk.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1356/ÖMERÇÖLOVAYÜKSEKLİSANS TEZİ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Demirdöğen, M. F., Kılıç, S., & Öztürk, F. (2022). Yüzey Pürüzlülüğünün Tahmininde Farklı Yöntemlerin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(2), 531–541. https://www.researchgate.net/publication/335998685_Yuzey_puruzlulugu_uzerinde_kesme_parametrelerinin_etki_oranlarinin_Yuzey_Yanit_Yontemi_kullanarak_Analizi
- Erözek, M. E. (2014). *Gaz Nitrürlemede Yıkama Kimyasallarının Yüzey Nitrürleme Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi* [Yıldız Teknik Üninersitesi]. https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/385693/yokAcikBilim_10059254.pdf?sequence=-1&isAllowed=y
- Gecü, R. (2014). *Gaz Nitrürlenerek Sertleştirilmiş 31CrMoC9 Çeliğinde İndantasyon Yöntemiyle Kalıntı Gerilme Ve Sertlik Değişimlerinin İncelenmesi* [İstanbul Teknik Üniversitesi]. https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/642521/yokAcikBilim_10025527.pdf?sequence=-1&isAllowed=y
- Güven, Ş. Y., Delikanlı, K., & Öncel, E. (2014). AISI 4140 Çeliğine Uygulanan İyon Nitrasyon Yüzey Sertleştirme İşleminin Yorulma Dayanımına Etkisi. *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 4(2), 29–39. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/196141>
- Horozoğlu, E. (2013). *Görüntü İşleme İle Yüzey Pürüzlülüğü ölçümü Ve Analizi* [Selçuk Üniversitesi]. <http://acikerisimarsiv.selcuk.edu.tr:8080/xmlui/handle/123456789/1126>

- İğdil, M. C., Tosun, M., & Trabzon, L. (2012). Plazma Nitrürleme İşleminin 316L Ostenitik Paslanmaz Çeliğinin Malzeme Özelliklerine Mikro Ve Nano Etkisi. *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, 53(630), 54–68. https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/c3b9c739ce74655_ek.pdf
- Işık, Y. (2012). *Talaşlı İmalat Ve Kesici Takımlar*.
- Kabasakaloğlu, U., & Kam, M. (2020). İndüksiyonla Sertleştirilmiş AISI 52100 Rulman Çeliğinin Taşlanması İşleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerinde Etkisinin Deneysel Analizi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 688–697. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.666057>
- Karagöz, S. (2008). Malzeme Bilgisi. In *AYMYO Yayınları*. [file:///C:/Users/HP/Downloads/Malzeme Bilgisi malzemebilimi.net.pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/Malzeme%20Bilgisi%20malzemebilimi.net.pdf)
- Karslı, M., Kemiklioğlu, U., & Yavuz, S. (2021). Tabanca namlu malzemesi 32CrMoV12-10 alaşımına uygulanan gaz nitrasyon ve su verme işlemlerinin darbe dayanımına etkilerinin incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(4), 1198–1207. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.822415>
- Kekik, İ. F. (2015). *Termo-Reaktif Difüzyon (TRD) Tekniği İle Cr-Ti-N Esaslı Kaplamaların Gerçekleştirilmesi Ve Özelliklerinin İncelenmesi* [Sakarya Üniversitesi]. <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/bitstream/handle/20.500.12619/79855/T06391.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Korkmaz, K. (2020). *Gaz Nitrürleme Sonucu Oluşan Beyaz Tabakanın Nitrasyon Çeliğinin Aşınma Davranışına Etkisi* [Gebze Teknik Üniversitesi]. https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/267862/yokAcikBilim_10333485.pdf?sequence=-1&isAllowed=y
- Küçük, E. (2023). *Orta Karbonlu Çelik Döküm Krank Millerinde Gaz Nitrasyon İşleminin Aşınma Davranışına Etkisi* [Karbük Üniversitesi]. <http://acikerisim.karabuk.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2578/10534895.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Meral, G., Sarıkaya, M., & Dilipak, H. (2011). Delik Delme Uygulamalarında Delik Kalitesinin Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu. *Mühendis ve Makina*, 52(619), 42–49. https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/de6e89cfb1c679a_ek.pdf
- Oktay, E., Kılıçlı, V., & Erdoğan, M. (2018). Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerde İndüksiyonla Yüzey Sertleştirmenin Yorulma Sınırı Üzerine Etkisi. *Fen Bilimleri Dergisi*, 6(3), 668–679. <https://doi.org/10.29109/gujsc>
- Önder, K. G. (2013). *Gaz Nitrürleme İşlem Parametrelerinin 34CrAlNi7 Çeliğinin Mekanik Özelliklere Etkisi* [Sakarya Üniversitesi]. <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12619/79980>
- Özdemir, M. (2019). Yüzey Pürüzlülüğü üzerinde Kesme Parametrelerinin Etki Oranlarının Yüzey Yanıt Yöntemi Kullanarak Analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(3), 639–648. <http://dergipark.gov.tr/gujsc>

- Özdemir, U., & Erten, M. (2003). Plazma (iyon) Nitrürleme Yöntemi Ve Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisi. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(2), 41–48. <https://jast.hho.msu.edu.tr/index.php/JAST/article/download/80/66>
- Öztürk, A. (2017). *Nitrürleme İle Yüzey Sertleştirme İşlemi*. Malzeme Bilimi. Net. <https://malzemebilimi.net/nitrasyon-nitrurleme-ile-yuzey-sertlestirme-islemi.html>
- Öztürk, E. (2021). *Talaşlı İmalatta Dik Kesme Modelinin Sonlu Elemanlar Metodu İle Analizi* [Bursa Uludağ Üniversitesi]. <https://acikerisim.uludag.edu.tr/server/api/core/bitstreams/f7ef7e17-781a-4a4a-984b-db8b58c129fd/content>
- Pınarlık, G., & Abdulla, G. (2015). Kesme Yöntemleri. *Yekarum E-Dergi*, 3(1), 25–34. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/204150>
- Şahinoğulları, E. (2019). *31CrMoV9 Ve 34CrAlMo5 Çeliklerde Talaşlı İmalatın Nitrasyon Sonrası Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi* [Yıldız Teknik Üniversitesi]. <https://avesis.yildiz.edu.tr/yonetilen-tez/0f196e3d-fa6a-429f-b558-bd7f48f17a8e/31crmov9-ve-34craimo5-celiklerinde-talasli-imalatın-nitrasyon-sonrası-yuzey-puruzlulugune-etkisi>
- Şeker, B. (2020). *Çok Eksenli Frezelemede Takim Açılırları ile Frezeleme Yönü İlişkisinin Deneyisel Olarak İncelenmesi* [Kahramanmaraş Üniversitesi]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=meqmqMLn3TY-SOfIFnJvyeA&no=-5yN1OfVr_x3RGrA-LidA
- Şengül, M. (n.d.). *Metallerde Yüzey Sertleştirme Yöntemleri*. Retrieved December 29, 2023, from <https://www.maktoloji.com/2020/04/metallerde-yuzey-sertlestirme-yontemleri.html>
- Topçu, Ş. (2010). *Farklı Şartlarda Plazma Nitrürlenmiş Çeliklerin Aşınma Davranışının Belirlenmesi* [Uludağ Üniversitesi]. <https://acikerisim.uludag.edu.tr/server/api/core/bitstreams/70468bf5-abcc-4283-b13c-0df732b1b55e/content>
- Yağlı, E. (2022). *Talaşlı İmalat Yalın Üretim (5S) Uygulaması Kullanılarak Süreç Verimliliğinin Artırılması*. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi.
- Yahyaoglu, İ. (2021). *Düşük Alaşımli Çeliklerin Mekanik Özelliklerine Kimyasal Bileşimin Ve Isıl İşlemin Etkisi* [Karabük Üniversitesi]. <http://acikerisim.karabuk.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1577/10432904.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Yaldız, S. (n.d.). *Talaşlı İmalat Yöntemleri Frezeleme*. <https://tf.selcuk.edu.tr/dosyalar/files/033003/TALAŞLI İMALAT YÖNTEMLERİ-FREZELEME.pdf>
- Yamak, H. (n.d.). *Makine ve Techizat I (5. Hafta)*. file:///C:/Users/HP/Downloads/Talaşlı Üretim Yöntemleri.pdf

- Yıldırım, E., Çebi, H., Şen, M., & Yılmaz, E. S. (2017). Investigation with Taguchi method of the effects of the robot-controlled induction hardening parameters on surface hardness of sheet metal moulds. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 23(1), 15–23. <https://doi.org/10.5505/pajes.2016.24540>
- Yılmaz, B., & Güllü, A. (2020). The Investigation of the Effects of Cutting Parameters on Surface Roughness and Chip Formation in Turning of AISI 1050 Steel. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 26(4), 628–633. <https://doi.org/10.5505/pajes.2020.06702>
- Yılmaz, U. (2016). *Gaz Ortamında Nitrürleme ve Nitrokarbürleme Yüzey Sertleştirme İşlemlerinin AISI 4140, 1.7131 ve 1.8550 Çeliklerinin Aşınma, Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi* [Celal Bayar Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=O0pITdjqCc4JinLRPV62fQ&no=b14x4V14gO2ouXg-3xJmNg>
- Yılmaz, V. (2009). *Frezeleme Uygulamalarında İşleme Parametrelerin Sebep Olduğu Titreşim İncelenmesi* [Gazi Üniversitesi]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003><https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.08.001><http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2014.12.018><http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2011.08.005><http://dx.doi.org/10.1080/00206814.2014.902757><http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003>