



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**SICAK HADDELEME PARAMETRELERİNİN
ÇELİK MALZEMELERİN MEKANİK
DAVRANIŞLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

Yüksek Lisans Tezi

Deniz Can ERCAN

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2024

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**SICAK HADDELEME PARAMETRELERİNİN
ÇELİK MALZEMELERİN MEKANİK
DAVRANIŞLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

Deniz Can ERCAN

Danışman: Prof. Dr. Fatma YURT

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Yüksek Lisans
Programı

İzmir
2024

Deniz Can ERCAN tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan ‘‘Sıcak Haddeleme Parametrelerinin elik Malzemelerin Mekanik Davranışları Üzerindeki Etkisi’’ başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 24/05/2024 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Fatma YURT

Raportör Üye : Prof. Dr. Süleyman İNAN

Üye : Prof. Dr. Ümran HIÇSÖNMEZ

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Sıcak Haddeme Parametrelerinin Çelik Malzemelerin Mekanik Davranışları Üzerindeki Etkisi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

.... / / 20..

Deniz Can ERCAN

ÖZET**SICAK HADDELEME PARAMETRELERİNİN ÇELİK MALZEMELERİN MEKANİK DAVRANIŞLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

ERCAN, Deniz Can

Yüksek Lisans Tezi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatma YURT

Mart 2024, 36 sayfa

Çelik malzemelerin üretimi dünyada önemli bir yere sahiptir. Çelik malzemelerin mekanik direnci ve sürtünmeye karşı yüksek koruma sağlaması nedeniyle son yıllarda birçok sektörde çelik malzemeler sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışmada; çelik malzemelerin kimyasal yapısının, haddeleme hızının ve haddelemedeki su soğutma sisteminin malzemenin mekanik özelliklerine (akma mukavemeti, çekme mukavemeti, darbe tokluğu) etkisi araştırılmıştır. Üç farklı kalitedeki malzemenin mekanik davranışları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre mangan, vanadyum, alüminyum elementlerinin mekanik özelliklere doğrudan etkisi gözlenmiştir. Mangan element miktarının çelik malzeme içerisinde artırılması ile malzemenin akma ve çekme mukavemetinin arttığı, vanadyum ve alüminyum elementlerinin beraber kullanılıp element miktarlarının artırılması ise malzemenin çentik tokluğunu yükselttiği tespit edilmiştir. Ayrıca diğer iki önemli parametre olan haddeleme hızı ve haddeleme sistemindeki su soğutma pompalarının etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak haddeleme hızının azaltılmasının malzemenin mekanik özelliklerini arttırdığı ve su soğutma pompalarının artmasının da daha fazla su görmeyi sağladığı için mekanik özelliklerinin arttırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar sözcükler: mekanik özellikler, haddeleme hızı, su soğutma, kimyasal analiz

ABSTRACT**THE EFFECT OF HOT ROLLING PARAMETERS ON THE
MECHANICAL BEHAVIOR OF STEEL MATERIALS**

ERCAN, Deniz Can

MSc, Materials Science and Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Fatma YURT

March 2024, 36 pages

The production of steel materials holds a significant place worldwide. Due to their mechanical strength and high resistance to friction, steel materials have been frequently preferred in many industries in recent years. This study investigates the effects of the chemical composition of steel materials, rolling speed, and the water cooling system applied during rolling on the mechanical properties of the material (yield strength, tensile strength, impact toughness). The mechanical behaviors of three different grades of materials were examined. According to the obtained results, a direct effect of manganese, vanadium, and aluminum elements on mechanical properties was observed. An increase in the amount of manganese in the steel material, and the combined use of vanadium and aluminum elements, led to an increase in yield and tensile strength. Increasing the amounts of vanadium and aluminum improved the notch toughness of the material. Additionally, the effects of two other important parameters, rolling speed and the water cooling pumps in the rolling system, were examined. As a result, it was determined that reducing the rolling speed improves the mechanical properties of the material, and increasing the number of water cooling pumps also improves the mechanical properties by allowing the material to absorb more water.

Key words: mechanical properties, rolling speed, water cooling, chemical analysis

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma sűresince gerekli verilerin saėlanmasında kolaylık gűsteren Kardemir Demir elik Sanayi Haddehane yűnetimine, gerekli bilgilerin uygulanmasında kolaylık gűsteren Kardemir Demir elik çalıŐanlarına, eėitimim boyunca tűm bilgi ve deneyimlerini benimle paylaŐarak yol gűsteren deėerli danıŐmanım hocam Prof. Dr. FATMA YURT'a, her zaman beni destekleyen ve yanımda olan aileme teŐekkűrű bir borç bilirim.

.... / / 20..

İmzası

Deniz C. Ercan

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	vi
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
TABLolar DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xviii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLERİ	4
2.1 Çelik Üretim Aşamaları	4
2.2 Sıcak Haddeleme Parametreleri	4
2.2.1 Çelikte alaşım elementlerinin etkileri.....	4
2.2.2 Su soğutma sistemi.....	9
2.2.3 Haddeleme hızı	11
3. MATERYAL VE METOT.....	12
3.1 Kullanılan Materyaller	12
3.1.1 Kullanılan çelik profiller	12
3.1.2 Kullanılan test metotları	12
3.2 Yöntemler.....	12
3.2.1 Kimyasal analiz için numunenin hazırlanması	12
3.2.2 Çekme testi için numune hazırlanması.....	14
3.2.3 Çentik darbe testi için numune hazırlanması	17
3.2.4 Hazırlanan numunelerin kalınlık ve genişlik ölçümü	19
3.2.5 Su soğutma sisteminin ayarlanması ve hadde hızının değiştirilmesi	19
4. BULGULAR.....	21
4.1 Kimyasal Analiz Sonuçları	21
4.2 Çekme Testi Sonuçları.....	22
4.3 Çentik Darbe Testi Sonuçları	24
4.4 Su Soğutma ve Hadde Hızına Ait Sonuçlar	27
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	29
6. ÖNERİLER.....	33
KAYNAKLAR DİZİNİ	34
KAYNAKLAR DİZİNİ (devam).....	35
ÖZGEÇMİŞ.....	36

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Çelik profil üretim şeması	3
2.1 Haddeleme proses aşaması	4
2.2 Elementlerin malzeme özelliklerine etkisi	9
2.3 Su soğutma platformu.....	10
2.4 Tezgahlar arasından malzemenin geçiş hızı (hadde hızı).....	11
3.1 CNC tezgahında numune işlenmesi	13
3.2 Taşlama makinesiyle yüzeyin tıraşlanması.....	13
3.3 Spektrometre cihazı.....	14
3.4 Çekme test cihazı	15
3.5 Çekme işleminden sonra numunenin kopmuş hali	15
3.6 Numune hazırlama prosedürü.....	16
3.7 Numune tolerans aralığı	16
3.8 Çentik darbe cihazı	17
3.9 Çentik numunesi hazırlama prosedürü.....	17
3.10 Çentik açma cihazı	18
3.11 Hazırlanmış çentik numunesi	18
3.12 Mikrometre	19

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.13 Kumpas.....	19
3.14 Su kutusu	20
3.15 Hadde tezgahları	20
4.1 Farklı kalitelerde element dağılımı	21
4.2 S275JR numunesi çekme test grafiği	23
4.3 S355JR numunesi çekme test grafiği	23
4.4 S355J2 numunesi çekme test grafiği	24
4.5 Farklı kalitelerin çentik darbe değişim grafiği	27
4.6 Hadde hızı grafiği	28

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>		<u>Sayfa</u>
4.1	Numunelerin kimyasal analiz değerleri	21
4.2	Numunelerin L ₀ kalınlık değerleri	22
4.3	Numunelerin L ₀ genişlik değerleri	22
4.4	Çekme test değerleri	24
4.5	Çentik numuneleri boy ölçümleri.....	25
4.6	Çentik numuneleri genişlik ölçümleri	25
4.7	Çentik numuneleri kalınlık değerleri.....	25
4.8	S275JR ve S355JR numunesi çentik darbe sonuç değerleri	26
4.9	S355J2 numunesi çentik darbe sonuç değeri	26
4.10	Üretim hattında hadde hızı değerleri.....	27
4.11	Üretimde su basınç değerleri	28

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
<i>Fe</i>	Demir
<i>C</i>	Karbon
<i>Mn</i>	Mangan
<i>S</i>	Kükürt
<i>Si</i>	Silisyum
<i>Mo</i>	Molibden
<i>P</i>	Fosfor
<i>Cr</i>	Krom
<i>Ni</i>	Nikel
<i>V</i>	Vanadyum
<i>Nb</i>	Niobyum
<i>Al</i>	Alüminyum
<i>Co</i>	Kobalt
<i>B</i>	Bor
<i>Cu</i>	Bakır
<i>N</i>	Azot

Kısaltmalar

ASTM	American Society for Testing Materials
EN	European Norm
Kg/mm ²	Kilogram/milimetrekare
CNC	Computer Numeric Control
N/mm ²	Newton/milimetrekare
J	Joule
m/sn	Metre/saniye
V _{hadde}	Hadde hızı

1. GİRİŞ

Çelik malzemelerin üretimi ülkemizde ve dünyada önemli bir yer tutmaktadır. Son yıllarda özellikle inşaatların yapı malzemesi olarak kullanılmasındaki dayanıklı yapısı ve kullanılabilirliği nedeni ile birçok sektörde sıklıkla çelik malzemeler tercih edilmektedir (Jiang, 2018). Ayrıca çelik malzemelerin mekanik direnci ve sürtünme direnci de oldukça yüksektir. Çelik malzemeler mutfak gereçleri, demiryolu projeleri, otomotiv sanayi, köprüler, uzay araçları, makineler, dış yapı sistemleri vb. birçok alanda kullanılmaktadır. Kullanımının ilk günlerinde, bina inşaatı için kullanılan baskın yapısal çelik türleri, Amerikan standardı kapsamındaki ASTM A36 çeliği, S235 ve S275 kapsamındaki ASTM A36 çeliği gibi yaklaşık 200–300 MPa nominal akma dayanımı değerlerine sahip karbon çeliği veya yumuşak çelikti (Yu, 2019). Avrupa'da, nominal akma gerilimi 460 MPa'ya eşit veya üzerinde olan çelikler, mevcut Avrupa Standardının anlamı temel alınarak yüksek mukavemetli çelik olarak adlandırılır. Yüksek mukavemetli çelik, çeliğe kıyasla çekme gerilimi, akma gerilimi, bükülme, kaynak kabiliyeti ve korozyon direncinde daha yüksek performans sunar (Qiang, 2012). Çelik, demir (Fe) ve karbon (C) alaşımıdır, cevherinden veya hurdadan geri dönüşüm ile iki şekilde üretilmektedir. Bu tezdeki ürünler az alaşımlı çelik mamuller olup içlerinde % 0,1- % 0,3 oranında karbon içerirler. Malzemenin yapısal özelliği ve elemental analizi çeliğin farklılaşmasına sebep olur. Farklı oranlarda alaşım elementleri eklenerek çelik mamül elde edilir. Silisyum (Si) , Mangan (Mn) , Fosfor (P), Kükürt (S) gibi hammaddeden gelen elementler olduğundan çeliğin içinde belli oranlarda bulunur. Diğer kimyasal elementler ise (Cr, Ni vs.) dışardan çelik içine eklenir. Bu malzemeler farklı profillerde üretilecekleri için her birinin farklı şekillendirme işlemine tabi tutulması gerekmektedir. İşte çelik malzemelerde bu şekillendirme işlemi yapabilmemiz için haddeleme prosesine ihtiyaç duyulur. Haddeleme yöntemi malzemenin uygun büyüklükteki basınç kuvvetleri ile yüklenmesi esasına dayanmaktadır. Haddeleme sırasında malzemenin boyutlarında deformasyonla değişiklik meydana gelmektedir. Tabii bu boyutlandırma işleminde gerçekleşen değişiklik ile birlikte malzemenin iç yapısında da değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişiklikler mekanik özellikleri etkilemekle birlikte, malzemenin kalitesini oluşturan kimyasal bileşenleri ile bağlantılıdır. Sıcak ve soğuk haddeleme olmak üzere iki çeşit haddeleme prosesi mevcuttur. Bu çalışmada sıcak haddeleme prosesi ve haddeleme parametrelerine bağlı olarak çelik profiller ve malzemenin mekanik davranışları üzerindeki etkisi incelenmekte olup oluşan mekanik problemlerin nasıl giderilebileceği hakkında öngörüler ile ilgili çalışma yapılmıştır. Çalışmanın devamında mamul kimyasalının, haddeleme hızının, su soğutma

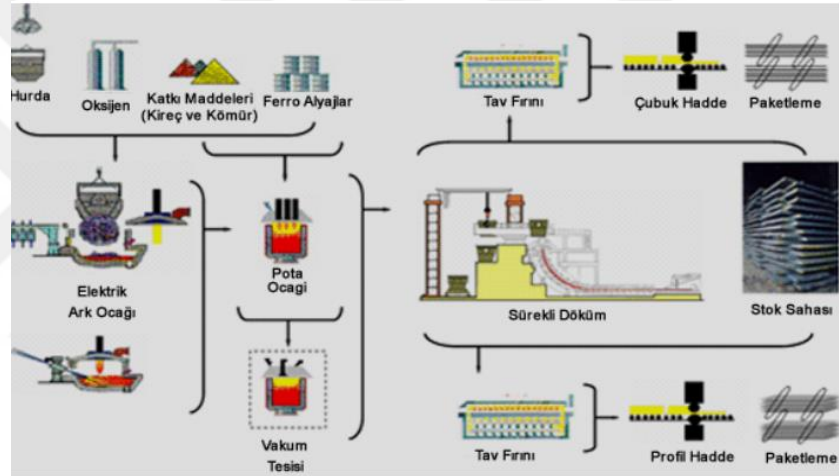
pompalarının, malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Haddeleme; farklı profil ve ebatlardaki çelik malzemelerin birbirine zıt yönde ve belirli hızlarda dönen silindirler arasından geçirilerek malzemeye şekil verme işleminin adlandırılmasıdır. Uygulanan bu proseste özellikle çelik mamulün boyunda uzama istenirken malzemenin enine olarak genişlemesi pek istenmemektedir. Haddeleme işlemi kullanılan teknik ve özelliklere göre farklılık göstermektedir. Haddeleme işlemi aynı zamanda bir plastik şekillendirme yöntemidir. (Bartın Üniversitesi, <https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/metallereplastiksekilvermebolum58.hafta.pdf>,2023).

Plastik şekil değiştirme çelik ürünün şeklini kalıcı olarak değiştirme yeteneğine bağlıdır. Bu plastik şekil verme işlemi de haddeleme ile yapılır. Amaç malzemeyi sıkıştırıp daha yoğun ve sık bir hal almasını sağlamaktır. Bu esnada haddelemedeki boşluklar azaltılır veya yok edilir. Malzemedeki tufal birikintileri uzaklaştırılır. Bir başka amaç ise malzeme boyutunu daha küçük hale getirmektir. Bu prosesin ilk aşaması, işlenebilirliğini arttırmak ve deforme olan metalin akış stresini azaltmak için malzemenin sıcak deformasyon bölgesinde ısıtılmasını içerir (Serajzadeh, 2014). Böylece çelikhanede üretilen kütükler hadde tezgahlarından geçerek istenilen profil ürünlerde kullanılır ve istenilen şekil verilir. Çelik malzemenin uygun büyüklükteki basınç kuvvetleri ile yüklenmesi durumuna dayanmaktadır. Haddeleme esnasında çelik malzemenin ebatları ölçüleri, deformasyonla değişikliğe uğramaktadır. Bu esnada malzemenin boyutlarının değişmesi ile uygulanan çelik malzemenin mekanik özelliklerinin değişmesine neden olan iç yapı değişiklikleri ve fiziksel özelliklerdeki değişimler ortaya çıkmaktadır. Haddeleme işlemi kontrol edilmesinin rahatlığı, devamlılığı ve üretim hızı gibi etkenlerden dolayı çokça tercih edilen bir şekil verme yöntemidir. Deformasyon işleminin büyük bir bölümü haddeleme prosesi ile gerçekleşir.

Çelik en basit tanımı ile demir karbon alaşımıdır. Çelik gibi alaşımlara yeniden kristalleşme sıcaklığının üstünde yapılan deformasyon işlemi sıcak haddeleme olarak ifade edilir. Sıcak haddelenmiş çelik özellikleri malzemenin yapısını koruyabilmesi için belirli aşamalarda basınçlı su kullanılarak yüzey arındırılması işlemi yapılır. Tüm bu süreçler içerisinde haddelenmiş kütükler belirli bir tavlama aşamasına ihtiyaç duyar. Tavlama fırınları dediğimiz bu işlem fırınları 800-950 derece arasında gerçekleşmektedir. Tavlanan çelik kütükleri dönen merdane sistemleri tarafından uygulanan baskı kuvveti ile kalınlıkları inceltir. Sıcak haddeleme çelik bir malzemeye uygulanan birincil işlem olarak kabul görür. Sıcak haddeleme sırasında malzemenin mikro yapısı ve mekanik özellikleri, bileşim, indirgeme yüzdesi, şerit kalınlığı, şerit hızı ve ısı transferi ile belirlenen

termomekanik durumuyla birlikte değişir (Samarasekera, 2001). Maliyet açısından baktığımızda da sıcak haddeleme prosesi çok daha az işlem gerektirdiğinden maliyeti daha uygundur. Sıcak haddeleme sonrasında oluşacak mamul malzemenin iç yapısında oluşacak iç gerilmelerden kurtulmak için malzeme platformunda su ile soğutma işlemine bırakılır. Kütüklerin haddelenerek istenilen malzeme kalınlığına düşürülmesi oldukça büyük deformasyon miktarı gerektirir. Bu deformasyon miktarının gerçekleşmesi için de sıcak haddeleme prosesi gereklidir. Deformasyon sertleşmesi deformasyonu zorlaştırır fakat bu aynı zamanda çelik malzemenin kırılmasına ve iç yapısında yırtılmalara sebep olur. İşte sıcak haddeleme prosesi çelik malzemelerin bu yapıdaki problemlerinden dolayı meydana gelen zorlukları gidermeye yardımcı olur. Sıcak haddeleme işleminde malzeme aynı zamanda çok düşük yüklerde ezilebilir, bu da bu prosesin daha düşük enerji ile çalışması anlamına gelir.



Şekil 1.1. Çelik profil üretim şeması (Bulut, 2019)

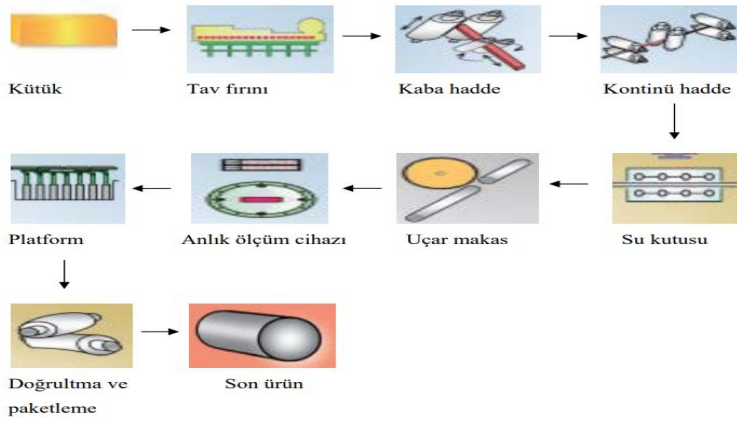
Yukarıda Şekil 1.1'de çelik profil üretim şeması genel hatlarıyla gösterilmiştir. Çelik ülkemiz ihracatında gerek inşaat gerek diğer sektörlerde, gerekse ihracat rakamlarında önemli bir yere sahip olmuştur.

Bu tez çalışmasında sıcak haddeleme sürecinde malzemelerin mekanik özelliklerine etki eden üç farklı parametre belirlenmiştir. Bunlar; çelikte alaşım elementlerinin etkisi, su soğutma sistemi ve hadde hızı başlıkları altında incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLERİ

2.1 Çelik Üretim Aşamaları

Üretim aşaması çelikhane kısmında dökülen kütüğün hadde profile gelmesi ile başlar. Gelen kütükler tavlandıktan sonra tufal kırıcıdan geçer ve kütük üstünde belirli bir miktarda tufaller dökülür. Hazırlama ve dik tezgahtan geçen kütükler her tezgahta belirli oranlarda ezilerek kaba haddesi yapılır. Kaba haddeden sonra köntünü hadde tezgahlarına geçen kütük buradan su kutusuna girer, daha sonrasında istenilen boylarda uçar makasta kesilir. HI profil ölçüm cihazında malzemelerin ölçüleri kontrol edilir daha sonrasında su soğutma platformuna düşer. Platforma düşen ürün doğrultma makinelerinden geçerek paketleme kısmında paket olarak yapılır ve son olarak nihai ürün şeklini alır. Aşağıda Şekil 2.1’de üretim boyunca proses aşaması gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Haddelme proses aşaması (Bulut, 2019)

2.2 Sıcak Haddelme Parametreleri

Sıcak haddelme parametreleri bu tez çalışmasında üç başlık altında incelenmiştir. Bunlar çelikte alaşım elementlerinin etkileri, su soğutma sistemi ve haddelme hızıdır.

2.2.1 Çelikte alaşım elementlerinin etkileri

Demir çelik kütüklerin üretim aşamasında çelik mamulün içerisinde dışarıdan istem dışı kütüğün içinde bulunan ya da istenerek eklenen farklı kimyasal elementler bulunur. Bunların her birinin çelik mamul üzerine etkisi birbirinden farklıdır. Demir cevherinde; kükürt, fosfor, mangan, karbon, alüminyum, vanadyum gibi farklı elementler karışık olarak bulunur. İçerisinde bulunan bazı elementlerin dışarı atılması, bazı elementlerin ise çeliğin bünyesine katılması

gerekir. Azot, kükürt, arsenik, bakır, gibi elementlerin dışarı atılması; mangan, krom, molibden gibi diğer elementlerinde katılması önemlidir (Aydın, 2017).

Karbon (C): Karbonun çelik mukavemeti üzerindeki etkisi oldukça belirgindir. Çelik alaşımlarındaki karbon, mukavemetin temel belirleyicisidir. Karbon içeriğindeki her % 0,01'lik artış, çekme mukavemetinde 9 kg/mm² artış sağlar. Bununla birlikte, karbonun artması, uzama, çentik darbe dayanımı, soğuk biçimlendirme, kaynak edilebilme ve talaş kaldırma işlemlerinde azalmaya yol açar. Sertlik artar ve bu da aşınma dayanımını artırırken, sünekliği düşürür.

Mangan (Mn): Mangan (Mn), çeliğin özelliklerini önemli ölçüde etkileyen bir elementtir. Öncelikle, kükürtün (S) zararını azaltır ve döküm işlemlerindeki patlamaları engellemek için yüksek mangan seviyeleri tercih edilir. Manganın artması, çeliğin aşınma direncini ve sertleşebilirliğini artırırken, mukavemetini de artırır ve sıcakta işlenmesini kolaylaştırır. Manganın çeliğe katılmasıyla birlikte çeliğin atomik yapısında irileşme meydana gelir. Bu durum çeliğin dayanıklılığını artırır ve özellikle aşınmaya karşı dirençli hale getirir. Örneğin, %1 karbon ve %12 mangan içeren çelikler aşınmaya karşı oldukça dayanıklıdır. Manganın varlığı çentik darbe mukavemetini olumlu yönde etkiler ve çeliğin dövülebilme ve kaynak edilebilme özelliklerini iyileştirir. Ayrıca, paslanmaya, aşınmaya ve belirli derecede ısıya karşı dayanıklılığı artırır. Mangan ayrıca, silisyumla birlikte çeliklerin üstün dayanımlı inşaat malzemeleri olarak kullanılmasını sağlar. Ayrıca, krom, vanadyum veya molibden gibi diğer elementlerle birlikte yüksek kaliteli takım çelikleri veya ıslah çelikleri üretiminde kullanılır. Bu sayede çelik, çeşitli endüstriyel uygulamalarda daha çeşitli ve dayanıklı hale getirilebilir (Aydın, 2017).

Silisyum (Si): Çelik dökümlerde, silisyumun varlığı fiziksel dayanımı artırır ve özgül ağırlığı yükseltir. Bu element, çelik yapımında demir cevherinden veya ocak astarı olan tuğlalardan kendiliğinden bir miktar alır. Silisyumun varlığı çeliğin elastikiyetini olumsuz yönde etkiler, ancak %1 artışıyla çekme dayanımını ve akma dayanımını önemli ölçüde artırır. Silisyum, çelik içinde oksijen giderici olarak rol alır ve %3'ün üzerine çıkarsa oksijeni uzaklaştırır. Silisyum miktarının azalmasıyla tufal yapma oranı artar. Bu element, yay çeliklerinde yaygın olarak kullanılan ucuz bir alaşım elementidir ve elektriksel akım kaybolmasını önler. Silisyumun fazla olduğu filmaşınların küçük çaplara indirilmesi zordur çünkü telin sertleşmesine ve kopmalara neden olabilir. Gri kaplamanın oluşma olasılığı, silisyumun %0,20'yi aşması veya $(P \times 2 + Si)$ değerinin %0,25'i geçmesi durumunda artar. Erimiş çinko ile temas halinde gerçek silisyum miktarı değişken gri kaplama etkinliğine sahiptir. Silisyum miktarı arttıkça kaplama etkisi artar ve belirli bir seviyede zirveye ulaşır, ancak %0,10 ile %0,30 arasındaki seviyelerde normalde iyi yapışkanlık özelliği

sağlar. Silisyum miktarı %9,30'u aşarsa, sıcak daldırma galvanizde alaşım katmanı oluşumu hızlanır ve kalın ve kırılğan bir kaplama oluşabilir. Erimiş çinkoya daldırma süresi, silisyum miktarına bağlı olarak ayarlanabilir ve %0,10 ile %0,30 arasındaki çeliklerde daha kalın bir kaplama sağlayabilir.

Molibden (Mo): Molibden, özellikle yüksek sıcaklıklarda çeliğin mukavemetini artırır. Molibden, özellikle sıcakta çalışan ve seri üretim gerektiren çeliklerde önemli bir rol oynar. Korozyona dayanıklı krom-nikelli çeliklerde, özellikle sülfürik asitlere karşı dayanıklılığı artırır. Ancak, molibdenin çelik özelliklerini iyileştirmesine rağmen, biçimlendirme yeteneğini olumsuz yönde etkileyebilir. Yüksek miktarda molibdenin çeliğe katılmasıyla dövülme işlemi zorlaşabilir. Bu nedenle, molibdenin dikkatlice dengelenmesi, çeliğin istenilen özelliklerini sağlarken işlenebilirliğini de korumak için önemlidir.

Fosfor (P): Fosfor, çeliğin istenmeyen özelliklerine katkıda bulunan ve zararlı etkiler gösteren bir elementtir. Bu element, çeliği çok gevrek hale getirir ve çabuk kırılmasına neden olur. Bu da çeliğin genel özelliklerini olumsuz yönde etkiler ve istenmez. Fosfor, çeliğin akma ve çekme dayanımını artırırken, yüzde uzama ve eğme özelliklerini ciddi şekilde kötüleştirir. Soğuk kırılğanlık yaratarak çeliğin işlenebilirliğini azaltır ve talaşlı şekillendirme kabiliyetini artırır. Fosfor, genellikle çelik üretim süreçlerinden kalan bir elementtir ve istenmeyen özellikleri nedeniyle mümkün olduğunca çelik yapıdan uzaklaştırılmaya çalışılır. Kaliteli ıslah çeliklerinde maksimum fosfor miktarı genellikle %0.045'tir, asal ıslah çeliklerinde ise bu miktar %0.035'tir. Bu şekilde, çeliğin istenmeyen özellikleri kontrol altında tutulmaya çalışılır ve kaliteli çelik üretimi sağlanır (Aydın, 2017).

Kükürt (S): Kükürt, çeliği kırılğan hale getirir ve haddelenmesini zorlaştırır. Yüksek sıcaklıklarda çeliğin gevremesine ve kırılmasına yol açar, bu da istenmeyen bir etkidir ve çeliğin iyi özelliklerini azaltır. Akma ve çekme mukavemetine etkisi ihmal edilir, ancak malzemenin yüzde uzamasını ve tokluğunu önemli ölçüde etkiler. Kükürt, malzemenin tokluğunu ciddi oranda azaltır ve kaynaklanabilirliği olumsuz yönde etkiler. Düşük ergime sıcaklığına sahip olduğundan, haddeleme sırasında ergiyerek sıcak kırılğanlığa yol açar. Mangane elementi eklenerek bu problem giderilir. Kükürt hurdadan kalan bir elementtir ve yukarıda belirtilen olumsuz özellikleri nedeniyle olabildiğince çelik yapıdan atılmaya çalışılır. Bu sayede istenmeyen özelliklerin önlenmesi ve çelik kalitesinin artırılması amaçlanır (Aydın, 2017).

Krom (Cr): Krom (Cr), çeliğin birçok önemli özelliğini artıran ve çelik alaşımlarında yaygın olarak kullanılan bir elementtir. Öncelikle, çeliğin sertleşebilirliğini, mukavemetini, aşınma dayanımını ve sıcaklığa dayanımını

artırır. Ancak, kromun bu özellikleri artırma etkisi, esnekliği çok az bir dereceye kadar olumsuz yönde etkiler. Krom, çeliğin sıcaklık dayanımını artırarak kabuk oluşumunu engeller. Yüksek krom içeriği, çeliğin paslanmaya karşı dayanımını artırır, bu da kromlu paslanmaz çeliklerin özelliği haline gelir. Ancak, krom oranının artması, kaynak edilebilme yeteneğini azaltabilir. Krom, çelikte karbür oluşumunu hızlandırarak dayanımı artırır. Her %1 krom oranındaki artış, çekme dayanımında 8-10 kg/mm²'lik bir artışa neden olur. Bununla birlikte, krom oranındaki artış, çentik dayanımının düşmesine yol açabilir. Nikel ise, çeliklerde dayanımı artırmanın yanı sıra, özellikle paslanmaya ve kabuklanmaya dayanıklı çelikler için uygun bir alaşım elementidir. Özellikle düşük sıcaklıklarda, makine yapım çeliklerinin çentik dayanımını artırır. Krom ve nikel, çelik alaşımlarında geniş bir kullanım alanına sahiptir ve çeşitli özelliklerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynarlar (Aydın, 2017).

Nikel (Ni): Nikel, malzemenin mukavemetini artırır ve özellikle düşük sıcaklıkta çeliğin tokluğunu iyileştirir. Paslanmaz çeliklerde önemli bir rol oynar ve genellikle daha geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ayrıca, tane küçültme etkisine de sahiptir. Krom ile birlikte kullanıldığında çeliğin sertleşmesini, sünekliğini ve yüksek yorulma direncini artırır. Aynı zamanda sığa ve tufalleşmeye karşı iyileştirici bir özelliğe sahiptir. Nikel, kromla birlikte kullanıldığında çeliğin sertleşmesine, ısıya dayanıklılığına, korozyona ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığını artırır. Silisyum ve mangana kıyasla çeliğin dayanımını daha az artırır. Kromla birlikte bulunduğunda ise çeliğin sertliğinin derinliklerine inmesini sağlar (Aydın, 2017).

Vanadyum (V): Vanadyum çeliğin dayanıklılığını artıran önemli bir tane inceltici görevi görür. Vanadyum, %0,10'luk minimum konsantrasyonda bile sertleştirme işlemi sırasında tane büyümesini önemli ölçüde engeller. Özellikle sertliği derinleştirmekle kalmıyor, aynı zamanda çeliğin yüksek sıcaklıklara karşı direncini de güçlendiriyor. Kesme aletleri için özellikle avantajlı olan vanadyum, darbe direncini artırarak keskin kesici kenarları uzun süre korur. Vanadyum, çeliğin içinde karbür bileşikleri oluşturarak ısı direncini çok küçük miktarlarda bile önemli ölçüde artırır. Alaşımli makine yapım çeliklerinde ince taneli yapıyı teşvik eder ve fiziksel özellik gelişimine katkıda bulunur. Tipik olarak %0,03 ile %0,25 arasında değişen alaşımli makine yapım çeliklerindeki vanadyum içeriği çok önemlidir. Karbür oluşturma eğilimi çeliğin çekme ve akma dayanımını güçlü bir şekilde artırır. Makine yapımı ve sıcak iş çeliklerinde sıklıkla kullanılan vanadyum, hava ve makine yapımı çelik formülasyonlarında sıklıkla krom veya tungsten ile eşleştirilir. Örneğin, S355J2 kalitesindeki ürünlerde minimum %0,025 vanadyum içeriği ve %1,25 manganez içeriği zorunlu kılınarak çeliğin istenen mekanik

özelliklere ulaşması ve belirli uygulamalarda optimum performans sağlanması sağlanır.

Niobyum (Nb): Tane inceltici ve karbür yapıcı etkiye sahiptir, bu nedenle akma sınırının yükselmesine ve çeliğin sertliğinin artmasına katkıda bulunur. Bu özellikler, çeliğin mekanik dayanımını ve işlenebilirliğini artırır, çelik parçaların daha yüksek mukavemet ve dayanıklılık seviyelerine ulaşmasını sağlar. (Aydın, 2017).

Titanyum (Ti): Kuvvetli karbür yapıcı özelliğe sahiptir ve çeliğin sertliğini artırır. Aynı zamanda çelik üretimi sırasında oksitlenmeyi önlemek için kullanılır. Tane inceltici yapısıyla da bilinir, bu da çeliğin mikroyapısını iyileştirerek mekanik özelliklerini artırır.

Alüminyum (Al): Alüminyum, çeliklerde en güçlü oksitlenmeyi önleyici özelliklere sahiptir. Isıtıldığında, çeliğin tane kabalaşmasını ve yaşlanmasını azaltır. Aynı zamanda tane inceltici bir özelliğe de sahiptir.

Bor (B): Sertleşebilme kabiliyetini artırır. Durgunlaştırılan çeliklere düşük oranda katılırlar.

Bakır (Cu): Bakır, sıcak şekillendirmede kırılma eğilimine neden olabileceği için genellikle %0,45'in üzerine çıkartılmaz. Çünkü bu oran sünekliği ciddi şekilde azaltabilir. Ancak, bakırın çeliğin korozyon dayanımını ve sertliğini artırdığı bilinmektedir. %0,40'ın üzerindeki bakır oranları sıcak kırılma eğilimine yol açabilir. Bu yüzden standartlarda bu değerin aşılmaması tercih edilir. Neredeyse tüm alaşımlar standart %0,15 bakır içeriği içerir. Ancak atmosferik korozyona karşı direnci artırmak için bakır seviyelerini yükseltmek için ayarlamalar yapılabilir. %1'i aşan bakır konsantrasyonları profil çeliklerine entegre edilir. Ayrıca, bakırın çeliğe katılması, çeliğin asitlere, özellikle de sülfürik asite karşı direncini artırır. Avrupa hurdası genellikle %0,6 civarında seyreden yüksek bakır içeriğine sahipken, yurt içi demir hurdası daha düşük bakır seviyeleri sergileme eğilimindedir.

Azot (N): Azot, çeliğin yapısında nitrürlü bileşikler oluşturarak sertliğini artırır ve mekanik dayanımını ile korozyona karşı direncini artırır. Normalde, azotun maksimum değeri yaklaşık olarak %0,0015'e kadar çıkabilmekte ve genellikle sorun yaratmamaktadır. Ancak bu miktarı aşması durumunda, U-demir ve L-demirlerin ayaklarında yırtılmalara neden olabilir.

Volfram (W) : Volframın dayanım yükseltici etkisi bilinir. Çeliğe her eklenen volfram yüzdesi, yaklaşık olarak 4 kg/mm²'ye kadar akma ve çekme değerini yükseltir. Ayrıca, volfram çeliğin karbür oluşturma eğilimine karşı güçlü bir

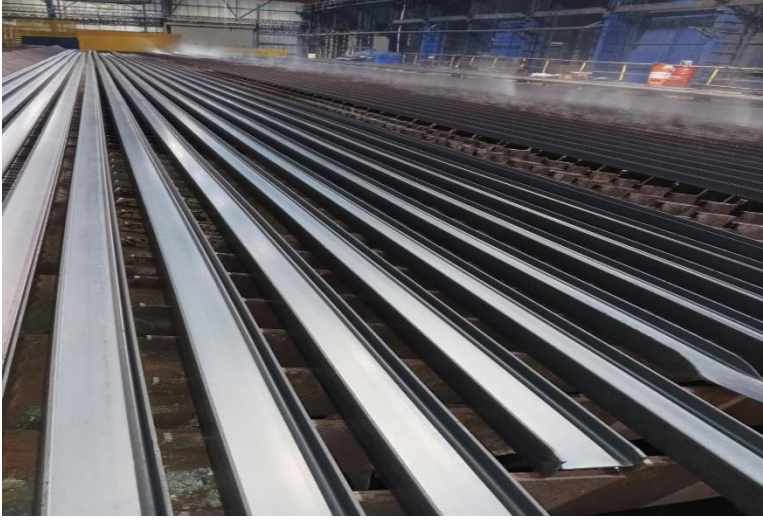
dirence sahiptir ve yüksek sıcaklıklarda çeliğin işlenebilirliğini ve sertliğini korur. Bu nedenle, sıcak çalışma ortamlarında kullanılan çeliklerin yapımında tercih edilir (Aydın, 2017). Aşağıda Şekil 2.2’de elementlerin malzeme üzerine etkileri gösterilmiştir.

	Si	Mn	Cr	Ni	Al	W	V	Co	Mo	S	P
Sertlik	artar	azalır	artar	azalır	-	artar	artar	artar	artar	-	artar
Mukavemet	artar	artar	artar	artar	-	artar	artar	artar	artar	-	artar
Akma Noktası	artar	azalır	artar	azalır	-	artar	artar	artar	artar	-	artar
Uzama	azalır	azalır	azalır	artar	-	azalır	değişmez	azalır	azalır	azalır	azalır
Kesit Büzülmesi	değişmez	değişmez	azalır	artar	-	azalır	değişmez	azalır	azalır	azalır	azalır
Darbe Direnci	azalır	-	azalır	artar	azalır	-	artar	azalır	artar	azalır	azalır
Elastisite	artar	-	artar	-	azalır	-	artar	-	-	-	-
Sıcaklığa Dayanım	artar	-	artar	artar	-	artar	artar	artar	artar	-	-
Soğutma Hızı	azalır	azalır	azalır	azalır	-	azalır	azalır	artar	azalır	-	-
Karbür Oluşumu	azalır	-	artar	-	-	artar	artar	-	artar	-	-
Aşınma Direnci	azalır	-	artar	-	-	artar	artar	artar	artar	-	-
Dövülebilirlik	azalır	azalır	azalır	azalır	azalır	azalır	artar	azalır	azalır	azalır	azalır
İşlenebilirlik	azalır	azalır	-	azalır	-	azalır	-	değişmez	azalır	artar	azalır
Oksitlenme Eğilimi	azalır	azalır	azalır	azalır	azalır	azalır	azalır	azalır	artar	-	azalır
Korozyon Direnci	-	-	azalır	artar	-	-	artar	-	-	azalır	artar

Şekil 2.2. Elementlerin malzeme özelliklerine etkisi (Ayhan, 2024)

2.2.2 Su soğutma sistemi

Çelik üretiminde su soğutma sistemleri önemli bir rol oynar. Bu sistemler, çeşitli aşamalarda kullanılır ve çelik üretiminde sıcaklığı kontrol etmek, ekipmanları soğutmak ve işlem verimliliğini artırmak için gereklidir. Çelik haddeleme işlemi sırasında, haddeleme makaraları ve diğer ekipmanlar çok yüksek sıcaklıklara maruz kalabilir. Bu ekipmanları soğutmak ve işlem sırasında oluşan sıcaklığı kontrol etmek için su soğutma sistemleri kullanılır. Kızgın haddeleme işlemi sırasında, çelik ürünlerin yüksek sıcaklıklarda şekillendirilmesi ve soğutulması gerekebilir. Bu süreçte su soğutma sistemleri, ürünleri soğutmak ve şekillendirme işlemine yardımcı olmak için kullanılır. Çelik üretimi sırasında diğer birçok işlemde de su soğutma sistemleri kullanılır. Örneğin, yüzey temizleme, termal işlem, metal kaplama gibi işlemlerde su soğutma sistemleri önemli bir rol oynar. Bu sistemler, çelik üretiminin verimli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak için hayati öneme sahiptir. Ayrıca, iş güvenliği açısından da önemlidir. Çünkü yüksek sıcaklıklar çalışanların ve ekipmanın güvenliği için risk oluşturabilir.



Şekil 2.3. Su soğutma platformu

Yukarıda Şekil 2.3’de su soğutma platformu gösterilmiştir. Kontrollü soğutma hattı ürün mekanik özelliklerinde aşağıdaki iyileştirmeleri sağlar:

- Malzeme akma mukavemetinde yükselme,
- Benzer mukavemete sahip kontrollü soğutma yapılmamış (yüksek alaşım) ürünlere göre iyi kaynaklanabilme,
- Düşük alaşım nedeniyle düşük malzeme maliyeti,
- Yüksek plastik özellikler,
- Yüksek rijitlik (Creative Technological Solution, Haddeleme, Soğutma Platformu <https://ctsmakina.com.tr/urunler/haddehane/sogutma-platformu> Erişim Tarihi 2024).

Çelik profiller haddehaneden çıktıktan sonra su kutusu olarak bilinen yüzey sulama sisteminde işleme tabi tutulur. Bu sistem, profillerin hızlı bir şekilde soğutulması ve böylece taraklı platform üzerine inerken sıcaklıklarının ayarlanması için uygulanmıştır. Ancak daha kalın ürünler üretilirken su kutusunun etkinliği azalabilir. Profiller su kutusundan geçtikten sonra tam ölçülerine göre kesilir ve kaset atıcısıyla tarak platformuna yönlendirilir. Su kutusu, profilin yüzeyini suya maruz bırakır ve hem yatay hem de dikey nozullar aracılığıyla hızlı sıcaklık düşüşü sağlar. Profil daha sonra taraklı platform üzerine iner ve tipik olarak 680-850 °C sıcaklık aralığını korur ve burada yavaş yavaş ortam oda sıcaklığına kadar soğur. Daha sonra, profil doğrultma işleminden geçirilerek nihai olarak paketlenir.

Ancak, uygun bir soğutma sistemi sağlanmadığı durumlarda çelik profillerde istenmeyen sorunlar ortaya çıkabilir. Bu sorunların en önemlisi, profilin

soğumasından sonra doğrultma işleminin zorluğu ve mekanik özelliklerin istenilen seviyede olmamasıdır.

2.2.3 Haddeleme hızı

Haddehane adı verilen tesislerde metal levhalar veya çubuklar, haddeleme işlemiyle belirli kalınlıklara ve şekillere getirilir. "Hadde hızı" ise bu haddeleme işlemindeki hızı ifade eder. Hadde hızı, malzemenin özelliklerine, haddehane ekipmanlarına ve işlenen malzemenin son ürün gereksinimlerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu nedenle, hadde hızı genellikle haddeleme işleminin verimliliği ve kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Aşağıda Şekil 2.4'de tezgahlardan malzemenin geçişi gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Tezgahlar arasından malzemenin geçiş hızı (hadde hızı)

Haddelenme hızı, mekanik özelliklerini etkileyen en önemli parametredir. Düşük hız, çelik malzemenin daha fazla su görmesine neden olacağından mekanik özellikleri üzerinde de etkili olur. Haddelemede iki farklı tezgah birbirine yolluklar ve yolluk sistemleri ile bağlı olup tavllanmış çeliğin yoldaki hızı veya tezgahlardan geçiş hızı haddeleme hızıdır.

Bu tez çalışmasında hadde hızı olarak iki tezgah arasındaki geçiş hızında çalışılmıştır. Hadde hızının mekanik özelliğe etkisi bitiş tezgahında incelenmiş olup hız, hadde kulede otomatik sistemlerle değiştirilmiş ve mekanik özelliğe etkisi gözlemlenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada S275JR, S355JR, ve S355J2 kalite genel yapı çeliklerinden sıcak haddelenmiş profillerden 20x5 mm lama numuneleri çıkarılıp, işlenmiş olup Kardemir Haddecilik San. Tic. A.Ş bünyesinde gerçekleştirilen laboratuvar ve tasarım çalışmaları sonucunda numuneler kontrollü soğutulmuş, kimyasal değerlerindeki değişiklikler yorumlanmış ve hadde hızı sistemi uygulanmıştır. Su soğutma sistemi deneyde haddeleme esnasında su soğutma nozulları yardımıyla su soğutma ve platformda su soğutma olmak üzere iki noktada gerçekleştirilmiştir. Hadde hızı, hadde kule adı verilen kumanda odalarından ayarlanmış ve değiştirilmiş olup malzemenin çıkış tezgahı olan bitiş tezgahlarından geçiş hızı baz alınmıştır. Başlangıçta belirtilen üç farklı kalitenin ayırt edici ve fark yaratan kimyasal elementleri incelenmiş olup üretim hızı düşürülmeden ve uygun istenen mekanik değerlerde ürünlerin oluşması amaçlanmıştır. Çalışmada ülkemizdeki sıcak haddeleme tesisleri için mekanik özelliklere etki eden parametrelerin nasıl katma değer sağlayabileceği üzerinde fikir öne sürülmüştür.

3.1 Kullanılan Materyaller

3.1.1 Kullanılan çelik profiller

Sıcak haddelenmiş 40 cm boyunda S275JR kalite köşebent numunesi

Sıcak haddelenmiş 40 cm boyunda S355JR kalite köşebent numunesi

Sıcak haddelenmiş 40 cm boyunda S355J2 kalite köşebent numunesi

3.1.2 Kullanılan test metotları

Numunelerin kimyasal analizi, çekme testi ve çentik darbe testleri yapılmıştır.

3.2 Yöntemler

Kimyasal ve mekanik özellikleri incelenecek olan numuneler farklı aşamalarda incelenmiştir. Yukarıdaki üç farklı test metodu içinde farklı numune hazırlama yöntemi uygulanmış olup diğer haddeleme parametreleri ile birlikte aşağıda açıklanmıştır.

3.2.1 Kimyasal analiz için numunenin hazırlanması

Üretimden alınan köşebent numunesinden CNC tezgahlarında 20x5 mm ebadında lama profil çıkarılmıştır. Şekil 3.1'de gösterilen CNC tezgahı kullanılmıştır.



Şekil 3.1. CNC tezgahında numune işlenmesi

Daha sonra çıkarılan bu 20x5 mm hazırlanmış lama numunesi taşlama makinesinde yüzeyi tıraşlanmış ve parlak hale getirilmiştir. Taşlama yapılırken taşlama yapılan malzemenin yüzeyinin yanmaması ve ölçüm yapılacak cihazda yüzeyinin tam oturması için yüzeyinin düz olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 3.2. Taşlama makinesiyle yüzeyin tıraşlanması

Numunelerin yüzeyi Şekil 3.2’de gösterilen taşlama makinesi ile tıraşlandıktan sonra spektrometre adı verilen kimyasal analiz cihazıyla kimyasal

elementlerin oranı tespit edilmiştir. Kimyasal analizi için Şekil 3.3’de gösterilen spektrometre cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Spektrometre cihazı

Cihazın temel prensibi optik emisyonaya dayanmaktadır. Tüm standart uygulamalara yönelik tek matrisli bir kıvılcım emisyon spektrometresidir. Üretimden alınan farklı köşebent profiller üzerinde testler yapılmıştır. Uygun numune hazırlığı için, numune yüzeyinin iyi bir şekilde tıraşlanmış olması, yüzeyin zımparalanırken yanmaması ve öğütücünün yüzeyinin ışığı kaçırmaması için yüzeyin düz olması gerekmektedir. Kimyasal değerler üç farklı kalite için test edilmiştir. Bu tez çalışmasında, köşebent profilden çıkarılan 20x5 mm düz lama profil için üç farklı kimyasal kalite spektrometre kullanılarak incelenmiştir. Kimyasal analizi göz önüne alındığında, numunenin yüzeyi yanmadan ve zarar görmeden hazırlanmıştır.

3.2.2 Çekme testi için numune hazırlanması

Tıpkı kimyasal analiz testi gibi üretimden alınan köşebent numunesinden CNC tezgahlarında 20x5 mm ebatında lama profil çıkarılmıştır. Çekme testi Şekil 3.4’te gösterilen 50 tonluk bir çekme cihazıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Çekme test cihazı

Hazırlanan numune çekme makinesinde kayma yapmaması için çapaklarından arındırılmıştır. Ayrıca çıkarılan numunelerin standarda uygun şekilde boyutlandırılması ve CNC makinesinden iyi şekilde tıraşlanması gerekmektedir.



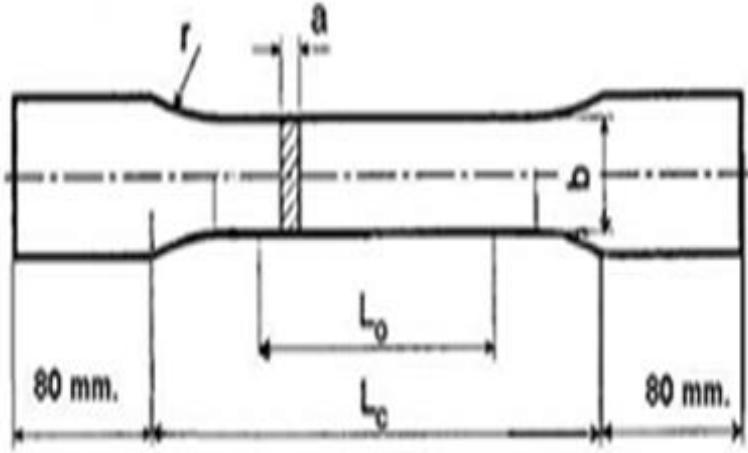
Şekil 3.5. Çekme işleminden sonra numunenin kopmuş hali

Çekme işlemi bittikten sonra numunenin kopmuş hali Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Kaliteye ve farklı kimyasal içeriklere göre akma, çekme ve uzama

miktarı ölçülmüştür. Plastik deformasyon bölgesi gözlemlenmiştir. Üç farklı kalite için ayrı ayrı yapılmıştır. İlk olarak, numunenin L_0 uzunluğu hesaplandı, ardından L_1 uzunluğu ölçüldü ve uzama miktarı ölçülmüştür. Formülü:

$$L_0 = \sqrt{\text{Kesit Alanı} \times 5,65}$$

Numune EN 10025 standardına göre hazırlanmıştır. Numune hazırlama Şekil 3.6'da gösterilmiştir (Türk Standartları Enstitüsü, 2004).



Şekil 3.6. Numune hazırlama prosedürü (Türk Standartları Enstitüsü, 2004)

Daha sonra, test sonucuna göre L_1 uzunluğu manuel olarak ölçüldü ve numunedeki uzama miktarı hesaplanmıştır. Aşağıda uygun numunelerin tolerans aralığı Şekil 3.7'de görülmektedir.

Kalınlık [mm] (a)	Genişlik [mm] (b)	Marka Boy [mm] (L_0)	Paralel Uzunluk [mm] (L_c)	Oyuk Yarıçapı [mm] (R)	Kavrama Genişliği [mm] (B)	Kavrama Uzunluğu [mm] (h)	Toplam Uzunluk [mm] (L_t)
5	25±1	80±1	≥150	≥12	32≤B≤35	≥90	≥330

Şekil 3.7. Numune tolerans aralığı (Türk Standartları Enstitüsü, 2004)

L_0 : Örnek Boyu Hesaplanması

Örneğin Genişliği: 20.12 mm

Örneğin Kalınlığı: 5.04 mm

Kesit alanı = 20,12x5,04 = 101,4048

$$L_0 = \sqrt{\text{Kesit Alanı} \times 5,65}$$

$$L_0 = \sqrt{101,4048 \times 5,65} = 56,89$$

$$L_0 = 56,89 \text{ mm}$$

Test sonrasında uzamaya bakmak için numuneye L_0 boyu kadar yani 56,89 mm aralıklarla çizgi çekilir.

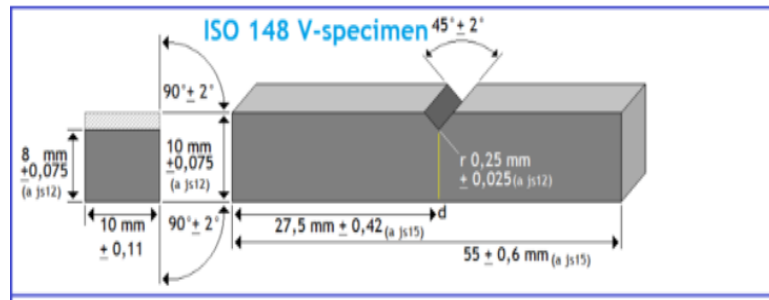
3.2.3 Çentik darbe testi için numune hazırlanması

Çentik-darbe testi, Şekil 3.8’de görülen çentik cihazı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.8. Çentik darbe cihazı

Numuneler, 55x10x10 mm boyutlarında CNC tezgahlarında hazırlanmıştır. Deneyin hazırlanması sırasında her milimetrenin önemi göz önünde bulunduruldu. Numuneler Şekil 3.9’da gösterilen numune hazırlama prosedürü kullanılarak hazırlandı. Ayrıca, çentik derinliği ve sıcaklık gibi değerler kontrol edildi.



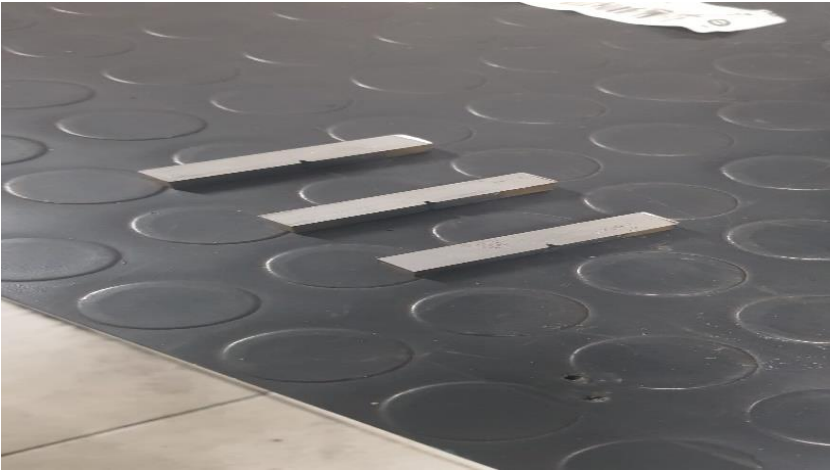
Şekil 3.9. Çentik numunesi hazırlama prosedürü (Türk Standartları Enstitüsü, 2004)

Üç farklı kalite denendi, farklı sıcaklıklar farklı kaliteler için ayarlanmıştır. Numuneler farklı koşullarda hazırlanmıştır. (0°C, -20°C ve 25°C). Şekil 3.10'da gösterilen cihaz ile çentik açılmıştır.



Şekil 3.10. Çentik açma cihazı

Ayrıca, çentik yönü standartta göre kontrol edildi. EN 10025 standardına göre, 55x10x5 mm kalınlığında bir numune işlenmiştir ve CNC makinesinden çıkarılmıştır. Daha sonra, numunenin ortasına bir çentik yapılmıştır. Özel alkolde yapılacağı sıcaklığa göre ayarlanmıştır. S275JR kalitesi ve S355JR kalitesi oda sıcaklığında test edilmiştir, S355J2 kalitesi ise -20°C de test edilmiştir. Aşağıda örnek çentik numunesi Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Hazırlanmış çentik numunesi

3.2.4 Hazırlanan numunelerin kalınlık ve genişlik ölçümü

Numune kalınlığı parçanın ön yüzü ve arka yüzü arasındaki uzaklığa verilen addır. Parçaların kalınlıkları INSIZE 3109-25A Dijital Mikrometre cihazı ile deney başlamadan önce ölçülmüştür. Numune genişliği ise parçanın iki ucu arasındaki uzaklığa verilen addır. Parçaların genişlikleri INSIZE 1103-150W Dijital Kumpas cihazı ile ölçülmüştür. Sadece çekme testi yapılırken hem deney öncesi hem deney sonrası genişlik ölçümü alınmıştır. Çekme testi öncesi alınan ölçümler üç tekrarlı olarak; malzemenin ortasından başından ve sonundan olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ölçümler EN 10025 Kalite Standartlarına göre alınmıştır. Kalınlık ve genişlik ölçüm cihazları aşağıda yer almaktadır. Ölçüm cihazları Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Mikrometre



Şekil 3.13. Kumpas

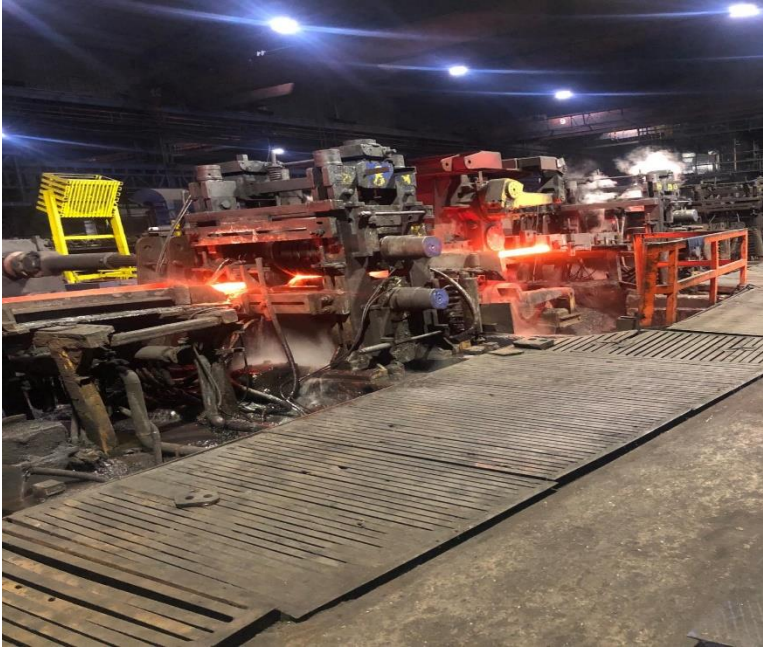
3.2.5 Su soğutma sisteminin ayarlanması ve hadde hızının değiştirilmesi

Tez çalışması kapsamında malzemenin mekanik özelliklerine etki eden başka iki önemli parametre hadde hızı ve su soğutma sistemidir. Su soğutma sistemi nozullar yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Aynı kalite özelinde su soğutmanın etkisi incelenmek için iki farklı üretimden iki farklı nozul sayısı denenmiştir. Birinci üretimde kullanılan su nozul sayısı üçken, ikinci üretimde su nozulu sayısı beşe çıkarılmıştır. Her iki üretimde de kullanılan nozulların kapasite, boyut ve debileri eşittir. Su soğutma sistemleri hadde kule adı verilen kumanda odasından ayarlanmıştır. Malzemenin üretim aşamasında geçtiği su kutusu Şekil 3.14’te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Su kutusu (Bulut, 2019)

Diğer bir önemli parametre olan hadde hızının değiştirilmesi de tıpkı su soğutma işlemi gibi hadde kule adı verilen kumanda odasından otomatik sistemle ayarlanarak değiştirilmiştir. Üretim esnasında birden fazla tezgah olduğu için bu çalışmada son tezgah grubu olan finiş hadde tezgahının hızı baz alınarak mekanik özelliğe etkisi incelenmiştir. Hadde tezgahlarının genel görüntüsü Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15. Hadde tezgahları

4. BULGULAR

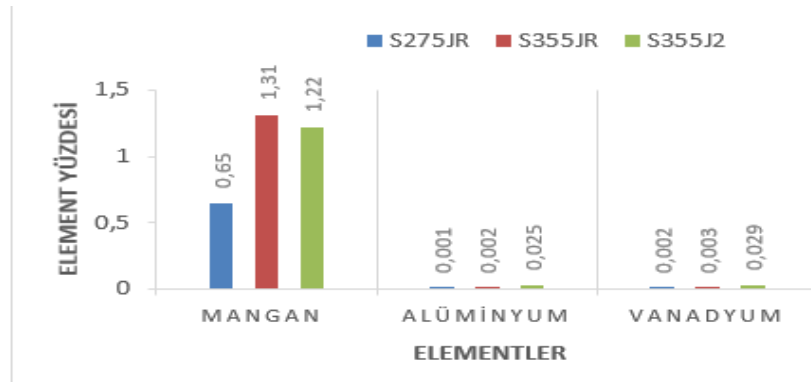
4.1 Kimyasal Analiz Sonuçları

S275JR kalite, S355JR kalite ve S355J2 kalite numunelerinin spektrometre yardımıyla kimyasal analiz ölçümleri yapılmış, sonrasında ölçümler kontrol edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Tablo 4.1’de analiz sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Numunelerin kimyasal analiz değerleri (%)

Kalite	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	V
S275JR	0,17	0,20	0,65	0,021	0,016	0,095	0,084	0,30	0,001	0,002
S355JR	0,17	0,19	1,31	0,021	0,018	0,092	0,082	0,28	0,002	0,003
S355J2	0,17	0,20	1,22	0,019	0,011	0,090	0,089	0,27	0,025	0,029

Spektrometre ile yapılan analiz sonucunda en yüksek mangan oranına sahip numunenin S355JR ve S355J2 numuneler olduğu görülmektedir. S275JR numunesinin bu iki numuneye göre daha düşük mangan içerdiği görülmektedir. Ayrıca vanadyum ve alüminyum elementinin S355JR ve S355J2 kaliteler arasındaki farkı oluşturduğu ve bununda S355J2 kalitesini daha maliyetli ve özel bir kalite yaptığı sonucuna ulaşılmıştır. Tez çalışmasında mekanik özelliklere etkileyen üç ana element incelenmiştir. Şekil 4.1’de grafikte element yüzdeleri gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Farklı kalitelerde element dağılımı (%)

4.2 Çekme Testi Sonuçları

Tez çalışmasında üç farklı kimyasal kalite için çekme testi yapılmıştır. Üç numune içinde ayrı ayrı kalınlık ve genişlik ölçüsü alınıp malzemenin L_0 ve L_1 boyları da hesaplanarak numunelerin akma dayanımları, çekme dayanımları ve uzama miktarları ölçülmüştür. Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’de bu veriler gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Numunelerin L_0 kalınlık değerleri

Numune kalitesi	L_0 kalınlık (mm)
S275JR	5,08
S355JR	5,11
S355J2	5,06

Tablo 4.3. Numunelerin L_0 genişlik değerleri

Numune kalitesi	L_0 genişlik (mm)
S275JR	20,16
S355JR	20,05
S355J2	20,09

S275JR Numunesi için L_0 Hesaplaması:

$$5,08 \times 20,16 = 102,4128$$

$$\sqrt{102,4128 \times 5,65} = 57,11 \text{ mm}$$

S355JR Numunesi için L_0 Hesaplaması:

$$5,11 \times 20,05 = 102,4555$$

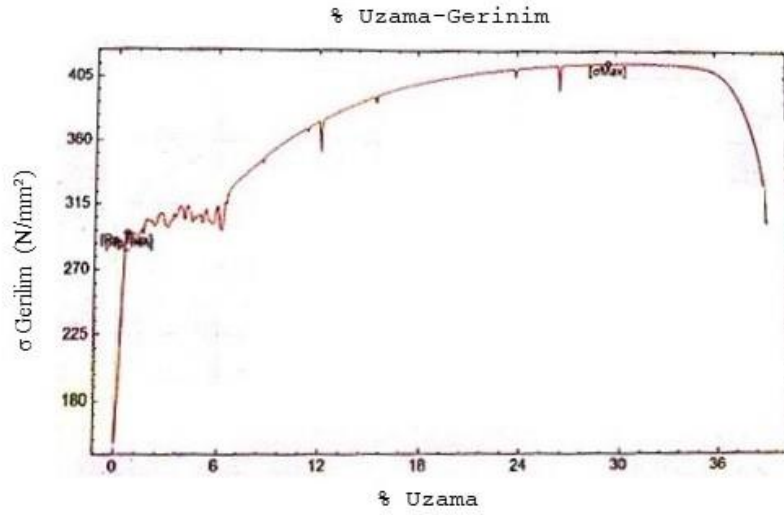
$$\sqrt{102,4555 \times 5,65} = 57,18 \text{ mm}$$

S355J2 Numunesi için L_0 Hesaplaması:

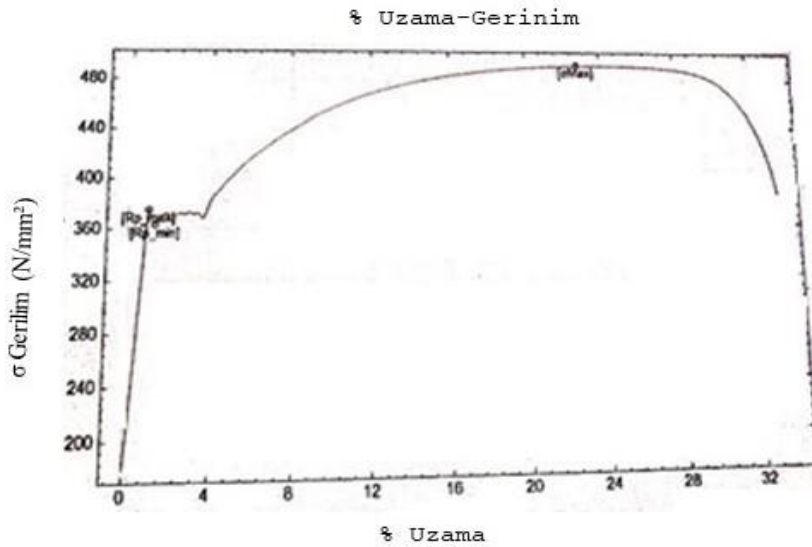
$$5,06 \times 20,09 = 105,6734$$

$$\sqrt{105,6734 \times 5,65} = 58,08 \text{ mm}$$

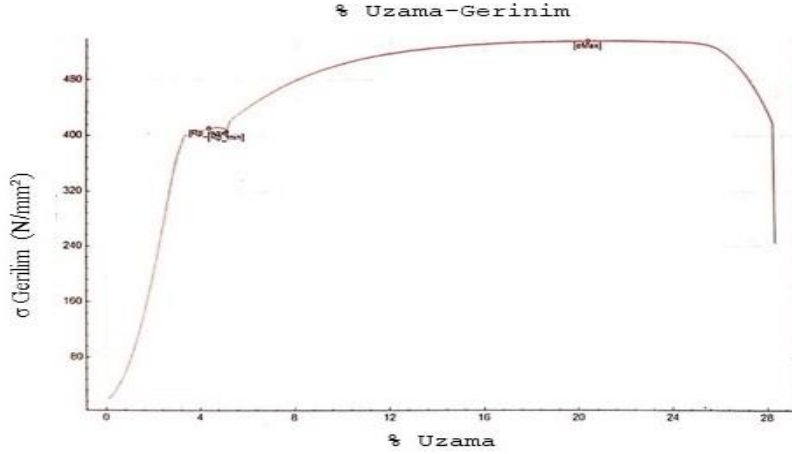
50 tonluk çekme cihazı kullanılarak yapılan testlerde S355JR ve S355J2 kalite numunelerinin akma noktasının daha yüksek olduğu görülmüştür. Aynı zamanda çekme dayanımının da bu iki kalitede S275JR kaliteye göre daha yüksek olduğu sonucu tespit edilmiştir. Aşağıda S275JR numunesine ait test grafiği Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. S275JR numunesi çekme test grafiği



Şekil 4.3. S355JR numunesi çekme test grafiği



Şekil 4.4. S355J2 numunesi çekme test grafiği

Şekil 4.3'te S355JR için test grafiği gösterilmiştir. Şekil 4.4'te ise S355J2 için test grafiği gösterilmiştir. Akma dayanımı düşük olan S275JR kalite numunesinde uzama miktarının S355JR ve S355J2 kaliteye göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Tablo 4.4'de numunelere ait çekme test sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 4.4 Çekme test değerleri

Numune	Akma Değeri (N/mm ²)	Çekme Değeri (N/mm ²)	Uzama Miktarı (%)
S275 JR	293.50	415.12	39.1
S355 JR	368.20	492.67	33.4
S355 J2	403.96	537.35	28.3

4.3 Çentik Darbe Testi Sonuçları

Yine bu tez çalışması kapsamında üç farklı kalitedeki numuneler için ayrı ayrı çentik numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan çentik numuneleri için yapılan ölçümler aşağıda tabloalanmıştır. Aşağıda Tablo 4.5, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de çentik numunesine ait ölçümler gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Çentik numeneleri boy ölçümleri

Numune kalitesi	Çentik numunesinin boyu (mm)
S275JR	55,05
S355JR	55,09
S355J2	55,03

Tablo 4.6. Çentik numuneleri genişlik ölçümleri

Numune kalitesi	Çentik numunesinin genişliği (mm)
S275JR	10,07
S355JR	10,02
S355J2	10,05

Tablo 4.7. Çentik numuneleri kalınlık değerleri

Numune kalitesi	Çentik numunesinin kalınlığı (mm)
S275JR	5,01
S355JR	5,06
S355J2	5,09

Her bir numune için ayrı ayrı boy, kalınlık ve genişlik ölçüsü alınmış, ölçümler standartta göre kontrol edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Tablo 4.8 ve Tablo 4.9’da farklı sıcaklıklardaki çentik darbe değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4.8. S275JR ve S355JR numunesi çentik darbe sonuç değerleri

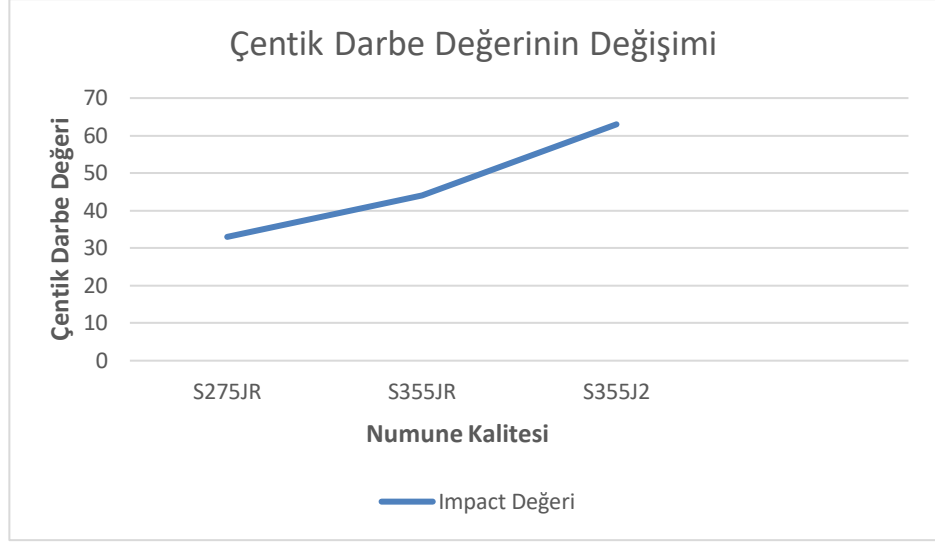
Kalite	25°C de çentik darbe değeri (J)
S275JR	33
S355JR	44

En düşük darbe dayanımına sahip malzemenin S275JR kalite numune olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.9. S355J2 numunesi çentik darbe sonuç değeri

Kalite	-20°C de çentik darbe değeri (J)
S355J2	63

Çentik darbe testi sonucu en yüksek tokluk ve darbe dayanımına sahip olan numunenin S355J2 kalite numune olduğu gözlemlenmiştir. Çentik darbe grafiği Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Farklı kalitelerin çentik darbe değişim grafiği

4.4 Su Soğutma ve Hadde Hızına Ait Sonuçlar

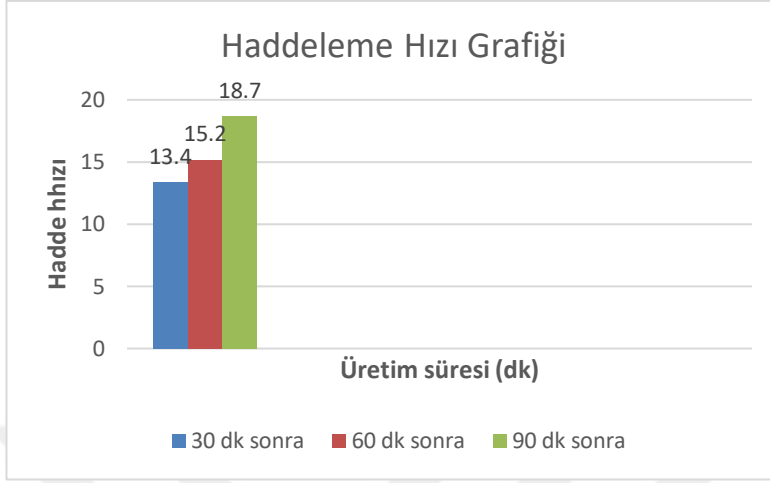
Tez çalışması kapsamında aynı kalite ürünler üzerinde üretim devam ederken hadde hızı ve su soğutma pompası sayısı üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Tablo 4.10'da üretim süresince olan hadde hızı gösterilmiştir. Aşağıdaki verilerde haddeleme hızı (V_{hadde}) olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.10. Üretim hattında haddeleme hızı değerleri

Üretim Süresi (dk)	$V_{haddeleme}$ hızı (m/sn)
30	13,4
60	15,2
90	18,7

Üretim hattı boyunca yarım saat aralıklarla hadde hızı değiştirilmiştir. Hadde hızı arttıkça malzemenin mekanik özelliklerinde azalma olduğu görülmüştür. Sıcak haddelenmiş malzeme haddeden yavaş geçtikçe daha fazla su görmesi sağlanmış

bunun da akma dayanımı ve çekme dayanımı değerlerini yükselttiği görülmüştür. Hadde hızı grafiği Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Haddeleme hızı grafiği

Su soğutma pompa sayısı iki farklı üretimde farklı sayılarda kullanılmıştır. Birinci üretimde üç su soğutma nozulu kullanılmıştır. İkinci üretimde beş su soğutma nozulu kullanılmıştır. Aşağıda Tablo 4.11'de su nozulu sayısı ile basınç değeri nasıl değiştiği gösterilmiştir.

Tablo 4.11. Üretimde su basınç değerleri

Üretim sırası	Su nozulu sayısı	Su basıncı değeri (Bar)
Birinci Üretim	3	1,2
İkinci Üretim	5	2,1

Su soğutma nozulu sayısı arttıkça basıncın arttığı sonucuna ulaşılmış, basıncın artması sonucunda da mekanik özelliklerin yani akma ve çekme dayanımının iyileştiği görülmüştür. Malzemenin yüzeyinin ne kadar fazla su alırsa o kadar daha sert ve yüksek çekme dayanımlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Bulut, 2019).

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında Kardemir Çelik Sanayi Hadde profilinde, sıcak haddeleme parametreleri olarak malzemenin kimyasal analizi, haddeleme hızı ve su soğutma sistemi olarak üç farklı parametre incelenmiş olup bunların çelik profillerin mekanik davranışları (akma mukavemeti, çekme mukavemeti, çekme darbe dayanımı) üzerindeki etkileri incelenmiş ve çalışmalar yapılmış, kimyasal analizler, akma dayanımları, çekme dayanımları ve çentik darbe dayanımları tespit edilmiştir.

Numunelerin hazırlanmasında her bir test metodu için ayrı ayrı kalınlık, genişlik ve boyut ölçüleri ayarlanmıştır. Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde mekanik özelliklere ait farklı veriler elde edilmiştir. Literatür çalışmaları incelendiğinde sıcak haddelemenin tavlama sürecinde mekanik özelliklere etkisi olduğu, şekillendirme işlemi kolaylaştırdığı görülmüştür (Bulut, 2019). Malzeme ne kadar sıcak gelirse o kadar kolay şekil alabildiği bunda hadde platformunda daha rahat işlenebildiği görülmüştür. Sıcak haddeleme prosesinin ne kadar doğru olursa mekanik özellikleri etkileyen parametrelerin de ona göre daha iyi işlenebilir olduğu anlaşılmıştır.

Tez çalışması kapsamında çelik profil malzemelerden köşebent profili kullanılmış, köşebent numunesinin farklı kaliteleri işlenmiştir. S275JR, S355JR ve S355J2 isimli farklı kaliteler işlenmiş bu farklı kalitelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Her üç numune kalite de incelendiğinde S275JR, S355JR ve S355J2 olmak üzere üç kalitenin de su soğutma işlemi, hadde hızı ve kimyasal etkilere göre farklılıklar görülmüştür.

Kimyasal analiz sonuçları spektrometre ile ölçülmüş, analiz sonucunda karbon, silisyum, mangan, fosfor, kükürt, krom, nikel, bakır, alüminyum ve vanadyum elementleri tespit edilmiştir. Çalışmanın analizleri EN 10025 Kalite Standardına uygun olarak yapılmıştır. Bu nedenle çalışmada karbon oranının 0,08' den küçük olmaması ve 0,23 oranını da geçmemesine özen gösterilmiştir. Literatürde malzemenin içeriğine baktığımızda karbon elementinin mukavemeti artırdığı görülmüştür. Karbon içeriğinin her %0,01 artışta çekme mukavemeti üzerinde 9 kg/mm² artma bilgisi yer almaktadır (Aydın, 2017). Fakat yapılan çalışmalarda çelikhane kısmından gelen kütüklerin karbon oranı değişebildiğinden ve hadde profilinde bu oranlar malzemenin yüzeyinde farklılık gösterebileceğinden karbon oranları eşit olan numuneler seçilmiştir. Silisyum, fosfor, krom ve nikel elementlerinin kimyasal değerleri de birbirine yakın olduğundan çalışma kapsamında bu elementlerin etkileri de ihmal edilmiştir. Alüminyum, vanadyum ve

mangan elementleri çalışmada etkisi gözlemlenen elementler olmuştur. Bakır oranı da mekanik özellikler üzerinde değil de malzemenin bütünlüğü ve düzgünlüğü üzerinde etkili olmuştur. Bakır oranı %0.40'ın üzerine çıkması durumunda malzemelerde parça bütünlüğünü bozan yarıklar görülmüştür.

Alüminyum, vanadyum ve mangan elementlerinin malzemenin akma dayanımı, çekme dayanımı, uzama miktarı ve darbe tokluğu üzerinde doğrudan etkisi görülmüştür. S275JR kalite ve S355JR kalite numunede alüminyum elementi ve vanadyum elementinin varlığı ihmal edilecek derecede küçük çıkmıştır. Bu iki element S355J2 kalitenin ana bileşenini oluşturmuştur.

Alüminyum elementi S275JR numunesinde %0,001 S355JR numunesinde %0,002 oranında çıkmıştır. S355J2 numunesinde ise %0.025 oranında çıkmıştır. Bu sonuçta S355J2 numunesini farklı bir formda özel kalite olmasını sağlamıştır. Bu sonuçlar analiz edildiğinde alüminyum elementinin S355J2 kalite numunede çentik darbe değerini yükselttiği sonucuna varılmıştır.

Vanadyum elementi S275JR numunesinde %0,002 oranında, S355JR numunesinde %0,003 oranında çıkmıştır. S355J2 numunesinde ise %0,029 oranında çıkmıştır. Bu sonuçta tıpkı alüminyum elementi gibi S355J2 formundaki kaliteler için özeldir. Bu sonuçlar analiz edildiğinde vanadyum elementinin malzemenin çentik darbe direncini yükselttiği görülmüştür (Li, 2021).

Mangan elementi ise S275JR numunesinde %0,65 oranında, S355JR numunesinde %1,31 oranında, S355J2 numunesinde %1,22 oranında çıkmıştır. Bu sonuçlar analiz edildiğinde mangan elementinin malzemenin akma ve çekme mukavemetini yükselttiği görülmüştür. Kardemir Çelik Haddecilik sanayi olarak S275JR mamullerinde mangan oranının %1'i geçmesi istenmemektedir. Zaten mangan oranının %1'i aştığı durumlarda mamulün çekme dayanımının 275'i geçtiği görülmüştür. S355JR ve S355J2 numunelerinde mangan oranı %1'in üzerine çıktığı için akma ve çekme değerlerinin yükseldiği saptanmıştır. En genel sonuç olarak da mangan elementinin artmasının malzemenin mekanik özelliklerini arttırdığı görülmüştür.

Çekme cihazı testi ile yapılan çekme sonuçlarına göre üç farklı numuneden S275JR'nin akma ve çekme dayanımı diğer iki numuneye oranla daha düşük çıkmıştır. Hesaplanan L_0 boyunun düzgün olmasının da malzemenin akma ve çekme değerleri üzerinde etkisinin olduğu görülmüş, aynı zamanda malzemenin uzama miktarını etkilediği sonucuna varılmıştır.

Üç farklı çekme numunesi için öncelikle L_0 boyları hesaplanmış ve bu sonuçlar malzemenin genişliğinin kalınlığıyla çarpılmasının karekök içinde alınımın 5,65 ile çarpılması ile hesaplanmıştır.

Akma sonuçları incelendiğinde S275JR numunesi için yapılan çekme testinin sonucunda akma değeri 293.50 N/mm^2 , S355JR ve S355J2 kaliteler için yapılan testinde akma değerinin 368.20 ve 403.96 N/mm^2 olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda çekme dayanımının S275JR numunesi için $415,12 \text{ N/mm}^2$, diğer iki kalitedeki numune içinse $492,67$ ve $537,35 \text{ N/mm}^2$ olduğu tespit edilmiştir. Buradan da S275JR numunesinin diğer iki numuneye oranla uzama miktarının daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Buradaki temel neden ise S275JR kalitenin diğer iki kaliteye oranla sertliğinin ve mukavemetinin daha düşük olmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Bir başka test yöntemi olarak çentik darbe testi kullanılmış, sonuçlar EN 10025 kalite standardının gerekliliğine göre uygulanmış buna göre sonuçlar değerlendirilmiş ve tartışılmıştır. 55 mm 'lik çentik numunelerinin tam ortasından $27,5$ 'luk kısımdan çentik açıldığı görülmüştür. S275JR ve S355JR kalite numune sonuçları oda sıcaklığında değerlendirilmiştir. S355J2 numune sonuçları ise standardın istediği şekilde $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de gerçekleştirilmiştir.

Her bir numune için ayrı ayrı boy, kalınlık ve genişlik ölçüsü alınmış, ölçümler standarta göre kontrol edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. En düşük darbe dayanımına sahip malzemenin S275JR kalite numune olduğu sonucuna varılmıştır. Çentik darbe testi sonucu en yüksek tokluk ve darbe dayanımına sahip olan numunenin S355J2 kalite numune olduğu gözlemlenmiştir.

S275JR kaliteli numune için çentik darbe enerji değeri 33 J , S355JR kaliteli numune için çentik darbe enerji değeri 44 J , S355J2 kaliteli numune için çentik darbe değeri 63 J olarak ölçülmüştür. Çentik darbe sonuçları değerlendirildiğinde dinamik zorlamalara karşı göstereceği direnç baz alındığında S355J2 kalite numunenin darbe kuvvetine karşı S355J2 ve S275JR kalitelere göre daha dirençli olduğu, S275JR kalitenin de S235JR kaliteye göre direnç kuvvetinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Başka bir parametre olarak su soğutma sistemleri incelenmiş olup üç farklı kalitenin su gördüğü ve görmediği durumlarda mekanik özelliklerinin nasıl etkilendiği araştırılıp sonuçlandırılmıştır. Literatür çalışmalarında da su gören malzemelerin daha sert olduğu görülmüştür (Boyoğlu, 2014).

Çalışmada üç su nozullu sistemde su basınç değeri $1,2 \text{ Bar}$, beş su nozullu sistemde $2,1 \text{ bar}$ olarak ölçülmüştür. Su basıncının aynı kaliteler üzerindeki etkisi

gözlemlenmiş, malzemenin yüzeyinin su alma miktarı arttıkça malzemenin akma ve çekme mukavemet değerleri ve sertliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Çalışma literatürdeki bilgileri doğrulamıştır (Kesti, 2009).

Bir diğer önemli parametre olan hadde hızının da çelik profillerin mekanik özellikleri üzerine etkisi gözlemlenmiştir. Hadde hızı üretimin ilk periyodunda 13,4 m/sn olarak bulunmuş, sonraki periyotlarda sırasıyla 15,2 m/sn ve 18,7 m/sn değerlerini takip etmiştir.

Üretim hattı boyunca yarım saat aralıklarla hadde hızı değiştirilmiştir. Hadde hızı arttıkça malzemenin mekanik özelliklerinde azalma olduğu görülmüştür. Sıcak haddelenmiş malzeme haddeden yavaş geçtikçe daha fazla su görmesi sağlanmış bunun da akma dayanımı ve çekme dayanımı değerlerini yükselttiği görülmüştür.

Son olarak bütün bu parametrelerin neden olduğu etkenler topluca değerlendirilmiştir. Genel olarak sıcak haddelenmiş çelik ürünlerinde, örneğin kimyasal analizde mangan elementinin artmasıyla çeliklerin akma dayanımı, çekme değeri, dayanıklılık ve sertleşebilirlik özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir. Alüminyum ve vanadyum elementlerinin, % 0.025-0.029 aralığında kullanıldığında çeliklerin dayanıklılığını arttırdığı ve darbe değerini arttırdığı tespit edilmiştir. Malzemenin mekanik özellikleri üzerinde haddelenme hızının etkisi gözlemlenmiştir. Haddelenme hızı yavaşladığında, malzemenin yüzeyi daha fazla suya maruz kalır ve bu nedenle mekanik özellikleri artar, akma ve çekme dayanımını artırdığı tespit edilmiştir. Malzemenin mekanik özellikleri üzerinde su soğutma pompalarının etkisi incelenmiş ve su pompalarının sayısının artmasıyla malzemenin akma ve çekme değerlerinin ve sertliğinin arttığı belirlenmiştir.

6. ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında sıcak haddeleme parametrelerinin çelik profil malzemeler üzerindeki mekanik davranışlarını nasıl etkilediği tespit edilmiştir. Mangan, alüminyum ve vanadyum elementlerinin uygun değerlerde kullanıldığında istenilen mekanik değerlerde üretilebileceği kanısına varılmıştır.

Aynı şekilde su basınç değerinin ve hadde hızının en uygun değerlerde kullanıldığında minimum maliyet ve maksimum verimlilik sağlayabileceği düşünülmektedir.

Elde edilen mekanik değerli malzemelerin çelik konstrüksiyon, inşaat gereçleri, otomobil vb. alanlarda uygun mekanik özellikleri karşılamasından dolayı istenilen yapılarda kullanılabileceği ön görülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Aydın, Murat, (2017), Çelik malzemeler: metalurjik karakterizasyon, ısıl işlemler, standartlar ve sınıflandırma, endüstriyel uygulamalar, çelik seçimi, *Aybitak*, İstanbul

Ayhan Steel, Alaşım Elementi Etkisi, <https://www.ayhansteel.com/alasim-elementi-etkisi/> (Erişim tarihi: 17.04.2024)

Bartın Üniversitesi, Metallerde Plastik Şekil Verme, <https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/metallereplastiksekilvermebolum58.hafta.pdf> (Erişim tarihi 2023)

Boyoğlu, E. (2014). Şerit hadde sonrası soğutma pratiğinin çelik mikro yapısı ve mekanik özelliklere etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bulut, A (2019). Yapı profillerinde soğutma parametrelerinin ürün özelliklerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

Creative Technological Solution, Haddeleme, Soğutma Platformu <https://ctsmakina.com.tr/urunler/haddehane/sogutma-platformu> (Erişim Tarihi 2024).

Jiang, B. , Li, G.Q. , Li, L. , Izzuddin, B.A. (2018) Experimental studies on progressive collapse resistance of steel moment frames under localized furnace loading *J. Struct. Eng.*, 144 (2)

Kesti, E. (2009). Ç - 4140 Çeliğinin Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklerine Su Verme Ortamının Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Samarasekera, (2001) I. V, Hot Rolling. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, (3836–3843),

Serajzadeh, S. , (2014). *Comprehensive Materials Processing ,Hot Rolling and Direct Cooling. ,* (377–396),

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Türk Standartları Enstitüsü, 2004 *EN 10025 Sıcak Haddelenmiş Yapı Çelikleri Standardı*,

Qiang, X. , Bijlaard F. , Kolstein, H. (2012) Dependence of mechanical properties of high strength steel S690 on elevated temperatures, *Construct. Build. Mater.*, 30 pp. 73-79

Li, Y. , Wang, M. , Li, G. , Jiang, B. , 2021, Mechanical properties of hot-rolled structural steels at elevated Temperatures : *A review” Volume 119, 103237*

Yu, Y. , Lan, L. , Ding, F. , Wang L. (2019), Mechanical properties of hot-rolled and cold-formed steels after exposure to elevated temperature: *a review Construct. Build. Mater.* 213 pp. 360-376

ÖZGEÇMİŞ

İlköğretimime Kars İsmet Paşa İlköğretim Okulu'nda, lise eğitimime Kars Hüsni Özyeğin Anadolu Lisesi'nde devam ettim. Lisans eğitimimi İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünde tamamladım. 2022-2024 yılları arasında Kardemir Haddecilik A.Ş de Kalite Kontrol Mühendisi olarak çalıştım.

2021 yılında Ege Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünde başladığım yüksek lisans eğitimim halen devam etmektedir.

Bildiriler :

1. Deniz Can Ercan, Fatma Yurt, The Effect of Hot Rolling Parameters on the Mechanical Behavior of Steel Materials, 18th International Scientific Research Congress, Science and Engineering, 104, 15-16 December, 2023, Ankara, Türkiye (Oral).