

Raex® ABRASION
RESISTANT STEEL

KAYNAKLAMA VE TERMAL KESİM



AŞINMA TALEPLERİNİZİ KARŞILAR

Raex aşınmaya dayanıklı çelikler, sürtünme aşınması ve yıpranmasına maruz kalan çelik yapılar için tasarlanmıştır. Raex'in aşınma direnci özellikleri ekipmanınızın ömrünü önemli ölçüde uzatarak, maliyet ve zamandan tasarruf etmenizi sağlar.

Raex, standart kalite çeliklere oranla, çelik yapıları hafifleterek servis ömrünü uzatır. Daha hafif parçalar sayesinde yük kapasitesinin artması, çalışır durumdaki kamyon sayısını azaltarak yakıt tüketimini ve emisyonu azaltır.

GİRİŞ

Raex, iyi sertlik ve atölye özelliklerine sahip olan aşınmaya dayanıklı bir çeliktir. Modern üretim teknolojisi, farklı türlerde aşınma koşullarına karşı güvenilir bir kalite ve etkin maliyetli bir koruma sağlar. Raex çelikler ağır plaka ve boya kesim saclar halinde 300 – 500 HB sertlik aralığında sunulmaktadır. Raex iyi kesme, kaynaklama ve şekillendirme özellikleri sayesinde atölyede yüzünüzü güldürür. Makinelerin kullanım ömrünü uzatır ve enerji verimliliğini artıran hafif ürünler için yeni tasarım olanakları sunar.

RAEX AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLER İÇİN UYGULAMALAR

- Kırıcılar, kepçeler ve tırnak arası plakaları
- Platformlar ve taban yapıları
- Malzeme ve atık yönetimi makineleri, tankerler ve konveyörler
- Silolar, huniler, elekler ve karıştırıcılar
- Özel konteynerler
- Aşınma parçaları ve kesici bıçaklar

Raex çeliklerin aşınma direnci, çelik alaşımına ve sertleştirilmiş olarak teslim edilmesine dayanmaktadır. Yüksek alaşım, sertlik ve dayanımı nedeniyle aşınmaya dayanıklı çeliklerin kaynaklanması ve termal kesimi, sıradan yapı çeliklerinin işlenmesine göre daha

zordur. Aşınmaya dirençli çeliklerin kaynaklanmasının başlıca iki amacı vardır. İlk olarak, soğuk çatlaklarının önceden engellenmesi gerekir. Bu özellikle kalın plakaların kaynaklandığı durumlar için gereklidir. İkincisi, kaynaklı bağlantının mekanik özellikleri optimum olmalıdır. Ana metalle ilgili bu iki amaca ek olarak, zorlu kaynak operasyonları ayrıca kalite düzeyi gibi işe özgü talepleri de karşılamalıdır. Termal kesimde, kesme yüzeyinde çatlaklardan ve kesilen bölgenin aşırı yumuşamasından kaçınılmalıdır.

Bu teknik broşür Raex 400, Raex 450 ve Raex 500 sınıfları için pratik kaynaklama talimatlarını içerir ve bunların termal kesimle ilgili özel yönlerini açıklar. Doğru bir çalışma sıcaklığı ve ısı girdisinin yanı sıra dikkatli bir hazırlık, kaynaklamada kilit önem taşır. Kaynaklanacak oyuk yüzeylerin kuru ve temiz olması gerekir. Ultra yüksek dayanımda bir çelik söz konusu olduğundan, kaynak metalde çözünen hidrojenin içeriği bilhassa düşük tutulmak zorundadır. Düşük hidrojen içeriğine ise, doğru kaynak parametreleri ve uygun kaynak sarf malzemeleri kullanılarak erişilir. Veri formunda gaz korumalı ark kaynağı, manuel metal ark kaynağı ve tozaltı ark kaynağı için kaynak sarf malzemesi önerileri verilmiştir. Mümkün olan en iyi sonucu alabilmek için, tasarımdan bitirmeye varıncaya kadar kaynak ve termal kesimin tüm aşamaları dikkatle yapılmalıdır.



İÇİNDEKİLER

GİRİŞ	3
1 AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİK SINIFLARI	4
2 AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLERİN KAYNAKLANABİLİRLİĞİ	5
2.1 Soğuk çatlağına yatkınlık	5
2.1.1 Soğuk çatlaklarının yerleri	5
2.1.2 Soğuk çatlmasına yol açan faktörler	5
2.1.2.1 Kaynaklı bağlantının mikroyapısı	5
2.1.2.2 Kaynaklı bağlantıdaki kritik hidrojen içeriği	6
2.1.2.3 Kaynaklı bağlantının dayanım ve gerilim düzeyi	6
2.1.2.4 Üç faktörün birleşik etkisi	6
2.2 Kaynaklı bir bağlantının optimum özellikleri	6
3 KAYNAKLAMA PARAMETRELERİ VE KAYNAKLI BAĞLANTI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	7
3.1 En önemli kaynaklama parametreleri	7
3.2 Kaynaklama parametrelerinin kaynaklı bağlantı özellikleri üzerindeki etkisi	7
4 KAYNAK SARF MALZEMELERİ	8
4.1 Seviye altı (yumuşak ferritik) sarf malzemeleri	8
4.2 Ostenitli çelikten kaynak sarf malzemeleri	8
5 SOĞUK ÇATLAMASININ ÖNLENMESİ	10
5.1 Kaynaklı bir bağlantıda mikroyapı sertleşmesinin kontrolü	10
5.2 Hidrojen içeriğinin kontrol edilmesi	10
5.3 Kaynaklı bir bağlantıda kalıntı gerilimlerinin giderilmesi	10
5.4 Kaynaklama için pratik ipuçları	10
5.5 Doğru çalışma sıcaklığında kaynaklama	10
6 KAYNAKLI BAĞLANTILARDA EN UYGUN ÖZELLİK KOMBİNASYONUNA ULAŞMA	12
6.1 Önerilen kaynaklama parametreleri	12
6.2 Kaynaklı bağlantılarda yumuşak bölge	12
7 ISIL İŞLEM	13
8 TERMAL KESİMDE ÇELİĞİN DAVRANIŞLARI	15
8.1 Termal kesim prosedürü	16
8.2 Çalışma sıcaklığının artırılmasıyla yüzey sertliğinin kontrolü	16
8.3 Termal kesimde yumuşamanın önlenmesi	16
8.4 Termal kesim için pratik ipuçları	16
9 LAZER KESİM ÖZELLİKLERİ	18

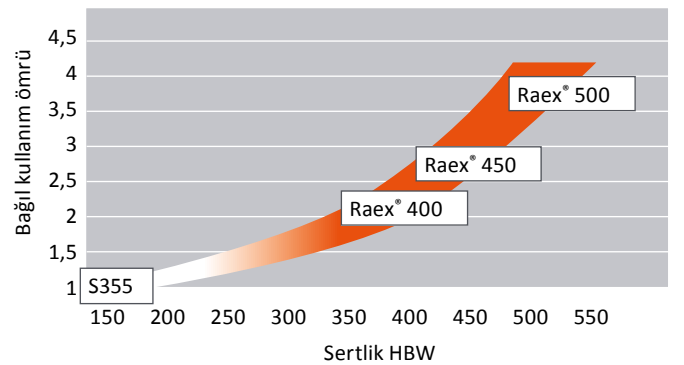
1 AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİK SINIFLARI

Raex aşınmaya dayanıklı çelik, aşınma ve yıpranmaya maruz kalan çelik yapılar için tasarlanmıştır. Raex'in aşınma direnci özellikleri, ekipmanınızın servis ömrünü önemli ölçüde uzatarak zaman ve paradan tasarruf etmenizi sağlar.

Ürün çeşitlerimiz Raex 300, Raex 400, Raex 450 ve Raex 500 çelik sınıflarını içermektedir. Çeliklerin ortalama sertliği sırasıyla 300/400/450/500 HBW'dir, bkz.Şekil 1.

Çeliğin genel sürtünme aşınma ve yıpranmasına direnci, sertlikle birlikte artar. Şekil 1 bir aşınma testinde Raex 400, Raex 450 ve Raex 500 çeliklerin bağlı servis ömrünü göstermektedir. Ancak malzeme aşınmasının her zaman duruma özgü olduğu ve pek çok farklı unsura bağlı olarak değişebileceği unutulmamalıdır.

ŞEKİL 1. RAEX 400, RAEX 450 VE RAEX 500. AŞINMA TESTİ.



Çelik sertliği arttıkça servis ömründeki bağlı uzama. Sıradan bir S355 yapı çeliğinin servis ömrü değiştirilerek referans değer 1 oluşturuldu.

2 AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLERİN KAYNAKLANABİLİRLİĞİ

Aşınmaya dayanıklı çeliklerin yüksek dayanımı ve sertliği, alaşımlama ve su verme ile elde edilir. Uygun bir alaşımlama ile doğru sertleşebilirlik elde edilir. Yüksek alaşımlama nedeniyle, aşınmaya dayanıklı çeliklerin kaynaklanması, sıradan yapı çeliklerine göre daha zordur. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin kaynaklanmasında iki amaca özellikle dikkat edilmelidir:

- Kaynaklı bağlantılarda soğuk çatlaklarının önlenmesi.
- Kaynaklı bağlantılarda optimum özelliklerin elde edilmesi.

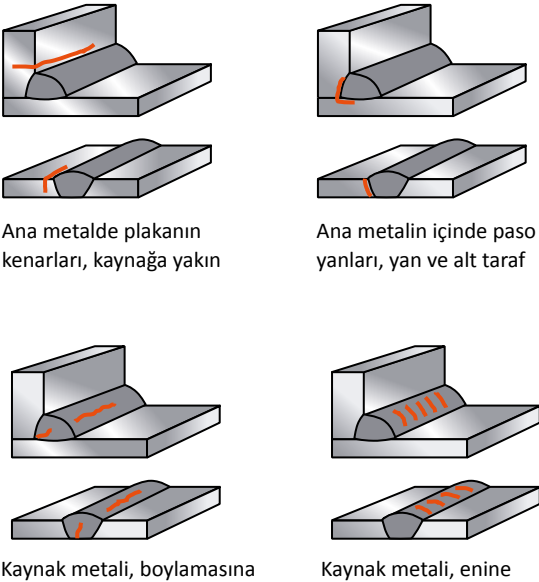
2.1 SOĞUK ÇATLAMASINA YATKINLIK

Aşınmaya dayanıklı çeliklerin kaynaklanabilirliğine ket vuran en yaygın faktör soğuk çatlama olmasıdır. Soğuk çatlakları genellikle kaynak +150°C veya altına düştüğünde oluşur; "soğuk çatlak" ifadesi de buradan gelir. Soğuk çatlama ayrıca hidrojen çatlakları veya gecikmeli çatlama olarak da bilinir. Hidrojenin zararlı etkisi, kaynaktan günler sonra kendisini çatlaklar şeklinde gösterebilir. Kaynaklanan yapı için bir NDT testi planlanırken, soğuk çatlaklarının ortaya çıkışındaki gecikme de hesaba katılmalıdır.

2.1.1 Soğuk çatlaklarının yerleri

Kaynak metalinde, ergime çizgisinde ve ısıdan etkilenen bölgede soğuk çatlaklarının belirdiği kritik alanlar Şekil 2'de gösterilmiştir.

ŞEKİL 2. YÜKSEK DAYANIMLI AŞINMA DİRENÇLİ ÇELİKLERDEKİ KAYNAKLI BAĞLANTILARDA SOĞUK ÇATLAĞINA YATKIN OLAN YERLER.



2.1.2 Soğuk çatlama yol açan faktörler

Soğuk çatlama, eşzamanlı olarak meydana gelen üç faktörün birleşik zararlı etkisidir. Şekil 3'te de görüldüğü üzere bu faktörler, 1) kaynaklı bağlantının mikroyapısı, 2) kaynaklı bağlantının hidrojen içeriği, ve 3) kaynaklı bağlantının gerilim düzeyidir.

2.1.2.1 Kaynaklı bağlantının mikroyapısı

İyi bir aşınma direnci; ana metalde, kaynak metalde ve ayrıca kaynaklı bir bağlantının ısıdan etkilenen bölgesinde martensitli bir mikroyapıya dayanır. Bağlantı çok hızlı soğursa, martensit çok sert ve düşük toklukta olabilir. Bu tür bir mikroyapı çatlama yatkındır. Çeliğin ve kaynak metalinin sertleşme kapasitesi, alaşımlamaya dayalı karbon eşdeğeri formülleriyle temsil edilir. Burada gösterilen "CEV" ve "CET" formülleri, aşınmaya dayanıklı çelikler için yaygın olarak kullanılmaktadır. CEV için "CE" kısaltması da kullanılır.

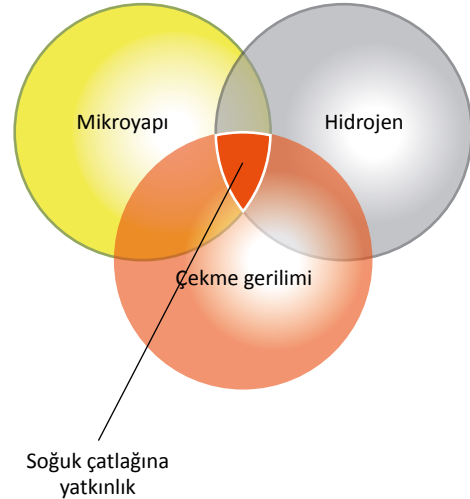
Karbon eşdeğeri formülü, çeliğin ve kaynak metalinin sertleşme kapasitesini temsil etmek için kullanılmıştır.

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Mo + Cr + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

$$CET = C + \frac{(Mn + Mo)}{10} + \frac{(Cr + Cu)}{20} + \frac{Ni}{40}$$

Karbon eşdeğerinde veya sertleşme kapasitesindeki bir artış, daha sert bir mikroyapıya yol açar.

ŞEKİL 3. KAYNAKLI BİR BAĞLANTININ SOĞUK ÇATLAĞINA YATKINLIĞI, ÜÇ FAKTÖRÜN ZARARLI ETKİLERİNİN BİRLEŞMESİYLE OLUŞUR.



2.1.2.2 Kaynaklı bağlantıdaki kritik hidrojen içeriği

Hidrojen çok hafif bir gazdır ve çeliğin içinde çözünerek atom ve moleküllerine ayrılır. Bir çelik plaka üretildiğinde zaten küçük miktarlarda hidrojen içerir. Raex çeliklerin üretim süreci, çelik plakalardaki doğal hidrojen içeriğinin emniyetli bir şekilde düşük kalmasını sağlar. Bu nedenle kaynaklama sırasında, çeliği soğuk çatlamaına yatkın hale getiren hidrojen, bağlantıya çelik plakanın dışından girmeye çalışır.

Kritik hidrojen içeriği belirli bir sabit değildir, ama değeri özellikle çeliğin mikroyapısından etkilenir. Sıcaklığa ve işlem durumuna bağlı olarak, aşınmaya dayanıklı bir çeliğin mikroyapısında martensit, ferrit ve ostenit fazları mevcuttur. Martensitik ve ferritik bir mikroyapıda sadece çok küçük miktarlarda hidrojen çözünürken, ostenitik bir mikroyapı çok daha fazla hidrojen tutabilir.

Kaynaklama sırasında hidrojen gazının çoğu, çelik mikroyapısının ostenitik olduğu yüksek sıcaklıklarda çeliğin içinde çözünür. Kaynaklı bağlantı soğuyunca, çeliğin mikroyapısı ferritik veya martensitik hale gelir. Bu mikroyapılarda sadece az miktarda hidrojen çözünür ve hidrojen atomlarının fiziksel olarak yerleşebilmesi için gereken güvenli alan kısıtlıdır. Bu nedenle kaynaklı bağlantının mikroyapısının içinde hapsolan hidrojen atomları lokal iç gerilime ve soğuk çatlağı olarak adlandırılan çatlak oluşumlarına yol açar.

2.1.2.3 Kaynaklı bağlantının dayanım ve çekme gerilimi düzeyi

Gerek kaynaklama gerek diğer plaka işlemleri, bağlantı yerinde gerilimlere yol açar. Kaynaklı bir bağlantının dayanımı ve kalıntı gerilimi, ağırlıklı olarak kaynak metalinin dayanımı tarafından belirlenir. Kalıntı gerilimi, dolgu metalinin dayanımına ve çelik sacın kalınlığına ve yapısal esnemezliğine bağlıdır. En yüksek seviyesindeyken, kaynaklı bağlantıdaki gerilim çeliğin akma noktasındaki gerilime eşittir. Yüksek gerilim, soğuk çatlağına yatkınlığı artırır.

2.1.2.4 Üç faktörün birleşik etkisi

Soğuk çatlaklarının oluşmasında; kaynaklı bağlantının mikroyapısı, hidrojen içeriği ve çekme gerilimi birbirine bağımlı faktörlerdir. Örneğin, eğer bir bağlantının çekme gerilimi düzeyi aynı kaynak prosedürüyle artıyorsa, daha düşük bir hidrojen içeriği bile soğuk çatlağına yol açacaktır. Benzer şekilde, daha yüksek dayanım ve daha kırılğan bir mikroyapı da daha düşük hidrojen içeriklerinde çatlamaına yatkındır. Soğuk çatlaklarıyla mücadelede bu üç faktörün birleşik etkisi öngörülmesi ve kaynaklama buna göre planlanmalıdır.

2.2 KAYNAKLI BİR BAĞLANTININ OPTİMUM ÖZELLİKLERİ

Aşınmaya dayanıklı çeliklerde gerekli olan özellikler, yapı çelikleri için belirlenmiş olanlar kadar geniş kapsamlı değildir. Aynı durum, aşınmaya dayanıklı çeliklerden yapılan kaynaklı bağlantılar ve yapılar için de geçerlidir. Yine de, aşınmaya dayanıklı çeliklerin kaynak planlaması yapılırken, bağlantının Tablo 1'deki özelliklere göre değerlendirilmesi gerekir.

Aşınmaya dayanıklı yapılar tasarlarırken, kaynaklar mümkün olduğunca uzağa, en ağır yüklere maruz kalmayan yerlere konumlandırılmalıdır. Eğer bir kaynaklı bağlantıda özellikle iyi bir aşınma dayanımı elde etmek isterseniz, uygun alaşıma sahip yüksek dayanımlı kaynak sarf malzemeleri kullanmalısınız. Kaynaklı bağlantılarda darbe tokluğu sayısal değerlerinin gerektiği yapılarda, tok kaynak sarf malzemeleri ve doğru kaynak parametreleri kullanılarak ana metalinkine eşleşen değerlere ulaşılabilir.

Tablo 1'deki özellikler birbirine bağlıdır. Örneğin sertlik ve dayanımın artırılması, darbe tokluğunu azaltıcı bir etki edecektir. Kaynak alanında optimum özellikler, doğru kaynak parametreleriyle ve önerilen çalışma sıcaklığıyla sağlanır. Genellikle, aşınmaya dayanıklı çeliklerin kaynaklı bağlantı özellikleri için, sertlik ve bazen de dayanım haricinde sayısal değer verilmez. Genellikle bu özelliklerin ikisi de test edilmez.

TABLO 1. AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLERDEKİ KAYNAKLI BAĞLANTILARDA EN UYGUN ÖZELLİKLERİN KOMBİNASYONU.

Özelliklerin birleşimi
Sertlik
Aşınma dayanımı
Mukavemet
Darbe tokluğu

3 KAYNAKLAMA PARAMETRELERİ VE KAYNAKLI BAĞLANTI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Kaynaklama sırasında çelik güçlü bir ısı etkiye maruz kalır. Bağlantının sıcaklığı hızla, çalışma sıcaklığından +1500°C'yi aşan sıvı çelik sıcaklığına yükselir. Kaynaklama işleminde kontrolü sağlayan temel değişkenler, kaynağın ısı girdisi ve bağlantının soğuma hızıdır.

3.1 EN ÖNEMLİ KAYNAKLAMA PARAMETRELERİ

Kaynaklamada kullanılan ısı enerjisi, ısı girdisi (Q) ve ark enerjisi (E) kavramlarıyla ifade edilir. Isı girdisi ile kaynak enerjisi arasındaki ilişki, kaynak prosedürüne özgü termal verimlilik katsayısı "k" ile ifade edilir. En yüksek düzeyi olan k=1'de, termal verimlilik yüzde 100'dür ve tüm ark enerjisi ısı girdisi için kullanılır. En önemli kaynaklama parametreleri ve değişkenleri Şekil 4'te verilmiştir. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin kaynaklanmasında kullanılan yöntemlerin tipik termal verimlilikleri Tablo 2'de verilmiştir.

3.2 KAYNAKLAMA PARAMETRELERİNİN

KAYNAKLI BAĞLANTI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Bir bağlantının ısı girdisi ve soğuma hızı birbirine doğrudan bağlıdır. Yüksek ısı girdisinde bağlantı yavaş soğurken, düşük ısı girdisinde bağlantı hızlı soğur. Kaynaklı bir bağlantının ısıdan etkilenen bölgesinin (HAZ) mikroyapısı için en önemli faktör, +800°C'den +500°C'ye soğuma zamanıdır ($t_{8/5}$); Şekil 5. Kaynaklı bir bağlantının soğuma hızını etkileyen faktörler Tablo 3'te verilmiştir.

Yüksek ve düşük ısı girdilerinin aşınmaya dayanıklı çeliklerin kaynaklanması üzerindeki etkileri Şekil 6'da gösterilmiştir. Yüksek ısı girdisi uzun bir $t_{8/5}$ süresini, düşük ısı girdisi ise kısa bir $t_{8/5}$ süresini gerektirir.

Ark kaynağında daha yüksek ısı girdisi gerekliliği, kaynak verimini iyileştirme amacını taşır. Aşınmaya dayanıklı ince plakaların kaynağında daha yüksek ısı girdisinin kullanımı, çeliğin sertliği üzerinde olumsuz etkisi olacağı için kısıtlıdır.

TABLO 2. FARKLI KAYNAK YÖNTEMLERİ İÇİN TİPİK TERMAL VERİMLİLİK.

Kaynak yöntemi	Termal verimlilik, k
Gaz örtülü ark kaynağı, MAG yöntemleri	0,8
Manuel metal ark kaynağı	0,8
Tozaltı ark kaynağı	1,0
Plazma ark kaynağı ve TIG kaynağı	0,6

TABLO 3. KAYNAKLI BİR BAĞLANTININ SOĞUMA HIZINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER.

Kaynaklama enerjisi
Plaka kalınlığı / kalınlıkları
Bağlantı formu
Bağlantı hazırlığının türü
Çalışma sıcaklığı
Kaynak sırası

ŞEKİL 4. KAYNAK ENERJİSİ VE KAYNAĞA ISI GİRDİSİ VE DİĞER KAYNAKLAMA PARAMETRELERİ.

$$Q = \frac{k \times 60 \times U \times I}{1000 \times v}$$

$$E = \frac{60 \times U \times I}{1000 \times v}$$

$$Q = k \times E$$

Q = Isı girdisi: kaynaklama sırasında, uzunluk birimi başına kaynağa aktarılan

ısı miktarı (kJ/mm)

E = Ark enerjisi: uzunluk birimi başına, kaynak işlemiyle iletilen enerjinin miktarı (kJ/mm)

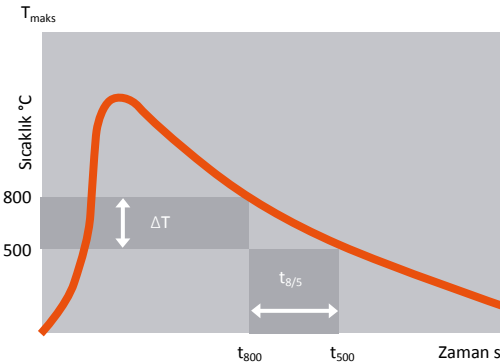
k = Termal verimlilik: ısı girdisi (Q) ile ark enerjisi (E) arasındaki ilişki

U = Gerilim (V)

I = Akım (A)

v = Kaynaklama hızı (mm/dak)

ŞEKİL 5. BİR KAYNAK PROSEDÜRÜNÜN SICAKLIK/ZAMAN ŞEMASI.



$$\Delta T = 800^\circ\text{C} - 500^\circ\text{C}$$

$$t_{8/5} = +800^\circ\text{C'den } +500^\circ\text{C'ye soğuma süresi}$$

Bu broşürün içeriği genel önerilerde bulunma amacını taşır. SSAB AB bunların her duruma uyacağına dair bir sorumluluk kabul etmez. Bu nedenle, her durum için mevcut koşullarda yapılması gereken uyarılardan kullanıcı sorumludur.

ŞEKİL 6. AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLER. ISI GİRDİSİNİN KAYNAKLANABİLİRLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ.



DAHA YÜKSEK ISI GİRDİSİ

Azalan sertlik
Daha geniş HAZ
Daha geniş yumuşak bölge
Daha büyük çarpılmalar
Soğuk çatlağına yatkinlik azalır

DAHA DÜŞÜK ISI GİRDİSİ

Sertlikteki azalma daha düşüktür
Daha dar HAZ (Isıdan etkilenen bölge)
Daha dar yumuşak bölge
Daha küçük çarpılmalar
Soğuk çatlağına yatkinlik artar

4 KAYNAK SARF MALZEMELERİ

Sıradan S355 yapı çeliğinin kaynaklanması için seviye altı ferritik kaynak sarf malzemeleri kullanılır. Aşınmaya dayanıklı çelikler için açık arayla en yaygın kullanılan sarf malzemesi türüdür ve tüm sertlik sınıfları için önerilirler.

Seviye altı ostenitik sarf malzemeleri ilk başta ostenitik paslanmaz çelikleri kaynaklama amacına yöneliktir. Özellikle aşınmaya dayanıklı en sert çelikler, kalın plakalar ve tamir kaynağı için güvenli bir seçimdir.

4.1 SEVİYE ALTI (YUMUŞAK) FERRİTİK KAYNAK SARF MALZEMELERİ
Aşınmaya dayanıklı çelikler kaynaklanırken, ferritik sarf malzemelerinin hidrojen içeriği, soğuk çatlağına yatkınlık üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle ferritik sarf malzemelerindeki hidrojen içeriği düşük olmalıdır – bu da hidrojen içeriği $HD \leq 5$ ml/100 g'dir (hidrojen içerik sınıfı H5).

Bir kaynak sarf malzemesi, eğer ürettiği saf kaynak metali özünde çelikten daha yumuşaksa 'seviye altı' olarak tanımlanır. Seviye altı dolgu metali tarafından üretilen saf kaynak metalinin akma dayanımı 500 MPa civarındadır ve tokluğu iyidir. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin kaynaklanmasında, pek çok avantaj sunması nedeniyle seviye altı düşük hidrojenli dolgu metali önerilir; Tablo 4.

TABLO 4. SEVİYE ALTI SARF MALZEMELERİNİN YÜKSEK DAYANIMLI SARF MALZEMELERİNE GÖRE AVANTAJLARI.

Avantajlar:
İyi kaynaklama özellikleri
Çok çeşitli seçenekler ve iyi temin edilebilirlik
Hem satınalma hem kullanım sırasında ekonomiktir
Kaynağın içinde daha düşük gerilim düzeyi
Tok ve sünek bir kaynak sarf malzemesi, gerilimi iyi tolere eder
Daha düşük karbon eşdeğeri ve dolayısıyla daha düşük sertleşebilirlik
Soğuk çatlağına daha az yatkınlık
Daha yüksek dayanımlı bir kaynak sarf malzemesine kıyasla, hidrojeni daha iyi tolere eder
Çalışma sıcaklığını artırma ihtiyacı, yüksek dayanımlı sarf malzemelerine oranla daha azdır

En çok uygulanan kaynak işlemleri için önerilen ferritik seviye altı sarf malzemeleri Tablo 5a ve 5b'de verilmiştir.

TABLO 5a. RAEX 400/450/500. SEVİYE ALTI FERRİTİK KAYNAK SARF MALZEMELERİ. EN SINIFLANDIRMASI.

Tam veya yaklaşık olarak karşılık gelen markalar (Esab). Saf kaynak metalinin akma dayanımı maks. 500 MPa civarında. Standarttaki "X" harfi, bir veya birkaç özellik işaretini ifade ediyor olabilir.

MAG dolu tel kaynağı (kaynak metali)	MAG özlü tel kaynağı: Metal özlü tel	MAG özlü tel kaynağı: Rutil özlü tel	Tozaltı ark kaynağı Tel + toz	Manuel metal ark kaynağı
EN ISO 14341: G 46 X OK Autrod 12.64 (G 46 3 M G4Si1, G 42 2 C G4Si1)) OK AristoRod 12.63 (G 46 4 M G4Si1, G 42 2 C G4Si1))	EN ISO 17632: T 46 X PZ6102 (T 46 4 M M 2 H5)	EN ISO 17632: T 46 X OK Tubrod 15.14 (T 46 2 P M 2 H5, T 46 2 P C 2 H5)	EN ISO 14171 S 46X OK Autrod 12.32+ OK Flux 10.71 (S 46 4 AB S3Si)	EN ISO 2560: E 46 X OK 55.00 (E 46 5 B 32 H5)
EN ISO 14341: G 42 X OK Autrod 12.51 (G 42 3 M G3Si1, G 38 2 C G3Si1)	EN ISO 16834: T 42 X OK Tubrod 14.12 (T 42 2 M M 1 H10, T 42 2 M C 1 H10)		EN 756 S 38 X OK Autrod 12.22+ OK Flux 10.71 (S 38 4 AB S2Si)	EN ISO 2560: E 42 X OK 48.00 (E 42 4 B 42 H5)

TABLO 5b. RAEX 400/450/500. SEVİYE ALTI FERRİTİK KAYNAK SARF MALZEMELERİ. AWS SINIFLANDIRMASI.

Tam veya yaklaşık olarak karşılık gelen markalar (Esab). Saf kaynak metalinin akma dayanımı maks. 500 MPa civarında. Standarttaki "X" harfi, bir veya birkaç özellik işaretini ifade ediyor olabilir.

MAG dolu tel kaynağı	MAG özlü tel kaynağı: Metal özlü tel	MAG özlü tel kaynağı: Rutil özlü tel	Tozaltı ark kaynağı Tel + toz	Manuel metal ark kaynağı
AWS A5.18 ER70S-X OK Autrod 12.51 (ER70S-6) OK AristoRod 12.63 (ER70S-6)	AWS A5.18 E70C-X OK Tubrod 14.12 (E70C-6M, E70C-6C) PZ6102 (E70C-6M H4)	AWS A5.20 E71T-X OK Tubrod 15.14 (E71T-1, E71T-1M)	AWS A5.17 F7X OK Autrod 12.22+ OK Flux 10.71 (F7A5-EM12K)	AWS A5.1 E7018X OK 48.00 (E7018) OK 55.00 (E7018-1)

TABLO 6. AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLERİN KAYNAKLANMASINDA OSTENİTLİ PASLANMAZ SARF MALZEMELERİNİN AVANTAJLARI VE KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ.

İyi kaynaklama özellikleri
Çok çeşitli seçenekler ve temin edebilirlik
Yüksek alış bedeli
Kaynağın gerilim düzeyi düşüktür
Çok tok ve sünek kaynak sarf malzemesi
Ostenitik mikroyapı, soğuk çatlağına yatkınlığa yol açmadan hidrojeni çözer
Genellikle çalışma sıcaklığını artırmaya gerek kalmaz
Kaynaklama gerilimlerine dayanır

TABLO 7a. RAEX 400/450/500. SEVIYE ALTI OSTENİTİK SARF MALZEMELERİ, ÖRNEKLER. EN SINIFLANDIRMASI.

Tam veya yaklaşık olarak karşılık gelen markalar (Esab). Saf kaynak metalinin dayanım sınıfı maks. 500 MPa civarında. Standarttaki "X" harfi, bir veya birkaç özellik işaretini ifade ediyor olabilir.

MIG dolu tel kaynağı	MAG özlü tel kaynağı: Metal özlü tel	MAG özlü tel kaynağı: Rutil özlü tel	Tozaltı ark kaynağı Tel + toz	Manuel metal ark kaynağı
EN 12072: G 18 8 Mn	EN 12073: T 18 8 Mn X	EN 12073: T 18 8 Mn X EN 14700: T Fe 10	EN 12072: S 18 8 Mn	EN 1600: E 18 8 MnX
OK Autrod 16.95 (G 18 8 Mn)	OK Tubrod 15.34 (T 18 8 Mn M M 2)	OK Tubrodur 14.71 (T Fe 10)	OK Autrod 16.97 (S18 8 Mn) + OK Flux 10.93	OK 67.45 (E 18 8 Mn B 4 2)

TABLO 7b. RAEX 400/450/500. SEVIYE ALTI OSTENİTİK SARF MALZEMELERİ, ÖRNEKLER. AWS SINIFLANDIRMASI.

Tam veya yaklaşık olarak karşılık gelen markalar (Esab). Saf kaynak metalinin dayanım sınıfı maks. 500 MPa civarında. Standarttaki "X" harfi, bir veya birkaç özellik işaretini ifade ediyor olabilir.

MIG dolu tel kaynağı	MAG özlü telle kaynak, Metal özlü tel	MAG özlü telle kaynak, Rutil özlü tel	Tozaltı ark kaynağı Tel + toz	Manuel metal ark kaynağı
AWS 5.9 ER307	AWS 5.9 EC307	AWS 5.22 EC307T-x	AWS 5.9 ER307	AWS 5.4 E307-X
OK Autrod 16.95 (ER307)	OK Tubrod 15.34	OK Tubrodur 14.71	OK Autrod 16.97+ OK Flux 10.93	OK 67.45

5 SOĞUK ÇATLAMANIN ÖNLENMESİ

Soğuk çatlamayı önlemek için, kaynaklı bağlantının içine nüfuz eden hidrojen düzeyini düşük tutmak kritik önem taşır. Kritik hidrojen içerik düzeyinin altında kalabilmek için, düşük hidrojen içerikli kaynak sarf malzemeleri ve yöntemleri kullanmak şarttır. Ek olarak Raex'in kaynak talimatlarına uyulmalıdır. Uygun bir soğuma hızına ulaşabilmek için doğru bir çalışma sıcaklığının ve ısı girdisinin kullanılması, kaynakta kilit önem taşır. Çok pasolu kaynakta, pasolar arasında yeterince yüksek bir sıcaklık kullanılmalıdır. Çelik sertliği ve plaka kalınlığı artınca, soğuk çatlağı önleme ihtiyacı özellikle önem kazanır. Soğuk depolanmış olan bir plaka, kaynaktan veya diğer bir plaka işleminden önce en az oda sıcaklığına (+20°C) gelecek şekilde iyice ısınmalıdır.

5.1 KAYNAKLI BİR BAĞLANTIDA MİKROYAPI SERTLEŞMESİNİN KONTROLÜ

Martensitli bir mikroyapı, aşınmaya karşı iyi bir dayanım anlamına gelir. Eğer bağlantı kaynaktan sonra çok hızlı soğursa, kaynak metalde ve/veya kaynağın ısıdan etkilenen bölgesindeki martensit zararlı bir şekilde sertleşebilir ve sünekliliği azalabilir. Soğuk çatlamasını önlemek için, mikroyapının sertleşmesi doğru kaynak parametreleriyle kısıtlanmalıdır. Çeliğin ve kaynak sarf malzemelerinin sertleşebilirliği, karbon eşdeğerlerinden anlaşılır.

5.2 HİDROJEN İÇERİĞİNİN KONTROL EDİLMESİ

Soğuk çatlamasının önlenmesi için, sarf malzemesinin ve ısıdan etkilenen bölgenin içindeki hidrojen düzeyinin düşük tutulması şarttır. Maksimum 5 ml/100 g hidrojen içeriğine ulaşabilmek için, düşük hidrojenli bir kaynak yöntemi ve düşük hidrojenli sarf malzemelerinin kullanılması önerilir. Doğru sarf malzemeleriyle düşük bir hidrojen düzeyine ulaşmak mümkündür; örn. dolu tel ve özlü tel ile gaz korumalı ark kaynağı (MAG), bazık örtülü çubuklar ile manuel metal ark kaynağı ve tozaltı ark kaynağı. Sarf malzemesinin seçilmesi, kullanılması ve depolanmasında üreticinin talimatlarına uyulması şarttır.

Hidrojenin kaynaklı bağlantının içine girişi, kanal yüzeyindeki nemlilikle ve ayrıca kir ve gres ya da boya gibi kirleticilerle daha da artar. Soğuk çatlamasını en aza indirmek için, kanalın üst kısmı gerek kaynaktan önce gerekse kaynak sırasında tümüyle kuru ve metalik açıdan temiz tutulmalıdır.

5.3 KAYNAKLI BİR BAĞLANTIDA KALINTI GERİLİMİNİN GİDERİLMESİ

Soğuk çatlaması, kalıntı geriliminin giderilmesiyle etkili bir şekilde önlenir. Raex çeliklerin kaynaklı bağlantılarındaki kalıntı gerilimleri gidermenin en kolay yolu, seviye altı ferritik veya ostenitik sarf malzemeleri kullanmaktır. Gerilim bazı kaynak teknikleriyle de giderilebilir. Özellikle ince plakalar kaynaklanırken, kaynağın boyutu optimize edilmeli ve gereksiz büyüklükteki kaynaklardan kaçınılmalıdır. Kaynağın tüm aşamalarında, yapının farklı kısımlarındaki sıcaklıklar eşit tutulmalıdır. Gerekirse kaynaklanacak olan yapı, kaynak ve punta kaynak sırasında desteklenmeli veya sabitlenmelidir.

5.4 KAYNAKLAMA İÇİN PRATİK İPUÇLARI

Kalıntı gerilimini giderme ve kaynaklanan yapının dayanımını iyileştirme yolları Tablo 8'de sunulmaktadır.

5.5 DOĞRU ÇALIŞMA SICAKLIĞINDA KAYNAKLAMA

Uygun yükseklikteki bir çalışma sıcaklığı ve yeterli ısı girdisi, kaynaklı bir bağlantının soğumasını doğru hıza yavaşlatır. Bu önlemler sayesinde soğuk çatlağı oluşmayacaktır.

Doğru çalışma sıcaklığı aşağıdaki faktörlere göre belirlenir:

- Çelik sınıfı ve karbon eş değeri.
- Birleşik plaka kalınlığı.
- Isı girdisi.
- Kaynak sarf malzemesinin hidrojen içeriği.
- Kaynak sarf malzemelerinin karbon eş değeri.
- Kaynak sarf malzemelerinin dayanım düzeyi.
- Kaynak sarf malzemesinin türü (ferritik/ostenitik).

Çalışma sıcaklığını yükseltme ihtiyacı; karbon eşdeğeri, sertlik ve plaka kalınlığıyla birlikte artar. Raex çeliklerde her plaka kalınlığı için tipik karbon eş değerleri ilgili veri sayfalarında verilmiştir. Ayrıntılı bir kaynak planının hazırlanmasında kullanabileceğiniz plakaya özgü karbon eşdeğerleri malzeme sertifikalarında belirtilmiştir.

Raex 400, Raex 450 ve Raex 500 için önerilen çalışma sıcaklıkları Şekil 7'de gösterilmiştir. Öneriler EN 1011-2 standardına dayanmaktadır. Çalışma sıcaklıkları, hidrojen içeriği 5 ml/100 g veya altında olan seviye altı ferritik sarf malzemeleri için geçerlidir.

Çalışma sıcaklığı genellikle ön ısıtma ile artırılır. Çok pasolu kaynakta, bir önceki pasonun bağlantıya getirmiş olduğu enerji, bir sonraki paso kaynağından önce doğru çalışma sıcaklığının idame ettirilebilmesi için yeterli olabilir ve bu sayede kaynak sırasında harici ısıtma gerekemeyebilir. Çok pasolu kaynakta, çalışma sıcaklığı önerileri pasolar arası geçiş için minimum sıcaklık olarak uygulanır. Pasolar arası geçiş sıcaklığı, önerilen çalışma sıcaklığından düşük veya +220°C'den yüksek olamaz. Kaynak yönteminin yol açtığı hidrojen içeriği ne kadar az olursa, çalışma sıcaklığını yükseltme ihtiyacı da o kadar azalır. Eğer HD>5 ml/100g sarf malzemesi kullanılması gerekiyorsa, çalışma sıcaklığı tablodaki değerlerin üzerine çıkarılmalıdır. Isı girişi arttıkça, çalışma sıcaklığını yükseltme ihtiyacı azalır. Çalışma sıcaklığının yükseltilmesi özellikle punta

kaynağı ve tamir kaynağında önem taşır, çünkü küçük ve lokal bir kaynak hızla soğuyup sertleşebilir. Kaynak pasosunu bir yapının köşelerinden başlatmaktan veya bitirmekten kaçının. Sertleştirilmiş çeliğin kaynaklanmasında yaşanan tecrübeler, ön ısıtmanın açıkça faydalı olduğunu kanıtlamaktadır. Talimatlara göre ön ısıtma gerekemeyen plaka kalınlıkları da dahil olmak üzere, +100°C'nin altındaki sıcaklıklara orta dereceli bir ön ısıtma bile kaynaklanabilirliği olumlu etkiler. İri boyutlu ve karmaşık yapıların kaynaklanmasında ve bilhassa zor koşullarda, tablo değerlerinden yüksek ama +220°C'den düşük bir çalışma sıcaklığı kullanılmalıdır. Bundan daha yüksek çalışma sıcaklıkları veya pasolar arası geçiş sıcaklıkları kullanılmamalıdır, aksi takdirde kaynak sertliği azalacaktır.

TABLO 8. KALINTI GERİLİMİNİ GİDERMENİN PRATİK YOLLARI.

Kalıntı gerilimini daha planlama aşamasında giderin.
Yapının çeşitli kısımlarında rijitlik farkını en aza indirin.
Kaynak boyutunu optimize edin.
Çarpılmaları öngörün ve kontrol altına alın.
İri yapıları kaynaklarken öngerme yöntemini uygulayın.
Kaynaklanacak yapılarda küçük boşluklar tutun.
Kalın plakaları kaynaklarken iki taraflı tam nüfuz kanallarından iyice faydalanın.
Kaynaklanmış bir çelik yapının kenarlarını ve köşelerini ince taşıyın.
Yorulma açısından kritik bir yapının kaynaklamasını, kaynaklar ile ana metal arasındaki bağlantıları ince taşıyarak bitirin.

ŞEKİL 7. KAYNAK İÇİN ÖNERİLEN ÖN ISITMA SICKLIĞI (°C).

Çelik sınıfı	Plaka kalınlığı, mm							
	10	20	30	40	50	60	70	80
Raex 400	+20	+75	+100	+125	+150	+175		
Raex 450	+20	+75	+100	+125	+150	+175		+200
Raex 500	+20	+100	+125	+150	+175		+200	

6 KAYNAKLI BAĞLANTILARDA EN UYGUN ÖZELLİK KOMBINASYONUNA ULAŞMA

Aşınmaya dayanıklı çeliklerin kaynaklı bağlantılarında beklenen özellikler dayanım, sertlik ve aşınma direncidir. Kullanım şekline ve koşullarına bağlı olarak, diğer gereklilikler darbe dayanımını ve duruma özgü özellikleri içerir. Sertliğe rağmen, başka bir genel sayısal gereklilik yoktur. Kaynak alanında optimum özellikler, doğru kaynak parametreleriyle ve önerilen çalışma sıcaklığıyla sağlanır.

6.1 ÖNERİLEN KAYNAKLAMA PARAMETRELERİ

Önerilen kaynaklama parametreleri $t_{8/5}$ değışıkeniyle belirlenmiştir. Kaynaklı bir bağlantıda optimum özelliklere ulaşabilmek için, seçilen ısı girdisinin $t_{8/5} = 10-20$ saniyelik bir soğuma süresine karşılık gelmesi gerekir. Kaynaklama işinde, pratikte 10 saniyelik bir soğuma süresi minimum ısı girdisi değerine, 20 saniyelik bir ısınma süresi ise maksimum ısı girdisi değerine karşılık gelir. Çok küçük bir $t_{8/5}$ (hızlı soğuma), HAZ sertleşmesini ve soğuk çatlağı yatkınlığını artırır. Çok büyük bir $t_{8/5}$ (yavaş soğuma), bağlantının sertliği, dayanımı ve darbe tokluğunu azaltır.

Şekil 8 a ile f'de, RAEX çelikler için önerilen minimum ve maksimum ısı girdisi değerleri gösterilmektedir. Isı girdisi sınırları belirlenirken Şekil 7'deki çalışma sıcaklıkları dikkate alınmıştır. Şekil 8'deki minimum ısı girdisi değerleri, çalışma sıcaklığının artırılması yoluyla azaltılabilir. Bu örn. punta kaynağında ve kök pasoları ya da arka kaynaklarda gerekli olabilir.

6.2 KAYNAKLI BAĞLANTILARDA YUMUŞAK BÖLGE

Aşınmaya dayanıklı çeliklerin yüksek dayanımı ve sertliği, alıştırma ve sertleştirme ile elde edilir. Ergitme kaynağında, bağlantının sıcaklığı +1500°C ve üzerine ulaşır. Bunun sonucunda, aşınmaya dayanıklı çelikler kaynaklanırken bağlantıda yumuşak bölgeler oluşur. HAZ'da her zaman yumuşama vardır. Ayrıca, kaynak metali genellikle sert baz metalden daha yumuşak kalır. Raex çeliklerde kaynaklı bağlantıların tipik bir sertlik profili Şekil 9'da gösterilmiştir.

Sertlik profili ile ilgili yorumlar:

- Raex çeliklerin kaynaklı bağlantılarında HAZ sertliği, tipik olarak baz metalden daha düşüktür.
- Termal kesimli Raex çeliklerde, kesme kenarından baz metale doğru olan sertlik profili HAZ'ın sertlik profilini izler. Bu kuralın iki istisnası vardır: kesme kenarının maksimum sertliğinin biraz daha yüksek olduğu, ve kesilen plakanın yumuşak bölgesinin kaynaklı bir bağlantıdan daha dar olduğu durumlar.
- Sıradan S355 çeliklerde HAZ sertliği tipik olarak baz metalin sertliğinden yüksektir; aynı durum termal kesilmiş kenarlar için de geçerlidir.

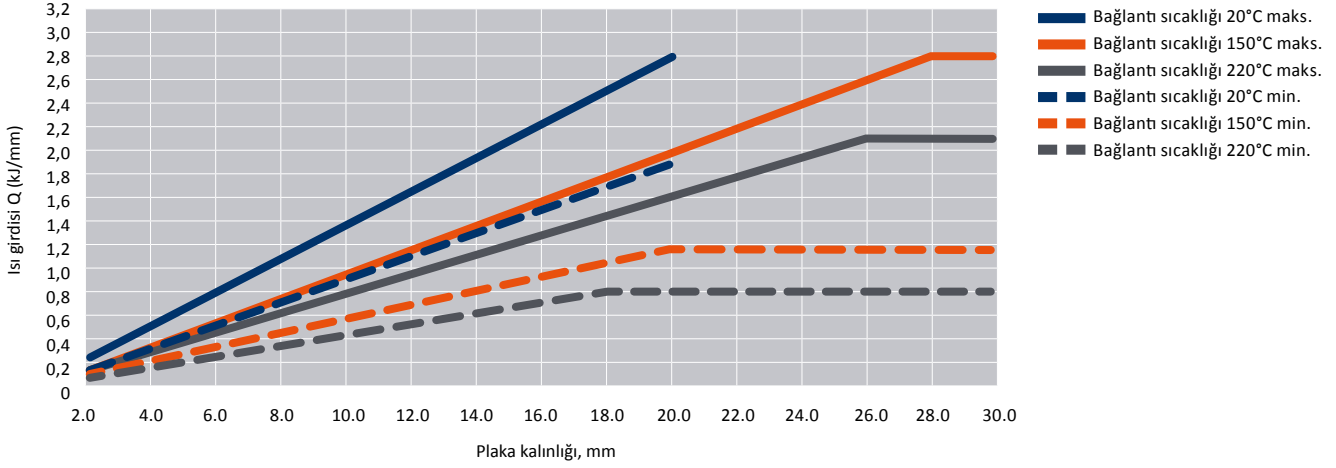
Raex çeliklerde kaynaklı bağlantıların sertlik profili:

- Kaynak metalinin sertliği, ısı girdisine ve kaynak sarf malzemesinin alıştırma işlemine bağlıdır.
- HAZ'da, ergime çizgisinin yakınındaki sertlik düzeyi baz metalinkine eşittir.
- Isı girdisi artırıldığında ve dolayısıyla soğuma süresi ($t_{8/5}$) uzadığında, HAZ'ın yumuşaması belirginleşir.

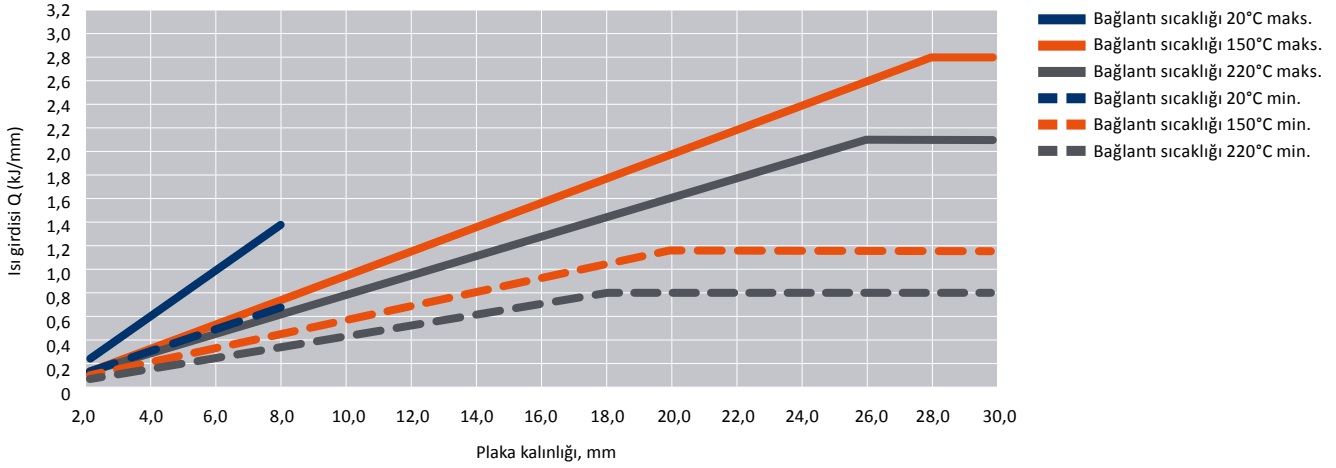
Kaynaklamanın yol açacağı yumuşama eğilimi, özellikle daha sert çelik sınıflarında ve küçük kalınlıklarda hesaba katılmalıdır. Yumuşamayı önlemek için, ince plakalar +20°C oda sıcaklığında kaynaklanmalıdır ve ön ısıtmaya izin verilmez. Yumuşama, ısı girdisinin sınırlanmasıyla ve maksimum çalışma sıcaklığı/pasolar arası geçiş sıcaklığına uyulmasıyla önlenir.

Aşınmaya dayanıklı çelik uygulamalarında, yumuşak bir bölge genellikle ekipmanın veya yapının kullanım ömrünü kısaltmaz. Ancak yapısal dayanım gerektiren uygulamalarda, yumuşak bölgenin tasarım sırasında hesaba katılması gerekir. Bu gibi yapılarda kaynaklı bağlantılar en gergin konumlara yerleştirilmelidir.

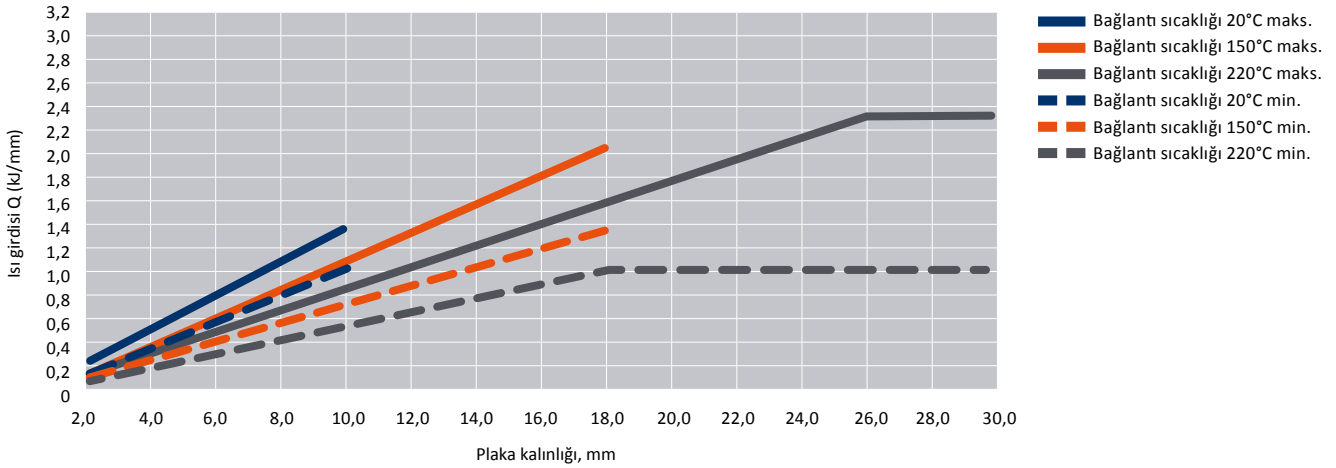
ŞEKİL 8a. RAEX 400 İÇİN MAKSİMUM VE MINİMUM ISI GİRDİSİ (ALIN KAYNAĞI).



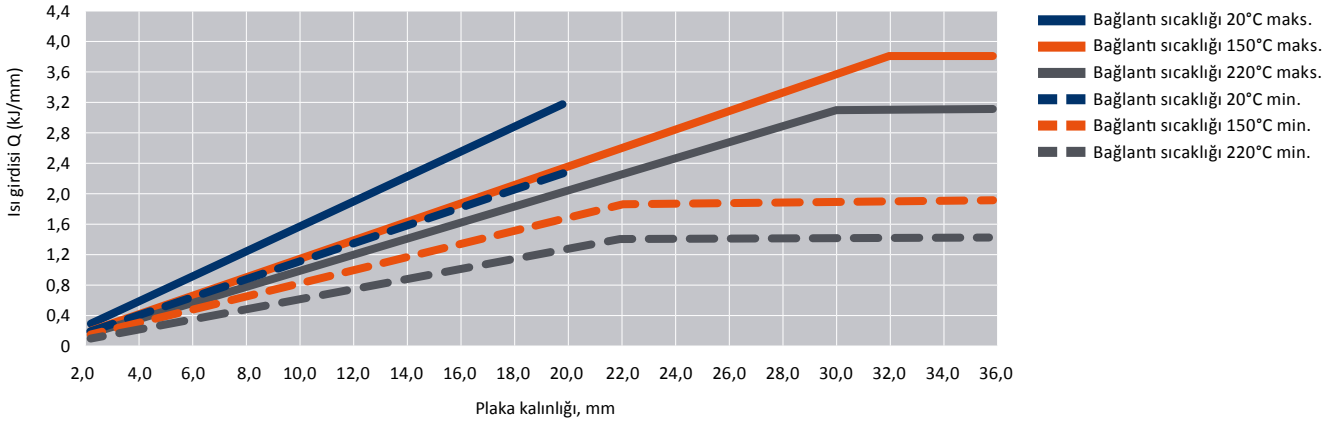
ŞEKİL 8b. RAEX 450 İÇİN MAKSİMUM VE MINİMUM ISI GİRDİSİ (ALIN KAYNAĞI).



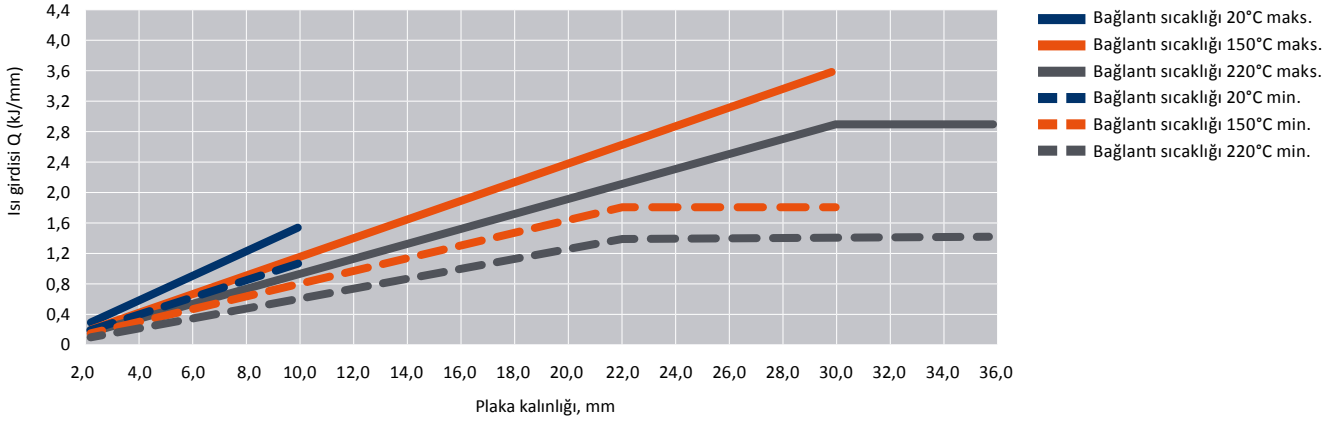
ŞEKİL 8c. RAEX 500 İÇİN MAKSİMUM VE MINİMUM ISI GİRDİSİ (ALIN KAYNAĞI).



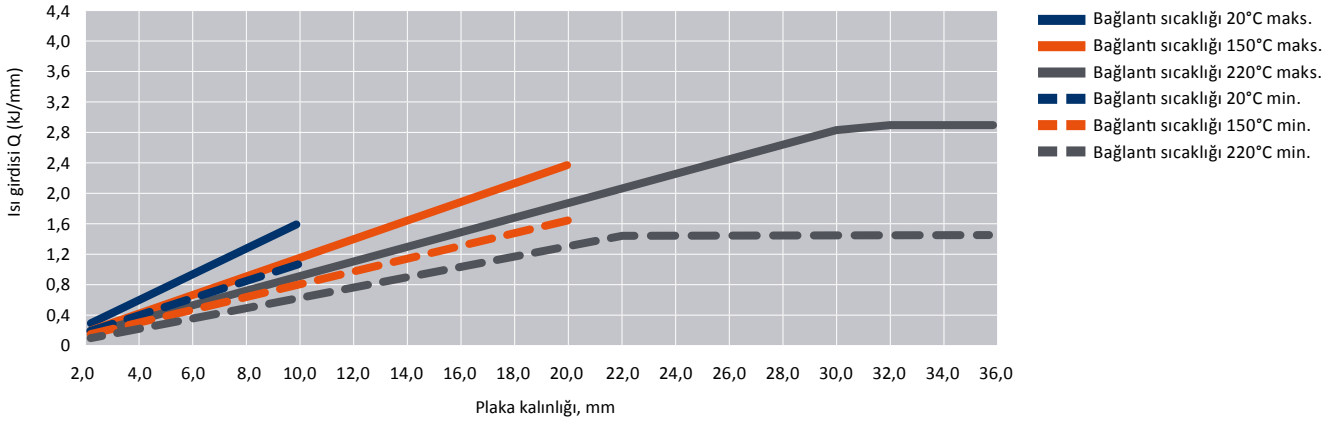
ŞEKİL 8d. RAEX 400 İÇİN MAKSİMUM VE MINİMUM ISI GIRDISI (DOLGU KAYNAĞI).



ŞEKİL 8e. RAEX 450 İÇİN MAKSİMUM VE MINİMUM ISI GIRDISI (DOLGU KAYNAĞI).

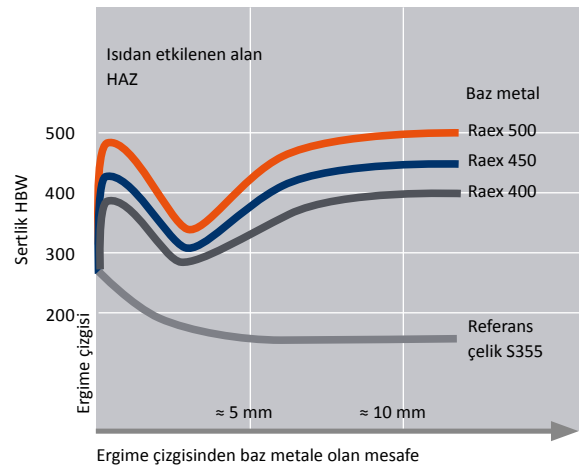


ŞEKİL 8f. RAEX 500 İÇİN MAKSİMUM VE MINİMUM ISI GIRDISI (DOLGU KAYNAĞI).



ŞEKİL 9. ÖNERİLEN

T_{8/5} SOĞUTMA SÜRELERİ UYGULANDIĞINDA, KAYNAKLI BİR BAĞLANTIDAKİ HAZ'IN TİPİK SERTLİK PROFİLİ.



$$Q = \frac{k \times 60 \times U \times I}{1000 \times v}$$

Q = Isı girdisi (kJ/mm)
 k = Termal verimlilik
 k = MAG, FCAW ve MMA için 0,8
 k = SAW için 1,0
 U = Gerilim (V), I = Akım (A)
 v = Kaynak hızı (mm/dak)

Karşılık gelen standart bir S355 yapı çeliğinin sertlik profiliyle karşılaştırma.

Bu broşürün içeriği genel önerilerde bulunma amacını taşır. SSAB AB bunların her duruma uyacağına dair bir sorumluluk kabul etmez. Bu nedenle, her durum için mevcut koşullarda yapılması gereken uyarılardan kullanıcı sorumludur.

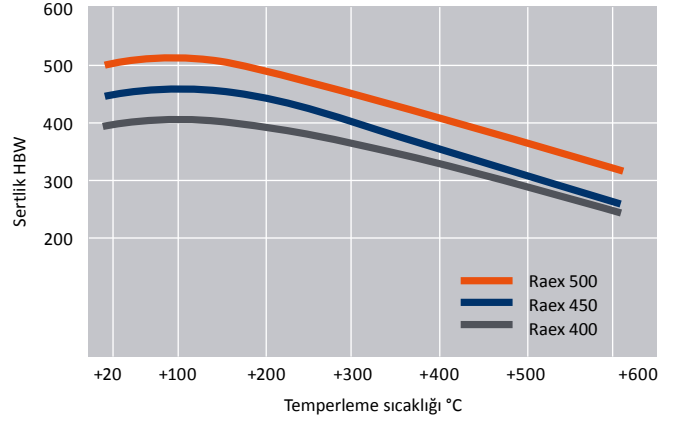
7 ISIL İŞLEM

Aşınmaya dayanıklı çelikler, ısıtılardan geçmesi gerekecek şekilde tasarlanmamıştır. Yüksek sıcaklıklarda ısıtıl işlem uygulanması bunların sertlik, dayanım ve aşınma direnci özelliklerini azaltır. Çeşitli sıcaklıklarda temperlendikten sonra Raex çeliklerin sertliğinde oluşan değişimler Şekil 10'da gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, sertleştirme işlemiyle oluşturulan sertliğin bir kısmı temperleme sırasında kaybolur.

Yaklaşık +250°C'yi aşan bir sıcaklıkta ısıtıl işlem yapılması sertliği azaltacaktır. Bu nedenle Raex çeliklerde, sertlikleri azalmadan gerilim giderme mümkün değildir. Dolayısıyla kaynak sonrası ısıtıl işlem (PWHT) önerilmez.

Bazı uygulamalarda, kaynak veya diğer atölye işlemlerinden sonra, sertleştirilmiş çelik kasıtlı olarak temperlenir veya gerilimi giderilir. Böyle bir durumda, bu tür bir ısıtıl işlemin yol açacağı mekanik özellikler kabul edilir. Sertleştirilmiş çeliğin tokluğu temperleme yoluyla artırılabilir; bu da kasten ısıtıl işlem yapılmasının ardındaki gerekçe olabilir. Gerilim giderme, atölye fabrikasyonu sırasında bir çelik plakada oluşan gerilimi azaltabilir.

ŞEKİL 10. TEMPERLEME SICAKLIĞININ SERTLİK ÜZERİNDEKİ ETKİSİ.



Sertlik değerleri, yüksek sıcaklıklarda temperlemenin ardından oda sıcaklığında ölçüldü. 2 saatlik bekletme süresiyle, çelikler hava ile oda sıcaklığına soğutuldu.

8 TERMAL KESİMDE ÇELİĞİN DAVRANIŞLARI

Kalın plakalar ve iri cisimler genellikle termal yöntemler kullanılarak kesilir. Termal kesim sırasında, çelik yüzeyi kesme kenarından birkaç milimetre derinliğe kadar lokal bir ısıtma işlemine maruz kalır ve bu da mikroyapıda değişimlere yol açar. Bu değişimler nedeniyle, kesme kenarında hem sert hem yumuşak birer tabaka oluşur.

8.1 TERMAL KESİM PROSEDÜRÜ

Termal kesilen çeliklerin yüzeyinde, kısa süreli olarak neredeyse çeliğin erime noktasına varan bir ısınma oluşur. Kesme işleminden sonra, eğer soğuma hızı kontrol altında değilse, kesik hızla soğur. Termal kesim sırasında çelik yüzey HAZ'a benzer şekilde mikroyapı değişikliklerine uğrar. Kesilen parçanın en dış yüzeyi sertleşir. Sertleşen yüzeyler soğuk çatlamasına yatkındır. Sertleşmiş yüzeyin altında yumuşak bir bölge oluşmuştur; Şekil 11. Yumuşak bölge, tavlama işleminden geçirildi. Her iki bölgenin genişliği, kesme yöntemine ve kesim parametrelerine dayanmaktadır.

8.2 ÇALIŞMA SICAKLIĞININ ARTIRILMASIYLA YÜZEY SERTLİĞİNİN KONTROLÜ

Termal kesimlerde ısıtma işlemi gören yüzeyin sertliği, yüzeyin hasarsız kalmasını sağlayacak bir şekilde kontrol altına alınmalıdır. Yeterince düşük tutulan bir maksimum sertlik, kesilen kenarda çatlakların oluşmasını önler. Sertleşmeyi kontrol etmek için genellikle ön ısıtma kullanılır. Termal kesim için önerilen çalışma sıcaklıkları Şekil 12'de gösterilmiştir.

Ön ısıtmada oda sıcaklığının üzerine çıkışı önlemek için, kesme hızını uygun bir yavaşlığa ayarlayın ve kesme nozulları ve diğer ekipmanları da buna göre seçin. En iyi kesme yöntemini bulmak için Teknik Müşteri Hizmetlerimizle veya kesme ekipmanlarının üreticisiyle iletişime geçmenizi öneririz.

8.3 TERMAL KESİMDE YUMUŞAMANIN ÖNLENMESİ

Büyük çelik profillerin kesim enerjisi serbest bir şekilde çevredeki plakaya aktarılır ve bu da kesim alanının soğumasını hızlandırarak, yumuşak bölgenin genişliğini sınırlandırır. Ancak kalınlığı 30 mm veya daha az olan plakaların alevle kesiminde, kesme çizgileri arasında en az 200 mm mesafe bırakılarak bütün bir plakanın yumuşaması önlenmelidir. Kesme sırası, yumuşama kontrolü için kolaylıkla kullanılabilir.

Profil boyutu ve plaka kalınlığının azaltılması, yumuşamayı artırır. Küçük profillerde, kesme yöntemiyle oluşan termal enerji ve olası ön ısınma, kesilen profilin içinde birikir ve bu da soğuma

sürecini yavaşlatır. Tüm ısıtma kesme yöntemleri arasında en az yumuşamaya yol açanlar, uygun kalınlıklarda plazma kesim ve lazer kesimdir. Lazer veya plazma ile kesilen çeliğin yumuşak bölgesi, alevle kesilen çeliğe göre daha dardır (Şekil 13). Tozaltı plazma kesim ve alevle kesim, kesilen profilin yumuşamasını etkili bir şekilde kontrol eder ve bu nedenle her ebatın profillerin kesilmesi için uygundur. Yumuşamayı kontrol etmek için örn. termal olmayan su jeti kesim veya aşındırıcı su jeti kesim gibi soğuk kesim yöntemlerinin kullanılması önerilir.

8.4 TERMAL KESİM İÇİN PRATİK İPUÇLARI

Eksi derecelerin plaka işleme özellikleri üzerindeki etkisi, atölyede hesaba katılmalıdır. Soğuk bir ortamda depolanmış olan plakalar, alevle kesim ve kaynaklama işlerinden çok önce getirilmelidir. Şekil 13, sıfırın altındaki bir sıcaklıktan içeri getirilen bir çelik plakanın ısınması için gereken zamanı göstermektedir. Ölçümler Şubat ayında Kuzey Finlandiya'da üç farklı kalınlıkta plaka için yapılmıştır.

Şekil 13'teki test -20°C'den +17°C'ye ısınma için aşağıdaki sonuçları verdi:

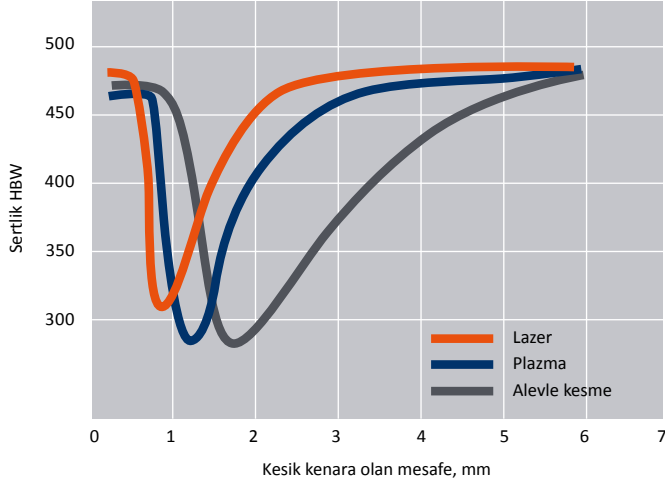
- 12 mm'lik bir plaka için yakl. 8 saat
- 21 mm'lik bir plaka için yakl. 12 saat
- 40 mm'lik bir plaka için yakl. 17 saat.

Plakanın yüzeyi ve merkezi eşit hızla ısınır. Birbirinin üzerine istiflenmiş haldeki büyük ve kalın plakalar daha yavaş ısınacaktır. Temel bir kural olarak, dışarıda sıfırın altı sıcaklıkta depolanmış olan bir soğuk plakanın (eni 2 m, boyu 6 m) oda sıcaklığına ısınması 24 saat kadar sürer.

Pratik ipuçları:

- Kesimden önce, soğuk plakaların tümüyle oda sıcaklığına (+20°C) ısınması beklenmelidir.
- Soğuk deopdan gelen plakaların atölyeye bir gün önceden getirilmesi gerekir.
- Soğuk plakalar, ahşap taşıyıcıların üzerinde depolanmalıdır.
- Soğuk bir 40 mm'lik plakanın (-20°C) oda sıcaklığına (+20°C) ısınması 24 saat civarında sürer.
- Kalın plakalar kesilirken, Şekil 12'ye uygun şekilde yüksek bir çalışma sıcaklığı kullanılmalıdır.
- Termal kesilmiş bir profilden talaş kaldırmak için, sertleşmiş yüzeylerin ve keskin kenarların taşlamayla giderilmesi gerekir.

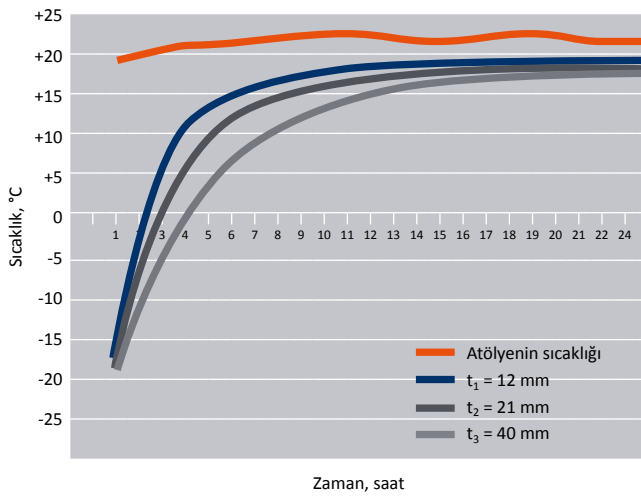
ŞEKİL 11. AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİK PLAKA, 6 mm. TERMAL KESİLMİŞ BİR YÜZEYDE, KESME KENARINDAN BAZ ÇELİĞİNE DOĞRU TİPİK SERTLİK PROFİLİ.



ŞEKİL 12. ALEVLE KESME İÇİN ÖNERİLEN ÇALIŞMA SICAKLIĞI (°C).

Çelik sınıfı	Plaka kalınlığı, mm							
	10	20	30	40	50	60	70	80
Raex 400	+20		+100		+125	+150		
Raex 450	+20		+125		+150			
Raex 500	+20	+125	+150	+175				

ŞEKİL 13. SOĞUK (-20°C) ÇELİK PLAKALARIN, +20°C İLE +22°C ARASI SICAKLIKTAKİ BİR ATÖLYEDE ISINMA SÜRESİ.



Plaka ebatları 12 x 1000 x 2000, 21 x 1000 x 1600 ve 40 x 1000 x 2000 mm.










9 LAZER KESİM ÖZELLİKLERİ

Lazer kesim özellikleri makinenin durumu ve gücünün yanı sıra çelik plakanın kimyasal bileşimine ve yüzey kalitesine bağlıdır. RAEX çeliklerde en iyi kesme kenar kalitesine ulaşabilmek için hadde tufalı lazer kesim önerilir.

Lazer kesim özellikleri, farklı teslimat koşullarında 20 mm'ye kadar olan kalınlıklarda çok iyidir. Hadde tufalı ve çelik püskürtmeli yüzeyler, lazer kesim makinesi tedarikçisinin standart kesim

parametreleri ve hızları kullanılarak fiber ve CO₂ lazerle kesilebilir. Astar kaplamalı kesimlerde hız düşürülmeli veya plaka kesilmeden önce astar kaplaması buharlaştırılmalıdır. Hadde tufalı veya çelik püskürtmeli yüzeylerle aynı kesme kenar kalitesini elde edebilmek için, kesimden önce astar kaplamasının buharlaştırılması önerilir. CO₂ lazerle kesilmiş olan farklı teslimat koşullarındaki farklı kesme kenarı kaliteleri aşağıda gösterilmektedir.

ŞEKİL 14. FARKLI TESLİMAT KOŞULLARINDA KESME KENAR KALİTESİ.

Yüzey koşulu	10 mm	15 mm	20 mm
Hadde Tufalı			
Bilyeli kumlanmış			
Astar Boyalı			

İLETİŞİM