

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkemiz endüstrisinin paslanmaz çeliklere olan gereksinimi teknolojinin gelişmesiyle birlikte her geçen gün artmaktadır. Özellikle petro-kimya, kimya, gıda endüstrisinde kullanılan depolama tankları, basınçlı kaplar, ısı değiştiricileri ve paslanmaz boruların üretiminde çok çeşitli türlerde paslanmaz çelik kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikler son yılların keşfi değildir. Faraday 1822 yılında, demir içine krom katıldığında atmosferik oksidasyona karşı oldukça dayanıklı bir alaşım oluştuğunu göstermiştir. 1838 yılında Mallet kromlu çeliklerin bazı ortamlarda korozyona dayanıklı özellik gösterdiğini keşfetmiştir. 19'uncu asrın sonuna kadar kromlu çelikler yalnızca sıcak sülfürik asit kapları için kullanılmıştır. 1904 yılında Monnartz krom ilave edilmiş çeliklerin oksitleyici ortamlarda pasifleşme özelliğinin daha belirgin hale geldiğini ortaya koymuştur. Bu metallerin korozyon dayanıklılığının metal yüzeyinde oluşan pasif tabakadan ileri geldiğini ispatlamıştır. Fakat pasif filmin oluşması alaşımların her ortamda korozyona karşı dirençli olabilmeleri için yeterli değildir. Paslanmaz çelikleri ortama daha dirençli kılmak için yollarından birisi krom, nikel gibi ana alaşım elementlerinin oranını arttırmak, karbon içeriğini azaltmaktır (Kahraman ve diğ., 2002).

Basit karbonlu çeliklerde karbon yüzdesi arttıkça sertlik ve mukavemet artar. Fakat metalin sünekliği azalır ve gevrekleşir. Sünekliği koruyarak mukavemeti arttırmak için çelik içine alaşım elementleri katılır. Özellikle krom ve nikel katılarak çeliğe paslanmazlık özelliği kazandırılır. Bu şekilde elde edilen çeliklerin türü 2000' e yaklaşmıştır. Çeliğe katılan her elementin metal üzerinde çeşitli etkileri vardır. En çok katılan alaşım elementleri Cr, Ni, Mo, Si, Co, W, V ve N' dur. Bu elementler alaşım içinde ya katı çözelti halinde ya da karbür bileşiği şeklinde bulunurlar.

Paslanmaz çelikleri diğer çeliklerden ayıran en önemli özellik krom içeriklerinin çok yüksek (%12) olmasıdır. Artan krom miktarına bağlı olarak da yüksek sıcaklıklarda oksidasyon dirençleri artmaktadır.

Özellikle metalik kütle malzemelerinde, büyük miktarlarda daha iyi kullanım sağlanmasında, homojenliğin ve dayanımın yükseltilmesi yanında, etkili bir korozyon korunmasının yapılması da önemlidir. Tahminlere göre, dünyadaki çelik üretiminin yaklaşık %8 kadarı korozyonla kaybolmakta, yani saniyede 300 kg çelik paslanmaktadır. Bu kayıplar, kullanımda bulunan çelik miktarının artması sonucunu ve ayrıca aşındırıcı ortamlarla birlikte atmosferin ve suyun kirlenmesine de yol açmaktadır. Korozyona dayanıklı çeliklerin geliştirilmesi ve ayrıca yüksek polimer ya da diğer korozyon kayıplarını azaltıcı maddelerin

kaplanmasıyla, korozyon kayıplarının azaltılmasında, özellikle daha ucuz kütle malzemelerinin kullanılabilmesinde önemli bir adım sağlanmaktadır.

Çeşitli yöntemler kullanılarak elde edilen iş parçalarının işlenebilirliği de büyük bir önem taşımaktadır. Takım kesici uçları ile çeşitli iş parçaları değişik yöntemlerle işlenmektedir. İş parçası malzemeleri yumuşak, sert, sünek, gevrek, lif-lif veya ufalanabilen cinsten olabilirler. İşlenebilirlikte sürekli kesme, kesici uçta yüksek sıcaklıklar oluşturur. Süreksiz kesmede kesici uçlar büyük kuvvet ve sıcaklık değişiklikleri nedeniyle darbe şeklindeki yüklere karşı çalışırlar. Bu nedenle, iş parçası malzemesinin iç yapısı değiştirilmeden istenilen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için uygun tavlama işlemlerine tabi tutmak gerekir. Bazı hassas talaş kaldırma işlemlerinde aşınmanın meydana gelmemesi ve takımın işlem boyunca sertliğini koruması önemlidir. Çünkü en iyi verim kısa zamanda fazla miktarda talaş kaldırmakla sağlanır. Bu da kesme hızı ve paso derinliğinin artmasıyla mümkündür. Kesici takımın direncinin belirli bir değerde son bulmasından dolayı kesme hızı, bu değer ile sınırlandırılmaktadır. Bu sınırdan sonra aşınma hızlı bir büyüme göstermektedir. Özellikle işleme maliyetini azaltmak, takım ömrünü artırmak ve daha iyi bir yüzey kalitesi elde etme isteği talaş kaldırma alanında daha fazla araştırmaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

Talaşlı imalat, pek çok değişkenden doğrudan veya dolaylı olarak etkilenmektedir. Bu değişkenlerden biri, kesme işlemi esnasında iş parçasına uygulanabilecek ısı işlemlerdir. Isıl işlem işlenebilirliği doğrudan veya dolaylı olarak etkilemekte ve sonuçta iyi bir yüzey kalitesi meydana getirmektedir.

Talaş kaldırma işlemlerinde, iyi ve kaliteli üretim, hassas yüzey kalitesi az güç sarfiyatı ve ekonomikliğin sağlanması sadece uygun takım malzemesinin seçimi ile değil aynı zamanda uygun talaş kaldırma şartlarının da sağlanması ile elde edilmektedir. Buda iş parçası malzemesinin belli başlı işlemlerden geçirilmesini gerektirmektedir.

Paslanmaz çeliklerle ilgili birçok uygulama ve araştırma yapılmıştır. Kahraman ve diğ. (2002), östenitik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çelik levhaları elektrik ark kaynak yöntemi kullanarak birleştirmişler ve bağlantının mekanik ve metalurjik özellikleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda ASP347 östenitik paslanmaz çelik elektrodun kullanıldığı kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu görülmüştür. Çekme deneyi sonucunda kopmanın, ısının tesiri altında kalan bölgeden olmayıp düşük karbonlu çelik malzemeden olduğu ve eğme deneyinde kaynaklı numunelerde herhangi bir çatlak ve yırtılma olmadığı tespit edilmiştir. Tekiner ve diğ. (2004), AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğini

tornalama esnasındaki ses oluşumuna bağlı olarak kesme parametrelerinin araştırılmasını araştırmışlardır. Çalışmalarında en iyi kesme parametrelerini belirlemek için 200 mm boyunda ve 30 mm çapında hazırlanan numuneleri CNC torna tezgahında işlemişler ve karşılaştırmışlardır. Tornalama işleminde üç farklı ilerleme miktarı (0.2, 0.25 ve 0.3 mm/dev) ve (120, 135, 150, 165, 180 m/dk) kesme hızlarını kullanmışlardır. Deneyler sırasında sesleri bir mikrofon yardımıyla bilgisayara kayıt etmişler. İdeal kesme parametreleri ve kesme işlemi sonucunda elde edilen sesler karşılaştırılmak suretiyle en iyi kesme parametrelerini sese bağlı olarak bulmuşlardır. Sonuçta en iyi sonuçların 165 m/dk kesme hızında ve 0.25 mm/dev ilerleme hızında elde edildiği ortaya çıkmıştır. Şeker ve diğ. (2004), AISI 304 paslanmaz çeliğinin işlenmesi esnasında optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında optimum kesme hızını belirlemek için sementit karbür kesici takımı kullanmışlar ve kesme hızının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini araştırmışlardır. Araştırmalarında üç farklı kesme hızı 120, 150 ve 180 m/dk kullanmışlardır. Sonuç olarak 180 m/dk'nın üzerindeki kesme hızlarında takım aşınmasının azaldığını ve yüzey pürüzlülük değerinin de kesme hızının artmasıyla azaldığını bulmuşlardır. O'Sullivan ve Cotterell (2002), SS303 tipi östenitik paslanmaz çeliğin işlenebilirliği üzerine bir araştırma yapmışlar ve işleme esnasında karşılaşılan problemlerin çoğu işleme sertleşmesine bağlanmıştır. SS303 paslanmaz çeliğinin işleme sertliğini bulmak için çevrim içi bir teknik geliştirilmiş ve çevrim içi teknik olarak da AE(Acoustic Emission) kullanılmıştır. Akasawa ve diğ. (2003), östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğine katkı maddelerinin etkilerini deneylerle belirlemişlerdir. Deney numunesi olarak SUS303, SUS303Cu, SUS304 ve SUS316 çelikleri, ilave maddeler olarak da S, Ca, Cu ve Bi kullanılmıştır. Kesme işlemi kuru ve kesme sıvısı kullanılarak K10 karbür takımlarıyla NC torna tezgahında yapılmıştır. Issartel ve diğ. (2003), çalışmalarında 900⁰C ' de AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin oksidasyonuna nitridasyonun etkisi üzerine bir araştırma yapmışlar ve sonucunda görmüşlerdir ki nitridasyon AISI 304 paslanmaz çeliğinin yüksek sıcaklıktaki oksidasyon direncini arttırmaktadır. Bregliozi ve diğ. (2003), AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin sürtünme ve aşınmasına tane boyutunun ve atmosfer neminin etkilerini araştırmışlardır. Hunter ve Ferriy (2002), çalışmalarında AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin katılma esnasındaki faz oluşumunu araştırmışlardır. Reynolds ve diğ. (2003), çalışmalarında 3.2 mm kalınlığındaki alaşımlı 304L paslanmaz çelik plakalarının sürtünme stir kaynağı sonucunda oluşan yapısını, özelliklerini ve gerilme artışı üzerine bir araştırma yapmışlardır. Wasnik ve diğ. (2003), çalışmalarında 304L paslanmaz çeliğinin çökelme aşamaları sonucunda oluşan fazlar üzerine bir araştırma yapmışlardır. Samuel ve diğ. (2002), 316 LN tipi östenitik paslanmaz çeliklerin (gerilebilir) işleme sertlemesi davranışına deformasyon (şekil değiştirme) hızının ve sıcaklığının etkisi üzerine bir araştırma yapmışlardır.

Çiftçi (2005), çalışmasında iki farklı kalite östenitik paslanmaz çeliğin (AISI 304 ve AISI 316) işlenmesinde, kesici takım kaplamasının, kesme hızının ve iş parçası malzemesinin, kesme hızı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemek amacıyla soğutma sıvısı kullanmadan işlenebilirlik deneyleri yapmıştır. TiC/TiCN/TiN ve TiC/TiCN/Al₂O₃ katmanlarıyla çok katlı kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanmıştır. Deneylerini dört farklı kesme hızı (120, 150, 180, 210 m/dk), 0,16 mm/dev sabit ilerleme hızı ve 1,6 mm sabit talaş derinliği şartlarında yapmıştır. Deney sonucunda, TiC/TiCN/TiN kaplanmış kesici takımın TiC/TiCN/Al₂O₃ kaplanmış kesici takımdan daha düşük kesme kuvvetlerine sahip olduğunu, kesme hızının kesme kuvvetlerinde önemli derecede bir değişikliğe neden olmadığını ancak kesme hızının yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediğini görmüştür. Kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerinin belirli bir kesme hızı değerine kadar azaldığını ancak bu değerden sonra kesme hızının artışı ile tekrar arttığını görmüştür. Fujita ve diğ. (2003), ferritik paslanmaz çeliklere niyobum katılması sonucu yüksek sıcaklık özelliklerinde ve mikro yapılarındaki değişimler üzerine bir araştırma yapmışlardır. Aksoy ve diğ. (2001), Mo, Ti, V ve Nb gibi güçlü karbür oluşturunca elementlerin ferritik paslanmaz çeliğin adheziv aşınma direncine homojenleştirmenin etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında homojenleştirilmiş ve homojenleştirilmemiş numunelerin aşınma davranışını 40, 60 ve 80 N yükleri altında araştırmışlardır. Homojenleştirme ısıl işlemlerinin ağırlık kaybını azalttığı görülmüş ve numuneler arasında en iyi sonuç Ti ve V içeren numunelerde bulunmuştur. Üstelik karbür oluşturunca elementler dışında mikro yapılarında M₂₃C₆ karbürü bulunduran numuneler 40 N altında iyi aşınma direnci göstermiştir. Toro ve diğ. (2003), yüksek nitrojenli martensitik paslanmaz çeliğin mikro yapısı ve yüzey özellikleri arasındaki ilişki üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında nitrürlenmiş ve temperlenen AISI 410S paslanmaz çeliğini korozyon-erozyon koşulları altında test etmişler ve geleneksel AISI 420 martensitik paslanmaz çeliği ile karşılaştırmışlardır. 200-400 °C temperleme sıcaklıklarında nitridlenmiş çeliğin korozyon-erozyon direnci geleneksel AISI 420 daha üstün olduğu bulunmuş ve 400-600 °C 'de temperlenen numunelerde kübik CrN nitridleri, 200 °C 'de temperlenen numunelerde hexagonal nitridleri bulunmuştur, bu sıcaklıkta çökelen nitridler yüzey özelliklerine önemli bir şekilde etkilemediği ve ayrıca 550 - 600 °C 'de temperlenen numunelerde de Cr₂N nitridleri bulunmuştur. 600 °C 'den sonraki temperleme sıcaklıklarında her iki çelik benzer yüzey özellikleri göstermiştir. Dubey ve diğ. (1998), AISI 403 martensitik paslanmaz çeliğin yüksek sıcaklıklardaki kırılma tokluğu üzerine bir araştırma yapmışlardır. Deneyler sonucunda yüksek sıcaklık üstündeki testlerde, AS, DQT ve NQT malzemelerinin kırılma tokluğunun ve işleme sertleşmesi davranışının ortam sıcaklığından farklı olarak bir değişim olmadığı

görülmüştür. Balan ve diğ. (1998), 16Cr-2Ni martensitik paslanmaz çeliklerinin temperlenmesi esnasındaki östenit çökmesi ve mikro yapıdaki değişimler üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında 1323 K'de, 3,6 ks temperlenen ve 673 K'de su verilen 16Cr 2Ni martensitik paslanmaz çeliğinde iyi bir östenit çökeltisi olduğunu bununda çelikte önemli bir ikincil sertleşmeye sebep olduğunu bulmuşlardır. Garcia de Andres ve diğ. (1998), üç tip ısıtma işlem parametrelerini (ısıtma sıcaklığı, ısıtma hızı ve soğutma hızı) kullanarak 0.045C-13Cr martensitik paslanmaz çeliğindeki $M_{23}C_6$ karbürlerinin kontrolü üzerine bir deneysel araştırma yapmışlar ve çalışmalarında su verme işlemi sonucunda mikro yapıda oluşan karbürlerin miktarının, ısıtma ve soğutma işlemleriyle değiştirilebildiğini ve 20 K/sn'den daha yüksek soğutma hızlarında karbür miktarının azaldığını ıspat etmişlerdir. Paro ve diğ. (2001), çalışmalarında X5 CrMnN 18 18 paslanmaz çeliğinin işlenebilirliği ve takım aşınması üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında, X5 CrMnN 18 18 paslanmaz çeliğini 0,57 N ve 0,91 N'le alaşımlandırmışlar, TiN kaplı sementit kesici takım kullanmışlardır. Deneylerini 40-200 m/dk kesme hızında, 0,15-0,25 mm/dev ilerleme hızı ve 1,6 mm kesme derinliği şartları altında yapmışlar. Sonuçta yüksek nitrojenli çeliğin işlenebilirliği ve kesme kuvvetini azalttığını, takım ömrünün 0,91 N'li deney malzemesinde 30 dk, 0,57 N'li deney malzemesinde 10 dk olduğunu ve 0,57 N'li malzemede kesme hızının artması ile takım ömrünün daha da düştüğünü bulmuşlardır. Cardoso ve diğ. (2003), sıcak işlenebilen AISI 416 martensitik paslanmaz çeliğindeki delta ferritin etkisi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Araştırmaları neticesinde kompositin bileşiminin büyük bir kısmında delta ferrit fazının bulunmasının AISI 416 martensitik paslanmaz çeliğinin sıcak işlenebilirliğini zorlaştırdığını bulmuşlardır. Özek ve Savaş (2004), CNC torna tezgahlarında takım aşınmasına etki eden faktörlerin belirlenmesi üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında deney malzemesi olarak östenitik AISI 304 paslanmaz çelik ve kesici takım olarak da P10 ve P20 takımları kullanmışlardır. Deneysel çalışmalarında işleme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği) takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Araştırmaları sonucunda en iyi yüzey pürüzlülüğünün yüksek kesme hızı, düşük ilerleme ve düşük talaş derinliğinde elde edildiğini bulmuşlardır ve kullandıkları takımlardan P20 kesici takımının P10 kesici takımına göre daha da aşındığını bulmuşlardır. Özek ve Savaş (2004), CNC torna tezgahlarında takım-iş ara yüzeyinde meydana gelen sıcaklığın takım ömrü üzerindeki etkilerini araştırmışlar. Çalışmalarında AISI 304 paslanmaz çelik ve sert metal uçlar (P10 ve P20) kullanmışlardır. Sonuç olarak, kesme hızının artması ile takım-iş ara yüzey sıcaklığının arttığını ve bununda takım ömrünü olumsuz etkilediğini bulmuşlardır.

2. PASLANMAZ ÇELİKLER

2.1. Martensitik paslanmaz çelikler

Martensitik paslanmaz çelikler, östenitik bölgeden su verme ile martensitik yapı oluşturulması için yeterli miktarda karbon (%0.1-%1) ve esas olarak %12-17 Cr içeren alaşımlardır. Bu alaşımlar östenitleme ve su verme işlemiyle martensitik bir yapı geliştirme yeteneğinde oldukları için martensitik olarak adlandırılırlar. Martensitik paslanmaz çelikler genellikle yapı çelikleri olarak kullanıldıklarından bu çeliklerin çok iyi kaynak yapılabilir, şekil değiştirebilir ve darbeye karşı dayanıklı olmaları gerekir. Martensitik paslanmaz çeliklerin korozyon dirençleri ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklere nazaran zayıftır.

%12 Cr' lu çeliklerde maksimum mukavemetin sağlanabilmesi için çeliğin 1050 °C de %100 östenitik bir yapıya sahip olması gerekir. Östenitten martensite dönüşüm için östenitleme işleminin 1050 °C de uygulandığı bu çeliklerde havada soğutma ile %100 martensitik yapı oluşmaktadır. Örneğin %0.1 C' lu ve %12 Cr' lu çeliğin maksimum çekme mukavemeti 1300 MN/m² dir. Mevcut özelliklerin geliştirilmesi için yapının temperlenmesi gerekir. Temperleme direncini(temperleme sürecinde çeliğin mukavemetindeki azalmanın önlenmesi) arttırmak için yeterince alaşımlandırma yapılır. En etkili alaşım elementleri ferrit oluşturu elementler olarak bilinen Mo ve V dur. Ancak bu elementler 1050 °C de delta-ferrit oluşumuna ve buna bağlı olarak da mukavemetin azalmasına neden olurlar. Bu yüzden martensitik paslanmaz çeliğin mikro yapıya etki bakımından dengelenmesi gerekir. Ni, Co, Mn, veya Cu gibi östenit oluşturu elementlerin ilavesiyle böyle bir denge sağlanabilir. Bileşim dengesi sağlanarak temperleme öncesi 1050 °C de tamamen östenitik bir yapı sağlanabilir. Bileşimin mikro yapısal olarak dengesinin sağlanabilmesi için alaşım elementlerinin hangi oranda delta-ferrit oluşturacağını bilmesi gerekir.

En ucuz östenit oluşturu element C 'dur. Ancak yüksek oranlarda C 'un kaynak yapılabilirliği ve darbe mukavemetini düşürmesi ise arzu edilmeyen bir husustur. Darbe özelliklerinde yüksek C miktarına bağlı olarak düşme görülmesi karbürlerin katı eriyik içine alınabilmesi için yüksek östenitleme sıcaklığına çıkılması ve bu sıcaklıkta östenit tanelerinin büyümesine bağlanmaktadır.

Alaşım elementlerinden Ni, C ve N 'den sonra en etkili östenit oluşturu bir elementtir (Erdoğan, 2000).

2.2. Ferritik paslanmaz çelikler

Malzemelerin çok önemli bir grubunu oluşturan ferritik paslanmaz çelikler, alaşım elementi ilavesine bağlı olarak bileşimlerinde farklı oranlarda (%12-30) Cr içerirler. Korozyona karşı dirençleri, şekillendirilebilmeleri ve tokluk özelliklerinin düşük olmasına karşın, östenitik paslanmaz çeliklere kıyasla ucuz olmaları en önemli avantajlarıdır.

Ferritik paslanmaz çelikler %12-30 Cr içeren demir-krom alaşımlarıdır. Ni içeriği ise mevcut değildir. Bu alaşımlar ferritik olarak adlandırılırlar. Çünkü yapıları normal ısıtım şartları altında ferritik olarak kalırlar (HKM α demir tipi). Bu alaşımlar başlıca genel yapım malzemeleri olarak kullanılır.

Bu yapım malzemeleri özel korozyon ve ısıtım direncinin istendiği malzemelerdir. Ferritik paslanmaz çelikler tasarım mühendisliği açısından büyük öneme sahiptir. Çünkü bunlar Ni içeren paslanmaz çelikler gibi aynı korozyon direncini sağlarlar fakat alaşım elementi olarak nikel ihtiyacı olmadığı için maliyetleri çok düşüktür. Buna karşın ferritik paslanmaz çeliklerin sünekliklerinin azlığı, çentik hassaslıkları ve düşük kaynaklanabilirliklerinden dolayı kullanımları östenitik paslanmaz çeliklerden daha sınırlıdır. Standart paslanmaz çeliklerin sünekliklerini aşmak için düşük karbon ve azot içerikli yeni ferritik paslanmaz çelikler geliştirilmiş ve ticari olarak üretilmiştir. Bu alaşımlar iyileştirilmiş korozyon direnci ve kaynaklanabilirliğe sahiptir (Erdoğan, 2000).

2.3. Östenitik paslanmaz çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler %16-25 Cr ve %7-20 Ni içeren üçlü demir krom nikel alaşımlarıdır. Bu alaşımların yapıları bütün işlemlerde östenitik (YMK, γ demir tipi) yapıda kaldığı için östenitik olarak adlandırılırlar. Yaygın olarak kullanılan bazı östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve tipik uygulamaları Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Bu alaşımlar esas olarak yüksek korozyon dirençlerinden ve şekillendirilebilirliklerinden dolayı üstün bir pozisyona sahiptirler. Bu nedenle pek çok mühendislik uygulamaları için çok arzu edilen özelliklere sahiptirler. Östenitik paslanmaz çeliklerden en yaygın olarak kullanılan tipleri Tip 302 ve 304' dür. Bu çelikler hem çevre sıcaklıklarında hem de yüksek sıcaklıklarda uygulama alanları bulur.

Tablo 2.1. Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve uygulamaları (Erdoğan, 2000)

Tip	Cr	Ni	C(mak)	Mn	Mo	Diğerleri++	Tipik Uygulamalar
301	17	7	0.15				Yüksek pekleşme hızı, yüksek dayanım, yüksek sünekliğin gerekli olduğu yerlerde kullanılır. Tren yolu arabaları, treyler gövdeleri, uçak parçaları, sıkma bilezikleri, otomobil tekerlek kapakları, süslemeler.
302	18	9	0.15				Genel amaçlı östenitik paslanmaz çelik, süsleme, yiyecek taşıma ekipmanları uçak kaportaları, antenler, yaylar, pişirme ekipmanları inşaatların dış kısımları, ev aletleri, mücevherler, petrol rafine ekipmanları, isim plakaları.
304	19	9	0.08				Kaynak sırasında karbür çökmesini sınırlamak için tip 302'nin düşük modifikasyonu kimyasal ve yiyecek işleme ekipmanları, mayalama ekipmanları, soğuk kaplar, oluklar, yağmur olukları, sac kaplamalar.
304 L	19	10	0.03				Kaynak sırasında karbür çökmesinin daha çok sınırlanması için tip 304'ün daha fazla düşük karbon modifikasyonu. Kömür silo hatları, sıvı gübreleme ve lapa domates tankları.
309	23	13.5	0.20				Yüksek sıcaklık dayanımı ve oksitlenme direnci, uçak ısıtıcıları, ısıl işlem ekipmanları, tavlama kapakları, fırın parçaları, ısıl işlem tepsileri, fırın kaplamalar, pompa parçaları
310	25	20.5	0.25				Tip 309'da daha yüksek oksitlenme direnci ve yüksek sıcaklık dayanımı, ısı değiştiriciler, fırın parçaları, yanma çemberleri, kaynak dolgu metalleri, gaz türbin bıçakları, yakma makinesi ısı toplayıcıları.
316	12	0.08	2.5				Tip 304'den daha yüksek korozyon direnci, yüksek sürünme dayanımı, kimyasal ve küspe taşıma ekipmanları, fotoğraf ekipmanları, kanyak fiçileri, gübreleme parçaları, ketçap pişirme tencereleri, maya tüpleri.
316 L	12	0.03	2.5				Tip 316'nın daha fazla karbon modifikasyonu taneler arası karbür , çökmesinin önlemek zorunda olduğu kaynaklı yapılar, tip 316 L yoğun kaynak gerektiren yerlerde kullanılır.

321	18	10.5	0.08			Ti 5XC	Çok şiddetli korozyon şartlarına maruz kaynaklı bağlantı ve 800'den 1600 °F'ta hizmet için kararlaştırılmış, uçak egzost manifoldları, kaynatma kazanları, işlem ekipmanları, genişleyen bağlantılar, kabin ısıtıcılar, ateş duvarları, esnek bağlamalar, basınçlı kaplar.
347	18	11	0.08			Nb 10XC	Yüksek sürünme dayanımıyla birlikte tip 321'e benzer, uçak egzost bacaları, kimyasal maddeler için, kaynaklı tanker arabaları, jet motor parçaları
201	17	4.5	0.15				Yüksek pekleşme hızı, tip 301'in düşük karbon eşdeğerliği, çatal kaşık takımları, otomobil tekerlek kapakları, süslemeler
202	18	5	0.15				Tip 302'nin düşük nikel eşdeğerliği genel amaçlı mutfak ekipmanları, başlık, süt taşıma malzemeleri

++ Mn: mak %2, S: mak %0.03, P: mak %0.045, Si: mak %1.

2.3.1. Östenitik paslanmaz çeliklerin mikro yapıları

Östenitik paslanmaz çelikler prensip olarak östenit kararlaştırıcı yüksek nikel içermeleri nedeniyle yüksek sıcaklıklarda tavlandıktan sonra oda sıcaklığında östenitik (YKM) yapılarını korurlar. Bununla birlikte Mn, C, N 'de östenitik yapının korunması ve kararlaştırılması için katkıda bulunur.

%18 Cr' lu çeliklere Ni ilavesi γ halkasını büyük ölçüde genişletir. Ni oranındaki artışın yapı ve mikro yapı üzerinde 2 temel etkisi vardır.

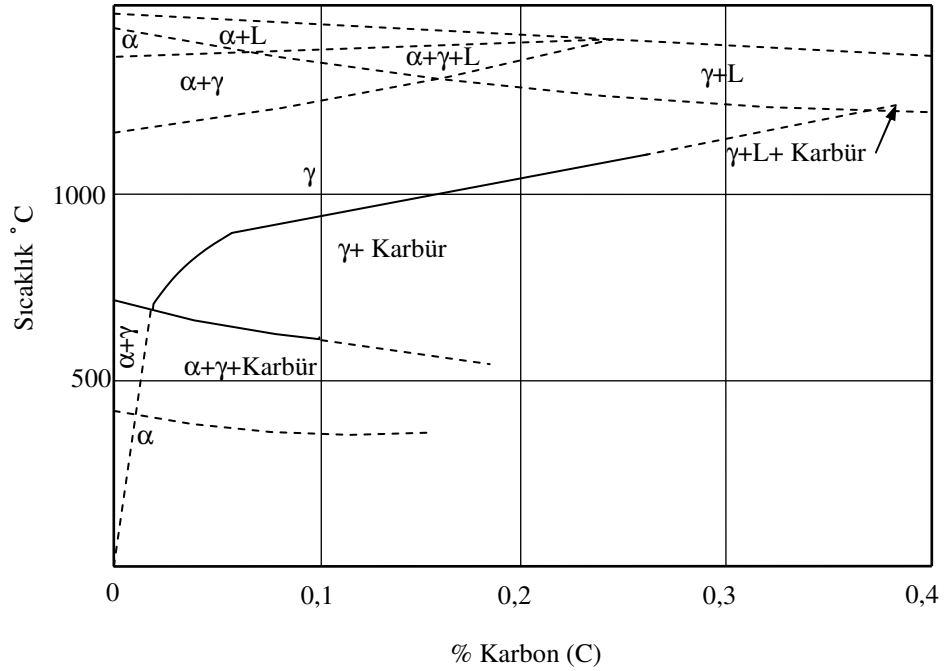
a) Ni ilavesi östenitleme sıcaklığında mevcut östenit miktarını artırır, fakat Ni oranının düşük tutulması halinde mevcut östenit tamamen yada kısmen martensite dönüşebilir.

b) Ms sıcaklığının o denli düşürür ki Ni oranının %8 olması durumunda Ms sıcaklığı oda sıcaklığının hemen altındaki bir değere iner ve bu durumda östenitleme sıcaklığından oda sıcaklığına yapılan soğutma sonucu östenit mikro yapıda dönüşmemiş olarak kalır.

%18 Cr - %8 Ni' li bileşimdeki çeliğin mikro yapısında bir miktar δ -ferrit bulunur. C' un serbest halde olan %18 Cr' lu çelikte 1050 °C deki östenitleme sıcaklığında tamamen östenitik mikro yapı oluşturabilmek için %12 oranında Ni' e gereksinim vardır. Bununla beraber C' un kuvvetli östenit oluşturu element olmasından ötürü %0.1 C içeren %18 Cr - %8 Ni' li çelik 900 °C 'nin tamamen östenitiktir. Bu çeliğin Ms sıcaklığı oda sıcaklığının hemen altında

olup Östenitin martensite kısmen dönüşmesi -78°C ' de soğutma sonucu ve soğuk deformasyon sürecinde gerçekleşir. %0.1 C'lu çeliklerde, tipik östenitleme sıcaklıklarından ($1050-1100^{\circ}\text{C}$) soğutma sonucu Östenitin kararlı olmasının sağlanmasında Cr ile Ni arasındaki etkileşimin çok önemli olduğu anlaşılmaktadır.

En yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelikler etkili miktarda C içerirler. Örneğin; tip 302 alaşımında genellikle yaklaşık %0.1 C ve tip 304 alaşımında ise %0.06 C bulunur. Östenitik paslanmaz çeliklerde karbon eriyebilirliği sıcaklık düştükçe %18 Cr- %8 Ni alaşımlarında olduğu gibi hızlı düştüğü için bu alaşımlar yavaş soğutulursa krom karbürler çökebilir (Şekil 4.1). Örneğin tip 304 alaşımı (%19 Cr - %9 Ni) yaklaşık 1050°C ' den oda sıcaklığına yavaş soğutulursa $850-400^{\circ}\text{C}$ krom karbürler tane sınırında çökelecektir.



Şekil 2.1 Fe-%18 Cr-%8 Ni paslanmaz çeliklerin yapısı üzerine karbonun etkisi (Erdoğan, 2000)

Kritik sıcaklık aralığı 850°C ' den 400°C ' ye yavaş soğutma sırasında yetersiz sayıda krom atomu tane sınırından matristeki taneden tane sınırı bölgesine doğru krom karbür çökmesi ile uzaklaştırılan krom atomlarının yerini alması için difüz eder. Bu nedenle tane sınırlarına yakın bölgeler korozyon direnci için gerekli olan %12' den daha aşağı düşürülmüş krom içeriğine sahiptir ve bu yüzden taneler arası korozyona karşı hassas hale gelir. Bu şartlardaki östenitik paslanmaz çelikler taneler arası korozyona karşı hassas oldukları için, korozyona karşı hassas olarak bilinirler. Bu nedenle östenitik paslanmaz çelikler, krom karbürü katı eriyik içine yerleştirmek için yeterince yüksek ancak tane büyümesini önlemek için de yeterince düşük

sıcaklıkta tavlamlıdırlar. Çoğu paslanmaz çelikler 1050 - 1120 °C aralığında tavlânır. Yüksek sıcaklıkta tavlama dan sonra bu çelikler krom karbürlerin çökmesini önlemek için hızlı soğutulmalıdır.

Yüksek sıcaklıklardan sonra tip 304 gibi paslanmaz çeliklerin her zaman hızlı soğutulmaları mümkün değildir ve korozyon problemlerine neden olabilir. Yavaş soğumanın neden olduğu taneler arası korozyonu önlemek için karbonla birleşen elementlerin katılmasıyla kimyasal kompozisyonda değişmeler sağlanmıştır (Erdoğan, 2000).

Tip 321 alaşımında karbon miktarının 5 katı kadar titanyum alaşımı katılır. Bu alaşım 780 °C ' de yeterli bir süre ısıtılırsa titanyum, titanyum karbür (TiC) oluşturmak üzere karbonla birleşecektir.

18-8 paslanmaz çeliklerini kararlı hale getirmenin bir başka yolu da alaşıma niobyum katmaktır. Niobyum katıldığında krom karbürü tercihen niobyum karbürler (NbC) oluşacaktır. Tip 347 alaşımında niobyum miktarı 18-8 paslanmaz çeliklere katılan karbon miktarının 10 katıdır. Bu alaşımda karbonun niobyumla birleşmesi 870 °C de kararlı hale getirilmelidir.

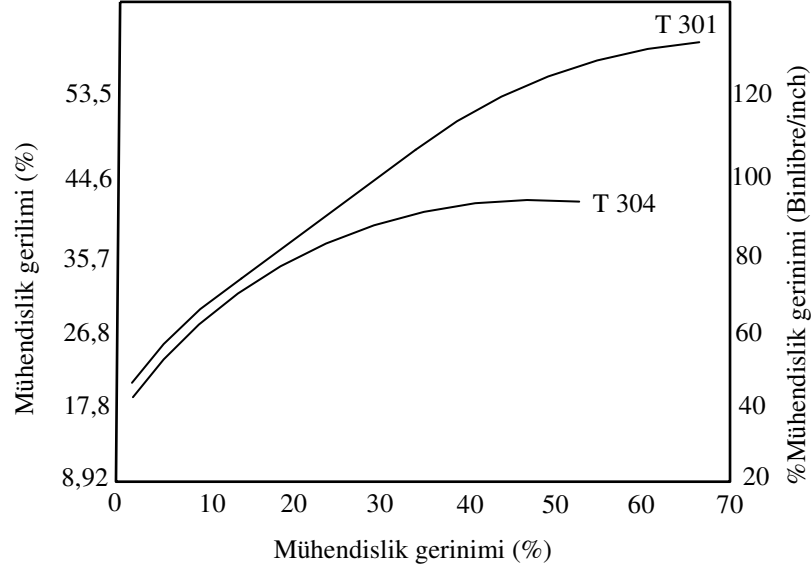
Östenitik paslanmaz çeliklerin tane sınırlarında krom karbürlerin çökmesini önlemenin başka bir metodu da karbon seviyesini yeterli bir metoda düşürmektir. Tip 304L ve 310L de izin verilen karbon miktarı %0.03' tür.

2.3.2. Östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri

Östenitik paslanmaz çelikler oda sıcaklığında östenitik (YKM) bir yapıya sahip oldukları için ısıtılma ile büyük bir ölçüde sertleştirilemezler buna karşın bu alaşımlar soğuk deformasyonla dayanımları oldukça artırılabilir. Örneğin tip 301 alaşımının akma dayanımı soğuk deformasyonla 40' dan 200 ksi' ye çıkartılabilir.

Östenitik paslanmaz çelikler mikro yapıdaki östenitin kararlı hale getirebilirliğine göre kararlı ve yarı kararlı östenitik çelikler olarak iki grupta toplanır. Kararlı östenitik çeliklerin mikroyapıları soğuk deformasyondan sonra östenitik olarak kalır. Yarı kararlı östenitik paslanmaz çelikler soğuk deformasyonla belli bir düzeyde martensite dönüşerek östenit-martensit karışımından oluşan yapıyı ortaya çıkarır.

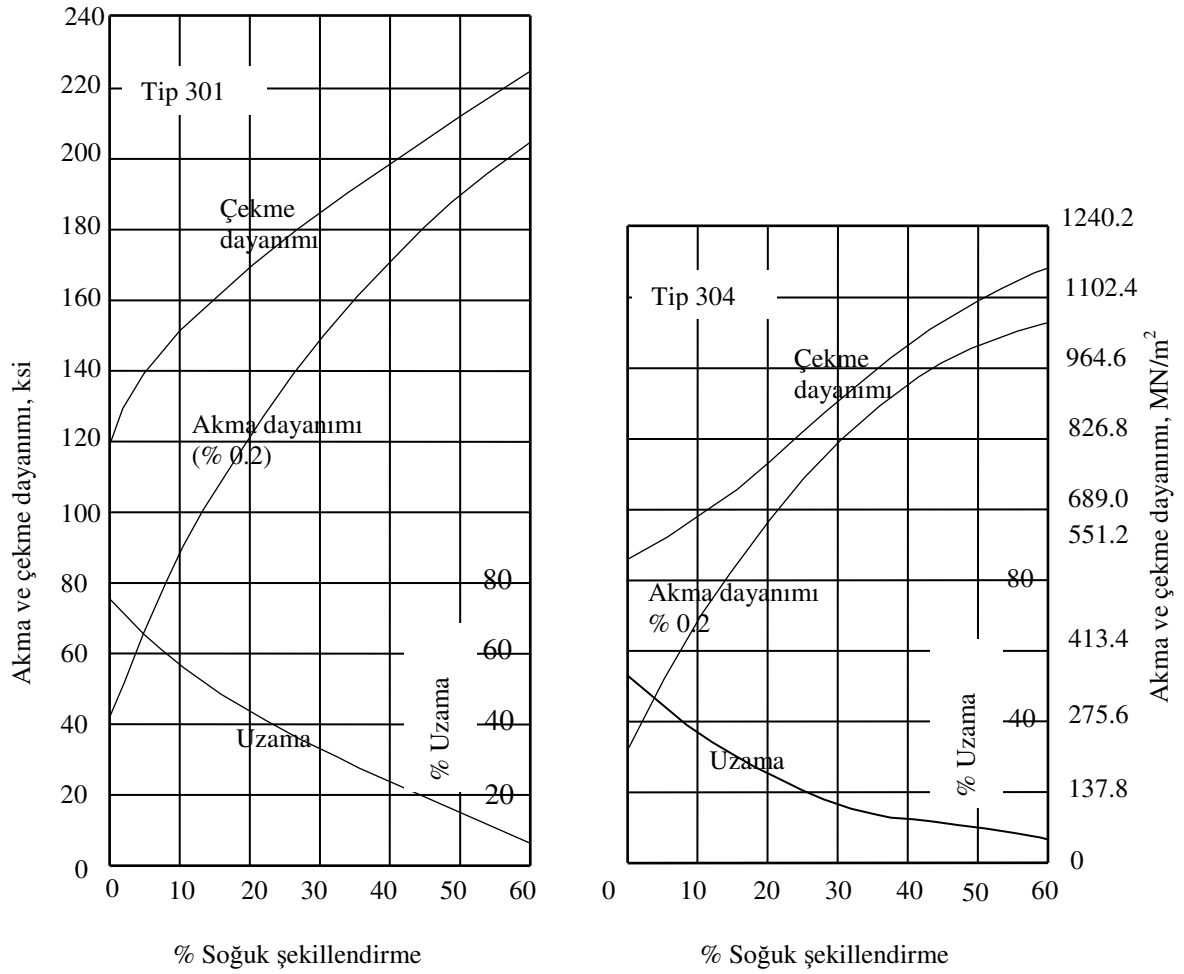
Oda sıcaklığında yarı kararlı (tip 301) ve kararlı (tip 304) östenitik paslanmaz çeliklerin pekleşme davranışları arasındaki fark mühendislik gerilim-gerinim eğrisiyle Şekil 2.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Tip 301 ve 304 paslanmaz çeliklerinin mühendislik gerilim-gerinim eğrileri (Erdoğan, 2000)

Tip 304 normal pekleşme davranışı sergiler ve gerilimin uygulandığı süreçte normal pekleşmeye işaret eden parabolik bir eğri sergiler. Buna karşın tip 301 yaklaşık %10-15 deformasyondan sonra hızlandırılmış bir pekleşme davranışı gösterir. Bu hızlandırılmış pekleşme davranışına kararsız östenitten martensit oluşumu neden olmaktadır.

Tavlanmış şartlardaki bazı östenitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklığındaki çekme özellikleri Tablo 2.2.’ de verilmiştir. Karbon içeriğindeki küçük bir değişikliğin akma dayanımı üzerindeki etkisi 304 ve 304L alaşımlarının akma dayanımları birbirleri ile karşılaştırılarak görülebilir. Yaklaşık %0.08 C içerikli tip 304 42ksi akma dayanımına sahipken daha düşük %0.03 C içerikli 304L alaşımının akma dayanımı 39 ksi’ dir. Kararlı ve yarı kararlı östenitik paslanmaz çelikler arasındaki fark, tavlanmış malzemelerin çekme dayanımlarındaki farklarla belirgin bir şekilde gösterilir. Örneğin yarı kararlı tip 301 çeliği 110 ksi çekme dayanımına sahipken kararlı tip 304 çeliği sadece 84 ksi çekme dayanımına sahiptir. Verilen bir soğuk deformasyon miktarı için yarı kararlı çelikler (örneğin tip 301) Şekil 4.6’ da gösterildiği gibi kararlı çeliklerden (örneğin tip 304) daha yüksek çekme, akma dayanımı ve uzama gösterirler. Yarı kararlı çeliklerin yüksek dayanımı yine bir miktar kararsız östenitin martensite dönüşümüne bağlıdır (Erdoğan, 2000).



Şekil 2.3 Tip 301 (yarı kararlı) ve tip 304 (kararlı) paslanmaz çeliklerinin mekanik özellikleri üzerine soğuk deformasyonun etkisi (Erdoğan, 2000)

2.3.3. Östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon özellikleri

Östenitik paslanmaz çelikler çok geniş bir korozif ortam bölgesinde korozyona karşı dirençlidirler. Özellikle atmosferik korozyona karşı yüksek ancak deniz atmosferinde Cl^- lu ortamlarda ise düşük dirence sahiptirler bileşimlerindeki Ni içeriğinin yükseltilmesiyle H_2SO_4 ve birçok organik asitlere karşı dirençleri artırılabilir. Ni oranındaki artışın HNO_3 gibi oksitleyici ortamlarda pasivasyona neden olması bir dezavantajdır. Mo genel korozyon direncini geliştirmekte faydalı olup H_2SO_4 ' e karşı direnci artırır. Genel olarak krom oranı ne kadar fazla ise genel korozyon direnci o denli iyi olur. Çeliğin yapısında δ -ferritin bulunuşu ise korozyon direncini genel olarak düşürür. Cl^- lu ortamda korozyon direncinin çok düşük olmasına neden Cl^- iyonlarının pasif film tabakasına işlemesi ve böylece oyuklaşma korozyonuna neden olmasıdır. Cl^- lu ortamlarda östenitik paslanmaz çeliklere %2 Mo ilavesi

faydalı etki göstererek çok daha iyi korozyon özellikleri vermektedir.Oyuklaşma korozyonu çok aktif iyonları içiren ortamlardaki bölgeselleşmiş bir korozyon türüdür.

Tablo 2.2. Tavlanmış östenitik paslanmaz çeliklerin tipik oda sıcaklığı özellikleri.

AISI TİP	Akma Dayanımı(% 0.2 deneme)		Çekme Dayanımı		2 inçte uzama
	Ksi	MN/m ²	Ksi	MN/m ²	%
201	55	379.2	115	792.9	55
202	55	379.2	105	724	55
301	40	275.8	110	758.5	60
302	40	275.8	90	620.6	50
302B	40	275.8	95	655	55
303	35	241.3	90	620.6	50
303Se	35	241.3	90	620.6	50
304	42	389.5	84	579.2	55
304L	39	268.9	81	558.5	55
305	38	262	85	586.1	50
308	35	241.3	85	586.1	50
309	45	310.3	90	620.6	45
309S	45	310.3	90	620.6	45
310	45	310.3	95	655	45
310S	45	310.3	95	655	45
314	50	344.8	100	689.5	40
316	42	289.6	84	679.2	50
316L	42	289.6+	81	558.2	50
317	40	275.8	90	620.6	45
321	35	241.3	90	620.6	45
347	40	275.8	95	655	45
348	40	275.8	95	655	45
384	35	241.3	75	527.1	55
385	30	206.9	72	496.4	55

Potansiyostatik polarizasyon dataları oyuklaşma korozyonuna etki eden çeşitli faktörlerin saptanmasını sağlamaktadır. Korozyon oyukları genellikle sülfür ve oksit inklüzyonları gibi tane sınırlarında ve dubleks türü östenitik paslanmaz çeliklerde δ-ferrit içinde gelişme meyli gösterirler. Korozyon oyuklarının şekli kristallografiye bağlı olacağından basit hemi-küresel şekle göre, tatbik edilen polarizasyona bağlı olarak değişir. Oyuklaşma korozyonuyla ilgili çok sayıda teori ortaya atılmıştır. Ancak bu konudaki fikir ayrılıkları tatmin edici bir açıklamanın yapılmasını engellemektedir. Bununla beraber genel olarak katodik koruma kullanılmasıyla,

metal dizaynının doğru olarak yapımı ve seçimiyle önlenabilir. Korozyon direncine östenit tane boyutunun hiç etkisi olmamasına karşın δ -ferritin mevcudiyeti açıkça zararlı olabilmektedir. Kararsız östenitik paslanmaz çeliklerin korozyonuna martensit de zararlı olup, artan martensit miktarıyla aktif koşullarda korozyon hızı artış göstermektedir. Bu etki martensitten ötürü yapıda oluşan şekil değişimi (deformasyon) veya östenit ile martensit arasındaki basit bir galvanik etki şeklindedir. Mikro yapıdaki Nb (CN)' in miktarındaki artışla beraber artık potansiyel akım yoğunluğu artış gösterir. Bu durum ikincil faz partiküllerinin oluşturduğu bir galvanik etki şeklindedir.

Popüler 304 alaşımı gibi bazı östenitik paslanmaz çeliklerin başlıca dezavantajı, bu çeliklerin 400-850 °C' de hassas sıcaklık aralıklarına ısıtıldıklarında taneler arası korozyona karşı hassas olmalarıdır. Taneler arası korozyona karşı hassasiyetlik düzeyi alaşımın kompozisyonuna ve sıcaklık aralığındaki zamana bağlıdır. Laboratuvar deney amaçları için, oldukça oksitleyici asitler gibi şiddetli ortamlar kullanılır. Tip 304 gibi paslanmaz çeliklerde hassaslaşmayı önlemek için 870-600 °C aralığında su vermek önemlidir. Daha önce tartışıldığı gibi karbon içeriğini katı eriyik düzeyinin altına indirmek, östenitik paslanmaz çeliklerde taneler arası korozyonu önler. Örneğin tip 304L alaşımı maksimum %0.03 C içerir. Taneler arası korozyonu önlemenin bir başka yolu tip 321 ve 347 alaşımlarında yapıldığı gibi titanyum ve niobyum karbür oluşturmak üzere karbonun titanyum ve niobyumla bağlanmasıdır.

2.3.4. Östenitik paslanmaz çeliklerin imalatı

Östenitik paslanmaz çelikler çoğunlukla düz hadde mamulü olarak kullanılırlar. Örneğin, plaka, şerit (strip) veya saç plakalar genellikle sıcak haddelenmiş olup muhtemelen 1050 °C' de östenitlemeyle yumuşatılmışlardır. Şerit (strip) ve saç mamullere ise soğuk haddelenme işlemleri uygulanmaktadır. Ticari olarak uygulanan imalat yöntemlerinde çok farklılıklar görülmektedir (Tekin, 1981).

Östenitik paslanmaz çelikler plakalar halindeki imalatında; ingotlar, önce sıcak haddelenir ve sonra plaka haline getirebilmek için genel sıcak haddeleme işlemine tabi tutulur. İngotlara, daha sonra östenitleme işlemi ve oksitlerin yüzeyden temizlenmesi işlemi uygulanır. Alternatif olarak özel özellikleri elde edebilmek için plakalar 900 °C' nin altındaki sıcaklıklarda ve hatta 700 °C kadar düşük sıcaklıklarda da kontrollü olarak haddelenebilirler. Kontrollü haddelenmiş malzemeler yumuşak değildirler. Ancak yeniden kristalleştirme olayını geciktirme veya önlemek için Nb ve Ti elementlerini içermesi durumunda, çeliğe belli bir miktar

gerilim giderme işlemi uygulanabilir (Tekin, 1981).

Şerit ve sac şeklinde imal edilen östenitik paslanmaz çeliklerin imalatında ise önce, şerit ve sac malzemeleri sıcak bobin halinde bandlar haline sokmak için sıcak haddeleme, yüzey taşlama, soğuk haddeleme, tavlama ve yüzey temizleme veya kontrollü atmosferde tavlama uygulanır. Daha sonra şerit veya saçları, istenilen boyuta indirmek için soğuk haddeleme uygulanır. En son teslim şekilleri değişik oranlarda mukavemet değerleri verecek farklı soğuk işlem veya:

a) Şekil verme tatbikatı için parlak tavllanmış halde,

b) Soğuk deformasyona tabi tutulmuş, 1050°C ' de hızlı östenitleme işlemiyle yumuşatılmış ve yüzeyi temizlenmiş halde,

c) Çok az şekillendirme veya dekoratif tıraşlama (trim) tatbikatlarına olan gereksinme için parlatılmış olarak sıralanabilir.

Tamamen östenitik olan yapıların kolayca sıcak işlenebilirliklerinin yanında, yapıda ilave olarak δ -ferritin bulunuşu bu özelliği büyük ölçüde azaltır. δ -ferrit oluşumu katılaşma sürecinde gerçekleşir. Miktarı ise müteakip yeniden ısıtmanın olduğu sıcaklık ve bileşime bağlıdır.

Oda sıcaklığında %5 oranında δ -ferritin özellikle sıcak deforme edilebilirliğe zararlı etkisi vardır. Çok az kalıcı miktarlarda dahi yapıda mevcut olan belli alaşım elementlerinin sıcak işlem sürecinde kendini toplama ve yeniden kristalleşmeye etkilerinin ve haddeleme sıcaklığındaki östenitin mukavemetinin sıcak işlenebilirliğe önemli etkileri vardır.

Ti ve Nb' lu bazı çelikler sıcak işlem sırasında deformasyonla oluşturulan TiC ve NbC karbürlerini içerebilirler. Bu karbürlerin mevcudiyeti sertleşmeye neden olur, fakat sünekliği azaltır ve özellikle presleme veya çukurlaştırma gibi düşük deformasyon hızına sahip çeşitli sıcak deformasyon yöntemlerinin uygulanması sırasında çatlama meydana getirir. Sıcak çatlama ayrıca sıcak işlem sıcaklığının çok yüksek olduğu hallerde Nb' lu çeliklerde mevcut NbC ötekiğinin tekrar sıvı faz haline geçmesiyle de oluşmaktadır. B ve Pb gibi diğer alaşım elementleri de buna benzer özellikler gösterir (Tekin, 1981).

2.3.5. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak yeteneği açısından en önemli nitelikleri aşağıda verilmiştir. Bunlar;

1. Isı iletme katsayıları oda sıcaklığında az alaşımlı ve sade karbonlu çelikleri $1/3$ 'ü kadardır.
2. Isıl genleşme katsayıları sade karbonlu ve az alaşımlı çeliklerden %50 daha fazladır.
3. Alaşımsız karbonlu çelikler düşük bir elektrik iletme direncine sahiptir, bu tür paslanmazlarda ise bu değer 5 ile 7 kat daha büyüktür.

Bu özelliklerden dolayı krom-nikelli çeliklerin kaynağında sade karbonlu çeliklerin kaynağından daha fazla kendini çekme oluşur. Kaynak dikişinin soğuması sırasında büyük çekmelerin oluşumu sonucunda bu bölgede gözlemlenen iç gerilemeler çatlama tehlikesine yol açar. Bu tip paslanmazların çift taraflı iç köşe dikişlerinde sıcak çatlamların oluşma olasılığı çok fazladır. Bu çeliklerde aşırı soğuk şekil değiştirmeleri özellikle dövme sonucunda kısmen martensit bir yapı elde edilir. Özellikle 18/8 tipi östenitik paslanmaz çelikler 450 - 850 °C arasında bir sıcaklığa kadar ısıtılıp o sıcaklıkta tutulduklarında bir karbon çökmesi eğilimi kendini gösterir. Östenitik paslanmaz çeliklerin C içeriği en çok % 0.6, tercihen %0.03 civarında olmalıdır.

Krom – Nikelli paslanmaz çeliklerde gerilim giderme tavlama kaynaktan sonra zaman zaman uygulanır. Tav sıcaklığı 800 - 920 °C arasında seçilir.

Östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetlerini etkileyen fiziksel özelliklerinin yanında bir dizi metalurjik etken de bu çeliklerin kaynağında önemli rol oynar; bunlar delta ferrit fazının oluşumu, taneler arası korozyona hassasiyet, gerilmeli korozyona hassasiyet ve sigma fazının oluşmasıdır.

Östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin üretimlerinde, sıvı halden itibaren katılaşma başlayınca, östenit ve δ -ferrit taneleri oluşmaya başlar. Bu ferrit östenitin dönüşümü sonucunda ortaya çıkan ferritten farklıdır. Katılaşma normal olarak çeliklerin yapısı östenit taneleri arasına serpilmiş δ -ferrit taneciklerinde oluşur. Bu faz, krom ve ferriti dengeleyen elementler yönünden zengin, nikel ve östeniti dengeleyen elementler yönünden fakirdir. Bu fazın oluşumu çelik üreticilerinin istemediği bir durumdur: zira malzemenin sıcak şekillendirilmesini zorlaştırır ve malzemede çatlakların oluşumunu teşvik eder. Bu fazın sürekli olarak tanecik sınırlarında

bulunması korozyon direncini azaltır. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda uzun süre δ -ferrit fazıyla karşı karşıya kalınması sonucunda da, malzemenin mukavemetini ve şekillendirilebilme kabiliyetini azaltıcı yönde etkileyen sert ve gevrek sigma fazının oluşumu gibi sorunlarla karşılaşılır.

Östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan ikincil bir sorun da, özellikle 18/8 çeliği gibi bazı krom-nikelli çeliklerin 450 - 850 °C sıcaklık aralığındaki bir sıcaklıkta uzun süre kalmalarında oluşan krom karbür çökmesi eğilimidir. Bu çelikler üretimleri sırasında krom karbürün östenit içerisinde çözündüğü 1100 °C' den itibaren hızla soğutulurlar. Bu şekilde bu elementlerin çökme tehlikesi ortadan kalkmış olur ve oda sıcaklığında karbonun difüzyon hızı çok düşük olduğundan, kullanım esnasında oluşma olanağı yoktur. Sıcaklığı 450 °C' nin üzerine çıkması ile karbonun difüzyon hızı, karbonu tane sınırlarından dışarıya çıkartacak derecede artar. Tane sınırlarında biriken karbon, kroma karşı olan yüksek ilgisinden (afinitesinden) dolayı bu bölgede krom ile birleşerek krom karbür oluşturur ($\text{Fe, Cr}_{23} \text{C}_6$). Oluşan krom karbürün ağırlık olarak %90'ını krom oluşturduğundan, tane sınırlarında bulunan çok az karbon bile östenit tanelerin çevresindeki krom miktarını aşırı derecede azaltır. Bunun sonucu olarak malzeme krozif bir ortamda bulunduğunda, kromca zayıflamış olan tane sınırlarında korozyon oluşur. Bu şekilde ortaya çıkan taneler arası korozyon tüm malzemeyi çok kısa zamanda kullanılmaz hale getirir. Çeliğin karbon içeriği arttıkça bu olay şiddetlenir.

Östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında eriyen bölge çok kısa bir zamanda katılaşıp hızla soğuduğundan ve elektrot olarak kullanılan alaşımların karbon içeriği de düşük olduğundan kaynak metali, yani kaynak dikişi için karbür çökme tehlikesi yoktur. Bana karşın ısıнын tesiri altında kalan bölge (ITAB), kaynak süresi boyunca, 500 - 900 °C sıcaklık aralığında tavlı olarak kalmakta ve aynı zamanda da burası esas metal olduğundan, karbon içeriğinin yüksek olması halinde östenit tane sınırlarında taneler arası korozyona neden olacak karbür çökmesi olayı ortaya çıkmaktadır. Belli bir karbon içeriği için karbür çökmesi olayının şiddeti, sıcaklık ve zamana bağlıdır. Çökme başlamadan önce sıcaklık ve değişen bir kuluçka periyodu vardır. Sıcaklık ve çeliğin karbon içeriğine göre en kısa sürede çökmenin başladığı bir sıcaklık vardır ki buna kritik sıcaklık adı verilir (Tablo 2.3.).

Tek paso ile yapılan ark kaynağında ITAB, 650 - 750 °C arasındaki sıcaklığa bir dakikadan az bir süre maruz kalır. Buna karşın çok pasolu kaynak halinde, bu süre üç dakikanın üzerine çıkar ve dolayısıyla karbür çökme tehlikesi kendini gösterir. Karbür çökmesinin oluşabilmesi için, çeliğin karbon içeriğinin belirli bir miktarın üzerinde olması gerekir. Tablo

9'da görüldüğü üzere karbon içeriğini azalması, kuluçka periyodunu uzattığından bu tehlike ortadan kalkacaktır. Bu bakımdan, kaynak ile birleştirilmesi gereken östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin, karbon içeriğin en çok %0,06, optimum %0,03 civarında olması gerekmektedir. Bu amaçla, östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin özel olarak üretilen bazı türlerinde (X2CrNi 19 11, X2CrNiMo 17 13 2), karbon miktarı düşürülerek korozyon direncinin artırılması amaçlanmıştır.

Tablo 2.3. Krom karbür çökmesinin karbon içeriği, zaman ve sıcaklığa bağlılığı

Karbon içeriği (%)	Kuluçka periyodu (dk.)	Kritik sıcaklık (°C)
0,03	11	650
0,05	7	650
0,06	2,5	670
0,08	0,3	750

Taneler arası korozyonun oluşturulmasını önlemek amacı ile uygulanan bir başka yöntem de çeliğin stabilizasyonu olarak adlandırılır; bu durumda karbonun kroma karışı olan ilgisinden daha yüksek bir ilgiye sahip bir elementin çeliğin bileşimine katılması ile gerçekleştirilir. Bu şekilde çeliğin bileşimindeki karbon ile bu yeni element karbür oluşturur ve dolayısıyla iç yapının bazı bölgelerinde ortaya çıkan krom azalması olayı oluşmaz. Stabilizasyon için ilave edilen elementler titanyum, niyobyum ve tantalumdur. Bu elementlerin karbürleri, tane sınırları boyunca değil, östenit taneler içerisinde, ince zerrelere halinde dağılmış olduklarından, çeliğin mekanik özelliklerinde de bir değişiklik oluşturmaz. Stabilizasyonun gerçekleşebilesi için ilave edilen titanyum karbonun dört katı, niyobyumun sekiz-on katı, tantalumun on altı katı olması gereklidir. Çeliklerde maliyet açısından titanyum, elektrotlarda titanyumun arktaki fazla kaybindan dolayı niyobyum tercih edilir.

2.4. Çökelti sertleştirilmiş paslanmaz çelikler

Bu tip paslanmaz çeliklerin hem korozyona karşı dayanıklılıkları iyi, hem de mukavemet oranı yüksektir. Bu özellikleri nedeniyle uçak ve uzay endüstrisinde tercih edilirler. Çökelmeyle sertleştirilebilen paslanmaz çelikler, martensitik, yarı östenitik ve östenitik olmak üzere üç tipte üretilmektedir.

2.5. Çift fazlı (dubleks) paslanmaz çelikler

Bu çeliklerin bileşiminde %28 civarında krom ve %6 civarında nikel bulunur ve çift faz içerirler. Fazlardan biri östenit, diğeri de ferrit yapıdadır. Korozyon ve mekanik özellikleri

açısından, faz yapıları gereği ferritik ve östenitik paslanmaz çelikler arasında yer alırlar. Çok iyi korozyon direncinin yanında östenitik çeliklerin süneklik, kolay şekillendirme ve soğuk pekleşme özelliklerine ferritik çeliklerin de yüksek akma sınırı gibi özelliklerine sahiptir.

3. TAKIM AŞINMASI

Talaşlı imalatın temel amacı, üretilecek iş parçasının geometrik ve boyutsal tamlığıyla birlikte yüzey kalitesinin de istenen sınırlar içerisinde ve ekonomik olarak sağlamaktır. Bu şekillendirme esnasında istenmeyen malzemelerin talaş olarak iş parçasından ayrılmasının mümkün olduğu kadar kontrollü gerçekleştirilmesi işlemin temel problemidir. Bunun için de, metallerin talaşa dönüşmeleri esnasındaki davranışları ve bu davranışlarının sebeplerinin iyi anlaşılması-analiz edilmesi gereklidir. Çünkü talaşlı imalat işlemini diğer metal kesme ve işleme yöntemlerinden farklı kılan, kesme olayının kesici takım üzerindeki lokal bir bölgede gerçekleşmesi ve bu esnada ısı, mekanik, kimyasal ve abraziv yük faktörlerine maruz kalmasıdır.

Kesme sırasında, talaşın kesme yüzeyinde sıkışması, şekil değiştirme ve ayırma işi nedeniyle iç sürtünmeler, talaşın takım yüzeyinden akması ile talaşın takım yüzeyine teması sonucu dış sürtünmeler meydana gelir. Tüm bu sürtünmeler, kesici takımın ısınmasına neden olmaktadır. Isı oluşumu daha çok, kesici kenarın yakınındaki lokal alanlarda meydana gelir. Kesme kuvvetlerinin meydana getirdiği sürtünme ile kesici takımda oluşan ısı, takım sertliğini etkiler. Takım sertliğinin azalması kesici takımlarda bazı aşınma mekanizmalarını doğurur. Takım ve iş-parçası arasındaki sürtünmelerin azaltılması, oluşan kesme ısını ve aşınmayı azaltacaktır. Sürtünmelerin azaltılması için, kesici takımın yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi ve adheziv, abraziv, difüzyon, oksidasyon ve yorulma aşınma mekanizmalarına karşı koruyucu sert seramik esaslı elementlerle kaplanması önerilmiştir (Yılmaz ve diğ., 2004).

3.1. Kesici takımlarda aşınma

Bütün kesici takımlar talaş kaldırma esnasında, iş parçası ve talaş ile temas sonucu sınırlı bir çalışma ömrüne sahiptir. Böylece, kesici takımın işlem kalitesini sağlayamayacak hale gelmesine kadar geçen süre “takım ömrü” olarak adlandırılır. Her bir kesici takım için takım ömrü, kesme şartlarına göre farklıdır ve deneysel olarak belirlenir. Takımın maruz kaldığı yüksek sıcaklık ve mekanik gerilmelerden dolayı, kesici takım yavaş yavaş veya ani olarak malzeme kaybına maruz kalır ya da iş göremez hale gelir. Takımın zamanla hasarı “aşınma”, ani hasarı ise “kırılma” olarak tanımlanır. Bu kırılma ve aşınmalar, genellikle kesici takımın kesme kenarının, talaş yüzeyi, serbest yüzeyler ve burun bölgesinde oluşur.

Kesici takımın durumu; ıskarta iş parçası, takım tezgahının hasarı, aşınmış takımın değiştirilmesi için durma zamanı gibi ilave maliyetlere neden olduğundan, tüm talaş kaldırma prosesleri için oldukça önemli bir faktördür. Bu nedenle kesici takımın kesme işlemi boyunca

sürekli denetlenmesi ve değişme zamanının mümkün olduğunca önceden bilinerek programlı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bunun için de kesme işlemi esnasında zamansız takım bozulması ile karşılaşmamak için aşınma kriterleri belirlenmiştir.

Uygulamada standart olarak takım ömrü veya aşınma sınır kriteri değerleri, kesici takımın serbest yüzeylerindeki yan yüzey aşınma şerit genişliği (VB) veya krater aşınma derinliği (KT) ve/veya genişliğinin (KB) ölçümü ile belirlenmektedir (TSE, 1992). Birden fazla aşınma tipinin ölçülebildiği yerde her tip için aşınma değeri belirlenir ve bunlardan herhangi birisi, o aşınma tipi için belirlenen aşınma kriteri sınırına ulaştığı zaman takım ömrüne ulaşılmış kabul edilir. Buna rağmen, takım ömrünü tayin etmede farklı kriterlerde kullanılmıştır. Kesici takımın durumu hakkında doğrudan bilgi veren ölçme yöntemlerinin yanı sıra, işleme performansı, talaşlı işlenebilirlik gibi farklı amaçlarla birlikte dolaylı olarak kesicinin durumunu gösteren yöntemler de kullanılmaktadır. Tablo 3.1’de takım aşınmasını belirleme metotları verilmiştir.

Tablo 3.1. Takım aşınmasını belirleme metotları (Özler,1998)

	Ölçme yöntemi	Ölçülen değer	Ölçme cihazı
Doğrudan (Direkt) Ölçüm	Optik	Kesici ağzın biçimi	TV kamerası, optik cihaz
	Radyoaktif parçacıklar	Parçacıkların büyüklüğü ve konsantrasyonu	Spektrofotometre
	Takım-iş parçası temas direnci	Temas direncindeki değişim	Voltmetre
	İş parçası boyutu	İş parçası çapı	Mikrometre, optik, ultrasonik, elektromanyetik cihaz
	Takım-iş parçası açıklığı	Takım ya da takım tutucu ile iş parçası arasındaki açıklık	Mikrometre, pnömatik gauge, deplasman ölçer
Dolaylı (İndirekt) Ölçüm	Kesme kuvvetleri	Kesme kuvvetindeki değişim	Dinamometre, strain-gauge
	Akustik emisyon	Gerilim dalga enerjisinin akustik emisyonu	AE çevirici mikrofon
	Titreşim	Takım yada takım tutucunun titreşimi	Akselerometre
	Sıcaklık	Takım üzerindeki kesme sıcaklığının değişimi	Isılçift, pirometre
	Güç girişi	İlerleme motoruna yada aynaya güç veya akım girişi	Ampermetre, dinamometre
	İşlenen yüzeyin pürüzlülüğü	İş parçasının yüzey pürüzlülüğündeki değişim	Mekanik iğneli cihaz, optik cihaz

İşleme esnasında kesici kenar üzerine etkiyen çeşitli yük faktörleri nedeniyle oluşan temel aşınma mekanizmaları ve bunlara bağlı meydana gelen kesici takım aşınma tipleri şunlardır:

3.1.1. Abrasiv aşınma (Aşındırıcılarla aşınma)

En yaygın aşınma mekanizmalarından biridir. Bu aşınma mekanizması, serbest yüzey (yan yüzey veya boşluk yüzeyi) ve krater aşınma (talaş yüzeyi veya üst yüzey) tiplerine sebep olur. Genellikle iş malzemesine ait oksit, nitrür ve karbür gibi sert parçacıklar, takım boşluk yüzeyi ile iş parçası arasına geldiğinde taşlama işlemine benzer bir durum oluşur. Kesici kenarın abrasiv aşınmaya karşı direnç kabiliyeti, önemli ölçüde sertliğine bağlıdır (Şeker, 2004).

3.1.2. Difüzyon aşınması (Atomik yer değiştirme)

İş parçası talaşı ve takım malzemesi arasındaki temas yüzeyinde artan sıcaklık difüzyona (atomsal düzeyde malzeme yayılmasına) neden olur ve böylece takım/talaş arası her iki yöne gerçekleşen malzeme hareketi (transport) nedeni ile takım malzemesi mikro yapısal eğişime uğrayarak yumuşar. Takım malzemesinin sertliği süreçte çok önemli değildir (Şeker, 2004).

Bu tip aşınma takım yüzeyinde kimyasal reaksiyonun bir türü olarak, sertlikten ziyade yüzey üzerinde akan metalde takım ve malzemesinin farklı fazlarının çözünebilirliğine bağlıdır. Bu aşınma mekanizması, krater aşınmasının temel nedenidir. Örneğin çeliğin talaşlı işleminde sert metal mikro yapısına yayılan demir, kobalt içi karbon çözünürlüğünü artırır. Bu sıcaklıklarda gerçekleşen kısmi tungsten karbür çözülmesiyle ve karşı yönde oluşan karbon difüzyonuyla kobalt içerisinde yüksek metal atomlu karbür oluşur ve böylece mikro yapı yumuşar.

Değişik kesme sistemleri ve parametrelerine bağlı olarak tanıtılan aşınma mekanizmalarından biri veya bir kaç devreye girerek takım ömrünü sonuçlandırır. Genelde mikro yapı için aşınmaya dayanıklı, sert karbür miktarı, takım ömrünü ve çalışma hızını belirler. Sertleşebilir martensitik matris içerisinde, hacimsel % 8-15 seviyesinde karbürlerden oluşan yüksek hız çeliği mikro yapısı düşük kesme hızlarına (≤ 60 m/dk.) izin verir. Hacimsel % 95 'e varan miktarlarda karbürlerden oluşan sert metallerde kesme hızları genelde birkaç misli yüksektir. Ancak yüksek tokluğundan ötürü yüksek hız çelikleri özellikle darbeli, süreksiz kesmelerde sert metallere göre daha yüksek performans gösterirler.

Genelde yüksek hız çeliklerinde düşük ve orta hız kapasiteleri kullanılır. Bu hızlarda örneklenen aşınma mekanizmalarının çoğu aynı anda devreye girer. Yüksek hızlarda ise yoğun sıcaklık etkisi ile ($\geq 600^{\circ}\text{C}$) hız çelikleri çok çabuk yumuşayarak aşınır. Sert metallerde ise hız kapasitesinin üst seviyelerinde çalışıldığından, yoğun difüzyonel aşınma takım ömrünü belirler.

Takım üreticileri, özellikle sert metal üreticileri piyasaya sürdükleri plakette için serbest yüzey aşınmasını ve/veya talaş yüzey aşınmasını belirli değerlerle sınırlayarak takım ömrünü kullanıcıya tavsiye ederler. Bu değerlerin üzerine çıkılması bir yandan takımın hızlandırılmış aşınmasına, öte yandan kaba pürüzlü yüzey eldesine yol açar.

3.1.3. Plastik şekil değiştirme

Talaşlı işlemlerde oluşan yüksek statik basma gerilmeleri ve kesme sıcaklıkları, takım malzemesinin elastik sınırının aşılmasına izin vermesi ile takımın kesici köşesinde ve talaş yüzeyinin şekil değiştirmeler olur ve takım aşınır.

Kesici köşenin plastik deformasyonundaki ana etken, köşe üzerindeki basma gerilmelerini maksimum konumda olmasıdır. Bozulan takım kesme geometrisi-kesici köşe genel anlamda aşınmamasına rağmen-kuvvetlerin ve sıcaklığın yöresel olarak artmasını ve böylece takımın aşınmasının ivmelendirir.

Yüksek sıcaklıklarda takımın talaş yüzeyindeki-kayma nedenli-plastik şekil değiştirmesi ise takım yüzeyinin giderek artan aşınmasına neden olur. Kraterleşme olarak adlandırılan takımın talaş temas yüzeyinin aşınarak oyuklaşması sonucu zayıflayan kesici köşe kırılır. Takımın serbest yüzeyinde de görülen bu aşınma tipi, özellikle çelik gibi yüksek sıcaklıkta ergiyen malzemelerin karakteristiğidir. Bu tip malzemelerin kayma yüklenmesindeki yüksek akma dayançları nedeniyle kesme işlemi sırasında oluşturdıkları yüksek sıcaklıklar böyle bir aşınma mekanizmasını öncelikle devreye sokar.

3.1.4. Yorulma aşınması

Yorulma aşınması, genellikle termo-mekanik bir kombinasyondur. Sıcaklıktaki dalgalanmalar ve takıma etkiyen kesme kuvvetlerinin sıfır ile maksimum bir değer arasında değişmesi, kesici kenarın çatlamasına ve kırılmasına yol açar. Aralıklı kesme işlemi (frezeleme, vargelleme vs) ucun sürekli olarak ısınıp soğumasına ve talaş ile temasta olan kesici kenarda şok etkisine neden olur (örneğin porozite içeren toz metal numunelerin işlenmesi). Yorulma

aşınma mekanizması; plastik deformasyon, termal çatlaklar, dökülme (chipping) aşınma tiplerine sebep olur (Yılmaz ve diğ., 2004).

3.1.5. Adheziv (yapışma) aşınma

Genellikle takımın talaş yüzeyindeki düşük işleme sıcaklıklarından dolayı ortaya çıkar. Çelik, alüminyum ve dökme demir gibi uzun ve kısa talaş oluşumunun söz konusu olduğu iş malzemelerinin işlenmesinde görülür. Bu aşınma mekanizması genellikle kenar ile talaş arasında yığma kenar oluşmasına (BUE) neden olur. Yığma kenar, talaş tabakalarının sürekli olarak kesici kenar üzerine kaynak olup kenarın bir parçası haline gelmeleri şeklinde oluşur. Bu kenarın çok fazla büyümesi ve bir noktada kopması, kesici kenar üzerinden bir kısım malzemenin de yığma kenar ile uzaklaşmasına neden olur. Belirli bir sıcaklık aralığında, takım ve iş parçası malzemeleri arasındaki yakınlık ile kesme kuvvetlerinden dolayı ortaya çıkan yük adheziv aşınmayı oluşturan nedenlerdir (Şeker, 2004).

Deformasyonla sertleştirilmiş malzemeler (östenitik paslanmaz çelikler gibi) işlenirken, talaş derinliğinin maksimum sınırında bu aşınma mekanizması bölgesel aşınmanın hızlanmasına neden olur. Bu aşınma mekanizması, çentik aşınmanın oluşmasına sebep olur. Aynı zamanda takım malzemesi ile iş parçası malzemesinin kimyasal yakınlığına da bağlıdır.

3.2. Kesici takım performansını artırmak için uygulanan işlemler

Malzeme teknolojisinin geliştirilmesi ile, endüstride kompozit olarak adlandırılan iki veya daha çok malzeme özelliklerinin bir arada bulunmasıyla oluşturulan malzemelerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. 20. yüzyılda çelik en önemli ileri teknoloji malzemesiyken, bugün organik plastikler, seramikler, yarı iletkenler ve metallerin her biri kendi cephelerinde ilerlemektedirler. Ancak, kullanımda hemen hemen tek başına kullanılmamakta ve değişik kombinasyonlarda birbirlerini tamamlamaktadırlar. Çelik gibi ucuz bir malzemenin, ince sert seramik malzemelerle kaplanması, ileri malzeme teknolojisine iyi bir örnektir. Burada, iyi şekil alabilen ve ucuz bir çelik, pahalı seramiğin sert, kaygan ve paslanmaz olması gibi özelliklerine sahip olabilmektedir. Bu etkileşim sadece çeliğin iyileştirilmesi değil, seramiğin sahip olmadığı tokluğunda seramiğe kazandırılması, seramiğin de iyileştirilmesi olarak nitelendirilmektedir.

Malzeme özelliklerinin değiştirilmesine yönelik yüzey işlemler “yüzey ve taban malzemelerinin tasarımını bir arada ele alan ve her iki malzemenin de tek başına sağlayamayacağı özellikleri ekonomik olarak sağlayabilen” işlemler olarak tanımlanabilir.

Malzemenin yüzey işlemleri;

a) Buhar biriktirme teknikleri ile titanyum nitrür (TiN), titanyum alüminyum nitrür (TiAlN), titanyum karbür (TiC) v.s., tabakalarla yüzeyin kaplanması,

b) Bir başka malzemenin yayındırılması ve taban malzemesiyle bileşik oluşturulması (borlama, karbonitrürleme, karbürleme, nitrürleme vs),

c) Başka maddelerle reaksiyona sokulması (kromatlama, fosfatlama vs.) yöntemleri ile taban malzemenin yüzey özelliklerinin değiştirilmesini kapsar. Kesici takımlara uygulanan bu yüzey işlemler sayesinde, taban malzemenin (yüksek hız çeliği) tokluk özelliği muhafaza edilerek, abraziv ve adhezif aşınmaya dayanımı, oksidasyon ve difüzyona dayanım, kızıl sertlik gibi özelliklerinin iyileştirilmesi sağlanır. Kesici takım ömrü için anahtar role sahip olan aşınma ve ısıl dayanımın artırılması, talaşlı imalat prosesinin verimliliğini arttıracaktır. Aynı zamanda yüzey işlemleri, kesici takım seçiminde ekonomiklik sağlamaktadır (Yılmaz ve diğ., 2004).

Sonuç olarak, minimum zamanda maksimum parça üretimini sağlayan yüksek talaş kaldırma performansı; takım tezgahı, iş ve takım tutucu sistemleri, kesme sıvıları, kontrol sistemleri ve diğer yardımcı teknolojilerin gelişmesinin yanı sıra, anahtar role sahip kesici takımların ve takım ömrü izleme sistemlerinin de gelişmesine bağlıdır. Çünkü bu sistemlerin tam verimli kullanılması, bunlara uygun performansta çalışabilecek kesici takım ve takım izleme sistemleriyle mümkündür. Kesici takımın performansı; takım-işparçası malzemesi, kesme sıcaklığı, temas alanı ve gerilmeleri, takım geometrisi, kesme şartları ve soğutucu sıvı gibi aşınmayı etkileyen parametrelerin kontrolüyle mümkündür. Modern talaş kaldırma işlemlerinde yüksek hızlı CNC tezgahlarında kullanılmak üzere, seramik, kübik bor nitrür (CBN), sermet, sinter karbür gibi pahalı kesici takımların yanı sıra, taban malzemesi ucuz seramik kaplamalı kesici takımlar da üretilmektedir. Bahsedilen, yüzey kaplama işlemleri (PVD, CVD) ile, yüksek hız çeliği (HSS) ve sinterlenmiş karbür takımlara şu özellikler kazandırılabilmektedir:

1. Aşınma ve ısıl dayanımda artış,
2. Takım ömrünün artmasıyla, takım başına üretilen parça sayısında artış,
3. Takım değiştirme sırasında tezgahın durmasının getirdiği seri üretim kaybının en aza indirilmesi,
4. İşleme kalitesinin, kaplamasız takımlara göre daha iyi olması,
5. Kaplama yüzeyinin düşük sürtünme katsayısı ve düşük pürüzlülüğü nedeniyle sürtünmeden dolayı ısı oluşumunun azalması, talaş akışının kolaylaşması.

Tüm bu avantajlarla birlikte, geliştirilen kaplama teknikleri ile özellikle HSS takımların, çok katmanlı seramik film tabakalarla kaplanması çok daha yaygın hale gelmiştir. Kuru işleme, yüksek hızlı işleme ve sert işleme gibi yeni talaş kaldırma tekniklerinde, sinter ürünü kesicilerin yanısıra, abraziv kızıl sertlik dayanımı oldukça yüksek, (TiN/TiAlN gibi) çok-katmanlı kaplanmış HSS kesici takımlar da kullanılabilir. Özellikle Al_2O_3 içeren çok katmanlı kaplamalar oldukça iyi çözümler sunmaktadır. Böylece, takım geometrisi ve kesme parametrelerinin de doğru seçilmesiyle, takım aşınması ve bunun sonucunda oluşacak kayıplar en aza indirilerek takım performansı artmış olacaktır (Yılmaz ve diğ., 2004).

3.3. Kalem ömrü kriterleri

Sert metal uçlu kalemlerle ilgili olarak en çok kullanılan kriterler aşağıda verilmiştir.

1. Yan yüzün aşınan kısmın ortalama genişliği $VB_B=0.3$ mm ise B bölgesi için bu aşınma normal kabul edilir.
2. Yan yüzün aşınan kısmının azami genişliği $VB_{Bmax}=0.6$ mm ise B bölgesinde meydana gelen aşınma, normal olmayan aşınma kabul edilir.
3. Krater derinliği KT, mm cinsinden aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$KT=0.06+0.3*f$$

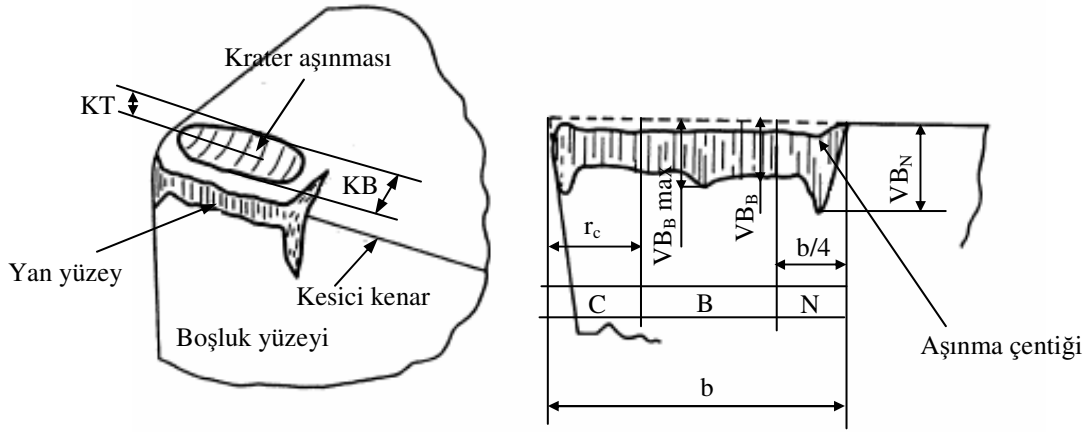
Burada: f , devir başına mm olarak ilerleme miktarıdır (TSE, 1992).

3.4. Kalem aşınmasının ölçülmesi

Yan yüzeyin aşınan kısmının altına yapışan parçacıklar, aşınan kısmın daha geniş görünmesine sebep olabilir. Ayrıca krater içinde kalan parçacıklar, ölçülen krater derinliğinin daha düşük değerlerde olmasına sebep olur.

Kalem üzerine yapışmış olan talaşlarla, kraterin içinde kalan parçacıklar dikkatli bir şekilde temizlenmelidir, ancak, deney sona ermedikçe kimyasal aşındırıcılar kullanılmamalıdır.

Aşınmanın ölçülmesi için esas kesici kenar üç bölgeye ayrılır (Şekil 3.1).



VB= Yan yüzey aşınması, KT= Krater derinliği, KB= Krater genişliği

Şekil 3.1 Torna kalemindeki bazı aşınma tipleri (TSE, 1992)

C bölgesi, kalemin köşesindeki kesici kenarın kavisli kısmıdır,

N bölgesi, kesici kenarın kalem köşesinden en uzakta bulunan kısmı olup B' nin $\frac{1}{4}$ dır,

B bölgesi, kesici kenarın C ve N bölgeleri arasında kalan düz kısmıdır.

Yan yüzeyin aşınan kısmının genişliği VB_B , esas kesici kenara dik kesici kenar düzlemi P_s , içindeki B bölgesinde ölçülmelidir. Yan yüzün aşınan kısmının genişliği, esas kesici kenarın ilk konumuna göre ölçülmelidir.

Krater derinliği KT, B bölgesindeki talaş yüzeyinin ilk konumu ile krater tabanı arasındaki azami mesafe olarak ölçülmelidir (TSE, 1992).

3.5. Torna kalemi uçlarının ömürlerinin tespit edilmesi

Kalem ömrü deneyinde kullanılacak parçanın (deney çubuğunun) deney başlangıcındaki çapı en az 100 mm olmalıdır, bu mümkün değil ise gerçek çap deney raporunda belirtilmelidir. İş parçasının uzunluk/çap oranı, titreşimin ve buna bağlı olarak salgının meydana geldiği asgari orandan büyük olmamalıdır. Uzunluk/çap oranı en çok 10 kat olmalıdır.

Deneylerde kullanılacak olan sert metal uçlar, bu tür deneyler için özel imal edilmiş uçlar olmalıdır. Bu mümkün değilse TS 4210' a göre uygun P10 ve P30 sert metal uçlar kullanılmalıdır.

Kalem ömür deneylerinde kullanılan kesme şartları da uygun olmalıdır. İlerleme miktarı f , talaş derinliği a veya uç yarı çapı r 'nin esas deney değişkeni sayıldığı bütün deneylerde, kesme şartları Tablo 3.2'de verilen kombinasyonlardan en az birine uygun olmalıdır.

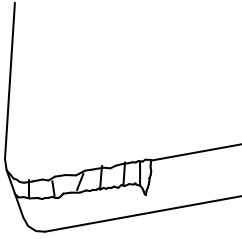
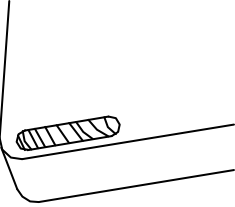
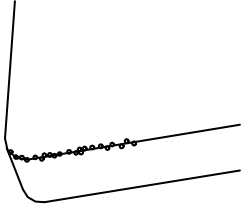
Tablo 3.2. Standart kesme şartları (TSE, 1992)

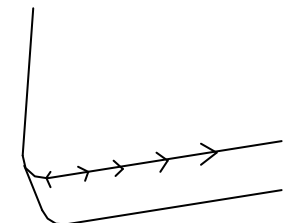
Kesme Şartları	A	B	C	D
İlerleme f, mm/dev	0.1	0.25	0.4	0.63
Talaş derinliği a, mm	1.0	2.5	2.5	2.5
Uç yarıçapı r, mm	0.4	0.8	0.8	1.2

Standart kesme şartlarından birisinin seçilmesinin mümkün olmadığı durumlarda ise Tablo 3.3’de verilen şartlara uyulması gerekir.

Tablo 3.3. Diğer kesme şartlarının sınırları (TSE, 1992)

Asgari talaş derinliği	Uç yarıçapının 2 katı ⁽¹⁾
Azami talaş derinliği	İlerlemenin 10 katı
Azami ilerleme	Uç yarıçapının 0.8 katı
1) Daha küçük bir talaş derinliği, kalem aşınmasının ölçülmesini ve ölçmeden hassas sonuç alınmasını zorlaştırabilir.	

Aşınma Tipleri	Aşınmanın oluşumu	Şekil	Sebepler	Çareler
YAN YÜZEY AŞINMASI	Yan yüzey aşınması, kesici kener ve uç radyüsü üzerinde meydana gelir. Kesme kuvvetleri ve titreşim tehlikesi yan yüzey aşınması ile birlikte çoğalır. Aşınma miktarına bağlı olarak kesici kenar deformasyonu arttıkça kesme alanındaki sıcaklıkta yükselir. Uç radyüsü ve yan yüzeydeki bu aşınma çoğaldıkça iş parçası üzerinde de kötü bir yüzey kalitesi oluşacaktır.		Kesme hızı yüksektir. Kesici ucu çok sünektir. Kesici kenarı deforme olmuştur.	Aşınmaya mukavim bir kesici kullanılmalıdır. Kesme hızı ve ilerleme artırılmalıdır. Kesme sıvısı kullanılmalıdır. Köşe radyüsü ve serbest açısı kullanılmalıdır.
KRATER AŞINMASI	Kesme kenarında mekanik gerilmeler ve kesme hızının artması ile ortaya çıkan ısı da artar. Bu durumda aşırı ısınmış talaş ile sert metal talaş yüzeyi arasında bir difüzyon meydana gelir. Sert metal krater şeklinde oyulur. Bu kraterin aşırı oluşması talaşın şekline etki eden bir durumdur. Krater fazla ise ucun kesme köşesi ve kesme kenarı zayıflayacaktır.		Kesme hızı çok yüksektir. İlerleme çok düşüktür.	Kesme hızı artırılmalıdır. İlerleme azaltılmalıdır. Aşınmaya karşı daha sert kesici seçilmelidir. Pozitif uç geometrisi seçilmelidir.
KESME KENARINDA UFAK DÖKÜLMELER	Kesme kenarında mekanik gerilmeler aşırı ise ve uç aşırı bir şekilde sıcaklık değişimlerine maruz kalıyorsa ucun kesme kenarında küçük parçalar şeklinde kopmalar meydana gelecektir. Kırılmalar sağdaki resimde olduğu gibi uçtan küçük parçalar halinde kopmuş olarak görülmektedir.		Çok zayıf işleme kenarı vardır. Titreşim vardır. Kesme ucunun mikro yapısındaki dayanıklılık unsuru yetersiz olabilir	Uç dayanıklılığı negatif pah kırma ile artırılabilir. Büyük köşe radyüsü kullanılmalıdır. Kesme hızı ve ilerleme artırılmalıdır. Kesme derinliği artırılmalıdır. Daha rijit bir takım kullanılmalıdır.

Aşınma Tipleri	Aşınmanın oluşumu	Şekil	Sebepler	Çareler
TALAŞ SIVANMASI	Kesme hızı az olduğu zaman talaş kaldırma bölgesinde sıcaklık düşecek ve bundan dolayı kesme kenarında malzeme birikmesi olacaktır. Bu durum kesme kuvvetlerini arttırdığı gibi kötü bir yüzey kalitesi elde edilmesine neden olur.		Kesme hızı düşüktür. Kesme açısı çok küçüktür	Kesme hızı yükseltilmelidir. Soğutma azaltılmalıdır. Pozitif kesme geometrisi seçilmelidir.
TERMAL ÇATLAKLAR	Kenar çatlakları talaş ve boşluk yüzeylerinde meydana gelir. Çatlaklar sıg, küçük ve hemen hemen birbirine paraleldir. Bu çatlakları sıcaklıktaki seri değişimler oluşturur. Küçük çatlakların formu kesme derinliğinin değişmesi, kesme esnasındaki duraklamalar ve düzensiz bir kesme sıvısı gönderilmesi ile arttırılmış olur.		Kesici uç ısıl değişimlere maruz kalmıştır. Yüksek kesme hızında büyük hacimde talaş kaldırılmıştır.	Daha sert bir metal seçilmelidir. Takım açıları küçültülmelidir. Köşe radyüsü arttırılmalıdır. Kesme hızı, derinlik ve ilerleme azaltılmalıdır. Soğutucu kullanmaktan kaçınılmalıdır.
PLASTİK DEFORMASYON	Eğer kesici uçta aşırı sıcaklığa ve yüksek baskı kuvvetlerine maruz bırakılmış ise plastik deformasyon meydana gelebilir. Plastik deformasyon, uçta hem alçalma hem de yükselme şeklinde oluşabilir.		Talaş tarafında aşırı yük vardır. Aşırı kesme sıcaklığı mevcuttur. Uç kalitesi çok yumuşaktır.	İlerleme azaltılmalıdır. Kesme hızı azaltılmalıdır. Daha sert ve daha fazla aşınma mukavemetli bir uç kullanılmalıdır.

Şekil 3.2 Takım aşınmasının değişik şekilleri, sebepleri ve giderilmesi (Dinler, 1993 ve Şahin, 2001)

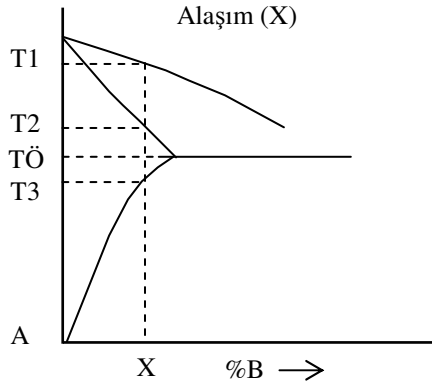
4. ÇÖKELME (YAŞLANMA, AYRIŞMA) SERTLEŞMESİ

Bir metalin kristal yapısının plastik şekil değişimine karşı direncini artırabilmek için üç önemli genel yöntem vardır. Bunlar soğuk şekil verme, katı çözelti sertleşmesi ve çökelme sertleşmesidir. Bugün çok yüksek dayanımlı alaşımların elde edilmesi bu yöntemlerin bir veya bir kaçının kullanılmasına bağlıdır.

Alaşım elementleri, esas metale özelliklerini değiştirmek ve arzu edilen karakteristikleri kazandırmak için eklenir. Alaşım elementlerinin katı çözelti içine girmesiyle, elektriksel iletkenlik ve süneklikte azalma, sertlik ve mekanik dayanımda artma vardır ve bu katı çözelti sertleşmesi veya alaşım sertleşmesi adını alır.

4.1. Çökelme sertleşmesi ısı işlemi

Çökelme sertleşmesi, bazı alaşımlar için sertlik ve dayanımı arttırmak için geliştirilmiş temel sertleştirme mekanizmasıdır ve çözünmenin temel karakteristiğine dayanır. Bu metodun prensibi genelleştirilmiş olarak Şekil 4.1’deki şematik diyagramla ifade edilmiştir. Sıvı X alaşımı denge altına soğutulursa, T1 sıcaklığında katılaşmanın başladığını T2 sıcaklığında bittiğini biliyoruz. T3 erişinceye kadar fazla herhangi bir değişiklik yoktur. Soğutmaya devam edildiğinde ikinci bir faz tane sınırları boyunca ve kayma düzlemlerinde çöker. (katılaşmanın sınırı aşıldıkça) Bu çökelen faz, aslında, esas metal, eriyik metal veya bir ara faz olabilir.



Şekil 4.1 Çökelme sertleşmesi faz diyagramı

Başka bir deyişle, soğutma hızı, çok hızlı ise tamamlanmamış çökelme elde ederiz. Gerçekte T2 ve T3 sıcaklıkları arasında, hızlı soğuma, çoğu alaşımda, çözeltideki bütün ikinci faz içeriğini muhafaza etmeye müsaade etmek için yeterlidir. Örneğin alaşım aşırı doymuştur. Çözeltideki B atomları fazla olduğundan çökelenin meydana gelmesine eğilim vardır. Uygulama süresinde çökelenin meydana gelip gelmemesi difüzyon hızına bağlıdır. Difüzyon

yeterince hızlı ise, çökelme oda sıcaklığında meydana gelir. Bu durumda alaşım doğal yaşlanır. Çoğu alaşımda, oda sıcaklığında difüzyon çok yavaştır. T3 den daha düşük sıcaklıklara ısıtma, difüzyonu artırır ve çökelmeye müsaade eder. Bu durumda alaşım yapay olarak daha hızlı yaşlanır. Çökelme sertleşmesi üç temel aşamayı izleyen işlem gerektirir. Bunlar; çözündürme ısıl işlemi, hızlı soğutma ve çökeltme (yaşlandırma) işlemidir.

4.2. Çözündürme ısıl işlemi

Alaşım Şekil de belirtilen T3 sıcaklığının üzerine (fakat Tö nün altına) ısıtılması ve homojen yapı elde etmek için bir süre tutmayı içerir. T3 , müsaade edilen tam çözünme için en düşük sıcaklıktır ve Tö2 yarı kararlı olabilen ötektik erimesinden kaçınmak için kullanılan max. sıcaklıktır. Pratikte mümkün olan en yüksek sıcaklık en hızlı difüzyonu elde etmek için kullanılır. Örneğin, Al-Cu da 2024 (%4.5 Cu ağırlıkça içerir) 500°C ötektik sıcaklığına sahiptir ve çözündürme ısıl işlemi normal olarak 488-500°C arasında gerçekleşir.

4.3. Hızlı soğutma

Numune, düşük sıcaklığa (genelde oda sıcaklığına) hızlı olarak soğutulur (suda soğutma yeterlidir). Soğutma ortamı oda sıcaklığında genelde sudur. Suda hızlı soğutmadan sonra alaşım örneğinin yapısı aşırı doymuş katı çözelti içerir. Bizim X alaşımımızın yapısı, düşük sıcaklığa hızlı soğutmadan sonra Şekil 4.2.b'deki A noktası, α fazının aşırı doymuş katı çözeltisini içerir.

4.4. Yaşlandırma (çökeltme) işlemi

Yaşlandırma işlemi, sertlik ve dayanımda arzu edilen artma meydana gelinceye kadar, malzemeyi uygun sıcaklıkta tutmayı gerektirir. Alaşımda ince dağınık çökeltinin teşekkülü, çökelme sertleşmesi işleminin amacıdır. Aşırı doymuş çökelti kararsız olduğundan, ikinci fazın çökmesi için kesin eğilim vardır. İşlem sıcaklığında α çözeltisinin kabul etmek istemediği fazla B atomları belli kristalografik düzlemlere doğru difüzyon eğilimindedir.

4.5. Isıl işlemlerle mukavemet arttırma

Metallerde dengeli soğuma süresinde oluşan yapılar kararlı olup belirli özelliklere sahiptirler. Denge diyagramları bileşim ve sıcaklığa bağlı olarak oluşan kararlı fazları ve faz dönüşüm sıcaklıklarını gösterir. Bu durumda soğuma süresinde faz dönüşümleri zorlayıcı etki bulunmaksızın kendiliğinden tamamlanır. Ancak kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleri ile sağlanan aşırı koşullar altında (su içinde soğutma gibi)

denge hali faz dönüşümleri kısmen veya tamamen önlenabilir. Bu koşullarda elde edilecek bazı denge dışı yarı kararlı fazlar üstün özelliklere sahip olabilirler. Bu ilkelere dayanarak endüstride çeşitli ısı işlemler geliştirilmiştir. Çeliklere uygulanan su verme sertleştirilmesi ile bazı alüminyum alaşımlarına uygulanan çökelme veya yaşlanma sertleşmesi bunlara birer örnek olarak gösterilebilir.

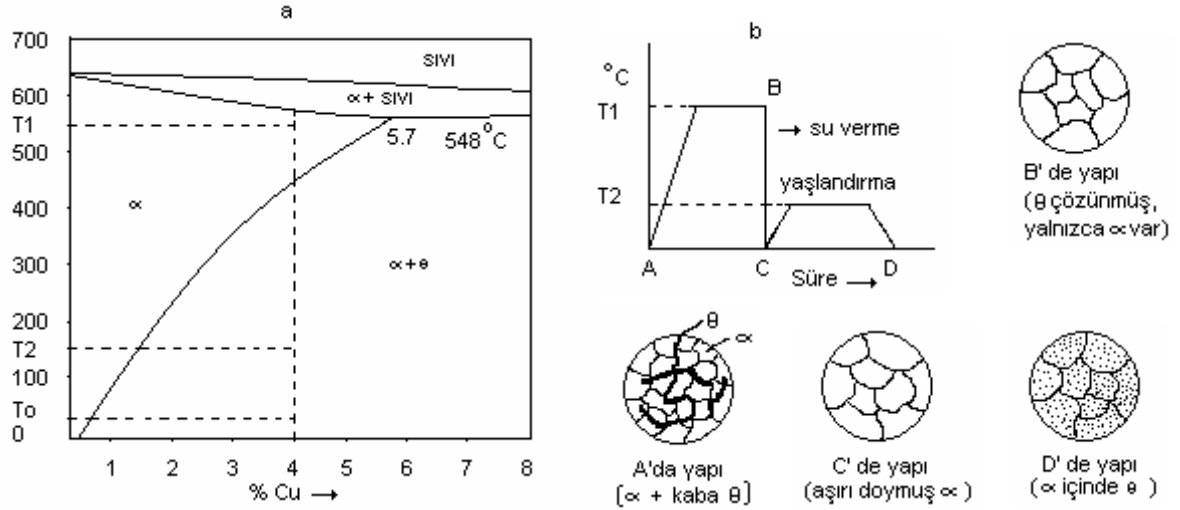
Bir ana faz içinde çok küçük parçacıklar halinde çökelmiş ikinci bir faz şekil değiştirmeyi çok kısıtlar, dolayısıyla sertlik ve mukavemet artar. Bu ikinci faz genellikle aşırı doymuş bir fazdan kontrollü çökeltme yöntemi ile elde edilir. Bu yöntem birbirlerini sıcaklığa bağlı olarak sınırlı oranda eriten sistemlere uygulanır. Bunun en tipik örneği Al-Cu alaşımlarıdır.

4.6. Yaşlandırma

Al-Cu dizgesinde bir katı çözeltiye yüksek sıcaklıklarda tek faz bölgesinde çözündürme ısı işlemleri uygulanır ve sonra birden, çözünürlüğün çok daha az olduğu oda sıcaklığına soğutulursa (su verme işlemi) katı çözelti aşırı doymuş katı çözelti olarak yarı kararlı duruma girer. İşte bu aşırı doymuş çözelti, oda sıcaklığında yada düşük sıcaklıklarda ısıtılarak, yarı kararlı durumdan kararlı duruma geçebilir.

Bu olay, metalürjide daha önce gördüğümüz gibi, denge dışı durumlarda çökelme diye anılır. Bu çökelme sonucu su verilmiş yapının sertliği artar. Oda sıcaklığında yada biraz daha yüksek sıcaklıklarda, sertliğin süreye bağlı olarak artmasına, metalürjide, yaşlanma yada çökelme sertleşmesi; bunu gerçekleştiren ısı işleminde yaşlandırma denir.

Yaşlanma olayının en belirgin olarak görüldüğü alaşımlar Al-Cu alaşımlarıdır. Al-Cu dizgesinde % 5.7 Cu olan en yüksek çözünürlük değeri altında kalmak koşulu ile, bileşimleri % 1 Cu ile % 4.5 Cu arasında değişen bir dizi alaşım, 500 °C sıcaklıkta çözündürme ısı işlemi uygulandıktan sonra su verilip 150 °C 'de bekletilirse buna suni yaşlandırma denir. Eğer su verilmiş numune doğal olarak oda sıcaklığında bekletilirse buna tabii (doğal) yaşlandırma denir. Her iki durumda da bekleyen numunenin arttığı gözlenmiştir. Oda sıcaklığından yüksek sıcaklıklarda bekletilen numunenin yaşlanma işlemi hızlanır. Ayrıca % Cu arttıkça yaşlandırma etkisi artar. Eğer % 4 Cu bileşimli bir Al-Cu alaşımı T1 sıcaklığındaki çözündürme ısı işleminden sonra yavaşça soğutulacak olursa Şekil 4.2.b' de A' daki yapı oluşur.



Şekil 4.2 a. Al içinde Cu' nun max. çözünürlüğü b. % 0.4 Cu-Al alaşımının yaşlandırma işlemi ve oluşan yapılar

α tane sınırlarında çökelmiş kaba θ fazı çökeltileri görülür. Bu faz CuAl_2 bileşiğidir; α tane sınırlarında çökmesiyle yapıyı gerçekleştirir.

Yavaş soğuma yerine 500 °C sıcaklıktan bu alaşıma su verilirse, θ fazı çökmesi için gerekli yayınma gerçekleşemez ve C deki gibi α aşırı doymuş çözeltisi oluşur. Bu aşırı doymuş çözelti oda sıcaklığında kendiliğinden, daha yukarı sıcaklıklarda ise hızlandırılmış olarak aşırı doymuşluk durumundan, D' de de görüldüğü gibi, çökelim yoluyla çıkar. Su verilmiş alaşım -20 °C de tutulacak olursa aşırı doymuş katı çözelti, çökelmeye yol açmadan, yarı kararlı durumunu korur. Yukarıda anlatılanlar yalnızca Al-Cu alaşımı için geçerli değildir. Al-Mg alaşımlarının davranışları da benzer biçimdedir. Bu alaşımlarda Al_3Mg_2 bileşiği; Al-Mg-Si alaşımlarında ise Mg_2Si bileşiği oluşur. Eğer alaşım Al-Mg-Cu-Si alaşımı ise bu kez Mg_2Si ve CuAl_2 her ikisi birlikte çöker. Sertleşmeye yol açan bunların oluşumudur.

Yapay yaşlandırma sıcaklığı oda sıcaklığından 200 °C a dek artırıldıkça, çökme ve bunun sonucu sertleşme hızlanır. Sertliğin en yüksek değerine ulaştığı noktada ışık mikroskopunda, yapıda çökeltiler görülmez. Ancak aşırı yaşlandırılmış ve yumuşatılmış yapılarda çökeltileri görmek olasıdır.

4.6.1. Yaşlandırma koşulları

Çökme sertleşmesinin meydana gelebilmesi için uygulanacak alaşımlarda bazı özellikler aranır. Bunlar;

- Denge diyagramı azalan sıcaklıkla, azalan katı çözeltiyi göstermelidir. Yani denge diyagramı bir solvüs eğrisine sahip olmalıdır.
- Matris yumuşak ve sünek, çözelti ise sert ve gevrek olmalıdır. Yaşlanabilir pek çok alaşımda çökelti sert intermetalik bir bileşiktir.
- Alaşım su alabilmelidir. (ikinci fazın soğuma ile engellenebilmesi)
- Çökelti maksimum mukavemet ve sertliği sağlayabilmek için matris yapısı ile uyumlu olmalıdır. Dahası, çökeltinin şekli, boyutu ve dağılımı kontrol edilebilmelidir.

Yaşlanma veya çökeltme sertleşmesi metodu en çok alüminyum alaşımları için kullanılır. Bunun nedeni Cu, Mg içeren alaşımları yukarıda bulunan 4 özelliğe kusursuz sahip olmalarıdır. Ayrıca yapının sertleşmesine, oluşan fazların bağdaşıklığı yol açmaktadır. GP bölgelikleri ile çökeltileri α fazı ile tam bir süreklilik ve bağdaşıklık gösterirler. θ'' fazının kristal yapısı tetragonaldır ve alüminyum birim hücresine iki yönde tam uyur, üçüncü yönde ise uyumsuzdur. İşte bu nedenle yapı içinde sıkışma doğar. Bu sıkışma bağdaşıklık gerilimlerine yol açar. Yaşlanma olayının yarattığı sertleşme işte buradan kaynaklanmaktadır. Bu olay en iyi alüminyum ve alaşımlarında gerçekleştiği için pratikte en çok bu alaşımlar kullanılır.

Çökeltme sertleşmesi ilk olarak Duralumin'e adını veren Alman Metal Şirketi Dürerer firması tarafından Birinci Dünya savaşı sırasında zeplinlerde kullanıldı. Yine α bölgesinde tavlanan alüminyum alaşımı perçinler, suda soğutulurken buz dolabına konur, gerektiği zaman alınarak yumuşak halde hemen perçinlenir. Perçin bir süre sonra sertleşir ve mukavemeti artar. Ayrıca paslanmaz çeliklerde bu yöntemle sertleştirilmektedir.

4.7. Çökeltme ile sertleşebilen paslanmaz çelikler

Normalde 300 serisine ait paslanmaz çelikler ısı işlem görmez ve korozyon direnci düşüktür fakat 400 serisinin C içeriği fazladır ve çevreye daha fazla direnç gösterir. Al, Mg, Ni ve Fe esaslı yüksek korozyon dirençli alaşımlar genelde çökeltme ile sertleştirilebilen alaşımlardır. Mukavemete duyulan gereksinim, çökeltme ile sertleştirilebilen düşük C' li martensit matrisli alaşımların geliştirilmesini sağlamıştır. Bu tür alaşımlar üçe ayrılırlar.

- Çökeltme ile sertleştirilebilen yarı-östenitik paslanmaz çelikler
- Çökeltme ile sertleştirilebilen martensitik paslanmaz çelikler
- Çökeltme ile sertleştirilebilen östenitik paslanmaz çelikler

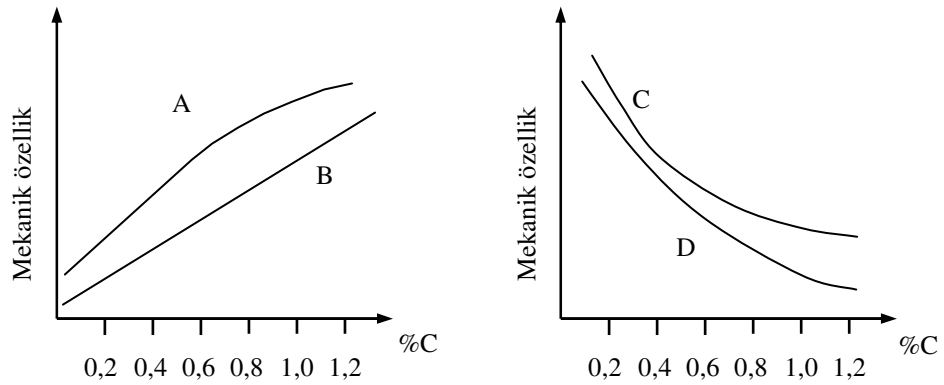
5. İŞLENEBİLİRLİK

İşlenebilirlik, bir malzemenin işlenmesinde karşılaşılan kolaylık ve güçlükler olarak ifade edilebilir. İşlenebilirliği, iş parçasının metalürjisi, kimyasal yapısı, mekanik özellikleri, ısıt işlemleri, kalıntılar (inklüzyonlar), katkı maddeleri, yüzey tabakası ve işleme şartları gibi birçok faktör etkilemektedir. İşlenebilirliği kolaylaştırmak için döküm kalitesini iyileştirmek, takım malzemesini, takım geometrisini, bağlama şartlarını ve kesme sıvısı vb. gibi birçok etkeni değiştirmek gerekebilir. İş parçasının işlenebilme kabiliyeti ve etkinliği çeşitli faktörlere göre belirlenmektedir. Bunlar;

1. İş parçası malzemesi,
2. Takım tezgahları,
3. İşleme biçimi,
4. Takım,
5. Kesme parametreleri,
6. Kesme sıvısı vb. dir (Kasap, 2001).

5.1. İşlenebilirliğe iş parçası malzemesinin özelliklerinin etkisi

İş parçası malzemesinin temel özelliklerinin işlenebilirliği nasıl etkilediği Şekil 5.1'deki diyagramda (karbon miktarının malzemenin mekanik özelliklerine etkisi) görülmektedir.



A: Çekme Dayanımı, B: Sertlik, C: Darbe Dayanımı, D: Yüzde Uzama (Kasap, 2001)

Şekil 5.1 Malzemelerin temel mekanik özelliklerinin karbon miktarı ile değişimi

5.1.1. Sertlik ve dayanım

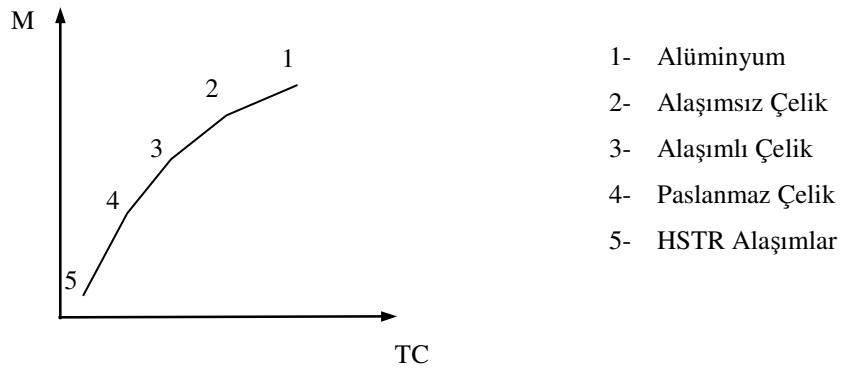
Genellikle malzemelerin düşük sertlik ve dayanım değerlerine sahip olması işlenebilirlik için uygundur. Düşük yüzey kalitesine, çapak oluşumuna ve kısa takım ömrüne sebep olan BUE (Built-up edge, kesici kenarda talaş sıvanması(yığılması)) oluşmasından dolayı problemlere yol açan sünek malzemeler bu durumun dışındadır. Soğuk çekme işlemleri ve benzeri yollarla artırılmış sertlik işlenebilirlik üzerinde pozitif bir etkiye sahiptir.

5.1.2. Süneklik

İşlenebilirliğin değerlendirilmesinde düşük süneklik değeri genellikle olumlu karşılanmaktadır. Düşük süneklik yüksek sertlikle oluşur ve bunun tersi olan süneklik düşük sertlik demektir. İyi işlenebilirlik genellikle sertlik ve süneklik arasındaki uygun şartlara bağlıdır.

5.1.3. Isıl iletkenlik

Yüksek ısı iletkenlik, talaş kaldırma esnasında oluşan ısının suratlı bir şekilde kesme bölgesinden uzaklaştırılması demektir. İşlenebilirlikle ısı iletkenlik arasında doğru bir orantı vardır. Yani ısı iletkenliğinin artması ile işlenebilirlik artmaktadır. Şekil 5.2’ de bazı metallerin ısı iletkenliklerinin (TC, thermal conductivity), işlenebilirlikle (M, machinability) ilişkisi gösterilmektedir.



Şekil 5.2 Isıl iletkenlik (TC) ile işlenebilirlik değeri (M) arasındaki ilişki (Kasap, 2001)

5.1.4. Pekleşme

Plastik deformasyon sırasında, metallerin dayanımı değişen değerlerle artmaktadır. Dayanımdaki artış, deformasyon yüzdesine ve malzemenin pekleşme kabiliyetine bağlıdır. Yüksek pekleşme, deformasyon oranındaki artışa bağlı olarak hızlı bir dayanım artışı demektir.

Çelikler işlenirken deformasyon miktarı oldukça bölgesel kalmakta ve özellikle kesici kenara yakın gerçekleşmektedir. Yüksek pekleşme (deformasyon sertleşmesi) oranına sahip malzemelere örnek olarak östenitik paslanmaz çelikler ve çeşitli yüksek sıcaklık çelikleri verilebilir. Karbonlu çelikler ise düşük pekleşme oranına sahip çeliklere örnek olarak verilebilir.

Yüksek pekleşme oranı, talaş oluşumu için çok daha fazla enerji gereksinimi demektir. Sertlikteki ciddi bir artış, işlenmiş yüzeyde ince bir katman oluşumuna sebep olur. Pekleşmeyle sertleşen tabakanın kalınlığı, ilerleme değeriyle aynı olursa, kesici kenar şiddetli gerilmelere maruz kalacaktır. Pekleşme ile oluşan tabakanın kalınlığı ve sertliği kesici kenardaki deformasyon miktarıyla orantılıdır. Büyük bir talaş açısına sahip bir kesici kenarın keskinliğinin iyileşmesi, deformasyon miktarını azaltmaktadır. Bu sebeple, pozitif bir geometri, katmanın azalmasına yardımcı olacaktır ve bunun sonucu olarak da kesici kenardaki gerilmeler azalacaktır. Bununla beraber pekleşme, BUE oluşumunu engellemek için olumlu etkiye sahip olacaktır.

5.2. İşlenebilirliği etkileyen diğer malzeme özellikleri

Bir önceki bölümde, işlenebilirlik üzerinde önemli etkisi olan temel özellikler incelenmişti. Bu bölümde; İş parçası malzemesinin yapısının (morfolojisini), iş parçası şartlarının, alaşım elementlerinin ve yüzey bütünlüğünün işlenebilirlik üzerindeki etkilerini inceleyecektir.

5.2.1. Malzemenin yapısı

Malzemenin yapısı işlenebilirliği etkilemekte ve bazı yapılar aşındırıcı özellikte olduğundan bu yapılar malzeme dayanımını etkilemektedir. Örneğin çeliklerdeki aşındırıcı bileşen karbürlerdir. Çeliklerdeki bir çok alaşım elementi yapıyı doğrudan etkiler.

Çeliklerde karbon muhtevasına bağlı olarak çok farklı yapılar elde edilebilir. Oda sıcaklığında ve sertleştirme işlemi uygulanmamış şartlarda, çelikte östenite ilaveten üç tip yapı söz konusudur ve bunlar işlenebilirliği doğrudan etkiler. Bunlar ferrit, perlit ve sementit' tir.

Ferrit, yumuşak ve sünek özelliklere sahipken, sementit ise elde edilebilecek en sert yapıdır ve su verme ile elde edilecek martensit'den bile serttir. Perlit ise, ferrit ve sementit'in lameller (plakalar) şeklindeki bir karışımıdır. Lameller, ferrit ve sementit şeklinde sıralanmış olup sertlik açısından orta değerde yer alır. Lamelli perlitin sertliği aynı zamanda lamellerin boyutuna (kalınlığına) bağlıdır. İnce lamelli perlit, bünyesinde daha fazla sementit bulundurduğu için kaba olana göre daha serttir. Sementit yüksek aşındırıcı özelliğe sahiptir. Küçük bir miktarda sementit'in yapıda yer alması takım ömrünü ve işlenebilirliği önemli ölçüde etkilemektedir. Bunlara ilaveten ferritik çelikler genellikle martensitik çeliklere göre daha iyi bir işlenebilirliğe sahiptir.

5.2.2. Isıl işleme tabi tutulan iş parçasının özellikleri

Çeşitli ısı işlemlere tabi tutulan iş parçası işlenebilirliği etkilemektedir. Bunlar;

Sıcak haddelenmiş iş parçası genellikle homojen olmayan, kaba bir yapıya sahiptir. Bunun sebebi, sıcak haddeleme sonrasında malzeme uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalır ve buda kaba bir yapının oluşmasına sebep olur. İşlenebilirlik açısından bakıldığında homojen olmayan bir yapı, malzemenin düzgün olmayan dağılım miktarın bağlı olarak boşluklara sebep olur. Buda işlenebilirliği olumsuz yönde etkiler ve istenmeyen bir özelliktir.

Normalizasyon işlemi sırasında malzeme östenit bölgesindeki sıcaklığa çıkarılmakta, malzeme yapısı tamamen östenite dönüştükten sonra malzeme hızlı bir şekilde oda sıcaklığına soğutulmaktadır. Bu işlem sıcak haddeleme şartlarından daha ince ve homojen bir yapı elde etmek için uygulanır. Normalizasyon tavrının en temel amacı, malzemenin tokluk (darbe direncini) davranışını iyileştirmektir. Yapının dzgnlğnden dolayı, işlenebilirliğe olumlu bir etki sağlar.

Yumuşatma tavrı, gerçekte malzemeyi yumuşatmak için uygulanan bir işlemdir. İşlem sırasında perlitteki sementit lameller, küresel (yuvarlatılmış) sementite dnştirlr. Tavlama sonucunda ferrit içersinde düzgün dağılmış küresel sementitler oluşur ve sertlik önemli ölçüde düşer. Küresel yapıdaki sementit, işleme sırasında kesici takımın sementit aşındırıcı taneciklerle daha az teması anlamına gelir. Normalde yumuşatma tavlaması karbon oranı %0.5' den daha fazla olan çeliklerde uygulanmaktadır. Yüksek karbon muhtevası söz konusu olduğunda, optimum işlenebilirliği elde etmek için yapılması gereken işlem kreselleştirmedir.

Karbonlu eliklerde gerilim giderme tavlamasının amacı, malzemedede su verme veya soğuk şekillendirme sonucu oluşan gerilmelerin giderilmesidir. Eğer bu gerilmeler giderilmeden

bırakılacak olursa, talaş kaldırma esnasında serbest kalacak ve iş parçasının doğrusallığını ve toleransını etkileyecektir. Gerilim giderme tavlama düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen bir işlem olduğu için yapıyı etkilemez ve dolayısı ile işlenebilirlik üzerinde bir etkisi yoktur.

Soğuk şekillendirilmiş malzeme genellikle, normalizasyon veya yumuşatma tavına maruz bırakılır. Soğuk şekillendirme, deformasyon miktarına bağlı olarak dayanımı artırır. Soğuk şekillendirme, daha iyi yüzey yapısı, sıvanma oluşumunun azaltılması ve çapak oluşunun azaltılması açısından işleme şartları için uygun durum sergiler.

5.2.3. Alaşım elementleri

Malzeme yapısındaki alaşım elementleri, malzeme özellikleri üzerinde çok büyük bir etkiye sahiptir. Örneğin; Karbon (C), çelikteki mekanik ve işlenebilirlik özelliklerini belirleyen en önemli elementtir (Şeker, 2004). Karbon miktarının artmasıyla, çekme dayanımı ve akma sınırı artarken kopma uzaması, derin çekilebilirlik, dövülebilirlik kısaca elastik şekil değiştirme kabiliyeti düşer. Malzeme yapısındaki krom (Cr), çekme dayanımını artırırken kopma uzamasında ve çentik darbe dayanımında düşmeye sebep olur. Cr miktarındaki artış paslanmazlık özelliğini artırır. Yapıdaki nikel (Ni), kromun tersine östenit alanını genişletir. Yapıda bulunduğunda, çekme dayanımını artırır ve buna karşın özgül uzamayı biraz düşürür. Fakat çeliğe katılmasının asıl amacı korozyon dayanımını arttırmaktır. Bu ana alaşım elementlerinin yanısıra Cobalt (Co), Mangan (Ma), Vanadyum (Va), Molibden (Mo), Niobyum (Nb), Tungsten (W), Bakır (Cu) vb. bulunur. Bazı alaşım elementleri işlenebilirlik üzerinde önemli ölçüde pozitif etkiye sahiptir. Kükürt (Sn), fosfor (P), kurşun (Pb) bunlara örnek olup kolay işlenebilir çeliklere ilave edilmektedir. Talaş oluşumu genellikle sünekliği azaltan alaşım elementleri ile iyileştirilebilir. Malzemenin kimyasal analizi sonucunda, talaş kaldırılacak malzemenin işlenebilirliği üzerinde pozitif ve negatif etkiye sahip elementler aşağıda gösterilmiştir.

Negatif etkileyenler: Mn, Ni, Co, Cr, $C < 0.3\%$, $C > 0.6\%$, Mo, Nb, W.

Pozitif etkileyenler: Pb, S, P, C. (Kasap, 2001).

5.3. Paslanmaz çeliğin işlenebilirlik problemleri

Paslanmaz çelikler yüksek çekme mukavemeti ve korozyon direncine sahip olmasından dolayı işlenebilirliği zordur (O'sullivan ve diğ., 2002). Pekleşen kalın bölgeler, tel şeklindeki talaşlar ve yüksek işleme sıcaklıkları gibi bir çok etken talaş kaldırma esnasında büyük bir rol

oyynamakta ve takım ömrünü azaltmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerdeki krom, nikel ve molibden muhtevası bu alaşımların yüksek gerilmeler altında plastik deformasyona uğramasına sebep olmaktadır. Paslanmaz çeliğin plastik deformasyonu için gerekli olan yüksek kesme hızı kuvvetleri ısıyı ve takım aşınmasını arttıran ek bir pekleşmeye sebep olurlar.

Diğer önemli bir problemde kesici kenarda meydana gelen malzeme yığılması (BUE) dır. BUE kesici uçtaki aşınmayı arttırarak işlenen parçaların yüzeylerinin bozuk çıkmasına sebep olur. Sıcak parçalar kesici talkımdan uzaklaşırken kesiciyi aşındıran ve işlenen yüzeyi bozan uzun tel şeklinde uzaklaşırlar. Ayrıca işleme esnasında oluşan tiz sesler kesici takımın çatlamasına ve kırılmasına sebep olurlar (Kasap, 2001).

Yüksek krom ve nikel içeriğinden dolayı paslanmaz çelikler diğer karbonlu ve alaşımlı çeliklere nazaran daha yüksek sünekliğe ve daha düşük ısı iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle talaş kaldırmak için gerekli olan yüksek enerji, talaşlarla birlikte iş parçasından uzaklaşmak yerine kesme bölgesinde hapsolür. Bu sebepten dolayı kesme bölgesindeki ısı artışı aşınma mekanizmasını artırır. Ayrıca ısı artışı, krater aşınmasını arttırarak ucun kırılma riskini arttırır.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Çalışmanın amacı

Paslanmaz çeliklere olan gereksinim teknolojinin gelişmesiyle birlikte her geçen gün artmaktadır. Özellikle petro-kimya, kimya, makine, gıda endüstrisinde kullanılan depolama tankları, basınçlı kaplar, ısı değiştiricileri ve paslanmaz boruların üretiminde çok çeşitli türlerde paslanmaz çelik kullanılmaktadır (Kahraman ve diğ., 2002). Paslanmaz çelikler, özellikle korozyona ve oksitlenmeye karşı büyük direnç gösterdikleri için her alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu malzemelerin kimyasal bileşiminde bulunan krom elementi büyük oranda oksitlenme ve korozyon direnci sağlamaktadır. Genelde paslanmaz çeliklerin ve özellikle de östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği oldukça düşüktür. Bünyesinde bulunan silisyum ve nikel elementleri takım ucunda adeta taşlama etkisi yaparak aşınmaya sebep olmaktadır. Ancak her ne kadar işlenebilirliği düşük olsa da genellikle korozyona ve oksitlenmeye müsait ortamlarda yaygın olarak kullanılan bir malzemedir (Karaca, 2004).

Bu çalışmada, AISI 304 paslanmaz çeliğinin 1050 °C’de yeterli süre bekletilip, suda soğutulduktan sonra 700 °C’de farklı bekleme sürelerinde ısıtılma tabi tutularak, ısıtılmanın bu çeliğin işlenebilirliğine olan etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

6.2. Deney malzemelerinin hazırlanması ve işlenmesi

Deneylerde 18/8 AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemesi kullanılmıştır. Bu malzemenin bileşimi ile ilgili alınan spektral analiz sonuçları Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. AISI 304 malzemesinin kimyasal bileşimi (%Ağırlık)

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni
0,0472	0,279	1,88	0,0401	0,014	18,13	8,40
%Mo	%Al	%Cu	%Nb	%Ti	%V	%Fe
0,441	< 0	0,850	0,0214	0,0083	0,0583	< 69,83

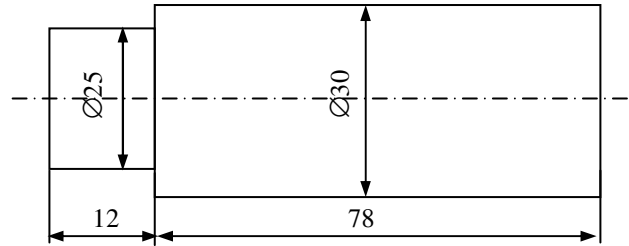
Deneyler, Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Atölyesinde bulunan DYNA 3300 MYTE marka CNC torna tezgahında Şekil 6.1’de resmi bulunan P15-P30 kalitesinde CCMT 09T308-41 özelliklerinde kesici takım kullanılarak yapılmıştır.

Deneylerde Ø30 mm çapında AISI 304 paslanmaz çelik çubuk kullanıldı. Bu çelik çubuklar 90 mm boyunda parçalara ayrılarak pens kafaları ve punta delikleri açılarak işlemeye hazır hale getirildi. Sonra deney numunelerini, farklı bekleme sürelerinde ısıtılma tabi tutularak

işlenebilirliğe kesme hızının etkisini belirlemek için 125 m/dk, 160 m/dk ve 195 m/dk gibi üç farklı kesme hızı seçildi. Yine takım geometrisine ve orta-kaba işlemeye uygun olması için ilerleme miktarları sırasıyla $f=0.2$ mm/dev, $f=0.3$ mm/dev, $f= 0.4$ mm/dev olarak seçilmiş ve paso derinliği olarak da $t=2.5$ mm tercih edilmiştir. Bütün deneyler soğutma sıvısı kullanılmadan yapıldı. Deneylerde kullanılan tüm veriler TSE torna kalemleri ömür deneylerine ve bugüne kadar yapılan ulusal ve uluslararası yayınlara uygun olarak seçilmiş ve işlemler yapılmıştır.



Şekil 6.1 Deneylerde kullanılan kesici takım



Şekil 6.2 Deney numunesi

6.3. Numunelerin ısıtılma alınması

Öncelikle daha homojen bir yapının elde edilmesi için numunelerin 1050°C ’de çözme tavına alınması gerekir. Bu sıcaklıkta bekleme süresi literatürlerde 15-30 mm kalınlık ve çap için 60 dk olduğu için, numuneler 1050°C sıcaklıkta 60 dk bekletilmiştir. Çözünme eğrisi üzerinde yeterli süre tavlama yapıldıktan sonra, parçalar suda hızlı soğutulmuşlardır. Böylece yapıda karbür oluşumu engellenmiş ve oda sıcaklığında aşırı doymuş kristal yapı elde edilmiş olur. Hızlı soğutma sırasında faz dönüşümü olmaz, yani tavlama sıcaklığında östenit olan yapı hızlı soğutma işleminden sonrada östenittir (Karaaslan, 1993). Çözündürme tavından sonraki ölçülen ortalama sertlik değerleri 60,233 HRB’ dir.

Deneyler için hazırlanan ve çözme tavına tabi tutulan aşırı doymuş 36 tane numuneden 27 tanesi 700°C ’de gerilim giderme işlemine tabi tutuldu. Bu 27 tane numuneden 9 tanesi

700 °C’de 30 dk., 9 tanesi de 700 °C’ de 90 dk. ve 9 tanesi de 700 °C’de 240 dk. bekletildikten sonra havada soğutma işlemi yapılarak iç gerginlikleri azaltılmaya çalışılmıştır.

Gerilim giderme ısıtıl işleminden sonra numunelerde yapılan sertlik ölçümlerine göre çıkan sonuçlar Tablo 6.2' de verilmiştir.

Tablo 6.2. Gerilim giderme işleminden sonraki sertlik değerleri

Gerilim giderme sıcaklığı (°C)	Bekleme süresi(dk.)	Sertlik değeri (HRB)
700	30	56,833
700	90	58,333
700	240	57,466

6.4. Metalografik incelemeler

Metalografinin amacı, incelenmesi istenen metal yada alaşımın optik ve elektron mikroskobu kullanılarak yapıları oluşturan, tane, kalıntı ve benzerlerinin tür, büyüklük, biçim ve dağılımlarını tanıyıp, gerektiğinde ölçerek belirleyebilmektir.

Numunelerin metalografik incelemelerini yapmak için öncelikle uygun boyutlarda kesilmesi gerekir. Kesme işleminde dikkat edilmesi gereken iki temel faktör vardır;

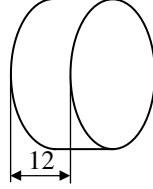
a) Numune alınacak parçada, kesme esnasında oluşan plastik deformasyon, yapıyı yanlış yorumlamaya yol açacak şekilde değiştirilmemelidir.

b) Sürtünmeden oluşan ısı yapıda dönüşümlere yol açmamalı, yüzeyde yanma belirtileri bulunmamalıdır. Yanma olasılığını yok etmek için, yağ kesme işleminde bol su veya suda çözölen yağlar kullanılmalıdır. Bu çalışmada, dokuları incelenen AISI 304 paslanmaz çelik numuneleri soğutma işlemi yapılarak Şekil 6.3’ de göröldüğü gibi kesildi.

Şekil 6.3’deki gibi kesilen numuneler, sırasıyla 80, 400, 800, 1000 ve 1200 meshlik zımparalar kullanılarak zımparalama işlemi yapıldı. zımparalama işleminden sonra 1µm boyutundaki elmas pasta kullanılarak parlatma işlemi yapılmıştır.

Parlatma işleminden sonra numuneler mikroskobik inceleme için hazır duruma geldi. Ancak ışık mikroskobunda oluşan kontrast mikroyapı fazlarını yansıtmak ışığın yansıtmama

güçlerine bağlıdır. Genellikle fazlar arasında bu yönden farklar minimum olduğu için mikroskopta kontrast oluşmaz. Östenitik paslanmaz çelikte oluşan fazları ayırt etmek için mutlaka aralarındaki kontrast farkını belirlemek ve ortaya çıkarmak için genellikle elektro-kimyasal dağlama işlemi kullanılır.



Şekil 6.3 Metalografik muayene numunesi

Dağlamada kullanılan dağlayıcılarla metal, anodik olarak çözünür. Çözünmede amaç, ya fazların kendi aralarında ya da değişik fazlar arasında değişik çözünme hızlarından faydalanarak ışık mikroskobisi için gerekli olan optik kontrastı oluşturmaktır.

Dağlayıcı olarak alkol, saf su ve gliserin gibi sıvılarda ve bunların karışımında eritilmiş organik ve inorganik asitler, alkaliler veya bunların karışık bileşikleri kullanılabilir. Her metal, yapısına ve bileşiğine göre uygun bir dağlayıcı seçildiği sürece iyi sonuç verir.

AISI 304 paslanmaz çeliği numunelerini dağlamak için %50 HNO₃ (Nitrik asit) ve %50 saf su çözeltisi hazırlanmıştır. Dağlama işlemi, dağlayıcı içine batırmak ve içerde öngörülen kimyasal reaksiyon gerçekleşinceye kadar (yaklaşık 15 sn) numuneyi sağa sola hareket ettirerek tutmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Numunelerin reaksiyona geç cevap vermesi, dağlama işleminin birkaç kez tekrarlanmasına neden olmuştur. İşlem sonrası numuneler dağlayıcıdan çıkarılıp su ile yıkanıp ve etil alkol ile temizlendikten sonra hava akımı sağlayan sıcak hava üflecisi (saç kurutma makinesi) ile kurutulduktan sonra mikro yapıya bakmaya hazır hale getirildi.

6.4.1. Mikroskop

Numunelere uygulanan ısıtılımlar sonucunda, numunelerin mikroyapısını görmek ve mikroyapı fotoğraflarını çekmek için 1000 büyötmeye kadar çıkabilme özelliğine sahip optik mikroskop kullanılmıştır.

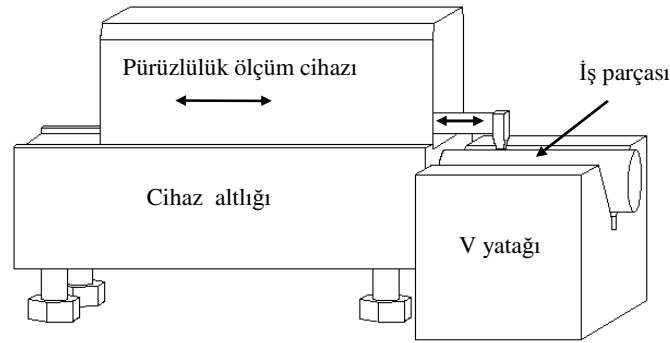
6.4.2. Takım aşınması ve talaş sıvanması ölçümü

Takımdaki aşınma tiplerini görmek ve sağlıklı bir ölçüm yapabilmek için, Erciyes Üniversitesindeki Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezindeki LEO 440 bilgisayar

kontrollü Taramalı elektron mikroskobu (SEM) laboratuvarından alınan analizler kullanılarak belirlenmiştir.

6.5. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Tornalama işlemleri bittikten sonra yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi için Surftest 211 modelli Mitutoyo marka ölçüm cihazı kullanıldı. Cihaz dijital göstergeli ve mekanik iğne özelliğine sahiptir. Cihazın pürüzlülük ölçüm hassasiyeti Ra cinsinden 0,05 – 40 μm , Rz cinsinden ise 0,3 – 160 μm ve Ry cinsinden de 0,3 – 160 μm arasındadır. Ölçme işlemi, cihazın iğnesinin işleme çizgilerine dik yönde hareket ettirilmesi ile gerçekleştirildi. Cihazın ölçme uzunluğu her bir bölge için 25 mm'ye karşılık gelmektedir. Ölçme işleminde her bir numune için üç bölgeden alınan pürüzlülük değerlerinin ortalaması alınarak ortalama bir pürüzlülük değeri hesaplandı. Sağlıklı ölçüm yapılabilmesi için Şekil 6.4'de görüldüğü gibi pürüzlülük ölçüm cihazına uygun düzenek hazırlandı.

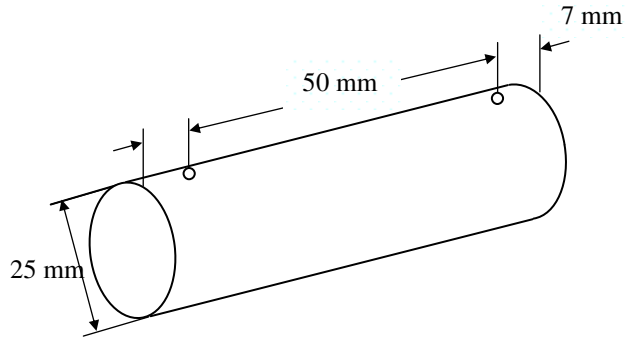


Şekil 6.4 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı düzeni

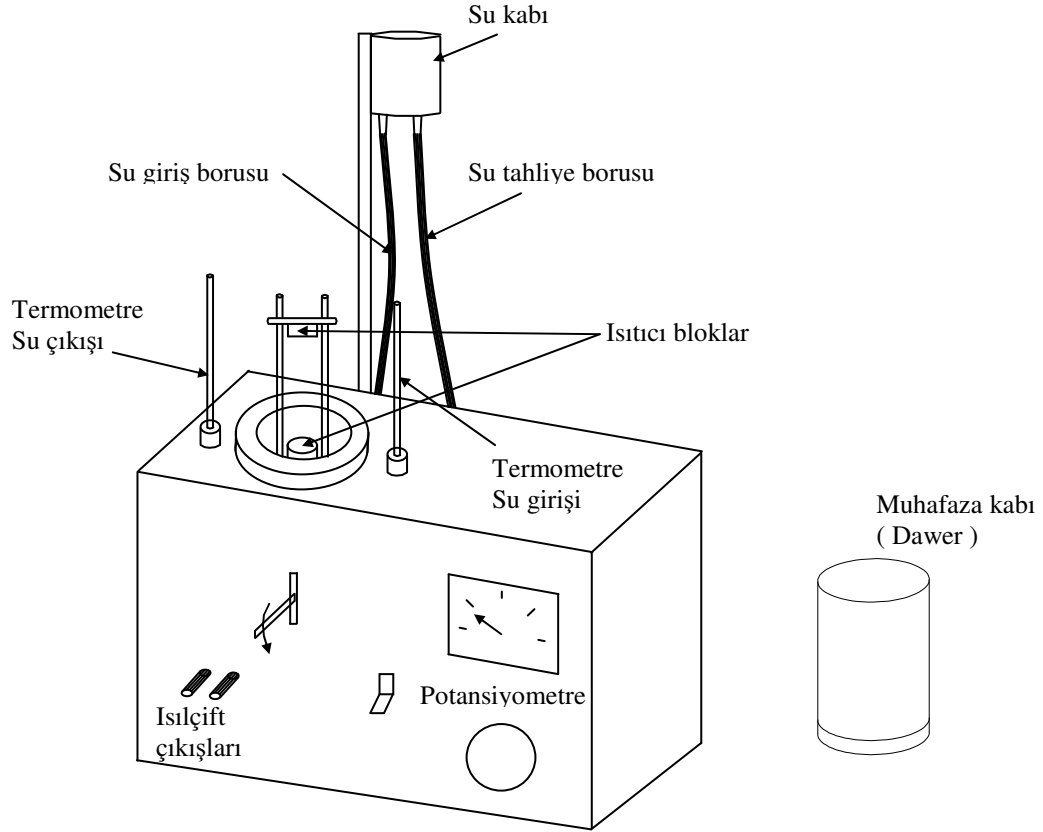
6.6. Isıl iletkenlik ölçümü

Isıl iletkenlik deneyi, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü laboratuvarındaki Termal İletkenlik Ölçüm Cihazı ile yapılmıştır (Şekil 6.6). Deneylere başlamadan önce cihazı üreten firmanın cihazla birlikte gönderdiği ısıl iletkenlikleri bilinen bakır ve çelik malzemelerle cihazın kalibrasyonu yapıldı. Kalibrasyon işlemi tamamlandıktan sonra önceden özel olarak Şekil 6.5'deki boyutlara getirilen, alınları parlatılan numunelerin ve ısıtıcı blokların birbirine yapışacak olan yüzeyleri uçuculuğu kuvvetli olan kloroform çözeltisi ile temizlenerek kirden arındırıldı. Daha sonra ısıtıcı blokların ve numunelerin alınlara uçucu olmayan iletken bir akışkan (gres yağı) sürüldü. Malzemeler, alınları birbirine tam yapışacak şekilde ısıtıcı blok ve kalorimetre arasına yerleştirildi. Metallere açılmış olan deliklere

termoçiftler yerleştirildi. Termoçift çıkışları potansiyometre ölçüm cihazına bağlandı ve metal çubuklar Dawer kabı ile kapatılarak ısı kontrolü 110 V ayarlandı (Şekil 6.6).



Şekil 6.5 Isıl iletkenlik ölçümü deney numunesi



Şekil 6.6 Isıl iletkenlik ölçümü deney düzeneği

Termal iletkenlik aparatının üzerinde yer alan ve özel sızdırmazlığa sahip olan bağlantı deliklerine, suyun giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmek için termometreler yerleştirildi (sağ taraf su girişi, sol taraf su çıkışı). Cihazın üzerindeki su çıkış hortumu alete, tankın ve aletin içindeki suyun boşaltılmasını sağlayan hortumlar da aletin arkasındaki çıkış bağlantısına bağlandı ve su açıldı. Aletin arkasındaki su çıkış bağlantısı üzerindeki klips valf ile aletten çıkan suyun debisi ayarlanarak, suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark 4-8 °C olması sağlandı. Sonra

deneye başlanarak sıcaklık ölçümleri yapılmaya başlandı. Yapılan sıcaklık ölçümlerinin ortalamaları, çıkan suyun debisi ve suyun giriş-çıkış sıcaklıkları arasındaki farklar bulunarak aşağıdaki formülde yerine konarak ısı iletkenlik katsayıları hesaplandı.

$$k = \frac{j.M.(W_2 - W_1).L}{A.t.(T_2 - T_1)} \quad \text{Buradan;}$$

k : Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)

j : Dönüştürme faktörü (4186 j/KCal)

M : Suyun kütlesi (kg)

L : Termoçiftler arasındaki mesafe (m)

A : Malzemenin kesit alanı (m²)

W₂ : Suyun çıkış sıcaklığı (°C)

W₁ : Suyun giriş sıcaklığı (°C)

T₂ : Malzemenin giriş sıcaklığı (°C)

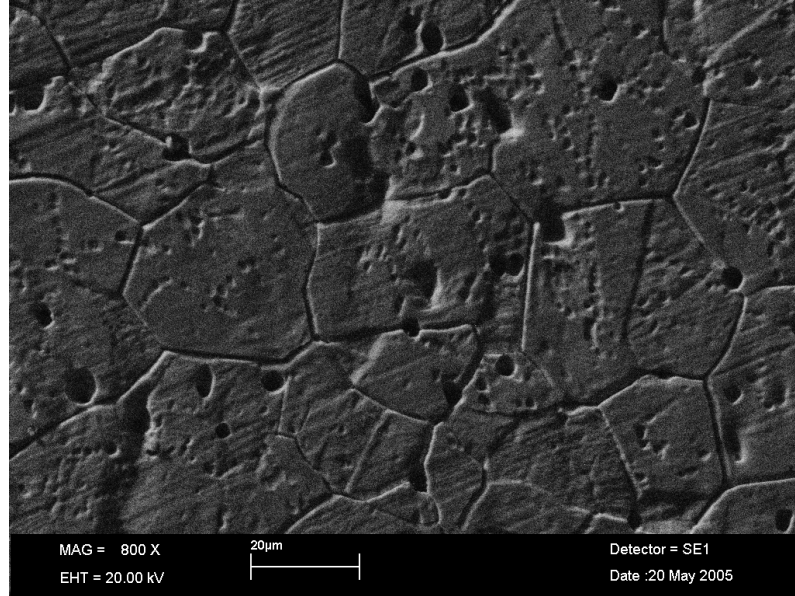
T₁ : Malzemenin çıkış sıcaklığı (°C)

t : Suyun kütlesini ölçerken geçen süre (sn)

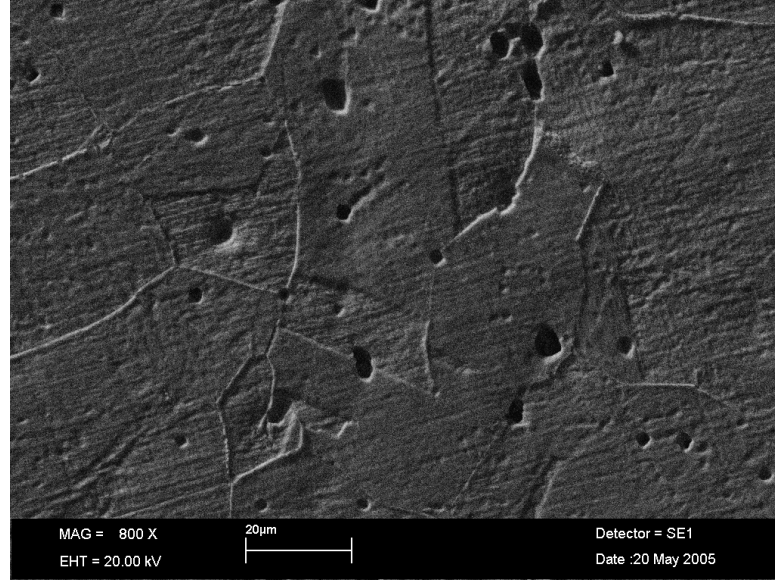
7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1. Metalografik sonuçlar

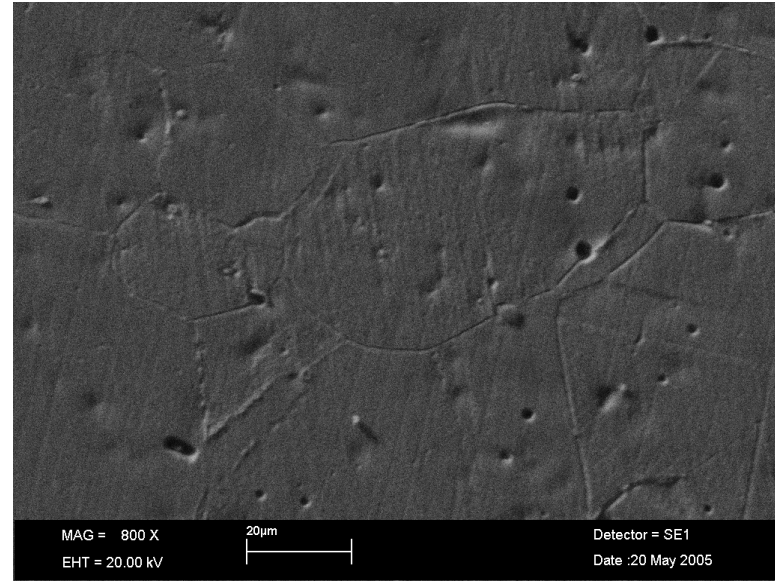
Bu çalışmada asıl amaç, işlenebilirliği zor olan AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğini, farklı bekleme sürelerinde ısıtılma işlemine tabi tutarak, ısıtılma işleminin işlenebilirliğe olan etkisi araştırmaktır. Farklı bekleme sürelerinde yapılan ısıtılma işlemleri sonucunda 304 östenitik paslanmaz çeliklerin sertliklerinde pek bir değişim olmamış, ancak bu ısıtılma işleminin işlenebilirliğe olumlu yönde etki yaptığı gözlemlenmiştir. Yapılan ısıtılma işlemleri sonucunda 304 östenitik paslanmaz çeliğinin mikro yapısına ait SEM fotoğrafları Şekil 7.1-Şekil 7.3’de görülmektedir. Bu şekillerden de görüleceği gibi yapı tamamen östenitiktir.



Şekil 7.1 1050 °C’de 1 saat tavlaniıp suda ani soğutulduktan sonra 700 °C’de 30 dk bekletilmiş AISI 304 ‘ün yapısı



Şekil 7.2 1050 °C’de 1 saat tavlaniş suda ani soğutulduktan sonra 700 °C’de 90 dk bekletilmiş AISI 304 ‘ün yapısı



Şekil 7.3 1050 °C’de 1 saat tavlaniş suda ani soğutulduktan sonra 700 °C’de 4 saat bekletilmiş AISI 304 ‘ün yapısı

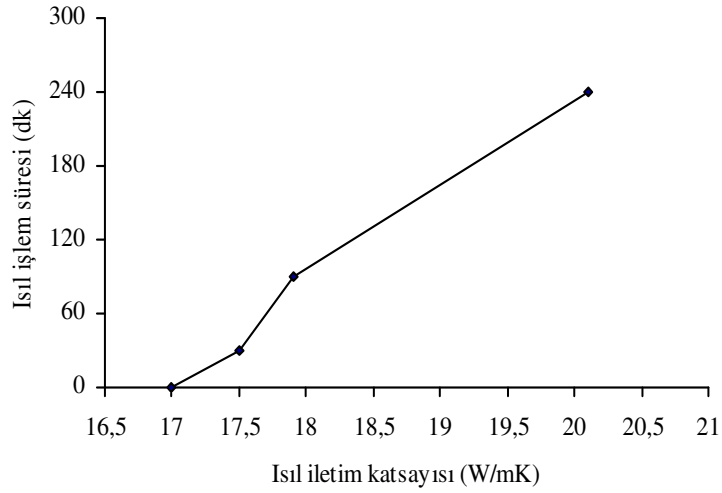
7.2. Malzemelerin ısı iletkenlik sonuçları

Isıl işleme tabi tutulan AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerinin ısı iletkenlik (thermal conductivity) katsayıları Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1. Isıl işleme tabi tutulan numunelerin ısı iletim katsayıları

Yapılan ısı işlem	Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)
1050°C’de ısı işlem görmüş	17,00
700 °C’de 30 dk.	17,50
700 °C’de 90 dk.	17,90
700 °C’de 240 dk	20,1

Bilindiği gibi yüksek ısı iletkenlik, talaş kaldırma esnasında oluşan ısının süratli bir şekilde kesme bölgesinden uzaklaştırılması demektir. Dolayısı ile işlenebilirlikle ısı iletkenlik arasında doğru bir orantı vardır. Yani ısı iletkenlik katsayısının artması ile işlenebilirlik artmaktadır. Yapılan ısı iletkenlik ölçümleri sonucuna göre Şekil 7.4’den de görüldüğü gibi 700 °C’de 240 dk ısı işleme tabi tutulan numunede ısı iletim katsayısı diğerlerine nazaran biraz daha yüksek çıkmıştır. Bu da işlenebilirliğe olumlu yönde etki yapmıştır. Yapılan ısı işleme ısı iletkenliğın artmasının sebepleri olarak su verme sonucundaki gerilmelerin azalması ve malzeme içindeki muhtemel hataların daha homojen dağılımı düşünülmektedir.



Şekil 7.4 Deney numunelerin ısı iletkenlik katsayılarının ısı işlem süresine bağı olarak değı şimi

7.3. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları

7.3.1. Kesme hızı ve yüzey pürüzlülüğü ilişkisi

Şekil 7.5’den Şekil 7.8’e kadar olan grafiklerde yüzey pürüzlülüğünün (R_a), kesme hızına bağlı olarak değişimleri gösterilmektedir.

Yapılan işlemler sonucunda iyi bir yüzey kalitesinin elde edilmesi, kesme hızı, kesme kuvveti, ilerleme miktarı, tezgahın rijitliği, işlenen malzemenin boyutu ve malzeme özellikleri gibi bir çok etkene bağlıdır. Bu etkenler içerisinde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktör kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak da kesme kuvvetidir. Teorik olarak kesme hızının artması ile kesme kuvveti azalır. Kesme kuvvetindeki azalma da daha az titreşim dolayısı ile daha iyi bir yüzey kalitesine sebep olur.

İş parçası yüzey pürüzlülüğü grafikleri incelendiğinde, bütün iş parçası malzemelerinde yüzey pürüzlülüğü, kesme hızının artması ile azalmıştır. Ayrıca ilerleme miktarının artması ile de yüzey pürüzlülük değerinde artış meydana gelmiştir. 195 m/dk’ya kadar artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğünün azalması kesici kenarda talaş sıvanma (BUE) eğiliminin azalması ile açıklanabilir.

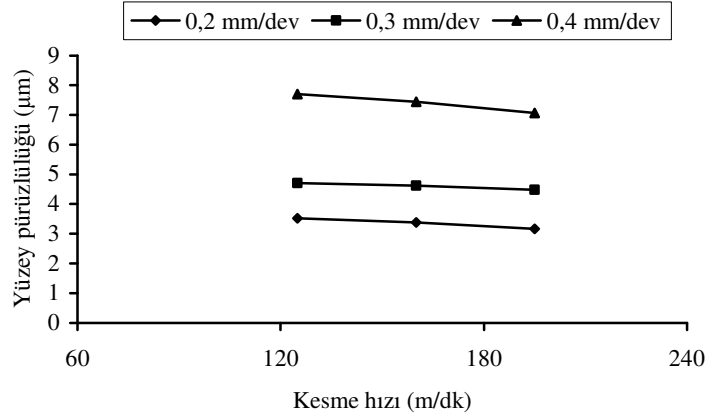
Ayrıca yapılan işlemler sonucunda bütün kesme hızı ve ilerlemeler de elde edilen en düşük yüzey pürüzlülüğü sonuçları 700 °C’de 4 saat bekletilen numunelerde elde edilmiştir. Bunun muhtemel sebebi de, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğini 700 °C’ye ısıtmak ve bu sıcaklıkta 4 saat beklemek malzemenin iç gerginliğini ve yapı hatalarını azaltmış buda ısı iletim katsayısının artmasına sebep olmuştur (Şekil 7.4). Bu ise işlenebilirliğe olumlu yönde etki yapmıştır.

Grafikler incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülüğü sonuçları, esas numunede (1050 °C’de 1 saat çözüldürme tavına alınmış) 195 m/dk kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerlemede 3,16 μm , 700 °C’de 30 dk ısıt işlemlendirilen numunelerde 195 m/dk kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerlemede 2,98 μm , 700 °C’de 90 dk ısıt işlemlendirilen numunelerde 195 m/dk kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerlemede 2,76 μm ve 700 °C’de 240 dk ısıt işlemlendirilen numunelerde de 195 m/dk kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerlemede 2,046 μm olarak elde edilmiştir.

Sonuç olarak, yapılan bu çalışmada ısıt işlemin bekleme süresine bağlı olarak AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin işlenebilirliğine olumlu yöne katkı yaptığı ve bu çalışma için ideal kesme şartları, 0,2 mm/dev ilerleme ve 195 m/dk kesme hızı olarak belirlenmiştir.

Tablo 7.2. 1050 °C’de 1 saat çözündürme tavına alınmış ve su verilmiş numunelerin kesme hızına bağlı olan pürüzlülük değerleri.

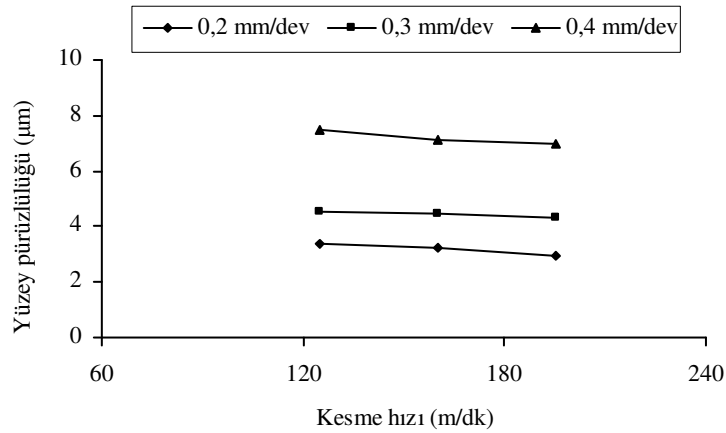
	0,2 mm/dev	0,3 mm/dev	0,4 mm/dev
Kesme hızı (m/dk)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)
125	3,52	4,706	7,696
160	3,38	4,62	7,44
195	3,16	4,48	7,066



Şekil 7.5 a=2,5 mm talaş derinliğinde, kesme hızına bağlı olan yüzey pürüzlülük değişimi

Tablo 7.3. 1050 °C’de 1 saat çözündürme tavına alınmış daha sonra 700 °C’de 30 dk. ısıtılma işlemine tabi tutulmuş numunelerin kesme hızına bağlı olan pürüzlülük değerleri.

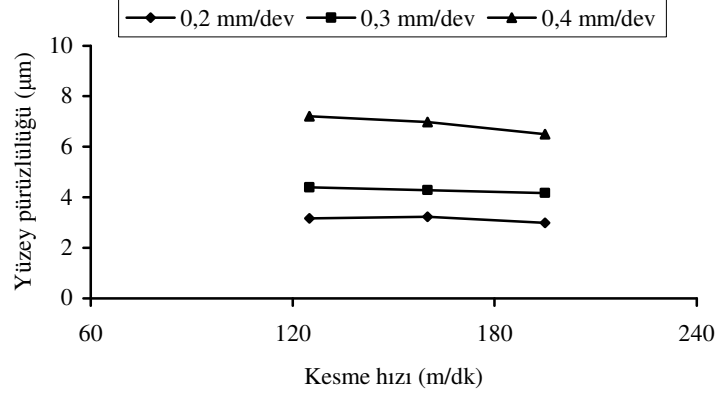
	0,2 mm/dev	0,3 mm/dev	0,4 mm/dev
Kesme hızı (m/dk)	Yüzey pürüzlülüğü (μm)	Yüzey pürüzlülüğü (μm)	Yüzey pürüzlülüğü (μm)
125	3,38	4,52	7,486
160	3,22	4,45	7,106
195	2,98	4,3	6,962



Şekil 7.6 a=2,5 mm talaş derinliğinde, kesme hızına bağlı olan yüzey pürüzlülük değişimi.

Tablo 7.4. 1050 °C’de 1 saat çözündürme tavına alınmış daha sonra 700 °C’de 90 dk. ısıtılma işlemine tabi tutulmuş numunelerin kesme hızına bağlı olan pürüzlülük değerleri.

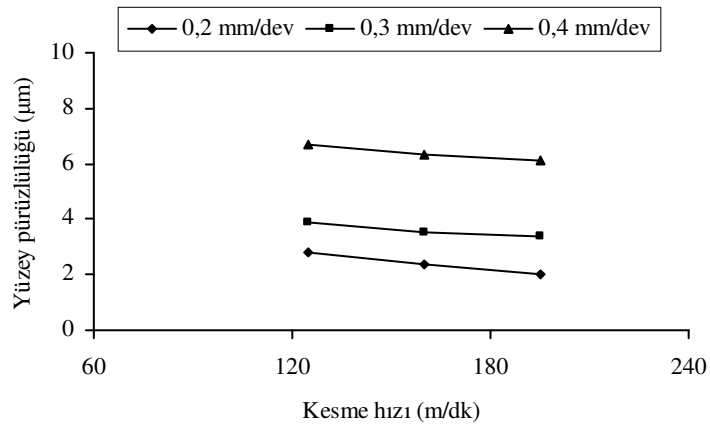
	0,2 mm/dev	0,3 mm/dev	0,4 mm/dev
Kesme hızı (m/dk)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)
125	3,16	4,4	7,203
160	3,02	4,28	6,98
195	2,91	4,176	6,503



Şekil 7.7 a=2,5 mm talaş derinliğinde, kesme hızına bağlı olan yüzey pürüzlülük değişimi

Tablo 7.5. 1050 °C’de 1 saat çözündürme tavına alınmış daha sonra 700 °C’de 4 saat ısıtılma işlemine tabi tutulmuş numunelerin kesme hızına bağlı olan pürüzlülük değerleri.

	0,2 mm/dev	0,3 mm/dev	0,4 mm/dev
Kesme hızı (m/dk)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)
125	2,783	3,88	6,698
160	2,374	3,52	6,303
195	2,046	3,35	6,096



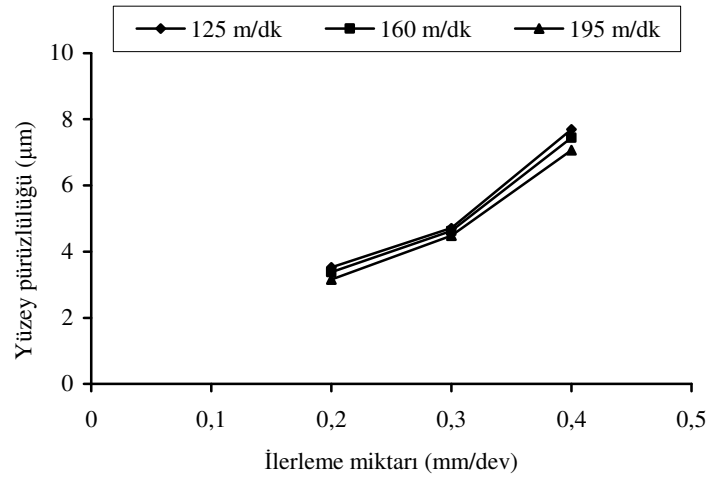
Şekil 7.8 a=2,5 mm talaş derinliğinde, kesme hızına bağlı olan yüzey pürüzlülük değişimi

7.3.2. İlerleme miktarı ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki

İlerleme miktarı ile yüzey pürüzlülüğü arasında doğru bir orantı vardır. Şekillerden de (Şekil 7.9-Şekil 7.12) anlaşılabacağı gibi ilerleme miktarının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinde artma meydana gelmiştir. Bütün numuneler içerisinde en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri orijinal numunelerde, 0,4 mm/dev ilerleme miktarında 7,696 μm olarak elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri ise 700 °C’de 4 saat ısıtılma işlemine tabi tutulan numunelerde, 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 2,046 μm olarak elde edilmiştir.

Tablo 7.6. 1050 °C’de 1 saat çözündürme tavına alınmış ve su verilmiş numunelerin ilerleme miktarına bağlı olan pürüzlülük değerleri.

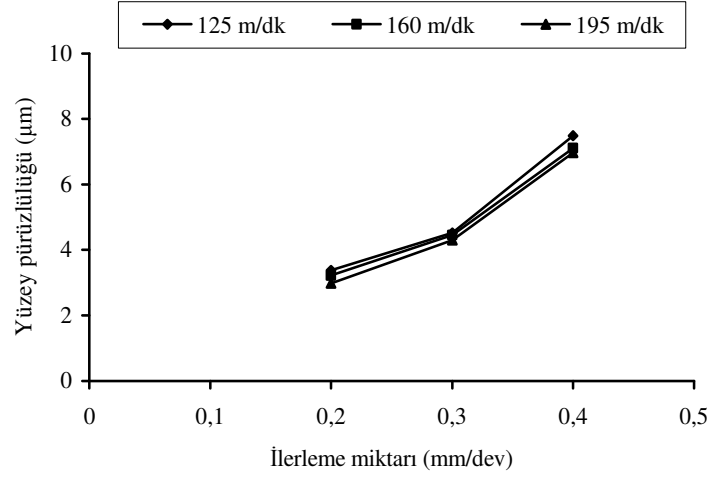
	125 m/dk	160 m/dk	195 m/dk
İlerleme (mm/dev)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)
0,2	3,52	3,38	3,16
0,3	4,706	4,62	4,48
0,4	7,696	7,44	7,066



Şekil 7.9 a=2,5 mm talaş derinliğinde, ilerleme miktarına bağlı olan yüzey pürüzlülük değişimi

Tablo 7.7. 1050 °C’de 1 saat çözündürme tavına alınmış daha sonra 700 °C’de 30 dk. ısıtılma işlemine tabi tutulmuş numunelerin ilerleme miktarına bağlı olan pürüzlülük değerleri.

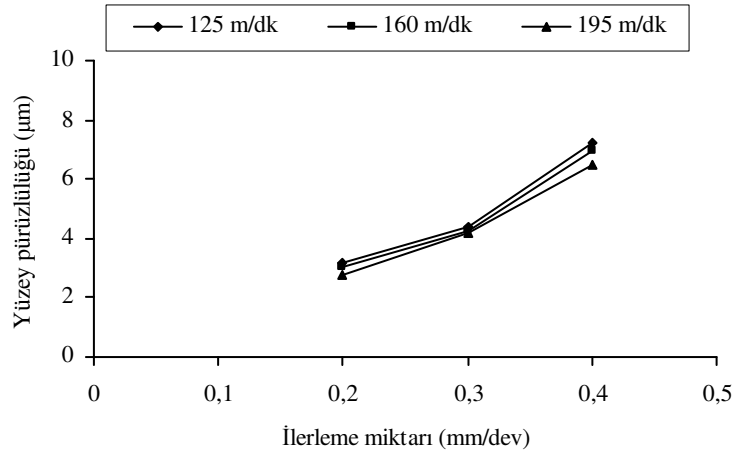
	125 m/dk	160 m/dk	195 m/dk
İlerleme (mm/dev)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)
0,2	3,38	3,22	2,98
0,3	4,52	4,45	4,3
0,4	7,486	7,106	6,962



Şekil 7.10 a=2,5 mm talaş derinliğinde, ilerleme miktarına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi

Tablo 7.8. 1050 °C’de 1 saat çözündürme tavına alınmış daha sonra 700 °C’de 90 dk. ısıtılma işlemine tabi tutulmuş numunelerin ilerleme miktarına bağlı olan pürüzlülük değerleri.

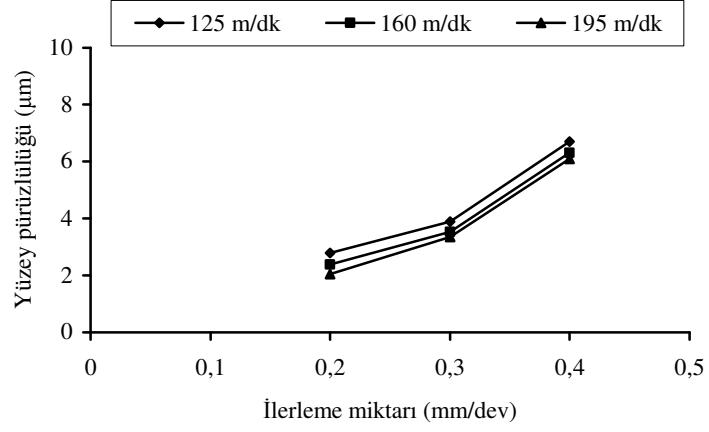
	125 m/dk	160 m/dk	195 m/dk
İlerleme (mm/dev)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)
0,2	3,16	3,06	2,76
0,3	4,4	4,28	4,176
0,4	7,203	6,98	6,503



Şekil 7.11 a=2,5 mm talaş derinliğinde, ilerleme miktarına bağlı olan yüzey pürüzlülük değişimi

Tablo 7.9. 1050 °C’de 1 saat çözündürme tavına alınmış daha sonra 700 °C’de 4 saat ısıtılma işlemine tabi tutulmuş numunelerin ilerleme miktarına bağlı olan pürüzlülük değerleri.

	125 m/dk	160 m/dk	195 m/dk
İlerleme (mm/dev)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)
0,2	2,783	2,374	2,046
0,3	3,88	3,52	3,35
0,4	6,698	6,303	6,096



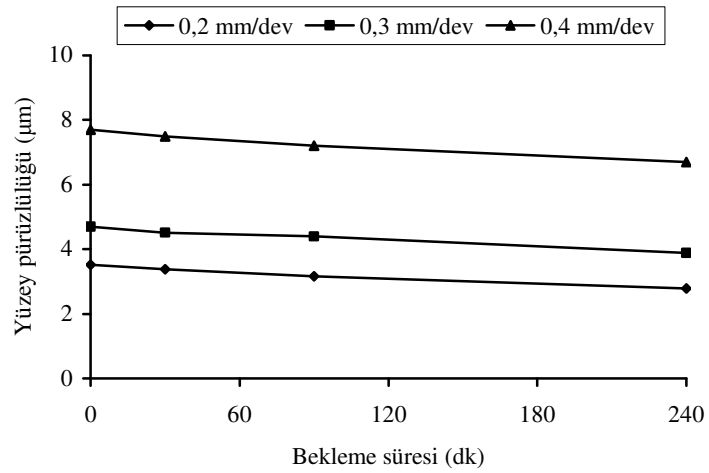
Şekil 7.12 a=2,5 mm talaş derinliğinde, ilerleme miktarına bağlı yüzey pürüzlülük değişimi

7.3.3. Bekleme süresi ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki

Grafikler incelendiğinde bekleme süresinin artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülecektir. Bekleme süresinin artması ile muhtemelen yapı içerisindeki gerilimler ve yapı hataları gittikçe azalmış buda işlenebilirliğe dolayısı ile yüzey pürüzlülüğüne olumlu yönde etki yapmıştır.

Tablo 7.10. Farklı sürelerde ısıtılma tabi tutulmuş numunelerin 125 m/dk kesme hızındaki pürüzlülük değerleri

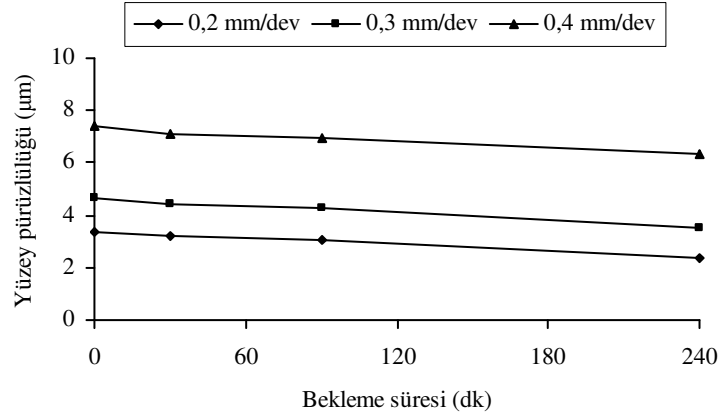
	0,2 mm/dev	0,3 mm/dev	0,4 mm/dev
Bekleme süresi (dk)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)
0 (çözündürme tava)	3,52	4,706	7,696
30	3,38	4,52	7,486
90	3,16	4,4	7,203
240	2,783	3,88	6,698



Şekil 7.13 125 m/dk. kesme hızındaki pürüzlülük değerleri değişimi

Tablo 7.11. Farklı sürelerde ısıtılma tabi tutulmuş numunelerin 160 m/dk kesme hızındaki pürüzlülük değerleri

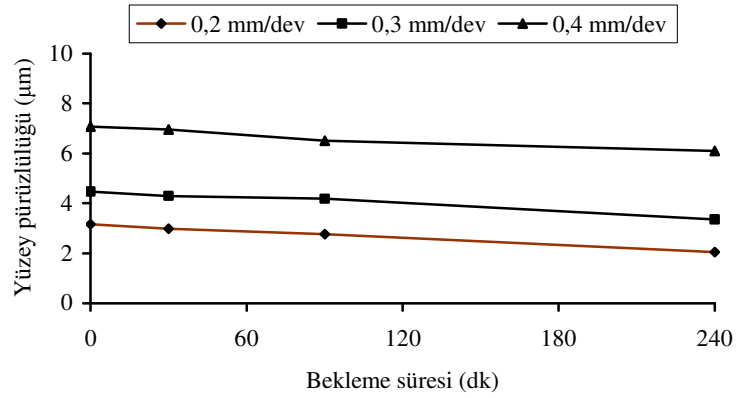
	0,2 mm/dev	0,3 mm/dev	0,4 mm/dev
Bekleme süresi (dk)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)
0 (çözündürme tavı)	3,38	4,62	7,44
30	3,22	4,45	7,106
90	3,06	4,28	6,98
240	2,374	3,52	6,303



Şekil 7.14 160 m/dk. kesme hızındaki pürüzlülük değerleri değişimi

Tablo 7.12. Farklı sürelerde ısıtılma tabi tutulmuş numunelerin 195 m/dk kesme hızındaki pürüzlülük değerleri

	0,2 mm/dev	0,3 mm/dev	0,4 mm/dev
Bekleme süresi (dk)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)
0 (çözündürme tavı)	3,16	4,48	7,066
30	2,98	4,3	6,962
90	2,76	4,176	6,503
240	2,04	3,35	6,096



Şekil 7.15 195 m/dk. kesme hızındaki pürüzlülük değerleri değişimi

7.4. Takım aşınması ve talaş yığılması (BUE) sonuçları

Takım aşınması ile kesme hızı birbiri ile doğrudan ilişkilidir ve normalde kesme hızının artması ile yanak aşınması mekanizması hızlanmaktadır. Takım yanak aşınması (V_B) değerinin ve kesici kenardaki sıvanmanın belirlenmesi ve sağlıklı bir ölçüm yapılabilmesi için takımların SEM fotoğrafları çekilmiş ve ölçümler yapılmıştır. Çekilen SEM fotoğrafları incelendiğinde (Şekil 7.24- Şekil 7.27) takım aşınmasından ziyade kesici kenarda talaş yığılmasının (sıvanma) olduğu görülmüştür.

Östenitik paslanmaz çelikler, yüksek krom ve nikel muhtevassından dolayı diğer karbonlu ve alaşımlı çeliklerden daha yüksek süneklığe ve daha düşük ısı iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle talaş kaldırmak için gerekli olan yüksek enerji, talaşla birlikte iş parçasından uzaklaşmak yerine kesme bölgesinde hapsolur. Kesme bölgesinde oluşan ısı arttıkça iş parçası ve kesici üzerindeki aşınma mekanizmalarını da hızlandırır. Sıcak talaşlar iş parçasından uzaklaşırken kesiciyi aşındırarak kendisiyle birlikte zerrecikler koparır. Buda takımın kısa sürede aşınmasına ve dolayısı ile kötü bir yüzey kalitesine sebep olur. Ancak yapılan deneyler esnasında gözlemlenen önemli bir olayda kesme işleminden sonra kesme bölgesinde oluşan ısının çok fazla olmayışıdır. Yapılan bu gözlemden sonra numunelerin ısı iletkenlik katsayıları ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda bekleme sürelerine bağılı olarak numunelerin ısı iletkenlik katsayılarının (Şekil 7.4) arttığı belirlenmiştir. Buradan da şu anlaşıyor ki yapılan ısı işlemin işlenebilirliğe dolayısı ile talaş sıvanmasına ve takım aşınmasına olumlu yönde etkisi olmuştur.

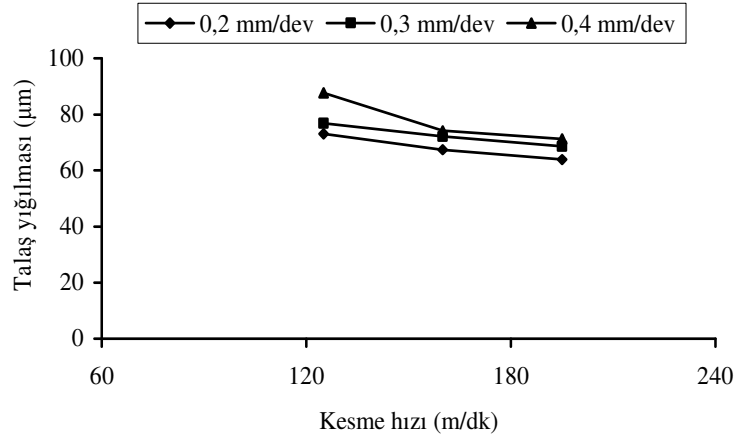
Dört numunede de yapılan işlemler sonucunda en düşük sıvanma 700 °C’de 4 saat bekletilen numunelerde elde edildiği görülmüştür. Bunun sebebi de yapılan işlemler sonucunda bekleme süresine bağılı olarak malzemenin iç gerginliğinin ve yapı hatalarının azalması sonucu daha homojen bir yapının oluşması ve ısı iletim katsayısının kısmende olsa artması olarak yorumlanabilir. Grafiklerden de anlaşılaçağı gibi en düşük talaş sıvanması sonuçları, 1050 °C’de 1 saat çözündürme tavına alınmış ve su verilmiş numunelerde 195 m/dk kesme hızı ve 0,2 mm/dev ilerlemede 63,838 µm, 700 °C’de 30 dk. ısı ıslendiren numunelerde 195 m/dk kesme hızı ve 0,2 mm/dev’de 62,718 µm, 700 °C’de 90 dk. ısı ıslendiren numunelerde 195 m/dk kesme hızı ve 0,2 mm/dev’de 60,995 µm ve 700 °C’de 240 dk ısı ıslendiren numunelerde ise 195 m/dk kesme hızı ve 0,2 mm/dev’de 55,985 µm olarak belirlenmiştir. Tüm numunelerde işleme şartları sonucunda kesici kenarda oluşan talaş yığılması Şekil 7.16 - Şekil 7.19’da görülmektedir.

7.4.1. Kesme hızı ve talaş yığılması ilişkisi

Kesme hızının artması ile grafiklerden de anlaşılacağı gibi kesici kenardaki talaş yığılması azalmaktadır. Kesme hızının artması, kesme bölgesindeki sıcaklığın artmasına sebep olarak kesici kenarda katmanlar halinde oluşan talaşları yumuşatır ve onların bir akma bölgesine dönüşmesine sebep olarak talaş yığılmasını (BUE) engeller. Aynı zamanda sıcaklığın artması BUE'nin dayanımını (δ) da azaltır. Bundan dolayıdır ki, sünek ve sıvanmaya eğilimli olan östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde nispeten yüksek kesme hızı seçilmelidir. Şekil 7.24'den Şekil 7.27'ye kadar olan resimlerde BUE oluşumunun kesme hızına bağlı olarak değişimi görülebilir. Bu çalışmada en düşük sıvanma değeri, 700 °C'de 4 saat ısıtılmasına tabi tutulmuş numunelerde ve 195 m/dk kesme hızında elde edilmiştir.

Tablo 7.13. 1050 °C'de 1 saat çözündürme tavına alınmış ve su verilmiş numunelerin kesme hızına bağlı olan talaş yığılması değerleri.

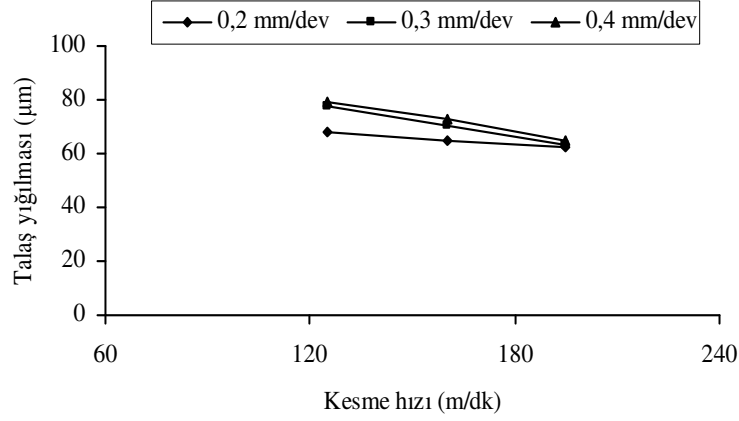
	0,2 mm/dev	0,3 mm/dev	0,4 mm/dev
Kesme hızı (m/dk)	Talaş yığılması (μm)	Talaş yığılması (μm)	Talaş yığılması (μm)
125	73,023	76,85	87,64
160	67,34	72,138	74,214
195	63,838	68,56	71,24



Şekil 7.16 a=2,5 mm talaş derinliğinde, kesme hızına bağlı olan talaş yığılması değişimi

Tablo 7.14. 1050 °C’de 1 saat çözündürme tavına alınmış daha sonra 700 °C’de 30 dk. ısıtılma işlemine tabi tutulmuş numunelerin kesme hızına bağlı olan talaş yığılması değerleri.

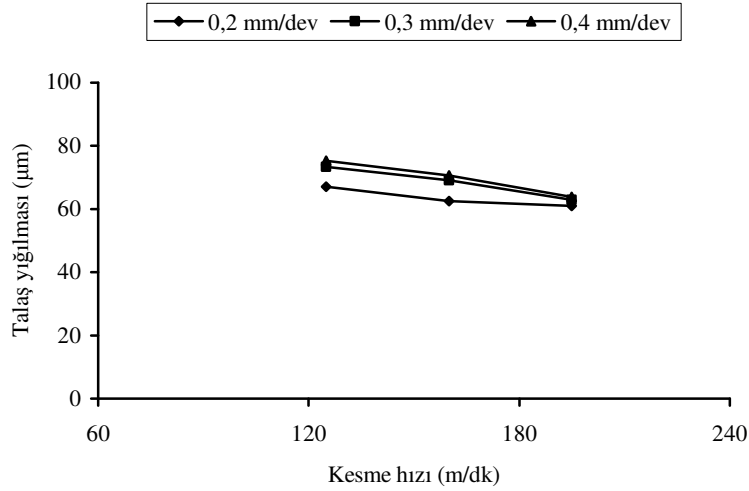
	0,2 mm/dev	0,3 mm/dev	0,4 mm/dev
Kesme hızı (m/dk)	Talaş yığılması (μm)	Talaş yığılması (μm)	Talaş yığılması (μm)
125	68,385	77,618	78,823
160	64,896	70,716	72,88
195	62,718	63,297	65,199



Şekil 7.17 a=2,5 mm talaş derinliğinde, kesme hızına bağlı olan talaş yığılması değişimi

Tablo 7.15. 1050 °C’de 1 saat çözündürme tavına alınmış daha sonra 700 °C’de 90 dk. ısıtılma işlemine tabi tutulmuş numunelerin kesme hızına bağlı olan talaş yığılması değerleri.

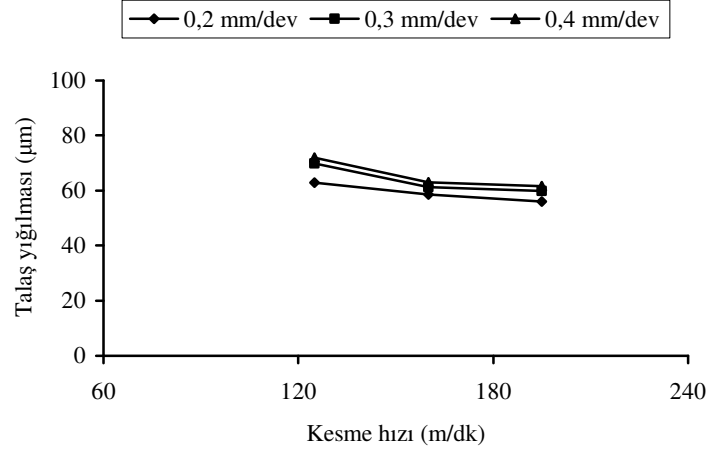
	0,2 mm/dev	0,3 mm/dev	0,4 mm/dev
Kesme hızı (m/dk)	Talaş yığılması (μm)	Talaş yığılması (μm)	Talaş yığılması (μm)
125	67,028	73,329	75,26
160	62,483	69,044	70,605
195	60,995	62,95	63,858



Şekil 7.18 a=2,5 mm talaş derinliğinde, kesme hızına bağlı olan talaş yığılması değişimi

Tablo 7.16. 1050 °C’de 1 saat çözündürme tavına alınmış daha sonra 700 °C’de 4 saat ısıtılma işlemine tabi tutulmuş numunelerin ilerleme miktarına bağlı olan talaş yığılması değerleri.

	0,2 mm/dev	0,3 mm/dev	0,4 mm/dev
Kesme hızı (m/dk)	Talaş yığılması (μm)	Talaş yığılması (μm)	Talaş yığılması (μm)
125	62,827	69,801	71,869
160	58,532	61,235	62,955
195	55,985	59,83	61,62



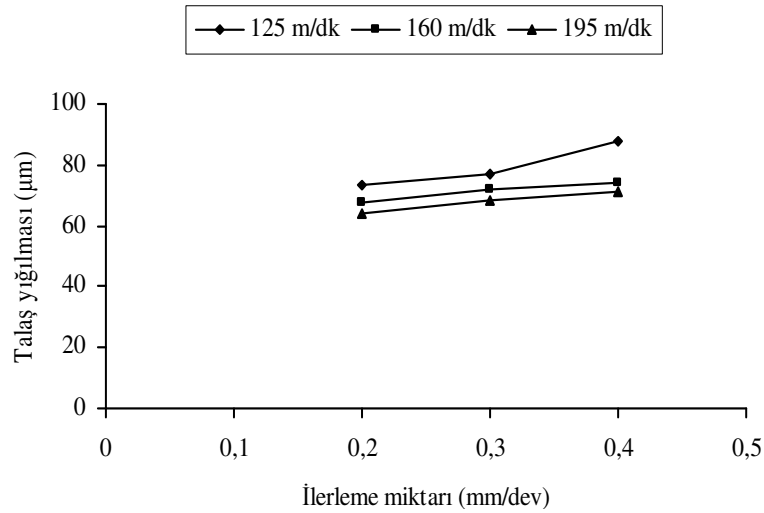
Şekil 7.19 a=2,5 mm talaş derinliğinde, kesme hızına bağlı olan talaş yığılması değişimi

7.4.2. İlerleme miktarı ve talaş yığılması ilişkisi

Şekil 7.20-Şekil 7.23'e kadar olan grafikler incelendiğinde, ilerleme miktarının küçülmesi ile sıvanmanın azaldığı görülecektir. İlerleme miktarının düşürülmesi ile kesme basıncı azalmış buda BUE oluşumunu azaltmıştır. En düşük sıvanma değeri 700 °C'de 4 saat ısıtılma tabi tutulan numunelerde ve 0,2 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir.

Tablo 7.17. 1050 °C'de 1 saat çözündürme tavına alınmış ve su verilmiş numunelerin ilerleme miktarına bağlı olan talaş yığılması değerleri.

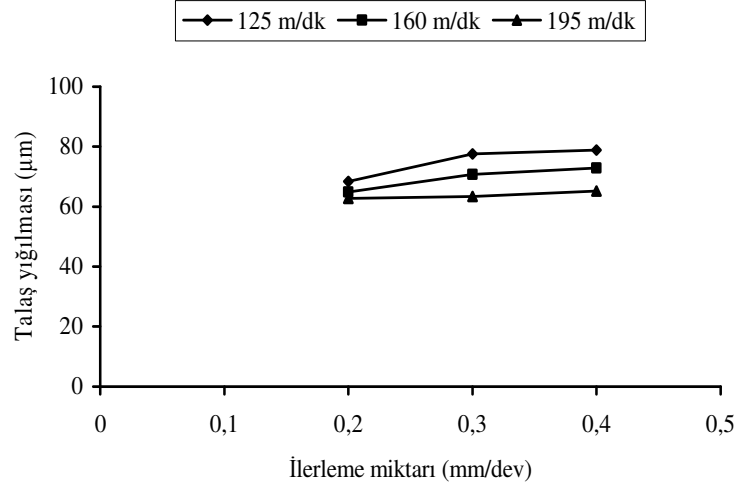
	125 m/dk	160 m/dk	195 m/dk
İlerleme miktarı (mm/dev)	Talaş yığılması (μm)	Talaş yığılması (μm)	Talaş yığılması (μm)
0,2	73,023	67,34	63,838
0,3	76,85	72,138	68,56
0,4	87,64	74,214	71,24



Şekil 7.20 a=2,5 mm talaş derinliğinde, ilerleme miktarına bağlı olan talaş yığılması değişimi

Tablo 7.18. 1050 °C’de 1 saat çözündürme tavına alınmış daha sonra 700 °C’de 30 dk. ısıtılma işlemine tabi tutulmuş numunelerin ilerleme miktarına bağlı olan talaş yığılması değerleri.

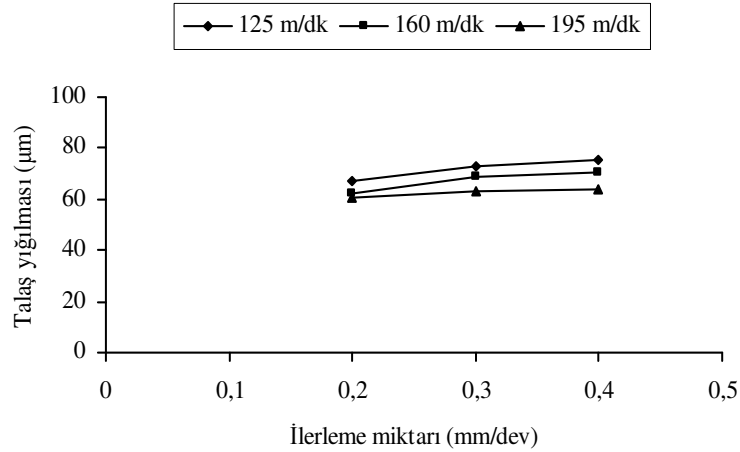
	125 m/dk	160 m/dk	195 m/dk
İlerleme miktarı (mm/dev)	Talaş yığılması (μm)	Talaş yığılması (μm)	Talaş yığılması (μm)
0,2	68,385	64,896	62,718
0,3	77,618	70,716	63,297
0,4	78,823	72,88	65,199



Şekil 7.21 a=2,5 mm talaş derinliğinde, ilerleme miktarına bağlı olan talaş yığılması değişimi

Tablo 7.19. 1050 °C’de 1 saat çözündürme tavına alınmış daha sonra 700 °C’de 90 dk. ısıtılma işlemine tabi tutulmuş numunelerin ilerleme miktarına bağlı olan talaş yığılması değerleri.

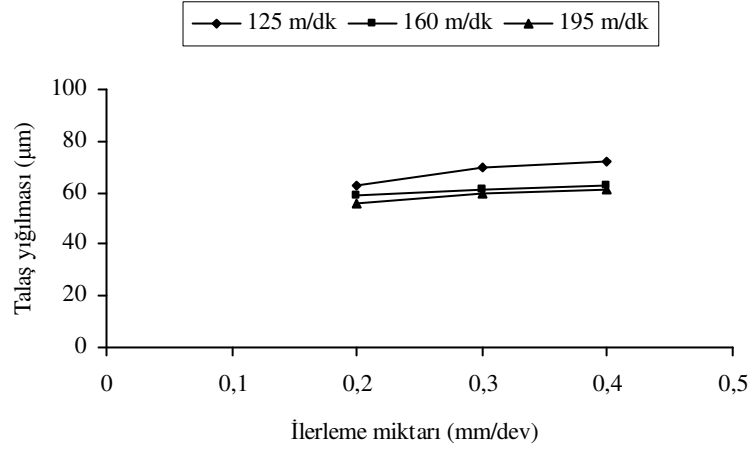
	125 m/dk	160 m/dk	195 m/dk
İlerleme miktarı (mm/dev)	Talaş yığılması (μm)	Talaş yığılması (μm)	Talaş yığılması (μm)
0,2	67,028	62,483	60,995
0,3	73,329	69,044	62,95
0,4	75,26	70,605	63,858



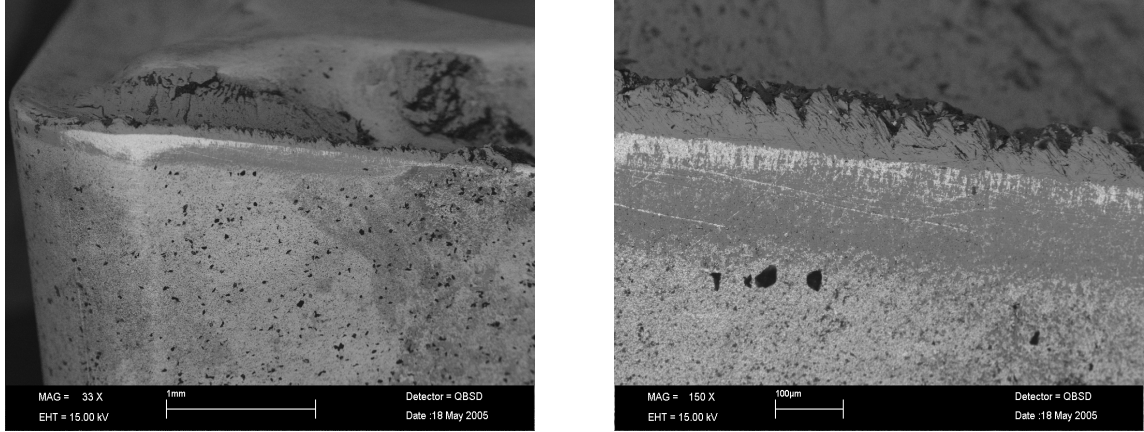
Şekil 7.22 a=2,5 mm talaş derinliğinde, ilerleme miktarına bağlı olan talaş yığılması değişimi

Tablo 7.20. 1050 °C’de 1 saat çözündürme tavına alınmış daha sonra 700 °C’de 4 saat ısıtılma işlemine tabi tutulmuş numunelerin ilerleme miktarına bağlı olan talaş yığılması değerleri.

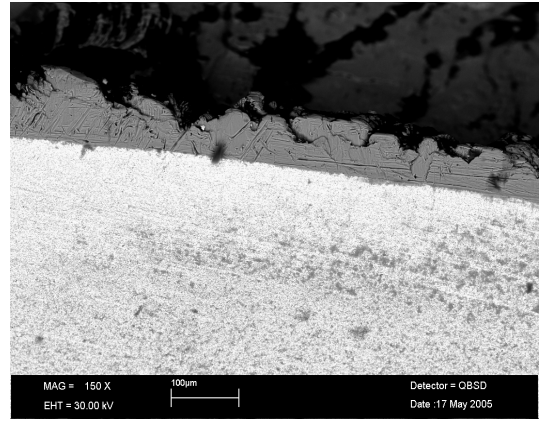
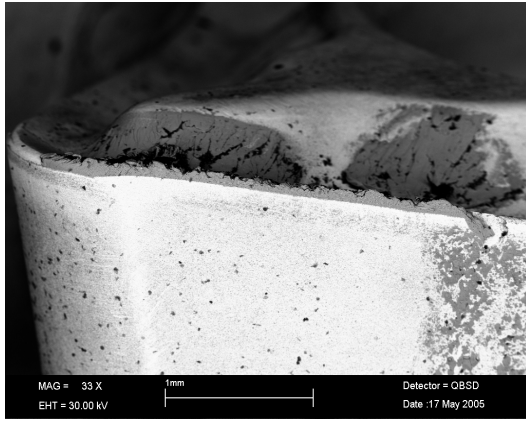
	125 m/dk	160 m/dk	195 m/dk
İlerleme miktarı (mm/dev)	Talaş yığılması (μm)	Talaş yığılması (μm)	Talaş yığılması (μm)
0,2	62,827	58,538	55,985
0,3	69,801	61,235	59,83
0,4	71,869	62,955	61,62



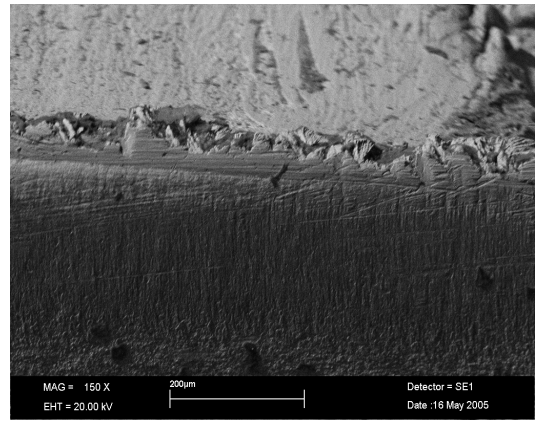
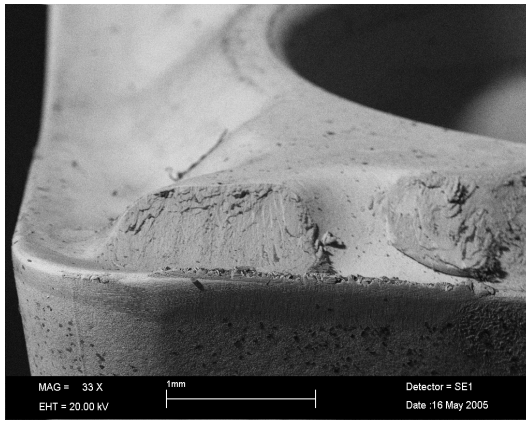
Şekil 7.23 a=2,5 mm talaş derinliğinde, ilerleme miktarına bağlı olan talaş yığılması değişimi



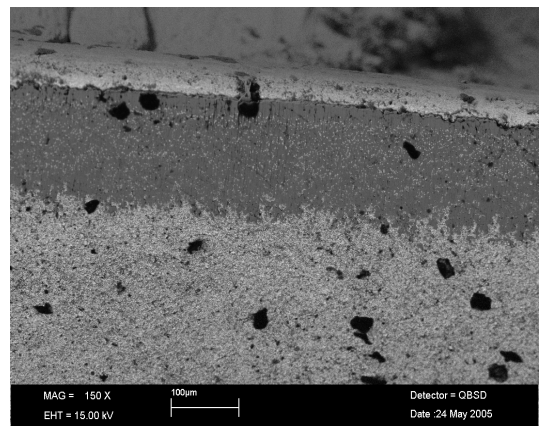
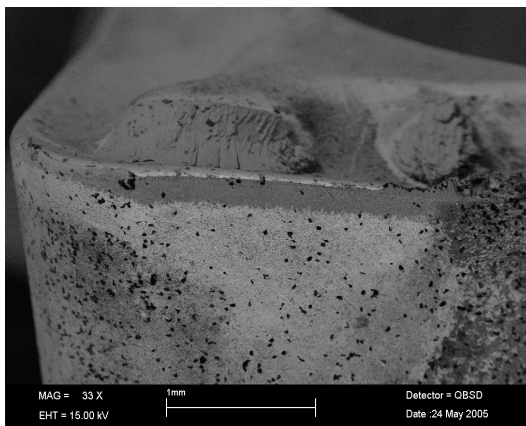
Şekil 7.24 1050 °C’de 1 saat çözündürme tavına alınmış ve su verilmiş numunelerin işlenmesi sonrasında kesici ağzın görüntüsü (V=125 m/dk, f=0,2 mm/dev)



Şekil 7.25 700 °C’de 30 dk. ısıtılma tabi tutulan numunenin işlenmesi sonrasında kesici ağzın görüntüsü (V=160 m/dk, f=0,3 mm/dev)



Şekil 7.26 700 °C’de 90 dk. ısıtılma tabi tutulan numunenin işlenmesi sonrasında kesici ağzın görüntüsü (V=195 m/dk, f=0,3 mm/dev)



Şekil 7.27 700 °C’de 240 dk. ısıtılma tabi tutulan numunenin işlenmesi sonrasında kesici ağzın görüntüsü (V=195 m/dk, f=0,2 mm/dev)

7.5. Tornalama işlemi sonucunda elde edilen talaş şekilleri

Talaş oluşumunda en büyük paya iş parçası malzemesi sahiptir. Bunun yanı sıra kesme parametreleri de talaş biçimi ve boyutlarını doğrudan etkilemektedir. Özellikle talaş derinliği, kesme hızı ve ilerleme değerleri etkileyen temel faktörlerdir. Fotoğraflardan da anlaşılabileceği gibi genel itibari ile ısıtma işlemi tabi tutulan bütün numunelerde ilerleme miktarının artması ile, iş parçasından ayrılan talaşların kıvrılma yarı çapları daha da düşerek kısa parçalar halinde talaşlar oluşmuştur. Yine kesme hızının artması ile de çıkan talaşların kıvrılma yarı çaplarında az da olsa bir artış olmuştur (Şekil 7.28- Şekil 7.29).



125 m/dk, 0,2 mm/dev, 2,5 mm



125 m/dk, 0,3 mm/dev, 2,5 mm



125 m/dk, 0,4 mm/dev, 2,5 mm



160 m/dk, 0,2 mm/dev, 2,5 mm



160 m/dk, 0,3 mm/dev, 2,5 mm



160 m/dk, 0,4 mm/dev, 2,5 mm



195 m/dk, 0,2 mm/dev, 2,5 mm



195 m/dk, 0,3 mm/dev, 2,5 mm



195 m/dk, 0,4 mm/dev, 2,5 mm

Şekil 7.28 1050 °C'de 1 saat çözündürme ısıtılmasına alınmış ve su verilmiş numunelerin talaşları



125 m/dk, 0,2 mm/dev, 2,5 mm



125 m/dk, 0,3 mm/dev, 2,5 mm



125 m/dk, 0,4 mm/dev, 2,5 mm



160 m/dk, 0,2 mm/dev, 2,5 mm



160 m/dk, 0,3 mm/dev, 2,5 mm



160 m/dk, 0,4 mm/dev, 2,5 mm



195 m/dk, 0,2 mm/dev, 2,5 mm



195 m/dk, 0,3 mm/dev, 2,5 mm



195 m/dk, 0,4 mm/dev, 2,5 mm

Şekil 7.29 700 °C'de 30 dk ısıtılendirenlen numunelerden elde edilen talaşlar



125 m/dk, 0,2 mm/dev, 2,5 mm



125 m/dk, 0,3 mm/dev, 2,5 mm



125 m/dk, 0,4 mm/dev, 2,5 mm



160 m/dk, 0,2 mm/dev, 2,5 mm



160 m/dk, 0,3 mm/dev, 2,5 mm



160 m/dk, 0,4 mm/dev, 2,5 mm



195 m/dk, 0,2 mm/dev, 2,5 mm



195 m/dk, 0,3 mm/dev, 2,5 mm



195 m/dk, 0,4 mm/dev, 2,5 mm

Şekil 7.30 700 °C'de 90 dk ısıtıl işlemlendirilen numunelerden elde edilen talaşlar



125 m/dk, 0,2 mm/dev, 2,5 mm



125 m/dk, 0,3 mm/dev, 2,5 mm



125 m/dk, 0,4 mm/dev, 2,5 mm



160 m/dk, 0,2 mm/dev, 2,5 mm



160 m/dk, 0,3 mm/dev, 2,5 mm



160 m/dk, 0,4 mm/dev, 2,5 mm



195 m/dk, 0,2 mm/dev, 2,5 mm



195 m/dk, 0,3 mm/dev, 2,5 mm



195 m/dk, 0,4 mm/dev, 2,5 mm

Şekil 7.31 700 °C’de 4 saat ısıtıl işlemlendirilen numunelerden elde edilen talaşlar

8. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, normal şartlar altında işlenebilirliği zor olan AISI 304 paslanmaz çeliği farklı bekleme sürelerinde ısıtılma işlemi tabi tutularak ısıtılma işleminin bu çeliğin işlenebilirliğine etkisi üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır.

Buna göre elde edilen sonuçlar ana hatlarıyla aşağıda verilmiştir;

1. Yapılan ısıtılma işlemi sonucunda, bu çalışmadaki bekleme sürelerinde (30 dk, 90 dk, ve 240 dk) 304 östenitik paslanmaz çeliğinde ısıtılma işleminin işlenebilirliğe olumlu etki yaptığı tespit edildi.
2. Bu çalışmadaki en düşük yüzey pürüzlülük değerleri ve talaş yığılması değerleri 700 °C'de 4 saat ısıtılma işlemi tabi tutulan numunelerde elde edildi.
3. Kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün düştüğü ve talaş yığılmasının azaldığı tespit edildi.
4. ısıtılma işlemi tabi tutulan numunelerde yapılan ısıtılma iletkenlik ölçümleri sonucunda bekleme süresine bağlı olarak ısıtılma iletkenlik katsayılarında bir artışın meydana geldiği tespit edildi.
5. ısıtılma iletkenlik ölçüm sonuçlarına göre en yüksek ısıtılma iletkenlik değerinin, 700 °C'de 4 saat ısıtılma işlemi tabi tutulan numunelerde, en düşük ısıtılma iletkenlik değerinin ise 1050 °C'de çözündürme tavına tabi tutulan numunelerde elde edildi.
6. İlerleme miktarının artması ile kesme bölgesindeki kesme kuvvetinin artmasından dolayı yüzey pürüzlülüğünü ve talaş sıvanmasını olumsuz etkilediği, bu çalışma için ideal ilerleme miktarının 0,2 mm/dev olduğu tespit edildi.
7. Kesme hızının artması ile talaşın kıvrılma yarıçapı az da olsa büyümüş, ilerleme miktarının artması ile de kıvrılma yarıçapı oldukça azalmıştır.

9. KAYNAKLAR

- Kahraman, N., Gülenç, B., Akça, H., “Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çelik ile Düşük Karbonlu Çeliğin Mekanik Özellikler”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 17, No 2, 75-85, 2002.
- Tekiner, Z., Yeşilyurt, S., “Investigation of Cutting Parameters Depending on Process Sound during Turning of AISI 304 Austenitic Stainless Steel”, *Materials and Design* 25 (2004) 507-513.
- Korkut, İ., Kasap, M., Çiftçi, İ., Şeker, U., “Determination of Optimum Cutting Parameters during Machining of AISI 304 Austenitic Stainless Steel”, *Materials and Design* 25 (2004) 303-305.
- O’sullivan, D., Cotterell, M., “Machinability of Austenitic Stainless Steel SS303”, *Journal of Materials Processing Technology* 124 (2002) 153–159.
- Akasawa, T., Sakurai, H., Nakamura, M., Tanaka, T., Takano, K., “Effects of Free-Cutting Additives on the Machinability of Austenitic Stainless Steels”, *Journal of Materials Processing Technology* 143–144 (2003) 66–71.
- Issartel, C., Buscail, H., Caudron, E., Cuff, R., Riffard, F., El Messki, S., Perrier, S., Jacquet, P., Lambertin, M., “Nitridation Effect on the Oxidation of a Austenitic Stainless Steel AISI 304 at 900 °C”, *Applied Surface Science* xxx (2003) xxx–xxx.
- Bregliozzi, G., Di Schino, A., Kenny, J.M. , Haefke, H., “The Influence of Atmospheric Humidity and Grain Size on the Friction and Wear of AISI 304 Austenitic Stainless Steel”, *Materials Letters* 57 (2003) 4505– 4508.
- Hunter, A., Ferry, M., “Phase Formation During Solidification of AISI 304 Austenitic Stainless Steel”, *Scripta Materialia* 46 (2002) 253-258.
- Reynolds, A. P., Tang, W., Gnaupel-Herold, T., PRASK, H., “Structure, Properties and Residual Stress of 304L Stainless Steel Friction Stir Welds”, *Scripta Materialia* 48 (2003)1289-1294.
- Wasnik, D. N., Dey, G. K., Kain, V., Samajdar, I., “Precipitation Stages in a 316L Austenitic Stainless Steel”, *Scripta Materialia* 49 (2003)135-141.
- Isaac Samuel, E., Choudhary, B.K., Bhanu Sankara Rao, K., “Influence of Temperature and Strain Rate on Tensile Work Hardening Behaviour of Type 316 LN Austenitic Stainless Steel”, *Scripta Materialia* 46 (2002) 507-512.
- Çiftçi, İ., 2005, “Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenmesinde Kesici Takım Kaplamasının ve Kesme Hızının Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 20, No 2, 205-209.

- Fujita, N., Ohmura, K., Yamamoto, A., “Changes of Microstructures And High Temperature Properties During High Temperature Service of Niobium Added Ferritic Stainless Steels”, Materials Science and Engineering A351 (2003) 272-281.
- Aksoy, M., Yılmaz, O., Korkut, M.H., “The Effect of Strong Carbide-Forming Elements on the Adhesive Wear Resistance of Ferritic Stainless Steel”, Wear 249 (2001) 639–646.
- Toro, A., Misiolek, W.Z., Tschiptschin, A.P., “Correlations Between Microstructure and Surface Properties in a High Nitrogen Martensitic Stainless Steel”, Acta Materialia 51 (2003) 3363–3374.
- Dubey, J.S., Wadekar, S.L., Chakravartty, J.K., “Elevated Temperature Fracture Toughness of AISI 403 Martensitic Stainless Steel”, Journal of Nuclear Materials 254 (1998) 271–274.
- Balan, K. P., Venugopal Reddy, A. and Sarma, D. S., “Austenite Precipitation During Tempering in 16Cr-2Ni Martensitic Stainless Steels”, PII S1359-6462 (98) 00267-X.
- Garcia De Andrés, C., Caruana, G., Alvarez, L.F., “Control of $M_{23}C_6$ Carbides in 0.45C–13Cr Martensitic Stainless Steel by means of Three Representative Heat Treatment Parameters”, Materials Science and Engineering A241 (1998) 211–215.
- Paro, J., Hänninen, H., Kauppinen, V., “Tool Wear and Machinability of X5 CrMnN 18 18 Stainless Steels”, Journal of Materials Processing Technology 119 (2001) 14-20.
- Cardoso, P.H.S., Kwietniewski, C., Porto, J.P., Reguly, A., Strohaecker, T.R., “The Influence of Delta Ferrite in the AISI 416 Stainless Steel Hot Workability”, Materials Science and Engineering A351 (2003) 1-8.
- Özek, C., Savaş, V., 2004, “CNC Torna Tezgahlarında Takım Aşınmasına Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi”, Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi, 1000-1008.
- Özek, C., Savaş, V., 2004, “CNC Torna Tezgahlarında Takım-İş Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Sıcaklığın Takım Ömrü Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması”, Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi, 610-617.
- Erdoğan, M., “Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri”, 2. baskı, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara, 2000.
- Tekin, A. “Çeliklerin Metalurjik Dizaynı”, Doyuran Matbaası, İstanbul, 1981.
- Kasap, M., 2001, “ AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğine En Uygun Kesme Parametrelerinin ve İşleme Şartlarının Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi,.
- TS 10329, 1992, “ Torna Kalemleri Ömür Deneyleri ”, Türk Standartları Enstitüsü.
- Kılıçkap, E., 2003, “Al Si7 Mg2/SiCp Metal Matrisli Kompozitlerin Talaşlı İşlenmesinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Fırat Üniv.

- Karaaslan, A., 1993, "AISI 304 Kalite Paslanmaz Çeliğinde Çökelmenin Etkileri", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniv.
- Dinler, S., 1993, "Talaş Kaldırmada Takım Aşınması ve Takım Ömrü", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniv.
- Yılmaz, N., Yalçın, B., Özsoy, A., 2004, "Kesici Takımlarda Aşınma ve Takım Performansı İyileştirme Yöntemleri", Süleyman Demirel Üniversitesi, Tek. Eğt. Fak. Mak. Böl., 32260, Isparta.
- www.odevsitesi.com
- Şeker, U., 2004, "Takım Tasarımı Ders Notları", Gazi Üniv., Tek. Eğt. Fak., Makine Eğt. Böl., Ankara.
- Karaca, F., 2004, "CNC Torna Tezgahında Talaş Kaldırma Esnasında Takım Ucunda Meydana Gelen Isının Deneysel Olarak Araştırılması", Fırat Üniv., Tek. Eğt. Fak., Makine Eğt. Böl., Elazığ.
- C.Y.H. Lim., P.P.T. Lau, S.C. Lim, "The Effects of Work Material on Tool Wear", Wear 250 (2001) 344–348
- Özler, L., 1998, "Östenitik Manganlı Çeliğin sıcak Talaşlı İşlenmesinde Kalem Ömrünün Teorik ve Deneysel Olarak Araştırılması", Fırat Üniv., Müh. Fak., Makine Müh. Böl., Elazığ.
- Şahin, Y., 2001, "Talaş Kaldırma Prensipleri 1-2", Nobel Yayın Dağıtım. Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Vedat TAŞDEMİR, 01.01.1981 tarihinde Ağrı'nın Taşlıçay ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Aydın'da tamamladı. 1999 yılında Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Talaşlı Üretim Öğretmenliğinde Lisans öğrenimine başladı ve 2003 yılında Teknik Eğitim Fakültesi birincisi olarak mezun oldu. Mezuniyetini izleyen dönemde Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Bölümünde Yüksek Lisan'sa başladı.