

# DIN 1.2311 ve 1.2738 KALIP ÇELİKLERİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİ

Mehmet SÜZGÜNOL, Yunus KAYIR<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine İmalat Mühendisliği Bölümü  
Tel: 0-312-2028678 [ykayir@gazi.edu.tr](mailto:ykayir@gazi.edu.tr) ANKARA/TÜRKİYE

## Özet

Günümüzde hacim kalıp sanayisi sürekli kendini yenilemektedir. Bu gelişmelere paralel olarak sektörde kullanılan kalıp çelikleri de değişmektedir. Hacim kalıplarının yapım maliyetlerinin yüksek olması malzeme seçimini önemli kılmaktadır. DIN 1.2311 ve DIN 1.2738 hacim kalıp çelikleri, plastik hacim kalıpçılığında yaygın olarak kullanılan malzemelerdir.

Bu makalede, DIN 1.2311 ve 1.2738 hacim kalıp çelikleri ile ilgili günümüze kadar yapılan işlenebilirlik çalışmaları incelenmiştir. Ulaşılabilen çalışmalar, kullanılan yöntemler, kesici ve kesme parametreleri, elde edilen sonuçlar şeklinde kendi içinde tasnif edilerek tek tek ele alınmıştır.

Yapılan incelemelerin sonucunda, işlenebilirlik çalışmalarında yüksek hızlarda frezeleme yönteminin ağırlıklı olarak kullanıldığı, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğünün araştırıldığı saptanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Hacim kalıp çelikleri, DIN 1.2311, DIN 1.2738, İşlenebilirlik

## 1.Giriş

Birçok alanda kullanım olanağı bulan plastik malzemeler, metallerle ve seramiklerle rekabet edebilen önemli mühendislik malzemeleri haline gelmiştir. Isıl ve elektriksel yalıtımı, dayanım/hafiflik oranının yüksekliği, kimyasal aşınmaya yüksek dayanımı, düşük maliyetli üretim gibi özelliklere sahip olan plastikler ambalaj sanayinden uçak endüstrisine, tıbbi cihazlardan mutfak gereçlerine çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [1]. Plastik kalıp çelikleri, plastiklerin başta enjeksiyon, ekstrüzyon, şişirme ve çeşitli presleme teknikleriyle şekillendirilmesinde kullanılan takım çelikleridir. Çizelge 1'de çok kullanılan bazı plastik kalıp çelikleri ve uluslar arası standartlarındaki karşılıkları verilmiştir. Bu çelikler Impax ve Holdax çelikleri olarak da adlandırılmaktadır.

Çizelge 1. Hacim kalıbı çelikleri ve uluslararası standartlardaki karşılıkları

SIRA	AISI	DIN
1	P20+Ni	1.2738
2	P20+S	1.2312
3	P20	1.2311
4	420SS	1.2083
5	420	1.2316

Kalıp yapımında çelik malzeme seçiminin önemi büyüktür. Kalıp çeliklerinin seçilmesinde, kullanılacak olan plastik hammaddesinin, sadece sertlikleri, korozyon direnci gibi özelliklerin göz önüne alınması doğru değildir. Kalıp çeliklerinin seçilmesinde, kimyasal etkileşmeye dayanıklılık, yüzey sertleştirilmesi ve işlenebilirlik özelliklerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Bununla birlikte, kalıbın tasarım boyutları, yüzey parlatılabilirliği, kaynak edilebilirliği gibi parametreler de ön planda tutulmalıdır. Artan kalıp ölçüleri, daha yüksek tokluk ihtiyacı, doğurmaktadır. Dolayısı ile uygulanacak ısıl işlemler, sertleşmede deformasyon problemlerini (çarpılma, çatlama, vb.) meydana getirebilmektedir. Bu nedenlerden ötürü piyasada bulunan ön sertleştirilmiş kalıp çeliklerinin bulunması bir avantajdır. Ön

sertleştirilmiş malzemelerden AISI P20+Ni (1.2738) ve AISI P20 (1.2311) 30-35 HRC aralığında fabrikasyon sertliğine sahiptir. Bu çelikler, belirtilen sertliklerde kolayca işlenebilmekte ve nitrüleme yapılarak kalıp yüzeyleri sertleştirilebilmektedir.

Kalıplardaki hatalı işleme, değişiklik veya tamirat gibi gerekçelerle kalıpların kaynak edilebilirliği son dönemde oldukça önemli bir hale gelmiştir. Özellikle Impax plastik kalıp çeliklerinin (DIN 1.2311) kaynak edilebilirliği aynı bileşimde hazırlanmış kaynak elektrotları sayesinde oldukça iyidir. Bu malzemelerin kaynak sonrası yüzey kalitelerinde bir bozulma da olmamaktadır. Ancak, kaynak öncesi

kalıp çeliğinin ön ısıtmaya tabi tutulması gerektiği unutulmamalıdır. Çizelge 2'de 1.2311 ve 1.2738 çeliğin kimyasal özellikleri gösterilmiştir. [2].

Çizelge 2. DIN 1.2311 ve DIN 1.2738 çeliğinin kimyasal içeriği

Çelik Türü	%					
	Cr	Mn	Ni	Mo	C	Si
DIN 1.2311	1.90	1.50	0.0	0.20	0.40	0.20
DIN 1.2738	1.90	1.50	1.00	0.20	0.40	0.30

DIN 1.2311 çeliği yüksek tokluğa ve iyi aşınma direncine sahip, 1.2312 çeliğine göre daha iyi parlayabilen ve daha yüksek aşınma dayanımı gösteren (Çizelge 3'te çeliklerin sıcaklık karşısındaki fiziksel özellikleri verilmiştir), ısıtma işlemi gerektirmeyen (Çizelge 4'te de uygulanabilen ısıtma işlemleri verilmiştir), kolay işlenebilen ve parlatılabilen, aşınma direncini artırmak için nitrasyon yapılabilen, sertleştirilebilen ve menevişlenebilen kalıp çeliğidir. Yüzey dağlaması, kaynak ve desenleme yapılmaya, krom ve nikel kaplanmaya uygundur. DIN 1.2738 çeliği ise yüzeyinden merkezine (çekirdeğine) mükemmel bir sertlik dengesi gösteren, nitrasyona ve krom kaplamaya müsait, parlatılabilirliği iyi olan plastik kalıp çeliğidir.

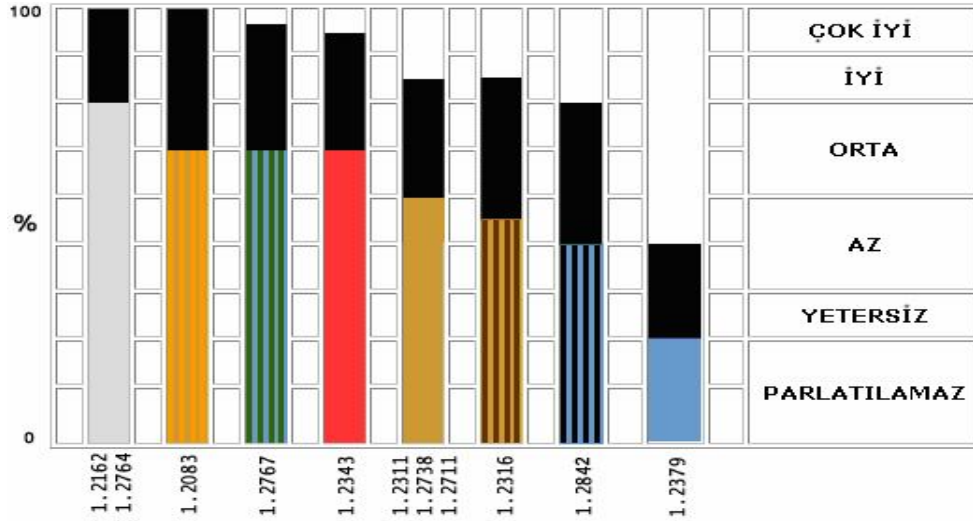
Çizelge 3. DIN 1.2311 ve DIN 1.2738 çeliğinin fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikleri	DIN 1.2311			DIN 1.2738		
	Sıcaklık			Sıcaklık		
	20 <sup>o</sup>	400 <sup>o</sup>	600 <sup>o</sup>	20 <sup>o</sup>	400 <sup>o</sup>	600 <sup>o</sup>
Elastik Modülü (kN/mm <sup>2</sup> )	210	196	177	210	196	177
Termal Genleşme Katsayısı(10 <sup>-6</sup> /K)		12.6	14.4		12.7	14.3
Isıl İletkenlik (W/mK)	34.0	33.4	33.0	32.0	31.1	30.0

Çizelge 4. DIN 1.2311 ve DIN 1.2738 çeliğine uygulanan ısıtma işlemleri

ISIL İŞLEM BİLGİLERİ					
Çelik Türü	Şekil verme sıcaklığı °C	Yumuşatma sıcaklığı °C	Gerilim Giderme sıcaklığı °C	Sertleştirme (Yağda)	
				Sıcaklık °C	Sertlik (HRC)
DIN 1.2311	1050-850	710-730	640-650	870-900	50-54
DIN 1.2738	1050-850	710-730	600	870-900	50-54

Kalıp çeliğinin, çok iyi parlatılabilir olması, kalıplanan plastik ürünün yüzeyinde istenilen parlaklığı sağlar. Şeffaf imalat parçalarından, gözlük camları gibi optik parçalara kadar farklı uygulamalar için farklı parlaklık sağlayabilen pek çok malzeme bulunmaktadır. Kalıp çeliğinin iyi parlatılabilirliği, enjeksiyon işlemi sırasında plastiğin çelik yüzeyindeki gözeneklere dolmasını yani yapışmayı engellemektedir. Yüzeylerin iyi parlatılabilmesi için kalıp çelikleri, içyapı oluşumları denetim altına alınarak ve mikro yapı temizliği yapılarak üretilmektedir [2]. DIN 1.2311 ve 1.2738 kalıp çeliklerinin yüzey parlatılabilme kaliteleri oldukça yüksektir. Dolayısı ile plastik kalıp yapımında bu çelikler yaygın olarak kullanılmaktadır [3]. Şekil 1 de Hacim kalıp çeliklerinin parlatılabilme özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 1. Kalıp çeliklerinin Parlatılabilirlik Kabiliyetleri

## 2. İşlenebilirlik Çalışmaları

Ön sertleştirilmiş olmalarına karşın 1.2311 (30-33 HRC) ve 1.2738 (yaklaşık 36 HRC) çelikleri bileşimlerine katılan kükürt nedeniyle, kolay işlenebilen malzemelerdir [4]. Yüksek yüzey kalitesi ve yüzey parlaklığı istenen durumlarda bu malzemelerin kullanımı büyük bir işleme kolaylığı sağlar. DIN 1.2311 ve DIN 1.2738 kalıp çeliklerinin işlenebilirliğine yönelik gerçekleştirilen çalışmalar, belirli açılardan ele alınarak incelenmiştir:

Kullanılan işleme yöntemleri,  
Kullanılan kesiciler takımıyla ve kesme parametreleri,  
Yapılan ölçüm ve testler,  
Kullanılan analiz yöntemleri,  
Elde edilen sonuçlar

### 2.1. Kullanılan İşleme Yöntemleri

Bu malzemelere yönelik yapılan yurt içinde ve yurt dışında yapılan işlenebilirlik çalışmaları incelendiğinde, frezeleme, tornalama, kaynak edilme, elektro erozyonla işleme (EDM-Electro Discharge Machining), gibi yöntemlerin kullanıldığı görülmüştür. Yapılan çalışmalarda ağırlıklı olarak frezeleme yönteminin tercih edildiği tespit edilmiştir. Bu durum, hacim kalıp imalatında daha çok prizmatik parçaların kullanılıyor olması ile açıklanabilir. Bununla birlikte işlenebilirlik çalışmalarında yüksek hızlarda işlem yapabilen CNC tezgahları kullanılmıştır.

### 2.2. Kullanılan Kesiciler Takımlar ve Kesme Parametreleri

Yapılan çalışmalarda, DIN 1.2311 ve DIN 1.2738 kalıp çeliklerinin frezelenerek işlenmesinde; kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar kullanılmıştır. Genelde bitirme (son) pasolarında yüksek kesme hızlarında işlenebilirlik çalışmaları yapılmıştır. Çizelge 5'te yüksek hızlarda yapılan kaba ve hassas işlemler için kullanılan kesme parametreleri görülmektedir.

Çizelge 5. İşleme Parametreleri için önerilen değerler

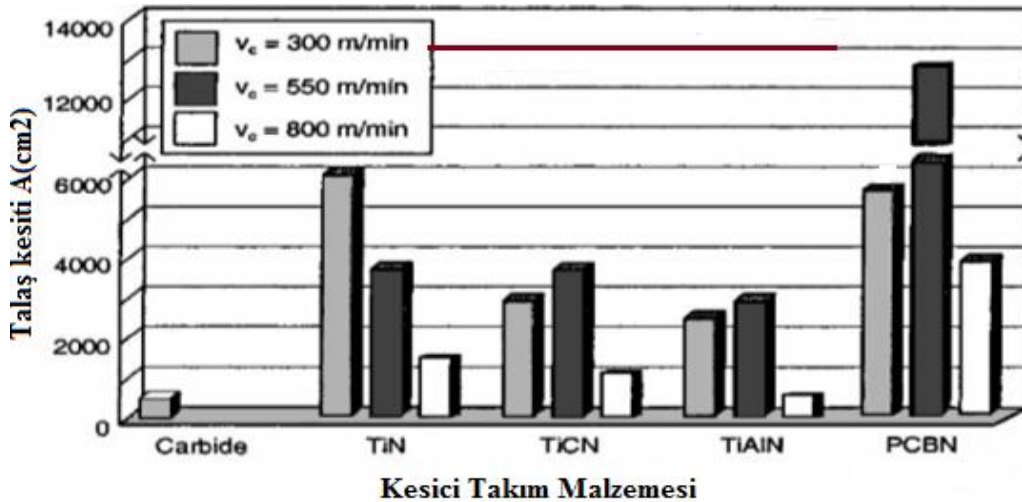
	DIN 1.2738		DIN 1.2311	
	Kaba işleme	Son işleme	Kaba işleme	Son işleme
Kesme hızı V (mm/dak)	110-160	200	130-160	160-210
İlerleme f (mm/dev)	0.3-0.6	0.3	0.3-0.6	0.3
Kesme derinliği a (mm)	2-6	2	2-6	2
Kesici Tipi	P20 P40 C6-C5	P10 P15 C7	P20 (Kaplmalı) P15 (kaplamalı)	P10 (Kaplmalı) P20 kaplamalı Sermet

İncelenen çalışmalara yönelik kullanılan kesici takım malzemeleri ve kesme parametreleri Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Yapılan çalışmalarda kullanılan kesici takım malzemeleri ve kesme Parametreleri aralık değerleri

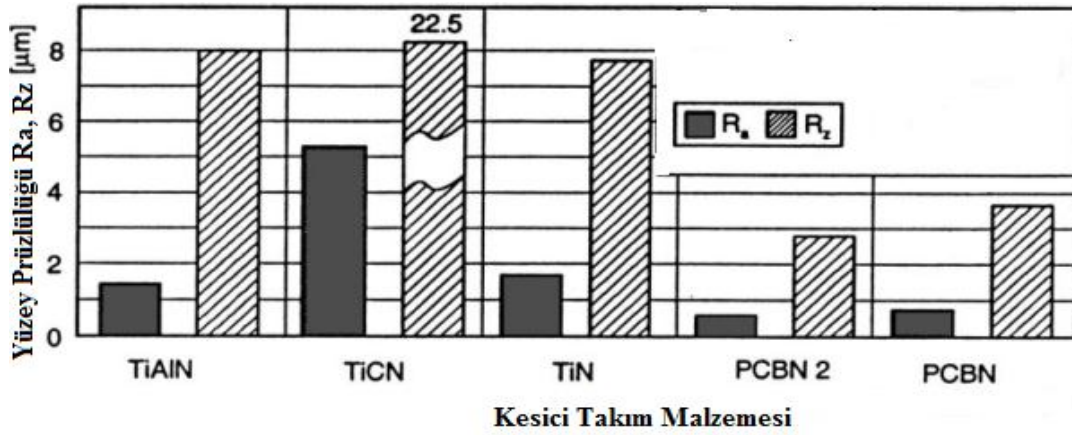
	DIN 1.2738	DIN 1.2311
Kesme hızı (v)	130-500 m/dak	
İlerleme (f)	0.1-0.6 mm/dev	
Kesme derinliği (a)	0.1-2 mm	
Kesici takım malzemeleri	HSS, Karbür, Sermet, CBN, PCBN	

P20 kalıp çeliği küresel uçlu kaplamalı/kaplamasız kesicilerle yüksek hızlarda frezelenmesine yönelik 0,5 mm kesme derinliği, 0,5 mm/diş ilerleme ile yapılan deneylerde, kullanılan farklı kesme hızları için kaldırılan talaş kesitleri şekil 2'de verilmiştir [21].



Şekil 2. P20 çeliğin farklı kesici takımlar ile yüksek hızlarda işlenmesinde talaş kaldırma performansı [21].

Elde edilen sonuçlar, kullanılan kesiciler arasında PCBN kesicileri ile daha fazla talaş kaldırılabilirdiğini göstermiştir. Dolayısı ile PCBN kesicilerin P20 kalıp çeliğinin frezelenmesinde daha yüksek takım ömrüne sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, yüzey pürüzlülükleri ( $R_z$  ve  $R_a$ ) incelendiğinde (Şekil 3), PCBN kesicileri ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar ile P20 kalıp çeliğinin yüksek hızlarda işlenmesinde (finish operasyonlarında) PCBN kesicilerin kullanılacağı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3. P20 çeliğin farklı kesici takımlar ile yüksek hızlarda işlenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülükleri [21].

### 2.3. Yapılan ölçüm ve testler

Tornalama [5], Frezeleme [6,7,8,9,13,17], yöntemlerinin uygulanmalarında, takım aşınmaları, kesme kuvvetleri, elde edilen yüzeyin pürüzlülükleri ve meydana gelen sıcaklıklar ölçülmüştür. Takım aşınmalarının belirlenmesinde, optik mikroskop veya SEM cihazları, kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde de standart standart dinamometreler kullanılmıştır. Sıcaklıkların ölçülmesinde ise genellikle ısı çifti (termokupl), tercih edilmiştir [14].

### 2.4. Kullanılan Analiz Yöntemleri

İncelenen makalelerde, DIN 1.2311 ve DIN 1.2738 malzemelerinin işlenebilirlik çalışmalarından elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde değişik yöntemlerin kullanıldığı görülmüştür. Çalışmaların bir kısmında, yüzey pürüzlülükleri, kesme kuvvetleri ve takım aşınmaları, takım ömrüne yönelik elde edilen sonuçlar kullanılan kesme parametreleri ile ilişkilendirilerek grafikler ile yorumlanmaya çalışılmıştır [7,8,9,24,25]. Bazılarında ise elde edilen sonuçlar üzerinde çeşitli istatistiksel analizler yapılmıştır. Bazı çalışmalarda, takım aşınması ve mikro yapı için SEM ölçümlerinin yapıldığı görülmüştür [11,12]. Kullanılan kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, kullanılan kesici takım, gibi kesme parametrelerinin ve şartlarının yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, takım ömrü, kesme kuvvetleri üzerinde ne ölçüde etkili olduklarının belirlenmesinde varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır [6,13]. Etkili olan parametrelere yönelik denklemlerin elde edilmesinde regresyon analizlerinin de kullanıldığı görülmüştür [15,18,19]. Bazı çalışmalarda ise Taguchi tekniği kullanılarak modeller oluşturulmuştur [20]. Takım aşınması, kalıplama yüzey basıncı ve ısı sertleştirme gibi işlemlerin sonuçları için bazı çalışmalarda Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) analizlerinin yapıldığı görülmüştür [10,27].

### 2.5. Elde Edilen Sonuçlar

DIN 1.2738 hacim kalıp çeliğinin cep boşaltarak frezelenmesine yönelik yapılan bir çalışmada, kullanılan farklı işleme teknikleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan spiral, zigzag ve tek yönlü cep işleme tekniklerinden, spiral işleme tekniğinin diğerlerine göre daha iyi olduğu görülmüştür. Spiral işleme tekniğinde, talaşın kesici takımdan kolayca uzaklaşması ve yüzeyde istenmeyen kesici izlerin oluşmaması gibi avantajlar belirlenmiştir [6].

Kaba ve son işleme maliyetlerinin çok yüksek olduğu kalıplılık sektöründe, işlenen malzemenin seçimi önem kazanmaktadır. İşlenen malzemenin kimyasal bileşiminin işlenebilirliğe etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, 1.2311, 1.2312 ve SP300 malzemeleri ile deneyler yapılmıştır. Bu malzemelerin sülfür oranları birbirinden farklıdır. En düşük sülfür oranına (%0.0008) sahip 1.2311 malzemesinde daha iyi yüzey kalitesi elde edilirken en yüksek sülfür oranına (%0.07) sahip 1.2312'de ise daha kötü yüzey

kalitesi elde edilmiştir. SP300 malzemesinin ise işlenebilirliği kolay olmasına karşın 1.2311 malzemesi kadar iyi yüzey kalitesine sahip olmadığı görülmüştür [7].

Kalıp çeliklerinin frezeleme maliyetlerini azaltmak için takım ömrü kriterlerinin iyileştirmesi gerekmektedir. 1.2311, 1.2312, SP300 ve SP300+S kalıp çelikleri ile yapılan bir çalışmada, her bir malzeme için ayrı kesme parametreleri kullanıldığında, kaba frezeleme işlemlerinde takım ömrünün iyileştiği sonucu ortaya çıkmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre en iyi takım ömrü ve talaş tipi için kesme parametrelerinin işlenen malzemeye göre optimal değerlerde seçilmesi durumunda işleme maliyetlerinin %25-40 arasında azalacağı ortaya çıkmıştır [8].

Genelde, takım aşınması ile yüzey pürüzlülüğünün olumsuz yönde etkileneceği beklenmektedir. Fakat, sertleştirilmiş P20 kalıp çeliklerinin CBN kesicilerle işlenmesine yönelik bir çalışmada, durum beklenilenin tam tersi çıkmıştır. Kullanılan iki farklı CBN kesicilerden, düşük CBN katkılı seramik bağlayıcılı takımın (CBN-DS) daha çabuk aşındığı, yüksek CBN katkılı metal bağlayıcılı (CBN-YM) diğer takımın ise daha geç aşındığı görülmüştür. Bununla birlikte, artan aşınma karşısında artan yüzey pürüzlülüğü ortaya çıkmamıştır [9].

Kalıp imalatı için kullanılan takım yollarının elde edilen kalıp ölçü hassasiyetini etkilediği belirlenmiştir. P20 kalıp çeliği CNC freze tezgahında, doğrusal (lineer), dairesel ve polinom hareket (interpolasyon) olmak üzere 3 farklı takım yolu kullanılarak küresel uçlu kesici ile işlenmiştir. Bilindiği üzere lineer interpolasyon daha sade modellemeler için çok büyük avantaj sağlamaktadır. Ancak modelleme yöntemi karmaşık hale geldikçe lineer interpolasyon ile elde edilen CAM programında hata oranı artmaktadır. Yapılan deneyde, kullanılan lineer interpolasyon ile CAM toleransı 0.005 mm olarak hesaplanmış. Dairesel interpolasyon ile CAM toleransı 0.18 mm olarak bulunmuştur. Polinomial interpolasyonun kullanılması ile de CAM toleransı 0.05 mm olarak hesaplanmıştır. Buradan da anlaşılacağı gibi lineer interpolasyon ile yapılan kalıp imalatı diğer yöntemlere göre daha az hata oranına sahiptir. [13]

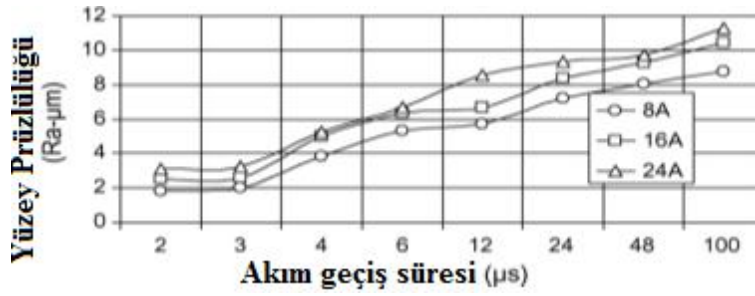
AISI 1040 ve AISI P20 çeliklerinin alaşım oranları ve mikro yapılarının sertleşme kabiliyeti üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, başta karbon olmak üzere diğer alaşım elementlerinin de (Cr, Mo, Mn, Si, Ni ve V) sertleşebilme kabiliyetini etkilediği görülmüştür. AISI P20 çeliğinin sertleşme kabiliyetinin AISI 1040'e göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [14]. Bununla birlikte, karbon oranı, soğutma oranı, mikro yapı ve kimyasal kompozisyon gibi birçok faktörün her çelikte olduğu gibi AISI P20 çeliğinin de sertlik değerlerini etkileyeceği gözden kaçırılmamalıdır [16-17].

İşlenebilirlik çalışmalarında kesme kuvvetlerinin tahmin edilmesine yönelik bazı yöntemlerin kullanıldığı görülmüştür. Kullanılan RSM'nin (Response Surface Method) %95 güvenilirlik ile kesme kuvvetlerinin tahmin edilmesini sağladığı belirtilmiştir. RSM modelleme, gerekli giriş (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği vb.) ve elde edilen çıkış parametreleri (kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, vb.) arasındaki ilişkileri matematiksel ve istatistiksel teknikler ile yorumlayarak yeni sonuçları tahmin eden bir yaklaşım olduğu ve zaman ve maliyet açısından önemli bir katkı sağladığı ifade edilmiştir. Bazı çalışmalarda RSM yöntemi ile MINITAB programının birlikte kullanıldığı görülmüştür. Benzeri bir çalışmada, RSM ile birlikte yapılan MINITAB analiz sonuçlarından tahmin edilen kesme kuvvetleri, dinamometre ile ölçülen gerçek kesme kuvvetlerine çok yakın olduğu (%95) tespit edilmiştir [15].

Kalıp çeliklerinin yüksek hızlarda işlenmesine yönelik olarak, en uygun kesicilerin PCBN olduğu ifade edilmektedir. H13, P20 ve dökme demir malzemelerinin yüksek hızlarda frezelenerek işlenmesinde (HSC), kullanılan 300 m/dak, 550 m/dak ve 800 m/dak kesme hızlarında, kaplamasız karbür kesici uçlarda yan kenar (serbest yüzey)ve krater aşınmasının arttığı tespit edilmiştir. TiN kaplamalı kesici uç performansının TiAlN ve TiCN kaplamalı uçlardan daha iyi olduğu anlaşılmıştır. Fakat, kullanılan PCBN kesici uçlarda, TiN kaplamalı uçlarına göre daha az yan kenar aşınması meydana gelmiştir. Sonuç olarak, yüksek hızlarda yapılacak olan işlemlerde kaplamalı karbür uçlar yerine PCBN uçların kullanılmasının verimi, %30 arttıracığı ifade edilmiştir [21].

Kalıp tamirinde kullanılan kaynak etme yöntemine yönelik bir çalışmada, AISI P20 ve VP50IM çeliklerden imal edilmiş kalıplar kullanılmıştır. Kalıplar ön ısıtmaya tabi tutulmuş ve argon gazı kullanılarak TIG kaynağı yapılmıştır. Sonuç olarak kaynak edilme ve kaynak yapılan bölge üzerinde kalıp parlatılabilme davranışları incelenmiştir. AISI P20 çelik üzerindeki kaynak bölgesine kolaylıkla el zımparası kullanılarak polisaj işlemi yapılabildiği ve kaynak dolgusunun VP50IM çelikte görülen aksine daha iyi olduğu tespit edilmiştir [24].

Kalıp çeliklerinin elektro erozyon (EDM) tekniği ile işlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda, elektrotun parçaya dalma süresinin ve akım değerinin artırılması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve yüzey kalitesinin bozulduğu ifade edilmiştir [ 25, 27]. AISI P20+Ni (DIN 1.2738) kalıp çeliği ile yapılan deneysel çalışmalarda. 2  $\mu$ s akım geçiş süresi için 2-3  $\mu$ m yüzey pürüzlülük değeri elde edilirken akım geçiş süresinin 3  $\mu$ s çıkarılması durumunda ise Ra değeri, 6  $\mu$ m olarak ölçülmüştür (Şekil 4).



Şekil 4. Akım geçiş süresinin yüzey pürüzlülüğü ile ilişkisi

Kalıp çeliklerinin lazerle kesilmesine yönelik yapılan çalışmalarda malzeme içerisindeki kükürt'ün kesme işleminin daha kararlı yapılmasında büyük bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. DIN 1.2311 (AISI P20) ve DIN 1.2312 (AISI P20+S) kalıp çeliklerin lazerle kesilmesine yönelik yapılan bir çalışmada, yüksek kükürt içerikli bir çelik (DIN 1.2312) ile daha kararlı ve daha düzgün bir kesimin yapıldığı görülmüştür [29, 30]. Bununla birlikte diğer çalışmalarda, kullanılan kesme parametrelerinin lazerle kesim sırasında cüruf oluşumuna ve oluşan cüruf miktarının da lazerle yapılan kesim kalitesine etkisi olduğu belirlenmiştir [28]. Diğer yönden, lazerle kesim işleminde kullanılan yüksek oksijen basıncının da kesim kalitesini olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir [26].

Çizelge 7'de incelenen yayınlardan elde edilen bilgilerin tasnif edilmiş hali görülmektedir.





### 3. Sonuç ve Öneriler

Yapılan incelemeler sonucunda, yeni nesil hacim kalıp malzemeleri içerisinde DIN 1.2311 (AISI P20) ve DIN 1.2738 (AISI P20+Ni) çelik türlerinin önemli bir yere sahip olduğu görülmüştür. Diğer kalıp çeliklerine oranla kolay olan işlenebilirlikleri, oldukça iyi yüzey pürüzlülüğü ve yüzey parlatılabilirliği sağladıkları görülmektedir. Bununla birlikte, kalıp tamir işlemlerinde kaynak kullanımının sorunsuz olması, yüzey sertleştirilmesinin yapılabilmesi, ön sertleştirilmiş olarak piyasada bulunmaları ve fiyatlarının ekonomik olması gibi avantajları da vardır. Dolayısı ile bu gibi özelliklerin söz konusu çeliklerin özellikle de plastik hacim kalıpları yapımında yaygın kullanılmasını sağladığı anlaşılmıştır.

Kalıp yapımında ön sertleştirilmiş olarak piyasada bulunan DIN 1.2311 ve 1.2738 malzemelerinin kullanılmasının bir avantaj olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle de imalatı yapılan kalıpların sertleştirilmesi aşamasında yaşanan olumsuzluklar giderilmektedir. Fakat, bu çeliklerin ön sertleştirilmiş olması, kalıp imalatının yüksek hızlarda yapılmasında kesici seçiminde dar boğaz oluşturacağı gözden kaçırılmamalıdır.

Kalıp çeliklerine yönelik işlenebilirlik çalışmalarında, yüksek hızlarda işlemenin daha çok kullanıldığı tespit edilmiştir. Özellikle kalıp bitirme operasyonlarının yüksek hızlarda yapıldığı ve 800-1000 m/dak gibi yüksek kesme hızlarının denendiği görülmüştür. Bununla birlikte, HSM işlemlerinde, 0,1 mm gibi düşük kesme derinliği, 5000 mm/dev gibi yüksek ilerleme değerleri kullanılmıştır. Uzun süren yüksek hızlarda işlemlerde en büyük problemin takım aşınmasının olduğu, PCBN ve CBN kesicilerle en uzun takım ömürlerinin elde edildiği dile getirilmiştir.

Tornalama ve delik delme gibi yöntemler kullanılarak işlenebilirlik çalışmalarının az olduğu anlaşılmıştır. Bunların dışında, azda olsa EDM, WEDM ve kaynak edilme gibi çalışmaların olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmalarda, sonuçların yorumlamasında, SEM, FEM, RSM, ANOVA, Taguchi, gibi analiz yöntemlerinin yanında klasik yöntemler de (karşılaştırma grafikleri) kullanılmıştır. Kullanılan RSM, yönteminden yararlanılarak kesme kuvvetleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu tahmin ve varsayımların kabul edilebilir güvenilirlik değerlerini karşıladığı (%95) öne sürülmüştür. Böylece zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlanabildiği dile getirilmiştir.

DIN 1.2311 ve DIN 1.2738 hacim kalıp malzemeleri için, farklı işleme yöntemleri denenebilir. Özellikle, delik delme, delik büyültme, kılavuz çekme gibi yöntemler kullanılarak, farklı çalışmalar yapılabilir.

### Kaynaklar

Koçak, M. ve Abalı, B., “ Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı”. İTÜ Makine Mühendisliği Bitirme Projesi. 2006, 33-36.

TMMOB, Makine Mühendisleri Odası-Ankara “Plastik malzemeler ve Teknolojileri Konferansı”. Aralık-1999, 16-20.

MEGEP, “ Plastik Teknolojisi Makine Enjeksiyon Kalıpcılığı-2.”, 2008, 24-30.

Songmene, V., “Machinability Testing of Mold Steels.”, *Industrial Research*, 1999, 12-17.

Göloğlu, C. ve Arslan, Y., “Genetik Programlama ile İmalat İçin Yüzey Pürüzlülük Modeli Geliştirilmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21* 2006, 667-674.

Sakarya, N., ve Göloğlu, C., “Taguchi yöntemi ile Cep İşlemede Kullanılan Takım Yolu Hareketlerinin ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Belirlenmesi.” *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21*, 2005, 603-611.

Rech, J., “A new approach for the characterization of machinability application to steels for plastic injection molds.”, *Journal of Materials Processing Technology* (152), 2004, 66–70.

Calvez, Le.C., “Gains Achieved by Using New Generations of Plastic Injection Mold Steels.” *Industeel-Arcelor*, 2001, 4-7.

Ateş, S., “P20 Çeliğinin CBN Kesicilerle Frezelenmesi Sırasında Asınma ve Yüzey Pürüzlülüğüne İlerleme Değerinin Etkisi.”, *Research & Development* 2009, 5-8.

C, Chang., “Simulation of infrared rapid surface heating for injection molding.”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* (49) 2006, 3846–3854.

Uslu, İ ve Cömert, H., “Evaluation of borides formed on AISI P20 steel.”, *Materials and Design* (28), 2007, 55–61.

Bergstrom, J. ve Devos, P., “Wear of die materials in full scale plastic injection moulding of glass fibre reinforced polycarbonate.”, *Wear* (251), 2001, 1511–1521.

Luis, A. ve Helleno Schützer, K., “Investigation of tool path interpolation on the manufacturing of die and molds with HSC technology.”, *Journal of Materials Processing Technology* (179), 2006, 178–184.

Köse, S. ve Sakin, R., “AISI-1040 ve AISI-P20 çeliklerde alaşım oranları mikro yapının sertleşme kabiliyetine etkisi.” 2010,

Hossein, A. ve Kadirgama, K., “Prediction of cutting force in end-milling operation of modified AISI P20 tool steel.”, 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi. 2010, 4-8.

Köse, S., AISI/SAE 1040-2738-304 “Çeliklerin Sertleşme Kabiliyetlerinin Jominy Deneyi ile Araştırılması.” Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2008.

Köse, S., Said, G., Günes, Erdogan, M., “The Investigation Of The Hardening Ability Of AISI 1040 – 2738 Steels with Jominy Test, (IMSP’ 2008) 12th International Materials Symposium.” 15 -17 October 2008 , Denizli, Turkey, 2008, 64-72.

Taguchi, G. ve Konishi, S., *Orthogonal Arrays and Linear Graphs*, American Supplier Institute, Miami, A.B.D., 1987.

Çelikçapa, F. O., “Taguchi Deneysel Tasarım Metodunun Bir Dokuma İşletmesinde Uygulama Denemesi”, *Uludağ Üniversitesi, Bursa*, 2002.

Antony, J., “Simultaneous Optimisation of Multiple Quality Characteristics in Manufacturing Processes Using Taguchi’s Loss Function”, *Int.J.of Adv. Manuf. Technology*, 2001,17:134-138.

Fallböhmer, B., ve Rodriguez, A., "High-speed machining of cast iron and alloy steels for die and mold manufacturing.", *Journal of Materials Processing Technology* (98) 2000, 104-115.

S. Thompson, "Handbook of mould, tool and die repair welding, first ed.," Abington Publishing Limited, London, 1999, 224.

M.Vedani, "Microstructural evolution of tool steels after Nd-YAG laser repair welding," *J. Mater. Sci., Milan* (39) 2004, 241–249.

Wilson, P., ve Carlos, E., "Repair welding of polymer injection molds manufactured in AISI P20 and VP50IM steels.", *Journal of Materials Processing Technology* (179), 2006, 244–250.

Kiyak, M., ve Çakır, O., "Examination of machining parameters on surface roughness in EDM of tool steel." *Journal of Materials Processing Technology* (191) 2007, 141–144.

Nagels, E., ve Duflou, R., "The influence of sulphur content on the quality of laser cutting of steel.", *Journal of Materials Processing Technology* (194) 2007, 159–162.

F.L. Amorim, W.L. Weingaertner, "The influence of generator actuation mode and process parameters on the performance of finish EDM of a tool steel," *J. Mater. Process. Technol.* (166) 2005, 411–416.

S.L. Chen, "The effects of gas composition on the CO<sub>2</sub> laser cutting of mild steel," *J. Mater. Process. Technology* (73) 1998, 147–159.

B.J. Keene, "Review of data for the surface tension of iron and its binary alloys," *Int. Mater. Rev.* (33) 1988, 1–35.

H. Terasaki, T. Kato, S. Urakawa, K. Funakoshi, A. Suzuki, T. Okada, M. Maeda, J. Sato, T. Kubo, S. Kasai, "The effect of temperature, pressure, and sulfur content on viscosity of the Fe–FeS melt," *Earth. Planet. Sci. Lett.* (190) 2001, 93–101.