

Investigation of Insert Material in Inserted Powder Injection Molding

 Mehmet SUBAŞI^{1,*} Kamran SAMET² Çetin KARATAŞ²
¹ Department of Machine and Metal Technology, Technical Sciences Vocational School, Gazi University, Ostim/Ankara, Turkey

² Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, Teknikokullar/Ankara, Turkey

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article

Received: 28/04/2020

Revision 01/05/2020

Accepted: 05/06/2020

Highlights

- Insert material.
- Tool steel.
- Melting

Keywords

Sintering
 Inserted powder injection
 molding
 Tungsten carbide
 Insert
 Powder injection molding

In this study, the suitability and effects of the insert material were investigated in the parts to be produced by the Inserted Powder Injection Molding (IPIM) method. Tungsten carbide cobalt (WC- 9%Co) feedstock was used in the experiments. In order to determine the effects of the insert material, inserts were prepared from steels 1.0402 (AISI 1020), 1.0535 (AISI 1050), 1.2312, 1.2344, 1.2379 and 1.7225 (AISI4140). After injecting WC-Co feedstock on these inserts, sintering processes were carried out at 1200, 1250 and 1400 °C temperatures and dwell time of 60, 180 and 240 minutes.

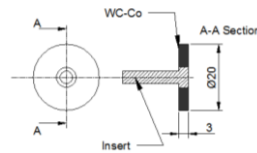


Figure A. The specimen produced by the Inserted Powder Injection Molding method

Purpose: In this study, it was aimed to investigate the ideal insert material in the production of parts of which the inner part is steel and the outer part is WC-Co (9%) with IPIM method. As a result of the experiments, the effect of insert material on the production of inserted parts has been demonstrated.

Theory and Methods: Inserts were prepared from different steels in order to determine the necessary insert material that perfectly fitting at the first step of producing the parts with WC on the outside and steel on the inside. The inserts used in the experiments has been prepared from 1.0402 (AISI 1020), 1.0535 (AISI 1050), 1.2312, 1.2344, 1.2379 and 1.7225 (AISI 4140) steels. After the inserts were prepared, they were placed in the mold and WC-9% Co feedstock were injected on the insert. After the injection process, the samples were sintered at 1200, 1250 and 1400 °C temperatures and 60, 180 and 240 minutes holding times. Heating rise rate in sintering experiments is 5 °C / minute. The hardness of the injected part after sintering was measured with (HV30) Emco Test Duravision 2000 brand hardness tester under 294.2 N load.

Results: As a result of the experiments, it was determined that inserts melted at 1400 °C sintering temperature but they preserve their geometric form at 1200 °C and 1250 °C temperature. However, at these temperatures (1200 °C - 1250 °C) it was determined that there was no diffusion between the insert and the injected region.

Conclusion: In this study, it is aimed to determine the suitable insert material for the production of insert parts with WC-Co outside and steel inside with the IPIM method.

- It was determined that tool steel (1.2379, 1.2344, 1.2312), plain carbon steel (1.0535 (AISI 1050)) and manufacturing steel (1.7225 (AISI4140)) melted at 1400 °C sintering temperature.
- It was determined that tool steel (1.2379, 1.2344, 1.2312), plain carbon steel (1.0402 (AISI 1020), 1.0535 (AISI 1050)) and manufacturing steel ((1.7225 (AISI4140)) do not melt at 1200 and 1250 °C sintering temperatures but do not merge with injection region.
- It is determined that the carbon (C) ratio of the insert is effective in sintering conditions for producing sample of which the outer part WC-Co inner part steel by IPIM method.
- The hardness of the injected region of the sintered samples at 1200°C for 180 and 240 minutes was determined as 1020 HV and 1080 HV, respectively.
- The hardness of the injected region of the sintered samples at 1250°C for 180 and 240 minutes was determined as 1450 HV and 1505 HV, respectively.



İnsörtlü Toz Enjeksiyon Kalıplamada İnsört Malzemesinin Araştırılması

Mehmet SUBAŞI¹, * Kamran SAMET², Çetin KARATAŞ²,

¹ Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ostim/Ankara

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknikokullar/Ankara

Öz

İnsörtlü toz enjeksiyon kalıplama (İTEK) kalın parçaların (>10 mm) üretilebilmesi için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemde önceden hazırlanmış insörtler üzerine besleme stoku enjekte edilir. Enjeksiyon işleminden sonra kalıplanan parçalara bağlayıcı giderme ve sinterleme işlemleri uygulanır. Bu çalışmada, İTEK yöntemi ile üretilecek parçalarda, insört malzemesinin uygunluğu ve etkileri araştırılmıştır. Deneylede tungsten karbür kobalt (WC-%9Co) besleme stoku kullanılmıştır. İnsört malzemesinin etkilerini belirlemek için DIN malzeme nolu, 1.2312, 1.2344, 1.2379, 1.0402 (AISI 1020), 1.0535 (AISI 1050) ve 1.7225 (AISI 4140) çeliklerinden insörtler hazırlanmıştır. Bu insörtler üzerine WC besleme stoku enjekte edildikten sonra 1200, 1250 ve 1400 °C derecelerde ve 60, 180 ve 240 dakika sürelerde sinterleme işlemleri yapılmıştır. Deneyle sonucunda 1400°C sinterleme sıcaklığında insörtlerin eridiği, 1200 °C ve 1250 °C sıcaklıklarda ise geometrik formlarını koruduğu belirlenmiştir. Fakat bu sıcaklıklarda (1200 °C - 1250 °C) insört ile enjekte bölge arasında bir birleşme oluşmadığı belirlenmiştir.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi

Başvuru: 28/04/2020

Düzeltilme: 01/05/2020

Kabul: 05/06/2020

Anahtar Kelimeler

Sinterleme

İnsörtlü toz enjeksiyon

kalıplama

Tungsten karbür

İnsört

Toz enjeksiyon kalıplama

Keywords

Sintering

Inserted powder injection

molding

Tungsten carbide

Insert

Powder injection molding

Investigation of Insert Material in Inserted Powder Injection Molding

Abstract

Inserted powder injection molding (IPIM) is a method developed to produce of thick parts (> 10 mm). In this method, feedstock is injected onto the previously prepared inserts. After the injection process, binder removal and sintering processes are applied to the molded parts. In this study, the suitability and effects of the insert material were investigated in the parts to be produced by the IPIM method. Tungsten carbide cobalt (WC- 9%Co) feedstock was used in the experiments. In order to determine the effects of the insert material, inserts were prepared from steels DIN 1.0402 (AISI 1020), 1.0535 (AISI 1050), 1.2312, 1.2344, 1.2379 and 1.7225 (AISI 4140). After injecting WC-Co feedstock on these inserts, sintering processes were carried out at 1200, 1250 and 1400 °C temperatures and dwell time of 60, 180 and 240 minutes. As a result of the experiments, it was determined that inserts melted at 1400 °C sintering temperature but they preserve their geometric form at 1200 °C and 1250 °C temperature. However, at these temperatures (1200 °C - 1250 °C) it was determined that there was no diffusion between the insert and the injected region.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Toz enjeksiyon kalıplama (TEK) teknolojisi toz metalürjisi ve plastik enjeksiyon kalıplama prensiplerinin birleşimine dayanmaktadır. TEK yönteminde enjeksiyon aşamasından sonra parçalara bağlayıcı giderme ve sinterleme işlemleri uygulanır. TEK yöntemi ile seramik ve metal malzemelerden bazı sınırlamalar içerisinde parça üretimi oldukça yaygınlaşmıştır. Bu yöntem ile 10 mm den daha kalın parçaların üretiminde yöntemin tüm aşamalarında (kalıplama, bağlayıcı giderme, sinterleme) bir çok sıkıntı ile karşılaşmaktadır. Bu sıkıntılar İnsörtlü Toz Enjeksiyon Kalıplama (İTEK) yöntemi ile aşılmıştır. İTEK yönteminde ilk olarak insörtler hazırlanır. Hazırlanan insörtler üzerine besleme stoku enjekte edilir. Enjeksiyon aşamasından sonra parçalara bağlayıcı giderme ve sinterleme işlemleri uygulanır. Geliştirilen İTEK yöntemi ile farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip malzemelerden 10 mm den daha kalın parçaların üretilmesi mümkün olmaktadır [1-3].

Literatürde farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip iki malzeme kullanarak yekpare parça üretimine yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Ayrıca son yıllarda İTEK yöntemi ile parça üretimi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Heaney ve arkadaşları [4], ko-enjeksiyon yöntemi ile parça üretimini araştırmışlardır. Çalışmalarında 316L paslanmaz çelik ve Fe-10Cr olmak üzere iki farklı besleme stoku kullanmışlardır. Deneyler sonucunda kusursuz numune elde edebilmek için parçanın içindeki ve dışındaki malzemelerin çekme oranlarının birbirine yakın olması gerektiğini belirlemişlerdir. Antusch ve arkadaşları [5] iç kısmı tungsten dış kısmı tungsten alaşımı olacak şekilde ko-enjeksiyon yöntemi ile parçalar üretmişlerdir. Deneyler sonucunda bu iki malzeme kullanarak kusursuz parçalar üretilebileceğini ortaya koymuşlardır. Simchi ve Petzoldt, [6] ko-enjeksiyon yöntemi ile tungsten karbür – kobalt (WC-Co) ve 316L paslanmaz çelik besleme stokları kullanarak parçalar üretmişlerdir. Sinterleme deneyleri sonucunda besleme stokları arasındaki çekme oranlarındaki farklılıktan dolayı güçlü bir birleşme elde edemediklerini belirtmişlerdir. Zhang ve arkadaşları [7] gözenek değeri farklı seramiklerden ko-enjeksiyon yöntemi ile parçalar hazırlamışlardır. Deneyler sonucunda problemsiz ara yüzeye sahip parçalar üretebilmişlerdir. Dourandish ve Simchi [8] seramik (3Y-TZP) ve paslanmaz çelik (430SS) tozlarının birleşmelerini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda sinterleme atmosferinin birleşme üzerinde çok etkili bir parametre olduğunu belirlemişlerdir. Ruh ve arkadaşları [9, 10] farklı çalışmalarda mikro toz enjeksiyon yöntemi ile iki farklı malzemeden oluşan parçaların üretilebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında sinterleme parametrelerinin parçaların birleşim türünde etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Safarian ve arkadaşları [2] İTEK yöntemi ile iç kısmı 316L paslanmaz çelik ve dış kısmı 316L besleme stoku olan parçaların üretilebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında kusursuz parça üretiminde en etkili parametrenin sinterleme sıcaklığı olduğunu belirlemişlerdir. Gal ve arkadaşları [11] TEK yöntemi ile iki farklı (316L (SUS316L)/zirconia) besleme sokundan tek parça üretmek için deneyler yapmışlardır. Deneyler sonucunda besleme stoklarının çekme oranlarındaki farklılıktan dolayı numunelerde çatlaklar olduğunu belirlemişlerdir. Subaşı ve arkadaşları [1] İTEK yöntemi ile iç kısmı 4340 dış kısmı WC besleme stoku olan parçaların üretilebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında insört ile besleme stoku bölgeleri arasında ara katman kullanımının difüzyon bağımlı pozitif yönde etkilediğini belirlemişlerdir. Koçak ve arkadaşları [3, 12] İTEK yöntemi ile WC parça üretimi üzerine yaptıkları çalışmada HSS'nin insört malzemesi olarak kullanılmasının uygun olmadığını belirlemişlerdir. Yaptıkları başka bir çalışmada da insört olarak kullandıkları HSS malzemesini nikel ile kaplamalarına rağmen, insört ile enjekte bölge arasında olumlu sonuç alamadıklarını belirtmişlerdir. Liu ve arkadaşları [13] mıknaş özelliği olan insörtler üzerine alüminyum besleme stoku enjekte etmişlerdir. Çalışmaları sonucunda mıknaşlanma özelliğine sahip alüminyum parçaların İTEK yöntemi ile üretilebileceği sonucuna varmışlardır.

Bu çalışmada, İTEK yöntemi ile dış kısmı WC-%9Co iç kısmı çelik parça üretiminde ideal insört malzemesinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu çerçevede, 1.0402 (AISI 1020), 1.0535 (AISI 1050), 1.2312, 1.2344, 1.2379 ve 1.7225 (AISI4140) olmak üzere altı farklı çelik türünden insörtler hazırlanmıştır. Hazırlanan insörtler üzerine WC-%9Co besleme stoku enjekte edilmiştir. Enjeksiyon işleminden sonra parçalara bağlayıcı giderme ve sinterleme işlemleri uygulanmıştır. Sinterleme deneyleri 1200, 1250 ve 1400 °C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta ve 60, 180 ve 240 dakika sürelerde yapılmıştır. İnsört malzemesinin parça üretimindeki etkisi ortaya konulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHOD)

Parçaların hazırlanmasında kullanılan WC-%9Co besleme stoku RYER firmasından temin edilmiştir. Besleme stokunun kimyasal bileşimi Tablo 1 'de, teknik özellikleri Tablo 2 de verilmiştir.

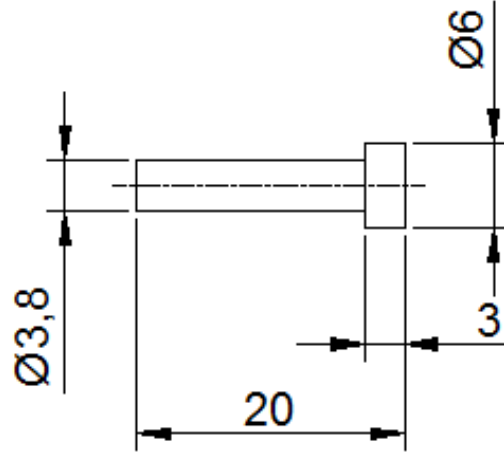
Tablo 1. WC-%9Co besleme stokunun kimyasal bileşimi

Elementler	C	Cr	Fe	Mo	Ni	W	Co	O
Kütlece (%)	5,54	0,01	0,01	0,01	0,01	85,43	8,94	0,05

Tablo 2. WC- %9 Co besleme stokunun teknik özellikleri özellikleri

Toz şekli	Yoğunluk	Toz boyutu (μm)		
		D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀
Karmaşık şekilli	8.0600g/cm ³	0,15	0,28	0,52

Dış kısmı WC iç kısmı çelik parçaların tek aşamada kusursuz olarak elde edilebilmesi için gerekli insört malzemesini belirleyebilmek için farklı çeliklerden insörtler hazırlanmıştır (Şekil 1). Parçaların hazırlanmasında kullanılan insört malzemelerinin kimyasal bileşimleri Tablo 3’de verilmiştir.

**Şekil 1.** Parçaların üretiminde kullanılan insört geometrisi**Tablo 3.** İnsörtlerin hazırlanmasında kullanılan çeliklerin kimyasal bileşimi

Malzeme	Kütlece %									
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	P	S
1.2379	1,52	0,35	0,4	12	0,85	-	0,85	-	0,03	0,03
1.2344	0,43	1,1	0,4	5,5	1,3	-	1,1	-	0,03	0,03
1.2312	0,4	0,4	1,5	1,9	0,2	-	-	-	0,03	0,05
1.0402 (AISI 1020)	0,25	0,4	0,5	-	-	-	-	-	0,045	0,045
1.0535 (AISI 1050)	0,5	0,4	0,8	-	-	-	-	-	0,035	0,035
1.7225 (AISI4140)	0,4	0,2	0,8	1,0	0,2	-	-	-	0,025	0,025

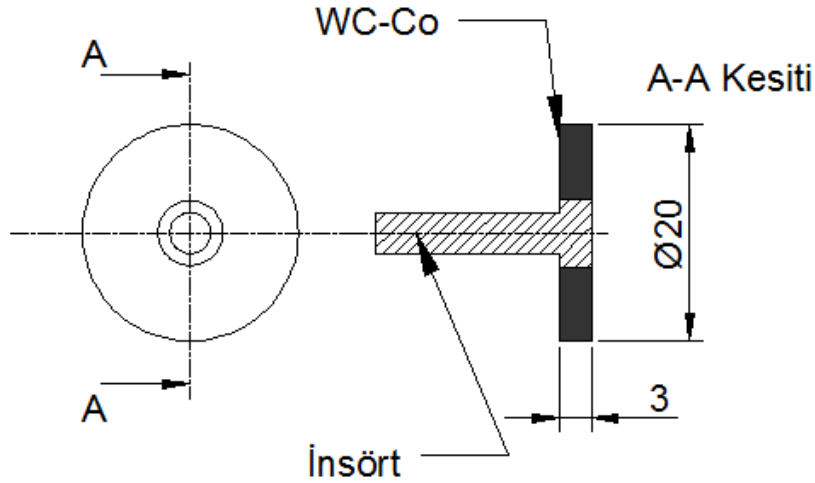
2.1. İnsörtlü Toz Enjeksiyon Kalıplama, Bağlayıcı Giderme ve Sinterleme (Inserted Powder Injection Molding, Debiding and Sintering)

Deney numunelerinin enjeksiyon işlemi için ARBURG Allrounder 220S Toz enjeksiyon kalıplama tezgahı kullanılmıştır. Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan enjeksiyon parametreleri Tablo 4 de verilmiştir.

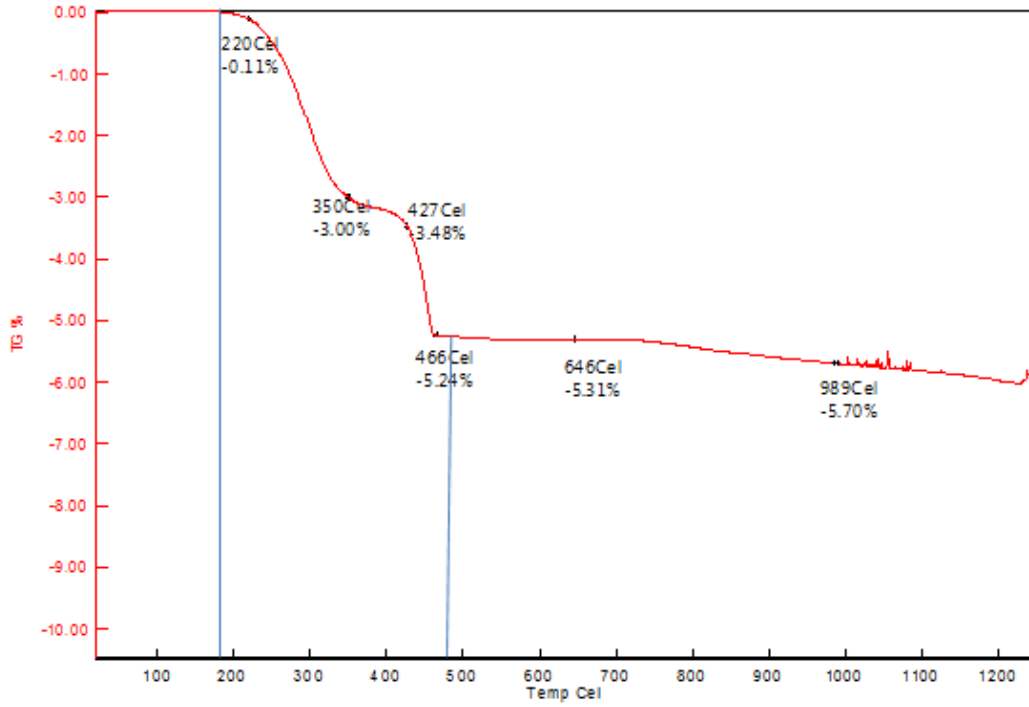
Tablo 4. Enjeksiyon parametreleri

Enjeksiyon hızı (cm ³ /s)	50
Enjeksiyon basıncı (bar)	270
Enjeksiyon süresi (s)	3
Ütüleme basıncı (bar)	50
Enjeksiyon Sıcaklığı (°C)	200
Kalıp sıcaklığı (°C)	45
Soğuma süresi (s)	5

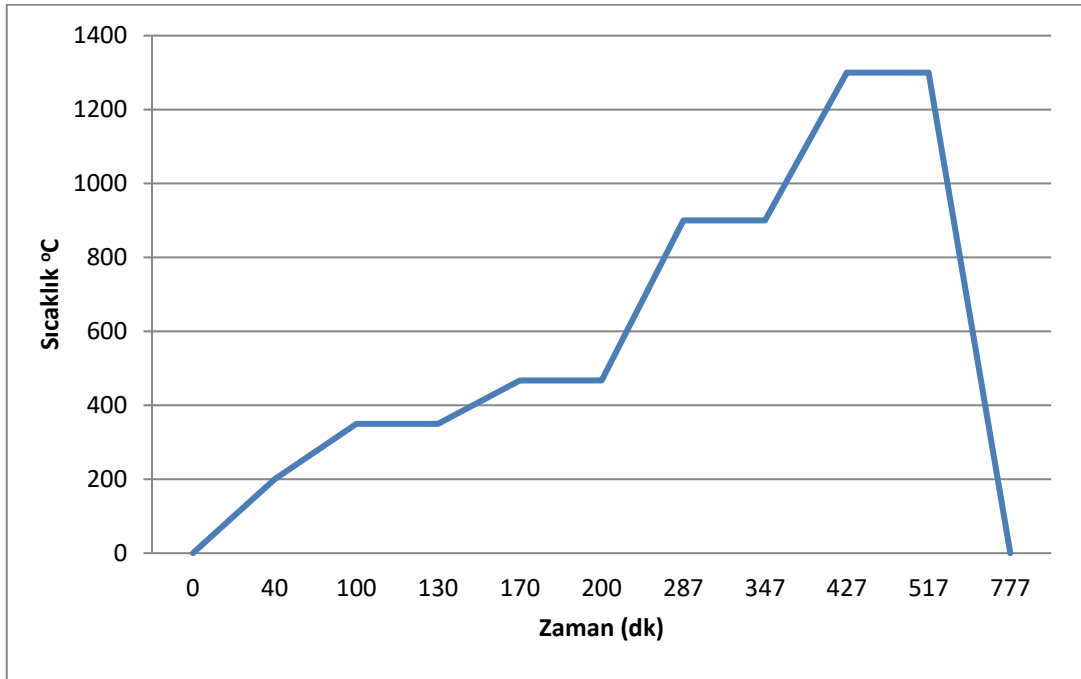
İnsörtler hazırlandıktan sonra kalıp içerisine yerleştirilmiş ve üzerine WC- %9 Co besleme stoku basılmıştır. Kalıplama işleminden sonra numunelerin dış çapı 20 mm enjekte bölgenin kalınlığı 3 mm olmuştur (Şekil 2).

**Şekil 2.** Enjeksiyon işleminde üretilen numune

Enjeksiyon işleminden sonra numunelere kimyasal ve ısıl olmak üzere iki aşamalı bağlayıcı giderme işlemi uygulanmıştır. Kimyasal bağlayıcı giderme aşaması numunelerin 60°C sıcaklıkta etanol çözeltisi içerisinde 48 saat bekletilmesi ile yapılmıştır. Isıl bağlayıcı giderme parametrelerinin belirlenmesi için besleme stokuna uygulanan termogravimetrik (TG) analiz sonucundan yararlanılmıştır (Şekil 3).TG analizi sonucunda besleme stokundaki bağlayıcıların büyük bir kısmının (%5,24) 175-475 °C sıcaklıklarda yapıdan uzaklaştığı tespit edilmiştir. 475 °C sıcaklıktan sonra ise sinterleme sıcaklığına kadar önemli bir kayıp olmadığı belirlenmiştir. Sinterleme işlemleri ise %95 N2 ve %5 H2 karışımı gazı altında tüp fırında yapılmıştır. Isıl bağlayıcı giderme ve sinterleme işlemleri aynı fırın içerisinde Şekil 4 de verilen adımlarda gerçekleştirilmiştir. Sinterleme deneyleri 1200, 1250 ve 1400 °C derecelerde ve 60, 180 ve 240 dakika bekleme sürelerinde yapılmıştır. Sinterleme deneylerindeki sıcaklık artış hızı 5 °C/dakika dır.



Şekil 3. WC-%9Co besleme stokunun TG analizi



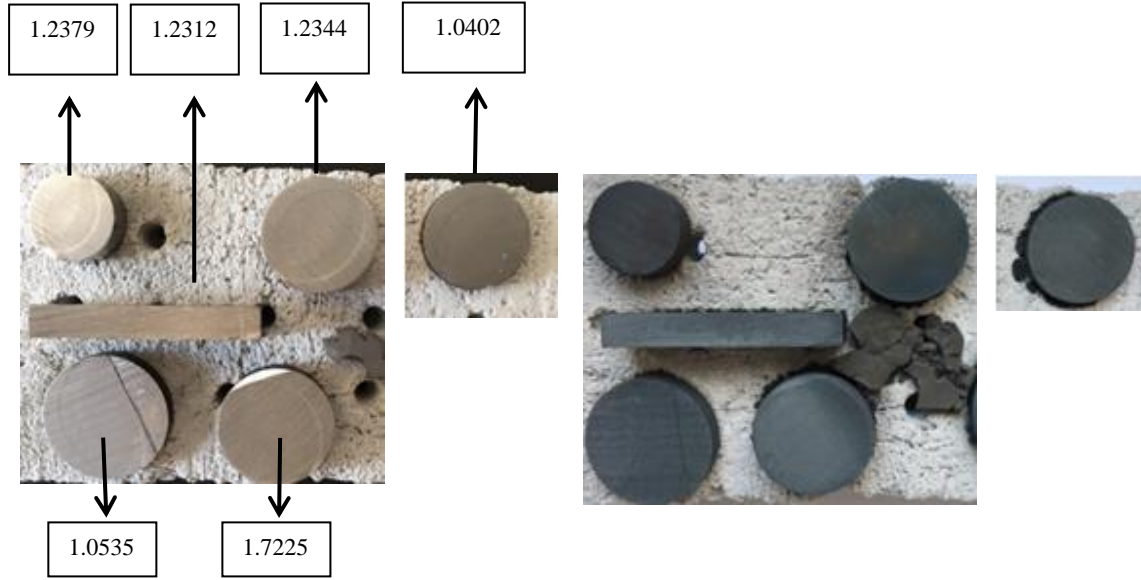
Şekil 4. Isıl bağlayıcı giderme ve sinterleme aşamaları

2.2. Sertlik Ölçümü ve Görüntü İncelemeleri (Hardness Measurement and Image Examinations)

Enjekte kısmın sinterleme sonrası sertlikleri (HV30) Emco Test Duravision 2000 marka sertlik ölçme cihazıyla 294,2 N yük altında ölçülmüştür. Enjekte bölge ile insört arasındaki alan JEOL JSM-6060LV taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile incelenmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Çalışmada ilk olarak takım çeliği (1.2379, 1.2344, 1.2312), sade karbonlu çelik (1.0402 (AISI 1020), 1.0535 (AISI 1050)) ve imalat çeliklerinin (1.7225 (AISI 4140)) yüksek sıcaklıktaki davranışlarını görmek için çelikler 1400 °C 180 dakika fırınlanmışlardır (Şekil 5).



Şekil 5. Farklı çelik malzemelerinin yüksek sıcaklık sonrası fiziksel durumları a) fırınlama öncesi b) fırınlama sonrası

Deney sonucunda insört malzemelerinde herhangi bir erime olmadığı belirlenmiştir. Ön deney sonrası WC-%9Co besleme stoku ile kusursuz insörtlü parça üretebilmek için takım çeliği (1.2379, 1.2344, 1.2312), sade karbonlu çelik (1.0402 (AISI 1020), 1.0535 (AISI 1050)) ve imalat çeliği (1.7225 (AISI 4140)) malzemelerinden insörtler hazırlanmış ve üzerlerine WC-%9Co besleme stoku enjekte edilmiştir.

Enjeksiyon ve bağlayıcı giderme işlemlerinden sonra numuneler 1400 °C 60 dakika kontrol atmosferli tüp fırın içerisinde sinterlenmişlerdir. Sinterleme deneyi sonucunda takım çeliği (1.2379, 1.2344, 1.2312), sade karbonlu çelik (1.0535 (AISI 1050)) insörtlerinin eridiği görülmüştür (Şekil 6). Sımchı ve Petzoldt [6] yaptıkları çalışmada malzemelerin temas bölgelerinde karbon (C) ve kobalt (Co) difüzyonundan dolayı 1220 °C de sıvı faz oluştuğunu ve oluşan sıvı fazdan ölçüsel stabilitenin de etkilendiği belirlemişlerdir. Bu çalışmada kullanılan insört malzemelerinin içerisindeki C oranları besleme stokunun içindeki C oranından düşüktür (Tablo 1-3). Literatürde yapılan çalışmalarda iki malzemenin difüzyonunda yüksek konsantrasyon bölgesinden düşük konsantrasyon bölgesine hareket olduğu belirtilmiştir [14]. İTEK yöntemi ile WC-Co parça üretimine yönelik çalışmalarda insört olarak HSS kullanıldığı zaman yüksek sıcaklıkta insörtün eridiği belirtilmektedir. Bunun sebebi olarak insört yüzeyine C ve Co geçişinden dolayı sıvı faz sinterleme sıcaklığının azalması gösterilmiştir [1]. Bu çalışmada da insörtlerin yapıldığı malzemelerin içerisinde Co yoktur ve C oranları da WC-Co besleme stokundan düşüktür. Bu nedenle besleme stoku içerisindeki C ve Co insört tarafına difüzyon olduğu ve insörtün C ve Co oranının artmasına sebep olarak 1400 °C sıcaklıkta eridiği düşünülmektedir.



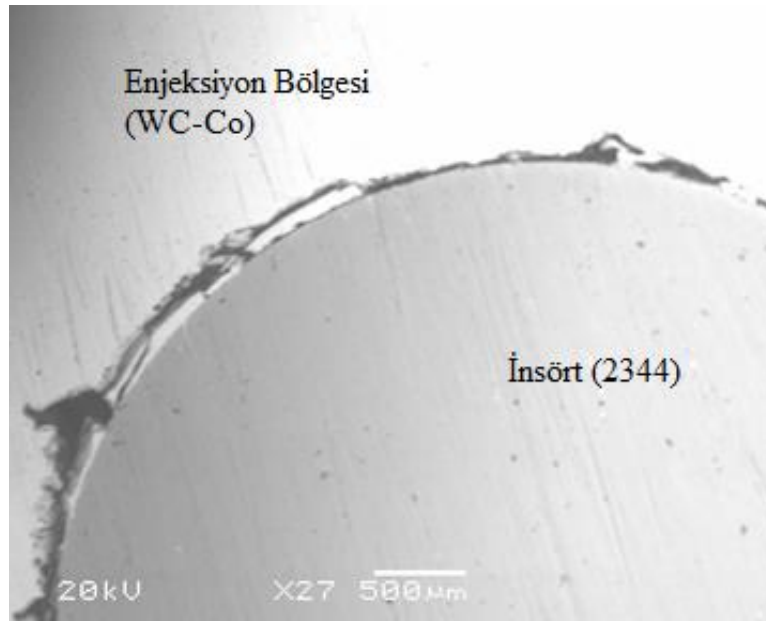
Şekil 6. 1400 °C de 60 dakika sinterlenen numuneler a) 1.2379 b) 1.2344 c) 1.2312 çeliği

1020 çeliğinden yapılan insörtlerde diğer malzemelerden yapılan insörtlere göre geometrik bozulma çok fazla olmuştur. Bununla sebebi olarak iç ve dış yapı arasındaki termal genişleme katsayısının bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar literatürde yapılan çalışmalar ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir [5, 6, 11]

1400 °C de sinterleme de insörtlerin erimesi üzerine deneyler 1200 ve 1250 °C lerde ve 180 ila 240 dakikalarda yapılmıştır. Takım çeliğinden (1.2379, 1.2344, 1.2312) hazırlanan insörtlerin bu sinterleme sıcaklığında erimeyeceği tespit edilmiştir (Şekil 7). Fakat erimeyen insörtlerin enjeksiyon bölgesi (WC-Co) ile tam bir difüzyon oluşturmadığı SEM görüntülerinde belirlenmiştir (Şekil 8). Ayrıca difüzyon bölgesinin incelenmesi için parçaların parlatılması aşamasında insörtlerin kendi ekseni etrafında döndüğü tespit edilmiştir.



Şekil 7. 1200 °C de 240 dakika sinterlenen numuneler a) 1.2379 b) 1.2344 c) 1.2312 çeliği



Şekil 8. İnsört ile enjeksiyon bölgesi arasındaki birleşme bölgesi

Sade karbonlu çelikler ve imalat çelikleri ile 1200 °C de 240 dakika sürede yapılan sinterleme deneylerinde de insörtlerin erimediği görülmüştür (Şekil 9). Bu sinterleme deneyi sonrasında da insörtlerin enjeksiyon bölgesi ile bir difüzyon oluşturmadığı, belirlenmiştir. İki farklı malzemenin birbirine difüzyon olmasında sıcaklık ve sürenin temel faktörler içerisinde olduğu yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur. Ayrıca sinterleme sıcaklığı ve atmosferinin de difüzyon üzerinde etkili parametreler olduğu literatürde yapılan çalışmalarda belirtilmektedir [1, 2, 8]. Bu çalışmada da 1200 ve 1250°C nin difüzyon bağının oluşması için yeterli bir sıcaklık olmadığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 9. 1200 °C de 240 dakika sinterlenen numuneler a) 1.0535 (AISI 1050) b) 1.7225 (AISI 4140) c) 1.0402 (AISI 1020) çeliği

Literatürde yapılan çalışmalarda WC-Co besleme stokunun içerisindeki Co değerine bağlı olarak 1300-1600°C ve 60-90 dakika süreler arasında sinterlendiği belirtilmektedir [12, 15]. WC-Co parçalarda sinterleme sıcaklığının yükseltilmesi mekanik özelliklerin pozitif yönde değişmesine sebep olabilmektedir [15]. Ancak bu çalışmada görüldüğü üzere yüksek sıcaklıkta (1400 °C) takım çeliği (1.2379, 1.2344, 1.2312), sade karbonlu çelik (1.0535 (AISI 1050)) ve imalat çeliğinden (1.7225 (AISI 4140)) yapılmış insörtler erimiştir. Bu durum deneylerin daha düşük sıcaklıklarda yapılmasına sebep olmuştur.

Çalışmada enjeksiyon bölgesinin sertlik değerindeki zamana bağlı değişimi belirlemek için 1200°C sıcaklık 180 ve 240 dakika sürede numuneler sinterlenmiştir. Deneyler sonucunda 180 dakika sinterlenen numunelerin enjeksiyon bölgesi 1020 HV sertlikte olurken, 240 dakika sinterlenen numunelerde bu bölge 1080 HV sertliğe ulaştığı görülmüştür. 1250°C sıcaklıkta 180 dakikada 1450 HV sertlik var iken 240 dakika da sinterlenen numunelerde ise 1505 HV sertlik değeri ölçülmüştür. Literatürde yapılan çalışmalar da WC besleme stokunun sertliğinin sinterleme sıcaklığının ve süresine bağlı olarak artış gösterdiği ortaya konmuştur [15] Elde edilen sonuçlar çerçevesinde sinterleme sıcaklığının ve süresinin sertlik değeri üzerinde etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

İTEK yöntemi ile dış kısmı WC-Co ve iç kısmı çelik insört parça üretiminde uygun insört malzemesinin belirlenmesinin amaçlandığı bu çalışmada;

- 1400 °C sinterleme sıcaklığında takım çeliği (1.2379, 1.2344, 1.2312), sade karbonlu çelik (1.0535 (AISI 1050)) ve imalat çeliğinin (1.7225 (AISI 4140)) eridiği belirlenmiştir
- 1200 ve 1250 °C sinterleme sıcaklığında takım çeliği (1.2379, 1.2344, 1.2312), sade karbonlu çelik (1.0402 (AISI 1020), 1.0535 (AISI 1050)) ve imalat çeliğinin (1.7225 (AISI 4140)) erimediği fakat enjeksiyon bölgesi ile de birleşmediği tespit edilmiştir.
- İTEK yöntemi ile üretilecek dış kısmı WC-Co iç kısmı çelik parça da insörtün karbon (C) oranının, sinterleme şartlarında etkili olduğu belirlenmiştir.
- 1200°C sıcaklık da 180 ve 240 dakika sürelerde sinterlenmiş numunelerin enjekte bölgesinin sertliği sırası ile 1020 HV ve 1080 HV olarak tespit edilmiştir.
- 1250°C sıcaklık da 180 ve 240 dakika sürelerde sinterlenmiş numunelerin enjekte bölgesinin sertliği sırası ile 1450 HV ve 1505 HV olarak tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışmanın ortaya çıkmasındaki desteklerinden dolayı TÜBİTAK (Proje No. 115M437) ve Gazi Üniversitesi'ne (Proje No. 07 / 2016-21) teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Subaşı, M., Koçak, H., Safarian, A., Karataş Ç. (2020). Investigation of functional core-rim composite part production by inserted powder injection moulding. *Materials Science and Technology*, 36, 293-298.
- [2] Safarian, A., Subaşı, M., Karataş, Ç. (2017). The effect of sintering parameters on diffusion bonding of 316L stainless steel in inserted metal injection molding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89, 2165-2173.
- [3] Koçak, H., Subaşı, M., Karataş, Ç. (2019). Sinter bonding of AISI 4340 and WC-Co using Ni interlayer by inserted powder injection molding. *Ceramics International*, 45, 22331-22335.
- [4] Heaney, DF., Suri, P., German, R.M. (2003). Defect-free sintering of two material powder injection molded components Part I Experimental investigations. *Journal of Materials Science*, 38, 4869-4874.
- [5] Antusch, S., Norajitra, P., Piotter, V., Ritzhaupt-Kleissl, H.-J., Spatafora, L. (2011). Powder Injection Molding – An innovative manufacturing method for He-cooled DEMO divertor components. *Fusion Engineering and Design*, 86, 1575-1578.
- [6] Simchi, A., Petzoldt, F. (2009). Cosintering of Powder Injection Molding Parts Made from Ultrafine WC-Co and 316L Stainless Steel Powders for Fabrication of Novel Composite Structures. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 41, 233-241.
- [7] Zhang, S.X., Ong, Z.Y., Li, T., Li, Q.F., Pook, S.F. (2010). Ceramic composite components with gradient porosity by powder injection moulding. *Materials & Design*, 31, 2897-2903.
- [8] Dourandish, M., Simchi, A. (2009). Study the sintering behavior of nanocrystalline 3Y-TZP/430L stainless-steel composite layers for co-powder injection molding. *Journal of Materials Science*, 44, 1264-1274.
- [9] Ruh, A., Hanemann, T., Heldele, R., Piotter, V., Ritzhaupt-Kleissl, H.-J., Hausselt, J., Hanemann, T., Heldele, R., Hausselt, J. (2011). Development of Two-Component Micropowder Injection Molding (2C MicroPIM): Characteristics of Applicable Materials. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 8, 194-202.
- [10] Ruh, A., Piotter, V., Plewa, K., Ritzhaupt-Kleissl, H.-J., Haußelt, J. (2010). Effects of material improvement and injection moulding tool design on the movability of sintered two-component micro parts. *Microsystem Technologies*, 16, 1989-1994.
- [11] Gal, C.W., Han, S.S., Han, J.S., Lin, D., Park, S.J. (2019). Investigation of stainless steel 316L/zirconia joint part fabricated by powder injection molding. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 16, 315-323.
- [12] Koçak, H., Kamran, S., Yılmaz, O., Karataş, Ç. (2018). Nikel Ara Katman Kullanılarak İnsörtlü Toz Enjeksiyon Kalıplama Yöntemiyle WC-Co/HSS Kompozit Parça Üretiminin Araştırılması. *GU J Sci Part C*, 6, 374-384.
- [13] Liu, Z.Y., Kent, D., Schaffer, G.B. (2009). Powder Injection Molding of Al-(Steel and Magnet) Hybrid Components. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 40, 2785-2788.

- [14] Kurt, A., Uygur, I., AteŐ, H. (2007). Effects of temperature on the weldability of powder metal parts joined by diffusion welding. *Mater Sci Forum*, 546-549, 667–670.
- [15] Heng, S.Y., Muhamad, N., Sulong, A.B., Fayyaz, A., Amin, S.M. (2013). Effect of sintering temperature on the mechanical and physical properties of WC–10%Co through micro-powder injection molding (μ PIM). *Ceramics International*, 39, 4457-4464.