



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



## Nikel ilaveli toz metalurjisi çeliklerin darbe tokluk özelliklerine farklı karbon oranı ve sıcaklık etkilerinin incelenmesi

*Investigation of different carbon ratio and temperature effects on impact toughness properties of nickel added powder metallurgy steels*

*Yazarlar (Authors): Tuğba BİLGİN<sup>1</sup>, Onur ALTUNTAŞ<sup>2</sup>, Ahmet GÜRAL<sup>3</sup>*

*ORCID<sup>1</sup>: 0000-0003-4838-4333*

*ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-4410-910X*

*ORCID<sup>3</sup>: 0000-0002-6211-8827*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Bilgin T., Altuntaş O. ve Gural A., "Nikel ilaveli toz metalurjisi çeliklerin darbe tokluk özelliklerine farklı karbon oranı ve sıcaklık etkilerinin incelenmesi", *Politeknik Dergisi*, 25(3): 1281-1285, (2022).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.963563

# Nikel İlaveli Toz Metalurjisi Çeliklerin Darbe Tokluk Özelliklerine Farklı Karbon Oranı ve Sıcaklık Etkilerinin İncelenmesi

## Investigation of Different Carbon Ratio and Temperature Effects on Impact Toughness Properties of Nickel Added Powder Metallurgy Steels

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Vakum Sinterleme/Vacuum Sintering
- ❖ Ni ilaveli Toz Metalurjisi çelik/Powder Metallurgy steel with Ni added
- ❖ Farklı sıcaklıklarda darbe tokluk testi/Impact toughness test at different temperatures

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

TM yöntemi ile üretilen Ni ilaveli çeliklerin farklı sıcaklık darbe dayanıklılığının belirlenmesi./ Determination of different temperature impact strength of Ni added steels produced by PM method.



Şekil. Deneysel süreçler /Figure. Experimental processes

### Amaç (Aim)

Bu çalışmanın amacı farklı karbon oranlarındaki TM çeliklerin darbe tokluk özelliklerine %2 Nikel ilavesi etkilerinin mikroyapısal dönüşümler ile değerlendirilerek incelenmesidir. / The aim of this study is to examine the effects of 2% Nickel addition on the impact toughness properties of PM steels with different carbon ratios by evaluating them with microstructural transformations.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Farklı sıcaklıklarda darbe tokluk testleri yapılarak kırılma formları incelenmiştir. / Fracture forms were investigated by performing impact toughness tests at different temperatures

### Özgünlük (Originality)

TM yöntemi ile üretilen farklı kimyasal bileşimdeki çelik alaşımlarına darbe testi uygulanmıştır. / Impact test was applied to steel alloys with different chemical compositions produced by the PM method.

### Bulgular (Findings)

Mikroyapısal karakterizasyonlar sonucu tüm karbon oranlarında perlit çökmesi baskılanarak nikelce zengin ferrit katı çözeltisi oluşmuştur. / As a result of microstructural characterizations, perlite precipitation was suppressed at all carbon ratios and nickel-rich ferrite solid solution was formed.

### Sonuç (Conclusion)

Alaşımin darbe tokluk ve sertlik özellikleri artan karbon oranına bağlı olarak azalmıştır. / The impact toughness and hardness properties of the alloy decreased due to the increased carbon content

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Nikel İlaveli Toz Metalurjisi Çeliklerin Darbe Tokluk Özelliklerine Farklı Karbon Oranı ve Sıcaklık Etkilerinin İncelenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Tuğba Bilgin<sup>1</sup>, Onur Altuntaş<sup>2\*</sup>, Ahmet Güral<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 07.07.2021 ; Kabul/Accepted : 11.08.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 17.08.2021)

## ÖZ

Bu çalışmada farklı karbon oranlarına sahip Toz Metalurjisi (TM) çeliklere nikel elementi ilave edilerek darbe tokluk özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla saf demir tozuna sırasıyla ağırlıkça % 0,4 - 0,8 - 1,2 oranlarında doğal grafit , % 2 oranında nikel ve yağlayıcı olarak ise % 0,5 çinko stearat ilave edilmiştir. Hazırlanan toz karışımları, oda sıcaklığında ve tek etkili kalıpta 700 MPa presleme basıncında şekillendirilerek darbe test numuneleri üretilmiştir. Ardından 1200 °C sıcaklıkta  $5 \times 10^{-2}$  Pa vakum ortamında 20 dk süre sinterlenmiştir. Sinterlenme işlemi sonrasında toz metal çeliklere farklı sıcaklıklarda darbe testi uygulanarak darbe tokluk değerleri belirlenmiştir. Alaşımın kimyasal bileşimine bağlı olarak SEM mikroyapı ve kırık yüzey analizleri yapılarak, makrosertlik değerleri ile darbe toklukları arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Nikel ilaveli TM çeliklerin mikroyapılarında nikelce zengin ferritik katı çözeltinin oluşarak perlit çökmesini baskıladığı belirlenmiştir. -20 °C'de tüm numuneler çok düşük darbe tokluğuna sahipken, +40 °C'de yapılan darbe testi değerleri artan karbon oranıyla azalmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Toz metalurjisi, darbe tokluğu, kırık yüzey, nikel ilaveli çelik.

## Investigation of Different Carbon Ratio and Temperature Effects on Impact Toughness Properties of Nickel Added Powder Metallurgy Steels

### ABSTRACT

In this study, impact toughness properties were investigated by adding nickel element to Powder Metallurgy (PM) steels with different carbon ratios. For this purpose, 0.4% - 0.8 - 1.2% by weight natural graphite, 2% nickel and 0.5% zinc stearate as lubricant were added to the pure iron powder, respectively. Impact test samples were produced by shaping the prepared powder mixtures at room temperature and 700 MPa pressing pressure in a single-acting mold. Then, it was sintered at 1200 °C in a vacuum atmosphere of  $5 \times 10^{-2}$  Pa for 20 minutes. After the sintering process, impact toughness values were determined by applying the impact test to powder metal steels at different temperatures. Depending on the chemical composition of the alloy, SEM microstructure and fracture surface analyzes were performed and the relationships between macrohardness values and impact toughness were investigated. It has been determined that nickel-rich ferritic solid solution forms in the microstructure of nickel-added PM steels and suppresses the precipitation of pearlite. All samples had very low impact toughness at -20 °C, while the impact test values at +40 °C decreased with increasing carbon content.

**Keywords:** Powder metallurgy, impact toughness, fracture surface, nickel addition steel.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çelik endüstrisinin temel gereksinimlerinin başında çeşitli prosesler kullanılarak yüksek mukavemet ve darbe tokluğunun birlikte bulunması hedeflenir [1-4]. Düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çelikler, düşük maliyetlerinin yanında iyi mukavemet, süneklik ve tokluk kombinasyonları nedeniyle başta otomotiv, inşaat, petrol ve makine sektörlerinde önemli malzemeler olduklarını kanıtlamıştır [5-6]. Bu sebeple sinterlenmiş TM alaşımları otomotiv, savunma, sağlık ve enerji sektörleri gibi birçok farklı endüstriyel uygulama alanlarında tercih edilmektedir [7-9].

Nikel elementi çelikler için oldukça önemli etkilere sahiptir. Nikel östenit bölgesini genişletip ferrit bölgesini daraltarak östenit dengeleyici özelliğe sahiptir. Ayrıca nikel, alaşımın yüksek sıcaklıklarda korozyon ve oksidasyona karşı direnci artırır. Nikel, tane boyutunu incelterek tokluğu ve mukavemeti artırır. Krom ile birlikte kullanıldığında sertliği, sünekliği, yorulma direncini iyileştirir. Elementel nikel, birçok elemente kıyasla daha düşük bir difüzyon katsayısına sahiptir ve demire daha yavaş difüze olur [10-12].

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : onuraltuntas@gazi.edu.tr

Nb-V mikroalaşımli TM çeliklere farklı oranlarda Ni ilavesinin mekanik-korozyon dayanımlarına olan etkisinin incelendiği bir çalışmada, %13 Ni ilavesinin en yüksek akma ve çekme dayanımlarını sağladığı ancak artan Ni ilavesi ile dayanımın azaldığı bildirilmiştir. Tafel eğrilerinin analizi ile, nikel konsantrasyonunun artmasıyla alaşımların korozyon direncinin arttığını göstermiştir [13]. Nikel ilaveli TM çeliklerin arakritik sıcaklıklarda tavlanylup su verilmesi ve ardından temperlenmesi üzerine yapılan bir çalışmada alaşıma ilave edilen ağırlıkça %2 ye kadar nikel oranının mikroyapılarda gözlenen Ni bakımından zengin ferrit ve martensit gibi fazlardan dolayı mekanik özellikleri geliştirdiği belirtilmiştir [14].

Bu çalışmanın amacı farklı karbon oranlarındaki TM çeliklerin darbe tokluk özelliklerine %2 Nikel ilavesi etkilerinin mikroyapısal dönüşümler ile değerlendirilerek incelenmesidir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Deneyel çalışmalarda kullanılan TM çelik alaşımı için elektroliz yöntemi ile üretilmiş saf demir tozlarına (Höganäs (NC100.24)) ağırlıkça % 2 nikel (Alfa Aesar (10256)) tozu ve karbon kaynağı olarak farklı oranlarda ağırlıkça %0,4-%0,8-%1,2 (Alfa Aesar (40799)) grafit tozları ilavesi yapılmıştır. Ayrıca bu karışım tozlarda preslemeyi kolaylaştırmak amacıyla yağlayıcı olarak ağırlıkça % 0,5 Zn stearat kullanılmıştır. TM çeliğin bileşiminde bulunan elementlerin ticari katalog bilgileri Çizelge 1’de gösterilmiştir. Hazırlanan bu karışım tozları 700 MPa basınç altında, oda sıcaklığında ve tek eksenli presleme ile sıkıştırılarak ISO 5754 standartlarına uygun Charpy darbe test numuneleri üretilmiştir. Preslenerek ham şeklini alan TM numuneler  $5 \times 10^{-2}$  Pa vakum atmosferinde 1200 °C sıcaklıkta 20 dakikalık süre boyunca sinterlenmişlerdir. Sinterlenen numuneler ilave edilen karbon oranına bağlı olarak sırasıyla “S04”, “S08” ve “S12” olarak kodlanmıştır.

**Çizelge 1.** TM çeliğin bileşiminde bulunan elementlerin özellikleri (Properties of the elements in the composition of PM steel)

| Toz Adı | Üretici Firma/Ürün Kodu | Ortalama Parçacık Boyutu (µm) | Saflık Derecesi (%) |
|---------|-------------------------|-------------------------------|---------------------|
| Demir   | Höganäs (NC100.24)      | 45                            | 99,8                |
| Grafit  | Alfa Aesar (40799)      | 74                            | 99,9                |
| Nikel   | Alfa Aesar (10256)      | 3-7                           | 99,9                |

Metalografi işlem basamakları uygulanarak numuneler sırasıyla zımparalama (240-2000#) ve 3-1 µm’lik elmas solüsyonlar kullanarak parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Mikroyapıların açığa çıkarılması amacıyla dağlayıcı olarak %3’lük Nital çözeltisi (3ml HNO<sub>3</sub>-97ml ethanol) kullanılmıştır. Mikroyapı ve kırık yüzeylerin incelenmesinde JEOL JSM-6060LV marka SEM mikroskobu kullanılmıştır. Numunelerin faz hacim oranları SEM mikroyapı resimleri üzerinden Dewinter Material Plus 6,1 yazılımı kullanılarak

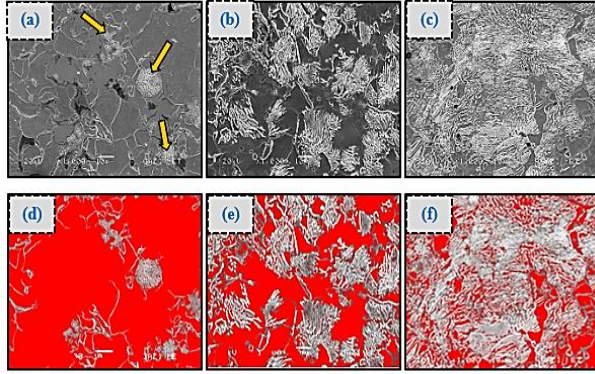
hesaplanmıştır. Numunelerin Vickers sertlik ölçümleri Shimadzu Sertlik cihazında 1 kg yük kullanılarak, her bir numune için en az 5 farklı noktadan sertlik değeri alınarak ortalama HV1 değerleri tespit edilmiştir. ISO 5754 standardına göre hazırlanmış darbe numunelerinin testleri, Instron –Wolpert marka darbe cihazında standartlara uygun olarak çentik açılmadan ve farklı sıcaklıklarda (-20, +40°C) gerçekleştirilmiştir. Darbe test numunelerini kırmak için 300 J kapasiteli çekiç kullanılmıştır. Darbe tokluk deneyinde her bir parametre için en az üçer adet numune kullanılmıştır ve elde edilen verilerin ortalaması hesaplanarak darbe tokluğu değerleri elde edilmiştir.

## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

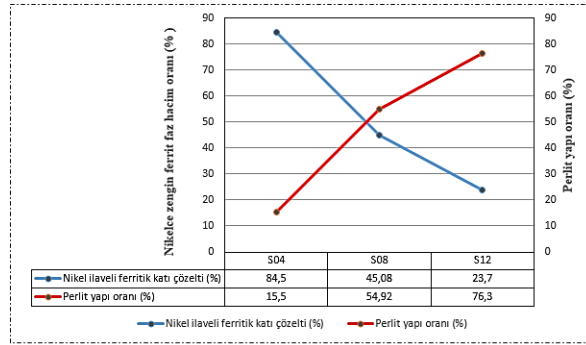
Deneyel çalışmalar bölümünde anlatıldığı gibi tüm numuneler aynı şartlarda sinterlenmişlerdir.

Numunelerin sinterleme sonrası SEM mikroyapı görüntüleri Şekil 1’de verilmiştir. TM ile üretim yönteminde tam yoğunluğa ulaşamamanın sebeplerinden en önemlisi mikroyapılardan da görülebildiği gibi toz parçacıkları arası izole gözeneklerdir. Bu gözenekler geleneksel TM üretim yöntemlerinde soğuk presleme sonrası sinterleme sırasında toz parçacıkları arasında difüzyonla kimyasal bağ oluşmaya başlar. Ardından toz taneleri arasında sinterleme boyunları oluşurken ara kalan gözenekler küremsi morfolojide küçülme eğilimine başlar. Sinterleme boyunlarında bir taraftan difüzyon devam ederken gözeneklerde buhar faz yoğunlaşması ile konkav yüzeyden konveks yüzeye kütle transferi sonunda hem gözenekler yuvarlaklaşarak küçülür ve izole olur hem de iç gaz basıncının artışı ile gözeneklerin tamamen kapanmasına engel olur. Mikroyapılar incelendiğinde alaşımsız çeliklerde beklenen tipik ötektoidal, ötektoid ve ötektoidüstü faz ve yapılar rastlanmadığı görülmektedir. Bu durum her kimyasal bileşime ait alaşıma denge kuralı (kaldıraç) uygulanarak yapılan hesaplamalarla örtüşmeyerek de kanıtlanmaktadır. Bu kurala göre S04 numunesinde %52 ferrit ve % 48 perlit fazları beklenirken, mikroyapıda çökelen perlitin çok daha az miktarda olduğu ok işaretleri ile de gösterilmiştir. S8 numunesinde %100 perlitik yapı beklenirken mikroyapıda perlit kolonilerinin haricinde birincil ferrit faz bölgeleri görülmektedir. Aynı kurala göre ötektoidüstü bileşime sahip S12 numunesinde yaklaşık %7 oranında birincil sementit (Fe<sub>3</sub>C) ve % 93 perlit çökmesi beklenirken mikroyapıda çok yoğun perlit kolonileri görülmektedir. Şekil 2’de numunelerin deneyel çalışmalarda bahsedildiği gibi SEM mikroyapı resimleri üzerinden faz hacim oranları hesaplanarak grafik olarak sunulmuştur. %2 nikel ilavesinin genel olarak tüm karbon oranlarında perlit çökmesini engelleyerek matrikste nikelce zengin alanlar oluşturduğu görülmektedir [15].

Bu durum Şekil 3’de verilen EDS analizi sonuçları ile desteklenmektedir.



**Şekil 1.** Numunelerin sinterleme sonrası SEM mikroyapı görüntüleri; (a) S04, (b) S08, (c) S12 ve faz hacim oranları görüntüleri; (d) S04, (e) S08, (f) S12 (SEM microstructure images of samples after sintering; (a) S04, (b) S08, (c) S12 and phase volume ratio images; (d) S04, (e) S08, (f) S12)

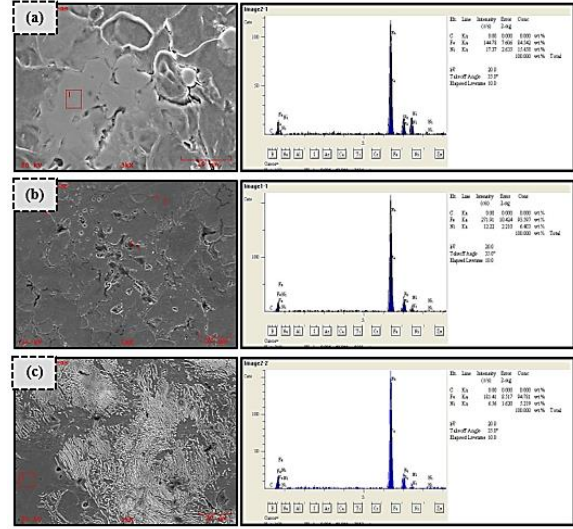


**Şekil 2.** Numunelerin faz hacim oranları değerleri (Phase volume ratio values of samples)

SEM- EDS analizi sonuçları incelendiğinde hiçbir numunede karbon miktarı gözlemlenmemiştir. Bu durumun karbonun çok küçük atomik yarıçapa sahip olmasından kaynaklı kristal kafeste arayer boşluklarında bulunmasının sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca artan karbon oranına göre maktrisin nikel oranının azaldığı da yapılan EDS analizleri ile söylenebilmektedir. Bu durumun S12 numunesinin 1200°C’de gerçekleştirilen sinterleme işleminde, diğer numunelere göre östenit bağ çizgisine daha yakın olmasından kaynaklı nikelin daha fazla çözünmesine katkı sağladığı düşünülmektedir.

Çizelge 2’de sunulan verilere göre numunelerin 700 MPa basınç altında preslenmesi ve ardından 1200 °C sabit sıcaklıkta sinterlenmeleri sonrası elde edilen ortalama

yoğunluk değerlerine göre tüm numunelerde sinterleme sonrası yoğunluk değerlerinin arttığı belirlenmiştir.



**Şekil 3.** Numunelerin EDS analizi görüntüleri; (a) S04, (b) S08 ve (c) S12 (EDS analysis images of samples; (a) S04, (b) S08 and (c) S12)

Sinterleme sonrası numunelerin yaklaşık %90 oranlarında yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Bu durum geleneksel TM üretim teknikleriyle elde edilebilecek beklenen bir sonuçtur. Ancak Sıcak izostatik presleme, lazer sinterleme veya spark plazma sinterleme gibi üst düzey teknikler kullanılmak suretiyle yoğunlaşma oranlarının artırılacağı hatta tam yoğunluk değerlerine erişileceği bilinmektedir [16-17]. Elde edilen makrosertlik (HV1) değerlerinin ise mikroyapıda çökelen fazların türü ve oranına bağlı değiştiği gözlemlenmiştir. Artan karbon oranına bağlı olarak mikroyapıda oluşan perlit miktarlarının S08 ve S12 numunelerinde arttığı ve bu durumun da alaşımın sertliğini artırdığı söylenebilir.

Şekil 4’de numunelerin farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen darbe test sonuçları grafik olarak

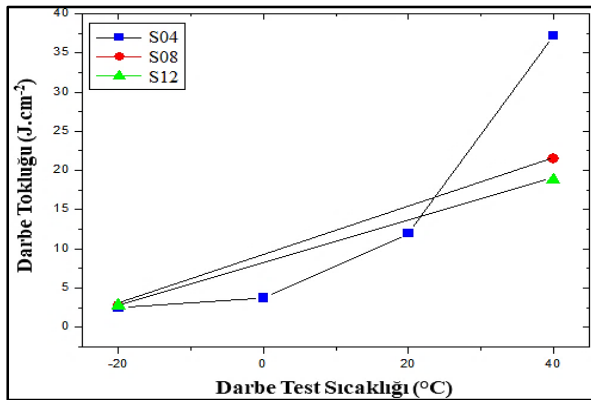
**Çizelge 2.** Numunelerin yoğunluk ve makrosertlik değerleri (Density and macrohardness values of the samples)

|     | Presleme Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> ) | Sinterleme Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> ) | Yoğunlaşma Oranı (%) | Makrosertlik (HV1) |
|-----|---|---|----------------------|--------------------|
| S04 | 6,78                                    | 7,02                                      | 90,0                 | 83                 |
| S08 | 6,75                                    | 6,97                                      | 89,3                 | 96                 |
| S12 | 6,74                                    | 6,94                                      | 88,9                 | 160                |

sunulmuştur. Tüm numunelerin artan test sıcaklığı ile darbe tokluklarının arttığı gözlemlenmiştir. 4 farklı sıcaklıkta darbe testine tabi tutulan S04 numunesinin artan test sıcaklıkları ile darbe tokluk değerlerinin arttığı ve belirgin bir darbe geçiş sıcaklığı sergilediği görülmektedir. S08 ve S12 numunelerinin darbe testleri

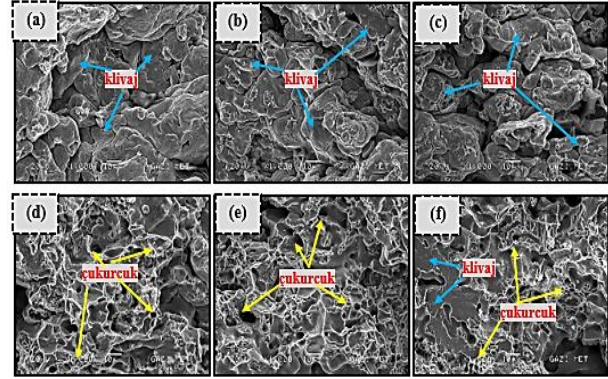


ise minimum ve maksimum sıcaklık değerlerinde (-20, +40°C) gerçekleştirilmiştir. -20°C'de gerçekleştirilen test sonucunda tüm numunelerin gevrek kırıldığı Şekil 5(a-c)'de görülmektedir. +40°C'de yapılan darbe testi sonuçlarına göre artan karbon oranının tokluk değerlerini azalttığı belirlenmiştir. Bu durumun S08 ve S12 mikroyapılarında S04 numunesine göre daha yoğun bulunan perlit kolonilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü S04 numunesi çok yoğun olarak sünek nikel ilaveli ferritik katı çözeltilerden oluşmaktayken, S08 ve S12 numunelerinde ferritik alanların azaldığı ve perlit çökmesinin artarak ilerlediği görülmektedir.



Şekil 4. Numunelerin farklı sıcaklıklarda yapılan darbe tokluk testi grafikleri (Impact toughness test graphs of samples at different temperatures)

Şekil 5(a-f)'de numunelerin -20 °C ve +40 °C'de yapılan darbe testi sonrası elde edilen kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. -20 °C'de darbe testine tabi tutulan tüm numunelerin düşük enerjiye sahip oldukları ve gevrek kırılmaya uğradıkları kırık yüzey SEM fotoğraflarındaki yoğun klivaj kopma modları (mavi ok işaretleri) ile belirlenmiştir. Klivaj kopma süneklik göstermeyen malzemeler görülen bir durumdur. Ortam sıcaklığı azalmasıyla kayma mekanizma etkinliğinin azalması ile yoğun atomik düzlemlerinden ayrışma gerçekleşerek erken kopma görülür. Böylece darbe tokluğunun düşmesine neden olmuştur. +40 °C'de yapılan darbe testlerinde ise artan karbon oranına bağlı olarak tokluk değerlerinin azaldığı SEM kırık yüzey incelemelerinde S04 ve S08 numunelerinde daha yoğun bulunan çukurlu kopma (dimple fracture) modunun (sarı ok işaretleri) S12 numunesinde hem gevrek hem sünek kırılmanın bir göstergesi olan klivaj ve çukurlu kopma modunun beraber bulunması ile gösterilmiştir. Genellikle TM malzemelerde mekanik yüklerin sinterleme boyunları tarafından taşındığından [18] çukurlu kopmalar lokal olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 5. Numunelerin -20°C'deki; (a) S04 (b) S08 (c) S12 ve +40°C'deki; (d) S04 (e) S08 (f) S12 darbe test kırık yüzey görüntüleri (Impact test fracture surface images of samples (a) S04 (b) S08 (c) S12 at -20°C temperature and (d) S04 (e) S08 (f) S12 at +40°C temperature)

## 6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada farklı karbon oranlarındaki TM çeliklerin darbe tokluk özelliklerine %2 Nikel ilavesi etkilerinin mikroyapısal dönüşümleri ile incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- 1- Aynı şartlarda preslenip sinterlenen numunelerde yapılan mikroyapısal karakterizasyonları sonucu artan karbon oranı ile perlit çökmesinin %15,5'den %76,3'e arttığı, nikelce zengin ferritik katı çözelti miktarının ise %84,5'den %23,7'ye azaldığı hesaplanmıştır.
- 2- Sinterleme sonrası en yüksek yoğunluk değeri 7,02 g/cm<sup>3</sup> ile S04 numunesinde elde edilmiştir.
- 3- Numunelerin artan karbon oranına bağlı olarak sinterleme sonrası makrosertlik (HV1) değerlerinin 83 HV1'den 160 HV1'e arttığı tespit edilmiştir.
- 4- Tüm numunelerin -20 °C'de yapılan darbe tokluk test değerleri 2,5J değerlerinde iken, +40 °C'de S04, S08 ve S12 numunelerinin sırasıyla 37J, 21J ve 18J olarak belirlenmiştir.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma FYL-2021-7100 numaralı proje kapsamında Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

## ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

**YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)**

**Tuğba BİLGİN:** Deneyleri yapmıştır.

**Onur ALTUNTAŞ:** Deneysel sonuçları analiz etmiş ve makalenin yazım işlemlerini gerçekleştirmiştir.

**Ahmet GÜRAL:** Deneysel sonuçları analiz etmiştir.

**ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)**

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Barani, A. A., Li, F., Romano, P., Ponge, D., & Raabe, D., "Design of high-strength steels by microalloying and thermomechanical treatment", *Materials Science and Engineering: A*, 463(1-2), 138-146, (2007).
- [2] Zhong, N., Wang, X. D., Wang, L., & Rong, Y. H. "Enhancement of the mechanical properties of a Nb-microalloyed advanced high-strength steel treated by quenching-partitioning-tempering process", *Materials Science and Engineering: A*, 506(1-2), 111-116, (2009).
- [3] Delincé, M., Bréchet, Y., Embury, J. D., Geers, M. G. D., Jacques, P. J., & Pardoën, T., "Structure-property optimization of ultrafine-grained dual-phase steels using a microstructure-based strain hardening model", *Acta Materialia*, 55(7), 2337-2350, (2007).
- [4] Güral, A., & Altuntaş, O., "Improving the impact toughness properties of high carbon powder metallurgy steels with novel spherical cementite in the bainitic matrix (SCBM) microstructures", *Materials Chemistry and Physics*, 259, 124203, (2021).
- [5] Nishijima, S., Ishii, A., Kanazawa, K., Matsuoka, S., & Masuda, C., "NRIM fatigue data sheet technical document", No. 5. *National Research Institute for Metals*, Tokyo, 37, (1989).
- [6] Bouaziz, O., Zurob, H., & Huang, M., "Driving force and logic of development of advanced high strength steels for automotive applications", *Steel Research International*, 84(10), 937-947, (2013).
- [7] Skoglund, P., Litstrom, O., & Flodin, A., "Improvement of Powder Metallurgy Gears for Engines and Transmissions", *SAE Technical Paper*, (No. 2013-32-9102), (2013).
- [8] Ramakrishnan, P. "Automotive applications of powder metallurgy." *Advances in powder metallurgy. Woodhead Publishing*, 493-519,(2013).
- [9] Altuntaş, O., & Güral, A., "Designing spherical cementite in bainitic matrix (SCBM) microstructures in high carbon powder metal steels to improve dry sliding wear resistance", *Materials Letters*, 249, 185-188, (2019).
- [10] A Güral, A., Tekeli, S., & Gürü, M., "Effect of different heat treatments on microstructure of Ni added steels produced by P/M method", *European Powder Metallurgy Congress and Exhibition*, Prague, 175-180, (2005).
- [11] Shanmugasundaram, D. A. C. R., & Chandramouli, R. "Tensile and impact behaviour of sinter-forged Cr, Ni and Mo alloyed powder metallurgy steels", *Materials & Design*, 30(9), 3444-3449, (2009).
- [12] Tracey, V., "Nickel sintered steels—Developments, status and prospects", *Metal Powder Report*, 47(11), 49, (1992).
- [13] Ahssi, M. A. M., Erden, M. A., Acarer, M., & Çuğ, H. "The Effect of Nickel on the Microstructure, Mechanical Properties and Corrosion Properties of Niobium-Vanadium Microalloyed Powder Metallurgy Steels", *Materials*, 13(18), 4021, (2020).
- [14] Tekeli, S., & Güral, A., "Effect of intercritical annealing and quenching plus tempering heat treatments on microstructure of Ni added powder metallurgy steels", *Materials & Design*, 28(4), 1353-1357, (2007).
- [15] Narasimhan, K. S., & Semel, F. J., "Sintering of powder premixes-a brief overview", *Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials*, 1(05), (2007).
- [16] Sarıtaş, S., Türker, M., & Durlu, N. "Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri", *Türk Toz Metalurjisi Yayınları*, 5, 2-34, (2007).
- [17] Ozer, A., "The microstructures and mechanical properties of Al-15Si-2.5 Cu-0.5 Mg/(wt%) B<sub>4</sub>C composites produced through hot pressing technique and subjected to hot extrusion", *Materials Chemistry and Physics*, 183, 288-296. (2016).
- [18] Aksöz, S., & Bostan, B., "Effects of ageing and cryo-ageing treatments on microstructure and hardness properties of AA2014-SiC MMCs" *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 71(8), 2035-2042, (2018)