



## SU VERME VE TEMPERLEME ISIL İŞLEMİNİN VANADİS4 EXTRA VE AISI D2 ÇELİKLERİNİN ABRASİF AŞINMA DAVRANIŞINA ETKİSİ

İsmail OVALI\*

Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Programı, Denizli  
ORCID: 0000-0002-8193-0060

### Anahtar kelimeler

### Öz

*Vanadis4, AISI D2, toz metalürjisi çelikler, alaşımlı takım çelikleri, aşınma direnci*

*Bu çalışma, toz metalürjisi ile üretilen Vanadis4 Extra malzemesi ve AISI D2 (1.2379) soğuk iş takım çeliklerinin aşınma davranışı üzerinde su verme-temperleme ısıl işleminin etkisini araştırmıştır. Her iki çelik için aşınma testleri SiC bazlı bir aşındırıcı üzerinde 3,2 m/s sabit kayma hızında ve üç farklı kayma mesafesinde (100, 200 ve 300 m) gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, AISI D2 (1.2379) ve Vanadis4 Extra çeliğinin aşınma dirençlerinin benzer olduğunu göstermiştir. Aşınma testi sonuçlarına göre darbe dayanımı düşük olan AISI D2 (1.2379) çeliği yerine mükemmel tokluk özelliklerine sahip Vanadis4 Extra çeliğinin kullanılabilceği belirlenmiştir. Isıl işlem parametrelerinin AISI D2 (1.2379) ve Vanadis4 Extra çeliklerinin aşınma direncini optimize edebildiği belirlenmiştir.*

\* iovali@pau.edu.tr  
doi : 10.46399/muhendismakina.1315435

---

## THE EFFECT OF QUENCHING AND TEMPERING HEAT TREATMENT ON ABRASIVE WEAR BEHAVIOR OF VANADIS4 EXTRA AND AISI D2 STEELS

---

---

### Keywords

*Vanadis4, AISI D2, powder metallurgy steels, alloy tool steels, abrasion resistance*

### Abstract

*This study investigated the effect of quenching-tempering heat treatment on the wear behavior of Vanadis4 Extra material and AISI D2 (1.2379) cold work tool steels produced by powder metallurgy. Wear tests for both steels were performed on a SiC-based abrasive at a constant sliding speed of 3.2 m/s and at three different sliding distances (100, 200 and 300 m). Experimental results showed that the wear resistances of AISI D2 (1.2379) and Vanadis4 Extra steel are similar. According to the wear test results, it has been determined that Vanadis4 Extra steel with excellent toughness properties can be used instead of AISI D2 (1.2379) steel, which has low impact resistance. It has been determined that the heat treatment parameters can optimize the wear resistance of AISI D2 (1.2379) and Vanadis4 Extra steels.*

---

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 15.06.2023

Kabul Tarihi : 11.07.2023

Research Article

Submission Date : 15.06.2023

Accepted Date : 11.07.2023

---

## Extended Abstract

### Introduction

The automotive sector, particularly in mold applications for cutting molds, shaping molds, plastic injection molds, and punch materials, presents challenges in selecting appropriate cold work tool steels. The selection process is influenced by factors such as sheet quality and thickness, leading to difficulties in choosing suitable mold material. As molds play a vital role in industrial production, addressing issues such as premature obsolescence or maintenance is crucial before achieving the intended production lifespan. To enhance the longevity of molds, surface treatments have emerged as a widely adopted approach. Identifying optimal working conditions and suitable mold materials makes achieving the desired service life possible. It is widely recognized that surface coatings and heat treatments applied to cold work tool steels have significantly favorable effects on the mechanical properties of these materials.

### Methods

Vanadis4 and AISI D2 (1.2379) cold work tool steels specially produced by Uddeholm company were used in the experiments. During the heat treatment, three samples of Vanadis4 Extra were austenitized at 1100°C and tempered at 500°C. AISI D2 3 samples were austenitized at 1100°C and tempered at 130°C. Wear tests were conducted at room temperature in a pin-on-disc abrasive wear device prepared according to ASTM G99-05 standard. The effects of quenching tempering heat treatments on the wear behavior of Vanadis4 Extra and AISI D2 cold work tool steels were investigated regarding volume loss, wear rate, and friction coefficients. The hardness tests of the AISI D2 test specimens, whose dimensions are specified in the section on the preparation of test specimens, were determined in terms of the Rockwell C (HRC) scale according to the ASTM E18 standard.

### Results

It is seen that the heat treatments applied in the abrasive wear test directly affect the volume loss. At the 200 m sliding distance of the heat-treated Vanadis4 sample, the volume loss under 5N load increased by about 0.45 mm and under 10 N load by about 0.60 mm<sup>3</sup>. A value of 2 mm<sup>3</sup> was obtained. Wear rate also shows a similar trend with volume loss. The lowest friction coefficient of AISI D2 without heat treatment was determined as 0.35  $\mu$  for 15 N normal load, and the highest friction coefficient was 0.65  $\mu$  for 5 N normal load in the Vanadis4 sample. The lowest was determined in the 0.45  $\mu$  AISI D2 sample. On the other hand, the highest value was obtained in 0.7  $\mu$  Vanadis4 sample for 5N normal load.

### Discussion and Conclusions

It was determined that the abrasive wear resistance of Vanadis4 and AISI D2 steels was optimized by quenching and tempering heat treatment. It was determined that the values obtained in the heat-treated Vanadis4 sample were at the same rate as the volume loss values obtained in the heat-treated AISI D2 samples. As a result of austenitization and tempering heat treatments, the hardness of Vanadis4 and AISI D2 cold work tool steel samples increased significantly. It has been observed that the wear rates of the heat-treated samples are much lower than the untreated samples. It was determined that the wear rates of heat-treated AISI D2 samples were better than Vanadis4.

## 1. Giriş ve Amaç

Özellikle otomotiv sektöründe, kesme kalıpları, şekil verme kalıpları, plastik enjeksiyon kalıpları ve zımba malzemelerinde kullanılan soğuk iş takım çelikleri, kalıp uygulamalarındaki sac kalite ve kalınlıklarına göre seçim esnasında değişiklik gösterir. Buda kalıp malzemesi seçim aşamasında problemlerine yol açar (Ocak, 2015). Endüstriyel üretimlerin vazgeçilmez araçlarından biri olan kalıplar hedeflenen üretim ömrünü yakalayamadan kullanım dışı kalmakta yâda bakıma gereksinim duyar hale gelmektedir. Kalıpların kullanım ömrünü artırmak amacıyla en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden bir tanesi de yüzey işlemleridir. Uygun çalışma şartları ve kalıp malzemeleri belirlenerek istenilen kullanım ömürlerine ulaşılabilmektedir (Sarıkaya, 2011; Colac, Gordo, Ruiz, Otasevic , Villar 2006; Güneş, Uzun,Aslantas,Cicek, 2016).

Soğuk iş takım çeliklerine uygulanan yüzey kaplama ve ısıl işlemlerin malzemelerin mekanik özellikleri üzerine önemli derecede olumlu etkileri olduğu bilinmektedir. Podgornik ve arkadaşları Vanadis4 Extra soğuk iş takım çeliği üzerine yapılan TiN, TiB<sub>2</sub>, TaC and DLC kaplamaları ve yüzey sertleştirme işlemleri olarak plazma nitrüleme yöntemi ve sertleştirme (su verme-temperleme) ile deneysel çalışmalar yapmış ve sonuç olarak DLC kaplaması ve nitrüleme ile yüzey sertleştirme işleminin bir arada kullanıldığı numunede en iyi aşınma direnci kabiliyetine ulaştığını belirlemişlerdir (Podgornik, Hogmark, Sandberg,Leskovsek, 2003).

Yan ve ark. Vanadis4 Extra soğuk iş takım çeliğinin üretim yöntemi olarak kullanılan toz metalürjisi yönteminin çeliğin yapısındaki karbür dağılımının diğer yöntemlerle üretilen çeliklere oranla homojen bir yapıda olduğu ve bu homojen yapının mekanik özelliklere önemli derecede olumlu etki ettiğini belirlemişlerdir (Yan, Xu, Shib, Fan, 2008).

Haisheng Shib ve arkadaşları Vanadis4 Extra soğuk iş takım çeliğini farklı temperleme sıcaklıklarında (500°C, 550°C ve 700°C) temperleme işlemlerine tabii tutarak yapılarıdaki ikincil karbür fazların mekanik özelliklere etkilerini incelemişlerdir. 700°C sıcaklık ve 24 saat bekleme süresi ile yapıdaki martensitik yapının yeniden kristalleşmiş ferritik yapıya dönüştüğünü belirlemişlerdir (Shib, Yan, Fan, Xu, 2008).

Leunda ve ark. CPM10V ve Vanadis4 Extra soğuk iş takım çelikleri üzerine lazer ışını ile yüzeysel sertleştirme işlemi yapmışlar ve Vanadis4 Extra soğuk iş takım çeliğinde 700Hv sertlik değerlerine ulaşmışlardır (Leunda, Soriano, Sanz, García, 2011).

Jakubéczyová ve ark. Vanadis4 Extra soğuk iş takım çeliğine PVD teknolojisi ile TiAlN kaplaması yapmış ve kaplamanın malzeme üzerindeki özelliklerini incelemişlerdir (Hagarová, Jakubéczyová,Vojtko, 2011).

Aslantaş ve ark. Vanadis4 Extra soğuk iş takım çeliğine kriyojenik ısıtma işlemi uygulanmış ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Kriyojenik işlemler arası farklılık bekletme süreleri olan 1s, 12s ve 24s süreleri olarak ele alınmıştır sıcaklık ise  $-145^{\circ}\text{C}$  dir. Temperleme ise iki farklı sıcaklıkta  $175^{\circ}\text{C}$  ve  $525^{\circ}\text{C}$  de ve 2 saat bekletme süresinde yapılmıştır. Sonuç olarak 24 saat kriyojenik işlem bekleme süresi ve  $525^{\circ}\text{C}$  temperleme sıcaklığına sahip numune en iyi aşınma performansı sergilemiştir (Güneş ve diğ., 2011).

Bu çalışmada ise su verme temperleme ısıtma işlemlerinin Vanadis4 Extra ve AISI D2 soğuk iş takım çeliklerinin aşınma davranışları üzerindeki etkisi hacim kaybı, aşınma oranı ve sürtünme katsayıları açısından incelenmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

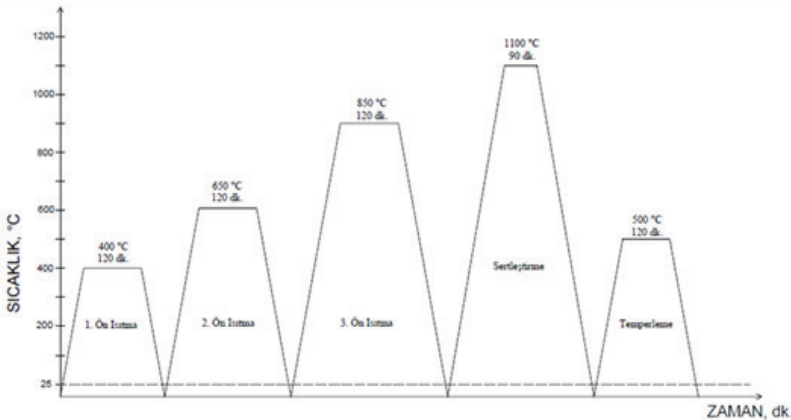
### 2.1 Deney Malzemesi

Deneylerde Uddeholm firmasının özel olarak ürettiği Vanadis4 ve AISI D2 (1.2379) soğuk iş takım çelikleri kullanılmıştır. Çeliklerin kimyasal kompozisyonları Tablo 1’de verilmiştir.

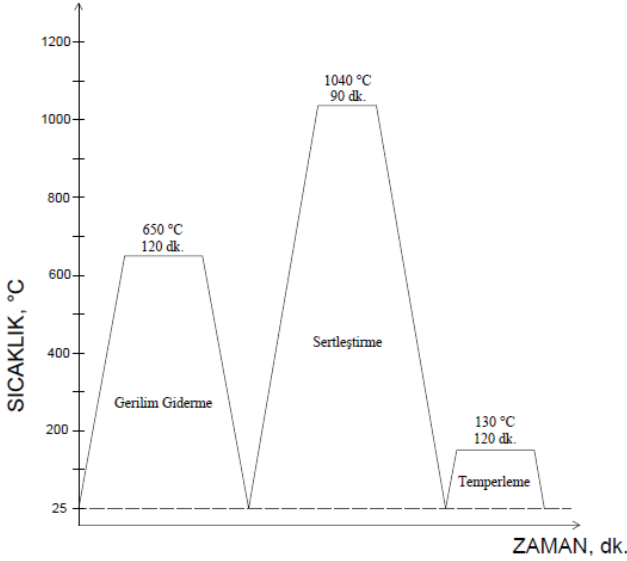
Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Çeliklerin Kimyasal Kompozisyonu (% Ağırlık)

Çelik	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Fe
Vanadis4	1.41	0.42	0.45	4.78	3.59	3.77	Denge
AISI D2 (1.2379)	1.45	0.37	0.48	11.36	0.79	0.78	Denge

Malzemeler için uygulanan ısıtma işlemi deney planı Şekil 1 ve 2’de tanımlanmıştır.



Şekil 1. Vanadis4 Extra ısıtma işlemi deney planı



Şekil 2. AISI D2 Isıl İşlem Deney Planı

Isıl işlem sürecinde, Vanadis4 Extra 3 adet numune 1100°C östenitlenmiş ve 500°C'de temperlenmiştir. AISI D2 3 adet numune 1100°C östenitlenmiş ve 130°C temperlenmiştir.

## 2.2 Sertlik Testi

Deney numunelerinin hazırlanması bölümünde ölçüleri belirtilen AISI D2 deney numunelerinin sertlik deneyleri ASTM E18 standardına göre, Rockwell C (HRC) skalası cinsinden belirlenmiştir. Üç ölçümün ortalaması alınarak sertlikler hesaplanmıştır. 120° konik elmas uç yardımıyla yapılan deneyde 150 kg yük uygulanmıştır.

## 2.3 Aşınma Testi

ASTM G99-05 standardına göre hazırlanmış olan pin-on-disk abrasif aşınma cihazında, aşınma deneyleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Aşınma test cihazı Şekil 3'te verilmiştir. Aşınma deneylerinden önce, tüm numunelerin aşındırılacak yüzeyleri 220 mesh SiC zımpara ile zımparalanmış ve aynı standart yüzey kalitesi elde edilmiştir. Aşınma testleri için, 5, 10 ve 15 N normal yük ve 3,2 m/s hız parametreleri kullanılmıştır. Abrasif aşındırıcı olarak 220 mesh  $Al_2O_3$  aşındırıcı disk kullanılmıştır. Kayme Mesafeleri 100,200 ve 300 m olarak belirlenmiştir. Numuneler aşındırıcı disk yüzeyine dik hareket ettirilmiştir ve sürekli olarak kullanılmamış yeni bir aşındırıcı yüzeyine temas sağlanmıştır. Tüm numunelerde üçer

kez aşınma testi uygulanmış ve bu değerlerin ortalaması ile belirtilen formüller kullanılarak ağırlık kayıpları, hacim kayıpları, sürtünme katsayıları ve aşınma oranları hesaplanmıştır (Ovalı, 2012).

Sürtünme katsısını belirlemek amacıyla aşağıda belirtilen eşitlikten yararlanılmıştır.

$$\text{Sürtünme Katsayısı}; \mu = \left( \frac{F}{P} \right) \quad (1)$$

Burada F yük hücresi (load cell) tarafından ölçülen sürtünme kuvveti ve P numunelere uygulanan normal yüküdür (Ovalı, 2012).

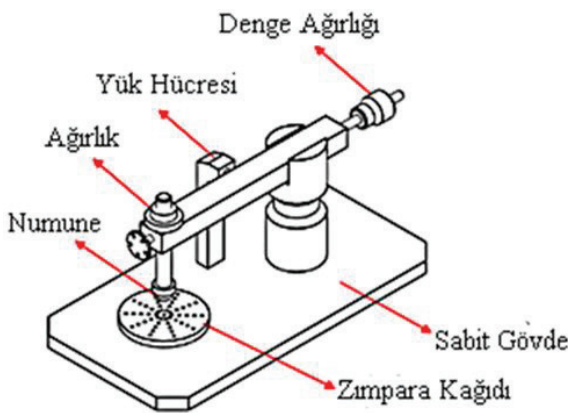
Ağırlık kayıpları ve malzemelerin yoğunluklarından yararlanılarak Hacim kaybı, yararlanılarak aşağıdaki denklem kullanılmıştır (Ovalı, 2012).

$$\text{Hacim Kaybı (mm}^3\text{)} = \left( \frac{\text{Ağırlık Kaybı (g)}}{\text{Yoğunluk (g/mm}^3\text{)}} \right) \times 1000 \quad (2)$$

Kayma mesafesinin de belirleyici olduğu aşınma oranı aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenmiştir (Ovalı, 2012).

$$\text{Aşınma Oranı (mm}^3\text{/m)} = \left( \frac{\text{Hacim Kaybı (mm}^3\text{)}}{\text{Kayma Mesafesi (m)}} \right) \times 1000 \quad (3)$$

Aşınma deneyleri Pin-On-Disk deney düzeneğinde gerçekleştirilmiş, ağırlık ve yoğunluklar ise RADWAG elektronik terazi ile belirlenmiştir (Ovalı, 2012).

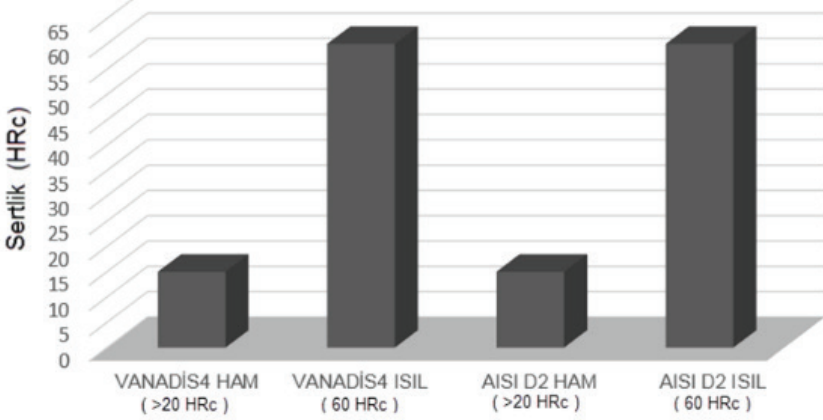


Şekil 3. Pin-On-Disk Aşınma Deney Düzeneği Şematik Gösterimi

### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

#### 3.1 Vanadis4 ve AISI D2 Çeliğinin Sertliklerinin Karşılaştırılması

Vanadis4 ve AISI D2 çeliğinin sertlikleri Şekil 4’de verilmiştir. Yapılan sertlik testi sonuçları incelendiğinde, ısıl işlemler ile sertliklerin arttığı gözlemlenmiştir. Östenitleme ve temperleme ısıl işlemlerinin tüm deney numunelerinin sertliklerini önemli derecede arttırdığı belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Isıl İşlemler Sonucu Sertlik Değişimi

Yapılan sertlik testi sonuçları incelendiğinde, su verme ve temperleme ısıl işlemi ile sertliklerin arttığı gözlemlenmiştir. Östenitleme ve temperleme ısıl işlemlerinin Vanadis4 ve AISI D2 soğuk iş takım çeliği numunelerinin sertliğini yaklaşık 45 HRC arttırdığı görülmektedir.

Yapılan testlerde ısıl işlemler sonucu elde edilen sertliklerin, su verme ısıl işlemi sonucunda mikroyapı içerisinde martenzit yapıların oluştuğu, bu martenzit yapılar içerisinde kalan kalıntı östenit fazlarının temperleme ile azalması sonucunda sertlik değerlerinin arttığı düşünülmektedir.

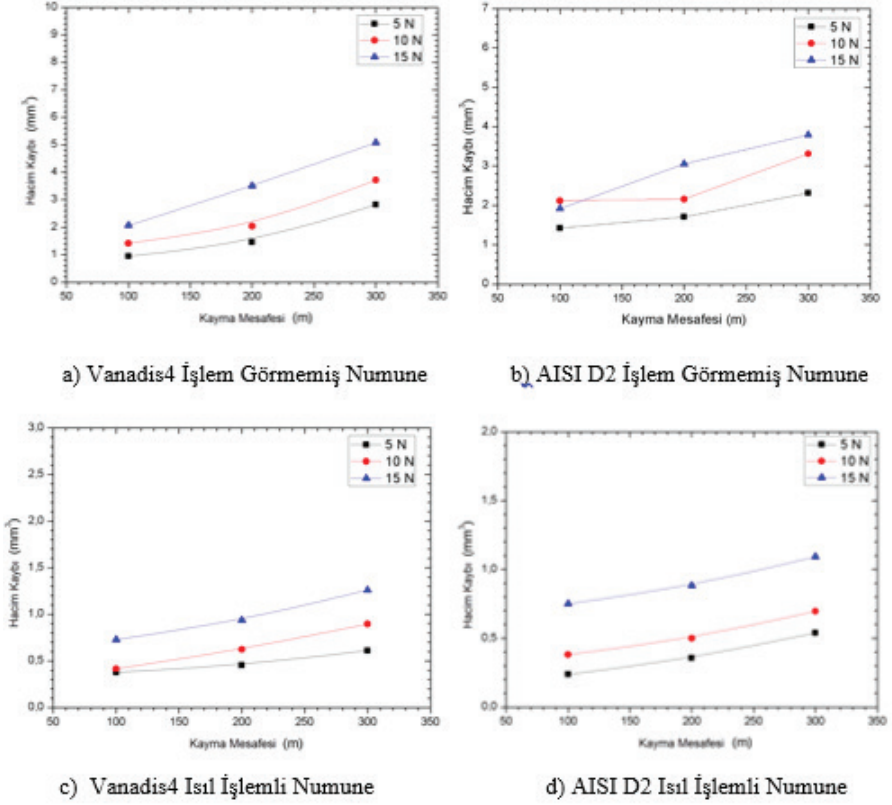
#### 3.2 Vanadis4 ve AISI D2 Çeliğinin Hacim Kaybı Oranlarının Karşılaştırılması

Aşınma davranışlarının en önemli kriterlerinden biri olan hacim kaybını belirlemek amacıyla farklı normal kuvvetler (5,10 ve 15 N) ve kayma mesafelerinde (100,200 ve 300 m) hacim kayıpları tespit edilmiştir (Şekil 5). Yapılan abrasif aşınma testinde uygulanan ısıl işlemlerin hacim kaybını doğrudan etkilediği Şekil 5’te açıkça görülmektedir. Isıl işleme tabi tutulmuş Vanadis4 numunenin 200 m kayma mesafesinde, 5N yük altındaki hacim kaybı yaklaşık 0,45 mm<sup>3</sup>, 10 N yük



altında ise yaklaşık olarak  $0,60 \text{ mm}^3$  bir artış göstermiştir, uygulanan kuvvet 15N değerine çıkartıldığında ise hacim kaybında önemli sayılabilecek ölçüdeki  $1,2 \text{ mm}^3$  değeri elde edilmiştir. Yine aynı şekilde işlem uygulanmamış AISI D2 numuneleri için 200 m kayma mesafesinde hacim kaybı incelendiğinde düşük yük (5N) altında hacim kaybı yaklaşık  $0,4 \text{ mm}^3$ , yüksek yük (15 N) yük altında ise yaklaşık  $1 \text{ mm}^3$  lük hacim kaybı olduğu görülmektedir. Isıl işleme tabii tutulan Vanadis4 numuneler için 200 m kayma mesafesine kadar 5N yük altındaki işlemde ise  $0,1 \text{ mm}^3$  değerindeki bir hacim kaybı söz konusudur. İşlemler 10N ve 15N yük altında yapıldığında ise sırasıyla  $0,15 \text{ mm}^3$  ve  $0,2 \text{ mm}^3$  değerleri görülebilmektedir. Isıl işlem görmüş AISI D2 numuneleri aynı kayma mesafesinde incelendiğinde 5N, 10N ve 15N yüklemeler altındaki değerler ise sırasıyla  $0,1 \text{ mm}^3$ ,  $0,15 \text{ mm}^3$  ve  $0,2 \text{ mm}^3$  lük bir artış söz konusudur.

Vanadis4 numunelerin 200-300 m kayma mesafesi aralığı ve 5 N yük altındaki hacim kaybında yaklaşık  $1 \text{ mm}^3$  değeri okunurken, 10N ve 15N yüklemeler altındaki testlerde ise  $1,6 \text{ mm}^3$  ve  $1,65 \text{ mm}^3$  değerleri elde edilmiştir. Diğer işlem görmemiş AISI D2 numunemizde ise 5N, 10N ve 15N yüklemelerde yapılan testlerde ise sırasıyla,  $0,6 \text{ mm}^3$ ,  $1,25 \text{ mm}^3$  ve  $0,8 \text{ mm}^3$  değerleri okunabilir. Burada 15N yüklemeye yapılan testte 10N yükteki değerden daha az bir hacim kaybı görülmesi malzemedeki pekleşmeden kaynaklı olduğu söylenebilir. Isıl işlem yapılan Vanadis4 numunenin 200-300 m kayma mesafesindeki hacim kayıplarını inceleyecek olursak, 5N, 10N ve 15N da ki hacim kayıpları sırasıyla  $0,15 \text{ mm}^3$ ,  $0,2 \text{ mm}^3$  ve  $0,3 \text{ mm}^3$  olarak söylenebilir. Isıl işlemlenmiş AISI D2 çeliğinde ise bu değerler 5N, 10N ve 15N yüklemeleri için sırasıyla  $0,15 \text{ mm}^3$ ,  $0,2 \text{ mm}^3$  ve  $0,25 \text{ mm}^3$  olarak okunabilir.



Şekil 5. Vanadis4 ve AISI D2 Numunelere Ait Hacim Kayıpları

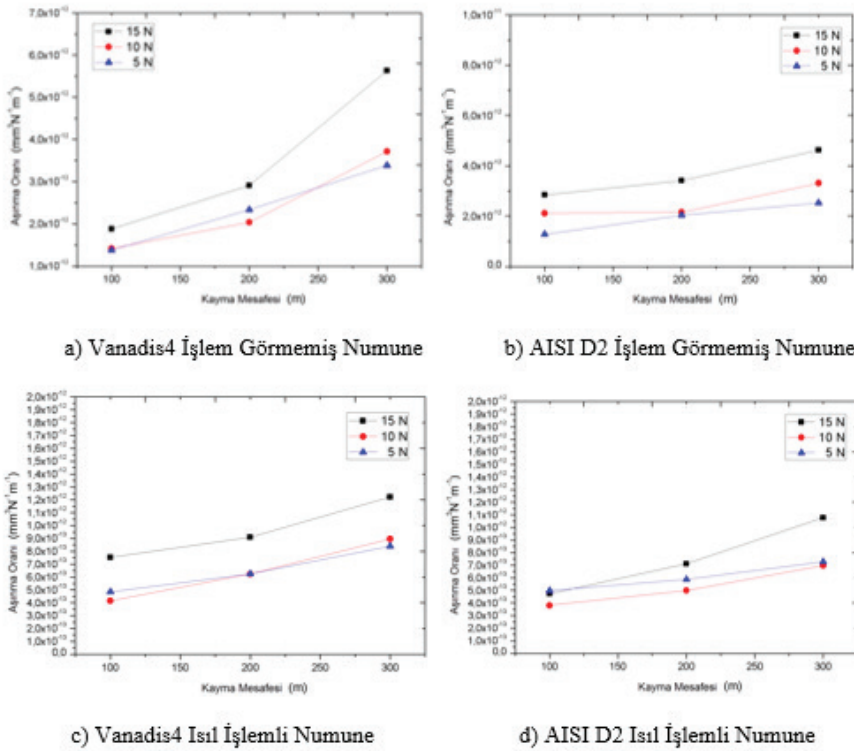
Normal yükün artması ile birlikte hacim kaybının önemli derecede arttığı Şekil 5 'ten açıkça görülmektedir. Bu artış artan yük ile birlikte plastik deformasyonun önemli derecede artması ile açıklanabilir. Isıl işlem uygulamalarının daha az bir hacim kaybına sahip olduğu belirlenmiştir. Hacim kaybındaki bu azalma ise ısıl işlem ile birlikte numunelerin sertliklerinin önemli derecede artması ile açıklanabilir.

Isıl işlem görmüş Vanadis4 numunesinde elde edilen değerlerin AISI D2 numunelerinde elde edilen değerlerle neredeyse aynı oluşu bu malzemenin kalıplarda delme kesme zımbası olarak kullanılan AISI D2 ile aşınma davranışlarında aynı performansı elde edebildiğimizi göstermektedir. Elde edilen bu sonuçların literatürde yer alan çalışmalarla paralellik ve denklik gösterdiği tespit edilmiştir (Baykara ve Bedir, 2017; Sobotová ve diğ., 2013; ; Coloc ve diğ., 2006; Surzhenkov, Kul u, Viljus, Vallikivi, Latokartano, 2010; Orazi, Fortunato, Cuccolini, Tani,, 2010).

### 3.3 Vanadis4 ve AISI D2 Çeliğinin Aşınma Oranlarının Karşılaştırılması

Çeliklerin aşınma davranışlarının karakterizasyonunda hacim kayıpları tek başına yeterli olmamaktadır. Kayma mesafesinin aşınma davranışları üzerindeki etkisini belirleyebilmek amacıyla aşınma oranı verilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Şekil 6'da farklı yüklemeler altında (5N, 10N, 15N) altında gerçekleştirilen Vanadis4 ve AISI D2 numunelerin abrasif aşınma testi sonucunda kayma mesafesine bağlı olarak aşınma oranları verilmiştir.



Şekil 6. Vanadis4 ve AISI D2 Numunelere Ait Aşınma Oranları

Aşınma karakteristiklerinin incelenmesinde diğer önemli bir değerlendirme kriteri de aşınma oranıdır. Şekil 6 detaylı olarak incelendiğinde ısıl işlem ve aşınma koşullarının optimisasyonu ile aşınma oranlarının optimize edileceği belirlenmiştir. Vanadis4 numunelerin 5N yük ve 200 m kayma mesafesinde aşınma oranı yaklaşık  $1 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  iken, 10N ve 15N da sırasıyla,  $0,5 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  ve  $1 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  değerleri olarak belirlenmiştir. Yine aynı şekilde

işlem görmeyen AISI D2 numunelerinde ise 5N, 10N ve 15N yüklemdeki değerler sırasıyla,  $0,8 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ,  $0,1 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  ve  $0,5 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  olarak okunmaktadır. 200 m kayma mesafesine kadar ısıl işlemlili Vanadis4 numunelerindeki 200m kayma mesafesine kadar olan 5N, 10N ve 15N yüklemdeki değerler sırasıyla,  $0,2 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ,  $0,1 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  ve  $0,15 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  olarak grafiklerden okunabilir. Bir diğer ısıl işlemlili numune olan AISI D2'de ise 5N, 10N ve 15N yüklemdeki ve 200m kayma mesafesine kadar ki değerler sırasıyla,  $0,1 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ,  $0,1 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  ve  $0,2 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  olduğu gözlemlenmektedir.

İşlem uygulanmamış Vanadis4 numunelerin 200 m-300 m mesafe arasındaki aşınma oranları incelendiğinde 5N,10N ve 15N yüklemeleri için sırasıyla,  $1 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ,  $1,6 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  ve  $2,5 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  değerleri elde edilmiştir. İşlem görmemiş AISI D2 numunelerinde ise 5N,10N ve 15N yüklemeleri için bu değerler,  $0,5 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ,  $1 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  ve  $1,2 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  olarak okunmaktadır. Isıl işlemlili Vanadis4 numunelerin 200 m - 300 m kayma mesafesindeki 5,10 ve 15N yüklemeleri için sırasıyla,  $0,25 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ,  $0,3 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  ve  $0,3 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  olarak okunmaktadır. Isıl işlemlili diğer numune AISI D2 için ise 5,10 ve 15N yüklemeleri için sırasıyla,  $0,2 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ,  $0,2 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  ve  $0,35 \times 10^{-12} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$  okunmuştur.

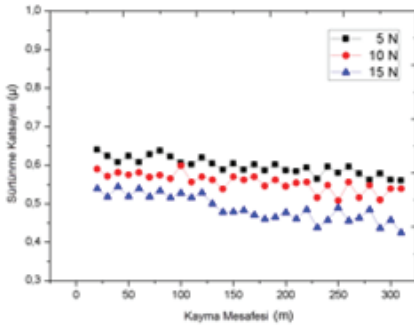
Deney sonuçları detaylı olarak incelendiğinde, kayma mesafesi ile orantılı olarak aşınma direncinin önemli derecede azaldığı belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan Vanadis4 ve AISI D2 numunelerinin aşınma oranları ısıl işlemliler sonucu önemli derece azalma göstermiştir (Orazi ve diğ., 2010). Isıl işlem uygulanan Vanadis4 ve AISI D2 performansları kıyaslandığında ise birbirlerine yakın olmakla beraber AISI D2 numunelerinde aşınma oranlarının Vanadis4'e göre kısmen daha iyi olduğu söylenebilir.

### 3.4 Vanadis4 ve AISI D2 Çeliğinin Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması

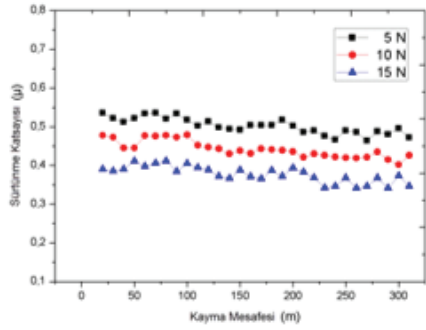
Metallerin aşınma davranışlarının incelenmesinde kullanılan en belirleyici parametre sürtünme katsayısıdır. Sürtünme katsayısı ile metallerin aşınmaları sırasında nasıl bir direnç gösterdiği karakterize edilmektedir.

Şekil 7'de farklı yüklemeler altında (5N, 10N, 15N) altında gerçekleştirilen Vanadis4 ve AISI D2 çeliğine ait ham ve ısıl işlemlili haldeki numunelerin abrasif aşınma testi sonucunda kayma mesafesine bağlı olarak sürtünme katsayıları verilmiştir.

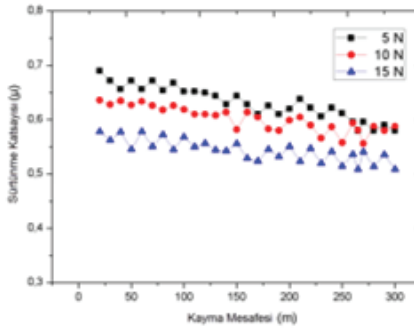
Isıl işlemsiz AISI D2'nin en düşük sürtünme katsayısı, 15 N normal yük için  $0,35 \mu$ , en yüksek sürtünme katsayısı ise 5 N normal yük için Vanadis4 numunesinde  $0,65 \mu$  olarak belirlenmiştir.



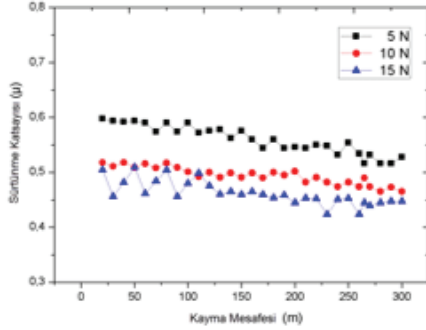
a) Vanadis4 İşlem Görmemiş Numune



b) AISI D2 İşlem Görmemiş Numune



c) Vanadis4 Isıl İşlemlili Numune



d) AISI D2 Isıl İşlemlili Numune

Şekil 7. Vanadis4 ve AISI D2 Numunelerine Ait Sürtünme Katsayıları

Isıl işlemlili numunelerde ise sürtünme katsayısı 15N normal yük için en düşük 0,45  $\mu$  AISI D2 numunesinde belirlenmiştir. Diğer taraftan en yüksek değer 5N normal yük için 0,7  $\mu$  Vanadis4 numunesinde elde edilmiştir.

Sürtünme katsayısının artan normal kuvvet ile orantılı olarak azaldığı belirlenmiştir. Sürtünme katsayısındaki bu azalma artan normal yük ile birlikte artan pekleşme oranı ile açıklanabilir. Dolayısıyla ulaşılan sonuçların literatürdeki diğer çalışmaların sonuçlarıyla örtüştüğü tespit edilmiştir (Ocak, 2015).

Sürtünme katsayısı bir malzemedan parça koparmak için gerekli kuvvetle ilişkilendirilebilir. Numune yüzeyinden malzeme kaybı oluşturma oranı arttıkça sürtünme katsayısı azalırken, malzeme kaybı zorlaştıkça sürtünme katsayısı artmaktadır. Aşınma arayüzeyinde uygulanan normal kuvvet arttıkça malzeme kaybı kolaylaşmaktadır (Ovali, 2012).

Grafikteki kayma mesafesinin belirli noktalarında eğriler anlık olarak saptılar

göstermektedir. Bu durum aşınma testi sırasında oluşan düzensiz sürtünme kuvvetleri ile açıklanabilir. Anlık olarak kuvvetlerdeki değişkenlik oluşmasının sebebi aşındırıcı disk üzerindeki aşınmış parçacıkların numunenin farklı bölgelerine yapışması ile oluşmaktadır.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Vanadis4 ve AISI D2 soğuk iş takım çeliklerinin aşınma davranışlarının iyileştirilmesi adına ısıl işlem sonucu deneysel araştırmalar yapılmıştır.

- Östenitleme ve temperleme ısıl işlemleri sonucu Vanadis4 ve AISI D2 soğuk iş takım çeliği numunelerinin sertliğinde önemli ölçüde artış gerçekleşmiştir.
- Isıl işlemli Vanadis4 numunesinde elde edilen değerlerin yine ısıl işlemli AISI D2 numunelerinde elde edilen hacim kaybı değerleri ile aynı oranda gerçekleştiği belirlenmiştir.
- Aşınma oranlarının ısıl işlemli numunelerde işlem görmeyen numunelere göre çok daha düşük değerlerde olduğu görülmüştür.
- Isıl işlemli AISI D2 numunelerinde aşınma oranlarının Vanadis4'e göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir.
- En yüksek sürtünme katsayısı 5N yüklemdeki 0,7  $\mu$  değeri ile Vanadis4 numunede en düşük sürtünme katsayısının ise 15N yüklemdeki 0,45  $\mu$  değeri ile AISI D2 numunede elde edilmiştir.
- Bu çalışmada kullanılan Pin On Disc yöntemi malzemenin aşınma davranışlarını test eden bir yöntemdir. İncelenen soğuk iş takım çeliklerinin aşınma özelliklerinin karşılaştırılmasında ortaya çıkan sonuç, beklenildiği gibi iri yapılı karbürlere sahip AISI D2'nin Vanadis4'e göre daha yüksek bir aşınma direncine sahip olduğu biçimindedir.
- Pratik kalıp uygulamalarında toz metalden yapılan kalıbın daha uzun ömürlü olacağı önerilmektedir.
- Darbe ve aşınmaya maruz kalan kalıpların Vanadis4'den yapılması halinde daha uzun ömürlü olacağı açık bir gerçektir.

#### Semboller

TiN	: Titanyum Nitrür
TiB <sub>2</sub>	: Titanyum Borür
TaC	: Tantal Karbür
DLC	: Diamond Like Carbon (Elmas Benzeri Karbon)
$\mu$	: Sürtünme Katsayısı

F : Sürtünme Kuvveti  
P : Normal Yük  
N : Newton

## Kaynakça

- Baykara, T & Bedir H.F. (2017), Effects of heat treatment on the mechanical properties of the Vanadis 4 extra and Vanadis 10 tool steels, *Journal of Material Sciences & Engineering*, 6:2, 999-1005. doi:<https://doi.org/10.4172/2169-0022.1000330>
- Colac, R., Gordo, E., Ruiz-Navas, E. M., Otasevic, M & Vilar, R. (2006), A comparative study of the wear behaviour of sintered and laser surface melted AISI M42 high speed steel diluted with iron, *Wear*, 260, 949-956. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.06.006>
- Gunes, I., Uzun, M., Cetin, A., Aslantas, K & Cicek, A. (2016), Evaluation of wear performance of cryogenically treated Vanadis 4 Extra tool steel, *Kovove Materialy*, 54, 195-204. doi:<https://doi.org/10.4149/km20163195>
- Hagarová, M., Jakubéczyová, D. & Vojtko, M. (2016), PVD Coatings Applied on the Tool Steels, Institute of Materials Science, *Slovak Academy of Sciences*. <https://jmmm.material.chula.ac.th/index.php/jmmm/article/view/268>
- Leunda, J., Soriano, C., Sanz, C & García N. V. (2011), Laser cladding of vanadium-carbide tool steels for die repair, *Tekniker-İK4, Advance Manufacturing Technologies Unit*, Avda. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jphpro.2011.03.044>
- Ocak, M. (2015), Toz Metalurjisiyle üretilen Vanadis 4 soğuk iş takım çeliğinin, farklı ısı işlem sıcaklıklarında mekanik ve mikroyapı özelliklerinin değişiminin incelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi). *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Orazi, L., Fortunato, A., Cuccolini, G & Tani, G. (2010) An efficient model for laser surface hardening of hypoeutectoid steels. *Applied Surface Science*, 256(6), 1913-1919. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2009.10.037>
- Ovalı, İ. (2012), Küresel grafitli dökme demirlerin yüzeyinde çil oluşumu ve östemperleme ısı işleminin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi (Doktora Tezi). *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Podgornik, B., Hogmark, S., Sandberg, O & Leskovsek, V. (2003) Wear resistance and anti-sticking properties of duplex treated forming tool steel. *The Tribomaterials Group Uppsala University*, Box.

- Sarıkaya, E. (2011) Plastik kalıp malzemelerinin özelliklerine farklı yüzey işlemlerinin etkisinin incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli.
- Shib, H., Yan, F., Fan J & Xu Z. (2007), An investigation of secondary carbides in the spray-formed high alloyed Vanadis 4 steel during tempering. *Materials Characterization*, 59(7), 883-889. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2007.07.009>
- Sobotová, J., Jurci P, Adámek J, Salabová P, Prikner O, Šuštaršič, B & Feizpour, D. (2013), Diagnostics of the microstructural changes in sub-zero-processed Vanadis 6 P/M ledeburitic tool steel. *Materials and Technologies*, 47(1), 93-98. Erişim Adresi: <https://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:DOC-IJYMRQUT/501dc201-521f-48fc-a656-40aa72c385fe/PDF>
- Surzhenkov A., Kulu P, Viljus M., Vallikivi A & Latokartano J. (2010), Microstructure and wear resistance of the laser hardened pm tool steel Vanadis 6. 7th *International DAAAM Baltic Conference: Industrial Engineering*, Estonia.
- Yan, F., Xu Z., Shib, H & Fan J. (2008), Microstructure of the spray formed Vanadis 4 steel and its ultrafine structure. *Materials Characterization*, 59(5), 592-597. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2007.04.019>