



Araştırma

2022; 31(2):152-157

SEÇİCİ LAZER ERİTME İLE YAPILAN ÜRETİMDE LAZER GÜCÜ VE TABAKALAMA KALINLIĞI
PARAMETRELERİNİN ÇEKME KUVVETİ VE KOPMA UZAMASI ÜZERİNE ETKİSİ
THE EFFECT OF LASER POWER AND LAYER THICKNESS PARAMETERS ON THE TENSILE STRENGTH
AND ELONGATION IN SELECTIVE LASER MELTING PRODUCTION

İkbal LEBLEBİCİOĞLU KURTULUŞ¹, Kerem KILIÇ¹, Mustafa AYATA²

¹Erciyes Üniversitesi, Protetik Diş Tedavisi ABD, Diş Hekimliği Fakültesi, Kayseri

²Protetik Diş Tedavisi Uzmanı, Dentos Ağız Diş Sağlığı Kliniği, Kayseri

ÖZ

Diş hekimliği alanında eklemeli üretim yöntemlerinden en yaygın kullanıma sahip olan seçici lazer eritme sistemidir (SLM). Kobalt-krom (Co-Cr) alaşımlı tozların imalatı için SLM sistemlerinin popülerliği gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmanın amacı lazer sinterleme yöntemi ile üretilen Co-Cr metal altyapıların üretim sürecinde lazer gücü ve tabakalama kalınlığı parametrelerinin değiştirilmesinin, metal altyapının çekme mukavemeti ve kopma uzamasına etkisinin araştırılmasıdır. Dambıl şekilli toplamda 120 adet numune 3 mm çapında ve 18 mm uzunluğunda üretilmiştir. Numuneler farklı tabakalama kalınlıklarında, farklı lazer güçleri altında üretilmiştir. 20 ve 30 µm tabakalama kalınlıkları için 50-200 lazer gücü arasında değişen 4 farklı lazer gücü TruPrint 1000 lazer metal füzyon sistemiyle üretilmiş ve mekanik özellikleri çekme testiyle test edilmiştir. Normal dağılıma uygunluk Shapiro-Wilk testi ile incelendi. Lazer gücü ve tabakalama kalınlığı etkilerinin ve etkileşiminin çekme mukavemeti ve kopma uzaması değerleri üzerine etkilerini incelemek için İki-yönlü ANOVA yöntemi kullanıldı ve çoklu karşılaştırmalar Bonferroni testiyle gerçekleştirildi. SLM üretim sürecinde lazer gücü ve tabakalama kalınlığının değişimi mekanik özellikleri kısmen etkilemektedir. Lazer gücü ve tabakalama kalınlığı çekme mukavemetini, lazer gücü kopma uzamasını etkilerken tabakalama kalınlığının kopma uzamasına etkisi anlamlı bulunmamıştır.

ABSTRACT

The most widely used additive manufacturing method in dentistry is the selective laser melting (SLM) system. The popularity of SLM systems for the manufacture of cobalt-chromium alloy powders is increasing day by day. The aim of this study is to investigate the effect of changing the laser power and layer thickness parameters during the production process of Co-Cr metal substructures produced by laser sintering method on the tensile strength and elongation at fracture of the metal substructure. A total of 120 dumbbell-shaped samples were produced with a diameter of 3 mm and a length of 18 mm. The samples were produced at different layer thicknesses and under different laser powers. For 20 and 30 µm layer thicknesses, 4 different laser powers ranging from 50-200 W were produced with the TruPrint 1000 laser metal fusion system and its mechanical properties were tested with tensile test. Conformity to the normal distribution was evaluated using the Shapiro-Wilk test. Two-way ANOVA method was used to examine the effects of laser power and layer thickness effects and interaction on tensile strength and elongation values, and multiple comparisons were made with Bonferroni test. The variation of laser power and layer thickness in the SLM manufacturing process partially affects the mechanical properties. While laser power and layer thickness affect tensile strength, laser power affect elongation, the effect of layer thickness on elongation was not found significant.

Anahtar kelimeler: Co-Cr, eklemeli üretim, SLM

Keywords: Co-Cr, additive manufacturing, SLM

Corresponding Author: Dr Öğretim Üyesi İkbal LEBLEBİCİOĞLU KURTULUŞ, Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi ABD., ikbal_leblebicoglu@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-9122-9852

Prof. Dr. Kerem KILIÇ, dtkeremkic@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-2474-7865

Uzm. Dt. Mustafa AYATA, dt.mustafaayata@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6102-9729

Makale Geliş Tarihi : 06.08.2021

Makale Kabul Tarihi: 06.03.2022

GİRİŞ

Protetik diş tedavisinde metal destekli restorasyonlar için sürekli gelişen çeşitli sistemler kullanılmıştır (1).Mum uçurma tekniği olarak bilinen geleneksel döküm yöntemi 70 yıldan fazla kullanıldıktan sonra teknolojinin gelişmesiyle 1970'li yılların başında piyasaya talaşlı imalat olarak adlandırılan bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) sistemleri girmiştir (2). Günümüzde dijital diş hekimliğinin ön plana çıkmasıyla CAD/CAM teknolojilerine ilave olarak eklemeli üretim sistemleri pazardaki yerini almıştır. Seçici lazer sinterleme (SLS) ve seçici lazer eritme (Selective laser melting, SLM) dental sektörde yaygın olarak kullanılan eklemeli üretim sistemlerinden ikisidir (3). Seçici lazer eritme (SLM) metal tozlarından katmanlı imalatın gelişen yöntemlerinden biridir. Katıların katman katman büyümesiyle, geniş bir malzeme yelpazesi içerisinde, kısa sürede karmaşık geometriye sahip parçaların 3D numunelerinin üretilmesine izin verir (4). Bu yöntem günümüzde otomotiv ve uçak sanayi için tasarım, nükleer ve hava sahası ekipmanı için parça imalatı ve dental sektörde kişisel protezler ve implantların üretiminde kullanılmaktadır (1).

Diş hekimliği alanında metal eklemeli imalat için en yaygın kullanılan toz Kobalt-krom (Co-Cr) alaşımlı tozlardır. Nikel içermeyen bileşimlerinden dolayı nispeten düşük maliyet ve mükemmel fiziksel özelliklere sahiptirler (5-7). Co-Cr metal toz parçacıkları sinterleme esnasında yüksek enerjili karbondioksit lazer ışın demeti kullanılarak birbirlerine kaynaşır. Bir tabaka toz parçacığı kaynaştıktan sonra üzerine diğer tabaka toz eklenir ve süreç tekrarlanır (8). İstenilen nesne oluşana kadar işlem bu şekilde devam eder (9).

SLM tekniği ile bir nesnenin üretiminde birçok işlem değişkeni belirlenmelidir (10). Erime sıcaklığı, lazer ışını absorpsiyonu/yansıtma katsayıları ve termal iletkenlik gibi bazı alaşım özellikleri işleme ilgili parametreleri ayarlamak için dikkate alınmalıdır (1).

Bu veriler Co-Cr metal alaşımları için pratik olarak değişmeden kalır. Cihaz yatağının ön ısıtma sıcaklığı, ısıtma oranı, tutma zamanı, tarama hızı, lazer gücü ve tabakalama kalınlığı gibi sinterleme sürecinde ve son ürünün kalitesinde etkili olan çeşitli cihaz ayarları vardır

(11-13).

Lazer gücü ve tarama hızının ayarlanmasıyla birlikte son ürünün kalitatif özellikleri değiştirilebilir. İlk SLM sistemlerinin katman kalınlığı başına 50 ila 80 µm doğruluğa sahip olduğu raporlanmışken (14), bu sistemlerde devam eden sürekli gelişim sonucu dental uygulamalarda 20 µm'lik tabakaların üretimi başarıyla yapılır hale gelmiştir (6, 15, 16).

Literatürde SLM ile üretilen metal altyapıların mekanik özelliklerini araştıran çalışmaların sayısı fazla değildir (6, 14, 17, 18). Bu çalışmalar tabakalama kalınlığının değiştirilmesinin restorasyon üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Uçar ve ark. (6), farklı sistemlerde, farklı alaşım tozları ve farklı tabakalama kalınlıklarında ürettikleri numunelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Mazzoli ve ark. (17), tabakalama kalınlığının azaltılmasının metal altyapının mekanik özelliklerini artıracığını rapor etmişlerdir. Ancak bu çalışmalarda çeşitli parametrelerde değişiklik yapılırken lazer gücü sabit tutulmuştur.

Bu çalışmanın amacı, lazer sinterleme yöntemi ile üretilen Co-Cr metal altyapıların üretim sürecinde lazer gücü ve tabakalama kalınlığı parametrelerinin değiştirilmesinin, metal altyapının çekme mukavemeti ve kopma uzamasına etkisinin araştırılmasıdır.

Çalışmanın sıfır hipotezleri aşağıdaki gibidir;

- 1.Lazer gücü çekme mukavemetini etkilemez
- 2.Lazer gücü kopma uzamasını etkilemez
- 3.Tabakalama kalınlığı çekme mukavemetini etkilemez.
- 4.Tabakalama kalınlığı kopma uzamasını etkilemez.

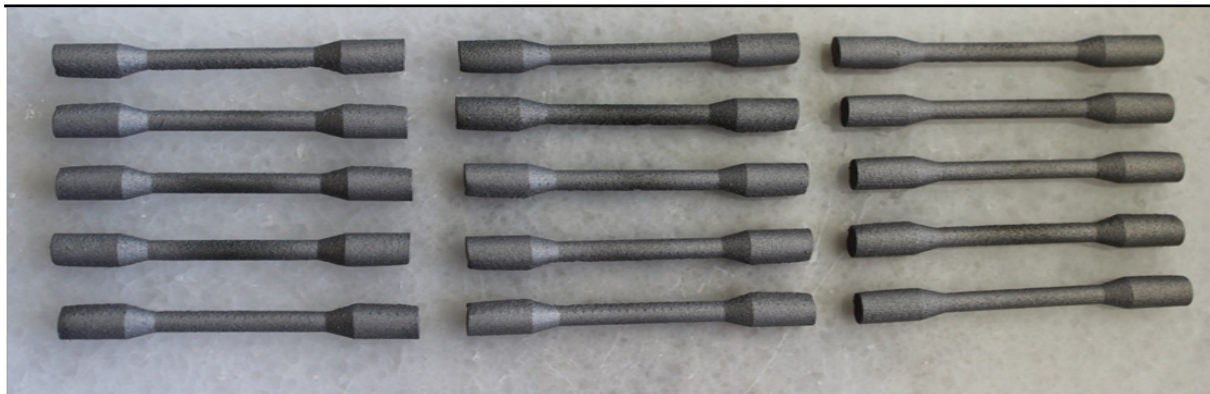
GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan metal alaşımı, Tip 5 dental kobalt bazlı metal-seramik alaşımı Mediloy-S-Co'dur (Bego, Bremen, Almanya). Bu malzeme ISO 22674 ve ISO 9693-1 standartlarına uygundur ve nikel,berilyum,kadmiyum ve kurşun içermez. Malzemenin kompozisyonu Tablo I'deki gibidir.

120 adet Co-Cr numunesi dambıl şeklinde ISO 22674:20163 standardına uyum sağlayacak şekilde 3 mm çapında ve 18 mm uzunluğunda üretilmiştir (Şekil I).

Tablo I. Co-Cr Metal alaşımın içeriği

Element	Co	Cr	W	Mo	Si
%	63,9	24,7	5,4	5,0	1,0



Şekil I. SLM ile üretilen dambıl şekilli Co-Cr numuneleri

Numuneler farklı tabakalama kalınlıklarında, farklı lazer güçleri altında üretilmiştir. 20 ve 30 µm tabakalama kalınlıkları için 50-200 lazer gücü arasında değişen 4 farklı lazer gücü TruPrint 1000 lazer metal füzyon sistemiyle (Trumpf, Almanya) üretilmiştir. Üretimi tamamlanan numuneler sinterleme fırınında 900 °C sinterlendikten sonra 50-µm alüminyum oksit parçacıkları ile polisajı yapılmıştır. Çalışma dizaynı Tablo II'deki gibidir.

Tablo II. Çalışma dizaynı

Grup	Lazer gücü (watt)	Tabakalama kalınlığı (µm)	n
A1	50	20	15
A2	50	30	15
B1	100	20	15
B2	100	30	15
C1	150	20	15
C2	150	30	15
D1	200	20	15
D2	200	30	15

µm: mikrometre, n: numune sayısı

Hazırlanan numuneler 1mm/dak hızla universal test makinesinde (Zwick/Roel Z020, Ulm, Almanya) çekme testine maruz bırakıldı (Şekil II).



Şekil II. Universal test makinesi

Test makinasının numuneyi kaydırmadan tutabilmesi için numunelerin boyutlarına uygun çelik tutucu aparat hazırlandı (Şekil III).

Numunelerde kırılma yaşanana kadar test devam etti. Çekme mukavemeti ve uzama yüzdesi değerleri universal test makinesi yazılımı tarafından kaydedildi.

İstatistiksel Yöntem

Veriler IBM SPSS V23 ile analiz edildi. Normal dağılıma uygunluk Shapiro-Wilk testi ile incelendi. Lazer gücü



Şekil III. Numunelerin test esnasında kaynamasını önlemek için üretilen çelik tutucu aparatlar

ve tabakalama kalınlığı etkilerinin ve etkileşiminin çekme mukavemeti ve kopma uzaması değerleri üzerine etkilerini incelemek için iki-yönlü ANOVA yöntemi kullanıldı ve çoklu karşılaştırmalar Bonferroni testiyle gerçekleştirildi. Analiz sonuçları ortalama ± s. sapma şeklinde sunuldu. Önem düzeyi $p < 0.05$ olarak alındı.

BULGULAR

Tanımlayıcı istatistikler ve iki yönlü varyans analiz sonuçları Tablo III ve Tablo IV'te verilmiştir.

Tablo III. Lazer gücü ve tabakalama kalınlığına göre çekme mukavemeti ve kopma uzaması değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

	Tabakalama kalınlığı	Lazer gücü				Toplam
		50 W	100 W	150 W	200 W	
Çekme mukavemeti (MPa)	20 µm	1163.8 ± 57.5 ^B	1019.5 ± 77.9 ^C	1176.1 ± 42.4 ^B	1176.1 ± 34.8 ^B	1133.6 ± 85.9
	30 µm	919.5 ± 67.4 ^A	1146.8 ± 29.9 ^B	937.4 ± 82.7 ^A	936.5 ± 53.3 ^A	985.1 ± 111.8
	Toplam	1041.7 ± 138.6 ^a	1083.1 ± 86.9 ^b	1056.8 ± 137.5 ^{ab}	1055.8 ± 129.1 ^{ab}	1059.3 ± 124.2
Kopma uzaması (%)	20 µm	3.7 ± 1.7	1.8 ± 0.3	1.8 ± 0.4	1.8 ± 0.3	2.3 ± 1.2
	30 µm	2.8 ± 0.6	1.7 ± 1.7	1.5 ± 0.7	2.3 ± 2.4	2.1 ± 1.6
	Toplam	3.2 ± 1.4 ^a	1.7 ± 1.2 ^b	1.6 ± 0.6 ^b	2.0 ± 1.7 ^b	2.2 ± 1.4

^{a-b}: Aynı harfe sahip lazer güçleri arasında fark yoktur, ^{A-C}: Aynı harfe sahip etkileşimler arasında fark yoktur. %: Yüzde, W: Watt, MPa: Megapascal, µm: mikrometre

Lazer gücü etkisi çekme mukavemeti üzerine istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p=0,038) (Tablo IV).

Amerikan Test ve Malzemeler Derneği (ASTM) F75 yönergesine göre döküm kobalt-krom alaşımlarının

Tablo IV. Lazer gücü ve tabakalama kalınlığına göre çekme mukavemeti ve kopma uzaması değerlerinin karşılaştırılması

		Test istatistiği	Sd	p
Çekme mukavemeti	Lazer gücü	8.402	3	0.038
	Tabakalama kalınlığı	206.203	1	<0.001
	Lazer gücü * Tabakalama kalınlığı	237.113	3	<0.001
Kopma uzaması	Lazer gücü	33.069	3	<0.001
	Tabakalama kalınlığı	0.882	1	0.348
	Lazer gücü * Tabakalama kalınlığı	5.287	3	0.152

*Wald Ki-kare test istatistiği, Sd: Serbestlik derecesi

Etkileşim anlamlı olduğu için çekme kuvveti ve tabaka kalınlığı birlikte incelenmiştir.

Lazer gücü ve tabakalama kalınlığı etkileşimi çekme mukavemeti üzerine istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0,001) (Tablo IV).

En yüksek çekme mukavemeti ortalama değeri 1176.1 MPa olarak 150 ve 200 W'da 20 µm tabaka kalınlığında elde edilirken, en düşük ortalama değerse 919 MPa olarak 50 W'ta 30 µm tabaka kalınlığında elde edildi.

Çekme mukavemeti açısından 20 ve 30 µm tabakalama kalınlığına sahip gruplarda aynı tabakalama kalınlığı içerisinde 50, 150 ve 200 W lazer güç grupları arasında fark yokken, her iki tabakalama kalınlığında da 100 W lazer gücü etkileşimi arasında fark vardır (Tablo III).

Lazer gücünün kopma uzamasına etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulundu (p<0.001) (Tablo IV). 50 W gücün ortalaması %3.2, 100 W gücün ortalaması %1.7, 150 W gücün ortalaması %1.6 ve 200 W gücün ortalaması %2 olarak elde edildi (Tablo III). Lazer gücüne göre kopma uzaması ortalamaları istatistiksel olarak farklılık göstermektedir. Bu farklılık 50 W lazer gücünün ortalamasının diğer lazer güçlerinin ortalamalarından istatistiksel olarak yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Lazer sinterleme yöntemi ile üretilen Co-Cr metal alt yapıların üretim sürecinde lazer gücü ve tabakalama kalınlığı parametrelerinin değiştirilmesinin, metal alt yapıların çekme mukavemeti ve kopma uzamasına etkisinin araştırıldığı bu çalışmanın sonuçlarına göre, hipotezlerin ilk üçü reddedilirken dördüncü hipotez kabul edilmiştir.

çekme mukavemetinin 625 MPa'dan büyük olması gerekmektedir (19). Çalışmanın sonuçlarına bakıldığında ortalama çekme mukavemetinin 936,5 ila 1176,1 MPa aralığında olup kabul edilebilir sınırlarda olduğu görülmektedir.

Gruplar arası yapılan karşılaştırmalarda, 150 W ve 200 W lazer gücündeki çekme kuvvetlerinde istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı. Wang ve ark (20) yaptığı çalışmada lazer gücünün artmasıyla numunelerin çekme mukavemeti de artmıştır ve bu sonuç bizim çalışmamızdan farklılık göstermektedir. Bu farklılığın sebebi, Wang ve ark. (20)'nın yaptığı çalışmada üretilen numunelerin tabakalama kalınlıklarının sabit tutulmasından kaynaklanıyor olabilir.

Uçar ve ark. (6) farklı üretim teknikleriyle, farklı Co-Cr alaşımları kullandıkları çalışmada, alaşım tozunun ve tabakalama kalınlığının mekanik özelliği etkilemediğini rapor etmişlerdir. Çalışmada tabakalama kalınlığının çekme mukavemetine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulundu (p<0.001).

Tabakalama kalınlığına göre çekme mukavemeti ortalama değerleri farklılık göstermektedir ve en yüksek çekme mukavemeti ortalama değeri 20 µm kalınlığa sahip numunelerde elde edilmiştir. 50,150 ve 200 W lazer gücündeki tüm gruplarda tabakalama kalınlığı azaldıkça çekme mukavemeti ortalama değerleri artarken, 100 W lazer gücünde 30 µm tabakalama kalınlığına sahip olan grubun ortalama çekme mukavemeti 20 µm tabakalama kalınlığına sahip olan gruptan daha yüksektir. İki çalışma arasındaki bu farklılık Uçar ve ark.nın(6) lazer gücünü sabit tutmasından kaynaklanıyor olabilir.

Bu çalışmada lazer gücünün kopma uzamasına etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulundu (p<0.001). Ancak

tabakalama kalınlığının kopma uzamasına etkisinin olmadığı görüldü. Benzer şekilde Uçar ve ark (6) yaptıkları çalışmada numunelerin tabakalama kalınlığının 20 veya 30 µm olmasının kopma uzaması üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığı rapor edilmiştir. Qian ve ark. (7) iki farklı tip üretim süreci parametresine göre hazırladıkları numuneleri inceledikleri çalışmada lazer gücünü 190 W'ta sabit tutup çeşitli parametrelerle birlikte tabakalama kalınlığını 20 ve 40 µm olarak ayarlamışlardır. 20 µm tabakalama kalınlığına sahip numunelerin çekme mukavemeti 1303 MPa iken 40 µm tabakalama kalınlığına sahip numunelerin çekme mukavemetini 1159 MPa olarak rapor etmişlerdir (7). Çalışmanın sonuçlarına bakıldığında benzer şekilde 200 W lazer gücünde tabakalama kalınlığı artınca çekme mukavemetinin düştüğü görülmektedir. 200 W'ta 20 µm numunelerin çekme mukavemeti 1176,1 MPa iken, 30 µm numunelerin çekme mukavemeti 936,5 MPa olarak ölçülmüştür.

Çalışmada kullanılan Co-Cr alaşımının üretici talimatına göre 195 W ve 30 µm tabakalama kalınlığında üretim yapılması önerilmektedir. Çalışmanın sonuçlarına göre 30 µm tabakalama kalınlığına sahip numunelerde 50, 150 ve 200 W'ta üretilen numunelerin çekme mukavemetleri arasında istatistiksel açıdan bir fark gözlenmezken 100W'ta üretilen 30 µm tabakalama kalınlığındaki numunelerin çekme mukavemeti istatistiksel olarak diğerlerinden daha yüksek bulunmuştur.

Literatürde bulunan lazer sinter çalışmalarının çoğu daha çok metal-porselen bağlantısını veya marjinal uyumu araştıran çalışmalardır (3, 16, 21-23). Üretim parametrelerinin mekanik özelliklere etkisini inceleyen çalışmaların sayısı ise sınırlıdır (6, 7, 20, 24). Tabakalama kalınlığını ve lazer gücü parametrelerinin farklı kombinasyonlarını kullanan çalışma ise bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmanın sonuçları lazer sinterleme esnasında üretim parametrelerinin değiştirilmesinin üretilecek olan malzemenin mekanik özelliklerini değiştirip değiştirmediğini anlamaya yardımcı olabilir.

Çekme mukavemeti ve kopma uzaması ortalama değerlerinin tabakalama kalınlıkları ve lazer gücünün değişimine göre farklılık göstermesi, direkt artması veya azalması gibi bir durumun söz konusu olmaması mekanik özelliklerin daha farklı parametrelerin de değişimiyle etkilendiği sonucunu karşımıza çıkarmaktadır.

Bu çalışmada farklı tabakalama kalınlıklarında farklı lazer güçlerinde numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu numunelerin üretimi esnasında farklı tozların kullanılması, tarama hızı ve tarama alanı gibi parametrelerin de değiştirilmesiyle yapılacak olan farklı çalışmalar üretilecek olan Co-Cr malzemenin mekanik özelliklerinin nasıl değiştiğini görmek açısından daha kapsamlı olacaktır. Ayrıca yüzey özelliklerinin incelenmesi ve çekme mukavemeti ve kopma uzaması yanında diğer mekanik özelliklerin nasıl değiştiğinin incelenmesi de daha kapsamlı çalışmalara ışık tutacaktır.

Sonuç olarak protetik diş hekimliğinde standartlaştırılmış üretime yol açan ve kısaltılmış üretim zamanı sunan dijital iş akışı kullanımı giderek artmaktadır. SLM üretim sürecinde lazer gücü ve tabakalama kalınlığının değişimi mekanik özellikleri kısmen etkilemektedir. Lazer gücü ve tabakalama kalınlığı çekme mukavemetini, lazer gücü kopma uzamasını etkilerken tabakalama

kalınlığının kopma uzamasına etkisi anlamlı bulunmamıştır.

Teşekkür

Makalenin yazarları çalışmaya desteğinden ötürü Hasçelik Kablo Sanayi Ticaret A.Ş.'ye teşekkür eder.

KAYNAKLAR

1. Koutsoukis T, Zinelis S, Eliades G, et al. Selective laser melting technique of Co-Cr dental alloys: A review of structure and properties and comparative analysis with other available techniques. J Prosthodont. 2015;24:303-312.
2. van Noort R. The future of dental devices is digital. Dent Mater. 2012;28:3-12.
3. Ekren O, Ozkomur A, Ucar Y. Effect of layered manufacturing techniques, alloy powders, and layer thickness on metal-ceramic bond strength. J Prosthet Dent. 2018;119:481-487.
4. Gusarov AV, Grigoriev SN, Volosova MA, et al. On productivity of laser additive manufacturing. J Mater Process. 2018;261:213-232.
5. Maamoun AH, Xue YF, Elbestawi MA, Veldhuis SC. Effect of Selective Laser Melting Process Parameters on the Quality of Al Alloy Parts: Powder Characterization, Density, Surface Roughness, and Dimensional Accuracy. Materials (Basel). 2018;11:2343.
6. Ucar Y, Ekren O. Effect of layered manufacturing techniques, alloy powders, and layer thickness on mechanical properties of Co-Cr dental alloys. J Prosthet Dent. 2018;120:762-770.
7. Qian B, Saeidi K, Kvetková L, et al. Defects-tolerant Co-Cr-Mo dental alloys prepared by selective laser melting. Dent Mater. 2015;31:1435-1444.
8. Akçin ET, Güncü MB, Aktaş G, et al. Effect of manufacturing techniques on the marginal and internal fit of cobalt-chromium implant-supported multi-unit frameworks. J Prosthet Dent 2018;120:715-720.
9. Strub JR, Rekow ED, Witkowski S. Computer-aided design and fabrication of dental restorations: current systems and future possibilities. J Am Dent Assoc 2006;137:1289-1296.
10. Tian X, Günster J, Melcher J, et al. Process parameters analysis of direct laser sintering and post treatment of porcelain components using Taguchi's method. J Eur Ceram Soc.2009;29:1903-1915.
11. Takaichi A, Suyalatu, Nakamoto T, et al. Microstructures and mechanical properties of Co-29Cr-6Mo alloy fabricated by selective laser melting process for dental applications. J Mech Behav Biomed Mater2013;21:67-76.
12. Simchi A, Pohl H. Effects of laser sintering processing parameters on the microstructure and densification of iron powder. Mater Sci Eng C A. 2003;359:119-128.
13. Shiomi M, Osakada K, Nakamura K, et al. Residual Stress within Metallic Model Made by Selective Laser Melting Process. CIRP Annals. 2004;53:195-198.
14. Kruth J-P, Vandenbroucke B, Van Vaerenbergh J, Mercelis P, editors. Benchmarking of different SLS/

- SLM processes as rapid manufacturing techniques. Proceedings of the International Conference Polymers & Moulds Innovations PMI 2005; 2005.
15. Castillo-Oyagüe R, Osorio R, Osorio E, et al. The effect of surface treatments on the microroughness of laser-sintered and vacuum-cast base metal alloys for dental prosthetic frameworks. *Microsc ResTech* 2012;75:1206-1212.
 16. Castillo-de-Oyagüe R, Sánchez-Turrión A, López-Lozano JF, et al. Vertical misfit of laser-sintered and vacuum-cast implant-supported crown copings luted with definitive and temporary luting agents. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2012;17:e610-617.
 17. Mazzoli A. Selective laser sintering in biomedical engineering. *Med Biol Eng Comput*. 2013;51:245-256.
 18. Withers PJ, Bhadeshia HKDH. Residual stress. Part 2 - Nature and origins. *Mater Sci Technol*. 2001;17:366-375.
 19. ASTM F. 75-12. Standard Specification for Cobalt-28Chromium-6Molybdenum Alloy Casting and Casting Alloy for Surgical Implants. <https://standards.globalspec.com/std/3846698/astm-f75-12> Erişim tarihi:05.03.2022.
 20. Wang JH, Ren J, Liu W, et al. Effect of Selective Laser Melting Process Parameters on Microstructure and Properties of Co-Cr Alloy. *Materials (Basel)*. 2018;11:1546.
 21. Hong MH, Min BK, Lee DH, et al. Marginal fit of metal-ceramic crowns fabricated by using a casting and two selective laser melting processes before and after ceramic firing. *J Prosthet Dent*. 2019;122:475-481.
 22. Ucar Y, Akova T, Akyil MS, et al. Internal fit evaluation of crowns prepared using a new dental crown fabrication technique: Laser-sintered Co-Cr crowns. *J Prosthet Dent*. 2009;102:253-259.
 23. Akova T, Ucar Y, Tukay A, et al. Comparison of the bond strength of laser-sintered and cast base metal dental alloys to porcelain. *Dent Mater*. 2008;24:1400-1404.
 24. Al Mangour B, Luqman M, Grzesiak D, et al. Effect of processing parameters on the microstructure and mechanical properties of Co-Cr-Mo alloy fabricated by selective laser melting. *Mater Sci Eng C A*. 2020;792:139456.