

## تقييم بعض الخصائص الميكانيكية لخليطة الكروم- كوبات المحضرة بالصهر الانتقائي بواسطة الليزر و الصب

أ. د. علاء سلوم\*\*

ناريمان مرقا\*

(الإيداع: 28 كانون الثاني 2021، القبول: 5 نيسان 2021)

### الملخص:

الهدف من هذا البحث هو دراسة الخواص الميكانيكية (القساوة و مقاومة الشد) لخليطة Co-Cr المصنعة بواسطة الصب (CS) casting والصبهر الانتقائي بالليزر selective laser melting (SLM)، حيث تم تصنيع أربع مجموعات من العينات المعدنية المصنوعة من خلائط Co-Cr السنية عن طريق تقنية الصب CS و تقنية الصهر الانتقائي بالليزر SLM، تضمنت كل مجموعة 10 عينات. اجريت دراسة القساوة Hardness و مقاومة الشد Tensile Strength لكل تقنية، أظهرت النتائج وجود فروق دالة احصائياً بين العينات المصنوعة بالطريقتين 0.05 P < ، حيث كان متوسط قساوة العينات التي تم تصنيعها بتقنية SLM أعلى من العينات التي تم تصنيعها بتقنية CS ، و متوسط مقاومة الشد للعينات التي تم تصنيعها بتقنية SLM أعلى من العينات التي تم تصنيعها بتقنية CS. بالتالي يمكن استنتاج أن لتقنية التصنيع المستخدمة تأثير على بعض الخواص الميكانيكية لخليطة Co-Cr السنية .

الكلمات المفتاحية : خلائط Co-Cr ، تقنية الصب ، الصهر الانتقائي بالليزر ، القساوة ، مقاومة الشد .

\*طالبة دراسات عليا (دكتوراه) – اختصاص التعويضات المتحركة – كلية طب الأسنان – جامعة دمشق .  
\*\*أستاذ في قسم التعويضات المتحركة – نائب العميد للشؤون العلمية في كلية طب الأسنان – جامعة دمشق .

## Evaluation of Some Mechanical Properties of Dental Co–Cr alloys Fabricated by Casting and Selective Laser Melting

Nariman Maraka \*

Prof. Dr. Alaa'a Salloum \*\*

(Received: 28 January 2021, Accepted: 5 April 2021)

### Abstract:

The aim of this paper is to study the mechanical properties (hardness and tensile strength) of Co–Cr alloys fabricated by casting technique (CS) and selective laser melting technique (SLM). Four sets of metallic samples made from dental Co–Cr alloys were made (Each one = 10 specimen) by using casting and selective laser melting techniques. Hardness and tensile strength were studied for each technique, Results revealed that there were statistically significant differences between the groups made by the two methods ( $0.05 > P$ ). The average hardness of specimens manufactured by SLM technology was higher than specimens were manufactured by CS technology, and the average of tensile strength of specimens manufactured by SLM technology was higher than specimens made by CS method. It was concluded that manufacturing technique used had an effect on the mechanical properties of the dental Co–Cr alloy.

**Keywords:** Co–Cr ALLOYS, CASTING, SELECTIVE LASER MELTING, HARDNESS, TENSILE STRENGTH.

---

\* Postgraduated student (PhD degree) – Department of Removable Prosthodontics– Faculty of Dentistry– Damascus university .

\*\* Professor in the Department of Removable Prosthodontics – Vice Dean For Scientific Affairs Faculty of Dentistry – Damascus University .

## 1-المقدمة:

تعتبر خلائط الكروم كوبالت من أشهر الخلائط المعدنية استعمالاً في صناعة الأجهزة الجزئية المتحركة حتى أيامنا هذه، وذلك يعود لقساوتها العالية ومقاومتها الممتازة للتآكل والأكسدة وانخفاض ثمنها بالمقارنة مع خلائط الذهب إضافة لنقليتها الحرارية (Schwitalla et al., 2013). لقد انعكس التطور في المجال الرقمي و ظهور تقنية (computer-aided manufacturing) CAD- CAM design/computer-aided manufacturing . في مطلع الثمانينات على طب الأسنان حيث استخدمت هذه التقنية في التيجان و الجسور و في الغرس السني و تعويضات الوجه و الفكين و تصنيع الأجهزة الجزئية المتحركة (Bilgin et al., 2016). في الأونة الأخيرة تم تقديم تقنية التصنيع التجميعي (Additive manufacturing) AM التي تتضمن تقنية التلييد بالليزر (Selective laser sintering) SLS للمواد غير المعدنية مثل السيراميك و البوليمرات و تقنية الصهر الانتقائي بالليزر (Selective laser melting) SLM للخلائط المعدنية (مسحوق) (Van Noort, 2012)، التي يتم فيها انشاء طبقات باستخدام شعاع ليزر عالي الطاقة لصهر المسحوق المعدني و دمجها لتشكيل جسم ثلاثي الأبعاد (Yager et al., 2015).

و لمعرفة سلوك هذه المواد تحت تأثير القوى المختلفة عند استعمالها في الأجهزة الجزئية لا بد من اجراء بحوث و تجارب مخبرية و سريرية لمقارنة الخصائص الميكانيكية لخلائط الكروم كوبالت المستخدمة بشكل شائع مع الأجهزة الجزئية المتحركة المصنعة بتقنيات مختلفة (Rzanny et al., 2013).

أحدثت التقنيات الرقمية ثورة في انتاج هياكل الأجهزة الجزئية المتحركة من خلال تقنية النحت للمواد البوليميرية أو تقنية التصنيع التجميعي AM متمثلة بالتلييد بالليزر الانتقائي SLS أو الصهر بالليزر الانتقائي SLM للهياكل المعدنية (Tamimi et al., 2020). قام كلاً من العالمين Duret و Preston بتطوير نظام CAD-CAM لاستعماله في طب الأسنان (Bilgin et al., 2016). في الأونة الأخيرة تم توسيع النماذج الأولية السريعة في مجال تصنيع التركيبات الخاصة بطب الأسنان بما فيها هياكل الأجهزة الجزئية المتحركة (Ye et al., 2017). و نالت الأجهزة الجزئية المتحركة الرقمية رضی المريض من حيث ثبات الأجهزة و الديمومة وفقاً للتجارب السريرية الأخيرة (Tamimi et al., 2020).

عرفت الجمعية الأمريكية للاختبار و المواد (ASTM American Society for Testing and Materials) التصنيع التجميعي AM على أنه عملية اندماج المواد لصنع هياكل من بيانات نموذج ثلاثي الأبعاد ، حيث تتميز ببناء طبقة فوق طبقة حتى الوصول التصميم المطلوب بدلاً من طرائق التصنيع التقليدية (الشعاع الضائع) (Van Noort, 2012). تعرف هذه العمليات باسم الطباعة ثلاثية الأبعاد (three dimensional printing) ، التصنيع متعدد الطبقات (layered manufacturing) ، التصنيع الحر (free-form fabrication) ، النماذج الأولية السريعة (rapid prototyping) (Bilgin et al., 2016). وضعت الجمعية الدولية ASTM تصنيفاً لتقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في سبع مجموعات رئيسية (Bandyopadhyay et al., 2015).

- الصهر الانتقائي بالحزمة الالكترونية (selective electron beam melting)
- الكتابة المباشرة بالحبر (direct ink writing).
- الطباعة الحيوية بمساعدة الليزر (laser-assisted bioprinting).
- التلييد الانتقائي بالليزر/ الصهر الانتقائي بالليزر (selective laser sintering/Melting).
- الطباعة الحجرية المجسمة (stereolithography).

- نمذجة الترسيب المنصهر ( fused deposition modeling ).
  - الترسيب بمساعدة الروبوت / الصب بواسطة الروبوت (robot-assisted deposition/robocasting) (Torabi et al., 2015) <sup>a</sup> (Dikova et al., 2015) (Bilgin et al., 2016).
- يعرف الصهر الانتقائي بالليزر SLM على أنه عملية فيزيائية حرارية معقدة تعتمد على عدد من العوامل ( ثخانة الطبقة ، قطر شعاع الليزر و شدته ، و سرعة المسح ) (Averyanova, 2012). وتم استخدام هذه التقنية حتى الان بشكل أساسي للنماذج الأولية السريعة (RP(Rapid prototyping) ، المادة الأولية هي مساحيق معدنية ، حيث يوجه شعاع الليزر على سرير من المواد المسحوقة و المضغوطة و حسب بيانات النموذج ثلاثي الأبعاد تبدأ الطباعة للطبقة الأولى من النموذج و يتفاعل الليزر مع سطح المسحوق و يؤدي الى التصاقها ببعض و يكون قطعة صلبة حسب التصميم و بعد الانتهاء من الطبقة الأولى تمرر اسطوانة مع القليل من المواد المسحوقة لملء الفراغ الحاصل من هبوط منطقة الطباعة قبل أن يقوم شعاع الليزر بطباعة الطبقة الأخرى و التي ترتبط بالطبقة التي تليها الى ان تكتمل الطباعة و هكذا ، ان غرفة البناء أو مكان مسحوق الطباعة معزولة بصورة جيدة للحفاظ على درجة الحرارة أثناء عملية الطباعة و ذلك للحفاظ على درجة انصهار مادة المسحوق المعدني ، و بعد الانتهاء من الطباعة تتم إزالة المسحوق الزائد و اخراج القطعة المطبوعة ، من اهم ميزات هذه الطريقة من الطباعة ثلاثية الأبعاد هو أن المسحوق بمثابة هيكل دعم للقطع المطبوعة و التي تمنعها من ان تتدلى و تضعف و بذلك يمكن طباعة اشكال معقدة بهذه الطريقة و التي لا يمكن طباعتها بالطرق الأخرى <sup>b</sup> ) (Dikova et al., 2015). نجاح هذه التقنية لصنع الهيكل المعدني يعتمد على شدة الليزر و سرعة المسح و قطر شعاع الليزر و سماكة الطبقة و المسافة ما بين أثر الليزر و منصة البناء (Averyanova, 2012). تعتمد خواص خليطة الكروم كوبالت السنية على البنية المجهرية و تشكلها و تكوينها و التي تحددها عملية التصنيع و الأنظمة التكنولوجية (Podrez- Radziszewska et al., 2010) .
- درس العالم Kim و زملاؤه عام 2016 الخواص الميكانيكية لعينات مصنوعة من خلائط Co-Cr باستخدام الصب (CS) ،الطحن (ML) والصهر الانتقائي بالليزر (SLM) ، حيث تبين تأثر البنية المجهرية للعينات بشدة بعمليات التصنيع، أظهرت مجموعة SLM تفوقها من ناحية الخصائص الميكانيكية و البنية المجهرية تليها تقنية CS ثم تقنية ML و توصل الى أنه يمكن اعتبار تقنيات SLM بديلا لعمليات صب خليطة Co-Cr (Kim et al., 2016) .
- في دراسة أجراها العالم WANG و زملاؤه عام 2018 لمعرفة الخصائص الميكانيكية لعينات الكروم كوبالت المصنعة بطريقة الصهر الانتقائي بالليزر SLM وجد أنه عند تطبيق الشروط التالية قطر فتحة الليزر 0.08 mm و سرعة مسح الليزر 1110 mm/s و طاقة ليزر 335 W و كثافة طاقة ليزر 4.8 J/mm<sup>2</sup> ،وصل الى كثافة عينة %99.18 و قساوة 410 HRC على حين كانت مقاومة الشد 1032 MPa و الانحناء 10% و قوة الترابط بين المعدن و السيراميك 94.3 MPa و كانت البنية المجهرية للعينة على شكل بلورات موحدة دقيقة و متعامدة و موزعة بشكل متساوي و يتأثر هذا التوزيع البلوري بالمعالجة الحرارية ،بالاعتماد على هذه الخصائص اعتبرت هذه التقنية مقبولة سريريا و تلي متطلبات الأجهزة السنية (Wang et al., 2018) .
- في دراسة أجراها العالم Zhou و زملاؤه عام 2018 وجد أن الخصائص الميكانيكية و المجهرية لخليطة الكروم كوبالت السنية تعتمد على تقنية التصنيع المستخدمة و أن البنية المجهرية لخليطة الكروم كوبالت المصنعة بتقنية SLM كانت موزعة بشكل متساوي و عامودي في كافة مراحل التشكل مقارنة مع عينات مصبوبة و عينات مطحونة ، كما كانت أكثر قساوة بمقدار 40% من تلك المصنوعة بطرق مختلفة (Zhou et al., 2018) .

## 2-الهدف من البحث:

دراسة الخصائص الميكانيكية (مقاومة الشد ، القساوة) لخليطة الكروم كوبالت السنية المصنعة بتقنيتين مختلفتين CS و SLM .

## 3- المواد و الطرق :

تم تحديد حجم عينة الدراسة بناء على دراسة سابقة أجرتها Muhsin و زملائها (Muhsin et al., 2019)

## عينات اختبار القساوة:

وتشمل 20 عينة، قسمت إلى مجموعتين:

- المجموعة الأولى: مجموعة خلائط الكروم كوبالت CS، و تضم عشر عينات.
  - المجموعة الثانية: مجموعة خلائط الكروم كوبالت SLM، و تضم عشر عينات.
- و فيما يلي التركيب لخليطة الكروم كوبالت المستخدمة في كلتا التقنيتين

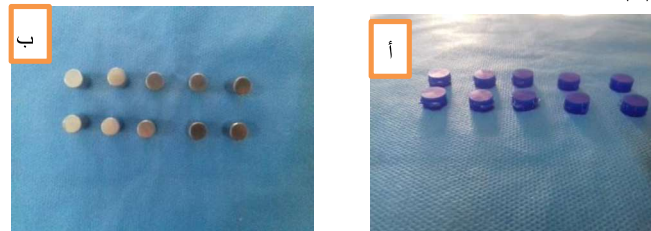
الجدول رقم (1) يبين التركيب الكيميائي لخليطة الكروم كوبالت المستعملة

Alloy	Chemical composition, mass %								
	Co	Cr	Mo	Si	Mn	W	C	Fe	Ni
(CS) Realloy. Germany	62.5	30	5.1	1	1		<1	<0.75	<0.5
(SLM) Scheftner . Germany	59	25	3.5	1		9.5		0.1	

وصف اختبار عينة القساوة :

عبارة عن إسطوانة بقطر 10 مم و إرتفاع 5 مم (Aljammal, 2013).

تم تصميم و تصنيع النماذج الشمعية بطريقة CAD-CAM بالأبعاد المذكورة سابقا لاستخدامها بطريقة CS من بلوكات شمعية Huge China ثم كسو النماذج الشمعية و صبها بخليطة الكروم كوبالت CS و الحصول على العينات المعدنية المصبوبة كما في الشكل رقم (1):



الشكل رقم (1)أ- النماذج الشمعية لعينات القساوة ب-عينات القساوة المصنوعة بتقنية CS

أما بالنسبة للعينات المصنوعة بطريقة الـ SLM تبدأ عملية الطباعة بتقسيم النموذج الرقمي ثلاثي الأبعاد للمنتج إلى طبقات بسماكة 20 إلى 100 ميكرون من أجل إنشاء صورة ثنائية الأبعاد لكل طبقة من المنتج. التنسيق القياسي للصناعة هو ملف STL . ينتقل هذا الملف إلى برنامج الآلة ، حيث يتم تحليل المعلومات .  
بناءً على البيانات التي تم الحصول عليها ، يتم إطلاق دورة إنتاج للبناء ، تتكون من عدة دورات لبناء طبقات فردية من المنتج ، تتكون دورة بناء الطبقة من عمليات نموذجية هي :

1-وضع طبقة من المسحوق بسمك محدد مسبقاً ( 20 ميكرون) على لوحة البناء التي يتم عليها طباعة الشكل ثلاثي الأبعاد .

2-مسح طبقة المنتج بشعاع ليزر .

3-خفض لوحة البناء بمقدار سمك طبقة المسحوق الجديدة .

تتم عملية بناء المنتجات (العينات) في غرفة SLM للآلة طراز SLM125 German،مجهزة بليزر Nd:YAG المستمر باستطاعة 100 واط و قطر فتحة الليزر 0.2 ملم مملوءة بغاز الأرجون الخامل أو النيتروجين . يحدث الاستهلاك الرئيسي للغاز الخامل في بداية العمل بعد البناء يتم إزالة المنتج مع اللوح من غرفة SLM ، وبعد ذلك يتم فصل العينات ميكانيكياً عن اللوح، و يتم اجراء عملية الانهاء يدويا (Dolgov et al., 2016).

تم الحصول على عينات القساوة المصنوعة بطريقة SLM كما في الشكل رقم (2) :



الشكل رقم (2): عينات القساوة المصنوعة بتقنية SLM

تم اجراء اختبار القساوة بجهاز BRICKERS 230 الموضح بالشكل رقم (3)



الشكل رقم (3): جهاز قياس القساوة

لاجراء اختبار القساوة تم وضع العينة على القاعدة المخصصة لجهاز قياس القساوة الذي يعطي قيم القساوة بالـ Vickers، كما في الشكل رقم (4) :



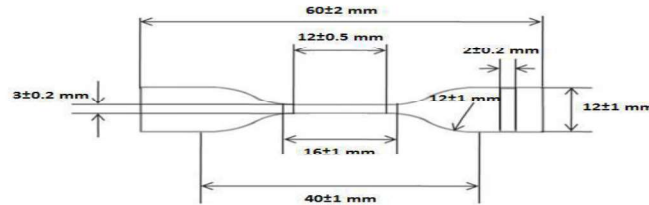
الشكل رقم (4): أ- عينة الاختبار على جهاز قياس القساوة ب- صورة مجهرية للعينة بعد إجراء الاختبار

#### عينات اختبار الشد:

وتشمل 20 عينة، قسمت إلى مجموعتين:

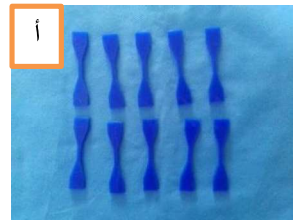
- المجموعة الأولى: مجموعة خلأط الكروم كوبالت CS، وتضم عشر عينات.
- المجموعة الثانية: مجموعة خلأط الكروم كوبالت SLM، وتضم عشر عينات.

أبعاد عينات الشد حسب مواصفات ISO 527-1,2: 2012 كما هو موضح بالشكل رقم (5):



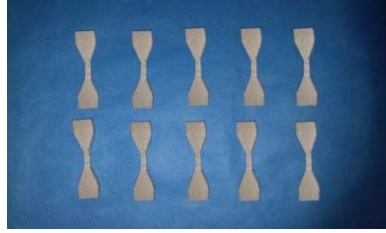
الشكل رقم (5): أبعاد عينات الشد

و بنفس الطريقة التي استخدمت للحصول على عينات القساوة المصبوبة بتقنية CS نحصل على عينات الشد المصبوبة بتقنية CS كما في الشكل رقم (6):



الشكل رقم (6): (أ- النماذج الشمعية لعينات الشد ب- عينات الشد المصنوعة بتقنية CS )

و بنفس الطريقة التي استخدمت للحصول على عينات القساوة المصنوعة بتقنية الصهر الانتقائي بالليزر SLM نحصل على عينات الشد بتقنية SLM كما في الشكل رقم (7):



الشكل رقم (7): عينات الشد المصنوعة بتقنية SLM

تم إجراء اختبار الشد للعينات بجهاز Tinius Olsen H50ks، لإجراء اختبار الشد تم تثبيت طرفا العينة بملقطي آلة الشد، سرعة الرأس المتحرك 2 mm/s وتم تسجيل القوة المطبقة التي تتحطم عندها العينة كما موضح في الشكل رقم (8):



الشكل رقم (8): أ- جهاز اختبار مقاومة الشد ب- عينة اختبار الشد بعد إجراء الاختبار عليها و تحطمها

#### 4- النتائج:

تم إجراء اختبار T ستيودنت للعينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط مقدار الإجهاد الأعظمي (بالميجاباسكال) بين مجموعة القطع المصنوعة من خلانط الكروم كوبالت بتقنية SLM ومجموعة القطع المصنوعة من خلانط الكروم كوبالت CS في عينة دراسة مقاومة الشد كما يلي:

الجدول رقم (2): يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري لمقدار الإجهاد الأعظمي (بالميجاباسكال) في عينة دراسة مقاومة الشد وفقاً لنوع القطعة المدروسة.

المتغير المدروس	نوع القطعة المدروسة	عدد القطع	المتوسط الحسابي (بالميجا باسكال)	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري
مقدار الإجهاد الأعظمي (بالميجاباسكال)	مصنوعة من خلانط الكروم كوبالت بتقنية SLM	10	1086.01	6.66	2.10
	مصنوعة من خلانط الكروم كوبالت بتقنية CS	10	909.06	6.54	2.06

تبين أن قيمة مستوى الدلالة أصغر بكثير من القيمة 0.05، أي إنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق دالة إحصائياً في متوسط مقدار مقاومة الشد (بالميجاباسكال) بين مجموعة القطع المصنوعة من خلانط الكروم كوبالت بتقنية SLM ومجموعة القطع المصنوعة من خلانط الكروم كوبالت بتقنية CS في عينة دراسة مقاومة الشد، وبما أن الإشارة الجبرية للفرق بين



المتوسطين موجبة نستنتج أن قيم مقدار الإجهاد الأعظمي (بالميجاباسكال) في مجموعة القطع المصنوعة من خلأط الكروم كوبالت بتقنية SLM كانت أكبر منها في مجموعة القطع المصنوعة من خلأط الكروم كوبالت بتقنية CS في عينة دراسة مقاومة الشد.

كما تم إجراء اختبار T ستودنت للعينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط مقدار المساواة بين مجموعة القطع المصنوعة من من خلأط الكروم كوبالت بتقنية SLM ومجموعة القطع المصنوعة من خلأط الكروم كوبالت بتقنية CS في عينة دراسة المساواة كما يلي :

الجدول رقم (3): يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري لمقدار المساواة في عينة دراسة المساواة وفقاً لنوع القطعة المدروسة.

المتغير المدروس	نوع القطعة المدروسة	عدد القطع	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري
مقدار المساواة	مصنوعة من خلأط الكروم كوبالت بتقنية SLM	10	473.02	5.67	1.79
	مصنوعة من خلأط الكروم كوبالت بتقنية CS	10	348.81	13.03	4.12

تبين أن قيمة مستوى الدلالة أصغر بكثير من القيمة 0.05، أي إنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق دالة إحصائياً في متوسط مقدار المساواة بين مجموعة القطع المصنوعة من خلأط الكروم كوبالت بتقنية SLM ومجموعة القطع المصنوعة من خلأط الكروم كوبالت بتقنية CS في عينة دراسة المساواة، وبما أن الإشارة الجبرية للفرق بين المتوسطين موجبة نستنتج أن قيم مقدار المساواة في مجموعة القطع المصنوعة من من خلأط الكروم كوبالت SLM كانت أكبر منها في مجموعة القطع المصنوعة من خلأط الكروم كوبالت بتقنية CS في عينة دراسة المساواة.

##### 5- المناقشة:

تمت دراسة تأثير التقنية المستخدمة في التصنيع في الخصائص الميكانيكية لخلطية الكروم كوبالت و ذلك باستخدام تقنية الصب CS و تقنية الصهر الانتقائي بالليزر SLM، أظهرت نتائج الدراسة الإحصائية وجود فروق دالة إحصائياً في متوسط مقدار مقاومة الشد و المساواة بين عينات خلأط الكروم كوبالت بتقنية SLM، وعينات خلأط الكروم كوبالت بتقنية CS حيث  $p=0.000$ ، بلغت قيم الإجهاد الأعظمي في عينات خلأط الكروم كوبالت بتقنية SLM ( 1086 MPa ) و هي أكبر من الاجهاد الاعظمي عينات خلأط الكروم كوبالت بتقنية CS ( 909 MPa ) ، و مقدار المساواة في عينات خلأط الكروم كوبالت بتقنية SLM ( 473 Vickers ) كانت أكبر من عينات خلأط الكروم كوبالت بتقنية CS ( 348 Vickers ) . يعود تفسير تفوق مقاومة الشد لخلطية الكروم كوبالت المصنوعة بتقنية SLM بتغلبيها على مساوي تقنية CS المرتبطة بالخطأ البشري اضافة الى عيوب متعلقة بعملية الصهر تشكل فقاعات تسبب اضعاف المعدن و عيوب متعلقة بتصلب المعدن ، حيث أن تقنية SLM تتم بطريقة النماذج السريعة RP التي تتجز بخطوة واحدة مع دمج انتقائي لطبقات متتالية من المسحوق المعدني فوق بعضها البعض باستخدام طاقة حرارية يوفرها شعاع ليزر مركز و يتحكم به الكمبيوتر الأمر الذي يؤدي الى التوزيع المتجانس و المتوازي للجزيئات .

و يعود تفسير انخفاض قساوة عينات الCS عن عينات SLM بسبب البنية التغصنية الشجرية التي تنشأ أثناء عملية الصب و وجود شوائب ناتجة عن تبخر الشمع الأمر الذي يؤدي الى توزيع غير متجانس للبنية البلورية الأمر الذي ينعكس سلباً على قيم القساوة بينما تتميز عملية SLM بمعدلات تسخين وتبريد عالية ، مما يؤدي إلى بنية دقيقة متجانسة للطبقة الصلبة. اتفقت دراستنا مع دراسة كلا من دراسة Kim و زملائه عام 2016 (Kim et al., 2016) ، و Mergulhão و زملائه عام 2017 (Mergulhão et al., 2017) ، و Wang و زملائه عام 2018 (Wang et al., 2018) و دراسة Zhou و زملائه عام 2018 (Zhou et al., 2018) . و أرجع هؤلاء تفوق تقنية SLM الى معدلات التسخين و التبريد العاليين نتيجة التحولات التي تجري في الطبقات السفلية القريبة من البؤرة المنصهرة الأمر الذي يؤدي الى انتاج نسيج معدني منتظم و متوازي للعينات المنتجة التي تمنع تشكل البنية المتشعبة (التغصنية) التي تنشأ بتقنية CS وبالتالي الحصول على عينات تتمتع بخصائص ميكانيكية أفضل ، حيث كان السبب الرئيسي لانخفاض قساوة العينات المصنوعة بتقنية CS هو عدم التجانس المجهري بالإضافة الى التركيب الكيميائي للخليطة المستخدمة .

هذه القيم تجعل أجهزة خلائط الكروم كوبالت بتقنية SLM أكثر مقاومة للخدش من أجهزة خلائط الكروم كوبالت CS وبالتالي أقل عرضة للتلوث و التصاق وتراكم اللويحة الجرثومية (Aljammal, 2013). تبلغ قساوة الميناء في الأسنان حوالي Vickers 350، وهي تقريباً قساوة خلائط الكروم كوبالت CS المدروسة نفسها، وبالتالي لا خوف من أن تسبب أجهزة خلائط الكروم كوبالت CS اهتراءً في السطوح العمودية للأسنان الطبيعية أثناء إدخال وإخراج الجهاز وحركاته المختلفة، في حين بلغت قيمة قساوة خلائط الكروم كوبالت بتقنية SLM المدروسة Vickers 473، ومن الممكن أن تسبب هذه الزيادة في القساوة اهتراءً في السطوح العمودية للأسنان الطبيعية.

#### 5-الاستنتاجات :

ضمن حدود هذه الدراسة يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية :

متوسط قساوة العينات المنتجة بتقنية SLM ، كان أعلى من عينات CS ، أظهرت عينات SLM مقاومة شد أعلى مقارنة مع عينات CS .

#### 6-المراجع :

- 1-ALJAMMAL, A. M. (2013). In-vivo and in-vitro comparative study between removable partial dentures fabricated by using titanium alloys and removable partial dentures fabricated by using cobalt–chromium alloys. Damascus University ,pp:124.
- 2-Averyanova, M. (2012). Quality control of dental bridges and removable prostheses manufactured using Phenix systems equipment. Proceedings of AEPR'12, Paris, France,pp:34–35.
- 3-Bandyopadhyay, A., Bose, S., & Das, S. (2015). 3D printing of biomaterials. MRS Bulletin, 40(2), 108–115 .
- 4-Bilgin, M. S., Baytaroglu, E. N., Erdem, A., & Dilber, E. (2016). A review of computer-aided design/computer-aided manufacture techniques for removable denture fabrication. European journal of dentistry, 10(2), 286.

- 5–Dikova, T., Dzhendov, D., & Simov, M. (2015)<sup>a</sup>. Microstructure and hardness of fixed dental prostheses manufactured by additive technologies. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 71(2), 60–69.
- 6–Dikova, T., Dzhendov, D., Simov, M., Katreva–Bozukova, I., Angelova, S., Pavlova, D Tonchev, T. (2015)<sup>b</sup>. Modern trends in the development of the technologies for production of dental constructions. *Journal of IMAB–Annual Proceeding Scientific Papers*, 21(4), 974–981.
- 7–Dolgov, N., Ts, D., Dzh, D., Pavlova, D., & Simov, M. (2016). Mechanical properties of dental Co–Cr alloys fabricated via casting and selective laser melting. *Materials Science. Non–Equilibrium Phase Transformations.*, 2(3), 3–7.
- 8–Kim, H. R., Jang, S.–H., Kim, Y. K., Son, J. S., Min, B. K., Kim, K.–H., & Kwon, T.–Y. (2016). Microstructures and mechanical properties of Co–Cr dental alloys fabricated by three CAD/CAM–based processing techniques. *Materials*, 9(7), 596.
- 9–Mergulhão, M. V., Podestá, C. E., & das Neves, M. D. M. (2017). Mechanical Properties and Microstructural Characterization of Cobalt–Chromium (CoCr) Obtained by Casting and Selective Laser Melting (SLM). Paper presented at the Materials Science Forum, *Trans Tech Publ*, 899, 534–539.
- 10–Muhsin, S. A., Hatton, P. V., Johnson, A., Sereno, N., & Wood, D. J. (2019). Determination of Polyetheretherketone (PEEK) mechanical properties as a denture material. *Saudi Dent J*, 31(3), 382–391 .
- 11–Podrez–Radziszewska, M., Haimann, K., Dudziński, W., & Morawska–Sołtysik, M. (2010). Characteristic of intermetallic phases in cast dental CoCrMo alloy. *Archives of Foundry Engineering*, 10(3), 51–56–59.
- 12–Rzanny, A., Gobel, F., & Facht, M. (2013). BioHPP summary of results for material tests. *Quintessenz Zahntech MAG*, 39, 2–10.
- 13–Schwitalla, A., & Müller, W.–D. (2013). PEEK dental implants: a review of the literature. *Journal of Oral Implantology*, 39(6), 743–749.
- 14–Tamimi, F., Almufleh, B., Caron, E., & Alageel, O. (2020). Digital removable partial dentures. *Clinical Dentistry Reviewed*, 4, 1–12.
- 15–Torabi, K., Farjood, E., & Hamedani, S. (2015). Rapid prototyping technologies and their applications in prosthodontics, a review of literature. *Journal of dentistry*, 16(1), 1.
- 16–Van Noort, R. (2012). The future of dental devices is digital. *Dental Materials*, 28(1), 3–12.

- 17–Wang, H., Xu, J.–b., Zhen, N., Ma, W.–y., Zhang, Q.–m., & Guo, L. (2018). Preparation and properties of Co–Cr alloy denture by selective laser melting. *Materials Research Express*, 6(2), 026552 .
- 18–Yager, S., Ma, J., Ozcan, H., Kilinc, H., Elwany, A., & Karaman, I. (2015). Mechanical properties and microstructure of removable partial denture clasps manufactured using selective laser melting. *Additive Manufacturing*, 8, 117–123.
- 19–Ye, H., Ning, J., Li, M., Niu, L., Yang, J., Sun, Y, Li, M.(2017). Preliminary Clinical Application of Removable Partial Denture Frameworks Fabricated Using Computer–Aided Design and Rapid Prototyping Techniques. *International Journal of Prosthodontics*, 30(4 ).348–353 .
- 20–Zhou, Y., Li, N., Yan, J., & Zeng, Q. (2018). Comparative analysis of the microstructures and mechanical properties of Co–Cr dental alloys fabricated by different methods. *The Journal of prosthetic dentistry*, 120(4), 617–623.