الجمهورية العربية السورية
جامعـــة دمشـــق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة التصميم الميكانيكي

اقتصاديات استخدام التقانات الحديثة في تصميم مفصل ركبة صناعي وخطوات تصنيعه

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الصناعية

إعداد الطالبة المهندسة
باولا يوسف بطرس

المشرف العلمي
الدكتور حسن هدله

المشرف المشارك
الأستاذ الدكتور خليل عزيمة

2013-2014

قرار لجنة الحكم على رسالة الماجستير

باختصاص: **الهندسة الصناعية**

لطالبة الدراسات العليا: **باولا يوسف بطرس**

والتي تحمل العنوان: **اقتصاديات استخدام التقانات الحديثة في تصميم مفصل ركبة صناعي وخطوات تصنيعه**

استناداً إلى المادتين /163- 164/ من اللائحة التنفيذية لقانون تنظيم الجامعات رقم /6/ لعام 2006 الصادرة بالمرسوم التشريعي رقم /250/ لعام /2006/.

وقرار مجلس جامعة دمشق رقم / 5179 /ص تاريخ 2011/5/10 بشأن الموافقة على تسجيل رسالة الماجستير للطالبة باولا يوسف بطرس في درجة الماجستير باختصاص الهندسة الصناعية في قسم هندسة التصميم الميكانيكي من كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق.

وعلى قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا بجامعة دمشق رقم2135 تاريخ 2014/4/28القاضي بتأليف لجنة الحكم على رسالة الماجستير من السادة:

أ.د.م. محمد علي سلامة	جامعة دمشق	عضواً
د.م. مهلب الداود	جامعة دمشق	عضواً
د.م. حسن هدله	جامعة دمشق	عضواً(مشرفاً)

قامت لجنة الحكم بمناقشة رسالة الماجستير آنفة الذكر علنياً بتاريخ 2014/5/22.

وقد تم إجراء كافة التعديلات المطلوبة من أعضاء لجنة الحكم وأصبحت الرسالة صالحة لمنح درجة الماجستير في الهندسة الصناعية.

اللقب العلمي	الاسم	الصفة	التوقيع
الأستاذ الدكتور	محمد علي سلامة	عضواً	
الدكتور	مهلب الداود	عضواً	
الدكتور	حسن هدله	عضواً(مشرفاً)	

كلمة شكر

محطة من العمر تعلمت من خلالها المعارف الجديدة واقتبست معلومات أججت عقلي وملأت فؤادي من خلال أناس نذروا أنفسهم قرابين للعمل، يعطون ولا ينتظرون مقابلاً، غايتهم القصوى أداء واجبهم الإنساني ورؤية غراسهم وقد أثمرت فلهم مني الإجلال والاكبار والاعتراف بالجميل.

اذكر منهم

والدتي

زوجي المهندس نمير عسول

الدكتور مهلب الداود

الدكتور محمد علي سلامة

المهندس أحمد السقطي

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجميع مخابرها وورشاتها.

المعهد العالي لعلوم الليزر وتطبيقاته.

شركة الأمير الطبية.

كل من ساعدني ووقف إلى جانبي.

وأخص بالشكر

الدكتور المهندس حسن هدله **الاستاذ الدكتور المهندس خليل عزيمة**

قائمة المحتويات

المحتوى **الصفحة**

فهرس الأشكال VIII
فهرس الجداول XI
الرموز والمصطلحات XII
الملخص: 1
المقدمة: 3
الفصل الأول 6
دراسة نظريـــــة لمفصل ركبـــــة 6
1.1 مقدمة 7
2.1 مما يتألف مفصل الركبة الطبيعي 7
3.1 آلام الركبة 11
1.3.1 التشخيص الدقيق 12
2.3.1 التصوير بالأشعة السينية: 13
3.3.1 التحاليل العلمية 13
4.3.1 التصوير بالرنين المغناطيسي 13
5.3.1 التشخيص بالموجات فوق صوتية 14
6.3.1 لماذا تجري عملية استبدال مفصل الركبة 14
4.1 مفصل الركبة الطبيعي 15
1.4.1 الاستبدال الكلي للمفصل 15
5.1 الدراسة المرجعية 17
1.5.1 فشل بعض أنواع المعادن في تصنيع أجزاء مفصل الركبة الصناعي 17
2.5.1 إنشاء نماذج لأجزاء المفصل الركبة الصناعي بمساعدة الحاسب 17
3.5.1 إنشاء نماذج لأجزاء مفصل الركبة الصناعي اعتماداً على الحاسب ومكنات التحكم الرقمي 18
4.5.1 استخدام خليطة كوبالت كروم موليبدنييوم في تصنيع أجزاء المفاصل الصناعي 18
5.5.1 استخدام طريقة الصب الدقيق في تصنيع أجزاء مفصل الركبة الصناعي 19
6.5.1 الهندسة العكسية لأجزاء مفصل الركبة الصناعي 19
7.5.1 اختيار المواد الحيوية لتصنيع الغرسات الطبية بما فيها مفصل ركبة صناعي 20
8.5.1 مقارنة بين طرق التصنيع التقليدية و الطرق الحديثة من حيث أداء عمل مفصل الركبة الصناعي 21
9.5.1 البنية المجهرية لخليطة كوبالت كروم موليبدنيوم المصبوبة 22
10.5.1 التصنيع الحديث لأجزاء مفصل الركبة اعتماداً على مكنات النمذجة السريعة 22
11.5.1 المعالجة الحرارية لخليطة كوبالت كروم موليبدنيوم 23
الفصل الثاني 25
المواد التي يُصنع منه أجزاء مفصل الركبة الصناعي 25
1.2 مقدمة 26
2.2 أنواع المفاصل بحسب طبيعة عملها 27
1.2.2 المفصل الثابت 27
2.2.2 المفصل المتحرك 27
3.2 خواص المواد التي تدخل في تصنيع الأطراف الصناعية 29
1.3.2 الخواص الميكانيكية 29
2.3.2 الخواص الحرارية 31
4.2 المعادن التي تدخل في تصنيع المفصل 31
1.4.2 الكوبالت 31
2.4.2 الكروم 32

3.4.2 خليطة الكوبالت -كروم.....32
1.3.4.2 الخصائص العامة.....32
2.3.4.2 الخصائص الخاصة.....33
3.3.4.2أنواع و نسب المزج الكيميائي لخلائط الكوبالت-كروم المستخدمة في التراكيب الطبية.....33
4.3.4.2 خصائص خلائط الكوبالت– كروم.....34
4.4.2 التيتانيوم.....37
1.4.4.2 استخدامات التيتانيوم.....37
2.4.4.2 أهم ميزات هذا المعدن.....37
5.4.2 الموليبدنييوم MO وسبائكه.....38
1.5.4.2أهم فوائد وميزات الموليبدنوم.....38
2.5.4.2 أهم الخصائص الميكانيكية للموليبدنيوم.....38
3.5.4.2 الخواص الكيميائية للموليبدنيومِ.....39
6.4.2 المواد البوليمرية التي تدخل في تصنيع الجزء ما بين الجزئين المعدنيين.....39
1.6.4.2 البولي ايتلين.....39
2.6.4.2 البلمرة.....41
3.6.4.2 خصائص البولي ايتلين عالي الوزن الجزيئي UHMWPE.....41
الفصل الثالث.....42
تصميم وخطوات تصنيع مفصل ركبة صناعي باستخدام تقنيات الإنتاج التقليدية والحديثة.....42
1.3 الطرق التقليدية.....43
1.1.3 المقدمة.....43
2.1.3 السباكة.....43
3.1.3 صنع النماذج.....44
2.3 الطرق الحديثة بالسباكة أو ما يدعى بالسباكة الدقيقة.....44
1.2.3 الايجابيات التصميمية لعملية السباكة باستخدام نماذج الشمع المفقود (الصب الدقيق).....45
2.2.3 المساوئ والصعوبات.....46
3.2.3 ما هو المطلوب في عملية الصب الدقيق.....46
4.2.3 تطبيقات الصب الدقيق.....46
3.3 القوالب الخزفية (السيراميكة).....47
1.3.3 تطبيقات القوالب الخزفية.....48
2.3.3 معادن الصب المناسبة ضمن القوالب الخزفية.....48
3.3.3 أنواع المصبوبات.....49
4.3.3 دقة الأبعاد للمصبوبات.....49
4.3 عمليات الصب بقوالب خزفية.....49
1.4.3 النماذج المستخدمة للقوالب الخزفية.....49
2.4.3 المواد الرابطة للقوالب الخزفية وكيفية تحضيرها.....50
3.4.3 تحضير الواجهة الخزفية.....50
4.4.3 اختيار قالب خزفي بالكامل (القوالب غير المدعمة).....51
5.4.3 الشي واستقرار القالب.....52
6.4.3 التحميص.....52
7.4.3 الصب.....53
5.3 طريقة الشمع المفقود.....53
1.5.3 تصنيع النموذج الشمعي.....54
2.5.3 تجميع النماذج الشمعية.....54
3.5.3 التغطيس.....54
4.5.3 الرش بحبيبات.....55
5.5.3 إزالة الشمع.....55

6.5.3 الحرق 55
7.5.3الصب 55
8.5.3 الضرب للشجرة الشمعية 55
6.3 الأفران التحريضية .....
1.6.3 الأفران المستخدمة في الصهر 56
7.3 كيفية الصب في خليطتنا المستخدمة لتصنيع الأطراف الصناعية 56
1.7.3مراحل التصلب للخليطة والبنية المجهرية 57
8.3 الطرق الحديثة للتصنيع 59
1.8.3 التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسب 60
2.8.3 ما هي الآلات المبرمجة الحديثة 60
8.3. 3 ماهيو نظام G COD 62
9.3 النمذجة السريعة والتصنيع السريع 63
1.9.3 مقارنة النمذجة السريعة مع طرق الصناعة التقليدية 64
2.9.3 فوائد النمذجة السريعة 64
3.9.3 الحالات التي نستخدم فيها النمذجة 65
4.9.3 المواد المستعملة في النمذجة السريعة 65
5.9.3 تصميم مفصل الركبة بطريقة النمذجة السريعة 65
1.5.9.3النمذجة السريعة لمركبة الفخذ لمفصل الركبة 65
2.5.9.3نموذج المصهور المترسب FDM 67
3.5.9.3 الطباعة الثلاثية الأبعاد للمعادن 68
10.3 طرق أكثر حداثةً حزمة الكترون الصهر ELECTRON BEAM MELTING. 70
الفصل الرابع 75
العمل التجريبي 75
1.4المواد المستخدمة 76
1.1.4 اختبار التحليل الكيميائي 76
2.1.4 اختبار القساوة 76
3.1.4 اختبار الشد 77
4.1.4 البنية المجهرية للخليطة 78
5.1.4 تحديد الأطوار المتشكلة للخليطة باستخدام حيود الأشعة السينية 78
2.4 تصنيع النموذج الشمعي 79
3.4 تصميم أجزاء مفصل الركبة الصناعي 79
1.3.4 الرسم التصميمي 79
2.3.4 الإجراء التنفيذي 81
4.4 المعالجة الحرارية 89
1.4.4 المعالجة الحرارية عند درجة حرارة $1220^{O}C$ 90
1.1.4.4 البنية المجهرية للعينات المعالجة عند $1220^{O}C$ 90
2.1.4.4 نموذج حيود الأشعة السينية لتحديد الأطوار المتشكلة للعينات المعالجة عند $1220^{O}C$ 90
3.1.4.4 اختبار القساوة والشد للعينات المعالجة عند $1220^{O}C$ 90
2.4.4 المعالجة الحرارية عند درجة حرارة $850^{O}C$ 91
1.2.4.4 البنية المجهرية للعينات المعالجة عند $850^{O}C$ 92
2.2.4.4 نموذج حيود الأشعة السينية لتحديد الأطوار المتشكلة للعينات المعالجة عند $850^{O}C$ 92
3.2.4.4 اختبار القساوة والشد للعينات المعالجة عند $850^{O}C$ 92
5.4 حساب معدل التآكل الكيميائي 92
الفصل الخامس 94
النتائج والمناقشة 94
1.5 مقدمة 95

1.1.5 اختبار التحليل الكيميائي 95
2.1.5 اختبار القساوة 95
3.1.5 اختبار الشد 96
4.1.5 البنية المجهرية للخليطة 97
5.1.5 نموذج حيود الأشعة السينية لتحديد لأطوار المتشكلة للخليطة 97
2.5 تصنيع النموذج الشمعي 98
3.5 تصميم أجزاء مفصل الركبة الصناعي 99
1.3.5 نتائج الرسم التصميمي 99
2.3.5 نتائج الإجراء التنفيذي 100
5.4 المعالجة الحرارية 101
1.4.5 المعالجة الحرارية عند درجة حرارة $1220^{O}C$ 101
1.1.4.5 البنية المجهرية للعينات المعالجة عند $1220^{O}C$ 101
2.1.4.5 نموذج حيود الأشعة السينية لتحديد الأطوار المتشكلة للعينات المعالجة عند $1220^{O}C$ 102
3.1.4.5 اختبار القساوة والشد للعينات المعالجة عند $1220^{O}C$ 104
2.4.5 المعالجة الحرارية عند درجة حرارة$850^{O}C$ 108
1.2.4.5 البنية المجهرية للعينات المعالجة عند $850^{O}C$ 108
2.2.4.5 نموذج حيود الأشعة السينية لتحديد الأطوار المتشكلة للعينات المعالجة عند $850^{O}C$ 109
3.2.4.5 اختبار القساوة والشد للعينات المعالجة عند $850^{O}C$ 111
5.5 حساب معدل التآكل 114
النتائج: 121
التوصيات 122
المراجع العربية والأجنبية: 123

فهرس الأشكال

الأشكال **الصفحة**

الشكل (1.1): مفصل ركبة جسم الإنسان.....8
الشكل (2.1): توضيح لمكونات مفصل الركبة الطبيعي. 8
الشكل (3.1): الغضاريف الهلالية لمفصل الركبة. 9
الشكل (4.1): التصالب الأمامي والخلفي لمفصل الركبة. 10
الشكل (5.1): عظمة الردفة أو الصابونة.....10
الشكل (6.1): شخص يعاني من آلام الركبة. 12
الشكل (7.1): أمراض الكساح أو لين العظام. 13
الشكل (8.1): المفصل التالف. 15
الشكل (9.1): الاستبدال الكلي لمفصل الركبة بمفصل صناعي وشكل تثبيته بالأربطة والعضلات 16
الشكل (10.1): مناطق التلامس بمفصل الركبة.....19
الشكل (11.1): بناء نموذج مخصص لمفصل ركبة بطريقة التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسب.....20
الشكل (12.1): استخدام حزمة الصهر الالكترونية EBM.....23
الشكل (1.2): الطبق الظبوبي لمفصل ركبة صناعي.....28
الشكل (2.2): مخطط العلاقة ما بين الاجهاد والانفعال. 30
الشكل (3.2): العلاقة بين UTS لخليطة CONICRMO والنسبة المئوية للإنتاج.....35
الشكل (4.2): الرابطة الذرية لمركبات الإيتلين والبولي إيتلين 40
الشكل (1.3): تطبيقات الصب المستثمر.....47
الشكل (2.3): مراحل إعداد القالب الخزفي والصب بهذه القوالب. 51
الشكل (3.3): مراحل تصنيع المفصل بطريقة الشمع المفقود.....56
الشكل (4.3): الفرن التحريضي ذي القناة.....57
الشكل (3. 5): البنية المجهرية ومخطط التوازن الحراري لخلائط F75. 58
الشكل (6.3): شاشة النحكم بآلة التحكم الرقمي.....61
الشكل (7.3): آلة هورون 15.....61
الشكل (8.3): النمذجة السريعة لمركبة الفخذ لمفصل الركبة. 66
الشكل (9.3) :نموذج مركبة الفخذ بطريقةFDM 67
الشكل (10.3): مبدأ FDM. 68
الشكل (11.3): الطباعة ثلاثية الأبعاد. 69
الشكل (12.3): جهاز جزمة الالكترون الصهر و مخطط هذا الجهاز و الكترون الصهر يصنع ميحط مركبة الساق الاصطناعية. 71
الشكل (13.3): بعض من أجزاء الطبية الحيوية التي أنتجت على هذا الجهاز.....72
الشكل (14.3): استخدام تقنية الحزم الاكترونية المتعددة وصهر الطبقات.....73
الشكل (15.3): يظهر اجزء الفخذ بعد خروجها من جهاز حزمة الكترونات الصهر و إجراء عليها عملية التلميع.....73
الشكل(1.4): جهاز التحليل الكيميائي (SPECTROMETER). 76
الشكل (2.4): قياس القساوة على جهاز روكويل.....77
الشكل (3.4): قياس القساوة على جهاز شور.....77
الشكل (4.4): عينة الشد وجهاز اختبار الشد.....77
الشكل (5.4): تحضير العينات قبل وضعها تحت المجهر الضوئي. 78
الشكل (6.4): جهاز حيود الأشعة السينية. 78
الشكل (7.4): صب السيلكون فوق النموذج المعدني وترك السيلكون حتى يجف. 79

الشكل (8.4): أبعاد جزء الساق لمفصل الركبة الصناعي. 80
الشكل (9.4): أبعاد الجزء الفخذي لمفصل الركبة الصناعي. 80
الشكل (10.4): أبعاد جزء الظمبوب لمفصل الركبة الصناعي. 80
الشكل (11.4): وضعيات المختلفة لمفصل الركبة الصناعي المصمم. 81
الشكل (12.4): الخامة المعدنية من خليطة كوبالت كروم موليبدنييوم لتصنيع جزء الساق. 82
الشكل (13.4): يبن طور التخشين لجزء الساق. 82
الشكل (14.4): تتمة مسارات أداة القطع أثناء العمل. 82
الشكل (15.4): انتهاء طور التخشين. 83
الشكل (16.4): تنعيم القطعة من الأسفل. 83
الشكل (17.4): تتمة التنعيم ومسارات أداة القطع. 83
الشكل (18.4): تنيعيم القطعة من الاعلى. 84
الشكل (19.4): تسوية الثقب الداخلي. 84
الشكل (20.4): خامة من خليطة لتصنيع لجزء الفخذي. 84
الشكل (21.4): بدأ العمل بطور التخشين من أحد الجوانب. 85
الشكل (22.4): استمرار أداة القطع بعملها. 85
الشكل (23.4):تفريز وجه القطعة. 85
الشكل (24.4): تخشين القطعة من الداخل. 86
الشكل (25.4): انتهاء طور التخشين لجزء الفخذي. 86
الشكل (26.4): بداية طور التنعيم للقطعة من الجوانب. 87
الشكل (27.4): انتهاء طور التنعيم للمركبة الفخذ. 87
الشكل (28.4): خامة من مواد بولميرية وهي بولي اتيلين عالي الوزن الجزيئي. 87
الشكل (29.4): تخشين حسب مسارات أداة القطع. 88
الشكل (30.4): انتهاء طور التخشين للسطح والداخل لجزء الطبق الظمبوبي. 88
الشكل (31.4): كامل مسارات أداة القطع بطور التخشين. 88
الشكل (32.4): انتهاء القطعة البولميرية. 89
الشكل (33.4): فرن المعالجة الكهربائية. 89
الشكل (34.4): وضع العينات داخل الفرن عند درجة $1220^{O}C$ 90
الشكل (35.4): وضع العينات داخل فرن المعالجة الحرارية عند $850^{O}C$ 91
الشكل (36.4): يظهر ميزان ذو حساسية عالية وكيفية قياس وزن العينات قبل وبعد غمرها في المحلول الآكال رينغر 93
الشكل (1.5): البنية المجهرية للعينة المأخوذة من المفصل 97
الشكل (2.5) :نموذج حيود الأشعة السينية للعينة الجاهزة المأخوذة من المفصل 97
الشكل (3.5): نموذج شمعي لأحد أجزء المفصل الصناعي. 98
الشكل (4.5): المساقط الأربعة للجزء الساق 99
الشكل (5.5): المساقط الأربعة للجزء الفخذي. 99
الشكل (6.5): المساقط الأربعة للجزء الظمبوبي. 100
الشكل (7.5): مسارات العمل النهائية لجزء الساق 100
الشكل (8.5): مسارات العمل النهائية لجزء الفخذ 101
الشكل (9.5): مسارات العمل النهائية لجزء الظمبوب 101
الشكل (10.5): البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة نصف ساعة (100X). 102
الشكل (11.5): البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة ساعة (100X) 102
الشكل (12.5): البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة ساعتين (100X). 102
الشكل (13.5): نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة نصف ساعة. 103
الشكل (14.5): نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة ساعة. 103
الشكل (15.5): نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة ساعتين. 103

الشكل (16.5): منحني القساوة والمحتوى الكربيدي ومتانة الشد الأعظمية بالترتيب للعينات المعالجة عند درجة حرارة 1220 لفترات زمنية مختلفة. 107
الشكل (17.5): البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة ساعتين (100X). 108
الشكل (18.5): البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة أربع ساعة (100X). 108
الشكل (19.5): البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة ست ساعات (100X). 108
الشكل (20.5): نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة ساعتين. 109
الشكل (21.5): نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة أربع ساعات. 109
الشكل (22.5): نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة ست ساعات. 109
الشكل (23.5): منحني القساوة والمحتوى الكربيدي ومتانة الشد الأعظمية بالترتيب للعينات المعالجة عند درجة حرارة 850 لفترات زمنية مختلفة. 113
الشكل (24.5): البنية المجهرية للعينة المصبوبة قبل إجراء المعالجة الحرارية وبعد غمرها بالمحول الآكال (RINGER) (50X). 114
الشكل (25.5): البنية المجهرية للعينة المعالجة بدرجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة نصف ساعة وبعد غمرها بالمحول الآكال (RINGER) (50X). 115
الشكل (26.5): البنية المجهرية للعينة المعالجة بدرجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة ساعة وبعد غمرها بالمحول الآكال (RINGER) (50X) 115
الشكل (27.5): البنية المجهرية للعينة المعالجة بدرجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة ساعتين وبعد غمرها بالمحول الآكال (RINGER) (50 X). 115
الشكل(28.5): البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة ساعتين وبعد غمرها بالمحول الآكال (RINGER) (50X). 116
الشكل (29.5): البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة 4 ساعات وبعد غمرها بالمحول الآكال (RINGER) (50X). 116
الشكل (30.5): البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة 6 ساعات وبعد غمرها بالمحول الآكال (RINGER) (50X). 116
الشكل (31.5): منحني العلاقة بين معدل التآكل والفترة الزمنية للعينات المعالجة عند درجة $1220^{O}C$. 117
الشكل (32.5): منحني العلاقة بين معدل التآكل والفترة الزمنية للعينات المعالجة عند درجة $850^{O}C$. 118

فهرس الجداول

الجداول **الصفحة**

الجدول (1.2): نسب المزج الكيميائي لخلائط الكوبالت –كروم. 34

الجدول (2.2): الخواص الميكانيكية لخلائط الكوبالت–كروم. 36

الجدول (3.2): الخصائص الميكانيكية للمواد البولميرية عالية الوزن الجزيئي من البولي ايتلين. 40

الجدول (1.3): تعريف بأوامر التشغيل في الآلات المبرمجة. 62

الجدول (1.5): نتائج التحليل الطيفي. 95

الجدول (2.5): القيم الناتجة عن اختبار القساوة للخليطة المعدنية. 96

الجدول (3.5): القيم الناتجة عن اختبار القساوة للمادة البولميرية. 96

الجدول (4.5): أبعاد العينات المستخدمة في اختبار الشد. 96

الجدول (5.5): النتائج التي حصلنا عليها من اختبار العينات. 96

الجدول (6.5): حساب d للأطوار المتشكلة في العينة الجاهزة المأخوذة من المفصل. 98

الجدول (7.5): حساب d للأطوار المتشكلة في العينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة نصف. 104

الجدول(8.5): حساب d للأطوار المتشكلة في العينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة ساعة. 104

الجدول(9.5): حساب d للأطوار المتشكلة في العينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة ساعتين. 104

الجدول (10.5): نتائج للعينات المعالجة. 105

الجدول (11.5): حساب d للأطوار المتشكلة في العينة المعالجة عند درجة حرارة $850°C$ لمدة ساعتين. 110

الجدول(12.5): حساب d للأطوار المتشكلة في العينة المعالجة عند درجة حرارة $850°C$ أربع ساعات. 110

الجدول(13.5): حساب d للأطوار المتشكلة في العينة المعالجة عند درجة حرارة $850°C$ وست ساعات. 110

الجدول (14.5): نتائج للعينات المعالجة 111

الجدول (15.5): قيم معدل التآكل ونسبة الكربيدات لكافة العينات. 117

الرموز والمصطلحات

المصطلحات باللغة العربية	المصطلحات باللغة الانكليزية
مفصل الركبة الصناعي	TOTAL ARTIFICIAL KNEE JOINT
كوبالت – كروم – موليبدنيوم	Co–Cr–Mo
برنامج رسم تصميمي	MECHANICAL
برنامج تنفيذي اخراج جيكودات	HYPER MAIL
مركبة الفخذ	FEMORAL COMPONENT
مركبة الساق	COMPONENT TIBIAL
الرضفة المتحركة	PATELLAR BEARING
التصميم بمساعدة الحاسب	CAD
طرق التصنيع المضافة	AM
طرق التصنيع الحرة	FFF
حزمة الكترونات الصهر	EBM
كربيدات معدنية (حيث M هو نوع معدن)	$M_{23}C_6$
عائلة الخلائط المعدنية ذات الأساس كوبالتي حسب المنظمة الاميركية للاختبارات والمواد	ASTM F75
بولي اتيلين عالي الوزن الجزيئي	UHMWPE
التنعيم	Polishing
القوالب الخزفية	Ceramic Moulding
الصب الدقيق المستثمر	investment casting
مكنات التحكم الرقمية	CNC
النمذجة السريعة	Rapid prototyping
أوامر أداة القطع الجيكودات	G Codes
طريقة الصهر المترسب	FDM

STL	لاحقة خاصة لاستيراد الملفات المرسومة على برامج التصميم
Biomaterial	مادة حيوية
Carbides	كربيدات
FCC	مكعب متمركز وجهياً
HCP	موشور سداسي منتظم
Lamellar	صفائحي
Prosthetics	الأطراف الصناعية

الملخص:

يعد مرض إلتهاب مفصل الركبة الطبيعي من أكثر الأمراض التي تستدعي الأشخاص المصابين به، لاستبدال المفصل الطبيعي المصاب بنظيره الصناعي.

ومن أهم المشكلات في بلدنا هو عدم توافر مثل هذا المفصل الصناعي، حيث يتم استيراده من الخارج، وفي الظروف الراهنة فإن توافره في السوق المحلية محدود جداً كما أنه غالي الثمن.

اقُترح في هذا البحث حلاً لهذه المشكلة عن طريق دراسة أكاديمية لتصميم وخطوات تصنيع مفصل الركبة الصناعي، لكن يبقى البحث بهذا المجال أمراً ملحاً يتطلب المزيد من الاهتمام.

إن الهدف من هذا البحث هو معرفة نوعية المواد التي تدخل في تصنيع هذا المفصل، وكذلك تصميم وخطوات التصنيع بالطرق التقليدية التي تعتمد على الصب الدقيق، وبالطرق الحديثة اعتماداً على مكنات النمذجة السريعة ومكنات التحكم الرقمية، ومعرفة المعالجة الحرارية المثلى.

حُدد في هذا البحث التركيب الكيميائي للخليطة المعدنية التي يُصنع منها أجزاء هذا المفصل الصناعي بواسطة جهاز التحليل الطيفي(Spectrometer). وحُددت البنية المجهرية وكيفية توضع الكربيدات بواسطة المجهر الضوئي (OM)، وتم التأكد من الأطوار المتشكلة بواسطة جهاز حيود الأشعة السينية (XRD)، كما تم الحصول على نموذج شمعي لأحد أجزاء هذا المفصل عن طريق حقن الشمع ضمن قالب سيلكوني.

رُسمت أجزاء هذا المفصل ببرنامج الرسم الهندسي (Mechanical) بالاستعانة بجهاز (Digitizer)، واُستخدام برنامج (Hyper mail) لاخراج (G–Cod) لكل جزء من أجزاء هذا المفصل الصناعي.

أجريت معالجات حرارية باستخدام أفران كهربائية بدرجتي حرارة هما $1220^{O}C$–$850^{O}C$ ولفترات زمنية مختلفة، كما تم معرفة البنية المجهرية وأطوار المتشكلة لكل حالة من المعالجات السابقة، وتم استخدام جهاز (Affri) لقياس قيم القساوة وجهاز (Instron) لقياس قيم الشد. واُستخدم ميزان ذو حساسية عالية لقياس وزن العينات قبل وبعد غمرها بمحلول رينغر الآكال. وتم استنباط أن المعالجة المثلى هي عند درجة حرارة $1220^{O}C$ وزمن ابقاء ساعتين حيث كانت البنية المجهرية متجانسة والخصائص الميكانيكية جيدة

ومعدل تآكل أقل. وتبين من خلال الأبحاث السابقة أن استخدام التقنيات الحديثة تسمح بمرونة في تصميم المفصل، وتحتاج لفترات زمنية أقل باستخدام مكنات التحكم الرقمي أو مكنات النمذجة السريعة ولا تحتاج لمهارة العامل، على خلاف الطرق التقليدية المتمثلة بالسباكة الدقيقة التي لا نستيطع من خلالها إجراء تعديلات في النموذج، كما أنها تحتاج لفترات زمنية طويلة لتحضير القوالب وصهر المعدن وصبه بالإضافة إلى حاجتها لخبرة العامل.

المقدمة:

يتعرض مفصل الركبة الحيوي طيلة حياة الإنسان إلى العديد من الضغوطات والتشوهات الناتجة عن الحوادث والحالات المرضية أو بسبب الشيخوخة والإصابة بمرض هشاشة العظام، تؤثر هذه العوامل على مفصل الركبة وبالتالي على حركة الإنسان. مما أوجب إيجاد الحلول الكفيلة لمعالجة هذه المشكلة المؤلمة والمزعجة في نفس الوقت لنسبة كبيرة جداً من الناس، وهي تصميم عضو بديل يقوم بمهام ووظائف المفصل المصاب. من هنا جاءت فكرة تصميم وتصنيع مفصل الركبة الصناعي.

نظراً إلى الحاجة الماسة لتبديل مفاصل الركبة الطبيعية بأخرى صناعية وبما أن هذه المفاصل غير مصنعة محلياً من جهة وغلاء أسعار مثل هذه المفاصل المستوردة من جهة أخرى قامت الباحثة بدراسة الخليطة المعدنية المكونة لهذه المفصل–Co–Cr (Mo)وكيفية تصميمه مستخدمة برنامج (MECHANICAL)، وخطوات تصنيعه باستخدام آلات CNC المبرمجة وبمعرفة G–Cod العمل بواسطة برنامج (hyper mail) ، كما تم إجراء مقارنة بين الطرق التقليدية للتصنيع والطرق الحديثة.وتم اجراء دراسات على عينات جاهزة مأخوذة من المفصل المصنع بشركة جونسون آند جونسون الأميركية لمعرفة تركيبها الكيمائي والبنية المجهرية وتحديد الخصائص الميكانيكية لها، وإجراء معالجات حرارية لتحسين بعض الخصائص الميكانيكية لخليطة التي يصنع منها أجزاء هذا المفصل.

مشكلة البحث نظراً للحالات المرضية المتكررة وخاصة في مجال التشوه والتخريب الحادث في مفاصل الركبة لدى الإنسان عموماً وعند النساء خصوصا وذلك بسبب الحالات الناتجة عن تقدم العمر أو أسباب مرضية مثل مرض الروماتزم أو نقص المناعة أو حالات التشوه بسبب حوادث السير أو ربما الرياضيين أو التقدم بالعمر حيث يحدث التشوه أو اللاهتراء من خلال شق صغير وممكن استئصال هذا الخلل مباشرة وربما يحدث تغلغل وهنا نحتاج لتغيير المفصل بشكل كامل. وإن النساء نتيجة الحمل والولادة ونتيجة تقدم العمر يحدث نقص في الكالسيوم يرافقه ترقق العظام وتشوه في المفصل أو انتهاء عمره. وبما أنه لا يتم تصنيع مفاصل الركبة محلياً إنما يتم استيرادها من الخارج لتغطية العمليات والحاجة العلاجية للمواطنين. وهنا تكمن مشكلة البحث بالأسعار الباهظة للمفاصل وكذلك الصعوبة في الحصول عليها.

تكمن أهمية هذا البحث من أهمية مفصل الركبة الصناعي موضوع البحث وقلة الأبحاث والدراسات المنشورة باللغة العربية التي تتناول موضوع تصميم وخطوات تصنيع مفصل الركبة الصناعي لذلك كان لابد من إجراء هذا البحث وتحقيق الازدواجية ما بين المهندس والطبيب للحصول على مفصل يتوافق مع الحياة البشرية من خلال المعادن المصنع منها والتي لا تؤدي الى أية تفاعلات أو اية أمراض سرطانية وكذلك تناسب أبعاد أجزاء هذا المفصل مع العظم الطبيعي وقدرته على تحمل الوزن والإجهادات والحركة التي يتعرض لها طيلة حياته داخل جسم الانسان.

يهدف البحث إلى معرفة التقنيات الحديثة في تصميم وخطوات تصنيع مفصل ركبة صناعي بالإضافة إلى: -بيان أسباب تبديل مفصل الركبة الطبيعي بنظيره الصناعي.

-معرفة التركيب الكيميائي المعدني الدقيق للخليطة المصنع منها هذا المفصل.

-توضيح طرق التصنيع التقليدية القديمة ومقارنتها مع الطرق الحديثة.

-إجراء اختبارات على عينات من معدن خليطة الجاهزة وتسجيل النتائج ومقارنتها مع نتائج سابقة.

-إجراء معالجة حرارية لمعدن هذه الخليطة بعد عملية ارجاعها لحالتها المصبوبة لتحسين الخصائص الميكانيكية ومعرفة ما هي المعالجة الأمثل من حيث درجة الحرارة المثلى والزمن الأمثل والتي تحقق بنية مجهرية متجانسة وخصائص ميكانيكية جيدة ومعدل تآكل أقل.

تتألف هذه الأطروحة من مقدمة وخمس فصول حيث تطرق الفصل الأول إلى دراسة مفصلة عن مفصل الركبة الطبيعي وحالات تشوهه وتآكله والتشخيص الدقيق لحالته ومتى يتم استبدال هذا المفصل الطبيعي التالف بنظيره المفصل الصناعي، كما تناول هذا الفصل الدراسة المرجعية لعدد من الباحثين بمجالات التصميم والتصنيع بالطرق التقليدية والطرق الحديثة وكذلك طرق المعالجة الحرارية لخلائط المعدنية المكونة لأجزاء هذا المفصل،وتنازل الفصل الثاني المواد التي يصنع منها أجزاء هذا المفصل وخصائص هذه المواد ،الفصل الثالث تم معرفة خطوات التصنيع لأجزاء هذا المفصل الصناعي فقد تم التعرف على نوعية القوالب المستخدمة بحالة التصنيع بالطرق التقليدية وهي السباكة الدقيقة وكذلك كيفية التصنيع بالطرق الحديثة اعتماداً على الرسم الهندسي ببرامج رسم خاصة وكذلك كيفية التصنيع اعتماداً على مكنات النمذجة السريعة أو مكنات التحكم

الرقمي، الفصل الرابع فقد تم التعرف على المواد والأجهزة المستخدمة في التجارب العملية والاختبارات ،بينما تناول الفصل الخامس النتائج ومناقشتها ووضع التوصيات .

جرى إجراء التجارب في ورش كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بحامعة دمشق وكذلك المعهد العالي لعلوم الليزر وتطبيقاته ومعرفة النتائج ومقارنتها مع نتائج لباحثين أخرين حيث تم نقل التتكنولوجيا الغربية لكيفية تصميم وخطوات تصنيع أجزاء هذا المفصل الصناعي ومن ثم إجراء معالجة حرارية بطريقتين مختلفتين لمعرفة المعالجة التي تحقق الخصائص الميكانيكية الأفضل والبنية المجهرية المتجانسة ومعدلات تآكل أقل حيث تم وضع الإجراءات الواجب اتباعها لتصنيع أجزاء هذا المفصل الصناعي للتقليل من كلفة الاستيراد وليتم التصنيع محلياً.

الفصل الأول

دراسة نظريـــة لمفصل ركبـــة

1.1 مقدمة

لقد استوحى الكثير من المهندسين المصممين للمفصل الصناعي شكل وحجم العظام المتمفصلة والمؤلفة لمفصل الركبة مع ميكانيكية التمفصل في التصميم الصناعي، بحيث أصبح هذا المفصل يتألف من أجزاء مشابهة لأجزاء المفصل الطبيعي.

كذلك الحال بالنسبة لاختيار المواد المستخدمة في تصنيع تلك الأجزاء البديلة ووجوب مراعاتها للمواصفات والخصائص الهندسية المطلوبة من أجل تحسين الأداء الوظيفي للمفصل الصناعي بشكل يقارب قدر الإمكان أداء المفصل الطبيعي من تحمل وزن الجسم والقيام بفعاليات الحركة المختلفة بشكل مستقر ومتزن إضافة إلى تقليل التأثير السلبي الناتج عن زرع المفصل الصناعي، لفترة طويلة داخل جسم الإنسان، لذلك يجب الأخذ بالحسبان عدة مواصفات مثل التوافق الحيوي ومقاومة التآكل وذلك عند اختيار المواد المستخدمة في تصميم مفصل الركبة الصناعي حيث كانت المواد البوليمرية العالية المرونة وخلائط الكوبالت–الكروم Co–Cr–Alloys الأكثر شيوعاً واستخداماً في مفاصل الركبة الصناعية. كما أن بعض المفاصل الحديثة بدأت باستخدام سبائك التيتانيوم Titanium Alloysوذلك لجودتها العالية.

نتيجة تقدم العلم والمعرفة في مجال الطب والهندسة كان هناك ازدواجية عظيمة بينهما فمن خلال دراسة تركيب جسم الإنسان والمواد اللازمة لتصنيع مثل هذه المفاصل بحيث لا تسبب تلك المواد أية أمراض سرطانية مميتة للإنسان ومن خلال المهندسين المصممين توصلو للتصميم المناسب لأجزاء هذا المفصل، حيث تم التخلص من هذه الأمراض السرطانية المميتة للإنسان، تصنيع هذا المفاصل بأنواعه في الولايات المتحدة الأمريكية وبريطانيا.[1]

2.1 مما يتألف مفصل الركبة الطبيعي

يتكون مفصل الركبة الموجود بجسم الإنسان من نهايتين عظمتين تتمفصلان مع بعضهما لتكونا المفصل. كما يوضحه الشكل (1.1).

الشكل (1.1): مفصل ركبة جسم الإنسان.

يتكون مفصل الركبة من الجزء السفلي لعظمة الفخذ والجزء العلوي لعظمة الساق اللتان تحيطان بغشاء قوي متين يحفظ نهايتي العظمتين بداخله يعرف بكبسولة المفصل أو غشاء المحفظة نسبةً إلى وظيفتها حيث تحفظ محتويات المفصل بداخلها. كما هو مبين في الشكل (2.1).

الشكل (2.1): توضيح لمكونات مفصل الركبة الطبيعي.

يغطي كل نهاية من نهايات العظم بداخل المفصل غضروف مفصلي يمتاز بنعومة شديدة تساعد على مرونة وسهولة الحركة بين نهايتي العظميتن المتمفصلتين مع بعضهما، وقد يفقد الغضروف المفصلي نعومته ويصبح خشناً وهذا ما يعرف بخشونة المفصل. كما يمتاز مفصل الركبة عن غيره من المفاصل بوجود ما يعرف بالغضروف الهلالي الذي يقع في السطح العلوي لنهاية عظمة الساق وسمي بالغضروف الهلالي

لكونه يوجد على شكل هلال، ويساعد على زيادة نعومة مفصل الركبة وثباتها أثناء الحركة الدائرية للمفصل الذي تحدث عنده التغير.

يقع أحد الغضروفين الهلالين بالجزء الخارجي للركبة ويعرف بالغضروف الهلالي الوحشي أو الخارجي، أما الآخر فيقع بالجزء الداخلي للركبة ويعرف بالغضروف الهلالي الأنسي أو الداخلي. والإصابة بهما أو بأحدهما يؤدي إلى آلام بالركبة.

يبين الشكل (3.1) الغضاريف الهلالية لمفصل الركبة.

الشكل (3.1): الغضاريف الهلالية لمفصل الركبة.

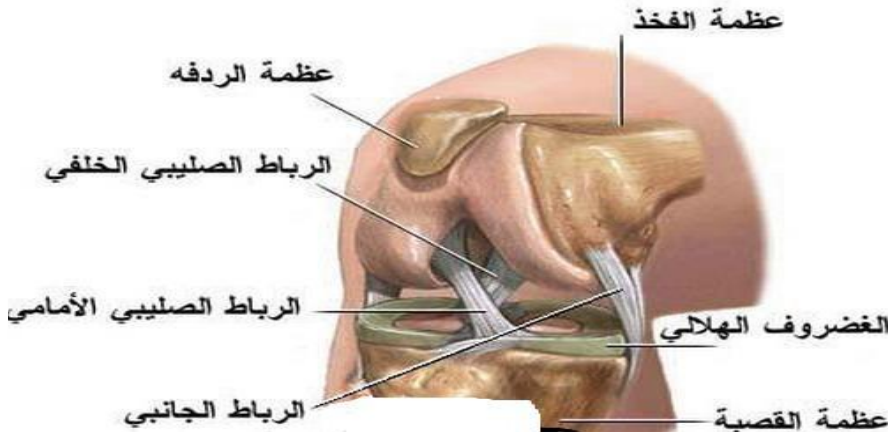
يغلف كبسولة المحفظة من الداخل غشاء زلالي غني بالأوعية الدموية والغدد الزلالية التي تفرز السائل الزلالي الذي يساعد على تغذية المفصل، حيث لا يوجد داخل المفصل أوعية دموية. وينشأ في هذا الغشاء بعض الأمراض تؤدي أيضا إلى آلام الركبة والتي تفسر على أنها خشونة الركبة، وعلاجها يختلف عن علاج خشونة الركبة.

يقوي غشاء كبسولة المحفظة من الخارج أربطة طويلة تربط عظمتي المفصل لتمنع فتح المفصل للداخل والخارج، تعرف بالرباط الطولي الداخلي والرباط الطولي الخارجي.

وهي تزيد من ثبات المفصل وإصابة إحداهما أو كلاهما يؤدي إلى ألم معين بالركبة ويمكن أن يطلق عليه خطأً خشونة الركبة وهو ليس بخشونة، وعلاجها أيضا يختلف عن علاج خشونة الركبة.

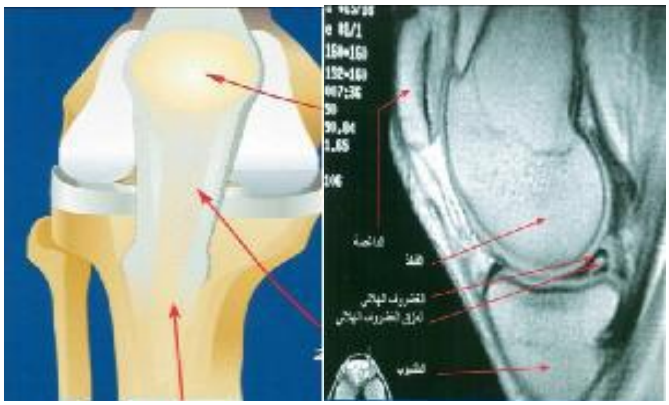
ينفرد مفصل الركبة أيضا بوجود رباطين طوليين من داخل الركبة وهما متصالبان يعرفان بالرباط التصالبي الأمامي والرباط التصالبي الخلفي، ويؤديان إلى زيادة ثبات المفصل أثناء الحركة مثل صعود ونزول السلم والوثب على القدمين، إصابة إحداهما أو كلاهما

يؤدي أيضاً إلى ألم بالركبة وأعراض أخرى وعلاجه يختلف عن علاج خشونة الركبة. الشكل (4.1).



الشكل (4.1): التصالب الأمامي والخلفي لمفصل الركبة.

ينفرد مفصل الركبة بوجود عظمة دائرية من الأمام تعرف بعظمة الردفة أو الصابونة التي تمثل دوراً أساسياً بالحركة للمفصل. يبين الشكل (5.1) عظمة الردفة أو الصابونة،



الشكل (5.1): عظمة الردفة أو الصابونة.

حيث تعمل كمحور ارتكاز للمفصل للمساعدة على فرد وثني المفصل. إصابتها أو خشونتها أو أي مرض يوجد بها يؤدي إلى آلام بالركبة ويمكن أن يُختلط الأمر وتُشخّص على أساس أنها خشونة الركبة. لكنها تحتاج إلى أسلوب علاجي يختلف عن خشونة الركبة ومتى تم هذا الخلط لا يشعر المريض بتحسن حيث أن المرض يكون بصابونة المفصل أو عظمة الردفة في حين أن العلاج يتم بمفصل الركبة الكبير.

3.1 آلام الركبة

تظهر آلام الركبة عند المريض خلال السير وتزداد عند صعود السلم ومع زيادة الأعراض تظهر أيضا الآلام في حالة الراحة (عدم الحركة) أو النوم، ويمكن أن يشعر المريض بعدم الثبات أثناء الحركة أو السير خاصة إذا مشى المريض على أرض غير ممهدة أو حتى إذا سار على جزء صغير من الطوب أو الحصى حيث يشعر المريض بعدم ثبات المفصل والذي قد يؤدي إلى سقوطه على الأرض بعد فقدان توازنه أو اختلافه.

يشعر المريض أحياناً بآلام بالمفصل مصاحبة بتيبس بالركبة أو بالطرف السفلي. وأيضا من الممكن أن يفقد المريض القدرة على ثني المفصل أو الجلوس أو القرفصة. وقد يلاحظ المريض تورم مفصل الركبة وقد يصاحب ذلك ألم أولاً.

لذلك يجب أن يكون أسلوب العلاج محدداً ومركزاً، بحيث يمكن علاج المريض بأبسط الأساليب العلاجية.

كما يجب الانتباه أن مفصل الركبة هو من أكثر المفاصل بالجسم تعقيداً من الناحية التشريحية وليست كل أسباب الألم واحدة كما يقال خشونة الركبة، لذلك لا يجب أن يخوض أي جرّاح في علاج مفصل الركبة إلا إذا تمكن من دراسة محتوياته جيداً. ودراسة أفضل وأسهل علاج، لأن مفصل الركبة يتميز برد فعل مضاد إذا تم التعامل معه بأسلوب غير علمي مدروس، مما قد يؤدي إلى تيبس المفصل وفقدانه جزء من حركته وفي كثير من الأحيان فقدان الحركة بشكل كامل. يبين الشكل (6.1) شخصاً يعاني من آلام الركبة[2] .

الشكل (6.1): شخص يعاني من آلام الركبة.

1.3.1 التشخيص الدقيق

يبدأ التشخيص عن طريق حوار طويل ما بين الطبيب والمريض، حيث يبدأ المريض بالحديث عن الألم ومنطقته ويقوم الطبيب بسؤاله عن مكان الألم وسبب ظهوره وهل يشعر به في الصباح أو المساء أو عند الحركة أو عند الراحة أو عند الجلوس أو النوم. بدون وجود فهم كامل لتلك الأعراض لا يتم تحديد تشخيص مبدئي في ذهن الطبيب حول أسباب تلك الآلام.

يمكن أن يتضح للطبيب أن أسباب الألم ليست بالمفصل نفسه إنما يمكن أن يكون مصدر الألم مرض أو عيب في العمود الفقري أو مفصل الحوض ينتشر هذا الألم منه إلى مفصل الركبة. قد يختلط الألم عند الطبيب أثناء العلاج حيث يعتقد أن الألم في مفصل الركبة ويقوم بعلاجه في حين أن سبب المرض منطقة أخرى من الجسم فعندها لا يشعر المريض بتحسن ولا يتم علاجه. لذلك بعد المناقشة الجيدة للمريض عن أعراض المرض يبدأ الطبيب بفحص المريض فحصاً دقيقاً.

كما أن لكل جزء من أجزاء المفصل أسلوب فحص معين. وخبرة الطبيب تظهر هنا ويمكن أن يحدد يدوياً مكان الإصابة ومعرفة سبب الألم، وهل هو من داخل الركبة أو خارجها. وإذا كان من داخل الركبة من أي جزء بداخلها ممكن أن يحدد الطبيب حسب

خبرته مكان وشكل الإصابة داخل مفصل الركبة دون اللجوء إلى تصوير شعاعي، وإذا تم ذلك يكون للتأكد فقط.

2.3.1 التصوير بالأشعة السينية:

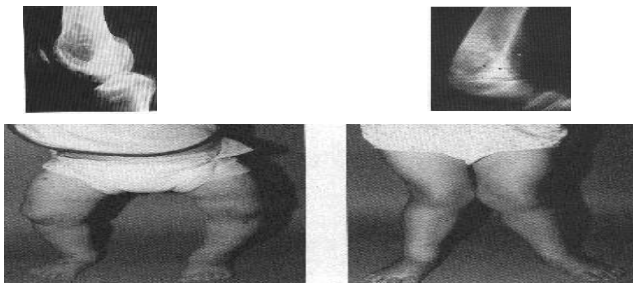
تصوير الركبة بالأشعة السينية أو التصوير الإشعاعي لا يمكن إهمال دوره بالتشخيص الدقيق أو الأكثر دقة لأنها توضح فيما إذا كان هنالك كسور أو شروخ حديثة أو قديمة بالمفصل.وأيضا إذا كان هناك أي نوع من التشوهات القوامية مثل اعوجاج الركبة إما للداخل أو الخارج. وكذلك إذا كان هنالك أي أورام حميدة أو خبيثة ضمن المفصل. كما أن الأمراض التي تصيب الأنسجة الرخوية مثل الروماتويد فيمكن تشخيصها بالتصوير الإشعاعي بدقة أكثر من التحاليل العلمية التي يظن البعض أنها أكثر دقة من التصوير الإشعاعي، ويمكن معرفة كثافة العظام بالتصوير الإشعاعي وأيضا أمراض سوء التغذية مثل نقص فيتامين (د) والذي يؤدي إلى الكساح أو لين العظام فهو يشخص بالتصوير الإشعاعي. يبين الشكل (7.1) أمراض الكساح أو لين العظام.

3.3.1 التحاليل العلمية

يأتي دور هذا النوع من التحاليل لمعرفة نسبة الكالسيوم والفوسفور في الدم حيث تعكس حالات انخفاضها أو ارتفاعها ظهور آلام أمراض معينة بالجهاز الحركي.

4.3.1 التصوير بالرنين المغناطيسي

إن التصوير بالأشعة السينية مهم وله دور أساسي بتشخيص الإصابات بأمراض الركبة. لكنها غير كافية حيث تقوم بتصوير الأنسجة الصلبة مثل العظام وإظهار التغيرات التي تحدث فيها. أما الأنسجة الرخوة مثل الغضاريف المتصالبة والغضاريف الهلالية والغشاء السينوفي والكبسولة فإن الأشعة السينية غير كافية لتشخيصها .



الشكل (7.1): أمراض الكساح أو لين العظام.

5.3.1 التشخيص بالموجات فوق صوتية

في بعض الحالات لا نستطيع أن نستخدم الرنين المغناطيسي وذلك عندما يزداد وزن المريض عن 120kg، كذلك إذا كان هنالك أجسام معدنية بالجسم المراد تصويره مثل جهاز تنظيم ضربات القلب أو بعض الشرائح المعدنية. ومع التطور العلمي ظهرت أجهزة تستخدم الموجات الصوتية تختص بتصوير الجهاز الحركي مثل جميع المفاصل المختلفة بالجسم أو حتى العمود الفقري. لذلك استخدمت بالحالات التي لا يمكن أن نستخدم فيها الرنين المغناطيسي فضلاً على أنها تعدُّ ذات تكلفة أقل نسبياً من الرنين المغناطيسي.

وبعد أن يتم الفحص الدقيق والتوصل لحالات تشوه خطيرة عدا خشونة الركبة وعندما يقر الطبيب على ضرورة تأكيد تبديل المفصل وعدم قدرة الأدوية أو أية طريقة علاجية أخرى على مساعدة المريض على التخلص من الألم. يأتي دور العملية الجراحية واستبدال المفصل الطبيعي المشوه إلى مفصل صناعي[3].

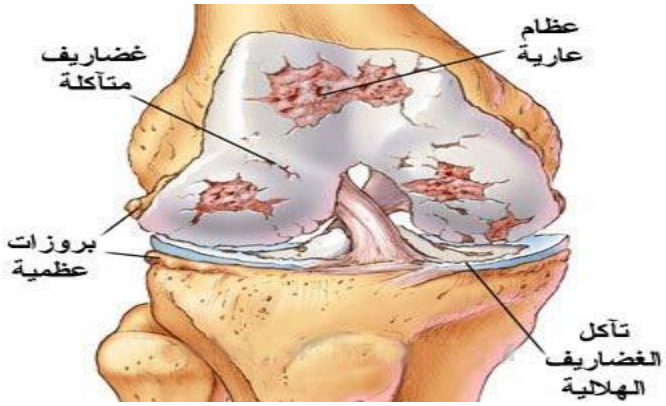
6.3.1 لماذا تجري عملية استبدال مفصل الركبة

من أهم الأسباب الشائعة لاستبدال مفصل الركبة هو التهاب المفصل العظمي المزمن مما يؤدي إلى الألم والتصلب والإعاقة وعدم الاستقرار في المشي مما يؤثر على طبيعة حياة المريض. ولا يمكن التحكم فيه بطرق بسيطة مثل الأدوية والعلاج التحفظي أو استخدام عصا أو جراحة بسيطة مثل عملية جراحة منظار الركبة.

ويحتوي مفصل الركبة الطبيعي على غضروف أملس السطح يتحرك فوق الآخر من غير احتكاك، أما في مفصل الركبة العظمي الملتهب الذي يكون سطحه خشن وغير متساوي فإن ذلك يسبب الألم في الركبة حتى مع عدم الحركة، وعندما يزداد التهاب المفصل يتدهور العظم مما يسبب إعاقة وتيبس. والحل النهائي يكون في عملية استبدال مفصل الركبة حيث يتم استبدال السطح الخشن بمادة ملساء ويتم تصحيح وضع مفصل الركبة ويؤدي ذلك إلى اختفاء الألم وسهولة حركة المفصل.

تشير أحدث الدراسات والأبحاث عن مدى نجاح مثل هذه العمليات لهؤلاء المرضى وعودتهم إلى حياتهم الطبيعية في ممارسة جميع الأنشطة اليومية.

يبين الشكل (8.1) صورة عن المفصل التالف، تظهر هذه الحالة عندما تصاب أسطح العظام والغضاريف بالتلف ويحدث احتكاك عند الحركة مع الشعور بالألم والتيبس[1].



الشكل (8.1): المفصل التالف.

4.1 مفصل الركبة الطبيعي

يعد أكبر المفاصل ويربط 3 عظام معاً وهي عظمة الفخذ القصبة والرضفة أو الصابونة والتي تمثل غطاء الركبة.تغطي سطح هذه العظام الغضاريف الناعمة وتسمح بسهولة الحركة.

تساعد الغضاريف الهلالية على امتصاص الصدمات، كما تساعد الأربطة على تثبيت المفصل وهي: الرباط الصليبي الأمامي والخلفي، الأربطة الجانبية الداخلية والخارجية[2].

1.4.1 الاستبدال الكلي للمفصل

يقوم الجرّاح بعمل فتحة طولية في مقدمة الركبة.

إزاحة عظمة الصابونة والجزء المتصل بها من العضلة الرباعية للفخذ ليكشف المفصل.

يتم إزالة غضاريف الركبة وقطع الرباط الصليبي الأمامي كما يمكن قطع الرباط الخلفي أيضا مع بقاء الأربطة الجانبية.

يتم بعد ذلك تركيب الأجزاء الصناعية فبعضها يحتاج إلى مادة إسمنتية (بولي ميثيل كريلات (poly methy crylate) لتثبيتها مع العظام.

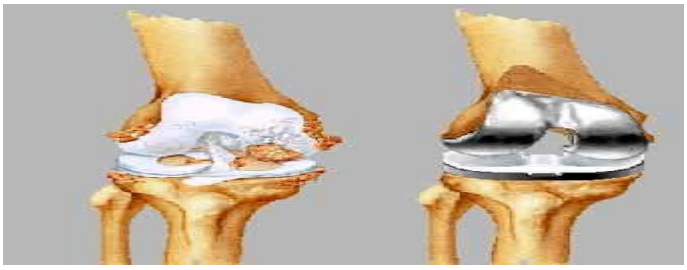
الجزء الذي يتم تركيبة في عظمة الفخذ يكون مستدير قليلاً ومصنوع من المعدن أما الجزء الخاص بعظمة القصبة فيكون مسطح وله عمق يتم إدخاله طولياً في عظمة القصبة بعد إزالة جزء من داخل العظمة ليحل محله العنق لتثبيت المفصل وهذا الجزء لا يكون من المعدن فقط ولكن مع ماده البولي ايثيلين (poly ethylene) والتي تمثل سطح هذا

الجزء. فيسمح بحركة المفصل بسهوله دون احتكاك والذي كان سيحدث لو كان كل المفصل من المعدن.

يجب أن يتأكد الجراح أثناء العملية من عدم حدوث أي تشوهات في المفصل وأنه يتحرك جيداً وبثبات.

يتم إزالة السطح المفصلي الخلفي للصابونه أحياناً ويستبدل بماده البولي ايتيلين أو خليط منها مع المعدن ويتم تثبيتها بماده إسمنتية.

يتم تثبيت المفصل الصناعي كلياً بالعضلات والأربطة الموجودة في الساق كالمفصل الطبيعي. كما هو مبين في الشكل (9.1).



الشكل (9.1): الاستبدال الكلي لمفصل الركبة بمفصل صناعي وشكل تثبيته بالأربطة والعضلات

هناك نسبه قليلة من (10%- 30%) من المرضى يكون لديهم التهاب في جزء واحد فقط من المفصل (عادةً يكون الجزء الداخلي من المفصل) وفي هذه الحالة يمكن استبدال المفصل جزئياً.

يتميز الاستبدال الجزئي عن الكلي بالمميزات الآتية:

الشق في الجلد يكون أصغر.

قصر الفترة اللازمة للشفاء بعد العملية.

قصر فترة الإقامة في المستشفى.

أقل نزفاً للدم.

أقل عرضة للإصابة بالعدوى مثل (تلوث الجرح، التيبس، الجلطات....)[4] .

5.1 الدراسة المرجعية

1.5.1 فشل بعض أنواع المعادن في تصنيع أجزاء مفصل الركبة الصناعي

درس كل من Timothy M. Wright و Clare M. Rimnac وآخرون **[5]**

ثلاث حالات مختلفة من المعادن التي فشلت في عمليات تصميم وتصنيع المفاصل:

الحالة الأولى: أجزاء هذا المفصل المصنعة من الفولاذ المقاوم للصدأ فشلت في مقاومتها لإجهاد التعب من خلال ظهور عدد من الشقوق على الجانب الإنسي من الساق وكسر سطح مع سماع أصوات على الجانب الإنسي والوحشي.

الحالة الثانية: خليطه من التيتانيوم والألمنيوم والفاناديوم التي استخدمت في تصنيع أجزاء مفصل الركبة فشلت في مقاومتها لإجهاد التعب بسبب هشاشة بنية الخليطة.

الحالة الثالثة: فشل معدن الكوبالت في تصنيع أجزاء مفصل الركبة بسبب سوء نوعية البنية المجهرية والزيادة المحتملة في تركيز إجهاد الشد في الزوايا لذلك كان لابد من المعالجة الحرارية بعد عملية الصب.أظهرت كل دراسة من الحالات السابقة مدى القصور المادي والتصميم الفاشل.

2.5.1 إنشاء نماذج لأجزاء المفصل الركبة الصناعي بمساعدة الحاسب

درس كل من Khoo L, MSc, MemASME MemJSME و ASME **[6]**

كيفية إنشاء أربعة نماذج بارامترية لمفصل ركبة صناعي بأحجام مختلفة وتم بهذه الدراسة اعتماد التقنيةCATIA

(Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) في إنشاء مفصل ركبة صناعي بالإضافة إلى تقنية النظام (Computer Aided Design) CAD وهي (التصميم مساعدة الكمبيوتر). حيث أنشأوا نماذج رياضية اعتمادا على نتائج التحليل والبيانات التي تم الحصول عليها من دراسة سريرية على 21 زوجا من مفاصل الركب في المنطقة الآسيوية كما قاموا بتطوير نموذج أولي لمفصل الركبة ووجدوا أنه لابد من التعديل نظرا لتفرد الركب في المنطقة الآسيوية. إن هذه الدراسة كانت في المناطق الأسيوية نظرا لاختلاف المناخ ووضعها بالنسبة لتبديل المفصل الطبيعي بآخر اصطناعي.

3.5.1 إنشاء نماذج لأجزاء مفصل الركبة الصناعي اعتماداً على الحاسب ومكنات التحكم الرقمي

بحث كل من Shivaniو Peter S Walker وآخرون **[7]**

في نهايتي العظمتين المرتكزتين (اللقمتين) ودراسة الاستقرار بينهما، أي نوع اللقمة إضافة إلى عملية التصميم والتصنيع والزرع.حيث صمموا اللقمتين مع اهتمام خاص للاستقرار وقوة الانثناء التي تتعرض له الركبة وذلك بالاعتماد على الآلات المبرمجة في التصميم والتصنيع ومعرفة الأبعاد A–P و M–L في الركبة. حيث:

A–P: الرباط المتصالب الأمامي الخلفي.

M– L: الرباط الجانبي الوحشي الخارجي.

وقام الباحثون بتصميم برنامج خاص وربطه مع آلات التصنيع باستخدام الحاسب الآلي(CNC)، بحيث يمكن تصميم وتصنيع مفصل الركبة ببساطة وكفاءة عالية وبتكلفة منخفضة.وهنالك خمس أمثلة (مفاصل) تم تصميم وتصنيع لقمتي الركبتين لتتناسب مع متطلبات المريض وأظهرت متابعة نتائج الدراسة لاحقا توافق كبير مع الزمن داخل جسم المريض.

4.5.1 استخدام خليطة كوبالت كروم موليبدنييوم في تصنيع أجزاء المفاصل الصناعي

درس كل من Bingyun Li, Alexander Mukasyan وآخرون **[8]** استخدام خليطة (كوبالت – كروم – مولبدنيوم) على نطاق واسع في صناعة مفاصل الورك والركبة وأجهزة طب الأسنان وهياكل الدعم لصمامات القلب نظرا للخواص الممتازة مثل مقاومة التآكل، ومقاومة التعب والتوافق مع جسم الإنسان. في هذه الدراسة قام الباحثون بتصنيع خليطة CoCrMo باستخدام أسلوب جديد يقوم على الاحتراق المجمع أو الصهر المركب الذي يرمز له بـ (CS)، وهي تقنية متقدمة لإنتاج تشكيلة واسعة من المواد بما في ذلك السبائك والمواد شبه الصافية.تتمتع هذه الطريقة بالعديد من المزايا مقارنةً بالطرق التقليدية، مثل متطلبات الطاقة المنخفضة، وفترات زمنية قصيرة وتجهيز معدات بسيطة.

وقد تبين أن البنية المجهرية للمواد الناتجة بطريقة CS هي أدق وأكثر انسجاما بالمقارنة مع الطرق التقليدية. ووجد أيضا أن بإضافة كميات مختلفة من Cr3C2 تزداد القساوة وبالإضافة إلى ذلك أظهرت سبائك CoCrMo المنتجة بهذه الطريقة مقاومة عالية للاحتكاك وخواص ميكانيكية ممتازة.

5.5.1 استخدام طريقة الصب الدقيق في تصنيع أجزاء مفصل الركبة الصناعي

بحث كل من Hilerio T. Mathia .I **[9]** في تقييم حالة السطح (مابين مركبة الفخذ والرضفة أو الصابونة) في الركبة الاصطناعية، عن طريق التحليل الثلاثي الأبعاد للركبة وذلك لتحسين عملية التصنيع.المواد المستخدمة في هذه الدراسة هي الخلائط ذات الأساس الكوبالتي المنتجة بطريقة الشمع المفقود (Investment Casting)والحد الأدنى من النسبة المئوية في الوزن هو: 26.5٪ كروم، 4.5٪ مولبدنيوم والباقي هو الكوبالت.

لا تزال عمليات الإنهاء اليدوية مستخدمة نتيجة وجود هذا الشكل المعقد لمفصل الركبة الصناعي. تعدّ عمليات الإنهاء هذه بطيئة وغير عملية، بعد ذلك تظهر مشكلة أخرى متعلقة بالمريض ناتجة عن المسحوق المستخدم بعملية التنعيم النهائية.

لقد كان يعتقد أنه باستخدام طريقة الميكانو كيمائية يمكن الحصول على إنهاء سطحي شبيه قدر الإمكان للإنهاء الحالي.أما من الناحية الطبية فيجب أن تكون خشونة الأسطح أقل ما يمكن خاصة في منطقة التلامس مابين المركبات المعدنية والعظم من جهة والمركبات المعدنية والمواد البوليميرية من جهة أخرى. الشكل(10.1). يعتمد اختيار الطريقة الميكانو الكيميائية على أساس تلبيس السطح بالمادة المضافة (مسحوق من مادة زركونيوم) وذلك للحصول على النعومة المطلوبة للسطح.

الشكل (10.1): مناطق التلامس بمفصل الركبة.

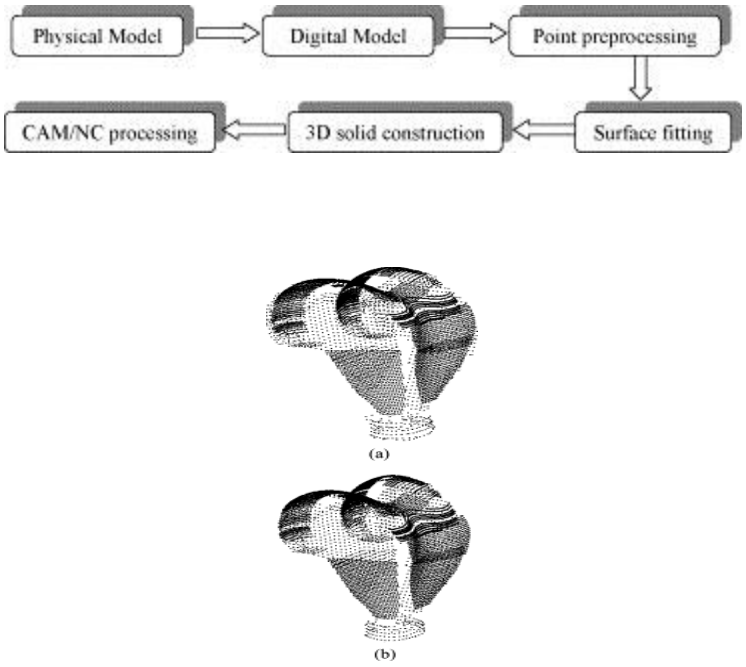
6.5.1 الهندسة العكسية لأجزاء مفصل الركبة الصناعي

درس كل من Lin Yan-Ping و Wang Cheng-Tao **[10]**طريقة لإنشاء سطح مجمع لمفصل الركبة الاصطناعية من أجل تلبية المتطلبات الخاصة لتصميم هكذا

مفصل والحد من دورة الإنتاج والتكاليف، عن طريق جهاز قياس الإحداثيات (CMM) وتشكيل قاعدة بيانات لهذا النموذج.

وصف الباحثون طرق القياس للحصول على أفضل البيانات وكيفية التعامل مع البيانات الثلاثية الأبعاد وشكلوا الأسطح من خلال برامج البيانات الثلاثية الأبعاد المستخدمة في الهندسة العكسية. كما استخدموا طريقة CAD لإنشاء النموذج الصلب لمفصل الركبة الاصطناعية عن طريق تقاطع السطوح المتمددة. الشكل(11.1).

شكلت هذه النماذج قاعدة بيانات للأطراف الصناعية التي يمكن من خلالها اختيار نوع مفصل الركبة المناسب لحاجة المريض، وهنا يمكن تغير البيانات الخاصة للنموذج المصنع بطريقة التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسب CAD لتلبية الاحتياجات المختلفة لمرضى آخرين.



الشكل (11.1): بناء نموذج مخصص لمفصل ركبة بطريقة التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسب.

7.5.1 اختيار المواد الحيوية لتصنيع الغرسات الطبية بما فيها مفصل ركبة صناعي

درس كل من Tarun GoswamiaBrandi C. Carr , Brandi و Tarun **[11]** منذ عام 1950 تصميم مفصل الركبة الصناعي الذي يزرع في الركبة ليحل محل الغضروف والعظام التالفة. ما لا يقل عن 150عملية زرع لهذه المفاصل الصناعية تجرى

يومياً بسبب تقدم الأبحاث من قبل الأطباء والمهندسين الذين يتعاونون ويجرون عملية محاكاة لتحديد سلوك مفصل الركبة الصحية.

قام الباحثون مختلفون بتطوير الميكانيك الحيوي لتقيم أداء أجزاء المفصل الصناعي لتقييم الزرعات ضمن جسم الإنسان. كما أن العديد من الباحثين قاموا بدراسة عوامل النشاط الحيوي مثل: دراسة الحركة–إجهاد الشد–التعب للتحقق من جودة الركبة المزروعة في ظل ظروف محددة التحميل. ويتم اختيار المواد المستخدمة لأجزاء الركبة الصناعية على أساس تحقيق التوازن بين القوة المطبقة والتوافق مع احتياجات الإنسان.حيث تستخدم مواد مثل خلائط (TI) التيتانيوم والكروم والكوبالت والبولي ايثيلين عالي الوزن الجزيئي حيث أدت هذه المواد إلى تحسين التصاميم وعملية التغطية السطحية وغيرها من العوامل.وقد طوروا نماذج ثنائية وثلاثية الأبعاد متناهية بالصغر لتشمل مركبات المفصل الصناعي والأجزاء الحيوية المحيطة به لتحقيق هذا العمل.وقد استخدموا طريقة التحليل بالعناصر المنتهية (FEA) للتنبؤ عن سلوك المفصل الصناعي تحت مختلف ظروف التحميل الستاتيكية والديناميكية.

8.5.1 مقارنة بين طرق التصنيع التقليدية و الطرق الحديثة من حيث أداء عمل مفصل الركبة الصناعي

درس كل من Oberg.T و M. Lilja وآخرون**[12]** مقارنة لمفصلين مصنعين بطريقتين مختلفتين وذلك اعتمادا على وجهة نظر المرضى ووجهة نظر الطبيب وكذلك على فني العمليات وذلك لمفصل صناعي أو أحد أجزائه مصنوعة عن طريق CAM CAD مع آخر مصنوع بالطرق التقليدية. وقسموا العمل إلى مجموعتين حيث قدمت مجموعة واحدة لمركبات مصنوعة بطريقة CAM CAD (CAPOD)، والأخرى مصنوعة تقليديا. وتم بعد شهر واحد تقييم هذه المجموعات وذلك اعتمادا فيما يتعلق بالتجربة الذاتية، والحكم على هذه البدائل (المفصل الصناعي) وأخصائيين في العلاج الطبيعي، المتغيرات الاجتماعية. وبعد شهر آخر أجروا تقييم جدي، ولم يعثروا على الفرق بين هذين النوعين من حيث الأداء، واعتبرت نتائج مرضية. وكانت نوعية التصنيع المآخوذة CAM CAD على نفس مستوى تلك المصنوعة تقليدياً.حيث كان التحدث عن أثر هذه المفاصل الاصطناعية ضمن جسم الإنسان سواء كانت مصنوعة بالطرق الحديثة أو التقليدية وليس عن الفرق التصنيعي.

9.5.1 البنية المجهرية لخليطة كوبالت كروم موليبدنيوم المصبوبة

درس كل من [J.V. Giacchi C.N. Morando **[13]** البنية المجهرية لخليطه كوبالت كروم مولبدنيوم التي حصلوا عليها من خلال عملية الصب (الصب الدقيق = الصب باستخدام الشمع المفقود). وهذه الخليطة المتوافقة مع معيار ASTM F75، تستخدم على نطاق واسع في تصنيع الأطراف الصناعية بسبب قساوتها العالية، ومقاومتها للتآكل وتوافقها مع جسم الإنسان.

ركز الباحثون على البنية المجهرية الناجمة عن صب عينات في ظل ظروف البيئة الصناعية المختلفة لثلاث خلائط من كوبالت كروم مولبدنيوم.

تم لهذه الغاية استخدام ثلاث حالات:

1) خليطه مستخدمة لأغراض تجارية.
2) خليطه معاد صهرها ثانية.
3) خليطه معتمدة للمقارنة.

ولتحديد البنية المجهرية ومعرفة العناصر الداخلة في تركيبها استخدموا المجهر الضوئي مع محلول مخرش ملون وللحصول على نتائج أدق استخدموا المجهر الالكتروني وللحصول على نتائج أكثر دقة استخدموا جهاز التحليل الطيفي.

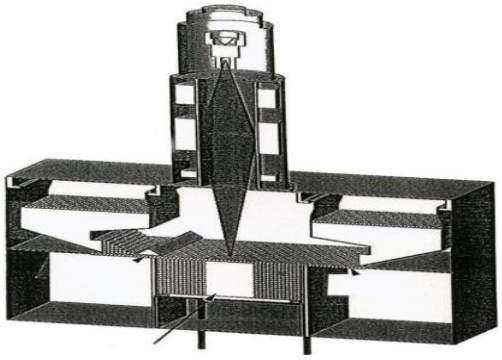
بشكل عام فإن الخلائط ذات الأساس الكوبالتي تتكون من أرضية دندريتيه (شجرية) موجودة في الطور الثاني، ومن الكربيدات ($M_{23}C_6$) الموجودة على الحدود الحبيبية وفي المناطق ما بين الأرضية الدندرتيتية. تُعدُّ هذه الرواسب هي الأساس الأقوى في هذا النوع من الخلائط وقد سجل وجود أطوار أخرى مرتبطة بمعدلات التبريد وعمليات التصنيع المختلفة إضافة إلى البيئة.

10.5.1 التصنيع الحديث لأجزاء مفصل الركبة اعتماداً على مكنات النمذجة السريعة

درس كل من Lawrence E.Murr و M. Gaytan Sara وآخرون **[14]**

بعض الأمثلة من أجزاء الركبة والورك البديلة المصنعة بشكل متجانس باستخدام حزمة الصهر الالكترونية (EBM). وبالإضافة إلى التصلب الجيد والكثافة النسبية الجيدة للخليطة، يتم تصميم الهياكل الخلوية المفتوحة (الشبكة–الرغوة) من خلائط Ti–6 Al–4V وخلائط 29Cr–6Mo ويتم التصنيع بطريقة حزمة الصهر الالكترونية.

أثبت هؤلاء الباحثون أن أجزاء المفاصل الصلدة المصنوعة بهذه الطريقة تتمتع بأفضل مقاومة للإجهاد مع ملاءمتها لنمو العظام. تضمن هذه الطريقة بالتصنيع أجزاء لمرضى محددين بحيث تكون أجزاء متجانسة ومتعددة الوظائف بالإضافة إلى البنية المجهرية والخواص الميكانيكية المميزة لكلا الخليطتين: TI-6 AL-4V و 29Cr-6Mo,بما في ذلك جميع النماذج الصلبة والخلوية المصنعة بطريقة التصنيع السريع والمضافة إليها طريقة تصنيع باستخدام حزمة الصهر الالكترونية EBM.



الشكل (12.1): استخدام حزمة الصهر الالكترونية EBM.

11.5.1 المعالجة الحرارية لخليطة كوبالت كروم موليبدنيوم

درس كل من O Fornaro ,Palacio. Giacchi **[15]** المعالجة بالانحلال لثلاثة عينات مختلفة من خلائط كوبالت كروم مولبدنيوم بوجود الكربون، وهي مطابقة للمعيار ASTM F75 وذلك في درجة 1225 مئوية لعدة فترات زمنية.كما درسوا التغيرات في البنية المجهرية والتحولات الطورية في كل حالة من أجل تقييم الطريقة الأفضل من حيث زمن المعالجة الذي يؤثر على الطور الثانوي وإيضاح التغييرات في البنية المجهرية التي يمكن أن تحدث لتقييم ذلك تم استخدام المجهر الضوئي والبرمجيات المحللة للصورة، المجهر الماسح الإلكتروني والتحليل الطيفي عن طريق تشتت الطاقة. تم رصد والأطوار الرئيسية التالية في الخليطة وهي الطور σ - M_6C، وكربيدات $M_{23}C6$. أظهر المحتوى الكربيدي بنى مورفولوجية مختلفة هي بنية على هيئة متجمعة وهيئة صفائحية على الرغم من كون الطور σ والكربيدات الصفائحية تعدّ الأكثر ضراراً على الخصائص الميكانيكية إذ تظهر في المراحل المبكرة من المعالجة بالانحلال.وأظهرت النتائج اثنين من السلوكيات المختلفة ففي الخليطة التي حصلنا عليها من الصهر فإن كمية مناسبة من المواد التجارية الموجودة فيها تكورت وتحولت إلى كربيد M_6C وقد لوحظ في وقت واحد. أما في الخليطة

التجارية ASTM F75 وعلى الرغم من كونها بنفس الطور، فقط لاحظوا انخفاضا ملحوظا في حجم الرواسب. ويمكن أن يُعزى هذه السلوكيات المختلفة إلى الوجود الأولي لأطوار أخرى في السبيكة والناتجة عن المواد الموجودة في السبيكة، مثل طور σ البرليت (سمنتيت وفرايت)، أو إلى حجم الرواسب الأولية التي كانت أكبر في الأولى من العينة المعيارية. ASTM F75 أما كربيد M_6C ينحل مباشرة في المصفوفة لذلك لا يمكن الكشف عنه في العينات المعالجة بالانحلال خلال 15 دقيقة. وقد وجد أن الرواسب هي كربيدات $M_{23}C_6$ و σفي المرحلة الفلزية (سبائكية). كان كربيدات $M_{23}C_6$ هي المرحلة الوحيدة التي تم تحديدها في العينات المعالجة بالانحلال، بغض النظر عن معدل التسخين المستخدمة، التي أشارت إلى أن هذا الكربيد محلول مباشرة في الأرضية دون أن تتحول أولا إلى كربيدM_6C ، كما ورد في المؤلفات السابقة وقد وجد أن حركية انحلال الكربيد $M_{23}C_6$ انخفضت تدريجيا خلال العلاج بالانحلال وأنها حساسة إلى معدل التسخين حيث أنها تنخفض كلما انخفض هذا الأخير. كما أنه لم يلاحظ أنها تعاني من تحول مرحلي قبل انحلالها في الأرضية كما أنه ارتبط تأثير معدل التسخين إلى التغيير الشكلي عند تسخين العينات، حيث تم تحليل حدوث هذه المراحل الملحوظة مع معونة المخططات المرحلية.

الفصل الثاني
المواد التي تصنع منه أجزاء مفصل الركبة الصناعي

1.2 مقدمة

تعدّ مرض خشونة الركبة من أكثر أمراض العظام شيوعاً لدى كبار السن حيث تصل نسبته إلى 60% لدى كبار السن، ولا يكاد يخلو منزل في مجتمعنا من المصابين بهذا المرض. يتسبب هذا المرض في آلام عند الوقوف والمشي والحركة وصعود السلم وقد يؤدي إلى عدم القدرة على الوقوف أو المشي في مراحله المتأخرة. وعلى الرغم من أن الأعراض التي يشعر بها المريض أو المريضة قد يمكن التحكم بها عن طريق العلاج التحفظي (غير الجراحي) في المراحل الأولى للمرض إلا أنه في المراحل المتقدمة وعندما يفشل العلاج التحفظي فإن التدخل الجراحي يكون هو الأمثل، وذلك عن طريق عملية مفصل الركبة الصناعي. والتي يتم من خلالها إزالة الأجزاء المريضة من الغضروف وتلبيس أجزاء المفصل بطبقة معدنية طبية مصنوعة من مادة التيتانيوم. تُعدُّ هذه العملية من أنجح العمليات في تاريخ الطب الحديث ويتم إجراؤها لمئات الألوف من المرضى سنوياً في جميع أنحاء العالم وتبلغ نسبة نجاحها فوق الخمسة والتسعين في المائة. إلا أنه من الملاحظ أن الكثير من المرضى كبار السن والمصابين بهذا المرض يترددون كثيراً في الإقدام على هذه الخطوة برغم حاجتهم الماسة لها وذلك لكثير من الأسباب الناتجة عن التخوف والمعلومات الخاطئة. وقد أظهرت إحدى الدراسات التي قام بها الباحثون على 230 مريضاً من المصابين بخشونة متقدمة والذين هم بحاجة ماسة إلى هذه الجراحة بأن ما يقارب السبعين في المائة من هؤلاء المرضى كانوا مترددين أو رفضوا إجراء الجراحة لأسباب متعددة منها الخوف من فشل العملية أو الاعتقاد بأن هذه العمليات تمثل خطورة على الحياة أو الخوف من تصلب المفصل وعدم القدرة على تحريكه بعد العملية. كما أن بعض المرضى كانوا تحت الاعتقاد بأنهم متقدمون في السن كثيراً لمثل هذه العمليات أو أن التي يشعرون بها ليست شديدة بما فيه الكفاية أو أنهم يخافون من التخدير خلال العملية. وعلى الرغم من أنه من الطبيعي أن تكون لدى المريض كثيراً من التساؤلات والتحفظات على أي جراحة كبيرة إلا إنه من واجب الطبيب المعالج توضيح الحقائق للمريض وشرح خطوات الجراحة وفوائدها والمضاعفات المحتملة والإجراءات التي يتم اتخاذها لتفادي هذه المضاعفات ليتمكن المريض من اتخاذ القرار المناسب.

حسب الحالة المرضية وحسب طبيعة الجسم وعندما يكون المفصل بحالة خطيرة جداً وعدم قدرته على تأدية أية وظيفة ما أو حتى عدم قدرته على حمل الجسم بعد أن استعرضنا ما هي العيوب التي يمكن أن تصيبه فإنه لابد من تبديل المفصل الطبيعي بمفصل اصطناعي حيث يقوم الطبيب بتحديد فيما إذا كان هذا المفصل ثابت أو متحرك حسب حالة المريض.[3]

2.2 أنواع المفاصل بحسب طبيعة عملها

1.2.2 المفصل الثابت

يتألف المفصل الثابت من 4 أجزاء:

الجزء الفخذي: وهي ذو شكل منحني الموافق لعظم الفخذ الطبيعي ويمثل الجزء العلوي المعوض عن عظم الفخذ التالف. عادة تكون مصنوعة من كوبالت كروم ويوجد مادة مالئة بين المفصل والعظم هي مادة لاصقة هدروكسي ابتات.

يوجد لهذا الجزء7 مقاسات نظامية يرمز لها: 1.5-2-2.5-3-4-5-6

الجزء الساق: وهي الجزء المعوض عن عظم الساق التالف وهي مصنوعة من التيتانيوم أو من خليطة الكوبالت كروم ولها شكل حرف T.

لها 7 مقاسات مماثلة للمقاسات المذكورة أعلاه.

الطبق الظنبوبي: وهو الجزء الفاصل بين الجزئين المعدنيين مصنوعة من بولي ايتلين عالي الوزن يرمز له بالرمز UHMWPE .

الضاغطة (الصابونه): مصنوعة من البولي ايتلين وهي أقرب لمادة بلاستيكية وذات وزن جزيئي عالي ووظيفتها منع الاحتكاك.

2.2.2 المفصل المتحرك

ويتألف من 4 أجزاء أيضاً: الجزء الفخذي نفسه_ داغصة نفسها_ الطبق الظنبوبي نفسه لكن يحدث تغير في الشكل ليصبح شكله مختلف ويتعرض لعملية تنعيم (بوليش . Polishing) . يسمح المفصل المتحرك للمريض بحركة أكبر، يعني يسمح للالتفاف بمقدار 130 درجة وكذلك حركات أكبر لكنه أغلى بالسعر ويدوم بمقدار 20% أكثر من الثابت. المفصل الثابت أرخص من المتحرك ويسمح بالحركة 120 درجة فقط لا غير.

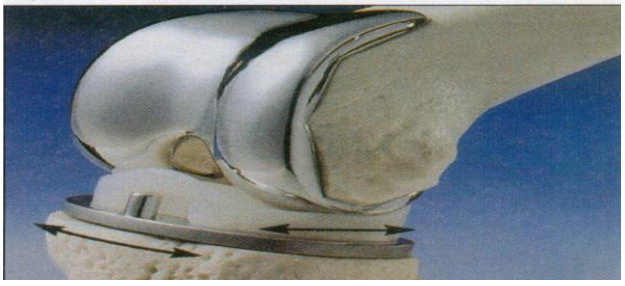
عمر المفصل يتراوح بين 15–20 سنة تقريباً، وبعد ذلك يحتاج للتبديل يتم اختيار هذا المفصل اعتماداً على حجم جسم المريض، وكذلك على وزنه، ويتم اختيار المقاس المناسب لمثل هذه المركبات بحيث يسمح بتركيب جزء مع جزء بمقدار ±1 لكل جزء.

يجب معرفة إن الطبق الظنبوبي هذا يمكن أن يحوي سماكات مختلفة.

يمكن أن يكون لكل من نوعي المفصلين نوعان آخران أيضاً يرمز لها بما يلي:

الرباط المتصالب الخلفي لسنا بحاجة لقطعه لكن الأمامي يكون مقطوع أثناء العملية لكي يتم تركيب أجزاء المفصل.

محافظ (SR) معاود للرباط الخلفي يعني لابد من قطعه لأنه من الأساس التشوه يكون مقطوعاً وهنا يوجد اختلاف بشكل الطبق الظنبوبي لأنه يتحوي على نتوء، وهنا الجزء الفخذي يحتوي على صندوق يحمل فراغ ملائم للنتوء الموجود بهذا الطبق الظنبوبي حتى يحدث التعشيق بشكل جيد(SC)



الشكل (1.2): الطبق الظبوبي لمفصل ركبة صناعي.

أما المعادن المصنعة منها أجزاء مفصل الركبة فهي المعادن التي تعتبر من المعادن الخاملة غير النشطة حتى لا تسبب أمراض سرطانية أو أية مضاعفات على جسم الإنسان من جهة ومن جهة أخرى فان هذه المعادن تُعدُّ ذات مواصفات وخواص بحيث لا تسبب أي تأثيرات سلبية على الإنسان. كما أن اختيار المعدن هذا يعتمد على المنطقة التي سيتوضع فيها بشكلٍ أساسي من حيث الوزن وآلية العمل وقدرته على تحمل الإجهاد المطبق، بحيث لا يحدث أي شق أو تخريب على هذا المفصل وكذلك حتى يخدم الإنسان طيلة العمر.[16]

3.2 خواص المواد التي تدخل في تصنيع الأطراف الصناعية

تُعدُّ خواص المواد إحدى الأمور الهامة التي يجب أخذها بالحسبان قبل استخدام المادة في الجسم. وتعتمد الخواص المدروسة على مكان استخدام المادة في الجسم.

ومن أهم الخواص الواجب معرفتها ما يلي:

1-الخواص الميكانيكية.

2-الخواص الحرارية.

وفي بعض الحالات تدرس خواص المادة من حيث امتصاص الأشعة السينية والكثافة والمسامية وكذلك خواص الانتشار.

1.3.2 الخواص الميكانيكية

من أهم الخواص التي تدرس للتطبيقات الطبية، ومن أهم الخصائص الميكانيكية الأساسية هي:

الإجهاد والانفعال:

يعرف الإجهاد بالقوة على وحدة المساحة، والذي يعبر عنه بالنيوتن على المتر المربع (باسكال) (القوة/مساحة المقطع) $\sigma = F/A$. تكون طبيعة القوة المطبقة على المادة إما شد أو ضغط أو قص أو مجموع هذه القوى.

يعبر عن التشوه بالانفعال الحادث في القطعة، ويحسب بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon = \Delta L/L_0 = (L_0 - L\ /L_0)$$

L_0: الطول قبل التشوه.

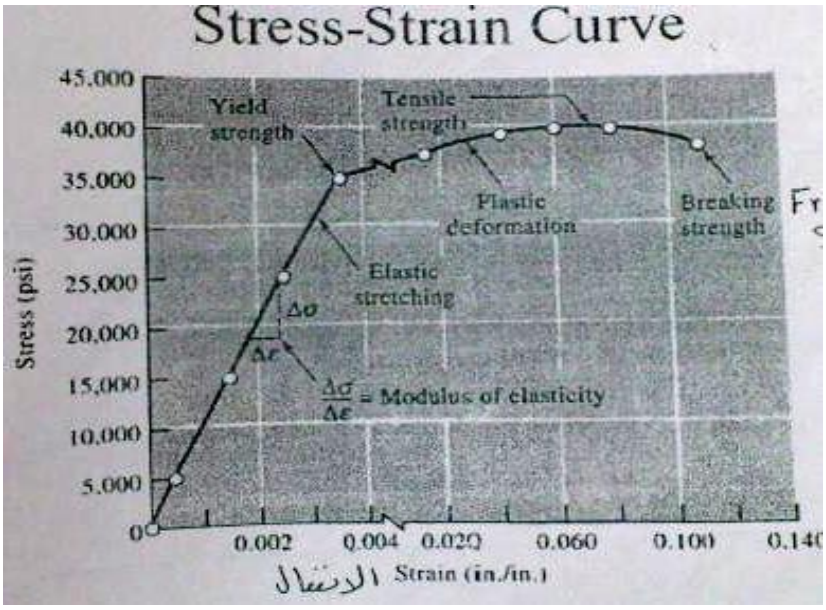
L: الطول بعد التشوه.

من الممكن التعبير عن الانفعال بالعلاقة التالية:

نسبة التغير بالطول / الطول قبل التشوه $= \varepsilon = \Delta L/L_0$

يبين الشكل (2.2) المخطط البياني للعلاقة ما بين الإجهاد σوالانفعال حيث يطبق قانون هوك: $\sigma = \varepsilon\ E$

حيث E معامل يونغ



الشكل (2.2): مخطط العلاقة ما بين الاجهاد والانفعال.

يقسم المخطط إلى منطقتين: المنطقة المرنة والمنطقة اللدنة.

في المنطقة المرنة: يتناسب الانفعال ε طردا مع الإجهاد

$\sigma = E * \varepsilon$

حيث أن E معامل المرونة.

في المنطقة اللدنة: التغير في الانفعال لم يعد متناسب طرداً مع الإجهاد. في هذه المنطقة عندما يزال الإجهاد المطبق على المادة فإن التشوه يبقى بشكل دائم ولا تعود المادة إلى ما كانت عليه وهذا ما يدعى بالتشوه اللدن.

من الشكل (3-2) يمكننا ملاحظة النقاط الرئيسة التالية:

نقطة الخضوعYS : والتي تبدأ بعدها المادة بسلوك المنطقة اللدنة.

نقطة الإجهاد الأعظميTS : وهو أعظم إجهاد تتحمله العينة (المادة) وبعدها تبدأ المادة بالانهيار.

نقطة الانهيار FS عندها تتحطم العينة أو المادة.

2.3.2 الخواص الحرارية

تعتبر درجتا حرارة الانصهار والتجمد من أهم الخواص الحرارية للمواد، حيث أنها تمثل نقطة تحول من حالة إلى أخرى.

تُعدُّ درجة حرارة التحول على طاقة الارتباط بين الذرات، فكلما كانت طاقة الارتباط بين الذرات أعلى كلما أصبحت درجة حرارة الذوبان أعلى. إذا كانت المادة مركبة فسيكون لها مجال لدرجات حرارة الانصهار والتجمد .لقياس التغيرات الطارئة على مادة ما بتأثير الحرارة فإننا نستخدم معامل التمدد الخطي والذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$\alpha = \Delta L / L0 * \Delta T$$

ΔL: التغير في الطول.

$L0$: الطول الأصلي للمادة.

ΔT: التغير في درجة الحرارة.

إذا كانت المادة متجانسة وذات خواص فيحسب معامل التمدد الحجمي بالعلاقة التالية:

$$\nu = 3\alpha = \Delta V / V0 * \Delta T$$

من الخواص الحرارية الهامة أيضا الناقلية الحرارية والتي تعرف بالحرارة المنتقلة في زمن محدد عبر سماكة ومساحة محددة من المادة[17].

4.2 المعادن التي تدخل في تصنيع المفصل

سوف نتحدث بشكل عام عن المعادن والخلائط المعدنية التي تستعمل في الطب الحيوي والتي تدخل في تصنيع مفصل الركبة ونبتدئ بالجزء العلوي الفخذي المصنوع من خليطة (الكوبالت – كروم):

1.4.2 الكوبالت

الكوبالت معدن قاس لونه أبيض فضي، يوجد عادة مترافقاً مع النيكل والفضة والرصاص والنحاس والحديد. يتم تحضير معدن الكوبالت من إرجاع مركباته بالألمنيوم أو الكربون أو الهدروجين. يُشبه في خواصه الفيزيائية عنصري الحديد والنيكل وهو نسبياً قليل المتانة وقليل القابلية للسحب في الدرجات العادية من الحرارة ويدخل كعنصر خلائطي في العديد من السبائك.

رمز الكوبالت Co العدد الذرّي: 27 (عدد البروتونات في النواة)، الوزن الذرّي 59 (الموجودة بالطبيعة)، يوجد للكوبالت تسعة نظائر رئيسية. (النظائر عبارة عن أشكال

مختلفة من العنصر متساوية في عدد البروتونات ولكنّها مُختلفة في عدد النترونات). ينصهر عند 1495°م ويغلي عند 2870°م

يُعدُّ الكوبالت من أهم المعادن التي تدخل في الخلائط الحيوية (السبائك المعدنية) ويتميز بمقاومته العالية للتآكل والاهتراء وقدرته على تحمل درجات الحرارة العالية. لذلك يستخدم الكوبالت بكثير من التطبيقات وخاصة الطبية. في مجال الأسنان المعدنية كما يدخل في تصنيع الأطراف الصناعية ويكون خليط من الكوبالت مع معدن الكروم. قد يكون الكوبالت على هيئة مسحوق ذي جودة عالية إضافة لكل المواصفات التي ذكرت سابقاً. كما أن الكوبالت يعد من المعادن متنوعة الاستخدام، وإن نسبة كبيرة من إنتاج العالم للكوبالت تستخدم في الصناعة لإعطاء الألوان المختلفة لمنتجات البورسلين والزجاج.

وفي مجال الطب يستخدم كمادة مشعة لعلاج بعض الأمراض كالسرطانات كما يدخل في صناعة القطع المعدنية المستخدمة في جراحة العظام وفي جراحة الأسنان. ويتميز معدن الكوبالت بخاصية مغناطيسية ولذا يستخدم في عمل المغانط الدائمة[18]

2.4.2 الكروم

وهو عنصر معدني من عناصر الجدول الدوري، معدن صلب لامع تستخدم خاماته في إعداد السبائك (كروم كوبالت) المقاومة للتآكل المغناطيسي.

الخواص الفيزيائية لهذا المعدن: رمزه الكيميائي Cr، الرقم الذرى 240، الكتلة الذرية 51,9961، درجة الانصهار 1857، درجة الغليان 2672، عدد النيترونات 28، التصنيف فلز انتقالي، التركيب البلورى مكعب، الكثافة 293، اللون رمادي، تاريخ الاكتشاف 1797، المكتشف لويس فاكويلن.

أما من حيث استعمالات الكروم فهو يستخدم في صناعة الفولاذ الذي لايصدأ. يتم الحصول على الكروم من الكروميت.[19]

3.4.2 خليطة الكوبالت –كروم

1.3.4.2 الخصائص العامة

تستخدم خليطة كوبالت كروم في التطبيقات الصعبة لعملية الصب والعمليات الصناعية البحتة، حيث تحتاج إلى مناطق صناعية مركزة لهذا النوع من خلائط كوبالت كروم.

تستخدم خلائط كوبالت كروم على نطاق واسع في تصنيع الأطراف الصناعية التي تغرس في جسم الإنسان إضافة إلى أنها تدخل بصناعة بعض الأجهزة الطبية. كما أنها

تستخدم بشكل خاص عندما نحتاج لمواد ذات مقاومة عالية للتآكل، وكذلك تمتاز بأنها ذات بنية متينة ومصقولة جيداً كما أن هذا النوع من الخلائط هي المفضلة في التطبيقات العملية كالأطراف الصناعية والأسنان.

تتميز خلائط الكوبالت كروم بأنها ذات قوام رفيع ومقاومة للصدأ لذلك يسود استخدامها بالعظام والأسنان تتميز بسطح مصقول بشكل جيد لذلك فإن مركبة الفخذ لمفصل الركبة يصنع من هذه الخليطة عند استبدال الركبة الطبيعية بمفصل صناعي.

إنها مادة ذات متانة جيدة ولابد من استخدامها في المناطق التي تتميز بأنها محشوة بشكل كبير وتتعرض للإرهاق.

2.3.4.2 الخصائص الخاصة

تستخدم خليطة كوبالت كروم لإنتاج أدوات الحقن والتشكيل الصناعي والفني. كما أن المقاومة العالية والمتانة الممتازة والجودة الرائعة تسمح باستخدامه هذه الخليطة بالعناصر البصرية لأنها مصقولة بشكل جيد يشبه المرآة وتمتاز بأنها تبقى مدى الحياة.

خلائط الكوبالت كروم ممكن أن تدخل بصناعة:

التوربينات الغازية.

الأطراف الصناعية المزروعة بجسم الإنسان.

أجهزة الزرع لطب الأسنان.[20]

3.3.4.2أنواع و نسب المزج الكيميائي لخلائط الكوبالت–كروم (CoCr Alloys) المستخدمة في التراكيب الطبية

هنالك نوعان من خلائط الكوبالت – كروم: الأولى خليطة كوبالت كروم مولبدنيوم (CoCrMo) والتي تستخدم عادة لصب منتج ما. والثانية خليطة كوبالت– نيكل – كروم –موليبدنيوم (CoNiCrMo)والتي تشكل عادة بالتطريق بالحرارة. استخدمت خليطة الكوبالت –كروم– موليبدنيوم منذ عشرات السنين في الصناعات السنية وحديثاً في صناعة المفاصل الصناعية. أما خليطة الكوبالت – نيكل – كروم –موليبدنييوم تُعدُّ من الخلائط الحديثة وهي تستخدم في صناعة الجذع (جذع المفصل) ذات الحمولات الكبيرة كالركبة والورك.

تنصح الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد (ASTM) بأربعة أنواع من خلائط كوبالت –كروم للاستخدامات الطبية وهي:

خليطة كوبالت– كروم–موليبدنيوم (CoCrMo) رمزها (F75).

خليطة كوبالت –كروم–تنغستن–نيكل (CoCrWNi) رمزها(F90).

خليطة كوبالت– نيكل– كروم–موليبدنيوم (CoNiCrMo)ورمزها(F562).

أخيراً خليطة كوبالت– نيكل– كروم–موليبدنيوم–تنغستن–حديد (CoNiCrMoWFe) ورمزها (F563).

يُستخدم في الوقت الحاضر نوعان من الأنواع الأربعة المذكورة أنفاً في صناعة البدائل المزروعة في الجسم وهما:

خليطة كوبالت–كروم– موليبدنيوم، وخليطة كوبالت– نيكل– كروم– موليبدنيوم.

يبين الجدول (1.2) التركيب الكيميائي لكل خليطة.

الجدول (1.2) نسب المزج الكيميائي لخلائط الكوبالت –كروم.

العنصر	F75		F90		F562		F563	
	الأصغري	الأعظمي	الأصغري	الأعظمي	الأصغري	الأعظمي	الأصغري	الأعظمي
كروم Cr	27.0	30.0	19.0	21.0	19.0	21.0	18.0	22.0
موليبدنييوم Mo	5.0	7.0	--	--	9.0	10.5	3.0	4.0
نيكل Ni	--	2.5	9.0	11.0	33.0	37.0	15.0	25.0
حديد Fe	--	0.75	--	3.0	--	1.0	4.0	6.0
كربون C	--	0.35	0.05	0.15	--	0.025	--	0.05
سيليكون Si	--	1.0	--	1.0	--	0.15	--	0.5
منغنيز Mn	--	1.0	--	2.0	--	0.15	--	1.0
تنغستين W	---	---	14.0	16.0	---	---	3.0	4.0
فوسفور P	---	---	---	---	--	0.015	---	---
الكبريت S	---	---	---	---	--	0.01	--	0.01
تيتانيوم Ti	---	---	---	---	--	1.0	0.5	3.5
كوبالت Co	باقي النسبة		باقي النسبة		باقي النسبة		باقي النسبة	

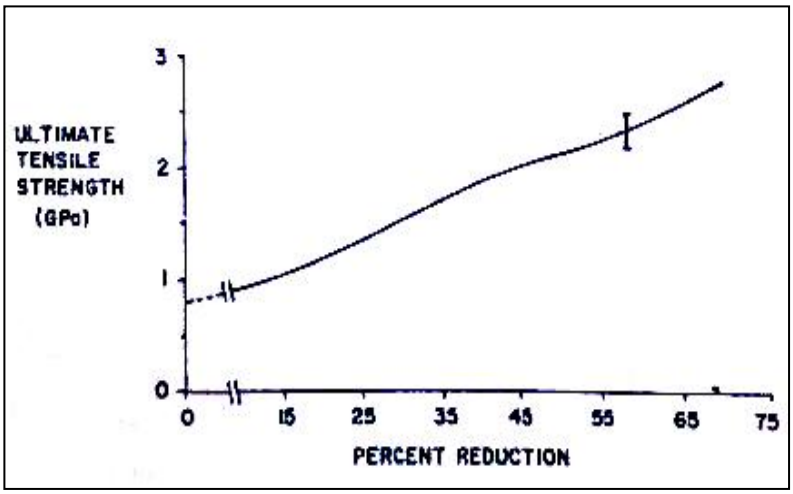
4.3.4.2 خصائص خلائط الكوبالت–كروم

يشكل العنصران الأساسيان في خليطة كوبالت–كروم المحلول الصلب حيث أن نسبة الكوبالت تصل إلى 65% والباقي كروم. يضاف المولبدنيوم للخليطة ليزودها بحبيبات أنعم والتي تؤدي إلى متانة أعلى بعد الصب أو التشكيل الحراري.

إن أهم خلائط الكوبالت – كروم المشكلة (غير المصبوبة) هي خليطة كوبالت–نيكل– كروم–موليبدنييوم والتي كانت تدعى (Mp35N) وتحتوي هذه الخليطة 35% تقريباً من

وزنها لكل من الكوبالت والنيكل وتمتاز هذه الخليطة بمقاومتها الجيدة للتآكل والصدأ في المحلول الملحي (الذي يحتوي على شوارد الكلور) تحت الضغط، ويمكن بتشكيلها على البارد أن نزيد من متانة الخليطة بشكل كبير.

يبين الشكل (3.2) العلاقة بين أكبر متانة شد تتحملها الخليطة CoNiCrMo والنسبة المئوية للإنتاج.



الشكل (3.2): العلاقة بين UTS لخليطة CoNiCrMo والنسبة المئوية للإنتاج.

بيد أنه هنالك صعوبات كبيرة في تشكيل هذه الخليطة على البارد وخاصة عند تصنيع أجهزة كبيرة مثل جذع مفصل الورك.

لذلك فإن التشكيل الحار هو الوسيلة الوحيدة لتصنيع هذه الأجهزة الكبيرة لهذه الخليطة.

إن خواص الاهتراء للخليطة (CoNiCrMo) المشكلة مشابهة للخليطة المصبوبة (CoCrMo) والتي تساوي تقريباً 0.14 ملم/سنة للمفصل، بيد أنه لا يوصى باستخدام الخليطة الأولى لسطوح الحمل للمفصل التعويضي وذلك بسبب خواص الاحتكاك غير الجيدة مع بعضها أو مع مواد أخرى (عامل الاحتكاك عالي نسبياً).

إن متانة الشد القصوى وخواص التعب الجيدة لخليطة (CoNiCrMo)المطاوعة تجعل منها خليطة ملائمة للتطبيقات التي تحتاج إلى عمر خدمة طويلة دون كسر أو تعب مثل حالة جذوع مفاصل الورك.

هذه الميزة تكون أكثر قيمة عندما يكون هنالك حاجة لاستبدال الجسم المزروع حيث أنه من الصعب جداً نزع القطعة المكسورة (التي فشلت بالقيام بعملها) المزروعة عميقا داخل القناة اللبية لعظم الفخذ.

يبين الجدول (2.2) الخواص الميكانيكة لخلائط الكوبالت – كروم وكما هو الحال لكل الخلائط فإن زيادة المقاومة للخليطة يرافقه انخفاض في لدونتها.

تمتاز خلائط الكوبالت – كروم المشكلة بالصب أو التشكيل على الحار أو البارد بمقاومتها الكبيرة للتآكل[17] [38].

الجدول (2.2) الخواص الميكانيكية لخلائط الكوبالت–كروم.

الخواص	الصب CoCrMo (F75)	التشكيل CoCrWNi (F90)
حد المتانة الاجهاد الأعظمي MPa	890–655	860
حد الخضوع MPa	450–530	310
الاستطالة النسبية %	8>	10
التقلص النسبي %	8	--
حد الصمود MPa	310	--

في بعض الأحيان يكون الجزء المعوض عن الساق مصنع من خلائط التيتانوم.

4.4.2 التيتانيوم

التيتانيوم هو معدن لامع أبيض، كثافته قليلة وقوته عالية، سهل التشكيل مقاومته جيدة للأكسدة والصدأ، معدن ممتاز لهذا الغرض، يكون مرناً عند خلوه من الأكسجين. التيتانيوم مقاوم للمحاليل المخففة من الأحماض.

الرمز: Ti، العدد الذري 22، الوزن الذري 47.9، درجة الانصهار 1668 درجة مئوية، درجة الغليان 3287 درجة مئوية.

يعد التيتانيوم أقوى من الفولاذ وبنفس الوقت أخف منه بحوالي 45% وأثقل من الألمنيوم بحوالي 60% ومتانته تساوي ضعف متانة الألمنيوم.

يعد التيتانيوم من المعادن غالية الثمن .[21]

1.4.4.2 استخدامات التيتانيوم

يعد التيتانيوم مهماً جداً في عمل السبائك المعدنية بإضافته إلى الألمنيوم والموليبديوم والمنغنيز والحديد وغيرها من المعادن، وبشكلٍ أساسي تستخدم سبائك التيتانيوم في صناعة الطائرات لخفة وزنه وقوته وتحمله درجات الحرارة العالية. وكذلك في المجال الطبي حيث تدخل خلائط التيتانيوم بصناعة الأطراف الصناعية والأوتاد التي تدخل بزراعة الأسنان.

2.4.4.2 أهم ميزات هذا المعدن

- قابليته لنفاذ الأشعة السينية.
- مقاومته العالية للإهتراء نتيجة الصدأ.
- خاصية التوصيل الحراري الضعيفة.
- غير مسبب للحساسية.
- خفيف الوزن.
- التثبيت الدقيق للتعويضات السنية.
- مرن (صلابته السطحية قليلة).
- ذو مظهر جمالي.

معدن وحيد متعدد الاستخدامات للتعويضات السنية المعدنية الهيكلية الكاملة والجزئية إضافة إلى التيجان والجسور بدرجة نقاوة 99.5% تيتانيوم.

سهل التصنيع والتشكيل.

ليس له رد فعل قطبي أي ليس له تأثيرات كهربائية (موصل كهربائي رديء).

يستخدم في كافة الحالات التعويضية السنية.[17] .

5.4.2 الموليبدنييوم Mo وسبائكه

يعد الموليبدنوم مادة مهمة بسبب خواصه الميكانيكية والكيميائية، لَهُ درجة انصهار عالية جداً، معامل توسّعٍ حراريٍ منخفضٍ وتوصيل حراري عالي وهو مستعمل في الصناعات العديدة بسبب هذه الخواص.

أهم استخدامات الموليبدنييومِ: يستخدم كأشرطةَ وأسلاكَ في الإضاءة، شبه موصل للشرائح القاعدية في الإلكترونياتِ، يستخدم بالمواد الطبية كعنصر خلائطي، وكذلك في إلكترودات صهر الزجاج.

1.5.4.2أهم فوائد وميزات الموليبدنوم

- متانته وقوّة تحمله عالية.
- يتحمل ضغط بخار منخفض.
- انتشاره الحراري منخفض.
- مقاومته للتآكل جيدة جداً .
- رمزه الكيميائي:Mo
- العدد الذرّي: 42.
- درجة انصهاره عالية (2620 درجة مئوية).
- درجة الغليان: (4639 درجة مئوية).
- الكثافة: 10.28 g/Cm^3 **[22]**.

2.5.4.2 أهم الخصائص الميكانيكية للموليبدنيوم

يمتاز الموليبدنيوم بمتانته وقوّة تحمله لدرجات الحرارة العالية، ونظراً لقلة نسبة الشوائب الموجودة في هذا المعدن فهو يُعدُّ عنصراً هاماً يمكن استخدامه خلائطياً لتَحسين الخصائص الميكانيكية للسبائك.

استعمل العالم Planseeالموليبدنوم ذي النقاوةِ العالية فقط ليضمن تحضير مسحوق من هذه الماده للتوصل إلى منتج عالي الجودة. كما حسّن Planseeقوّة التحمل للموليبدنيوم باستخدامه تقنيات تشكيل خاصّة، وعن طريق المزج الخلائطي للموليبدنيوم مع عناصر أخرى مثل الكربون والتنجستين... وذلك للحصول على منتجات تناسب العمل المطلوب القيام به، وقد تمكن Plansee من عمل سلسلة كبيرة من المنتجات باستخدام الموليبنيوم النقي وسبائكه لتخدم حاجة الزبائن والأسواق.

3.5.4.2 الخواص الكيميائية للموليبدنيومِ

الموليبدنيوم له مقاومة تآكل ممتازة ضد المعادن المنصهرة العديدة والمواد الزجاجية المائعة وضد غازات العادم بالسيارات بالإضافة إلى مقاومته للأحماض والمواد الكيميائية الأخرى. وهذه المقاومة للتآكل يمكن زيادتها عند تشكيل سبيكة موليبدنيوم تحوي على عنصراً خلائطياً مثل التنجستن على سبيل المثال.

سلسلة منتجات موليبدنيوم Plansee(مُنتج العالم البارز لمساحيق معدن الموليبدنوم وخلائطه) استعملت بشكلٍ رئيسي كمواد للتطبيقات الخاصّة الجراحية وذلك بسبب خصائصها البارزة ومقاومتها لدرجات الحرارة العالية [23].

6.4.2 المواد البوليمرية التي تدخل في تصنيع الجزء ما بين الجزئين المعدنيين

مركب البولي إيتلين عالي الوزن الجزيئي.

1.6.4.2 البولي ايتلين

هو بولمير مشكل من الايتلين C2H4 ويحوي غازه على وزن جزيئي 28 والرمز الكيميائي للبولي ايتلين هو $(C_2H_4)_n$ حيث n درجة البلمرة. كما أن البنية الكيميائية للايتلين والبولي ايتلين عالي الوزن الجزيئي UHMWPE فإن السلسلة تتكون من أكثر من 200000 واحدة متكررة من الايتلين. لكن من طرف آخر فان السلسلة الجزيئية UHMWPE تتكون من 400000 ذرة عنصرية من الكربون.

هنالك أنواع مختلفة من البولميرات تختلف باختلاف الوزن الجزيئي، وكذلك باختلاف طول السلسلة الجزيئية متل LDPE-LLDPE-HDPE-UHMWPE.

البولي إثيلين فائق الوزن الجزيئي المرتفع UHMWPE ذو وزن جزيئي بين 3.1 و7.6 مليون دالتون .يؤدي الوزن الجزيئي المرتفع إلى عدم مقدرة السلاسل على التراص في البنية البلورية بشكل كبير، نلاحظ أن الكثافة أقل منها في البولي إثيلين عالي الكثافة

(مثلاً من 0.930 –0.935 غ/سم3)، كما أنه يؤدي أيضاً إلى زيادة في قساوة المادة الناتجة. يمكن إنتاج هذا البوليمير باستخدام حفازات مختلفة، أكثرها شيوعاً حفازات زيغلر . نظراً للقساوة الفائقة لهذا البوليمير ومقدرته على تحمل الجهود ومقاومته الكيميائية الممتازة فإنه يستخدم في العديد من التطبيقات مثل صناعة الأجزاء المتحركة في آلات النسيج وغيرها.

UHMWPE هو المفضل حيث أن معدل اللزوجة للوزن الجزيئي هو أكثر من 6 مليون g/mol .في الحقيقة فإن الوزن الجزيئي هو عالي جداً لا يمكن قياسه مباشرة بالطرق التقليدية وهذا يعني أنه عوضاً عن هذه الطرق التقليدية يجب أن يستبدل باستخدام طريقة اللزوجة الحقيقية.[24]

الشكل (4.2): الرابطة الذرية لمركبات الإيتلين والبولي إيتلين

يبين الجدول (3.2) الخصائص الميكانيكية للمواد البولميرية عالية الوزن الجزيئي من البولي ايتلين.

الجدول (3.2) الخصائص الميكانيكية للمواد البولميرية عالية الوزن الجزيئي من البولي ايتلين.

المادة	البولي ايتلين عالي الوزن الجزيئي
الوزن الجزيئي	(2–6)10^6 g/mole
نقطة الانصهار	(125–138) ^{O}C
معامل بواسون	60.4
حد الخضوع	(21–28)MPa
متانة الشد	(39–48)MPa
الاستطالة النسبية	(350–525)%

2.6.4.2 البلمرة

هي عملية تفاعل جزيئات مع بعضها وفق تفاعل كيميائي لتُشكِّل شبكات ثلاثية الأبعاد أو سلاسل بوليمرية حيث أول ما نتخيلها أن السلسة الجزيئية لها هي على شكل خيوط رفيعة معقدة من المعكرونة وهي أطول من 1 كم وذلك لأن السلسلة ليست ساكنة إنما هي مصبوغة بطاقة داخلية وهي تتحرك بفعل الحرارة النشيطة لجسمها.

وعندما تبرد وتصل درجة الحرارة لأدنى من درجة الصهر فإن السلسلة الجزئية للبولي ايتلين تميل إلى أن تدور (تتناوب) الروابط ما بين C–Cوتخلق سلسلة مثنية أو مكسورة.هذه الرابطة المكسورة أو المثنية تكون بحالة عمل وتعطي القدرة للجزيء إلى أن يشكل الطلب المحلي من الرقاقات التي تشبه الورق والتي تعرف بالرقاقات أو الصفائح البلورية.

كما أن هذه الصفائح البلورية ترسخ مع غيرها العشوائية وربما ترتبط مع بعضها برابطة جزيئية.درجة التوجه للبلمرة أو التبلور في البولي ايتلين تعتمد على عوامل متعددة: متضمنة الوزن الجزيئي– حالات العمل– الشروط البيئية. البولي ايتلين عالي الوزن الجزيئي يتميز بأن هذا البوليمر كأسم يوحي به هو PE، مع طول سلسلة جزيئي يقاس بالملايين. تتم معالجة هذه المواد عالية الوزن الجزيئي على غرار الخزف في بعض الطرق، وذلك باستخدام تقنيات خاصة بتلبيد المساحيق. ومع ذلك فإن هذه المواد هي أكثر ليونة بكثير من أي مادة سيراميكية. وهو يشبه إلى حد ما في كثير من النواحي إلى PTFE، على الرغم من أنها ليست قادرة على الصمود في وجه نفس درجة حرارة التشغيل المرتفعة كما أنه لا يحمل المقاومة الكيميائية ذاتها [25].

3.6.4.2 خصائص البولي ايتلين عالي الوزن الجزيئي UHMWPE

انخفاض معامل الاحتكاك.

منخفض الكثافة.

مقاومة كيميائية جيدة.

إن استخدام البوليمرات الاصطناعية، وعلى سبيل المثال البولي ايتلين فائق الوزن الجزيئي، مع السبائك المعدنية قد أحدثت ثورة في مجال زرع الأطراف الصناعية، واستعمالها في استبدال المفاصل ووضعها ما بين المركبتين المعدنيتين لمنع الاحتكاك وامتصاص الصدمات[24] .

الفصل الثالث

تصميم وخطوات تصنيع مفصل ركبة صناعي باستخدام تقنيات الإنتاج التقليدية والحديثة

1.3 الطرق التقليدية

1.1.3 المقدمة

بعد معرفة ما هي الحالات التي يتم فيها تبديل مفصل الركبة، وكذلك معرفة نوعية المعادن أو المواد التي يصنع منها مركبات هذا المفصل، لابد من معرفة ما هي الطرق التي يتم فيها تصنيع هذا المفصل، إن السباكة في القديم هي الطريقة التقليدية السائدة التي يتم فيها تصنيع معظم المنتجات سواء كانت الطبية أو الصناعية أو غيرها. وكان أبرز هذه الطرق هي سباكة المعادن، وفيما يلي شرح بشكل عام لبعض عمليات السباكة المختلفة التي تستخدم لتصنيع مفصل الركبة.

2.1.3 السباكة

هي عملية تصنيع يتم من خلالها الحصول على منتجات وذلك بسكب المعدن المصهور ضمن تجويف قالب أعد سابقاً بحيث يأخذ شكل المنتج المراد تصنيعه، ثم يترك المعدن ليتجمد، وتنتهي العملية بإخراج المسبوكة من القالب وتشذيبها وتنظيفها للحصول على المنتج النهائي. يستخدم في عملية السباكة معادن منصهرة، أو مواد متنوعة تتصلب بمزج مكوناتها مثل الخرسانة، الإيبوكسي، الجص.

تتميز طرق السباكة مقارنة بأساليب التصنيع الأخرى بالاقتصادية وبسرعة الإنتاج وهي في الغالب تعد أرخص طرائق التشكيل للإنتاج بالجملة. حيث تستخدم السباكة لإنتاج مسبوكات صغيرة الحجم يبلغ وزنها من عدة غرامات مثل قطعة حلي إلى مسبوكات كبيرة يصل وزنها إلى مئات الأطنان كمحركات السفن، كما تستخدم لتصنيع قطع ذات أشكال معقدة داخلياً أو خارجياً والتي يصعب إنتاجها بطرق التصنيع الأخرى.

وقد أدت الأبحاث المستمرة والحاجة إلى الإنتاج الكمي لمسبوكات متميزة بالدقة وبنعومة السطح إلى تطور طرق السباكة ولم تعد مقتصرة على السباكة بالقوالب الرملية وإنما أوجدت طرق سباكة دقيقة نذكر منها: السباكة بالقوالب المعدنية الدائمة، السباكة بالقوالب القشرية، السباكة باستخدام القوة الطاردة المركزية، السباكة باستخدام نماذج الشمع المفقود، والصب بالقالب الكامل (النموذج المتبخر)، والقولبة بالجبس، والقولبة بالسيراميك، والقولبة بالخلاء وغيرها.

وبشكل عام تقسم طرق السباكة إلى فرعين مميزين: السباكة في القوالب المستهلكة: يشمل هذا التصنيف قوالب الرمل والقوالب القشرية والبلاستيك والجص والقولبة بالسيراميك، وطريقة الشمع المفقود. هذه الطريقة في السباكة تشمل القوالب المؤقتة وغير المجهزة للاستخدام ثانية.

السباكة في القوالب الدائمة: تستخدم هذه الطريقة خصوصاً للمعادن غير الحديدية، التي تتطلب زمن للتجهيز يمتد لعدة أسابيع لتجهيز القالب الفولاذي.

لإجراء عملية السباكة التقليدية لابد من معرفة كيفية تصنيع النموذج.

3.1.3 صنع النماذج

يصنع النموذج عادة من الخشب أو من البلاستيك أو من الشمع حسب طريقة السباكة وذلك إذا كان عدد المسبوكات المطلوبة صغيرا أو متوسطا.
قد يكون النموذج من قطعة واحدة أو أكثر من قطعة أو مثبت على لوح.[26]

2.3 الطرق الحديثة بالسباكة أو ما يدعى بالسباكة الدقيقة

تستخدم هذه الطرق لإنتاج مسبوكات ذات دقة عالية ولا تحتاج لأي عمليات تشغيلية لاحقة مهما كان درجة تعقيدها.
أهم طرق السباكة الدقيقة هي التالية:

- الصب باستخدام نماذج الشمع الـ مفقود Investment Casting or Lost Wax Pattern.
- الصب بالقالب الكامل (النموذج المتبخر) Full Mould Casting.
- القولبة بالجبس Plaster Moulding.
- القولبة بالسيراميك Ceramic Moulding.
- القولبة بالخلاء Vacuum Moulding.

وفي هذه الدراسة لتصميم وخطوات تصنيع مفصل الركبة الصناعي قمنا بدراسة طريقة الصب الدقيقة (باستخدام نماذج الشمع الـ مفقود(investment casting وذلك لأن

الخليطة المكونة لمركبات المفصل المعدنية هي من الخلائط الخارقة التي تعمل بظروف مميزة(super alloys) .

وفيما يلي لمحة عن الصب باستخدام نماذج الشمع المفقود:

وهي طريقة القالب الكامل، إذ يصنع النموذج الخاص بشكل المسبوكة مع نظام صب المعدن من شمع خاص، ويصب فوقه القالب المكوّن من مادة حرارية أو يشكّل حوله قشرة من مادة حرارية سيراميكية، ثم يعرض القالب أو القشرة إلى حرارة، بحيث يذوب الشمع ويسيل خارج القالب، ويصب المعدن في الفراغ المتشكل. تستخدم طريقة السباكة بالشمع المفقود من أجل إنتاج القطع الفنية (التماثيل) ولإنتاج قطع محركات الطائرات النفاثة والأطراف الصناعية المصنعة من الخلائط الفائقة المتانة.

1.2.3 الايجابيات التصميمية لعملية السباكة باستخدام نماذج الشمع المفقود (الصب الدقيق)

المرونة الكبيرة في عمليات الإنتاج للأجزاء الوظيفية.

تكون هذه الأجزاء في معظم الأحيان جمالية أيضاً.

تكون عملية الصب رخيصة عند الإنتاج الكمي.

يمكن بطريقة السباكة بالشمع المفقود الحصول على منتجات عالية الدقة وذات إنهاء سطحي ناعم.

وتستخدم هذه الطريقة لسباكة كل أنواع المعادن الممكن صهرها وصبها، ويمكن بهذه الطريقة تصنيع الأشكال المعقدة الشكل المستحيلة السكب بطرق السباكة الأخرى.

الوثوقية من حيث الاستعمال الطويل المدى لمنتجات الصب كما في محركات الطائرات والأطراف الصناعية الطبية التي تتطلب معايير دقة عالية.

التفاوتات البعدية الصغيرة: حيث تكون التفاوتات البعدية صغيرة جداً بحيث يكون شكل المنتج بعد عملية الصب قريب جداً للمنتج المطلوب، وهذا يعطي فوائد مهمة لعملية الصب مقارنةً مع الصب الرملي وعمليات التشكيل التقليدية.

حرية اختيار الخليطة: أي يمكن بهذه الطريقة صب كل أنواع الخلائط مهما كان تركيبها الكيميائي أو تعقيدها وتتضمن تلك التي لا يمكن أن تتشكل أو صعبة أو مستحيلة على أية آلة تشغيل. بما فيها الخلائط الخارقة (كوبالت – كروم – مولبدنيوم) موضوع الدراسة.

2.2.3 المساوئ والصعوبات

بحالة الصب ضمن القالب السيراميكي (لمركبات مفصل الركبة الصناعي موضوع الدراسة) تكون هنالك تعقيدات كبيرة للنموذج لذلك نستخدم هذه الطريقة في السباكة.

إذا مساوئ طريقة السباكة بالشمع المفقود هي: لا يمكن إنتاج المسبوكات الكبيرة الحجم، كما وتحتاج الطريقة للتحكم الدقيق بكل مراحل الإنتاج وتحتاج إلى أجهزة خاصة، وهذه الطريقة عالية التكلفة (مواد أولية وتجهيزات خاصة وتقنية مطلوبة للإنتاج وغيرها).

3.2.3 ما هو المطلوب في عملية الصب الدقيق

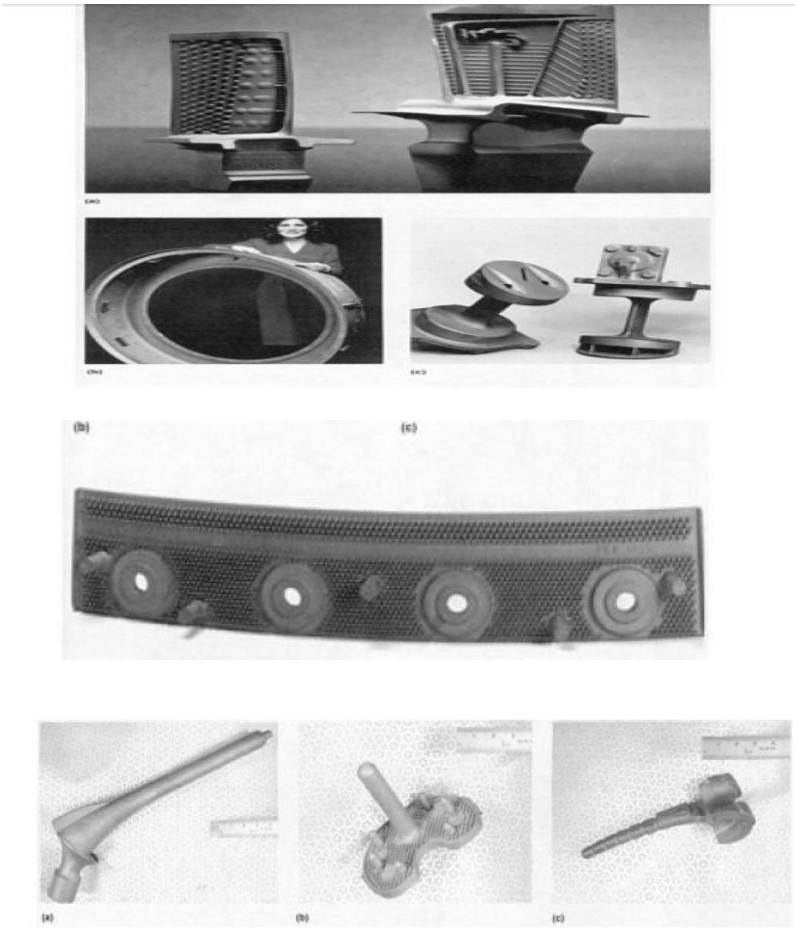
يجب إتباع النصائح التالية أثناء التصميم واستخدام طريقة الصب المستثمر.

- يجب التركيز على كلفة المنتج النهائي بدلاً من كلفة الصب.
- يجب أثناء عملية التصميم معرفة الشكل جيداً وكذلك أنصاف أقطاره وأطوال أضلاعه وما يمكن أن يحدث أثناء صب معدن من بقع ساخنة Hot spot ومسامية Porosity.
- اختيار نموذج الصب بشكل جيد للإجابة عن الأسئلة المتعلقة بالأبعاد الوظيفية والإنتاجية كذلك معرفة التكلفة.
- معرفة التسامحات التي تحدث أثناء عملية التصنيع بالصب.
- يوجد دليل يستعمل كقاعدة بيانات للتسامحات البعدية.

4.2.3 تطبيقات الصب الدقيق

إن أكثر التطبيقات بطريقة الصب هي للقطاعات الصناعية والأطراف الصناعية الطبية. كما لها العديد من الاستخدامات في مجال الطائرات ومركبات الفضاء وكذلك أنصاف الأقطار التوربينية. والمرواح التي تصب من الكوبالت والنيكل إضافة إلى عنصر التيتانيوم والتي تعد من الخلائط الفائقة أو الخارقة.

ومن أمثلة التطبيقات الحالية لهذا النوع من الصب هي الصب باستخدام قوالب خزفية باستعمال نماذج شمعية. كما في الشكل (1.3).



الشكل (1.3): تطبيقات الصب المستثمر.

3.3 القوالب الخزفية (السيراميكة)

تعتمد تقنية الصب بالقوالب الخزفية على خصائص عملية الصب، وقد استخدمت قوالب مصنوعة من الزيركون الصافي والأكاسيد وعجينة أكسيد الألمنيوم.

وبشكل عام فإن القوالب السيراميكة تتألف من الريزك العلوي والسفلي وفي بعض الأحيان فإن شكل الصب يحتاج إلى ريزك واحد فقط. تنتج عملية الصب بالقوالب الخزفية مصبوبات مع تفاصيل دقيقة وأسطح ناعمة ودرجة عالية من الدقة للأبعاد. يتمتع سطح القوالب الخزفية بخواص مقاومة عالية لذلك تصب فيها الخلائط ذات الدرجات الحرارة العالية (مثل تلك السبائك الفولاذية المقاومة للحرارة والخلائط الخارقة) وهذا يعطي استقرار حراري عالي ولا تسمح للحرق فيه.

1.3.3 تطبيقات القوالب الخزفية

القوالب الخزفية لها تطبيقان رئيسيان:

التطبيق الأول ينتج مصبوبات دقيقة تتطلب نماذج كبيرة وثقيلة للصب ضمنها مع قابلية استخدام نموذج شمعي أو بلاستيكي.

التطبيق الثاني ينتج مصبوبات بكميات محدودة مع استخدام نماذج خشبية وهي أكثر اقتصادية وهي تتطلب أقل وقت انتظار مقارنة بالقالب المعدني مع استخدام نموذج شمعي أو بلاستيكي.

تستخدم القوالب الخزفية لإنتاج مصبوبات ذات جودة عالية ليس فقط من ناحية الأبعاد الدقيقة والإنهاء السطحي وإنما كذلك من ناحية الصلابة.

إن عملية الصب في القوالب الخزفية تعتمد في بعض التطبيقات على شكل المصبوبات ونوع النموذج المستخدم. فالنماذج الدائمة المستخدمة في عملية الصب بالقوالب الخزفية تعطي أبعاد أدق من النماذج الشمعية، وذلك لأن الشمع يتمدد أثناء الذوبان أما النماذج الدائمة فهي أقل سرعة للتأثر والتشوه والضرر بالمعالجة منها عن النماذج الشمعية أو البلاستيكية.

أما العيب الرئيسي للصب بالقوالب الخزفية في مراحله الأولى هو ارتفاع تكلفة صب المواد نظراً لاستعمال هذه المواد بكميات كبيرة لتكوين الطين بكل القوالب الخزفية وهي مواد غير قابلة للاسترداد. وقد تم تلافي هذا العيب من خلال تطوير قوالب خزفية مركبة أقل تكلفة من خلال استخدام مادة الشاموت chamotte (الألومينات المقاومة لدرجات الحرارة العالية) التي تعتبر واجهة سيرامكية واقية وهذا ينقص من كمية الزركون والمواد الرابطة. لذلك فإن حوالي (90%-80%) من المواد المساعدة يمكن أن تكون قابلة للاسترداد مما يخفض التكلفة كثيراً.

2.3.3 معادن الصب المناسبة ضمن القوالب الخزفية

تصب خلائط المعادن الحديدية واللاحديدية ضمن القوالب الخزفية لكن التطبيقات الحديدية هي الأكثر انتشاراً وتتضمن سباكة الحديد المرن Ductile Cast Iron والفولاذ الخلائطي والفولاذ منخفض نسبة الكربون. أما خلائط المعادن اللاحديدية المناسبة للصب بالقوالب الخزفية فهي سبائك الألمنيوم والنحاس (خاصة خليطة بيريليوم النحاس)، وخليطة نيكل – تيتانيوم وكوبالت وخلائطه...

3.3.3 أنواع المصبوبات

هنالك ارتباط وثيق ما بين المنتجات التي تنتج بطريقة الصب بالقوالب الخزفية وبين استخدامات هذه الخلائط. على سبيل المثال القطع المعقدة الشكل ذات السماكات القليلة (أقل من 1.6 mm) يمكن صبها باستخدام القوالب الخزفية بتقنية خاصة للحصول على منتجات ذات نعومة عالية للأسطح تفوق 3.2µm.

4.3.3 دقة الأبعاد للمصبوبات

تعتمد في المقام الأول على دقة النموذج، يمكن توقع الانكماش المعدني عادة للمصبوبات ضمن حدود التسامحات التالية:

±0.08 mm (±0.003 in.) on dimensions up to 25 mm (1 in.)

±0.13 mm (±0.005 in.) on dimensions over 25 to 75 mm (1 to 3 in.)

±0.38 mm (±0.015 in.) on dimensions over 75 to 203 mm (3 to 8 in.)

±0.76 mm (±0.030 in.) on dimensions over 203 to 381 mm (8 to 15 in.)

±1.14 mm (±0.045 in.) on dimensions over 381 mm (15 in.)

For dimensions across the parting line, an additional tolerance of ±0.25 to ±0.51 (±0.010 to ±0.020 in.) must be provided

4.3 عمليات الصب بقوالب خزفية

تتعلق عملية الصب بنوعين مختلفين من القوالب الخزفية: قالب كلي من الخزف أو قالب خزفي مركب يشمل مادة تقوية رخيصة وذات مقاومة عالية للحرارة مع واجهة رقيقة نسبياً من الخزف السلوري (الطين).

يعتمد اختيار نوع القالب على حجم المصبوبة وكلفة مادة القالب، معظم المنتجات الصغيرة يتم تصنيعها باستخدام قالب خزفي بالكامل.

1.4.3 النماذج المستخدمة للقوالب الخزفية

إن النماذج المستخدمة في الصب بقوالب خزفية تصنع من الشمع–الخشب – الايبوكسي–الألمنيوم– النحاس–الفولاذ العددي بحيث تعطي دقة الأبعاد المطلوبة.

2.4.3 المواد الرابطة للقوالب الخزفية وكيفية تحضيرها

تتالف المادة الرابطة غالباً من حبيبات خشنة من مادة الشاموت chamotte (aluminous fireclay والتي تتكلس بدرجات حرارة عالية) مع مواد رابطة من سيليكات الصوديوم.

تظهر البنية التحليلية لمادة الشاموت بأن المواد الرابطة والمقاومة تخلط مع بعضها في بوتقة حتى الوصول لدرجة التجانس المطلوبة ثم تكبس أعلى النموذج المجمع.

أما النموذج المجمع يتألف من النموذج الأولي أو النموذج النهائي مغطى بمادة جيدة مناسبة وموضوع فوق لوح النماذج ومحاط بدورق ومثبتات.

قبل التحضير فإن النموذج المجمع يرش أو يغطى بطبقة من الشمع السيلكوني ليسهل عملية نزعه من القالب الخزفي.

ينتشر غاز ثاني أكسيد الكربون في مادة القالب تؤدي لتصلبه. أثناء التحضير يتم تثقيب مادة القالب في عدة مواقع بقطر صغير. وهذا يخلق قنوات يمكن للغاز أن ينفذ منها. أما الغاز الغير معروف السام يمكن أن ينفذ بفراغ الغرفة بعد عملية التصلب. وبعد انطلاق الغاز يتشكل النموذج ثم يزال من القالب.

3.4.3 تحضير الواجهة الخزفية

إن المكون الرئيسي للقوالب ذو الواجهة الخزفية يحتوي على مسحوق الزركون وكلس متعدد كما يحتوي على سيليكات منصهرة وأكسيد المغنزيوم ويمكن استعمال بودرة مقاومة للحرارة، وتظهر البنية التحليلية له ما يلي:

النوع الطيني المثالي يحتوي على خليط مؤلف من 75% زيركون و25% مصهور الكلس، يندمج مع رباط ايثيل السيليكات الثنائي (رابع ايثيل السيلكات حسب د مازن) في نسبة تقريبية حوالي .0.91 kg

يضاف لهذا الخليط مادة التخثر التي تجعل الطين يتخثر خلال فترة زمنية يحدد مقدارها بدقة بحدود 3–4 دقيقة. بعد إضافتها مباشرة تصبح جاهزة لعملية الصب.

يكون صب المواد الطينية فوق النموذج تحت تأثير قوى الجاذبية الأرضية. توضع في حجرة مفرغة من الهواء عندما تكون تفاصيل النموذج واضحة ودقيقة. بينما بحالة القوالب التي لا تحوي على المواد المخثرة فإنه لا بد من تخليتها من الهواء للتخلص من الفقاعات الهوائية.

يغطى النموذج فوراً وقبل الاستعمال بطبقة من خليطة الشمع مع السيلكون الذي يسهل عملية الفصل. تصب المادة الطينية من خلال قنوات الصب حتى الوصول إلى الدقة المطلوبة للنموذج النهائي. تحدث عملية التخثر الكيميائي خلال بضعة دقائق.

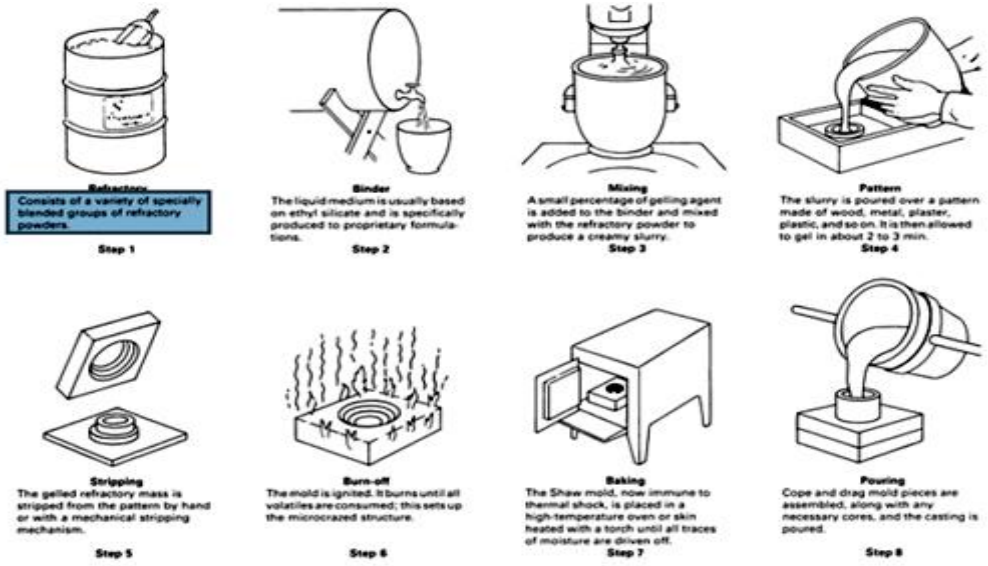
ينزع النموذج من القالب بسهولة لأنه لا يحوي على تيار هوائي وحواف مستقيمة على شكل بروزات أو فتحات. كما يتم النزع في بعض الأحيان بطرق ميكانيكية لضمان النزع من دون التصاق النموذج مع القالب وكذلك لمنع أي تخريب في القالب. لا يسبب إزالة النموذج أي تعقيدات أو توسعات في القوالب. وبعد عملية النزع يصبح القالب جاهز لعملية التجفيف والشي.

4.4.3 اختيار قالب خزفي بالكامل (القوالب غير المدعمة)

القوالب السيراميكية تصنع من الطين المستخدم كواجهة للقوالب السيرامكية المركبة. مراحل التصنيع تظهر في الشكل (3-2).

النموذج مثبت إلى صفيحة مستوية ومحاطة بدورق حيث يتم الصب.

بعد عملية التخثر الكيميائي الكامل. ينزع القالب عن النموذج وعندها يكون القالب جاهز لعملية الشي.



الشكل (2.3): مراحل إعداد القالب الخزفي والصب بهذه القوالب.

5.4.3 الشي واستقرار القالب

بعد التخثر فإن القالب السيراميكي أو الواجهة السيراميكية تعرض لحرارة من لهب مشعل كهربائي أو غازي حتى تتطاير كافة الغازات الموجودة.

أثناء عملية الشي تظهر شقوق مجهرية ببنية النموذج ذات شبكة ثلاثية الأبعاد ناتجة عن التبخر السريع لمادة الكحول في المادة الطينية. إن البنية المجهرية المبعثرة تتميز بجزيئات سيرامكية خشنة مفصولة بشقوق دقيقة أو بفجوات هوائية. وهذه الشقوق تكون صغيرة بما يكفي لمنع المعدن المنصهر من اختراق سطح القالب. وهي أيضاً كبيرة بشكل كافي من أجل السماح لكافة الغازات والهواء بالخروج منها وتكون مفيدة لتسمح بتمدد جزيئات المساحيق الخزفية أثناء صب المعدن. وهذه البنية مفيدة أيضا بحيث تؤدي إلى أسطح مستقرة من حيث الأبعاد والتقليل قدر الإمكان من عمليات الإنهاء بعد عملية الصب.

6.4.3 التحميص

وهي العملية النهائية، حيث تزال كافة البقايا من عملية الاحتراق وتغادر السيلكات الصمغيمة عن طريق حلمهة ايثيل السيليكات لتشكل بدرجة الحرارة العالية رابطة من Sio_2 وهي مستقرة بدرجة حرارة الانصهار 1710 °C. ويزيد عملية التحميص من قدرة القالب على مقاومة التآكل أثناء عملية صب المعدن المنصهر.

للحصول على النتائج المرضية يجب أن يكون التحميص بدرجة حرارة لا تقل عن 480 °Cالتحميص للقوالب المركبة بدرجة حرارة أكثر من 650 °C قد يسبب توسعات مختلفة بين الطبقات الداعمة وواجهة القالب ناتج عن انكماش رابط السيلكات أثناء عملية التحميص. وهذا ممكن أن ينتج تشوه في تجويف القالب. ومع ذلك فإن بعض المسابك تستخدم درجات حرارة ما بين 815–980 مئوية في عملية التحميص ودون أن يؤدي ذلك إلى أية تأثيرات ضارة.

هناك طريقتان تستخدمان في عملية التحميص:

يتم تسخين القالب من الأعلى بواسطة مشعل كهربائي أو غازي، وهذه الطريقة لها فائدة بمعالجة كاملة للواجهة السيراميكية بدون تسخين زائد للمادة الداعمة وهي تقنية سريعة مستخدمة في عمليات الصب التقليدية.

أما الطريقة الأخرى في التحميص فهي تسخين القوالب باستخدام مشعلات غازية أو كهربائية، فرن التحميص له فائدة في إزالة كامل الرطوبة بالمادة الداعمة وكذلك من واجهة القالب، كما يقلل من مخاطر وجود الرطوبة في المادة الداعمة والواجهة الخزفية بعد عملية الصب وهذه الرطوبة يمكن أن تنتج عيوب سطحية أثناء عملية الصب.

تستغرق عملية التحميص ما بين 4–6 ساعات في درجة الحرارة السابقة. وبعد ذلك يبرد القالب ليسمح بعملية صب المعدن.

7.4.3 الصب

يتم فحص القالب قبل الصب وتنظيفه، وتكون درجة حرارة القالب في بداية عملية الصب حوالي 40–540 درجة مئوية وذلك اعتماداً على أشكال المصبوبات ونوعية الخلائط المصبوبة.

يتم تجميع الريزك العلوي والريزك السفلي وتوضع طبقة الاسمنت على الخط الفاصل مابين الريزكين لتؤمن عملية الإطباق الجيد.

يتم تعزيز القوالب الأثقل بروابط الفولاذ المدعمة حول محيط القالب مما يساعد على معالجة القالب بمنع تسرب المعدن من خلال شقوق القالب أثناء عملية الصب.

يوضع القمع مع قناة الصب بالريزك العلوي.

يثبت القالب بشكل جيد ويتم صب المعدن مباشرة بعد إزالته من فرن الصهر عن طريق بوتقة خاصة.

يجب أن يتم الصب بشكل سريع جداً لكيلا يبرد المعدن ولتجنب الفجوات الغازية والفقاعات.

بعد صب المعدن يتم رش مادة ذات خواص حرارية Exothermic Powder على قمع الصب للمحافظة على بقاء المعدن أكبر فترة بحالة سيولة لمنع ظهور تمزق أو تشققات أثناء عملية الانكماش.[27] .

5.3 طريقة الشمع المفقود

إن مواد النموذج لهذه الطريقة من الصب الدقيق تصنع من الشمع واللدائن. الشموع هي أكثر شيوعا. وكثيرا ما تستخدم أنماط البلاستيك عادة البوليسترين جنبا إلى جنب مع قوالب سيراميكية رقيقة نسبياً في عملية تعرف باسم CS.

الشمع هو المادة الأساسية المفضلة لمعظم نماذج الصب الدقيق، ولكن نادرا ما تكون هذه الخلطات تحتوي على الشمع فقط. عادة يتم تعديل الشموع لتحسين خصائصها من خلال إضافة مواد مثل الراتنجات والبلاستيك والحشو، والمواد البلاستيكية، والمواد المضادة للاكسدة، والأصباغ.

نوع الشموع الأكثر استخداماً في نماذج الصب هي البارافين والشموع ميكروكريستالين. وغالبا ما يستخدم هذين النوعين بسبب خصائصهم التي تميل إلى أن تكون متكاملة. شمع البارافين متاح في درجات رقابة مشددة مع نقاط انصهار متفاوتة بنسبة 2.8 ° C (5 ° F)مع زيادة؛ نقطة انصهار تتراوح 68–52درجة مئوية (126–156 ° F) هي الأكثر شيوعاً. انخفاض تكلفة هذه الشموع، إلى جانب توفرها بشكل جاهز، خيار مناسب لمختلف الدرجات، اللزوجه عالية، وانخفاض اللزوجة أثناء الذوبان، يجعلها تستخدم على نطاق واسع.

1.5.3 تصنيع النموذج الشمعي

نماذج الصب الدقيق تكون مصنوعة بطريقة حقن المواد في قوالب معدنية لها نفس الشكل المطلوب. يتم قذف الشمع بدرجات حرارة تتراوح عادة ما بين 43–77 درجة مئوية مع ضغوط تتراوح 10.3 MPA– KPA275عالية، او حقن الشمع بالحالة الصلبة يكون عند درجة حرارة منخفضة وضغوط عالية وعلى عكسها حالة الحقن السائلة.

2.5.3 تجميع النماذج الشمعية

يتم تجميع كافة هذه النماذج ضمن شجرة شمعية لتضمن الانتاج الكمي وتلصق بشكل جيد حيث يتم تجميعها بسهولة عن طريق لحام الشمع باستخدام الحديد الساخن أو لهب صغير من الغاز وحديثا تم اللحام بواسطة الليزر.

3.5.3 التغطيس

يتم تغطيس هذه الشجرة المعلق عليها هذه النماج بملاط سيراميكي لاكثر من مرة حيث بعدها تذهب ليرش عليها حبيبات خاصة ثم تعود وتغطس لاكثر من مرة.عادة يتم التغطيس بوسط من الخلاء وذلك للتخلص من الفقاعات الهوائية كما أن هذا الملاط السيراميكي يحوي على مسحوق صهر يمنع المعدن من اختراق هذا الملاط السيراميكي يتم التغطيس مع الحركة الدائرية لتؤمن تجانس وتشكل هذه الطبقة يدوياً أو بشكل مؤتمت كما هو الحال في معظم الشركات.

4.5.3 الرش بحبيبات

بعد التغطيس بملاط سيراميكي يتم رش هذه الشجرة الشمعية بحبيبات خاصة لاكثر من مرة لضمان التصاق هذا الملاط على النموذج الشمعي والحصول على طبقة قشرية بسماكة تتراوح من 1–2 سم

5.5.3 إزالة الشمع

بعد تكرار عملية التغطيس والرش لهذه الشجرة الشمعية يتم ادخالها لحجرة خاصة تؤمن حرارة ورطوبة جيدة لهذه النماذج الشمعية حيث يتم تبخير الشمع وتشكل الطبقة القشرية بنفس شكل النموذج الشمعي.

6.5.3 الحرق

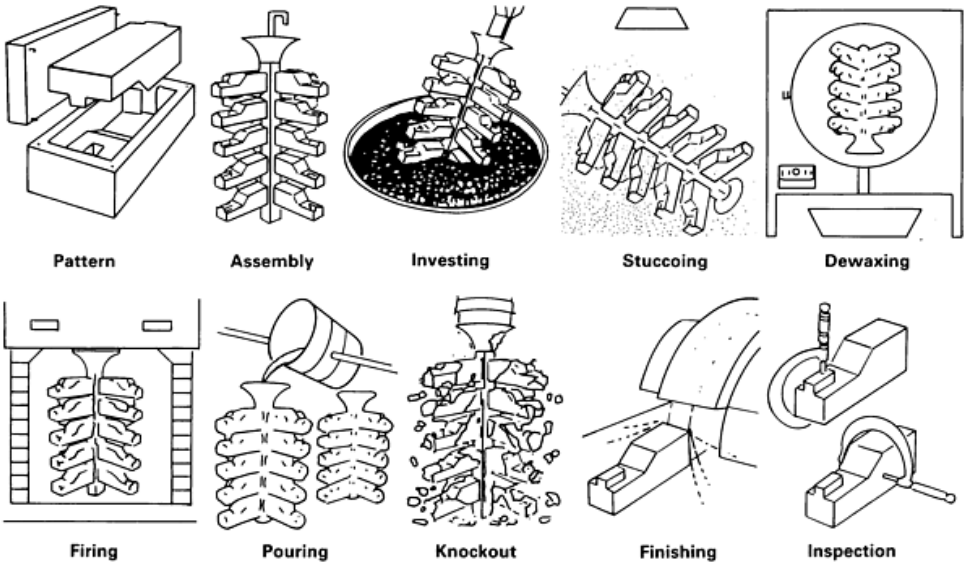
في هذه الطريقة يتم تسخين هذه القشرة السيراميكية لدرجة حرارة مناسبة لازالة الرطوبة المتبقية ولصب المعدن للحصول على منتج نهائي. درجات الحرارة التي تسخن فيها طبقة الملاط السيراميكي تختلف على نطاق واسع اعتمادا على تكوين شكل المنتج جزء والخلائط التي سوف تصب. درجات الحرارة المنتشرة شيوعا هي 540–150درجة مئوية لخلائط الألومنيوم، 650–425 °C بالنسبة للعديد من سبائك النحاس القاعدي، و–870 1095 °C بالنسبة لأنواع الفولاذ والخلائط الخارقة.

7 .5.3الصب

هنا يكون المعدن المراد صبه قد صهر بأفران خاصة وهي أفران الصهر التحريضية لدرجة الحرارة المطلوبة بجو مخلخل لخلائط الفولاذ والكوبالت وغيرها كما أن هذا الفرن له القدرة على صهر قيم معدن تتروح ما بين (7.7–340 kg) وتكون القشرة السيراميكة مكونة بالشكل المطلوب ومسخنة لاستقبال المعدن المنصهر الذي ينقل ببوتقة خاصة مصنوعة من الومينا، زركونيا، مغنيزيا.ويتم صب المعدن المطلوب ضمن هذه الشجرة الشمعية.

8.5.3 الضرب للشجرة الشمعية

وهنا يتم تكسير هذه الشجرة الشمعية بالشكل اللائق حتى يتم اخراج كافة المنتجات المصبوبة من المعدن المطلوب مع ملاحظة معرفة المكان المناسب للضرب. يليها عملية التنظيف والإنهاء وكذلك المعالجة الحرارية بعدها الفحص [27]



الشكل (3.3): مراحل تصنيع المفصل بطريقة الشمع المفقود.

1.6.3 الأفران المستخدمة في الصهر

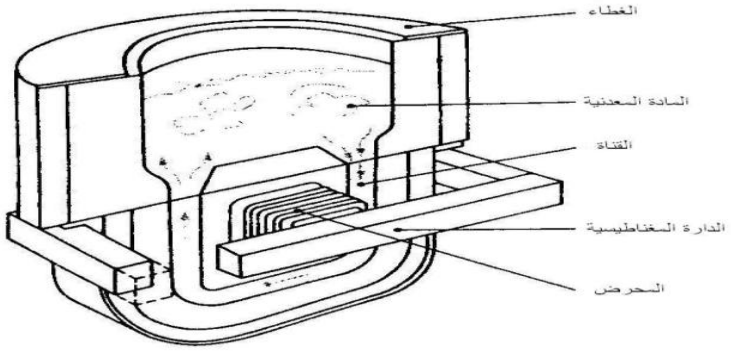
يتم صهر المادة داخل الفرن التحريضي، باستخدام بوتقة خاصة بالصهر أو قناة صهر، يتكون الفرن أساساً من بوتقة محاطة بالمحرض المبرد عادة بالماء. التسخين هنا مباشر لكن عموماً الترابط المغناطيسي بين المحرض والمعدن غير جيد نظراً للمسافة بينهما، كما أن تردد العمل المستخدم قد يكون نفس تردد الشبكة $50\ Hz$ أو أكثر. وتستخدم أيضا في مخابر التعويضات السنية.

هنالك أيضاً الأفران التحريضية للتسخين غير المباشر، والشكل يبين الفرن ذي القناة والذي يحقق هذه الغاية، يتكون من مستودع يحيط بالذراع المركزي للدارة المغناطيسية، القناة مع المادة المراد صهرها تعتبر الجزء الثانوي للمحول[28].

7.3 كيفية الصب في خليطتنا المستخدمة لتصنيع الأطراف الصناعية

يتم الصهر في فرن تحريضي بنقاوة عالية بجو من الأرغون ويتم الإحماء المسبق للقالب في الفرن العالي الاسطواني. درجة حرارة سكب المعدن تكون ضمن المجال الحراري (1550–1600) ويتم الإحماء المسبق للقالب الى درجة 900–950 ثم يتم صب الخليطة ضمن بواتق خاصة مصنوعة من الالومينا أو الزكونيا أو مغنيزيا تتحمل درجات

حرارة عالية.حيث يتم سكب المصهور مباشرة في القالب المسبق الإحماء. ويترك المصبوب ليبرد بشكل حر ضمن الفرن المطفأ. (مأخوذة من مقالة)



الشكل (4.3): الفرن التحريضي ذي القناة.

1.7.3مراحل التصلب للخليطة والبنية المجهرية

إن الخلائط ذات الأساس الكوبالتي Co والخلائط ذات الأساس التيتانيوم Ti تكون مستخدمة في صناعة الأطراف الصناعية حديثاً بسبب ثباتيتها الميكانيكية وتلاؤمها مع الحياة البشرية. إن هذه الأطراف الصناعية تكون مصنعة من خلال العمليات الميكانيكية أو ميتالوروجيا المساحيق أو عمليات الصب باستخدام النموذج الشمعي المفقود المشار إليها سابقاً.

تكون الخلائط ذات الأساس الكوبالتي وفقاً لـ ASTM F75 مستخدمة من أجل الأطرف الصناعية المزروعة بجسم الإنسان من خلال الصب Investment Casting يبين الشكل (4–5) البنية المجهرية لهذه الخلائط.

نلاحظ أن الصب لهذه الخليطة يكون ضمن شروط معينة وتكون بنية الخليطة مكونة ممايلي:

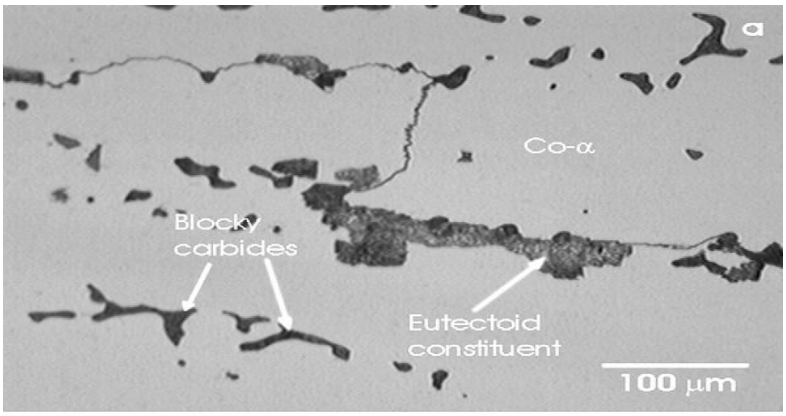
الكوبالت على هيئة أرضية شجيرية لهياكل مكعبات متمركزة وجهيا FCC.

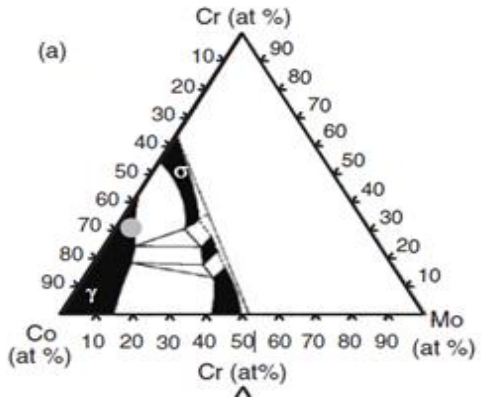
كربيدات الطور الثاني $M_{23}\ C_6$هي معزولة عن حدود الحبيبات على هيئة صفائح وكتل ممتلئة، إن هذه الكربيدات هي الأهم حيث تعطي المقاومة لهذه الخليطة كما أن حجم وتوزع وتشكيل هذه الكربيدات يلعب دور هام على الخواص الميكانيكية.

بشكل عام فإن البنية المجهرية للخليطة تكون على شكل أرضية شجيرية موجودة في الطور الثاني مثل كربيدات $M_{23}C_6$ تترسب على حدود الحبيبية وفي المناطق الحبيبات

interdendriticالمتاحمة للارضية الشجيرية كما أن هذه الرواسب(الكربيدات المترسبة) هي التي تؤدي الى متانة هذه الخلائط وقد لوحظ وجود أطوار أخرى مرتبطة بمعدلات التبريد وعمليات التصنيع المختلفة إضافة الى الوسط المحيط.

يبين الشكل (3. 5) البنية المجهرية ومخطط التوزان الحراري للمصبوبة. الطور الأبيض في التصوير الميكروي يتماثل مع طور Co–α. يظهر تجمع الكربيد صبغة رمادية بيضاء وفي الحدود الحبيبية تظهر العناصر الصفائحية مع صبغة رمادية داكنة. وفي البنية المجهرية المكونة مرمز لها كطبقات رقيقة من الكربيد يمكن ملاحظتها عند حدود الحبيبات. عناصر التصفح تم صباغتها يدويا لكي يتم تمييزها عن الكربيد المتجمع.





الشكل (3. 5): البنية المجهرية ومخطط التوازن الحراري لخلائط F75.

كما أظهرت الدراسة في الخلائط المقساة خلال التصلب الموجه أن التصلب لهذه الخلائط ينتهي مع رواسب أطوار سيغما عند درجة حوالي 1220 درجة مئوية والذي بدوره يتحول إلى كربيدات $M_{23}C_6$ عند درجة حرارة أقل من 1150 مئوية.

يمكن ملاحظة عناصر التصفيح على الحدود الحبيبية للخلائط. إن عناصر التصفيح هذه تكون مشكلة من خلال صفائح متداخلة من كربيد $M_{23}C_6$ وأطوار أخرى لم يتم تعريفها بوضوح حتى الآن، من المحتمل أن تكون أطوار σ.

بينت الدراسات أن للكربيد تأثير هام على أداء التآكل ومقاومة الاهتراء وفقاً لخلائط ASTM F75 حيث بينت الدراسة أن الجزء الحجمي Volume fraction للكربيد وانتشاره هي أمور مهمة لمعرفة معدل الاهتراء.

الملاحظ أن المصبوبات لديها مقاومة اهتراء الاحتكاك (الكشط) عالية، عند مقارنتها مع مواد ذات معالجة حرارية واحدة أو متعددة. كما أن المحتوى الكربوني له تأثير على مقاومة التآكل لـ ASTM F75 (Co–Cr–Mo Alloy) المستخدمة في تصنيع الأطراف الصناعية المزروعة بجسم الإنسان يعطي نتائج لمنتجات ذات معدل تآكل أقل.

كما بينت دراسات حديثة بأن رواسب الحدود الحبيبية (العنصر الأساسي للتصفيح) هي الميزة الأكثر تحديداً للبنية الميكروية. وذلك لأنه يمكن إزالتها من خلال المعالجة الحرارية إضافة إلى ما تتميز به من متانة الشد والمطيلية.

كما أن نسبة الجزء الحجمي الكربيدي في الصب يمكن أن يعتمد على تركيب الخليطة وعلى حالات وسرع التبريد أثناء تصلب الخليطة.[29]

8.3 الطرق الحديثة للتصنيع

هنالك طرق للحصول على منتجات أكثر دقة وبوقت أقل من الطرق التقليدية القديمة لذلك أتت ما يسمى طريق النمذجة السريعة ومكنات CNC.

حيث تعتمد هذه الطرق على أساس الرسم على الحاسب على برامج الرسم الهندسي سواء كان على برامج الأوتوكاد أو Mechanical أو Solid work أو حتى Inventor..... ثم يتم التخريج على برامج أخرى مثل Serfcam أو أي برنامج تخريجي آخر ومنها لآلة الـ CNC المبرمجة أو آلة Rapid prototyping.

بعض من مميزات الطرق الحديثة:

ماكينة التحكم الرقمي أكثر فاعليه من أي طريقة اخرى.

هذه الطرق المزودة بالنظام لا تعتمد اعتماداً كلياً على مهارات وخبرات الفني مع ثبات جودة المنتج، هذا لأنها تتطلب فني أو عامل دقيق محافظ يفكر قبل فعل شيء لأن مهمته محدودة وهي تثبيت القطعة وفك القطعة أو تجهيز البرنامج، ملاحظه الماكينة ومن الممكن أن يكون له معرفه بالبرامج.

أكثر دقه من أي طريقة أخرى وتُتيح لفرصه التحكم العالية بالقطعة.

توفر الوقت المستهلك في أي طريقة أخرى.

القدرة على تكرار الأجزاء المنتجة بنفس الدقة لجميع الأجزاء.

تقليل المثبتات المستخدمة في عملية الإنتاج قدر الإمكان.

إلغاء الأجزاء المنتجة التي يوجد بها عيوب إنتاج بالمقارنة بالطرق القديمة التقليدية القدرة في التحكم.

سهولة عملية التنقل بين الأشكال المختلفة من المنتجات.

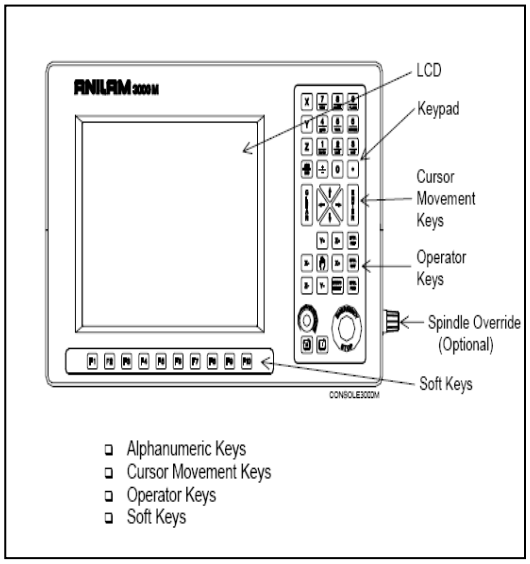
1.8.3 التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسب

وهو البرنامج الحاسوبي التجاري الذي يصنع Master CAMبمساعدة حزم اعتمادا على التصميم بمساعدة الحاسب CAD والتي لها صلة مع التصنيع بمساعدة الحاسب CAM في الآلات المبرمجة الحديثة مع وجود البيئة المناسبة من الترميز (G Cod) بعد تلقي الرسمة المناسبة المرسومة من قبل أحد برامج الرسم المشهورة كما ببرنامج اتوكاد أو ميكانيكل أو أية برنامج آخر.

وهذه البرامج توفر القدرة الكاملة لإنتاج هذا المفصل بعد الرسم التصميمي ثنائي أو ثلاثي الأبعاد وخلق رموز للإنتاج المبرمج ومنها لأجهزة القطع على الماكينات المبرمجة الحديثة أو من خلال مكنات النمذجة الحديثة.

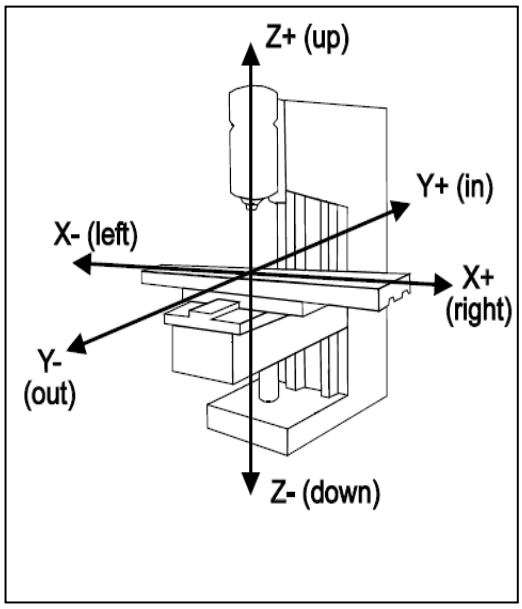
2.8.3 ما هي الآلات المبرمجة الحديثة

هي آلات التحكم الرقمي التي تعتمد على الحاسب بدلاً من العمل اليدوي. يكاد لا يخلو أي متجر أو معمل تصنيع من مثل هذه الآلات وتلعب دوراً هاما في الصناعات التحويلية لما تتميز به من المرونة والدقة في الأبعاد للمنتج النهائي. يمكن للمبرمجين أو أي شخص له علاقة بالتكنولوجيا المتطورة العمل على مثل هذه الآلات. شكل (6.3).



الشكل (6.3): شاشة التحكم بآلة التحكم الرقمي

الآلة التي تستخدم لتصنيع مركبة الفخد السابقة هي (هورون 15) الشكل (7.3) من نوع 5 محاور وهذا النوع يستخدم للقطع الدقيقة والمعقدة. تعمل بحوالي 15000 دورة بالدقيقة كما أن استطاعتها حوالي 15 كيلو واط وأقصى عزم دوران لها 130 نيوتن على المتر وتزيل رقائق بمعدل 330 سم مكعب بالدقيقة لخمس أوجه متتالية.



الشكل (7.3): **آلة هورون 15.**

3 .8.3 ماهيو نظام G Cod

عندما يقوم المصمم برسم الشكل المطلوب حتى يتم تنفيذه ضمن هذه الآلات لابد من فهم عملية التصنيع وفقاً لتعليمات معينة ولخطوات فردية لنحصل على المنتج النهائي ويتم تصدير هذه التعليمات إلى وحدة التحكم في شكل رموز أبجدية رقمية. وهناك تحول هذه التعليمات إلى أوامر لأداة القطع لتبدأ بعملها وفقاً للمسار الصحيح[30] .

الجدول (1.3): **تعريف بأوامر التشغيل في الآلات المبرمجة.**

Code	Description
G00	Position in rapid
G01	Liner interpolation
G02	Circular interpolation (CW)
G03	Circular interpolation (CCW)
G04	Dwell
G17	XY plane
G18	XZ plane
G19	YZplane
G20/G70	Metric units
G21/G71	Metric units
G28	Automatic return to reference point
G29	Automatic return from reference point
G40	Cutter compensation cancel
G41	Cutter compensation left
G42	Cutter compensation right

G43	Tool length compensation (Plus)
G44	Tool length compensation (Minus)
G49	Tool length compensation cancel
G54-G59	Workpiece coordinate settings
G73	High-speed peck drilling
G80	Cancel canned cyles
G81	Drilling cycle
G82	Counter boring cycle
G83	Deep hole drilling cycle
G90	Absolute positioning
G91	Incremental positioning
G92	Reposition origin point
G98	Set initial plane default
G99	Return to retract (rapid) plane

9.3 النمذجة السريعة والتصنيع السريع

النمذجة السريعة: هي الاسم الأكثر شيوعاً المعطى إلى مجموعة كبيرة من التقنيات التي تستعمل لصناعة الأجسام المادية والحصول على نموذج حقيقي ثلاثي الأبعاد مباشرة انطلاقاً من تصميم حاسوبي CAD وذلك عن طريق تقسيم الشكل إلى طبقات وبناء هذه الطبقات انطلاقاً من الطبقة القاعدية. أي أن هذه الطرق فريدة في أنها تضيف وتربط المواد على شكل طبقات رقيقة جداً لتشكيل الأجسام.

إن علم الهندسة الطبية قد حقق تقدماً ملحوظاً من حيث الرعاية الطبية للمرضى وهذا السبب يعود إلى التقنيات الحديثة المستخدمة كنظم التصوير المتطورة وآلات التحكم

الرقمي وكذلك آلات النمذجة السريعة. وهذه التقنيات مكنت المستخدمين من زيادة الإنتاجية وتقليل الفترة الزمنية للتصنيع والدقة العالية بالإنتاج.

لقد تم تطوير عملية تصنيع مركبات المفصل الصناعي اعتمادا على التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسب والنمذجة السريعة التي هي نوع من أنواع التطور المستمر التي ابتكرت من التصنيع بمساعدة الحاسب (الثلاثي الأبعاد).

تطورت عملية النمذجة السريعة منذ أواخر عام 1970 وأوائل عام 1980 حيث وفرت هذه الطريقة من التكلفة بشكل خيالي كما أنها قللت من الفترة الزمنية اللازمة لعملية الإنتاج. حيث أن النموذج الوظيفي ينتج مباشرة بشكل ثلاثي الأبعاد عن طريق هذه العملية. وتكون المواد المستخدمة هي من الريزين السائل – السيراميك – الشمع الدقيق – بعض من مسحوق المواد الملبدة وغيرها.

إن تقنية عمل وترسيب الطبقات فوق بعضها البعض تتضمن عمل طبقة سائلة معالجة عن طريق بثق البلاستيك المصهور ومن ثم ترسيب الطبقة الداعمة على المسحوق، تحريك الليزر أو الحزم الالكترونية.

1.9.3 مقارنة النمذجة السريعة مع طرق الصناعة التقليدية

يمكن تشكيل الأجسام بأيّ صعوبة أو تعقيد هندسي بدون الحاجة لإعداد الآلة المتقن أو عملية التجميع النهائي.

أنظمة النمذجة السريعة تحوّل بناء الأجسام المعقّدة إلى عملية بسيطة وسهلة القيادة، وسريعة نسبياً.

دقة النمذجة السريعة ليست عموما جيّدة مثل CNC ولكنها كافية لتشكيلة واسعة من التطبيقات المطلوبة.

إنّ المواد المستعملة في النمذجة السريعة غير محدودة ومعتمدة على الطريقة المختارة.

2.9.3 فوائد النمذجة السريعة

الحصول على نموذج حقيقي نستطيع من خلاله مطابقة الشكل مع المطلوب والتحقق من الأخطاء التصميمية.

معرفة مدى ملاءمة العنصر لبقية العناصر.

الدراسات التسويقية ومعرفة رأي الزبائن في المنتج قبل بداية تصنيعه.

إجراء الاختبارات التصميمية على المنتج.

3.9.3 الحالات التي نستخدم فيها النمذجة

الحصول على نموذج لتصميم حاسوبي.

إذا كان الشكل معقد جداً بحيث لا يمكن إنتاجه بطرق أخرى.

4.9.3 المواد المستعملة في النمذجة السريعة

أنواع البلاستيك العديدة، السيراميك، المعادن التي تتراوح من الفولاذ المقاوم للصدأ إلى التيتانيوم، كوبالت وكروم وخلائط معدنية مختلفة والخشب الشبيه بالورق المتوفر .[31]

5.9.3 تصميم مفصل الركبة بطريقة النمذجة السريعة

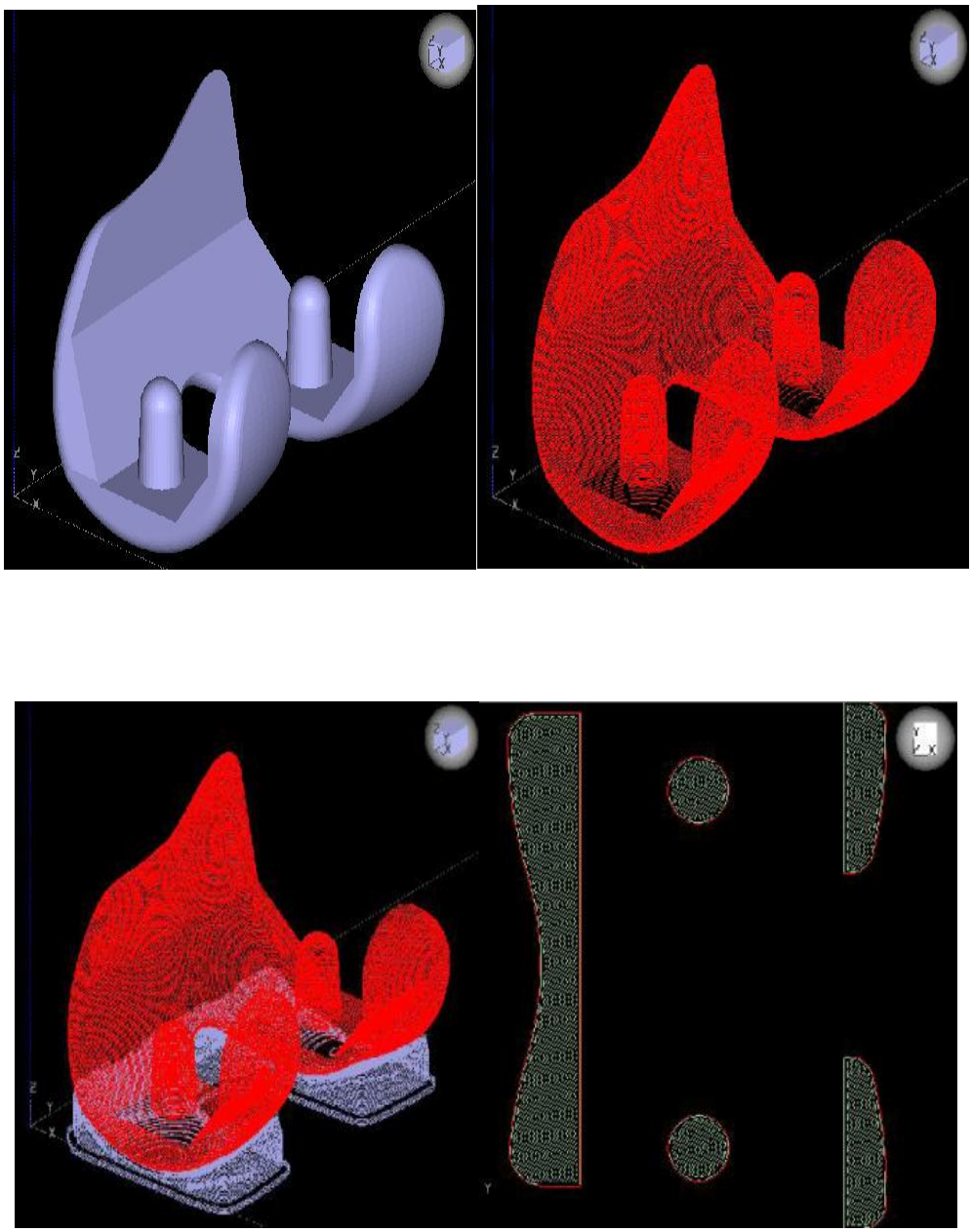
يتم تصميم مركبات الركبة بهذه الطريقة وتصنيعها كعائلة واحدة بمقاسات مختلفة ويقوم الجراح باختيار المقياس المناسب للمريض.

لتطوير نجاح عملية الزرع للمفصل داخل جسم المريض فانه على الجراحين والمهندسين تحديد المتطلبات الأساسية ومعايير التصميم باستخدام الأشعة السينية والرنين المغناطيسي والتصوير الطبوغرافية. والهدف الاساسي من تصميم مركبة فخذ لمفصل ركبة صناعي هو إيجاد توافقية ما بين المنتج والتصميم والصناعة والزرع ضمن جسم الإنسان.كما إن أول خطوة بعملية التصميم هو الرسم على الحاسب وقد أوردناها سابقاً.

1.5.9.3النمذجة السريعة لمركبة الفخذ لمفصل الركبة

تبدأ عملية النمذجة السريعة من الرسمة المصممة على الحاسب والتي تعد هي مفتاح النجاح لهذه الطريقة. النموذج الصلب الأكثر انتشارا المصمم عن طريق الحاسب يتطلب معالج يقوم بتحويل الرسومات إلى لغة يفهمها الجهاز للحصول على ملفات قابلة للطباعة عبر طابعة ثلاثية الأبعاد من خلال جهاز النمذجة السريعة.

إن درجة الثبات لسطوح النموذج يجب أن تكون محددة مسبقا من خلال الرسوم التصميمية على الحاسب لهذا النموذج. وهذه الخطوة تؤكد أن بيانات الدخل للرسم التصميمي المنتقلة إلى جهاز النمذجة السريع تكون لسطح المنتج كخطوط فسيفسائية وتظهر على هيئة مثلثات كثيرة وصغيرة. بعد خلق هذه الطبقات فان الخطوة التي تليها هي محاكاة عملية بناء النموذج وفقا لبرنامج (Catalyst) وهو برنامج المحاكاة الأوتوماتيكي يقوم بتشريح ويخلق مسارات العمل. الشكل (8.3) [32]

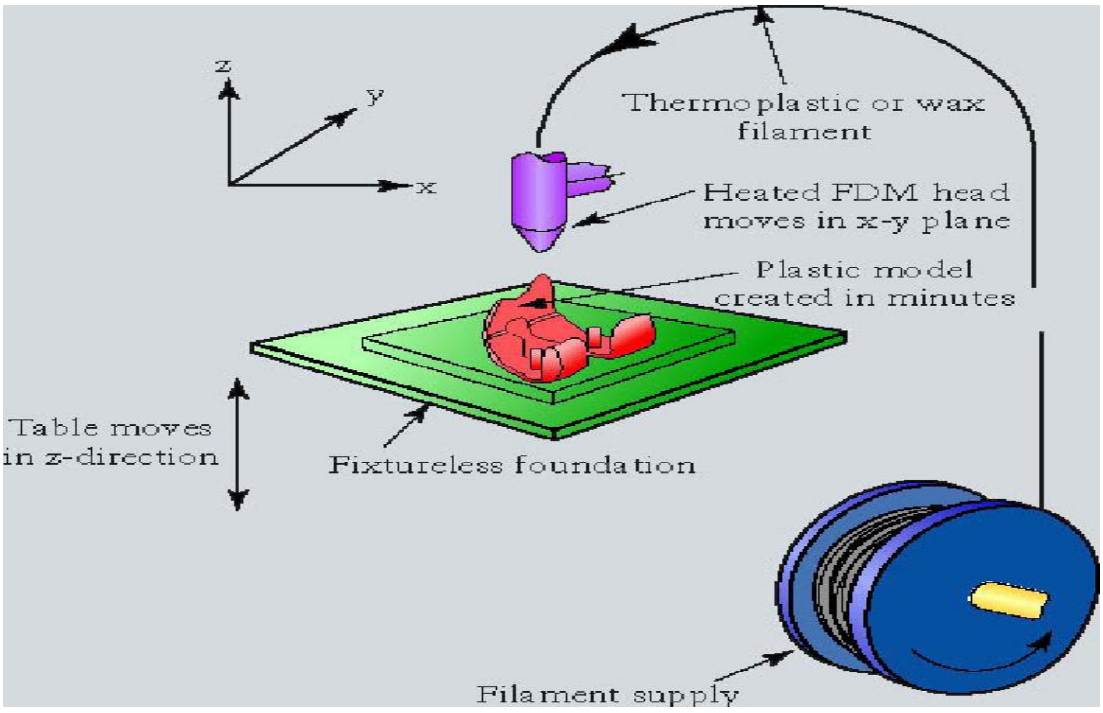


الشكل (8.3): النمذجة السريعة لمركبة الفخذ لمفصل الركبة.

2.5.9.3نموذج المصهور المترسب FDM

بهذه الطريقة يتم بناء طبقة وراء طبقة حيث أن رأس البثق يتحرك باتجاهين رئيسين فوق طاولة العمل. كما أن الطاولة تتحرك للأعلى وللأسفل حسب الحاجة. حيث أن السلك الملدن بالحرارة يبدأ بالبثق من فتحة صغيرة موجودة في رأس البثق. الطبقة البدائية تتشكل على الرغوة القاعدية عن طريق بثقها من السلك بشكل مستمر وعندها يكون رأس البثق محدد بشكل مسبق طريق عمله. بعد أول طبقة فإن الطاولة تتحرك للأسفل والطبقة التي تليها تتشكل وهكذا يتم إنشاء بقية أجزاء النموذج.

ويتم إزالة بقية الهياكل الداعمة بحلها بقاعدة مائية أو كسرها باليد. وعندها يكون النموذج المتشكل عن طريق النمذجة السريعة قد انتهى ويرسل إلى الجراح لفحصه والتأكد من سلامته لتركيبه بجسم المريض.[32]

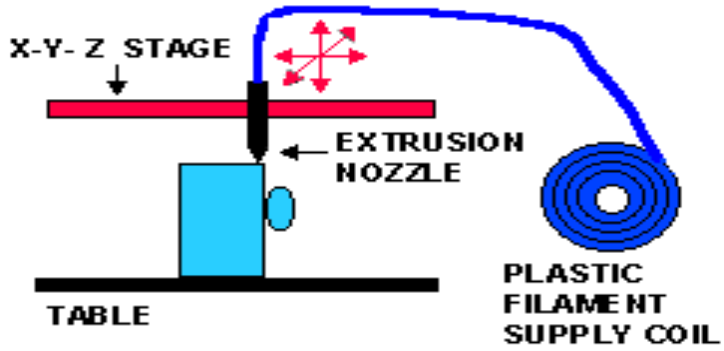


الشكل (9.3) نموذج مركبة الفخذ بطريقةFDM

FDM ثاني تقنية نمذجة سريعة واسعة الاستعمال بعد stereolithography.

خيط (سلك رفيع) بلاستيكي يفك من ملف ويزود المادة إلى فوهة بثق. إنّ الفوهة تسخّن لتذويب البلاستيك ولها آلية تسمح لتدفق البلاستيك المذاب بالانقطاع والاستمرار. إنّ

الفوهة مركبة إلى قاعدة ميكانيكية التي يمكنها أن تتحرّك في كلا الاتجاهين الأفقي والعمودي.حالما تتحرّك الفوهة فوق الطاولة في الهندسة المستوية المطلوبة، ترسب طبقة رقيقة من البلاستيك المقذوف لتشكيل كلّ طبقة. يتصلّب البلاستيك فوراً بعد أن يتدفّق من الفوهة ويلتصق إلى الطبقة الأسفل منه. كامل النظام محتوى ضمن حجرة محتفظة بدرجة حرارة تحت درجة انصهار البلاستيك تماماً.كما هو موضح بالشكل (10.3)



الشكل (10.3): مبدأ FDM.

خصائص (FDM):

إنّ الطريقة مناسبة للمكتب وهادئة. FDM سريعة جداً للأجزاء الصغيرة بأبعاد بضعة إنشات مكعّبة، أو تلك التي لها عوامل الشكل الرقيقة الطويلة. وFDM يمكن أن تكون بطيئة جداً للأجزاء ذات المقاطع العرضية العريضة، على أية حال. إنهاء الأجزاء المنتجة بهذه الطريقة حسّنت كثيرا على مرّ السنين، لكن ليست تماما بمعدل stereolithography. على أية حال، يعرض FDM قوّة أعظم ومدى أوسع من المواد. [31]

3.5.9.3 الطباعة الثلاثية الأبعاد للمعادن

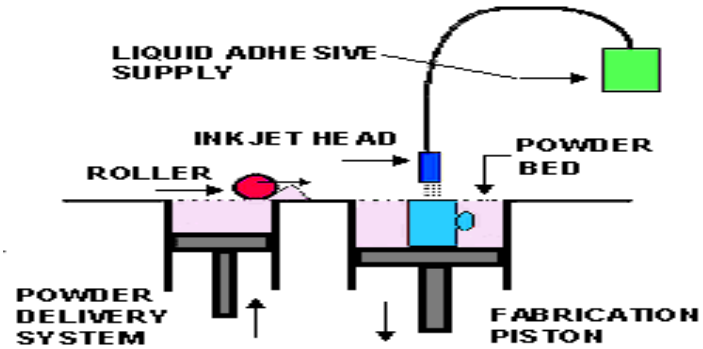
وهي تستعمل في أغلب الأحيان في عملية التصنيع المباشر بالإضافة إلى النمذجة السريعة.تبدأ العملية بإيداع طبقة من مسحوق مادّة الجسم في أعلى حجرة التصنيع. لإنجاز هذا، كمية مدروسة من المسحوق تخرج من حجرة تزويد مماثلة بتحريك المكبس إلى الأعلى بشكل تزايدي. الأسطوانة عندئذ توزّع وتضغط المسحوق في أعلى حجرة التصنيع. بعد ذلك الرأس النافث المتعدد القنوات يودع سائل لاصق في نمط ثنائي الأبعاد

على طبقة المسحوق الذي يصبح ملتحم في المناطق التي أودع فيها اللاصق، لتشكيل طبقة الجسم.

حالما تكتمل الطبقة، يتحرّك مكبس التصنيع إلى أسفل بسمك طبقة، والعملية متكرّرة حتى يتشكل كامل الجسم داخل المسحوق الزائد. بعد الإكمال الجسم يرفع المسحوق الإضافي حيث يتخلّص منه بفرشاة تاركاً الجسم. لا مساند خارجية مطلوبة أثناء التصنيع بما أن المسحوق الزائد يدعم الأجزاء المتدلية.

خصائص الطباعة ثلاثية الأبعاد:

تقدم الطباعة ثلاثية الأبعاد ميزات التصنيع السريعة وكلفة المواد المنخفضة. هي من المحتمل الأسرع من بين كلّ طرق RP. يمكن الحصول على ألوان. شكل (11.3)[31]



الشكل (11.3): الطباعة ثلاثية الأبعاد.

SLS مسحوق البلاستيك الحراري ينشر من قبل أسطوانة على سطح أسطوانة البناء. المكبس في اسطوانة البناء يتحرك إلى أسفل سمك طبقة جسم واحد لإسكان الطبقة الجديدة للمسحوق. إنّ نظام تسليم المسحوق هو بتحرّك مكبس التسليم صاعداً بشكل تزايدي لتجهيز كمية مدروسة من المسحوق لكلّ طبقة.

يمرر شعاع الليزر بعدئذ على سطح هذا المسحوق المضغوط بإحكام للتذويبه وتلبيده إنتقائي ويربطه لتشكيل طبقة الجسم. إنّ حجرة التصنيع تبقى في درجة حرارة تحت درجة

انصهار المسحوق تماما وبذلك تسخن من حاجة الليزر لرفع درجة الحرارة بعض الشّيء فقط لتسبّب التكلس هذا يسرّع العملية كثيراً. إنّ العملية متكرّرة حتى يصنّع كامل الجسم.
بعد تشكيل الجسم بالكامل، المكبس يرتفع لرفع الجسم. المسحوق الفائض يتخلّص منه ببساطة بالفرشاة وإنهاء يدوي نهائي قد ينفّذ. لا مساند مطلوبة بهذه الطريقة بما أن الأجزاء المتدلية والفجوات مدعومة من قبل المسحوق الصلب المتبقي. وقد يأخذ وقت تبريد طويل قبل إمكانية إزالة الجزء من المكنة. الأجزاء الكبيرة بالأقسام خصائص (SLS) الرقيقة قد تتطلّب بقدر يومان من وقت تبريد.
النظام أكثر تعقيدا ميكانيكيا من stereolithography وأكثر التقنيات الأخرى. أي تشكيلة مواد بلاستيك حراري مثل النايلون، الزجاج المملوء بالنايلون، و polystyrene متوفر. الإنهاء والدقة السطحيّة ليسا تماما جيّدين كما في stereolithography، لكن الخواص المادية يمكن أن تكون قريبة جداً إلى خواص المواد الأساسية. الطريقة أيضاً مدّدت لتزويد التصنيع مباشرة من الأجسام المعدنية والخزفية والأدوات.

10.3 طرق أكثر حداثةً حزمة الكترون الصهر *Electron Beam Melting:*

طرق التصنيع المضافة AM هي من الطرق الحديثة وهي الأداة القوية التي توفر القدرة التنافسية اللازمة للشركات الاوروبية وهذه التقنية متوفرة من سنوات عديدة. في البداية كانت هذه الطرق تصنع النماذج الأولية فقط وهي نماذج من البولميرات المنخفضة الجودة والمقاومة، لكن في العقد الأخير شهدت تطوراً هاما مع النمو المستمر من المبيعات لمثل هذه المنتجات النماذج السريعة. لقد قادت مزايا التصنيع الحر العديد من التطورات في مبادئ العمل والمواد اللازمة للتصنيع، حيث تم تطوير تقينات جديدة لتصنيع المواد الصعبة وادخال مصادر طاقة جديدة من أجل تصنيع الخلائط المعدينة ذات درجة الانصهار العالية مثل خلائط التيتانيوم وخلائط كوبالت – كروم. هنالك العديد من المصطلحات التي استخدمت مثلاً التصنيع الحر الصلب (FFF) والطبقة المضافة التحولية (ALM) والطباعة الثلاثية الأبعاد حيث لم تكن واضحة للبشر أن الطباعة الثلاثية الأبعاد هي آلة وليست مجرد طابعة ورقية. وحسب (ASTM F42) فقد وضعت

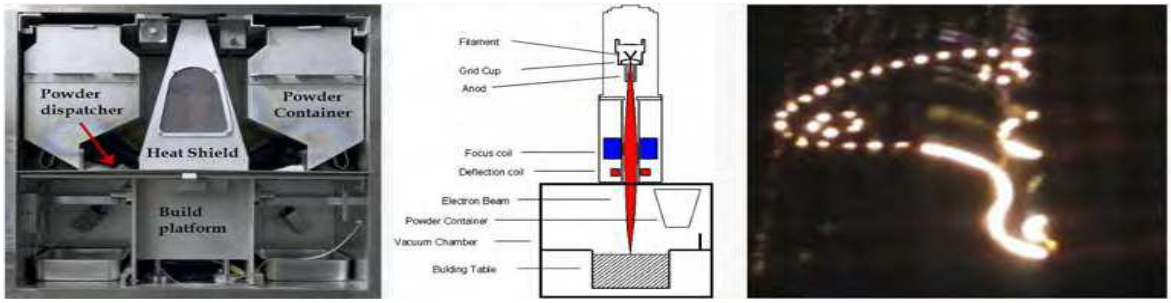
تعريفا واضحا للتصنيع المضاف للمواد للحصول على مجسم من بيانات ثلاثية الأبعاد لنموذج يتكون من طبقة فوق طبقة على نقيض منهجيات التصنيع القديمة والآلات القديمة. إن هذه التقنيات الحديثة تستخدم في مجال الصناعات الطبية حيث تبني المفصل على هيئة طبقة فوق أخرى من المواد كما أن المواد تكون مترابطة وتمنع المسامية كما ان سطحها يكون خشن وهي ميزة جيدة حتى يتلائم مع زرعه داخل عظم الأنسان.علاوة على ذلك فإنه بهذه التقنيات الحديثة تكون عملية التصنيع سريعة وإنتاج متسلسل أي كمي بأعداد كبيرة كما أن المواد تتمنع بنقاوة عالية لا توفرها طرق التصنيع التقليدية إن التقينة الحديثة الأمثل لتصنيع الأطراف الصناعية هي شعاع حزمة الصهر.

يتم تنفيذ التصنيع بطريقة التصنيع المضافة مباشرة من ملف (3D–CAD) والذي يتم تخزينه في طراز ذات الطابع الهندسي. يمكن أن يتم التصميم في العديد من النماذجD 3 التجارية ولكن يتم تصديرها في ملف ذو لاحقة خاصة (STL). يتم استيراد هذا الملف في برنامج معين (مثل Magics، Viscam، Netfabb، الخ) ليتم تصنيعها.

يتم توجيه جزء لبنائه ويكون هيكل الدعم للأسطح الاجزاء التي تليه. بعد ذلك، يتم إنشاء المقاطع العرضية بسمك معين، والمعروفة باسم 'شرائح'. يتم حفظ الشرائح في 'ملف الشريحة' (ABF، SLI، SLC). بعد التصنيع التمهيدي، يتم إرسال الملف إلى الجهاز حيث يتم طباعته الشريحة تلو الشريحة.

التصنيع بطريقة الحزمة الكترونات الصهر لمفصل الركبة:

EBM تستخدم هذه الطريقة للمعادن الحديدية والغير الحديدية لمادة كثيفة تماما، وذلك ببناء النموذج طبقة تلو طبقة المبدأ هو طاقة العمل الحركية تولد عن طريق تيار كهربائي 60KV التي يتم إنشاؤها ما بين فتيلة التنغستن الموضوعة داخل المدفع الإلكتروني صفيحة المراد البناء عليها.



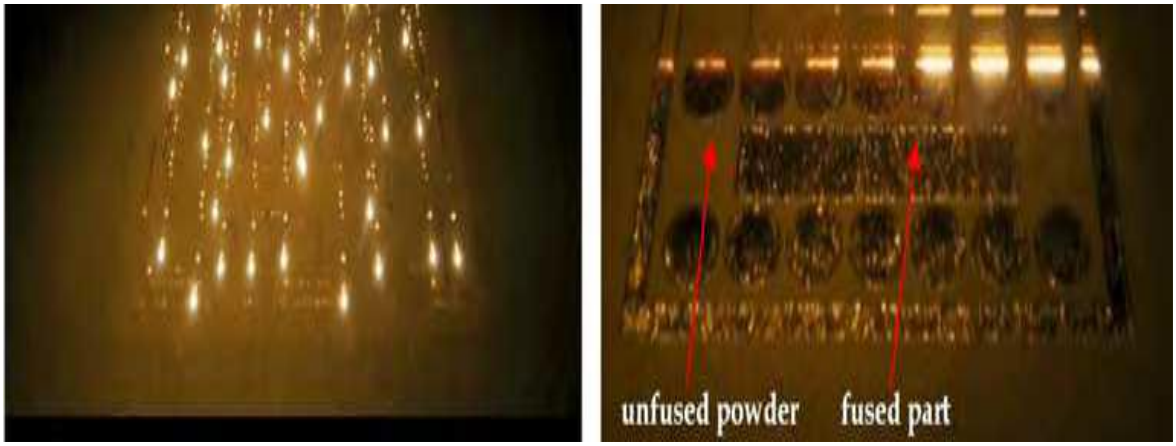
الشكل (12.3): جهاز جزمة الالكترون الصهر ومخطط هذا الجهاز و الكترون الصهر يصنع ميحط مركبة الساق الاصطناعية.

تسخن فتيلة التنغستن بواسطة التيار الكهربائي وتنبعث منها حزمة من الإلكترونات من قبل مجموعة من الملفات المختلفة كما أنها تؤثر على سطح مسحوق خلال مرور التيار الكهربائي، يتم تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية والتي تؤدي إلى صهر المسحوق تماما كما أن غرفة العمل تكون بجو (خالي من الهواء) وعندها يتم ترسيب دقيقة حوالي 70-100 µm.

حزمة الالكترونات تصهر المسحوق لتحوله إلى شريحة صلبة، وبعدها المقطع العرضي كجزء من تلك الطبقة ويتم دمجه مع شرائح سابقة كما في الشكل (12.3) منصة البناء تنحدر لقيمة سماكة الطبقة وبعدها يتم استدعاء طبقة مسحوق جديدة .تكرر العملية حتى يتم الانتهاء من الجزء المراد الحصول عليه.

الشكل (13.3): بعض من أجزاء الطبية الحيوية التي أنتجت على هذا الجهاز.

تصنيع الغرسات البديلة:يتم تصنيع المفصل الصناعي طبقة بعد طبقة على آلة EBM، كما ذكر من قبل، ويتم طباعة الطبقات بفعل حزمة الإلكترونات الذي يؤدي انصهار انتقائية من المواد بحزمة الإلكترونات التي تكون قوية جدا والتي يبلغ قطرها ما يقرب من 240 ميكرون،الأمر الذي يصنع محيط طبقة ويكون سطح هذه المفاصل خشن بعض الشيء الشكل (14.3) لكن بعد تحليل النتائج التي حصل عليها بهذه التقنية وجد أن خشونة الأسطح سيئة لا تناسب زرعها داخل جسم الإنسان وكان لابد من تنعيم السطح لذلك فقد عانت هذه التقنيات كثيراً للحصول على أسطح ملساء واستخدمت تقنية الحزم الالكترونية المتعددة.



الشكل (14.3): استخدام تقنية الحزم الاكترونية المتعددة وصهر الطبقات.

بعد الإنتهاء من التصنيع، يتم أخذ المجسم المنفذ ويخرج من مكان تمركز المسحوق المعدني.جزء كبير من مسحوق غير مستفاد منه لذلك يتم تصفيته مباشرة في نظام غربلة وتصفية لإعادة استخدامها.إن غرفة العمل تكون بدرجة حرارة عالية ومفرغة تماما من الهواء. بعدها يتم إجراء التلميع للمفصل الصناعي. كما في الشكل (15.3)

الشكل (15.3): يظهر اجزء الفخذ بعد خروجها من جهاز حزمة الكترونات الصهر و إجراء عليها عملية التلميع.

مزايا رئيسية مهمة جدا لتصنيع المفاصل الطبية الصناعية البديلة عن الطبيعية باستخدام طرق التصنيع الحديثة الأخرى بالمقارنة مع العمليات التقليدية نجد أن:

- سرعة عمل أعلى بكثير يجعل هذه الطريقة قابلة للتطبيق وبالتالي الإنتاج الكمي لمثل هذه المفاصل الطبية الصناعية.
- التصنيع في ظل جو مخلخل (خالي من الهواء) فإن المواد التي يصنع منها هذا المفصل تكون ذات نقاء عالية جدا مما تؤدي إلى خصائص أعلى وأفضل توافق مع الحياة.
- درجة حرارة عالية التصنيع وكذلك الضغوط الحرارية أقل وأقل تشوه في المواد المصنعة.
- التصميم بطريقة القيمة المضافة السطحية تسهل اختراقها مع التقليل من المسامية.
- حرية هندسية أكبر بكثير.
- إعادة تدوير جزء كبير من المواد تصل إلى 98٪
- أتمتة هذه العملية تجنب الأخطاء البشرية.
- إنتاج مئات من هذه المفاصل اسبوعياً يجعل السعر أمثل للغاية، وهذا يتوقف على حجمها.[33]

الفصل الرابع

العمل التجريبي

1.4 المواد المستخدمة

تم في هذا البحث استخدام قطع من مفصل ركبة مصنع من خليطة كوبالت –كروم – موليبدنييوم المصنعة بطريقة الصب الدقيق لشركة جونسون آند جونسون الأميركية التي تقوم بتصنيع مثل هذا المفاصل (الركبة والورك)، وقد تم إجراء الاختبارات التالية على عينات مأخوذة من هذا المفصل المصنع خارجاً لمقارنتها مع المواصفة المعتمدة حسب ASTM F75

1.1.4 اختبار التحليل الكيميائي

تم إجراء التحليل الكيميائي على عينتين وفي ثلاث نقاط باستخدام جهاز التحليل الطيفي (Spectrometer) المبين بالشكل(1.4) وذلك لمعرفة نسبة العناصر الداخلة في تركيب الخليطة المعدنية المدروسة ومطابقتها للمواصفة المذكورة.

الشكل(1.4): **جهاز التحليل الكيميائي** (Spectrometer).

2.1.4 اختبار القساوة

تم إجراء اختبار القساوة بطريقة روكويل الشكل (2.4) للتأكد من صلادة الخليطة المعدنية بالنسبة للمواصفة. واختبار القساوة بطريقة شور للتأكلد من صلادة المادة البولميرية بالنسبة للمواصفة الشكل (3.4)[36]

الشكل (2.4): قياس القساوة على جهاز روكويل.

تم تقسيم المفصل لعينات بنفس الأبعاد القياسية ومقارنة نتائج اختبارنا مع النتائج المأخوذة من المقالة الموضحة لاحقاً مع النتائج الفعلية التي أجريت على عينات الشد في مخبر مقاومة المواد.

الشكل (3.4): قياس القساوة على جهاز شور.

3.1.4 اختبار الشد

يظهر الشكل (4.4) إجراء اختبار الشد على ثلاث عينات من الخليطة المعدنية بين أحد العينات المراد اختبارها والعينة أثناء وضعها على جهاز اختبار الشد وتطبيق قوة شد أحادية المحور للتأكد من مطابقة الخليطة المعدنية للمواصفة.[35]

الشكل (4.4): عينة الشد وجهاز اختبار الشد.

4.1.4البنية المجهرية للخليطة

يظهر الشكل (5.4) استخدام المجهر الضوئي (OM) لمعرفة البنية المجهرية لهذه الخليطة المعدنية وكيفية توضع الكربيدات فيها وذلك بعد إجراء عملية الشحذ والصقل للعينات وتغطيسها بالمحلول المظهر($6H_2O_2$–1HCL) لمدة 30 ثانية وبعد ذلك غسلها ووضعها تحت المجهر[34].

الشكل (5.4): تحضير العينات قبل وضعها تحت المجهر الضوئي.

5.1.4 تحديد الأطوار المتشكلة للخليطة باستخدام حيود الأشعة السينية

يظهر الشكل (6.4) استخدام جهاز حيود الأشعة السينية(XRD) لمعرفة الأطوار المتشكلة لهذه الخليطة المعدنية وذلك اعتماداً على زاوية الانعراج التي كانت تتراوح بين 30–90 ومن خلال المسافة بين المستويات الذرية والعودة إلى المراجع لمقارنة المسافة الأقرب لتلك التي حصلنا عليها من قانون براغ للأشعة السينية تمكنا من معرفة الطور المتحتمل عن طريق تطبيق قانون براغ للأشعة السنينة[37]–[38]:

$$\lambda * n=2* d* \sin \emptyset$$

n: رتبة الانعكاس.

λ: طول الموجة للحزمة الساقطة.

d: المسافة بين المستويات الذرية Å.

Ø: زاوية الانعكاس.

الشكل (6.4): جهاز حيود الأشعة السينية.

2.4 تصنيع النموذج الشمعي

يظهر الشكل (7.4) الحصول على نموذج شمعي لأحد أجزاء مفصل الركبة الصناعي وذلك من خلال القوالب السيلكونية حيث تم وضع المفصل المصنع من شركة جونسون آند جونسون الأميركية ضمن إطار معدني وبعد ذلك تم صب السيلكون السائل حوله وبعد إضافة للسيلكون مادة تساعده على التجفيف وترك هذا القالب السيلكوني الذي يحوي الجزء المعدني ليجف لمدة يومين بعد ذلك تم نزع النموذج المعدني بعد أن أخذ السيلكون الشكل المطلوب وبعد ذلك تم حقن الشمع السائل لدرجة حرارة حوالي 73 درجة سيلزيوس وضغط منخفض وبذلك نكون قد حصلنا على النموذج الشمعي.

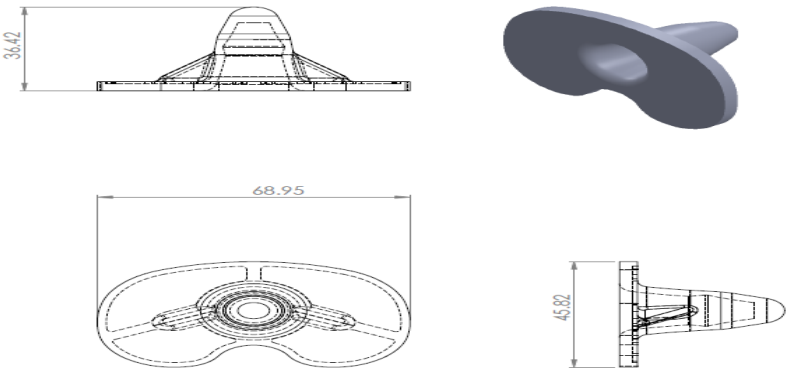
الشكل (7.4): صب السيلكون فوق النموذج المعدني وترك السيلكون حتى يجف.

3.4 تصميم أجزاء مفصل الركبة الصناعي

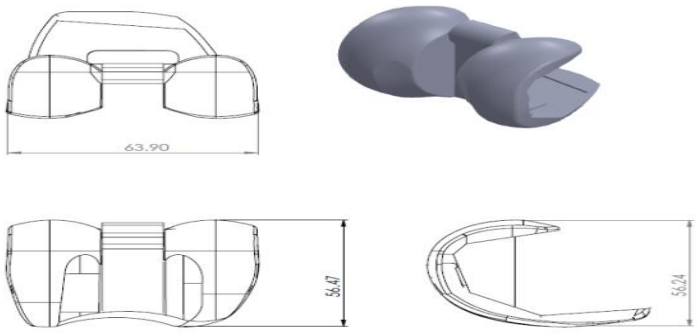
1.3.4 الرسم التصميمي

تم قياس أبعاد أجزاء مفصل الركبة الصناعي بما فيه الجزء الفخذي وجزء الساق والجزء المعوض بين المركبتين المعدنيتين، الجزء الفخذي وجزء الساق مصنوعتان من خليطة معدنية تسمى الخليطة الخارقة لما لها من مواصفات وخصائص هامة بحيث تتميز بالمتانة العالية وقدرتها لتحمل ظروف التحميل المختلفة إضافة إلى خفة الوزن والجودة على المدى البعيد. ونظرا لشكل العقد وعدم القدرة إلى الوصول إلى مناطق معينة لقياس أبعادها كان لابد من الاستعانة بجهاز الديجيتايزر النقطي حيث تم سحب النقاط ذات الأبعاد المعقدة. تظهر الأشكال (8.4) (9.4) (10.4) أبعاد أجزاء مفصل الركبة الصناعي (ساق –فخذ –ظمبوب) على التوالي وتم الرسم اعتماداً على برنامج الرسم

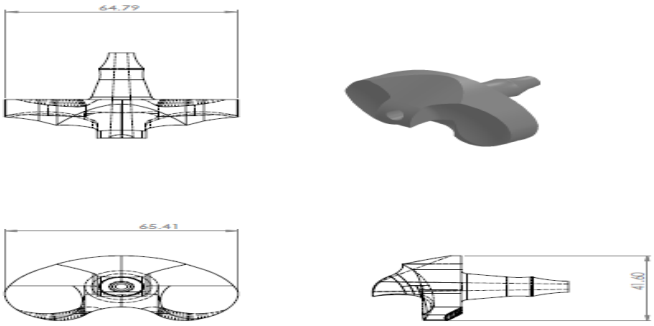
الهندسي الميكانيكل ثلاثي الأبعاد الذي يسمح بمرونة عالية في التصميم حيث رسم مفصل الركبة الذي يسمح بالانبساط والانقباض إضافة إلى الحركة الدورانية التي تسمح بزاوية فتل مقدارها 15^{o} كما هو واضح بالشكل (11.4).



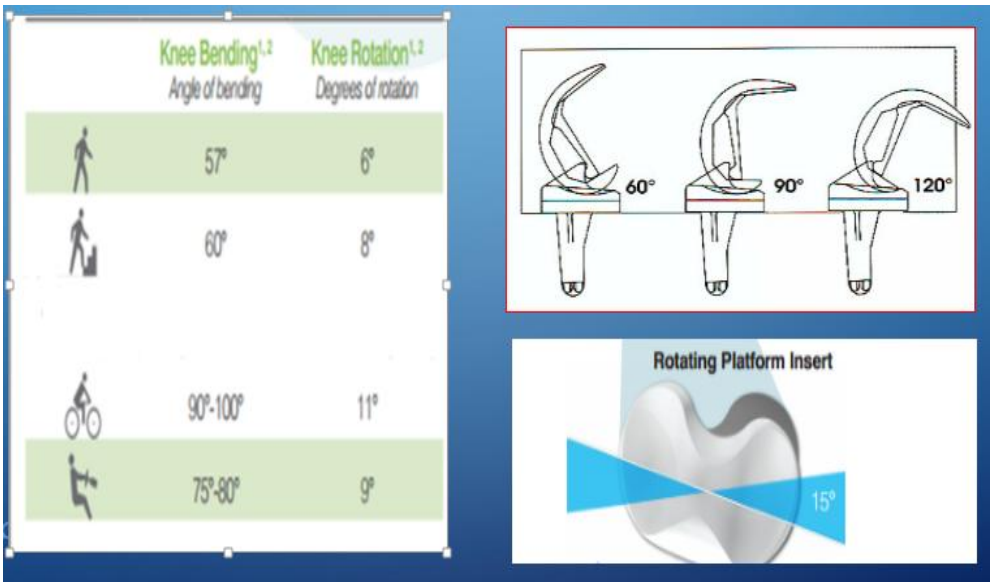
الشكل (8.4): أبعاد جزء الساق لمفصل الركبة الصناعي.



الشكل (9.4): أبعاد الجزء الفخذي لمفصل الركبة الصناعي.



الشكل (10.4): أبعاد جزء الظمبوب لمفصل الركبة الصناعي.



الشكل (11.4): وضعيات المختلفة لمفصل الركبة الصناعي المصمم.

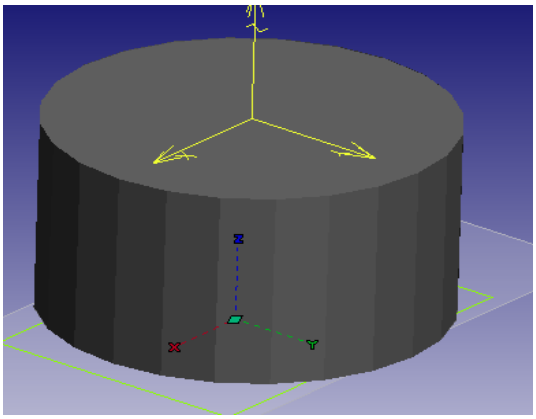
2.3.4 الإجراء التنفيذي

بعد الإنتهاء من الرسم الهندسي لإجزاء هذا المفصل الصناعي يتم حفظها بلاحقة (STL) ويتم اختيار برنامج تنفيذي HYPER MAIL للحصول على الجزء التشغيلي لأجزاء هذا المفصل الصناعي بما فيها G–CODوأفلام التشغيل الخاصة لكل جزء. مع ملاحظة أنه لكل جزء يجب اختيار أدة القطع المناسبة وسرعة القطع وسرعة التغذية وعمق القطع لكل مرحلة من مراحل العمل سواء كانت مرحلة التخشين أو مرحلة التنعيم وكذلك لكل جزء اعتماداً على خصائص المادة التي سوف يتم تصنيعها.

حضرت القطعة الخام أولاً واختيرت أداوت القطع المناسبة لكل جزء كما تم اختيار أدوات القطع المناسبة المتوافقة مع المادة.

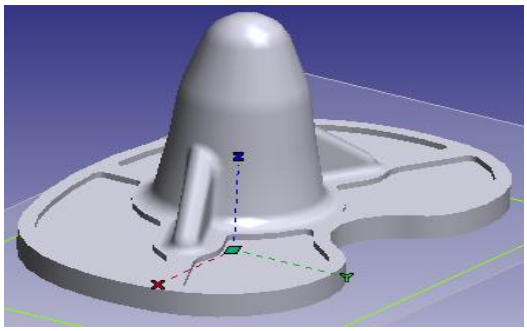
يبدأ رأس القطع بالعمل المناسب للحصول على الشكل المطلوب مع ملاحظة بتبديل أداة القطع من طور التخشين إلى طور التنعيم وبحالة الحاجة إلى ثقب أو أي شكل آخر. في الشكل (12.4) تظهر الخامة المعدنية من الخليطة المراد منها تصنيع الأجزاء المعدنية

لدينا للمفصل الصناعي هذه الخامة لجزء الساق حيث تم اختيار أبعادها أكبر ب 3 ملم عن أبعاد جزء الساق.



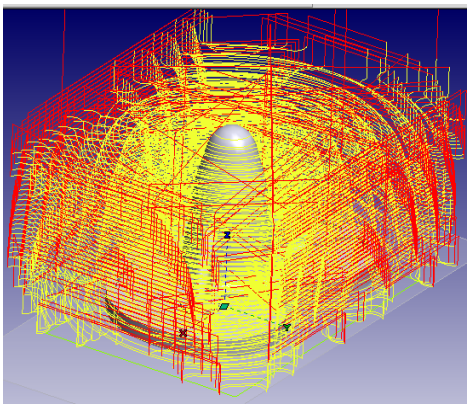
الشكل (12.4): الخامة المعدنية من خليطة كوبالت كروم موليبدنييوم لتصنيع جزء الساق.

يبين الشكل (13.4) طور التخشين لجزء الساق حيث نولد مسارات التخشين بريشة قطرها 10 ملم.



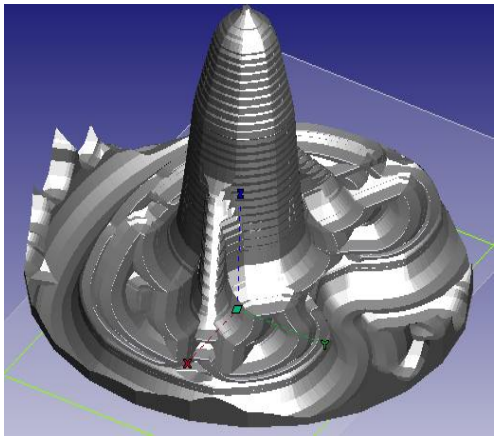
الشكل (13.4): يبن طور التخشين لجزء الساق.

يظهر الشكل (14.4) عمل أداة القطع المصنوعة من اللقم الكربيدية المعالجة التي تعتبر هي من المواد القاسية وهي أقسى من المادة الخامة.



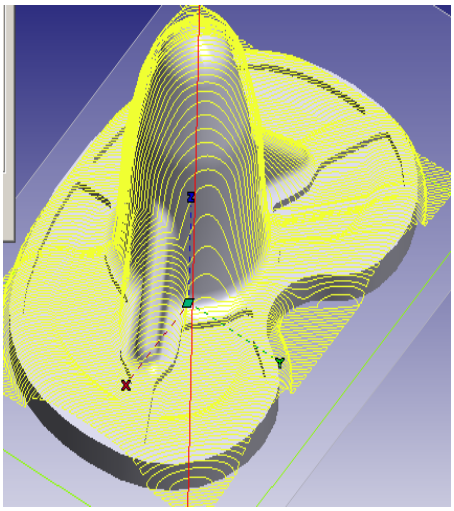
الشكل (14.4): تتمة مسارات أداة القطع أثناء العمل.

وكانت النتيجة لطور التخشين لجزء الساق هي:

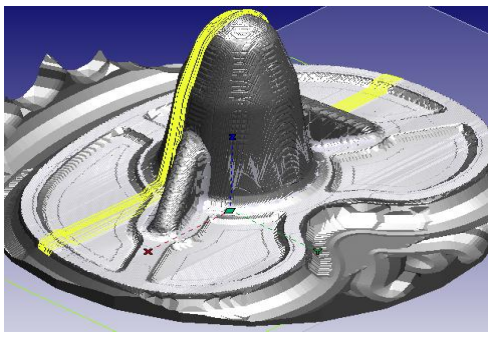


الشكل (15.4): انتهاء طور التخشين.

بعد طور التخشين (يبدأ طور التنعيم بنفس مادة أداة القطع السابقة وهي اللقم الكربيدية بريشة 5 ثم 3 ملم).

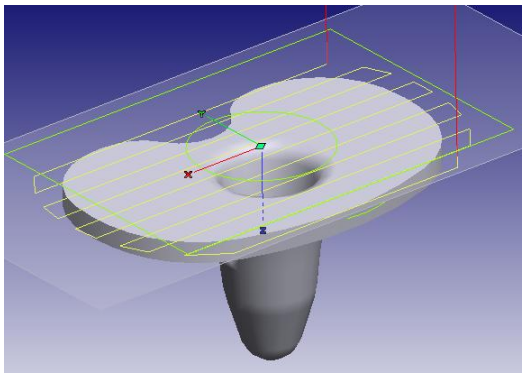


الشكل (16.4): تنعيم القطعة من الأسفل.



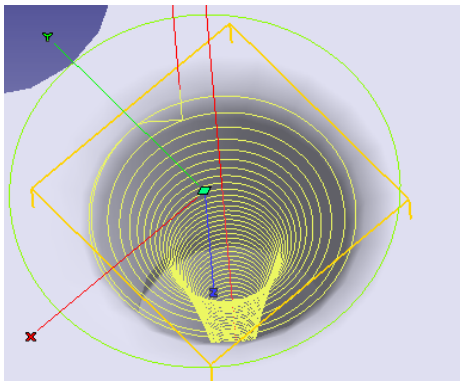
الشكل (17.4): تتمة التنعيم ومسارات أداة القطع.

يتم قلب القطعة بعد ذلك لتسوية السطح من الأسفل



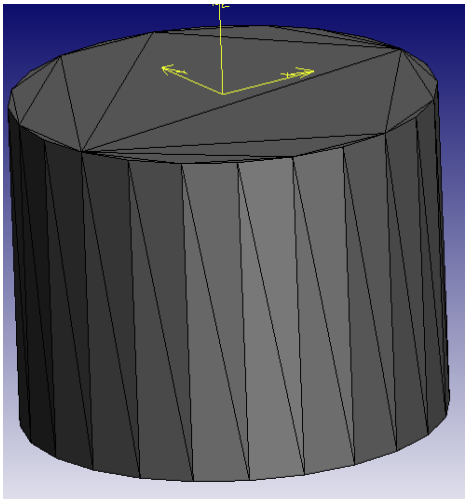
الشكل (18.4): تنيعيم القطعة من الاعلى.

بعد ذلك يتم تسوية وإنهاء الثقب الداخلي.



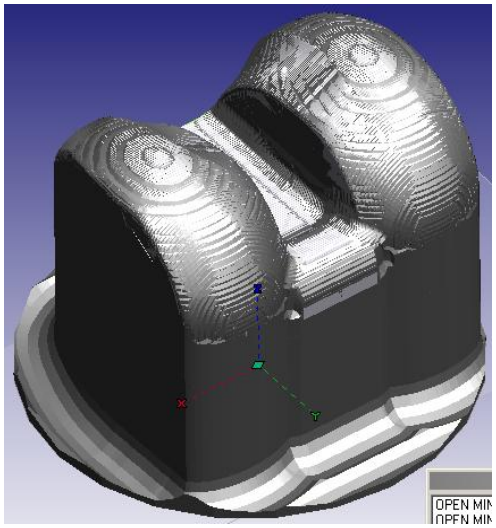
الشكل (19.4): تسوية الثقب الداخلي.

بعد ذلك نبدأ بالقطعة الثانية وهي جزء الفخذي:

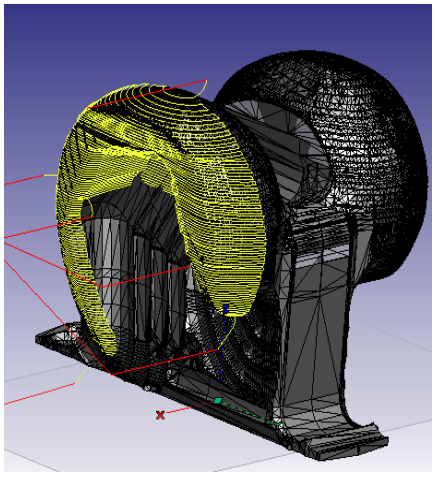


الشكل (20.4): خامة من خليطة لتصنيع لجزء الفخذي.

يتم أولا تخشين جانب القطعة

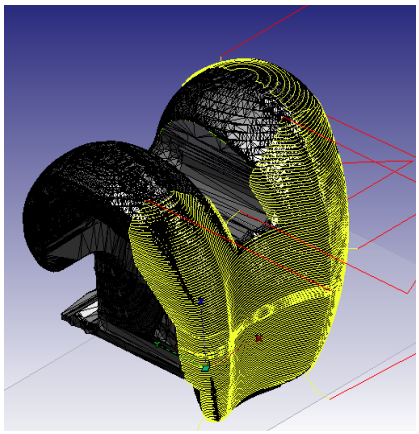


الشكل (21.4)**: بدأ العمل بطور التخشين من أحد الجوانب.**



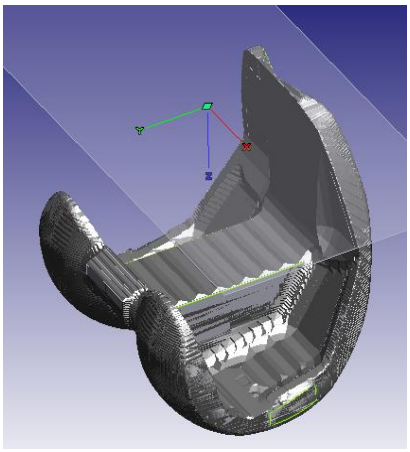
الشكل (22.4)**: استمرار أداة القطع بعملها.**

بعد ذلك يتم تفريز وجه القطعة

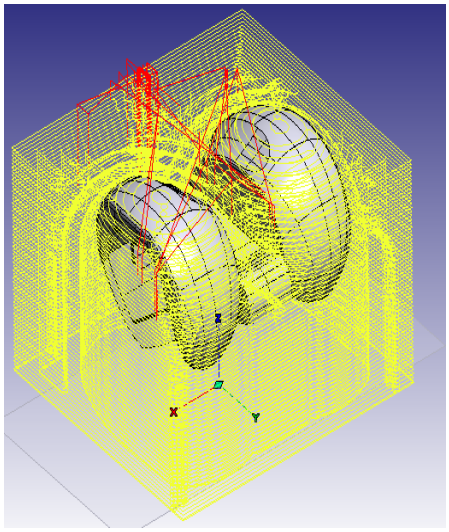


الشكل (23.4)**:تفريز وجه القطعة.**

بعد ذلك يتم التثبيت من الوادي ونقوم بعملية نفريز تخشينة من الأسفل

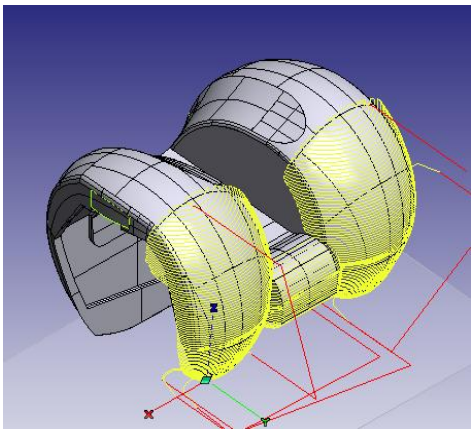


الشكل (24.4): تخشين القطعة من الداخل.

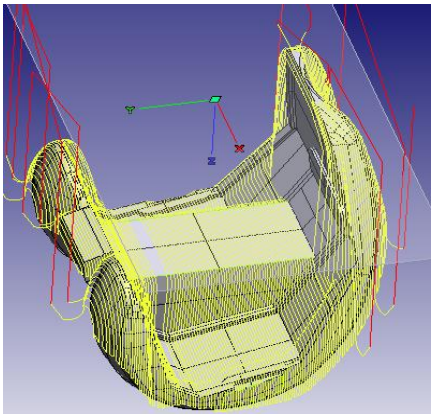


الشكل (25.4): انتهاء طور التخشين لجزء الفخذي.

بعدها يأتي طور التنعيم بنفس الأسلوب السابق لكن بريش أقل قطر وبأقل سماكة.

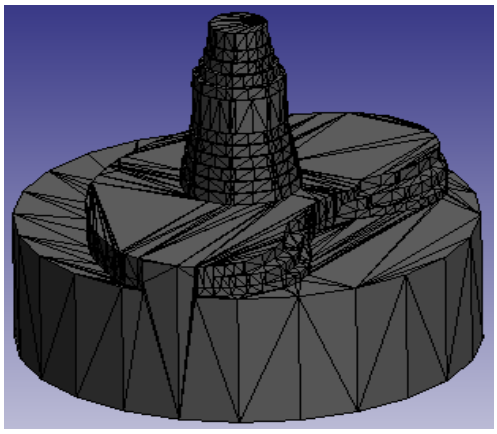


الشكل (26.4): بداية طور التنعيم للقطعة من الجوانب.

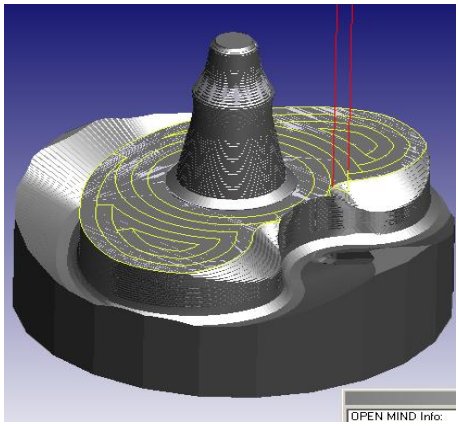


الشكل (27.4): انتهاء طور التنعيم للمركبة الفخذ.

أما القطعة الثالثة فهي الطبق الظمبوبي هنا أداة القطع مصنوعة من الفولاذ نظراً لان القطعة الخام المراد تصنيعها من المواد البولميرية ولا تحتاج لقساوات عالية. الخامة البولميرية

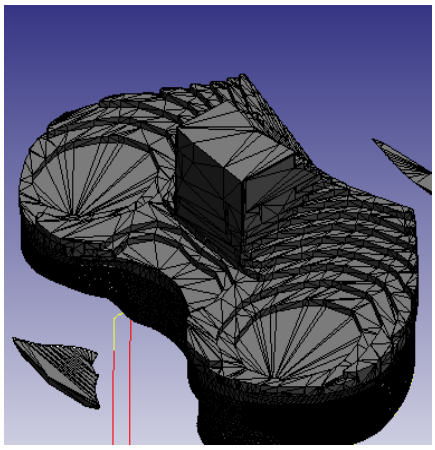


الشكل (28.4): خامة من مواد بولميرية وهي بولي اتيلين عالي الوزن الجزيئي.

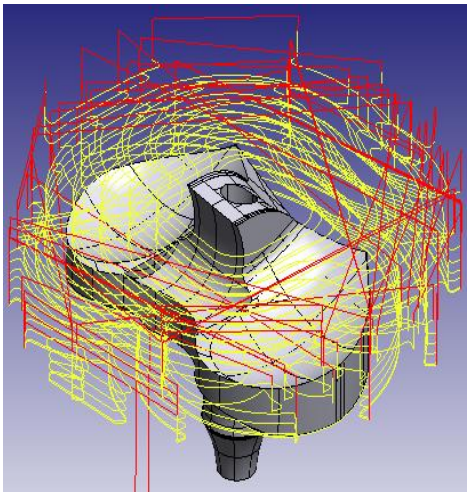


الشكل (29.4): تخشين حسب مسارات أداة القطع.

يتم قلب القطعة بعد ذلك وتنظيف وتخشين سطحها

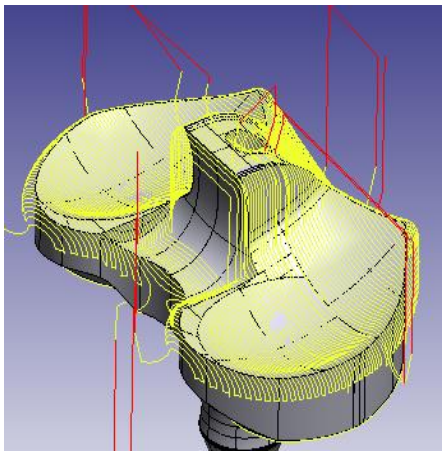


الشكل (30.4): انتهاء طور التخشين للسطح والداخل لجزء الطبق الظمبوبي.



الشكل (31.4): كامل مسارات أداة القطع بطور التخشين.

التفريز من الأمام ومسارات أداة القطع مع طور التنعيم للحصول على النتيجة التالية:



الشكل (32.4): انتهاء القطعة البولميرية.

4.4 المعالجة الحرارية

يبن الشكل (33.4) أفران المعالجة الكهربائية لأجراء معالجة حرارية لـ عينات من الخليطة الجاهزة المصنعة من شركة جونسون آند جونسون بعد ما أجري على هذه العينات عملية إرجاع وأصبحت هذه العينات من خليطة كوبالت كروم موليبدنييوم وكأنها مصبوبة.

الشكل (33.4): فرن المعالجة الكهربائية.

1.4.4 المعالجة الحرارية عند درجة حرارة $1220^{O}C$

يظهر الشكل (34.4) وضع العينات داخل فرن المعالجة الحرارية حيث تم إجراء معالجة حرارية لعينات وذلك بالتسخين الى درجة حرارة ^{O}C 1220، وتم إجراء المعالجة نفسها لعينات لمدة نصف ساعة وعينات أخرى لمدة ساعة وعينات أخرى لمدة ساعتين ثم التبريد السريع بالماء.[46]

الشكل (34.4): وضع العينات داخل الفرن عند درجة$1220^{o}c$

1.1.4.4 البنية المجهرية للعينات المعالجة عند $1220^{O}C$

استخدم المجهر الضوئي لرؤية البنية المجهرية كيفية توضع الكربيدات للعينات عند كل فترة زمنية من المعالجة بدرجة حرارة $1220^{O}C$

2.1.4.4 نموذج حيود الأشعة السينية لتحديد الأطوار المتشكلة للعينات المعالجة عند $1220^{O}C$

استخدم جهاز حيود الأشعة لمعرفة التحولات الطورية للعينات عند كل فترة زمنية من المعالجة بدرجة حرارة $1220^{O}C$

3.1.4.4 اختبار القساوة والشد للعينات المعالجة عند $1220^{O}C$

أجري اختبار القساوة اعتماداً على روكويل للعينات عند كل فترة زمنية من المعالجة بدرجة حرارة $1220^{O}C$ كما أجري اختبار الشد للعينات عند كل فترة زمنية من المعالجة بدرجة حرارة $1220^{O}C$

2.4.4المعالجة الحرارية عند درجة حرارة$850^{O}C$

يظهر الشكل (35.4) وضع العينات داخل فرن المعالجة الحرارية حيث تم إجراء معالجة حرارية لعينات وذلك بتسخينها لدرجة حرارة ^{O}C 850لمدة 6-4-2ساعات ثم تبريدها سريعاً بالماء.[38]

الشكل (35.4): وضع العينات داخل فرن المعالجة الحرارية عند $850^{O}C$

1.2.4.4البنية المجهرية للعينات المعالجة عند $850^{O}C$

استخدم المجهر الضوئي لرؤية البنية المجهرية وكيفية توضع الكربيدات للعينات عند كل فترة زمنية من المعالجة بدرجة حرارة $850^{O}C$

2.2.4.4 نموذج حيود الأشعة السينية لتحديد الأطوار المتشكلة للعينات المعالجة عند $850^{O}C$

استخدم جهاز حيود الأشعة لمعرفة التحولات الطورية للعينات عند كل فترة زمنية من المعالجة بدرجة حرارة $850^{O}C$

3.2.4.4 اختبار القساوة والشد للعينات المعالجة عند $850^{O}C$

أجري اختبار القساوة اعتماداً على روكويل للعينات عند كل فترة زمنية من المعالجة بدرجة حرارة $850^{O}C$ كما أجري اختبار الشد للعيناتا عند كل فترة زمنية من المعالجة بدرجة حرارة $850^{O}C$

1.2.4.4 البنية المجهرية للعينات المعالجة عند $850^{O}C$

استخدم المجهر الضوئي لرؤية البنية المجهرية وكيفية توضع الكربيدات للعينات عند كل فترة زمنية من المعالجة بدرجة حرارة $850^{O}C$

2.2.4.4 نموذج حيود الأشعة السينية لتحديد الأطوار المتشكلة للعينات المعالجة عند $850^{O}C$

استخدم جهاز حيود الأشعة لمعرفة التحولات الطورية للعينات عند كل فترة زمنية من المعالجة بدرجة حرارة $850^{O}C$

3.2.4.4 اختبار القساوة والشد للعينات المعالجة عند $850^{O}C$

أجري اختبار القساوة اعتماداً على روكويل للعينات عند كل فترة زمنية من المعالجة بدرجة حرارة $850^{O}C$ كما أجري اختبار الشد للعيناتا عند كل فترة زمنية من المعالجة بدرجة حرارة $850^{O}C$

5.4 حساب معدل التآكل الكيميائي

بعد أن عولجت العينات بطرق معالجة حرارية مختلفة عند $1220^{O}C$ لمدة نصف ساعة وساعة وساعتين(A–B–C) وكذلك $850^{O}C$ لمدة 2–4–6 ساعات(D–E–F) إضافة إلى العينة المصبوبة.

تم حساب معدل التآكل بطريقة الوزن المفقود، حيث تم الوزن للعينات لهذه الخليطة عينات جاهزة مأخوذة من المفصل المصنع من شركة جونسون آند جونسون وعينات الأخرى هي تلك التي أجريت عليهم المعالجات الحرارية عند درجتي حرارة مختلفتين وأزمنة مختلفة.حيث تم وزن العينات بموازين ذات حساسية عالية قبل غمرها بمحلول الآكال.كما هو ظاهر في الشكل (36.4)

قيست الأوزان لكافة العينات السابقة قبل وبعد الغمر في المحلول الآكال (Ringer) الذي هو محلول مائي ملحي يحوي على البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم كما هو موجود في جسم الإنسان g/L (8.6NaCl −0.48CaCl2 −0.30KCl)[41] ، وقد غُمرت العينات لمدة 7 أيام وبدرجة حرارة $37^{O}C$ وتم فحص البنية المجهرية تحت المجهر الضوئي(OM) وتحديد الأطوار المتشكلة بجهاز حيود الأشعة السينية(XRD).

كما تم قياس معدل التآكل الكيميائي الحاصل في العينات عن طريق تطبيق العلاقة التالية:

$$CR=3650*\Delta W / A*t* \rho$$

CR: معدل التآكل mm/y

A: مساحة المقطع الجانبي للعينات المغمورة Cm^2 وهي عينات لها شكل متوازي مستطيلات طولها وعرضها (2.2cm *1.8cm) وارتفاعها 0.9 cm

ΔW: مقدار فقدان الوزن g

ρ: كثافة المعدن g/ Cm^3 وهي ثابتة لكل العينات

t :الزمن وقد غطست هذه العينات لمدة سبعة أيام .

الشكل (36.4): ميزان ذو حساسية عالية وكيفية قياس وزن العينات قبل وبعد غمرها في المحلول الآكال رينغر

الفصل الخامس

النتائج والمناقشة

1.5 مقدمة

بعد إجراء العملي كان لابد من وضع النتائج التي حصلنا عليها من الاختبارات السابقة ومقارنتها مع المواصفة المحددة.

1.1.5 اختبار التحليل الكيميائي

تم أخذ القيمة المتوسطة للقراءات الناتجة عن الجهاز كما هو موضح في الجدول (1.5)

الجدول (1.5): نتائج التحليل الطيفي.

العنصر	الخليطة المدروسة	ASTM F75
كروم Cr	27.8%	27-30%
موليبدنييوم Mo	6%	5-7%
نيكل Ni	0.25%	0.5% >
حديد Fe	0.55%	0.75% >
كربون C	0.2%	0.35% >
سيليكون Si	0.7%	1% >
منغنيز Mn	0.5%	1% >
تنغستين W	0.19%	0.2% >
فوسفور P	0.01%	0.02% >
الكبريت S	0.001%	0.01% >
تيتانيوم Ti	0.01%	0.1% >
نيتروجين N	0.15%	0.25% >
الألمنيوم Al	0.25%	0.3% >
بورB	0.009%	0.01% >
كوبالت Co	Balance	Balance

بعد التحليل وجد أن العناصر مطابقة للمواصفة المذكورة أي تقع ضمن المجال المسموح بها.

2.1.5 اختبار القساوة

يبين الجدول (2.5) القيمة المتوسطة لنتائج اختبار القساوة بطريقة روكويل وبعد مقارنتها بالمواصفة المعتمدة وجد أن القيم تقع ضمن المجال المسموح بها. كما يبين الجدول(3.5) القيمة المتوسطة لنتائج اختبار القساوة بطريقة شور للمادة البولميرية.

الجدول (2.5): القيم الناتجة عن اختبار القساوة للخليطة المعدنية.

العينة	قراءات القساوةHRC	القيمة الوسطية للقساوة
على الوجه العلوي	القراءة الأولى: 38.4	35
على الوجه العلوي	القراءة الثانية:33.7	
على الوجه العلوي	القراءة الثالثة:30.9	
على الوجه العلوي	القراءة الرابعة:34.6	

الجدول (3.5): القيم الناتجة عن اختبار القساوة للمادة البولميرية.

العينة	قراءة القساوة	القيمة الوسطية للقساوة
الطبق الظمبوبي	القراءة الاولى: 60.1	60.533
الطبق الظمبوبي	القراءة الثانية: 62.2	
الطبق الظمبوبي	القراءة الثالثة: 59.3	

3.1.5 اختبار الشد

تم إجراء اختبار الشد لعينات من الخليطة بأبعاد معينة كما هو موضح بالجدول التالي (4.5) وكانت النتائج كما هي مبينة بالجدول (5.5)

الجدول (4.5): أبعاد العينات المستخدمة في اختبار الشد قبل الاختبار وبعده.

D0	L0	A0	L	ΔL
4.5	22.5	15.896	28.75	6.25
4.5	22.5	15.896	28.50	6
4.5	22.5	15.896	28.5	5.75

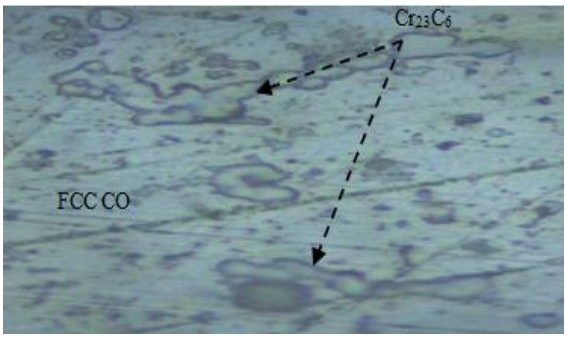
الجدول (5.5): النتائج التي حصلنا عليها من اختبار العينات.

Futs	Fy	Fc	∑%	σuts	σy	σC
10574.01	7237.44	14526.55	15~	665.2	455.3	913.85
11459.10	7872.01	15800.33	16~	720.88	495.22	993.982
10798.78	7418.83	15319.13	14~	679.34	466.68	936.71

حيث الجدول السابق يبين النتائج المأخوذة من ثلاثة مخططات شد وعند مقارنة النتائج بالمواصفة كانت القيم تقع ضمن المجال المسموح بها.

4.1.5 البنية المجهرية للخليطة

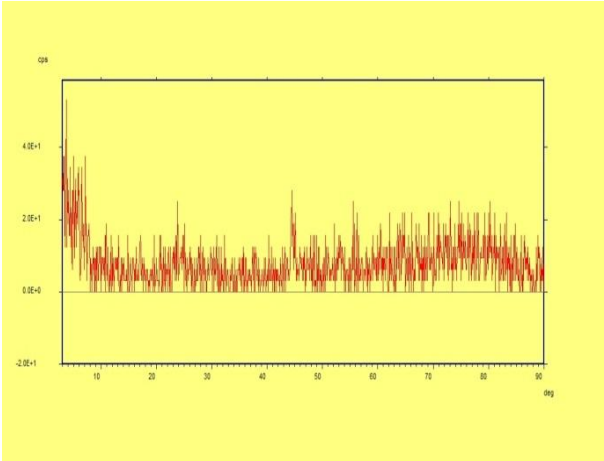
يظهر الشكل (1.5) البنية المجهرية للعينة الجاهزة المأخوذة من المفصل على أنها أرضية شجيرية من الكوبالت كما أنها تحوي على كربيدات صفائحية بنسبة عالية.



الشكل (1.5): البنية المجهرية للعينة المأخوذة من المفصل

5.1.5 نموذج حيود الأشعة السينية لتحديد لأطوار المتشكلة للخليطة

يظهر الشكل (2.5) نموذج حيود الأشعة السينية للعينة الجاهزة المأخوذة من المفصل لتأكد من البنية ومعرفة الأطوار.



الشكل (2.5) :نموذج حيود الأشعة السينية للعينة الجاهزة المأخوذة من المفصل

كما يظهر الجدول (6.5) حساب d للأطوار المتشكلة في العينة الجاهزة المأخوذة من المفصل المصنع من شركة جونسون آند جونسون.

الجدول (6.5) حساب d للأطوار المتشكلة في العينة الجاهزة المأخوذة من المفصل.

2 Ø deg	d Å	d Å Possible	Phase possible
24.760	3.5929	3.2	$Cr_{23}C_6$
44.440	2.0369	2.036	FCC Ni
56.280	1.6333	1.63	$Cr_{23}C_6$
82.120	1.1727	1.171	$Cr_{23}C_6$

تظهر خلاصة النتائج أنه بمقارنة النتائج لجميع الاختبارات السابقة فإننا نجدها أنها متقاربة مع النتائج للباحثين السابقين وهذا يدل على أن الاختبار أجري بشكل صحيح كما أنها تقع ضمن المجال المسموح به للمواصفة ASTM F75.

2.5 تصنيع النموذج الشمعي

يظهر الشكل (3.5) نموذج شمعي لأحد أجزء المفصل الصناعي بعد صب السيلكون السائل فوق النموذج المعدني لأحد أجزاء مفصل الركبة، ترك السيلكون حتى يجف ومن ثم حقن شمع البارفينات ضمن فجوة القالب السيلكوني.

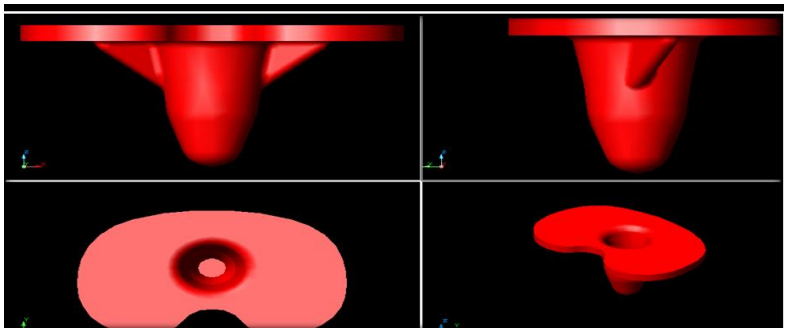
الشكل (3.5): نموذج شمعي لأحد أجزء المفصل الصناعي.

خلاصة النتائج: من خلال الدراسات تبين أن طريقة SHAW تحتاج لفترات زمنية طويلة (من حيث إعداد المواد السيراميكة كما تحتاج لفترة طويلة لتسخين هذا القالب) –تستخدم للإنتاج منتج واحد فقط لكل قالب–كما أنها تحتاج لمهارة العامل وسرعة في أداء عملة – لكنها تعطي أسطح ناعمة ومصبوبة بسماكة قليلة جدا بينما طريقة SHELL تحتاج لفترات زمنية أقل (من حيث التحضير وتسخين القشرة السيراميكة) –إنها تستخدم لإنتاج الكمي –تحتاج لمهارة العامل وسرعة في أداء عملة–لكنها تحتاج لعمليات تنظيف وتلميع وإنهاء.

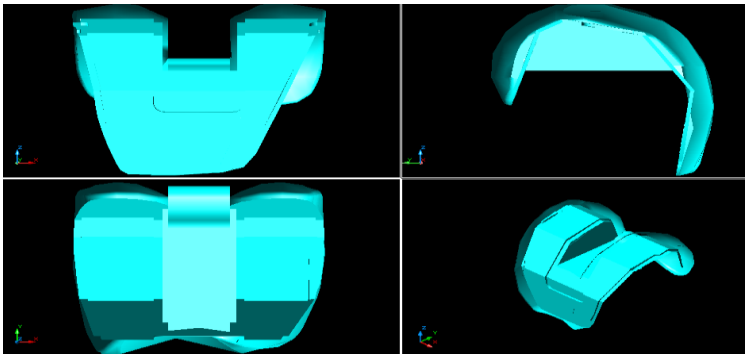
3.5 تصميم أجزاء مفصل الركبة الصناعي

1.3.5 نتائج الرسم التصميمي

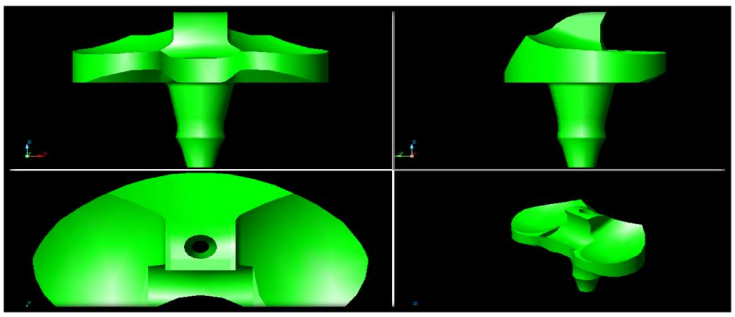
تظهر الأشكال (4.5) (5.5) (6.5) أجزاء مفصل الركبة جزء الساق والجزء الفخذي والجزء الظمبوبي على التوالي بعد رسمها على برنامج الرسم الهندسي ثلاثي الأبعاد الميكانيكال وبعد الاستعانة بجهاز الديجيتايزر النقطي للحصول على الأبعاد الدقيقة لأجزاء هذا المفصل الصناعي.



الشكل (4.5): المساقط الأربعة لجزء الساق



الشكل (5.5): المساقط الأربعة للجزء الفخذي.



الشكل (6.5): المساقط الأربعة للجزء الظمبوبي.

خلاصة النتائج: تبين أن طرق التصنيع الحديثة (CNC-EBM) متساوية من الناحية الاقتصادية. حيث أن مكنات CNC:

1-أقل سرعة من مكنات النمذجة.

2-التحكم بمقدار الخطوة بطور التنعيم، إذ كلما كانت خطوة القطع بطور التنعيم أقل حصلنا على قطع ذات أسطح ناعمة.

3-لسنا بحاجة إلى علميات الإنهاء بعدها.

4-لا تحتاج لكفاءة العامل والخبرة انما فقط التصميم المناسب.

أما طرق النمذجة الحديثة:

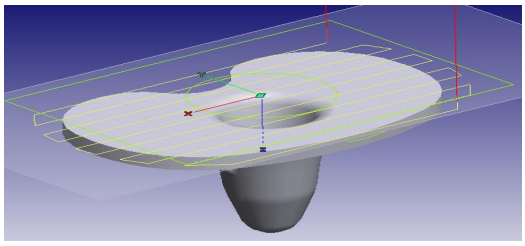
1-أكثر سرعة من مكنات CNC.

2-تكون منتجات خشنة فنحن بحاجة إلى علميات الإنهاء بعدها.

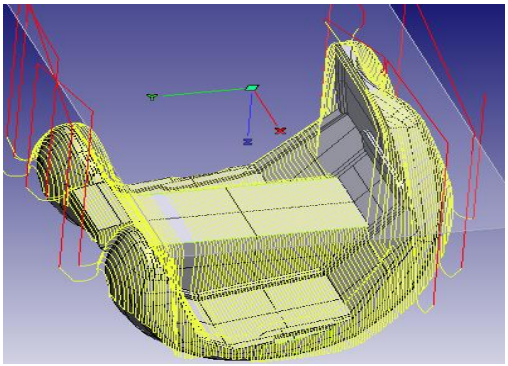
3-لا تحتاج لكفاءة العامل والخبرة انما فقط التصميم المناسب.

2.3.5 نتائج الإجراء التنفيذي

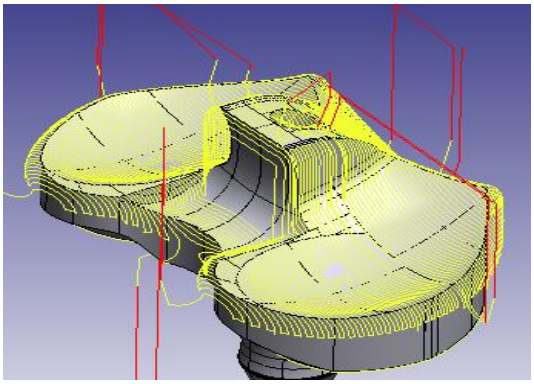
تظهر الأشكال (7.5) (8.5) (9.5) أجزاء مفصل الركبة جزء الساق والجزء الفخذي والجزء الظمبوبي على التوالي بعد توليد مسارات العمل بطور التخشين وطور التنعيم لكل منها كما يوجد ملحق خاص G-Cod لكل جزء من أجزاء هذا المفصل الصناعي موجود على النسخة الالكترونية الملحقة برسالة الماجستير.



الشكل (7.5): مسارات العمل النهائية لجزء الساق



الشكل (8.5): مسارات العمل النهائية لجزء الفخذ



الشكل (9.5): مسارات العمل النهائية لجزء الظمبوب

5.4 المعالجة الحرارية

عولجت العينات المأخوذة من مفصل الركبة المصنع من شركة جونسون آند جونسون بعد أن أجري على هذه العينات عملية إرجاع وأصبحت هذه العينات من خليطة كوبالت كروم موليبدنييوم وكأنها مصبوبة دون أية معالجة.

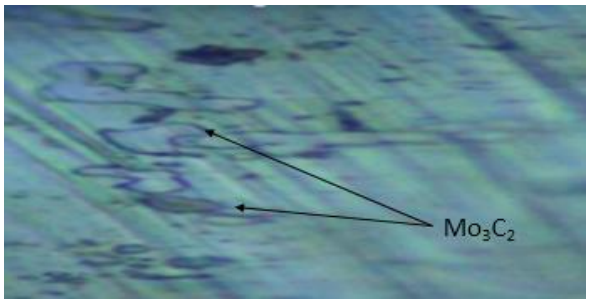
1.4.5 المعالجة الحرارية عند درجة حرارة $1220^{O}C$

عولجت عينات عند درجة حرارة ^{O}C 1220 عينات لمدة نصف ساعة وعينات أخرى لمدة ساعة وعينات أخرى لمدة ساعتين ثم التبريد السريع بالماء.

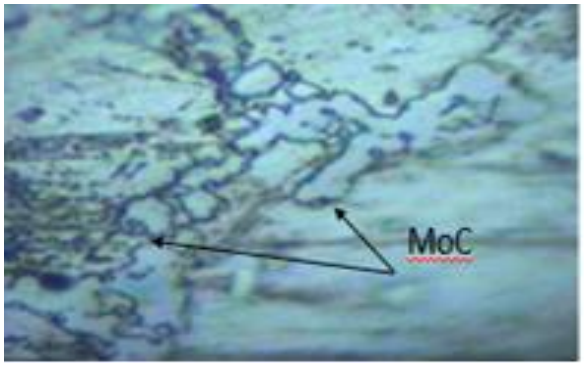
1.1.4.5 البنية المجهرية للعينات المعالجة عند $1220^{O}C$

يظهر الشكل (10.5) البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة نصف ساعة.يظهر الشكل (11.5) البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة

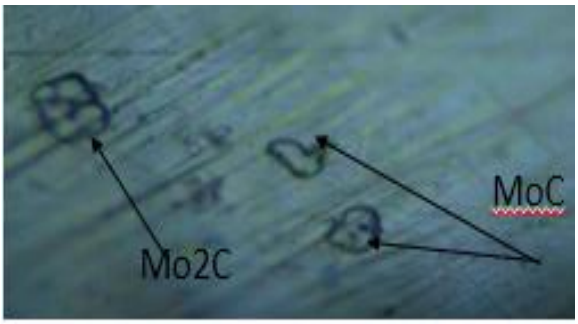
$1220^{O}C$ لمدة ساعة. يظهر الشكل (12.5) البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة ساعتين.



الشكل (10.5): البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة نصف ساعة (100X)



الشكل (11.5): البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة ساعة (100X)

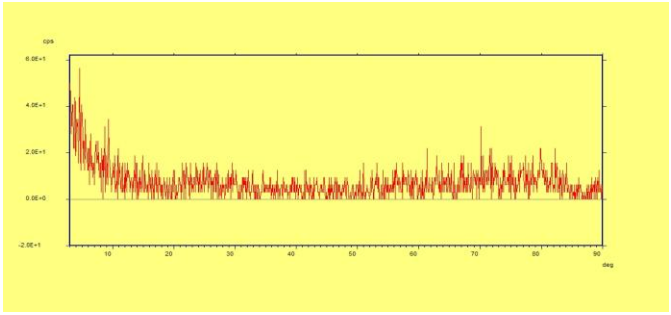


الشكل (12.5): البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة ساعتين (100X).

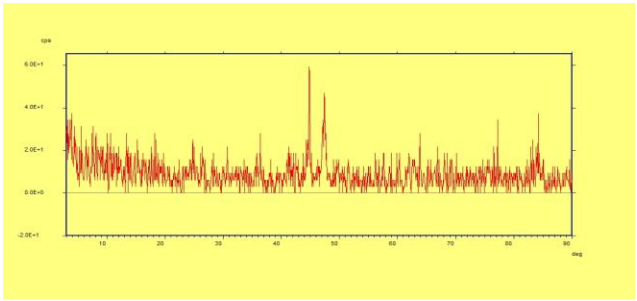
2.1.4.5 نموذج حيود الأشعة السينية لتحديد الأطوار المتشكلة للعينات المعالجة عند $1220^{O}C$

من خلال المجهر الضوئي ظهر الكوبالت على شكل أرضية شجيريه وظهرت الكربيدات. ونظراً للزمن القليل في المعالجة الحرارية، فإنه من المحتمل أن يكون هنالك محتوى مهم

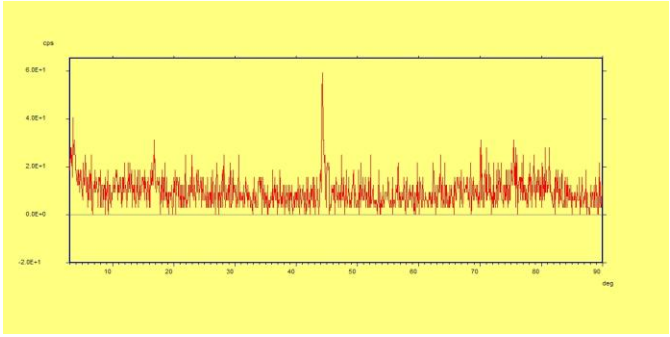
من الكربيدات تم التأكد منه ومن الأطوار المتشكلة من خلال نموذج حيود الأشعة السينية يظهر الشكل (13.5) نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة نصف ساعة.يظهر الشكل (14.5) نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة ساعة. يظهر الشكل (15.5) نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة ساعتين. كما تظهر الجداول (7.5) (8.5) (9.5) على الترتيب حساب d للأطوار المتشكلة في العينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة نصف وساعة وساعتين على الترتيب.



الشكل (13.5): نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة نصف ساعة.



الشكل (14.5): نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة ساعة.



الشكل (15.5): نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة ساعتين.

الجدول (7.5): حساب d للأطوار المتشكلة في العينة المعالجة عند درجة حرارة 1220°C لمدة نصف.

2 Ø deg	d Å	d Å Possible	Phase Possible
75.160	1.2631	1.263	Mo_3C_2
78.200	1.2214	1.221	FCC Al
81.320	1.1822	1.182	Mo_2C

الجدول(8.5): حساب d للأطوار المتشكلة في العينة المعالجة عند درجة حرارة 1220°C لمدة ساعة.

2 Ø deg	d Å	d Å Possible	Phase Possible
47.320	2.8186	2.83	MoC
49.200	2.6354	2.63	MoC
77.240	1.2342	1.233	MoC

الجدول(9.5): حساب d للأطوار المتشكلة في العينة المعالجة عند درجة حرارة 1220°C لمدة ساعتين.

2 Ø deg	d Å	d Å Possible	Phase possible
31.720	2.8186	2.83	MoC
44.280	2.0439	2.040	BCC Cr
74.20	1.27700	1.279	FCC Co
81.320	1.1822	1.182	Mo_2C

3.1.4.5 اختبار القساوة والشد للعينات المعالجة عند 1220°C

يحتوي الجدول(10.5) متوسط قيم (حيث أجري كل اختبار على 3 عينات وأخذ المتوسط الحسابي) لنتائج الخصائص الميكانيكية للاختبارات التي أجريت على العينات المعالجة عند درجة حرارة 1220°C ولفترات زمنية مختلفة وكذلك نسبة الكربيدات في جميع ظروف المعالجة الحرارية، حيث لُوحظ أن محتوى الكربيدات يقل تدريجياً وفقاً لازدياد زمن المعالجة الحرارية. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها من اختبار العينات المعالجة حرارياً عند 1220 °C في المنحنيات المبينة في الشكل (16.5) لكل من متانة الشد الأعظمية والقساوة والاستطالة ونسبة الكربيدات على التوالي.

جدول (10.5): نتائج للعينات المعالجة.

العينات المعالجة عند $1220^{o}c$	القساوة HRC	متانة الشد الأعظمية Mpa	الاستطالة ε %	نسبة الكربيدات %
ASTM F75	25-35	890–655	8>	--
العينة قبل المعالجة	43	978.678	7.2	13.14
A نصف ساعة	42	903.70	10	9.3
B ساعة	41.3	813.4	11.5	5.796
C ساعتين	35	807.50	12.9	5.268

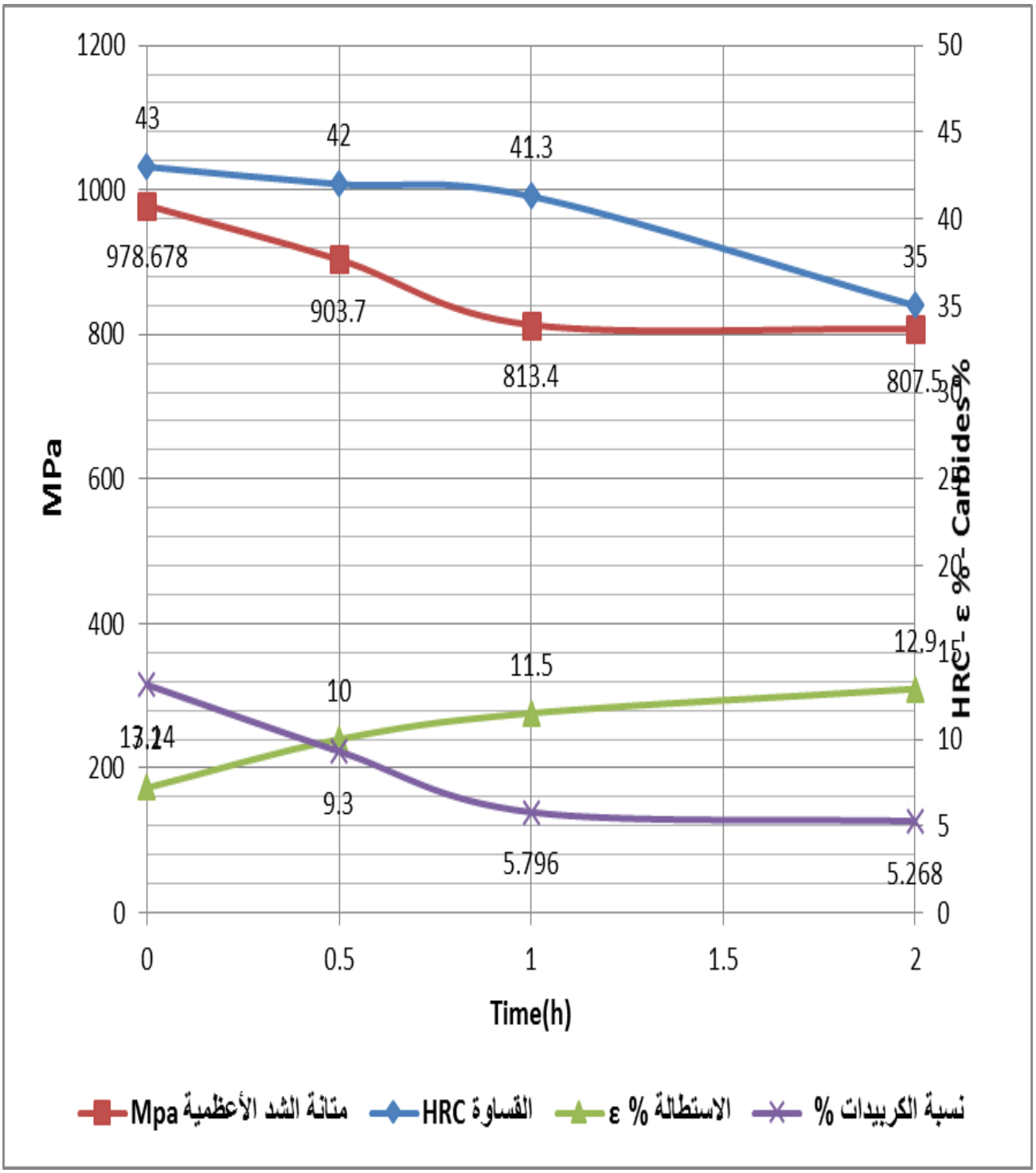
يبين الشكل (16.5) تأثير المعالجة الحرارية في الخصائص الميكانيكية (متانة الشد الأعظمية – القساوة –الاستطالة وفي نسبة الكربيدات) عند درجة حرارة °C 1220 بزيادة زمن المعالجة ابتداءً من نصف ساعة إلى ساعة ثم ساعتين حيث تم اختيار درجة حرارة ^{O}C 1220 ولا تتعدى ^{O}C 1235 حتى لا تسمح بذوبان الكروم والموليبدنييوم، لأن الحرارة تكون اقتربت من درجة انصهار الخليطة.

عند بدء التسخين لمدة نصف ساعة تبدأ قيمة القساوة بالانخفاض ويتبعها أيضا انخفاض في قيمة متانة الشد وزيادة في الاستطالة ويرافقها تغير في البنية المجهرية حيث يبدأ تجانس الهياكل الشبكية التي تكون من النوع FCC مع وجود كربيدات، بعدها تبدأ الكربيدات بالانحلال ولا يظهر منها إلا $M_{23}C_6$، بما أن زمن المعالجة قليل، نصف ساعة، تبقى الكربيدات محافظة على شكلها الصفائحي.

عند درجة حرارة ^{O}C 1220 ولمدة ساعة فإن قيمة القساوة تستمر بالانخفاض ومتانة الشد تنخفض أيضا ويرافقها انخفاض في الهشاشية وزيادة في الاستطالة وتجانس أكثر في

البنية مع استمرار انحلال الكربيدات وانخفاض في حجمها، يرافقها تغير بشكلها حيث تبدأ بالتكور داخل حدود الحبيبات.

عند درجة حرارة 1220^{o} C لمدة ساعتين فإن القساوة تكون قد وصلت لقيمة منخفضة 35HRC ومتانة الشد تكون قيمتها 807.50 Mpa أما الاستطالة قد زادت وأصبحت 12.9% وأصبحت البنية متجانسة وانحل جزء كبير من الكربيدات وفقاً لآلية الانتشار وأخذت شكلاً كروياً نظامياً داخل حدود الحبيبات وأصبحت كميتها % 5.2 وهذا ما يعطي خصائص ميكانيكية جيدة، حيث انخفضت قيمة الهشاشية وازدادت المطيلية، كما أن قيم كل من متانة الشد الأعظمية والقساوة ضمن الحدود المسموح بها حسب ASTMF75. وهذا يتوافق مع نتائج الباحثين السابقين [39]Patel, Favaro, Inam حيث وجدوا أنه عند المعالجة الحرارية لدرجة تصل إلى $1220^{o}C$ فإن الأطوار المتشكلة هي γ=FCC والكربيدات، كما يتوافق مع الباحث [38]Robert M. Pilliar حيث أن البنية أصبحت متجانسة وذات خصائص ميكانيكية جيدة وانخفضت الهشاشية



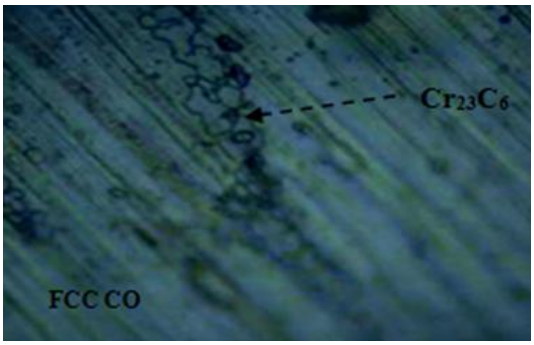
الشكل (16.5): منحني القساوة والمحتوى الكربيدي ومتانة الشد الأعظمية بالترتيب للعينات المعالجة عند درجة حرارة 1220 لفترات زمنية مختلفة.

2.4.5 المعالجة الحرارية عند درجة حرارة$850^{O}C$

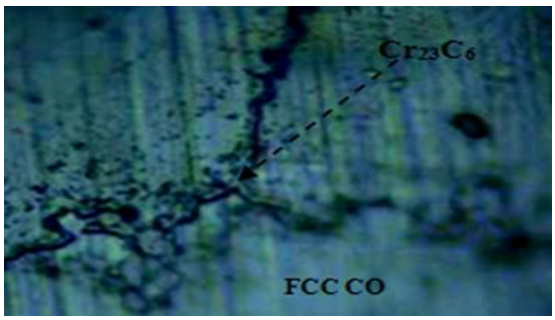
عولجت عينات عند درجة حرارة ^{O}C 850لمدة 6-4-2ساعات ثم تبريدها سريعاً بالماء.

1.2.4.5 البنية المجهرية للعينات المعالجة عند $850^{O}C$

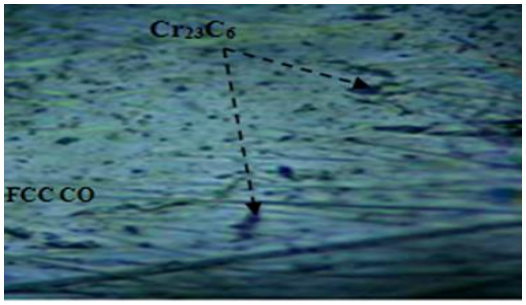
يظهر الشكل (17.5) البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة ساعتين كما يظهر الشكل (18.5) البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة أربع ساعة.كمت يظهر الشكل (19.5) البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة ست ساعات.



الشكل (17.5)**: البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة** $850^{O}C$ **لمدة ساعتين** (100X)



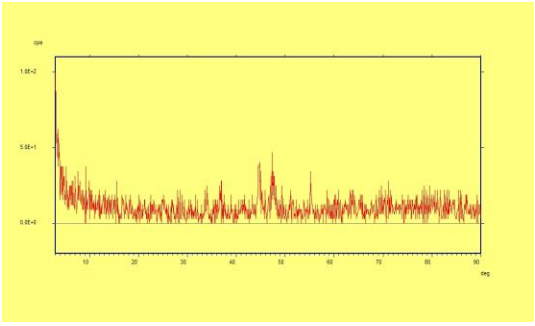
الشكل (18.5)**: البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة** $850^{O}C$ **لمدة أربع ساعة** (100X).



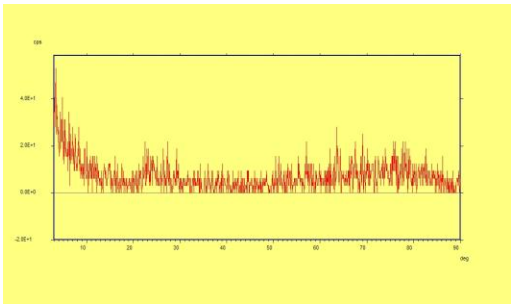
الشكل (19.5)**: البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة** $850^{O}C$ **لمدة ست ساعات** (100X).

2.2.4.5 نموذج حيود الأشعة السينية لتحديد الأطوار المتشكلة للعينات المعالجة عند $850^{O}C$

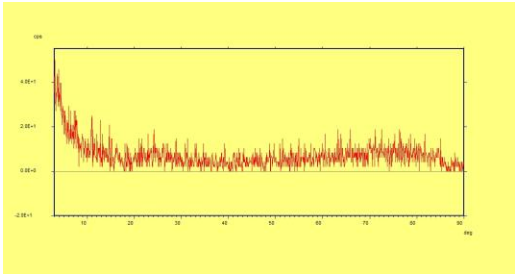
يظهر الشكل (20.5) نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة ساعتين.يظهر الشكل (21.5) نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة أربع ساعات. يظهر الشكل (22.5) نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة ست ساعات. كما تظهر الجداول (11.5) (12.5) (13.5) على الترتيب حساب d للأطوار المتشكلة في العينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة ساعتين وأربع ساعات وست ساعات على الترتيب.



الشكل (20.5): نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة ساعتين.



الشكل (21.5): نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة أربع ساعات.



الشكل (22.5): نموذج حيود الأشعة للعينة المعالجة عند درجة حرارة $850^{O}C$ لمدة ست ساعات.

الجدول (11.5): حساب d للأطوار المتشكلة في العينة المعالجة عند درجة حرارة 850°C لمدة ساعتين.

2 Ø deg	d Å	d Å Possible	Phase possible
44.600	2.0300	2.036	FCC Co
47.320	1.9195	1.91	$Cr_{23}C_6$
55.160	1.6638	1.6602	Cr_3C_2

الجدول(12.5): حساب d للأطوار المتشكلة في العينة المعالجة عند درجة حرارة 850°C أربع ساعات.

2 Ø deg	d Å	d Å Possible	Phase Possible
29.240	3.0518	3.07	$Cr_{23}C_6$
51.160	1.7840	1.78	$Cr_{23}C_6$
69.080	1.3586	1.350	BCC Ti
78.200	1.2214	1.221	FCC Al

الجدول(13.5): حساب d للأطوار المتشكلة في العينة المعالجة عند درجة حرارة 850°C وست ساعات.

2 Ø deg	d Å	d Å Possible	Phase possible
51.480	1.7737	1.7767	$Cr_{23}C_6$(600)
76.360	1.2462	1.248	FCC Ni(200)

3.2.4.5 اختبار القساوة والشد للعينات المعالجة عند $850^{o}C$

يحتوي الجدول(14.5) متوسط قيم (حيث أجري كل اختبار على 3 عينات وأخذ المتوسط الحسابي) لنتائج الخصائص الميكانيكية للاختبارات التي أجريت على العينات المعالجة عند درجة حرارة $850^{o}C$ ولفترات زمنية مختلفة وكذلك نسبة الكربيدات في جميع ظروف المعالجة الحرارية حيث لُوحظ أن محتوى الكربيدات يقل تدريجياً وفقاً لازدياد زمن المعالجة الحرارية. النتائج التي تم الحصول عليها من اختبار العينات المعالجة حرارياً عند $850^{o}C$ تظهر في المنحنيات المبينة في الشكل (23.5) لكل من متانة الشد الأعظمية والقساوة والاستطالة ونسبة الكربيدات على التوالي.

جدول (14.5): نتائج للعينات المعالجة

العينات المعالجة عند درجة $850^{o}C$	القساوة HRC	متانة الشد الأعظمية Mpa	الاستطالة ε %	نسبة الكربيدات %
ASTM F75	25-35	890-655	8>	--
العينة قبل المعالجة	43	978.678	7.2	13.14
D ساعتين	50.06	1139.47	6.9	13.12
E أربع ساعات	59.60	1356.6	6.2	13.0
F ست ساعات	40.2	915.524	8	12.28

يبين الشكل (23.5) تأثير المعالجة الحرارية للعينات في الخصائص الميكانيكية (متانة الشد الأعظمية – القساوة الاستطالة ونسبة الكربيدات) عند درجة حرارة ^{o}C 850 لفترات زمنية ساعتين وأربع ساعات وست ساعات، حيث لوحظ عند المعالجة لمدة 2 و 4 ساعات فإن كلاً من القساوة ومتانة الشد الأعظمية قد زادت إلى حد كبير وبالمقابل فإن الاستطالة قد انخفضت، والتفسير في ذلك أن الكربيدات قد اقتربت من بعضها وشكلت شبكة كربيدية واسعة أدت إلى هشاشية عالية حيث أن الكربيدات المترسبة هي من نوع

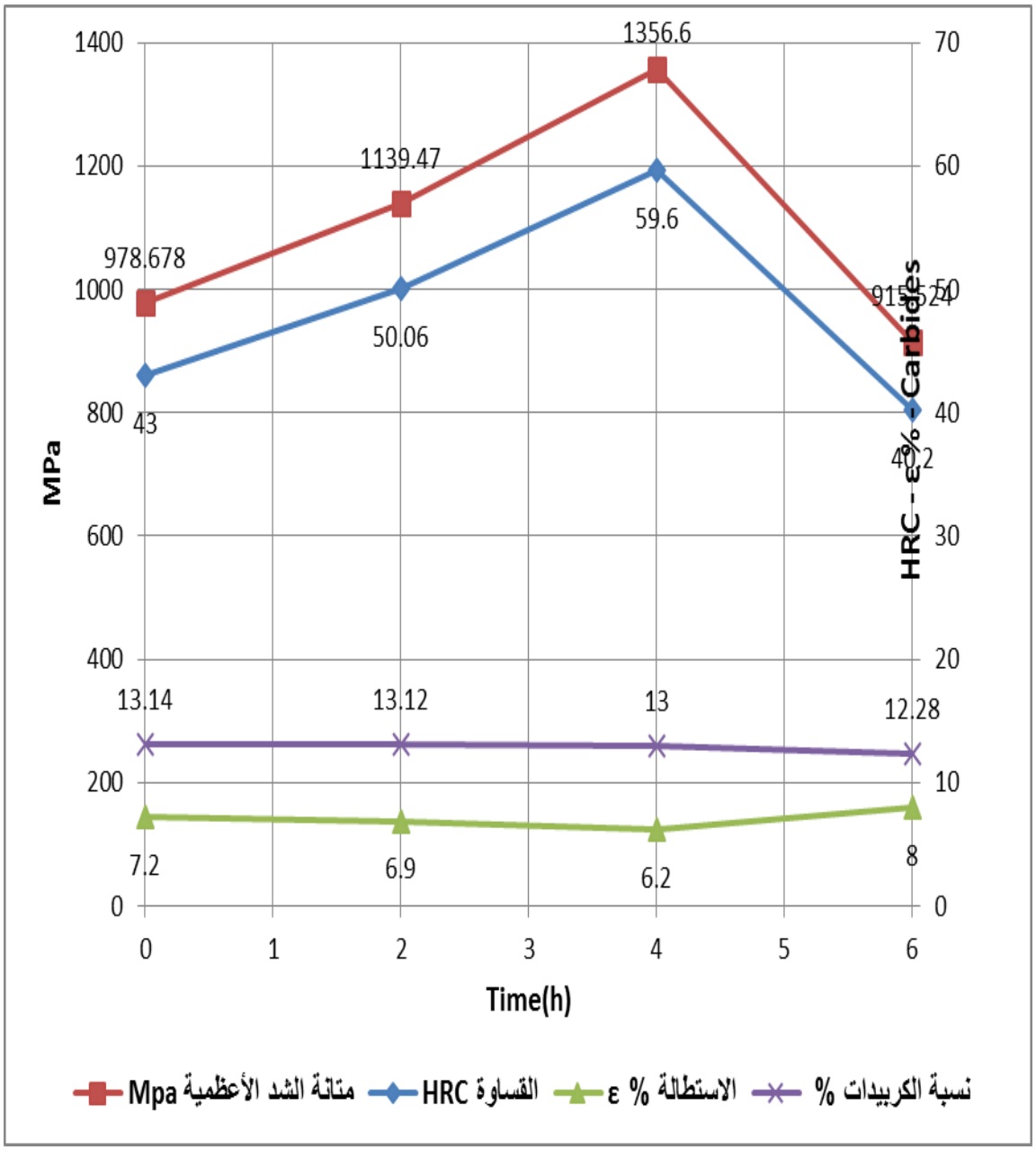
$M_{23}C_6$ وهي مترسبة في منطقة الهياكل السداسية الموشورية HCP هذا يثبت أن المعالجة بدرجة ^{o}C 850 لمدة ساعتين وأربع ساعات غير عملية لا تحسن الخصائص الميكانيكية. وهذا يتوافق مع نتائج الباحث RobertM.Pilliar[38] من حيث أن الكربيدات المترسبة شكلت شبكة أدت الى قساوة مفرطة عند المعالجة لدرجة حرارة ^{o}C 850 وهي طريقة غير عملية لتحسين الخصائص الميكانيكية.

أما عند المعالجة لمدة 6 ساعات بدرجة ^{o}C 850 فإن الفترة الزمنية هنا قد ازدادت لحد تسمح للهياكل الشبكية التحول من FCC إلى HCPوبما أن طبيعة FCCراكدة فإنه ممكن أن تُلاحظ عند درجة حرارة ^{o}C 850 وأقل، حيث يظهر هذا الطور في مناطق التراص الكبيرة وكذلك بمناطق العيوب المتجمعة. أما القساوة ومتانة الشد قد انخفضت ونسبة كربيدات أيضاً لأنها انفصلت عن بعضها نتيجة طول فترة المعالجة وأن الاستطالة قد زادت لكن بنسبة ضئيلة. وهذا يتوافق مع نتائج الباحثينLashgari، ZangenehHasanabadi[40]. أنه عند المعالجة لدرجة ^{o}C 850 لمدة تزيد على أربع ساعات تبدأ الأطوار بالتحول من شكل إلى آخر. ويمكن تفسير ذلك من خلال ما يلي:

1- في بعض الأحيان تكون فترة الانحلال قصيرة عند المعالجة لدرجة ^{o}C 1220 ولا يزال هنالك كمية من الكربيدات يؤدي وجودها الى ليونة جيدة تمنع وجود الشقوق ونمو مثل هذه الشقوق كما هو الحال في الخليطة المصبوبة التي تحوي الكربيدات الصفائحية على حدود الحبيبات.

2-بعد 2 ساعة من المعالجة بالانحلال بدرجة ^{o}C850 درجة مئوية فإنه لا يزال كمية كبيرة من الكربيدات غير المذابة موجودة، مما أدى إلى قساوة مفرطة في الخليطة، وهذا يؤدي بدوره إلى هشاشية كبيرة.

يبدو من النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها أن حجم الكربيدات وشكلها وتوزعها يؤثر في البنية المجهرية للخليطة وبالتالي يؤثر في الخصائص الميكانيكية لأن التغيرات الشكلية والحجمية للكربيدات بسبب درجة الحرارة المرتفعة أثناء المعالجة الحرارية لفترات من الزمن تصل إلى 2 ساعة بدرجة ^{o}C 1220 يزيد من المطيلية ويخفض من الهشاشية، وبالتالي الحصول على خصائص ميكانيكية جيدة.



الشكل (23.5): منحني القساوة والمحتوى الكربيدي ومتانة الشد الأعظمية بالترتيب للعينات المعالجة عند درجة حرارة 850 لفترات زمنية مختلفة.

تظهر خلاصة النتائج: 1-أنه من خلال المعالجة الحرارية للخليطة موضوع البحث عند درجة حرارة ^{O}C 1220 ولمدة ساعتين تغييراً في شكل البنية المجهرية حيث أن الكربيدات الصفائحية تحولت إلى شكل كروي منتظم مثل كربيدات $M_{23}C_6$، كما أنه نتيجة المعالجة انحل جزء كبير من هذه الكربيدات حيث انخفضت نسبتها من 13.14% إلى 5.2٪ مما يعطي خصائص ميكانيكية جيدة.

2-أدت المعالجة الحرارية لعينات البحث لفترات زمنية معينة إلى تغير في البنية المجهرية من جهة والحصول على خصائص ميكانيكية مناسبة تلبي المتطلبات البشرية من جهة أخرى، حيث أن المعالجة المثلى كانت عند درجة حرارة ^{O}C 1220 لمدة ساعتين.

3-أظهرت الاختبارات الميكانيكية للعينات المعالجة حرارياً عند درجة حرارة ^{O}C 850 خلال فترات زمنية طويلة أن الخصائص الميكانيكية تتغير لكن هذه الخصائص لا تعبر عن الحالة المثالية وذلك بسبب أن القيم لا تتوافق مع القيم المعيارية حسب ASTM F75 حيث قيم متانة الشد والقساوة قد انخفضت عند المعالجة لمدة 6 ساعات كما أن انحلال الكربيدات التي كانت على شكل شبكة يؤدي الى خصائص سيئة.

5.5 حساب معدل التآكل

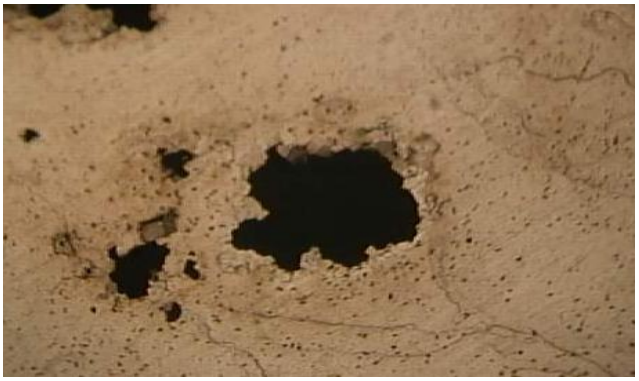
تبين الأشكال (24.5) (25.5) (26.5) (27.5) (28.5) (29.5) (30.5) البنية المجهرية للعينات المصبوبة والعينات المعالجة عند درجات حرارة وأزمنة مختلفة بعد غمرها بالمحلول الآكال (Ringer) وتم التأكد من الأطوار المتشكلة عن طريق جهاز حيود الأشعة السينية المذكورين سابقاً مع الأطوار المتشكلة المحسوبة.

الشكل (24.5): البنية المجهرية للعينة المصبوبة قبل إجراء المعالجة الحرارية وبعد غمرها بالمحول الآكال (Ringer) (50X).

الشكل (25.5)**: البنية المجهرية للعينة المعالجة بدرجة حرارة** $1220^{O}C$ **لمدة نصف ساعة وبعد غمرها بالمحول الآكال** (Ringer) (50X).

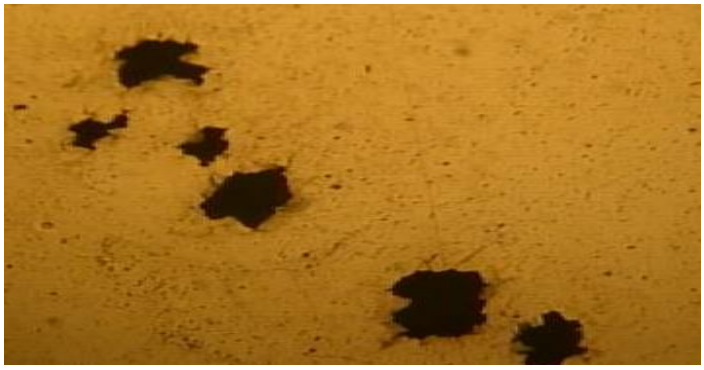
الشكل (26.5)**: البنية المجهرية للعينة المعالجة بدرجة حرارة** $1220^{O}C$ **لمدة ساعة وبعد غمرها بالمحول الآكال** (Ringer) (50X)

الشكل (27.5)**: البنية المجهرية للعينة المعالجة بدرجة حرارة** $1220^{O}C$ **لمدة ساعتين وبعد غمرها بالمحول الآكال** (Ringer) (**50** X).



الشكل(28.5): **البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة** $850^{O}C$ **لمدة ساعتين وبعد غمرها بالمحول الآكال** (Ringer) (**50**X).

الشكل (29.5): **البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة** $850^{O}C$ **لمدة** 4 **ساعات وبعد غمرها بالمحول الآكال** (Ringer) (**50**X).



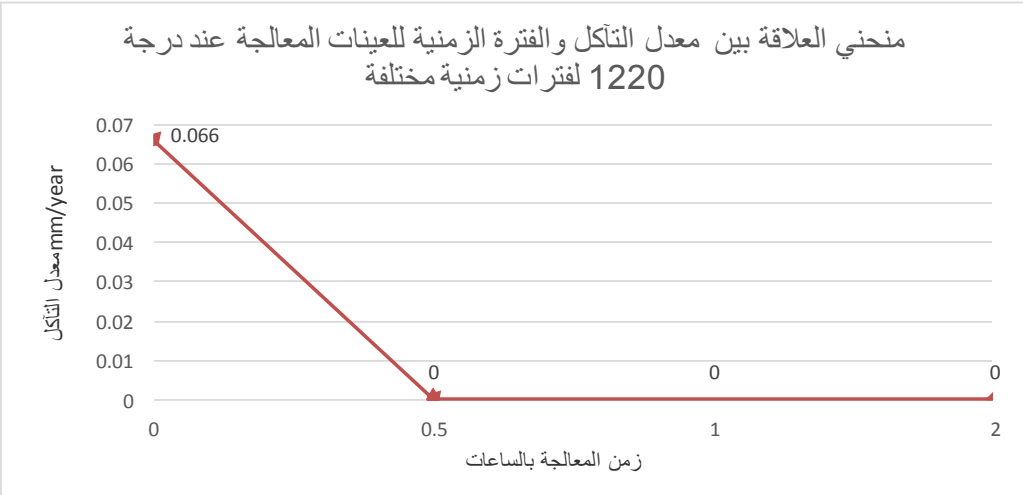
الشكل (30.5): **البنية المجهرية للعينة المعالجة عند درجة حرارة** $850^{O}C$ **لمدة** 6 **ساعات وبعد غمرها بالمحول الآكال** (Ringer) (**50**X).

الجدول (15.5) يوضح متوسط قيم النتائج (الوزن المفقود–مساحة المقطع المعرض للغمر في المحلول الآكال للعينة –كثافة المعدن المصنع منها هذه العينة – الفترة الزمنية للغمر–نسبة الكربيدات) (حيث أجري الاختبار على 3 عينات وأخذ المتوسط الحسابي).

جدول (15.5): قيم معدل التآكل ونسبة الكربيدات لكافة العينات.

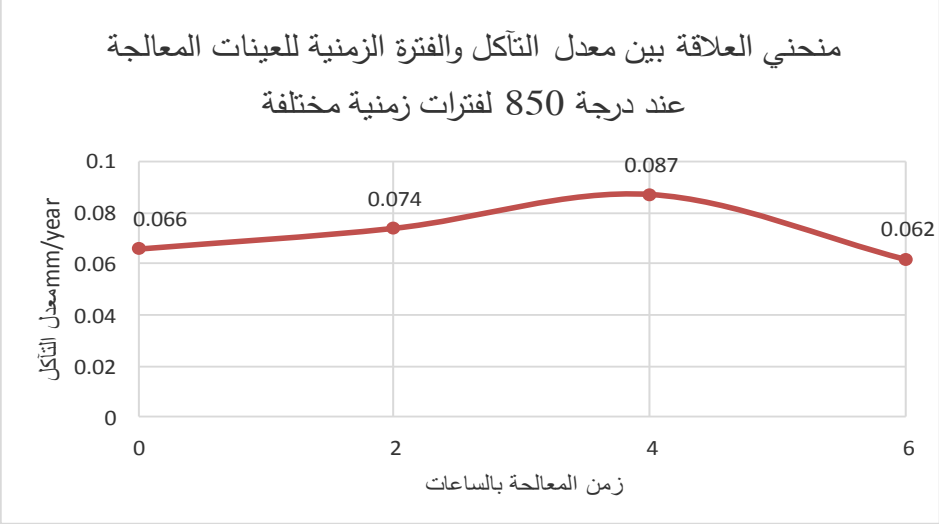
العينات	ΔW G	A Cm^2	ρ g/ Cm3	t days	نسبة الكربيدات%	CR mm/year
العينة قبل المعالجة	0.016	15.12	8.3	7	13.14	0.066
Aنصف ساعة	0				9.3	0
Bساعة	0				5.796	0
C ساعتين	0				5.268	0
D ساعتين	0.018				13.12	0.074
E أربع ساعات	0.021				13.0	0.087
F ست ساعات	0.015				12.28	0.062

يُظهر الشكل (31.5) أن منحني التآكل يبدأ عند العينة المصبوبة المتآكلة مروراً بالعينات المعالجة بدرجة $1220^{o}C$ لمدة نصف وساعة وصولاً إلى العينة المعالجة لمدة ساعتين منطبقاً على محور "زمن المعالجة" أي لا يوجد تآكل.



الشكل (31.5): منحني العلاقة بين معدل التآكل والفترة الزمنية للعينات المعالجة عند درجة $1220^{o}C$.

يُظهر الشكل (32.5) أن المنحني يبدأ بالتزايد من العينة المصبوبة إلى العينة المعالجة بدرجة $850^{O}C$ لمدة ساعتين حيث القيمة العظمى للتآكل نتيجة وجود نسبة عالية من كربيدات المتجمعة وثم ينخفض قليلة بمعدل التآكل في العينة المعالجة لمدة 4 ساعات ويتناقص ليصل لقيمة صغيرة لمعدل التآكل عند العينة معالجة لمدة 6 ساعات وذلك بسبب انتشار الكربيدات وابتعادها عن بعضها.



الشكل (32.5): منحني العلاقة بين معدل التآكل والفترة الزمنية للعينات المعالجة عند درجة $850^{O}C$.

يُلاحظ أن معدل التآكل يكون مرتفعاً في العينة المصبوبة والمغمورة بالمحلول الآكال ويعود هذا إلى وجود كمية كبيرة من الكربيدات التي تعمل على سحب الكروم وتشكيل معها كربيدات الكروم فتصبح المنطقة المحيطة فقيرة من الكروم وبالتالي حدوث التآكل النقري ويظهر هذا من البنية المجهرية لهذه العينة مع وجود كمية من الكربيدات المتشكلة وهذا يتوافق مع نتائج الباحثين[41] .

يحدث التآكل في هذا النوع من الخلائط ذات الاستخدام لفترات زمنية طويلة على هيئة تآكل نقري أما في حالة غرسات الأسنان ذات الاستخدام المؤقت يكون التآكل على هيئة تآكل شقي وذلك بسبب تعرض هذه الغرسات السنية المعدنية إلى محاليل ملحية ومحاليل حمضية ودرجات مختلفة من الحرارة سواء كانت بدرجات عالية أو درجات منخفضة.

يظهر الشكل (31.5) أن العينات المعالجة بدرجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة نصف ساعة وساعة وساعتين لم تتعرض لأي تآكل ملموس، حيث يكون معدل التآكل شبه معدوم عما

هو عليه في العينة المصبوبة وذلك لأن الكربيدات تبدأ بالانحلال والانتشار مع زيادة درجة حرارة التسخين سواء كان التسخين لمدة نصف ساعة أو ساعة أو ساعتين. عند تسخين هذا الخليطة فإن كمية كبيرة من الكربيدات تكون قد انحلت بالأرضية الشجيريه لهذه الخليطة والنسبة المتبقية من الكربيدات صغيرة ومفيدة، لأنها تحولت من الشكل الصفائحي إلى الشكل الكروي المنتظم داخل حدود الحبيبات إذ تعطي خصائص ميكانيكية جيدة [42]، وهذا ما يظهره جهاز حيود الأشعة السينية في الأشكال (13.5) (14.5) (16.5) والجداول السابقة (7.5) (8.5) (9.5) حيث ظهرت مجموعة من الإشارات التي تدل على الأطوار المتشكلة لهذه العينات المعالجة. وعند غمر هذه العينات المحتوية على الكروم الموليبدنييوم قد يحدث أحد الأمرين:

-إما أن تتحد ذرات الكربون مع الموليبدنييوم بدلاً من تفاعلها مع ذرات الكروم مشكلة كربيدات الموليبدنييوم التي تعمل على زيادة مقاومة التآكل، وبذلك تترك ذرات الكروم حتى تتفاعل مع جزيئات الأكسجين مشكلة أكسيد الكروم وهو عبارة عن الطبقة الرقيقة التي تحمي هذه الخليطة من التآكل الكيميائي.

-أو تتفاعل ذرات الكربون مع ذرات الكروم مشكلة كربيدات الكروم حيث يتم سحب الكروم من المناطق المجاورة للكربيدات مما يسبب نضوب الكروم في هذه المناطق ويصبح عرضة لحدوث التآكل النقري وهذا يتوافق مع الباحثين[43] .

كما هو واضح من الشكل(32.5) أن العينات المعالجة بدرجة $850^{O}C$ لمدة ساعتين و4 ساعات تبدي معدل تآكل عالي وذلك قد يكون بسبب أن الكربيدات اقتربت من بعضها وشكلت شبكة كربيدية واسعة أي أن كمية الكربيدات لم تنخفض كثيراً[42]، فقد جذبت كامل الكروم الموجود على حدود الحبيبات أي أنها قامت بعملية توعية ونضوب الأرضية الشجيريه من الكروم وخاصة بمنطقة حدود الحبيبات حيث التآكل لذاك يحدث التآكل النقري أو الشقي وينتشر بشكل كامل ليؤدي إلى انهيار المعدن، وذلك لعدم تشكل طبقة أكسيديه واقية ونضوب الأرضية الشجيريه من الكروم وهذا ما يظهره جهاز حيود الأشعة السينية في الشكلين (20.5) (21.5) والجدولين السابقة (11.5) (12.5) حيث ظهرت مجموعة من الإشارات التي تدل على الأطوار المتشكلة لهذه العينات المعالجة. وجود كميات من كربيدات الكروم في هذه العينات التي تؤكد عدم فعالية هذه المعالجة

بمقاومة التآكل بل على النقيض تظهر زيادة معدل التآكل حيث أن التحول الطوري للبنية يؤدي الى انخفاض بمقاومة التآكل وهذا يتوافق مع نتائج الباحثين [44].

أما عند المعالجة لفترة 6 ساعات يكون الوقت كافي لابتعاد الكربيدات عن بعضها وانتشارها حسب آلية الانتشار وكذلك انخفاض في كميتها وعلى الرغم من ذلك فإن مقدار التآكل ونقصان الوزن لا يزالان بمعدلات عالية وغير مرغوب بها كما هو ظاهر بمنحني التآكل الشكل (32.5) وهذا قد يكون نتيجة لجذب كميات كبيرة من الكروم اليها لتشكل معها كربيدات كروم وبالتالي نضوب الأرضية الشجيريه ومنطقة حدود الحبيات من عنصر الكروم مما يؤدي إلى عدم قدرتها على تشكيل الطبقة الأكسيدية الواقية نظرا لانتشار الكربيدات بأماكن مختلفة من هذه الخليطة وهذا يتوافق مع الباحثين [45]. وهذا ما يظهره جهاز حيود الأشعة السينية في الشكل (22.5) والجدول السابقة (13.5) حيث ظهرت مجموعة من الإشارات التي تدل على الأطوار المتشكلة لهذه العينات المعالجة.

تظهر خلاصة النتائج: أن معدل التآكل عالي في العينات المصبوبة من دون إجراء معالجة حرارية وذلك بسبب تشكل الكربيدات وهي كربيدات الكروم الموليبدنييوم.

لم يلاحظ أي تآكل عند المعالجة بدرجة حرارة $1220^{O}C$ وذلك بسبب أن ذرات الكربون قد اتحدت مع ذرات الموليبدنيوم مشكلةً معها كربيدات الموليبدنييوم وتاركة المجال لذرات الكروم أن تتحد مع ذرات الأكسجين مشكلة أكسيد الكروم الطبقة الأكسيديه الواقية.

معدلات تآكل عالية عند المعالجة بدرجة حرارة $850^{O}C$ بسبب تشكل كربيدات الكروم ونضوب المناطق ما بين حدود الحبيبات بذرات الكروم مما يجعلها فقيرة بعنصر الكروم وعرضة للتآكل النقري.

أفضل طريقة للمعالجة هي عند درجة حرارة $1220^{O}C$ لمدة ساعتين بنية مجهرية متجانسة ولا يوجد أي تآكل.

النتائج:

1-من خلال الدراسات السابقة تبين أن التصنيع بطريقة الشمع المفقود هي أكثرا اقتصادية من طريقة SHAW PROCESS

2-إن طرق التصنيع الحديثة (CNC-EBM) متساوية من الناحية الاقتصادية.

3-إن أجزاء المفصل الصناعي المصمم على برنامج الميكانكيل تقوم بحركة الانبساط والانقباض والدوران لزوايا انحناء تصل إلى 120درجة وزاوية دوران 15 درجة.

4-أظهرت البنية المجهرية لهذه الخليطة أنها تحوي نسبة عالية من الكربيدات التي تعطي هشاشية عالية ومطيلية منخفضة.

5-إن المعالجة الحرارية لدرجة حرارة 1220 درجة مئوية لزمن إبقاء ساعتين هي الأمثل من المعالجات الحرارية المختلفة للتقليل من الهشاشية وزيادة المطيلية والحصول على بنية مجهرية متجانسة وخصائص ميكانيكية جيدة.

6-المعالجة الحرارية عند 1220 درجة مئوية منعت حدوث التآكل بينما عند 850 حدث التآكل النقري.

7-الكربيدات ذات الشكل الكروي سحبت الموليبدنيوم وشكلت معه كربيدات موليبدنييوم وفتحت المجال للكروم ليشكل الطبقة الأكسيديه الواقية التي تمنع التآكل.

التوصيات

1-تأسيس ورشة أو شركة صغيرة تحوي على حواسيب ومكنات CNC خماسية المحاور ومكنات التصنيع المضاف Rapid Prototyping مع وجود أفران تحريضية لدرجات حرارة عالية ومجهزة بمجاهر ضوئية وجهاز حيود الأشعة السينية. حتى يتم التصنيع بطريقتين التقليدية والحديثة.

2-توفير كادر من مهندسي التصميم ومهندسي الطبية ومهندسي علم المواد لتأمين الرابط مابين خبرات كافة هؤلاء المهندسين ليخدم العلم ويحقق الغرض المطلوب.

3-فتح مجال لتصنيع هذه الأطراف الصناعية في بلدنا وزرع هذا المفصل المصنع محلياً في جسم إنسان مريض يحتاج لتبديل مفصل طبيعي بآخر صناعي وكيفية أداء عمله وكذلك التوسع بمجال تطويره خاصة في مجال التصميم وتصنيع هذا المفصل للحصول على الجودة العالية وبأقل التكاليف.

4-الأفق دراسة معدل تآكل واهتراء هذا المفصل المركب داخل جسم الإنسان بما في ذلك التآكل الكيميائي والاهتراء الميكانيكي ضمن البيئة البيولوجية الموضوع فيها.

المراجع العربية والأجنبية:

[1] –الطبية، سليمان. (زراعة المفاصل الصناعية تمكن المريض من مزاولة حياته بشكل طبيعي). استرجعت في تاريخ 27 تموز، 2011

http://www.al-mahd.net/vb/showthread.php?t=38960&page=3

[2]– زهار، محمود.(آلام الركبة أو إلتهاب الركبة) استرجعت في تاريخ 18 ايلول،2011

http://znotc.com

[3]–عبد الباقي،هشام.(خشونة الركبة) استرجعت في تاريخ 10 تشرين الثاني،2011

http://www.alrowadclinic.com/kneeoa2.htm

[4]–ليهنر،بوركارد.(استبدال مفصل ركبة) استرجعت في تاريخ 15 كانون الثاني،2011

/http://ar.health-tourism.com/knee-replacement/germany

[5]- Rimnac, C. M., Wright, T. M., Bartel, D. L., Klein, R. W., & Petko, A. A. (1991). Failure of orthopedic implants: three case histories. *Materials Characterization*, *26*(4), 201-209.

[6]-Khoo, L. P., Goh, J. C. H., & Chow, S. L. (1993). Parametric modelling of a knee joint prosthesis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, *207*(2), 115-120.

[7]-Sathasivam, S., Walker, P. S., Pinder, I. M., Cannon, S. R., & Briggs, T. W. (1999). Custom constrained condylar total knees using CAD-CAM. *The Knee*, *6*(1), 49-53.

[8]-Li, B., Mukasyan, A., & Varma, A. (2003). Combustion synthesis of CoCrMo orthopedic implant alloys: microstructure and properties. *Materials Research Innovations*, *7*(4), 245-252.

[9]- Hilerio, I., Mathia, T., & Alepee, C. (2004). 3D measurements of the knee prosthesis surfaces applied in optimizing of manufacturing process. *Wear*, *257*(12), 1230-1234.

[10]- Lin, Y. P., Wang, C. T., & Dai, K. R. (2005). Reverse engineering in CAD model reconstruction of customized artificial joint. *Medical Engineering & Physics*, *27*(2), 189-193.

[11]- Carr, B. C., & Goswami, T. (2009). Knee implants–review of models and biomechanics. *Materials & Design*, *30*(2), 398-413.

[12]- M Lilja و ،T Öberg) .march, 2011 .(Clinical evaluation of trans-tibial prosthesis sockets: A comparison between CAD CAM and conventionally produced sockets . Prosthetics and Orthotics International, 15(7)

[13]-Giacchi, J. V., Morando, C. N., Fornaro, O., & Palacio, H. A. (2011). Microstructural characterization of as-cast biocompatible Co–Cr–Mo alloys. *Materials Characterization*, *62*(1), 53-61.

[14]-Murr, L. E., Gaytan, S. M., Martinez, E., Medina, F., & Wicker, R. B. (2012). Next Generation Orthopaedic Implants by Additive Manufacturing Using Electron Beam Melting. *International journal of biomaterials*, *2012*.

[15]- Giacchi, J. V., Fornaro, O., & Palacio, H. (2012). Microstructural evolution during solution treatment of Co–Cr–Mo–C biocompatible alloys. *Materials Characterization*, *68*, 49-57.

[16] – صابوني،حكمت. (ما هي أنواع المفصل الصناعي وما هي أجزائه). استرجعت في 15 شباط،2012 –

[17]– خواص المواد.استرجعت في 3 آذار،2012.

http://dc400.4shared.com/doc/HQlhCPxc/preview.htm

[18]-Revie, R. W., & Uhlig, H. H. Cobalt and Cobalt Alloys. *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering*, Fourth Edition, 419-423.

[19]-Papp, J. F., & Lipin, B. R. (2001). Chromium and chromium alloys. *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*.

[20]– ASTM– F75 استرجعت في 15نيسان، 2012

.www.arcam.com/…/Arcam–**ASTM–F75**–Cobalt–Chrom

[21]- Been, J., & Grauman, J. S. (2011). Titanium and titanium alloys. Uhlig's *Corrosion Handbook*, Third Edition, 861-878.

[22]-Bäumel, A., Drodten, P., Heitz, E., & Bender, R. Molybdenum and molybdenum alloys. *Corrosion Handbook*.

[23]– plansee group. استرجعت في 17 أيار،2012

http://www.plansee.com/en/Materials–Molybdenum–402.htm?gclid=CK_4prDytK4CFQ8gfAodYFaYOg

[24] -Muratoglu, O. K., Bragdon, C. R., O'Connor, D. O., Jasty, M., & Harris, W. H. (2001). A novel method of cross-linking ultra-high-molecular-weight polyethylene to improve wear, reduce oxidation, and retain mechanical properties: recipient of the 1999 HAP Paul Award. *The Journal of arthroplasty*, 16(2), 149-160.

[25]– البلمرة. استرجعت في 2 حزيران،2012

http://www.goodfellow.com/larger-quantities/polymers/ultra-high-molecular-weight-polyethylene-uhmwpe

[26]- السباكة. استرجعت في 10 حزيران،2012

http://forum.stop55.com/295802.html#post2231866

[27]- Handbook, A. S. M. (1988). Casting, vol. 15. *ASM International*.

[28] استرجعت في 15 آب،. Induction furnace.-2012]

http://en.wikipedia.org/wiki/Induction_furnace

[29]- Ramírez-Vidaurri, L. E., Castro-Román, M., Herrera-Trejo, M., García-López, C. V., & Almanza-Casas, E. (2009). Cooling rate and carbon content effect on the fraction of secondary phases precipitate in as-cast microstructure of ASTM F75 alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, *209*(4), 1681-1687.

[30]- Darwish, Saied.(2010). Custom-Made Artificial Knee. *King Saud University*, 36(1),

[31]- Sandin, P. E. (2003). *Robot Mechanisms and Mechanical Devices Illustrated* (pp. 236-237). McGraw-Hill.

[32]- Lee, J. N., Chen, H. S., Luo, C. W., & Chang, K. Y. (2010). Rapid prototyping and multi-axis NC machining for the femoral component of knee prosthesis. *Life Science Journal*, *7*(1), 79-83.

[33]- Petrovic, V., Haro, J. V., Blasco, J. R., & Portolés, L.(2012) Additive Manufacturing Solutions for Improved Medical Implants.

[34] عزيمة، خليل. (2012)،" علم المواد وهندستها". منشورات جامعة دمشق

[35]- Jevremovic, D., Puskar, T., Kosec, B., Vukelic, Đ., Budak, I., Aleksandrovic, S.,... & Williams, R. (2012). The analysis of the mechanical properties of F75 Co-Cr alloy for use in selective laser melting (SLM) manufacturing of removable partial dentures (RPD). Metalurgija-Zagreb, 51(2), 171.

[36] المحاضرات العملية لمخبر الاختبارات اللاإتلافية لمادة NDT

"Beijing Time High Technology Ltd"

[37]-Cullity, B. D. (2001). Elements of X-ray Diffraction (Vol. 2). Addison-Wesley Publishing Company,INC

[38]-Pilliar, R. M. (2009). "Metallic biomaterials". In Biomedical Materials (pp. 41-81). Springer US.

[39]- Patel, B., Favaro, G., Inam, F., Reece, M. J., Angadji, A., Bonfield, W.,... & Edirisinghe, M. (2012)." Cobalt-based orthopaedic alloys: Relationship between forming route, microstructure and tribological performance."Materials Science and Engineering: C, 32(5), 1222-1229.

[40]- Lashgari, H. R., Zangeneh, S., Hasanabadi, F., & Saghafi, M. (2010). "Microstructural evolution during isothermal aging and strain-induced transformation followed by isothermal aging in Co-Cr-Mo-C alloy: A comparative study". Materials Science and Engineering: A, 527(16), 4082-4091

[41]- [1]. Manivasagam, G., Dhinasekaran, D., & Rajamanickam, A. (2010). Biomedical Implants: Corrosion and its Prevention-A Review, Recent Patents on Corrosion Science.

[42] –بطرس،باولا (2014)." تأثير المعالجة الحرارية في البنية المجهرية والخصائص الميكانيكية لخليطة كوبالت كروم موليبدنييوم ،" مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية.

[43]- Casabán Julián, L., & Igual Muñoz, A. (2011). Influence of microstructure of HC CoCrMo biomedical alloys on the corrosion and wear behaviour in simulated body fluids, Tribology International, 44(3), 318-329.

[44]-Montero-Ocampo, C., Juarez, R., & Rodriguez, A. S. (2002). Effect of FCC-HCP phase transformation produced by isothermal aging on the corrosion resistance of a Co-27Cr-5Mo-0.05 C alloy, Metallurgical and Materials Transactions A, 33(7), 2229-2235.

[45]- Kurosu, S., Nomura, N., & Chiba, A. (2006). Effect of sigma phase in Co-29Cr-6Mo alloy on corrosion behavior in saline solution, Materials transactions, 47(8), 1961.

[46]- Bedolla-Gil, Y., Juarez-Hernandez, A., Perez-Unzueta, A., Garcia-Sanchez, E., ercado-Solis, R., & Hernandez-Rodriguez, M. A. L. (2009). Influence of heat treatments on mechanical properties of a biocompatility alloy ASTM F75. Rev. Mex. Fıs. S, 55(1), 1-5.

Abstract

An inflammatory disease of the knee joint is one of the most diseases, which require persons those infected to joint replacement in counterpart artificial.

One of the main problems in our country is the lack of such an artificial joint where it is imported from abroad, and in the current circumstances, the availability in the local market is very limited as it quite expensive.

In this research, we suggested a solution to this problem by an academic study to design and know manufacturing steps of artificial knee joint, but research in this filed remains an urgent matter requires more attention.

The goal of this research is to know the quality of the materials that go into the manufacture of this joint, as well as the design and manufacturing steps by traditional methods that rely on investment casting, and modern methods that depend on Rapid Prototyping machines and digital control machines, and find out the optimum heat treatment.

In this research, we used spectroscopy machine to determine the chemical composition of the metal alloy, optical microscopy (OM) to identify the microstructure and how to put carbides, X-ray diffraction (XRD) to ascertain phases formed.We obtained a sample of a waxy part of this artificial joint by injecting wax within the Silicon template. Parts of the artificial joint were drawn by engineering drawing program (Mechanical) using device (Digitizer), and the use of the program (Hyper mail) to bring out the (G-Cod) to each part of the artificial joint. Heat treatments were conducted using electric furnaces with two-temperature $1220^{O}C$-$850^{O}C$ and different periods; also, we knew the microstructure and phases formed in each case from previous processors. Both (Affri) and (Instron) devices were used to measure the hardness values and tensile strength. In addition, balance with a high sensitivity was used to measure the weight of the samples before and after immersed Ringer's solution corrosive. Optimum heat treatment system for this alloy was found that the optimum temperature is $1220^{O}C$ and a retained for two hours, leads of this treatment to obtain the homogeneous structure and good mechanical properties and low rate of corrosion.

We found through previous research that the use of modern technologies allows flexibility in the design of the joint, and need less time periods by using digital control machines or Rapid Prototyping machines, and do not need the skill factor, unlike traditional methods of investment casting that we can’t make adjustments in form, as they require long periods of time to prepare templates and melt the metal and poured ,in addition to the need for the experience factor.

Syrian Arab Republic

Damascus University

Faclty of Mechanical & Electrical Engineering

Mechanical Design Engineering Department

Economic Study for Advanced Technologies for Design and Manufacturing Processes an Artificial Knee Joint

Graduation Project Prepared to Obtain a Master degree of Industrial Engineering

By

Student.Engineer: Paula Botrous

Supervised by

Dr.Eng.Hasan Hdla **Dr.Eng. Khalil Azema**