



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم: هندسة التصميم الميكانيكي

اختصاص: هندسة أتمتة الإنتاج

تصميم مقبض روبوت بمحاكاة حركة فكوك بعض الحيوانات Design of Robot Gripper Using Simulation Of Some Animals Jaws

أطروحة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة أتمتة الإنتاج

إعداد:

م. فردوس سعيد الحاج

المشرف المشارك

د. نافع عفّاش

إشراف

أ.د.م. محمود بني المرجة

العام

2021

الإهداء

إلى النور الذي ينير لي درب النجاح أبي وأمي الغاليين.

إلى الذين كانوا سنداً داعماً لي في شتى الظروف أخوتي الأحباء.

إلى الذين شاركوني حلو الحياة ومرها وكانوا العون لي أصدقائي وزملائي الأعزاء.

إلى كل من أضاء بعلمه عقل غيره، أساتذتي الأفاضل.

~~~~~

~~~~~

~~~~~

# كلمة شكر

( الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات )

الحمد والشكر لله رب العالمين الذي بفضله وعونه تم إنجاز هذا العمل.

والشكر الجزيل للمشرف العلمي الأستاذ الدكتور محمود بني المرجة والمشرف المشارك الدكتور

نافع عفاش اللذين لم يدخرا جهداً في مساعدتي لإتمام هذا البحث.

كما أتقدم بالشكر والامتنان لكل من ساعدني في إنجاز هذا العمل.

~~~~~

~~~~~

~~~~~

الملخص

تم تصميم وتنفيذ قبضة روبوتية بالاستفادة من أسلوب العض والابتلاع في فك الأفعى. تتألف هذه القبضة من فكين: الفك العلوي وهو عبارة عن زوج من ميكانيزم رباعي المحاور (4bar) والفك السفلي عبارة عن قطعتين صُممتا بطريقة تسمح للفك بالتمدد الجانبي من أجل استيعاب الأحجام الكبيرة. يتم تحريك الفكين العلوي والسفلي بواسطة ميكانيزم ساعدي مرفقي لكل من الفكين. تتم قيادة هذه القبضة ككل بمفعل وحيد عن طريق ميكانيزم برغي _ صامولة. بعد ذلك تم دراسة النموذج الهندسي المباشر والعكسي للقبضة وقمنا بتمثيل هذه العلاقات على برنامج الـ *MatLab*. ثم قمنا بدراسة القوى الستاتيكية للميكانيزم و تحديد العزم والاستطاعة المطلوبة للمحرك لإتمام عملية القبض. ختاماً تم التأكد من النتائج عن طريق إجراء المحاكاة الديناميكية للميكانيزم باستخدام برنامج الـ *Inventor*.

الكلمات المفتاحية: قبضة، ميكانيزم ساعدي مرفقي، محاكاة ديناميكية.

Abstract

Inspired by the bite and swallowing function of a snake's mouth, a robot end-effector grabbing mechanism was designed and implemented. This gripper consists of two jaws: the upper jaw consists of a double four-bar linkage mechanism and the lower jaw mechanism consists of two pieces designed to allow the jaw to extend laterally to accommodate the large sizes of the loads. The upper and lower jaws are moved by a slider-crank mechanism for each of the jaws. This gripper driven as a whole by a screw-bolt mechanism. The direct and invers geometry of the gripper were studied. Where these relationships were represented on the *Matlab* program. Then we studied the static forces of the mechanism and determine the torque and power required for the motor to achieve the gripping process. Then the results were confirmed by performing the dynamic simulation of the mechanism on the inventor program.

Keyword: gripper, slider-crank mechanism, dynamic simulation.

المحتويات

المُلخص	4
قائمة الأشكال	9
قائمة الجداول	13
الفصل الأول: التعريف بالبحث	
1- مقدمة عامة	15
2- الأذرع الروبوتية	16
1-2- أنماط الأذرع الروبوتية	18
2-2- القبضات الروبوتية	22
3- طرق العض عند بعض الحيوانات المفترسة	25
1-3- مواصفات فكوك بعض الحيوانات	26
4- الهدف من البحث	27
5- اختيار الميكانيزم المناسب بالاستفادة من طريقة العض عند الحيوانات	27
6- الدراسة المرجعية	29
7- دفتر الشروط الوظيفية	29
الفصل الثاني: النمذجة الهندسية والحركية للميكانيزم المقترح	
1- آلية عمل الميكانيزم المقترح	31
2- المخطط الحركي للميكانيزم	33
3- النمذجة الهندسية	34

34	1-3- النموذج الهندسي المباشر
34	1-1-3- النموذج الهندسي المباشر لل فك العلوي
38	2-1-3- النموذج الهندسي المباشر لل فك السفلي
39	2-3- النموذج الهندسي العكسي
39	1-2-3- النموذج الهندسي العكسي لل فك العلوي
40	2-2-3- النموذج الهندسي العكسي لل فك السفلي
41	4- النمذجة الحركية
41	1-4- النموذج الحركي للميكانيزم
41	1-1-4- علاقة النموذج الحركي لل فك العلوي
44	2-1-4- علاقة النموذج الحركي لل فك السفلي
45	2-4- النموذج التحريكي للميكانيزم
46	1-2-4- علاقة النموذج التحريكي لل فك العلوي
50	2-2-4- علاقة النموذج التحريكي لل فك السفلي
52	5- تمثيل علاقات النموذج الهندسي المباشر والعكسي على برنامج MATLAB
53	1-5- التمثيل البياني للنموذج الهندسي المباشر والعكسي للحالة الأولى لل فك العلوي
55	2-5- التمثيل البياني للنموذج الهندسي المباشر والعكسي للحالة الثانية لل فك العلوي
57	3-5- التمثيل البياني للنموذج الهندسي المباشر والعكسي لل فك السفلي

الفصل الثالث: التصميم الميكانيكي

61	1- التصميم الميكانيكي ل قبضة الروبوت
64	2- دراسة القوى الستاتيكية
64	1-2- حساب قوة الاحتكاك
73	3- تحديد مواصفات المفاعل الانسحابي
74	1-3- حساب التسارع الزاوي
75	4- الدراسة الإنشائية

الفصل الرابع: النتائج والمحاكاة العملية

- 1- مقدمة عامة عن النمذجة 79
- 2- المحاكاة الديناميكية للمقبض 79
- 1-2- الوضعية الشاقولية 80
- 2-2- الوضعية الأفقية 83
- 3- النتائج العملية لميكانيزم القبضة 85

الفصل الخامس: الخاتمة والآفاق المستقبلية

- 1- الخاتمة 89
- 2- الآفاق المستقبلية 90
- المراجع 92
- المخططات التصميمية 94

قائمة الأشكال

- الشكل (1.1): أنظمة النقل، السيور..... 15
- الشكل (2.1): أنواع المفاصل 16
- الشكل (3.1): ذراع روبوتية ذات قبضة بإصبعين متوازيين مخصصة للنقل..... 18
- الشكل (4.1): ذراع روبوتية ذات قبضة ثابتة مخصصة لعملية التجميع..... 18
- الشكل (5.1): الروبوتات الديكارتية أو المستطيلة..... 19
- الشكل (6.1): الروبوتات الأسطوانية..... 19
- الشكل (7.1): الروبوتات الكروية أو القطبية..... 19
- الشكل (8.1) المخطط الحركي للذراع SCARA..... 20
- الشكل (9.1): روبوت تفرعي لمحاكاة عملية الطيران..... 20
- الشكل (10.1): قبضة روبوتية بإصبعين متماثلين..... 22
- الشكل (11.1): قبضة روبوتية بإصبعين قابلين للتكيف..... 22
- الشكل (12.1): قبضة بثلاث أصابع قابلة للتكيف..... 23
- الشكل (13.1): قبضة بخمس أصابع تشبه اليد..... 23
- الشكل (14.1): أنواع عملية القبض..... 24
- الشكل (15.1): تركيبة الفك السفلي عند التمساح..... 25

- الشكل (16.1): زاوية الفتح العظمى في فك الأفعى 28
- الشكل (17.1): الأربطة القابلة للتمدد التي تصل عظام الفك 28
- الشكل (1.2): التصميم الميكانيكي المقترح للقبضة الروبوتية 32
- الشكل (2.2): المخطط الانفجاري لميكانيزم القبضة الروبوتية 32
- الشكل (3.2): المخطط الحركي للميكانيزم 33
- الشكل (4.2): زاويتا الفكين العلوي والسفلي 34
- الشكل (5.2): المخطط الحركي للفك العلوي عندما $\theta_1 \in [0^\circ, 24.5^\circ]$ 35
- الشكل (6.2): المخطط الحركي للفك العلوي عندما $\theta_1 \in [24.5^\circ, 75^\circ]$ 37
- الشكل (7.2): المخطط الحركي للفك السفلي عندما $\theta_2 \in [45^\circ, 95^\circ]$ 38
- الشكل (8.2): المخطط البياني للنموذج الهندسي المباشر للحالة الأولى للفك العلوي 53
- الشكل (9.2): المخطط البياني للنموذج الهندسي العكسي للحالة الأولى للفك العلوي 54
- الشكل (10.2): التحقق العملي للحالة الأولى للفك العلوي عملياً على برنامج inventor 54
- الشكل (11.2): المخطط البياني للنموذج الهندسي المباشر للحالة الثانية للفك العلوي 55
- الشكل (12.2): المخطط البياني للنموذج الهندسي العكسي للحالة الثانية للفك العلوي 56
- الشكل (13.2): التحقق العملي للحالة الثانية للفك العلوي عملياً على برنامج inventor 56
- الشكل (14.2): المخطط البياني للنموذج الهندسي المباشر للفك السفلي 57
- الشكل (15.2): المخطط البياني للنموذج الهندسي العكسي للفك السفلي 58
- الشكل (16.2): التحقق العملي لحالة الفك السفلي عملياً على برنامج inventor 58

61	الشكل (1.3): التصميم النهائي لقبضة الروبوت.....
62	الشكل (2.3): الأجزاء الأساسية المولفة للقبضة
64	الشكل (3.3): تأثير قوى الحمل على القبضة الروبوتية.....
66	الشكل (4.3): القوى المؤثرة على الوصلة 1.....
67	الشكل (5.3): القوى المؤثرة على الوصلة 5.....
67	الشكل (6.3): القوى المؤثرة على الوصلة 2.....
68	الشكل (7.3): مثلث القوى للوصلة 2.....
68	الشكل (8.3): القوى المؤثرة على الوصلة 3.....
68	الشكل (9.3): مثلث القوى للوصلة 3.....
69	الشكل (10.3): القوى المؤثرة على الوصلة 4.....
69	الشكل (11.3): الميكانيزم الساعدي المرفقي للفاك العلوي.....
70	الشكل (12.3): القوى المؤثرة على الوصلة 8.....
70	الشكل (13.3): القوى المؤثرة على الوصلة 4.....
70	الشكل (14.3): القوى المؤثرة على الوصلة 7 للميكانيزم الساعدي للفاك العلوي.....
71	الشكل (15.3): مثلث القوى للوصلة 7 للميكانيزم الساعدي للفاك العلوي.....
71	الشكل (16.3): الميكانيزم الساعدي المرفقي في الفاك السفلي.....
71	الشكل (17.3): القوى المؤثرة على الوصلة 9.....
72	الشكل (18.3): القوى المؤثرة على الوصلة 10.....
72	الشكل (19.3): القوى المؤثرة على الوصلة 7 للميكانيزم الساعدي للفاك السفلي.....
72	الشكل (20.3): مثلث القوى للوصلة 7 للميكانيزم الساعدي للفاك السفلي.....

- الشكل (21.3): إجهاد **von Mises** للقبضة في الوضعية الشاقولية..... 76
- الشكل (22.3): إجهاد **von Mises** للقبضة في الوضعية الأفقية..... 76
- الشكل (23.3): قيمة التدلي للقبضة في الوضعية الشاقولية..... 77
- الشكل (24.3): قيمة التدلي للقبضة في الوضعية الأفقية..... 77
- الشكل (1.4): قبضة الروبوت في الوضعية الشاقولية..... 80
- الشكل (2.4): المخططات البيانية للعزم والقوى في حالة الوضعية الشاقولية للميكانيزم..... 80
- الشكل (3.4): التمثيل البياني لقيم القوى بالنسبة للزمن في حالة الوضعية الشاقولية للميكانيزم 81
- الشكل (4.4): نتائج قيم القوى في حالة الوضعية الشاقولية للميكانيزم..... 82
- الشكل (5.4): قبضة الروبوت في الوضعية الأفقية..... 83
- الشكل (6.4): المخططات البيانية للعزم والقوى في حالة الوضعية الأفقية للميكانيزم..... 83
- الشكل (7.4): نتائج قيم القوى في حالة الوضعية الأفقية للميكانيزم..... 84
- الشكل (8.4): القبضة الروبوتية المنفذة 85
- الشكل (9.4): إمساك القبضة لعجلة متوسطة الحجم 86
- الشكل(10.4): إمساك القبضة لشكل أسطواني 86
- الشكل(11.4): إمساك القبضة لجسم مستطيل الشكل 87
- الشكل(12.4): إمساك القبضة لعجلة كبيرة الحجم 87
- الشكل(13.4): إمساك القبضة بوضعيتين مختلفتين لجسم بشكل متوازي مستطيلات 87

قائمة الجداول

- الجدول (1.1): دفتر الشروط الوظيفية 29
- الجدول (1.3): رموز ومادة الأجزاء الأساسية المؤلفة للقبضة ووزنها وسماتها وعددها 62
- الجدول (2.3): جدول معاملات الاحتكاك السكوني والحركي 65

الفصل الأول

التعريف بالبحث

التعريف بالبحث

نعرض في هذا الفصل تعريفاً بموضوع البحث.

1- مقدمة عامة:

نتيجة للتطور الصناعي الكبير، ظهرت الحاجة إلى تقنيات ووسائل متطورة، تكون قادرة على إنجاز عمليات الإنتاج والتصنيع بمختلف أجزائها بكفاءة عالية وسرعة كبيرة لكي تغطي الحاجات المتزايدة للمنتجات الصناعية. تلك الحاجة أدت إلى تطوير أدوات قادرة على القيام بالمهام المطلوبة دون الحاجة للمتابعة الدائمة من العامل البشري، مما زاد بشكل كبير في القدرة التصنيعية للمنشآت التي تستخدم هذه الأدوات. كانت هذه الأدوات في البداية عبارة عن أنظمة بسيطة قادرة على إتمام مهمة واحدة في غالب الأحيان مثل أنظمة الفرز الميكانيكية التي تعتمد على الشكل أو الحجم للفرز بحيث أنها تقوم بفرز غرض محدد، أو الأنظمة الميكانيكية المخصصة للنقل حيث تقوم بنقل الاجزاء المصنعة ضمن أقسام المصانع (الشكل (1.1)).



الشكل (1.1): أنظمة النقل، السيور.

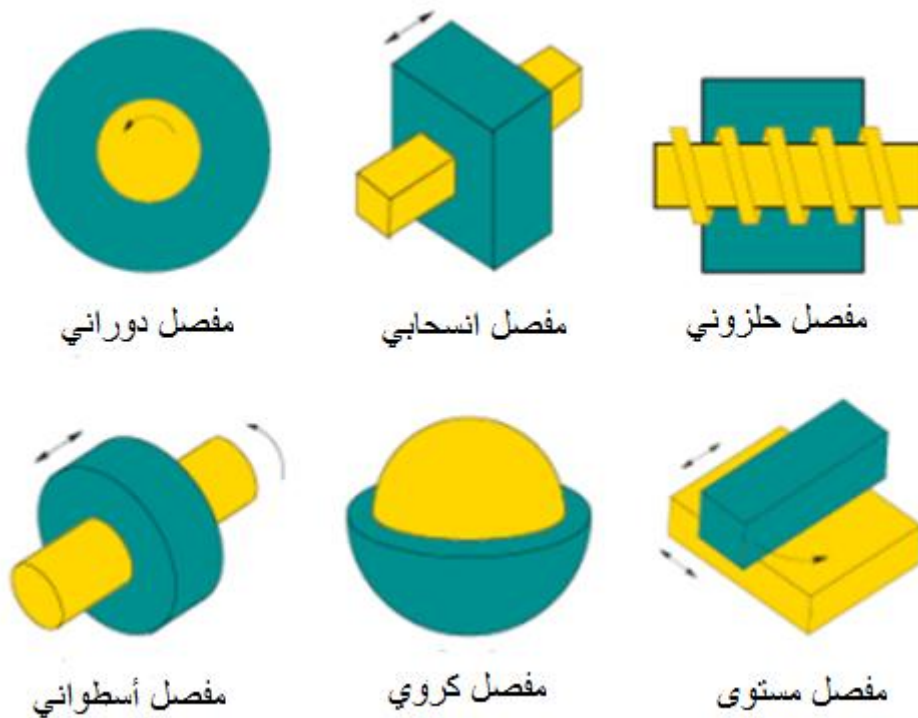
لكن مع زيادة التقدم التقني هذه الأدوات لم تعد كافية لتلبية الحاجات الصناعية حيث ظهرت الحاجة إلى أن تكون الآلات تمتاز بمرونة أعلى وقادرة على القيام بمهام أكثر تعقيداً.

ومع التقدم العلمي في المجال الروبوتي تم تطوير الأذرع الروبوتية لتصبح العنصر الأكثر فاعلية بين مختلف الآلات لتنتشر بشكل كبير في جميع المجالات.

2- الأذرع الروبوتية:

الذراع الروبوتية عموماً هي آلة تحاكي في حركتها حركة الذراع البشرية بحيث يمكن أن تقوم بمهام مختلفة تبعاً لنوع الذراع وتصميمه وطريقة برمجتها.

إن الذراع الروبوتية عبارة عن مجموعة من الأجسام الصلبة التي تدعى الوصلات المتصلة مع بعضها عن طريق المفاصل. ولهذه المفاصل عدة أنواع منها المفصل الدوراني، المفصل الانسحابي (الانزلاقي)، المفصل الكروي وغيرها، كما هو موضح في الشكل (2.1)، وتسمح هذه المفاصل بحركة الروابط بشكل دوراني أو التحرك بشكل خطي.



الشكل (2.1): أنواع المفاصل.

توجد الأذرع الروبوتية بأشكال متنوعة تبعاً للتطبيق أو الاستخدام الذي صممت لأجله ولكن من أكثر الأشكال انتشاراً هي الأذرع التسلسلية (Serial chain) والأذرع التفرعية بالكامل (fully parallel mechanism). تتكون الذراع التسلسلية من مجموعة من الوصلات التي تتصل كل منها مع سابقتها بنقطة ومع لاحقتها بنقطة أخرى عدا أول وآخر وصلة فتكون متصلة من جهة واحدة. أما الذراع التفرعية فتتكون من مجموعة من الوصلات التي يمكن أن تتصل كل اثنتين منها بأكثر من نقطة [2] [1].

تمتاز هذه الأذرع بالمرونة الكبيرة والدقة العالية و بأنها تمتلك فضاء عمل بشكل عام أوسع بكثير من فضاء عمل معظم الآلات الأخرى.

يمكن تقسيم الأذرع الروبوتية إلى جزأين:

- القبضـة: وهي الجزء المحمول في نهاية الذراع، حيث أن شكل وتصميم القبضة يحدد الأعمال الممكن تنفيذها بها، حيث يمكن أن تكون قبضة ثابتة ، بإصبع واحدة، بعدة أصابع متماثلة أو ذات أصابع قابلة للتكيف.

- البنية الأساسية للذراع من المفاصل والأجزاء المتحركة المختلفة عن القبضة : هو الجزء المسؤول عن فضاء عمل الذراع ومرونتها وطريقة حركتها.

يتحدد مجال عمل كل ذراع وإمكاناتها تبعاً لنوع القبضة المتصلة معه، حيث يمكن أن تكون ذراع مخصصة للنقل (الشكل (3.1)) حيث تملك قبضة قادرة على الإمساك والإفلات لإتمام مهمة النقل ، وفي هذه الحالة تمتاز الأذرع عن السيور بكونها تتيح خيارات حركة أوسع من التي تتيحها السيور ، كما يمكن أن تكون ذراع مخصصة للتركيب (الشكل (4.1)) تمتلك قبضة ثابتة ، تقوم بعمليات التركيب بسرعة عالية.



الشكل (3.1): ذراع روبوتية ذات قبضة بإصبعين متوازيين مخصصة للنقل.

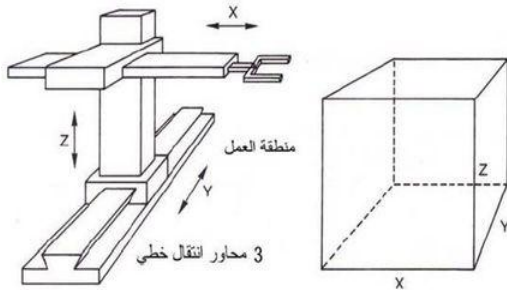


الشكل (4.1): ذراع روبوتية ذات قبضة ثابتة مخصصة لعملية التجميع.

2-1- أنماط الأذرع الروبوتية:

نتيجة للتطبيقات الواسعة والمجالات العديدة التي يتم استخدام الأذرع الروبوتية فيها تم تطوير أنواع وأنماط عديدة لهذه الأذرع تبعاً للاستخدام ونوع الحركة المطلوبة منها:

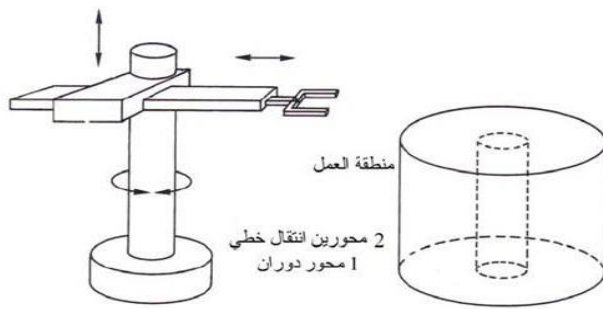
- الأذرع الديكارتية، الأسطوانية، الكروية : بحسب نوع الروابط فيها (انسحابية، دورانية) وبشكل عام جميع هذه الأنماط تستخدم في مجالات نقل الأشياء وتوضيعها، وفي عمليات اللحام المؤتمت.



الروبوتات الديكارتية أو المستطيلة
روبوت SIGMA 800LS من شركة YUDO



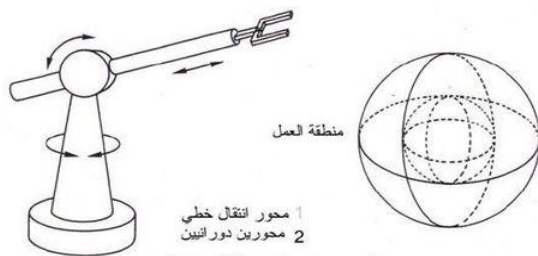
الشكل(5.1): الروبوتات الديكارتية أو المستطيلة.



الروبوتات الاسطوانية
روبوت PlateCrane EX من شركة Hudson



الشكل(6.1): الروبوتات الأسطوانية.

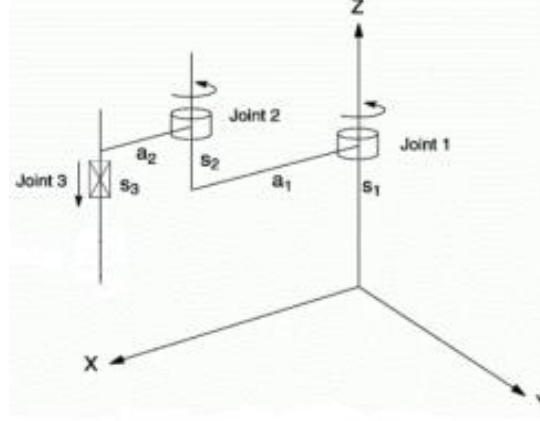


الروبوتات الكروية أو القطبية
روبوت UNIMATE من شركة KAWASAKI



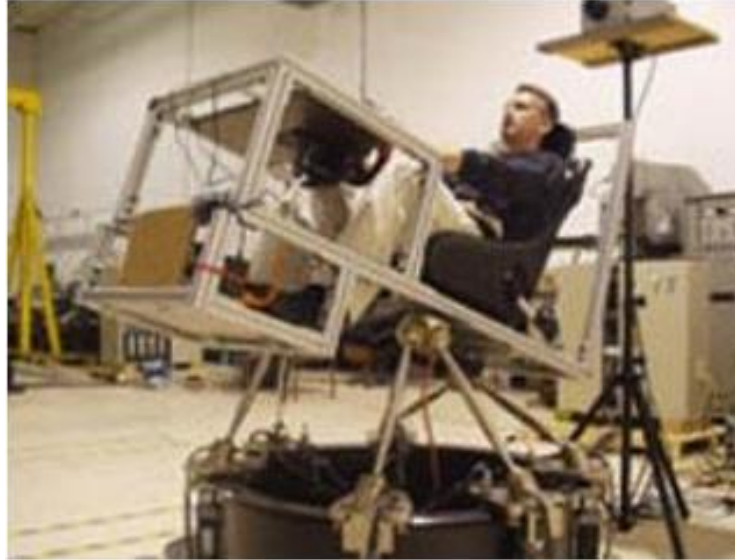
الشكل(7.1): الروبوتات الكروية أو القطبية.

- روبوت سكارا: يتألف من رابطتين دورانيتين متوازيتين تسمحان بحركة ضمن مستوي و أخرى انسحابية، يستخدم هذا النوع بشكل عام في مجال الالتقاط والتوضيع. يبين الشكل (8.1) المخطط الحركي للذراع SCARA.



الشكل (8.1) المخطط الحركي للذراع SCARA.

- الروبوتات التفرعية: وأشهرها منصة Stewart Platform وهي منصة تفرعية بست درجات حرية (ثلاث حركات وثلاث دورانات) وتكون مقادة بمفصلات انسحابية أو دورانية، من أهم استخداماتها منصات المحاكاة (محاكاة عمليات الطيران) (الشكل (9.1)).



الشكل (9.1): روبوت تفرعي لمحاكاة عملية الطيران.

- الأذرع المجسمة : وهي أذرع تماثل في تصميمها الذراع البشرية ومن أهم استخداماتها الأذرع البديلة.

2-2- القبضات الروبوتية:

تعتبر قبضات الروبوتات الصناعية من أهم المسائل الدراسية عند تصميم ودراسة الروبوتات. فهي مخصصة لحمل الأجسام على اختلاف شكلها وأبعادها. حيث يجب أن تتمتع هذه القبضات بإمكانيات وظيفية معينة.

فالقبضات ونهايات الأذرع هي الأدوات التي يتفاعل بها الروبوت مع الوسط المحيط. وكلما كان تصميم هذه النهايات متقناً كلما زاد ارتقاء الروبوت في عمله، ولهذا أصبح تصميم هذه النهايات له أهمية كبيرة يوماً بعد يوم.

يتعلق تصميم القبضات بالكثير من العوامل أهمها: عدد الأصابع - عدد درجات الحرية - نوع المحركات المستخدمة.

يمكن تصنيف المقابض وفقاً لأسس مختلفة منها:

➤ حسب المميزات التصميمية .

➤ حسب الطبيعة الوظيفية: وهي تقسم إلى ثلاث أصناف :

- متعددة الأغراض.
- خاصة.

(1) القبضات متعددة الأغراض:

وتشمل المقابض ذات الأصابع المخصصة لتنفيذ مجموعة من العمليات.

ويمكن تصنيف هذا القسم أيضاً إلى عدد من الأصناف :

(1-1) حسب عدد الأصابع وتقسّم إلى [3]:

- قبضة بإصبع واحدة: تمتاز بسعرها المنخفض لكن التطبيقات التي يمكنها إنجازها محدودة وفي حال إجراء أي تعديل على المهمة المطلوبة من الذراع يجب غالباً تغيير الإصبع ليوائم المهمة الجديدة.
- قبضة بإصبعين وتقسّم إلى:

- إصبعين متماثلين (Parallel): حيث تتألف من إصبعين يتحركان معاً (مقتربين أو متباعدين) ليقوما بعمليتي فتح وإغلاق القبضة (الشكل (10.1)) ، هذه الأذرع تسمح بإمساك أجسام متعددة لكن في حال تم تغيير شكل الأجسام المطلوب حملها قد لا تستطيع هذه الذراع إتمام المهمة وقد يلزم تبديل القبضة أو تبديل الأصابع.



الشكل (10.1): قبضة روبوتية بإصبعين متماثلين.

- إصبعين قابلين للتكيف (Adaptive): تمتاز عن الإصبعين المتماثلين بكونها تعطي درجات حرية أكبر لكل إصبع مما يعطيها قدرة أكبر على التأقلم مع شكل الجسم المراد إمساكه (الشكل (11.1)).



الشكل (11.1): قبضة روبوتية بإصبعين قابلين للتكيف

- قبضة روبوتية بثلاث أصابع: تعطي هذه القبضة إمكانات أكبر من تلك التي بإصبعين حيث لا تقتصر مهامها على إمساك وإفلات الأجسام بل تعطي مرونة أكبر في العمل وتقسم كما في حال القبضات ذات الإصبعين إلى:
 - قبضات ذات أصابع متوازية.
 - قبضات ذات أصابع قابلة للتكيف (الشكل (12.1)).



الشكل (12.1): قبضة بثلاث أصابع قابلة للتكيف

- قبضات روبوتية بأكثر من ثلاث أصابع: تمتاز هذه القبضات بكونها قادرة على تغطية مجال واسع جداً من المهام وقدرة كبيرة على التأقلم مع أنماط عمل مختلفة.



الشكل (13.1): قبضة بخمس أصابع تشبه اليد.

2-1) حسب عدد القبضات المركبة على المناولات: العضو العامل متعدد القبضات يسمح بتنفيذ عدة عمليات بنفس الوقت.

3-1) التصنيف حسب أسلوب القبض للأجسام: ويكون القبض إما من الداخل أو من الخارج الشكل (14.1).



الشكل (14.1): أنواع عملية القبض.

2) القبضات الخاصة:

في بعض الحالات نكون مجبرين على العمل مع أجسام كبيرة الحجم أو بالعكس رقيقة. بالنسبة لأصابع القبضة فإنه من الأكثر فعالية في هذه الحالات استخدام القبضات الخاصة. وهي على أشكال كثيرة لا يمكن حصرها لذا سنورد فيما يلي بعض التصميمات الخاصة لمقابض الروبوتات:

○ لواقط بمصاصات هوائية: تستخدم عند لقط القطع ذات الكتل الغير نسبيا ذات السطوح المستوية. حيث تمسك القطع بفضل الخللة الناتجة تحت الماص.

○ لاقط مجهز بحساسات لمراقبة قوة القبض: يستخدم هذا اللاقط لتجنب تشويه الأجسام غير القاسية عند مسكها.

○ لاقط ذو عناصر مرنة: يستخدم عندما يراد مسك الأجسام المعقدة .

○ لاقط من أجل الأجسام التي تملك شكل كأس: يستخدم هذا النوع من أجل التقاط الأجسام التي تملك شكل الكؤوس، و يتم الالتقاط عن طريق ضخ الهواء المضغوط في فراغ العنصر المرن المنفذ للاقط المصنوع من كاوتشوك فيتمدد و يضغط على السطح الداخلي للجسم و تحصل عملية تلاحق مما يؤدي إلى مسكه.

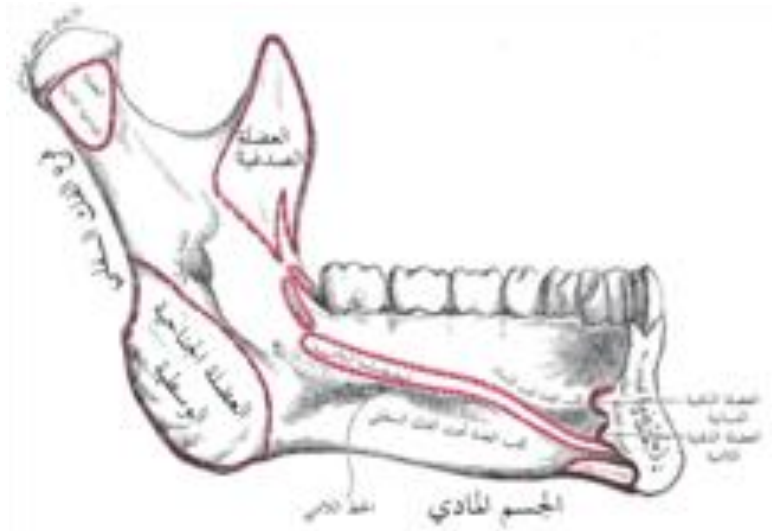
3) القبضات العامة: هذا الصنف يسمح بتنفيذ مجموعة كبيرة من العمليات كالقبض والنقل للأجسام من مكان لآخر.

3- طرق العض عند بعض الحيوانات المفترسة:

تعدُّ قوة الفكّ من أهم القدرات التي تمتلكها الحيوانات المفترسة التي تحتوي على أنياب، بحيث يساعد وجود الأنياب إلى جانب قوة الفكّ على زيادة تحكمها بالفرائس عند عملية الصيد. فيما يلي أسماء بعض الحيوانات التي اشتهرت بعضاتها الفتاكة:

▪ **التمساح:** يصنف من بين أكثر الحيوانات المميّنة في العالم، ويمتاز بحدة أسنانه القادرة على اختراق أنسجة الجسم والتشبث فيه، ومن ثم يقوم بدوراته المعروفة لطحن عظام فريسته، مما يجعله الأكثر فتكاً بين حيوانات العالم.

يعتقد أن القوة الكبيرة لهذه العضة، تعود بشكل عام إلى العضلات الهائلة المسؤولة عن إغلاق الفك، خاصة العضلة (المعروفة باسم العضلة الجناحية) (الشكل (15.1)).



الشكل (15.1): ترقية الفك السفلي عند التمساح.

▪ **فك القرش الأبيض:** ينتشر هذا القرش على جميع شواطئ العالم تقريباً، ولكنه يتواجد بكثرة في سواحل وشواطئ مدينة ميامي، وجنوب أفريقيا وأستراليا، ولديه قدرة عالية تمكنه من الإحساس بفريسته، وهو قادر على قتل فريسته بعضة واحدة.

- **النمر المرقط:** النمر المرقط أو المعروف بالجاكور أو الفهد، هو من فصيلة القطط السنورية، ولديه أقوى عضلة بين فصيلته من القطط.
 - **الضبع أو الكلب الأفريقي:** هذا الحيوان لا يعيش إلا في مناطق السافانا وجنوب أفريقيا، ولديه عضلة قوية قادرة على الوصول إلى عظم فريسته وكسرها من أول مرة.
 - **الذئب الرمادي، أو الذئب الأحمر:** يعيش في المرتفعات الجبلية، الصحاري، والأراضي العشبية، لديه عضلة تقوم بتهتك وإتلاف أنسجة جسم فريسته وصعوبة نموها في حالة النجاة.
 - **الأسد:** يتواجد في الصحراء الكبرى جنوب أفريقيا، وأستراليا، وبالرغم من قوة عضته إلا أنه يقتل فريسته عن طريق خنقها من القصبة الهوائية.
 - **الدب:** يتواجد الدب في مناطق كثيرة من العالم وتتنوع صفاته حسبها، فهناك الدببة القطبية، ودببة الغابات المطرية، والدببة المتواجدة في جنوب جزيرة ألaska، لدى الدب عضلة قوية جداً ففكاه متينان قادران على تتهيش جسم فريسته .
 - **فرس النهر:** هو حيوان نباتي يعيش على أكل الأعشاب وهو يقضي معظم أوقاته داخل المياه غير المرتفعة المنسوب، ويتواجد في الأنهار والبحيرات، على الرغم من كون هذا الحيوان نباتياً إلا أنه عند تعدي أحد على منطقته يهاجمه بفيه القويين مما يتسبب بقتله أو سحق عظامه.
 - **الأفعى:** تلدغ فريستها بطريقتين:
 - 1- الأنياب السامة المتحركة: وهي أسنان حادة مجوفة، تطبق على الفريسة وتحقن السم في جسدها، وهذه الأنياب ذات محور، وعندما تفتح الأفعى فمها، تصبح مهيأة للدغ، وهذا النوع من الأفاعي سام جداً.
 - 2- الأنياب السامة الثابتة: الأفاعي ذات الأنياب السامة الثابتة تعض ولا تلدغ، لأن أنيابها الخلفية تحتوي على شقوق طويلة لتمرير السم إلى جسد الضحية، وتحتاج إلى الإمساك بالفريسة لتمرير السم إلى جسدها، وهذا النوع من الأفاعي أقل خطورة.
- 3-1- مواصفات فكوك بعض الحيوانات :**
- فيما يلي مقارنة بين مواصفات فكوك بعض الحيوانات:
- **فرس النهر:**
 - يتميز بزاوية فتح كبيرة تصل الى 180 درجة.

- **الأسد:**

- يتميز بقوة عض كبيرة و لكن بزواوية فتح صغيرة للفكين.

- **التمساح:**

- يتميز بقوة عض كبيرة مع ثباتية الفك السفلي.

- **الأفعى:**

- تتميز بزواوية فتح تصل إلى 150 درجة.

- قابلية التمدد الجانبي للفك السفلي.

- تتميز بوجود أنياب ضمن الفك لتساهم في زيادة القوة والإحكام على الفريسة.

4- الهدف من البحث:

بما أن أهم المشاكل التي تواجهنا في القبضات الروبوتية هي:

- محدودية الوزن الممكن حمله.

- محدودية الحجم الممكن التقاطه بواسطة هذه القبضات.

لذلك كان الهدف من هذا البحث هو تصميم وتنفيذ قبضة روبوتية صناعية تحقق المواصفات التالية:

- تحقيق أكبر حجم فضاء عمل ممكن (نسبياً تبعاً لحجم القبضة) بهدف الإمساك بأجسام ذات أشكال

وحجوم كبيرة.

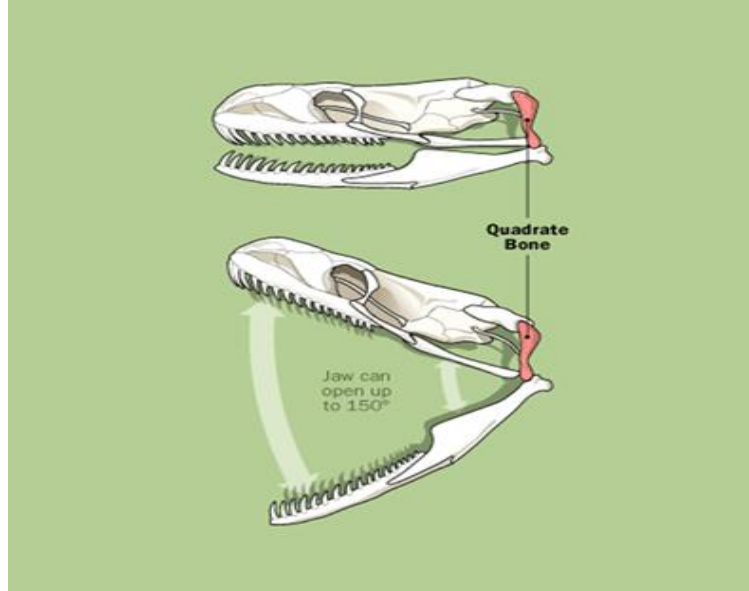
- مُقادة بالحد الأدنى من المحركات.

5- اختيار الميكانيزم المناسب بالاستفادة من طريقة العض عند الحيوانات:

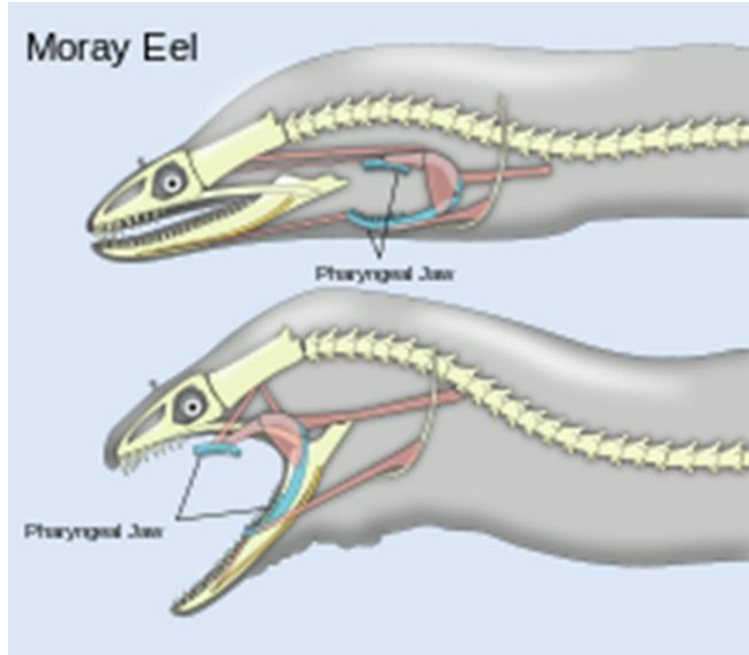
تم اختيار الأفعى وذلك بسبب التركيب الداخلي للأفعى:

حيث تتميز الأفاعي بالتصميم الفريد لهيكلها العظمي وخاصة الراس الذي يُوفّر لها المرونة، والقُدرة على الحركة وتتكيف الأفاعي لالتهام فريسة أكبر من حجمها بثلاث مرّات؛ وذلك لأنها تحتوي على الكثير من المفاصل، كما أنّ كلّ فكّ يتكوّن من قطعتين غير مُلتحمتين من الأمام، وتكون عظام الفك متّصلةً بالجمجمة بشكل فضفاض بواسطة أربطة قابلة للتمدد ممّا يسمح للأفعى بفتح فمها عمودياً وجانبياً (الشكل (17.1))، وهذا تكيّفٌ مهم يسمح للفكين بالتوسّع عندما يبتلع الثعبان فريسة كبيرة [4-10].

بالإضافة إلى أن فم الأفعى يمكن أن يفتح بزاوية 150° (الشكل (16.1)). لذلك فإن دراسة فك الأفعى له أهمية كبيرة في مجالات البحث العلمي، وبناءً على ذلك فإن دراسة تشريح الكائنات الحية وعلم حركتها هي الأساس النظري لدراسة ميكانيزم يحاكي حركة فك الأفعى [11-14].



الشكل (16.1): زاوية الفتح العظمى في فك الأفعى.



الشكل (17.1): الأربطة القابلة للتمدد التي تصل عظام الفك.

6- الدراسة المرجعية:

حسب الدراسات المرجعية السابقة الخاصة بالتصميم الميكانيكي لفك مشابه لفك الأفعى فقد قام مجموعة من الباحثين (Yanzheng Zhao , Zijuan Liu, Jian Fei, Zhuang Fu and Weixin Yan ,2011) بدراسة التصميم الميكانيكي لفك الأفعى [15]. حيث أن حركة الفك تم تحقيقها بواسطة 6 أسلاك فولاذية لكل جانب من جانبي الفك. ويقاد هذا الميكانيزم بواسطة 6 محركات لتأمين حركة الفكين العلوي والسفلي.

7- دفتر الشروط الوظيفية:

نسعى خلال هذا البحث الى تحقيق دفتر الشروط الوظيفية التالي (الجدول (1.1)):

النوع	الشرط
الوظائف	القدرة على إمساك أجسام بأشكال مختلفة (أسطوانة، كرة، مكعب، قرص، ...) .
	القدرة على إمساك أجسام ذات أوزان تصل إلى 15 Kg .
	الزاوية التي يفتح بها المقبض هي: $120^{\circ}-150^{\circ}$
الأبعاد الهندسية	الطول الكلي للقبضة هو: 400-500 mm .
المحرك	محرك حسب المتوفر ضمن السوق المحلية (محرك تيار مستمر DC, محرك خطوي)

الجدول (1.1): دفتر الشروط الوظيفية.

الفصل الثاني

النمذجة الهندسية والحركية
للميكانيزم المُقترح

النمذجة الهندسية و الحركية للميكانيزم المقترح

نعرض ضمن هذا الفصل آلية العمل والنمذجة الهندسية والحركية للميكانيزم المقترح. كما سوف نقوم بتمثيل علاقات النموذج الهندسي المباشر والعكسي، والتأكد من هذه النتائج عملياً على برنامج Inventor بواسطة اختيار مجموعة قيم عشوائية من المخططات البيانية ومقارنة هذه القيم مع التصميم.

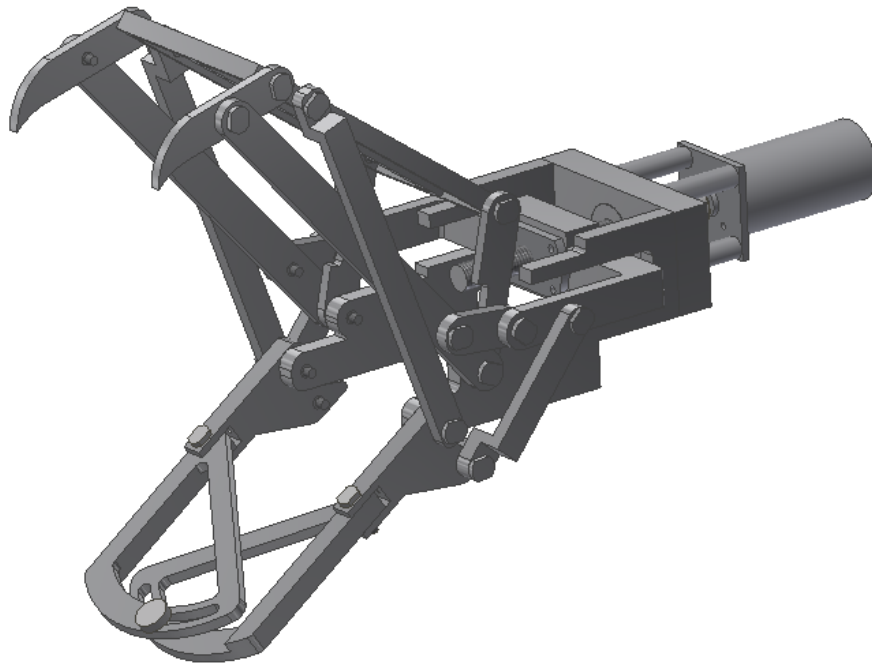
1- آلية عمل الميكانيزم المقترح:

ضمن تصميمنا المقترح نسعى لإيجاد آلية لقيادة حركة الفك بواسطة محرك واحد فقط وبشكل يضمن تزامن الحركة للفكين العلوي والسفلي والناوب و تحقيق عملية القبض الصحيحة.

حيث أن حركة فك الأفعى تنقسم إلى ثلاث حركات أساسية هي: الفتح - العض - الابتلاع.

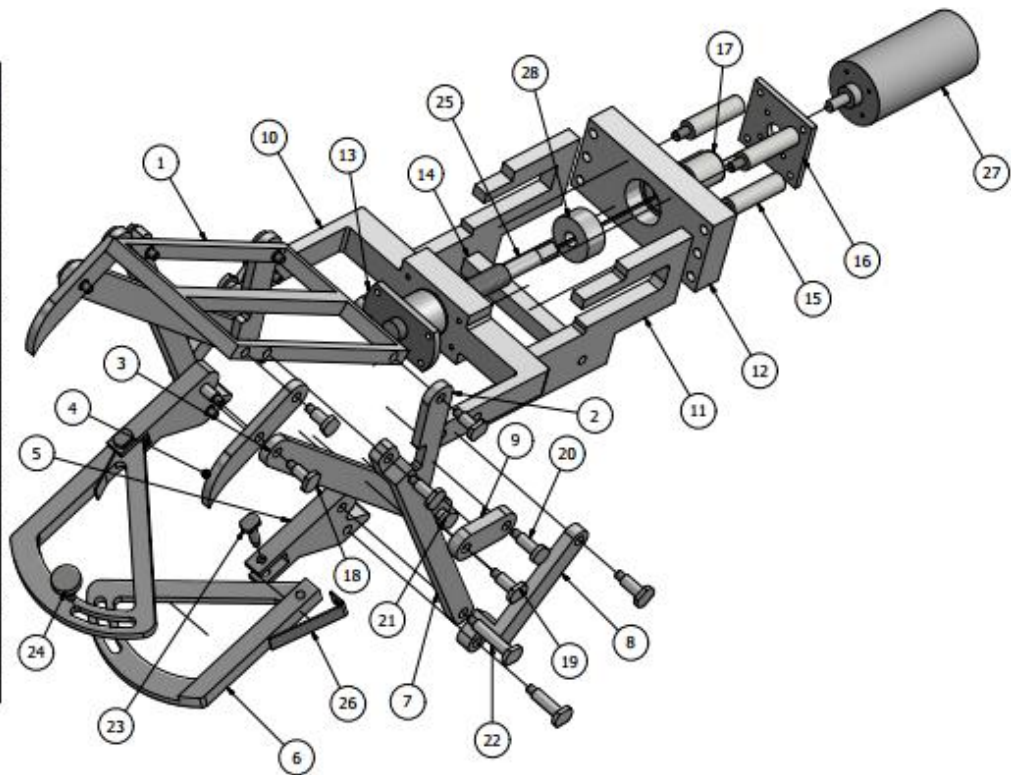
بناءً على ذلك وبعد وضع مجموعة من المقترحات ومناقشتها تم تصميم القبضة الروبوتية على برنامج 2013 Inventor (الشكل (1.2))، حيث تتألف هذه القبضة من فكين: الفك العلوي هو عبارة عن ميكانيزم رباعي الوصلات (4bar) بما يضمن تزامن الحركة بين الناوب والفك العلوي، أما الفك السفلي عبارة عن قطعتين على شكل حرف L مع مجرى مفتوح بشكل قوس في الأمام و ذلك لضمان أن الجزء الأيمن والأيسر للفك السفلي يتحركان حركة أفقية متناظرة لاستيعاب حجم الحمل مع وجود خاصية الإرجاع النابضي بواسطة صفائح نابضية. يتميز الفك بقدرته على الفتح بزوايا كبيرة بشكل يحاكي زاوية الفتح عند فك الأفعى. يتم تحريك الفكين العلوي والسفلي بواسطة ميكانيزم ساعدي مرفقي لكل منهما. تتم قيادة هذه القبضة ككل عن طريق ميكانيزم برغي - صامولة مُقاد بمحرك واحد.

و بذلك نكون قد حققنا تصميم قبضة روبوتية تحاكي حركة فك الأفعى بمُفعّل وحيد.



الشكل (1.2): التصميم الميكانيكي المقترح للقبضة الروبوتية.

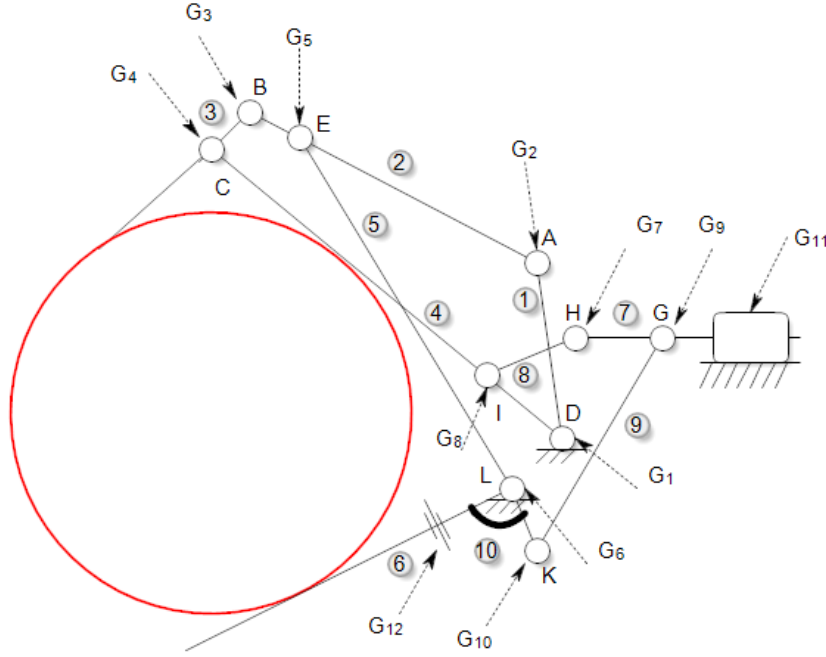
PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	part1
2	2	Part2
3	2	Part3
4	2	Part4
5	2	Part5
6	1	Part6-1
7	2	Part7
8	2	Part8
9	2	Part9
10	1	Part10
11	1	Part11
12	1	Part12
13	1	part13
14	1	Part4
15	4	part15
16	1	part16
17	1	part17
18	6	part18
19	4	part19
20	4	part20
21	4	part21
22	2	part22
23	2	part23
24	1	part24
25	1	part25
26	2	part26
27	1	part27
28	1	part28



الشكل (2.2): المخطط الانفجاري لميكانيزم القبضة الروبوتية.

2-المخطط الحركي للميكانيزم:

يبين الشكل (3.2) المخطط الحركي للميكانيزم والروابط التي يتألف منها.



الشكل (3.2): المخطط الحركي للميكانيزم.

نلاحظ من الشكل (3.2) أن الأجسام ترتبط فيما بينها بالروابط التالية:

- G1: مفصل متحرك بين القطعة (1) وجسم القبضة الثابت.
- G2: مفصل متحرك بين القطعة (1) والقطعة (2).
- G3: مفصل متحرك بين القطعة (2) والقطعة (3).
- G4: مفصل متحرك بين القطعة (3) والقطعة (4).
- G5: مفصل متحرك بين القطعة (5) والقطعة (2).
- G6: مفصل متحرك يربط بين القطعة (5) والقطعة (10) وكذلك مع جسم القبضة الثابت.
- G7: مفصل متحرك بين القطعة (7) والقطعة (8).
- G8: مفصل متحرك بين القطعة (8) والقطعة (4).
- G9: مفصل متحرك بين القطعة (9) والقطعة (7).
- G10: مفصل متحرك بين القطعة (10) والقطعة (9).
- G11: مفصل انسحابي بين القطعة (7) وجسم القبضة الثابت.
- G12: مفصل متحرك بين القطعة (6) والقطعة (10).

حسب المخطط الحركي السابق، نجد أن الفك العلوي يتكون من القطع 1,2,3,4، ويتكون الفك السفلي من القطعتين 6,10، ويتكون الميكانيزم الساعدي المرفقي المتصل بالفك العلوي من القطعتين 7,8، والميكانيزم الساعدي المرفقي المتصل بالفك السفلي من القطعتين 9,10.

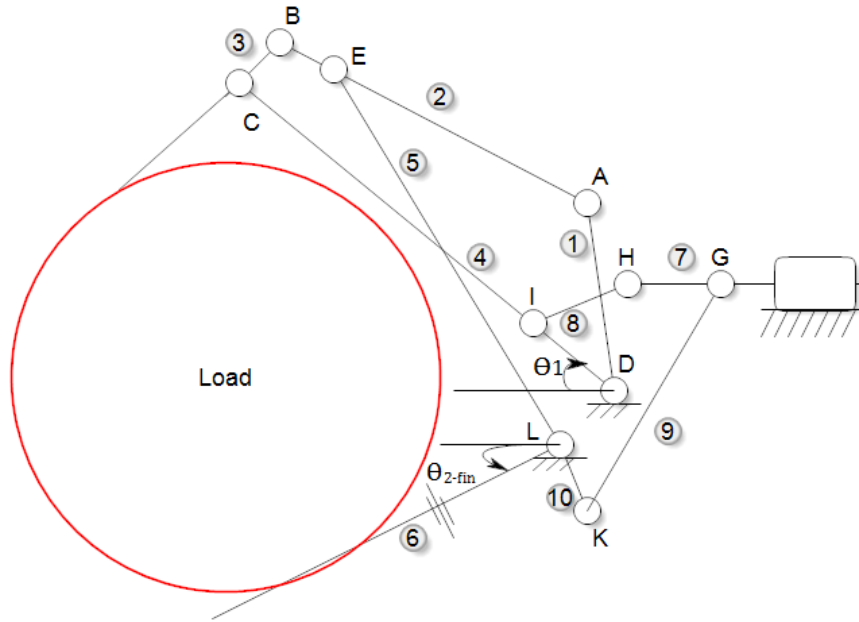
لتحقيق حركة الناب تم إضافة القطعة (5) التي تربط بين القطعة (2) من الفك العلوي والرابطة الدورانية الثابتة G6 بحيث يتم تأمين حركة الناب بما يتوافق مع حركة الفكين (الشكل (3.2)).

3- النمذجة الهندسية:

3-1- النمذج الهندسي المباشر:

يعرف النمذج الهندسي المباشر بأنه مجموعة العلاقات الرياضية التي تربط بين دخل النظام وهو قيمة المفعل الانسحابي x والخرج الذي هو قيمة زاوية الفتح للفكين العلوي والسفلي θ ونعبر عنه بالعلاقة التالية: $\theta = f(x)$. نميز هنا بين نموذجين هندسيين للقبضة، الأول لنمذجة الفك العلوي والآخر للفك السفلي، حيث نعرف θ_1 زاوية

الفك العلوي وكذلك θ_{2-fin} زاوية الفك السفلي وبالتالي يكون: $\theta = \theta_1 + \theta_{2-fin}$



الشكل (4.2): زاويتا الفكين العلوي والسفلي.

3-1-1- النمذج الهندسي المباشر للفك العلوي:

يحوي الميكانيزم الساعدي المرفقي القائد للفك العلوي (D,I,H,G) على مجالي عمل:

➤ الأول: عندما تكون النقطة H تقع بعد النقطة D (الشكل (5.2)).

➤ الثاني: عندما تكون النقطة H تقع قبل النقطة D (الشكل (6.2)).

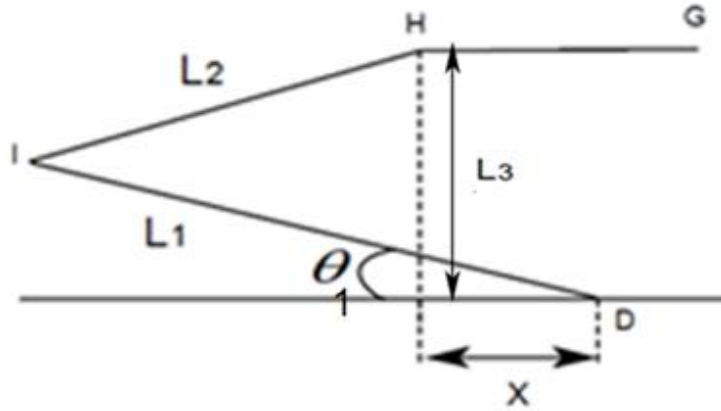
حيث من أجل كل مجال عمل لدينا علاقة رياضية توصف النموذج، والحالة المشتركة تكون عندما تقع النقطتان H و D على استقامة واحدة. وبالتالي يمكن تقسيم مجال العمل إلى جزأين:

1. مجال العمل الأول عندما تكون $\theta_1 \in [0^\circ, 24.5^\circ]$ (الشكل (5.2)).

2. مجال العمل الثاني عندما تكون $\theta_1 \in [24.5^\circ, 75^\circ]$ (الشكل (6.2)).

حيث أن قيمة الزاوية 24.5° تكافئ الزاوية التي توافق الحالة المشتركة عندما تكون النقطتان H و D على استقامة واحدة.

يمكن استنتاج علاقة الحالة الأولى للفاك العلوي عندما تكون الزاوية $\theta_1 \in [0^\circ, 24.5^\circ]$ من الشكل (5.2) كما يلي:



الشكل (5.2): المخطط الحركي للفاك العلوي عندما $\theta_1 \in [0^\circ, 24.5^\circ]$.

نطبق نظرية فيثاغورث على الشكل (5.2) فننتج العلاقة التالية:

$$L_2^2 = (L_1 \cos \theta_1 - X)^2 + (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2$$

نقوم بفك تربيع الأقواس:

$$L_2^2 = L_1^2 \cos^2 \theta_1 - 2L_1 X \cos \theta_1 + X^2 + L_3^2 - 2L_1 L_3 \sin \theta_1 + L_1^2 \sin^2 \theta_1$$

نضع بدلاً عن $\sin^2 \theta_1$ الصيغة $(1 - \cos^2 \theta_1)$:

$$L_2^2 = L_1^2 \cos^2 \theta_1 - 2L_1 X \cos \theta_1 + X^2 + L_3^2 - 2L_1 L_3 \sin \theta_1 + L_1^2 (1 - \cos^2 \theta_1)$$

نحذف الحدود المتعاكسة بالإشارات:

$$L_2^2 = -2L_1X \cos \theta_1 + X^2 + L_3^2 - 2L_1L_3 \sin \theta_1 + L_1^2$$

نعزل الحدود التي فيها الزاوية θ_1 :

$$2L_1X \cos \theta_1 + 2L_1L_3 \sin \theta_1 = L_3^2 + L_1^2 + X^2 - L_2^2$$

نقسم طرفي المعادلة على المقدار $2L_1X$ فنتنتج المعادلة التالية:

$$\cos \theta_1 + \frac{L_3}{X} \sin \theta_1 = \frac{L_3^2 + L_1^2 + X^2 - L_2^2}{2L_1X}$$

لحل هذه المعادلة نستخدم الطريقة التالية:

$$a \cos \theta + b \sin \theta = c$$

نقسم طرفي المعادلة على $\sqrt{a^2 + b^2}$ فتصبح المعادلة بالشكل التالي:

$$\frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \cos \theta + \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \sin \theta = \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

نفرض أن المقدار $\frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}$ هو $\sin A$ ، و المقدار $\frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$ هو $\cos A$.

$$\sin A \cos \theta + \cos A \sin \theta = \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

$$\sin(A + \theta) = \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

$$A + \theta = \sin^{-1} \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2}} - A$$

بتعويض المقدار A تُصبح المعادلة:

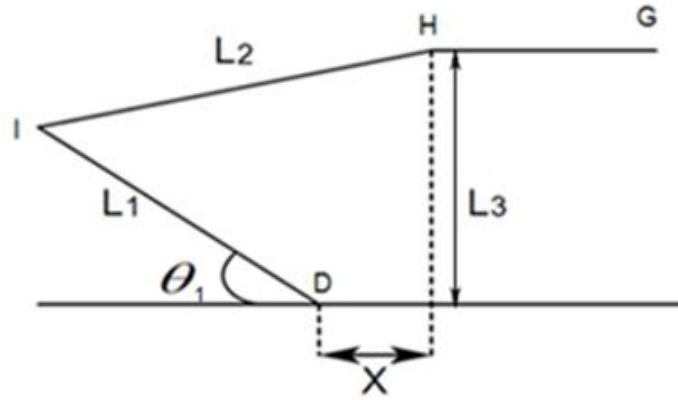
$$\theta = \sin^{-1} \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2}} - \sin^{-1} \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

بتطبيق الحل السابق نجد أن حل المعادلة الأولى هو:

$$\theta_1 = \sin^{-1} \frac{\frac{L_3^2 + L_1^2 + X^2 - L_2^2}{2L_1X}}{\sqrt{(1)^2 + \left(\frac{L_3}{X}\right)^2}} - \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{(1)^2 + \left(\frac{L_3}{X}\right)^2}}$$

حيث L_1, L_2, L_3 هي أطوال الميكانيزم الساعدي المرفقي الخاص بالفك العلوي.

بنفس الطريقة نستطيع استنتاج علاقة الحالة الثانية للفك العلوي وذلك عندما تكون الزاوية $\theta_1 \in [24.5^\circ, 75^\circ]$ (الشكل (6.2)):



الشكل (6.2): المخطط الحركي للفك العلوي عندما $\theta_1 \in [24.5^\circ, 75^\circ]$.

$$L_2^2 = (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 + (X + L_1 \cos \theta_1)^2$$

$$L_2^2 = L_3^2 - 2L_1L_3 \sin \theta_1 + L_1^2 \sin^2 \theta_1 + X^2 + 2L_1X \cos \theta_1 + L_1^2 \cos^2 \theta_1$$

$$L_2^2 = L_3^2 - 2L_1L_3 \sin \theta_1 + L_1^2 (1 - \cos^2 \theta_1) + X^2 + 2L_1X \cos \theta_1 + L_1^2 \cos^2 \theta_1$$

$$L_2^2 = L_3^2 - 2L_1L_3 \sin \theta_1 + L_1^2 + X^2 + 2L_1X \cos \theta_1$$

$$-2L_1X \cos \theta_1 + 2L_1L_3 \sin \theta_1 = L_3^2 + L_1^2 + X^2 - L_2^2$$

$$\cos \theta_1 + \frac{L_3}{-X} \sin \theta_1 = \frac{L_3^2 + L_1^2 + X^2 - L_2^2}{-2L_1X}$$

$$\cos \theta_1 - \frac{L_3}{X} \sin \theta_1 = \frac{L_3^2 + L_1^2 + X^2 - L_2^2}{-2L_1X}$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \frac{\frac{L_3^2 + L_1^2 + X^2 - L_2^2}{-2L_1X}}{\sqrt{(1)^2 + \left(-\frac{L_3}{X}\right)^2}} - \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{(1)^2 + \left(-\frac{L_3}{X}\right)^2}}$$

3-1-2- النموذج الهندسي المباشر للفاك السفلي:

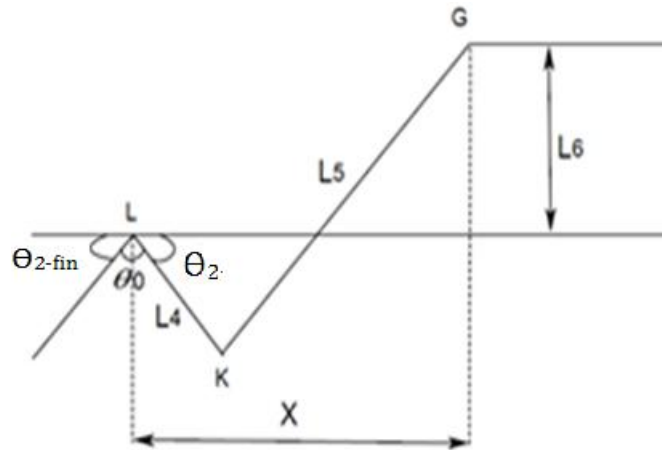
يحيوي الميكانيزم الساعدي المرفقي القائد للفاك السفلي (L,K,G) على مجال عمل: $\theta_{2-fin} \in [0^\circ, 50^\circ]$ والتي تكافئ $\theta_2 \in [45^\circ, 95^\circ]$ (الشكل (7.2))، حيث تم اعتماد الزاوية θ_2 وذلك لتبسيط نمذجة العلاقات الرياضية وتُعرف حسب العلاقة التالية:

$$\theta_{2-fin} = \pi - \theta_0 - \theta_2$$

حيث أن: $\theta_0 = 85^\circ$ (هذه القيمة تؤخذ من التصميم الميكانيكي المقترح) وبالتالي تصبح العلاقة:

$$\theta_{2-fin} = 95^\circ - \theta_2$$

وبالتالي تُستنتج علاقة الفاك السفلي كما يلي:



الشكل (7.2): المخطط الحركي للفاك السفلي عندما $\theta_2 \in [45^\circ, 95^\circ]$.

من الشكل (7.2) وبتطبيق نظرية فيثاغورث نتج لدينا العلاقة التالية:

$$L_5^2 = (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2 + (X - L_4 \cos \theta_2)^2$$

$$L_5^2 = L_6^2 + 2L_4L_6 \sin \theta_2 + L_4^2 \sin^2 \theta_2 + X^2 - 2L_4X \cos \theta_2 + L_4^2 \cos^2 \theta_2$$

$$L_5^2 = L_6^2 + 2L_4L_6 \sin \theta_2 + L_4^2 (1 - \cos^2 \theta_2) + X^2 - 2L_4X \cos \theta_2 + L_4^2 \cos^2 \theta_2$$

$$L_5^2 = L_6^2 + 2L_4L_6 \sin \theta_2 + L_4^2 + X^2 - 2L_4X \cos \theta_2$$

$$-2L_4X \cos \theta_2 - 2L_4L_6 \sin \theta_2 = L_6^2 + L_4^2 + X^2 - L_5^2$$

$$\cos \theta_2 - \frac{L_6}{X} \sin \theta_2 = \frac{L_6^2 + L_4^2 + X^2 - L_5^2}{2L_4X}$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \frac{\frac{L_6^2 + L_4^2 + X^2 - L_5^2}{2L_4X}}{\sqrt{(1)^2 + \left(-\frac{L_4}{X}\right)^2}} - \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{(1)^2 + \left(-\frac{L_4}{X}\right)^2}}$$

حيث L_4, L_5, L_6 هي أطوال الميكانيزم الساعدي المرفقي الخاص بالفك السفلي.

3-2- النموذج الهندسي العكسي:

يعرف النموذج الهندسي العكسي بالعلاقة: $x = f(\Theta)$

3-2-1- النموذج الهندسي العكسي للفك العلوي:

نستنتج علاقة النموذج الهندسي العكسي للحالة الأولى للفك العلوي عندما تكون $\theta_1 \in [0^\circ, 24.5^\circ]$ كما يلي:

نطبق نظرية فيثاغورث على الشكل (5.2) فنتنتج العلاقة التالية:

$$L_2^2 = (L_1 \cos \theta_1 - X)^2 + (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2$$

$$(L_1 \cos \theta_1 - X)^2 = L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2$$

للتخلص من التربيع نقوم بجذر الطرفين:

$$L_1 \cos \theta_1 - X = \pm \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}$$

نختار الحل الموجب فنتنتج لدينا العلاقة:

$$X = L_1 \cos \theta_1 - \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}$$

بنفس الطريقة نستطيع استنتاج علاقة النموذج الهندسي العكسي للحالة الثانية للفك العلوي عندما تكون

$$\theta_1 \in [24.5^\circ, 75^\circ]$$

$$L_2^2 = (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 + (X + L_1 \cos \theta_1)^2$$

$$(X + L_1 \cos \theta_1)^2 = L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2$$

$$X + L_1 \cos \theta_1 = \pm \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}$$

$$X = \pm \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2} - L_1 \cos \theta_1$$

$$X = \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2} - L_1 \cos \theta_1$$

3-2-2- النموذج الهندسي العكسي للفك السفلي:

علاقة النموذج الهندسي للفك السفلي عندما تكون الزاوية $\theta_{fin} \in [0^\circ, 50^\circ]$ و التي تكافئ $\theta_2 \in [45^\circ, 95^\circ]$:

$$L_5^2 = (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2 + (X - L_4 \cos \theta_2)^2$$

$$(X - L_4 \cos \theta_2)^2 = L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2$$

$$X - L_4 \cos \theta_2 = \pm \sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}$$

$$X = L_4 \cos \theta_2 \pm \sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}$$

$$X = L_4 \cos \theta_2 + \sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}$$

4- النمذجة الحركية:

4-1- النمذج الحركي للميكانيزم:

وهو مجموعة العلاقات التي تربط سرعة دخل الميكانيزم بالسرعة الزاوية للفكين.

يعطى النمذج الحركي بالعلاقة التالية:

$$x' = \frac{dx}{dt}$$

$$x' = \frac{dx}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt}$$

$$x' = \frac{dx}{d\theta} \cdot \omega$$

$$x' = v(\theta) \cdot \omega$$

لكل حالة من الحالات الثلاثة السابقة لدينا علاقة رياضية حاكمة للنمذج الحركي.

4-1-1- علاقة النمذج الحركي للفاك العلوي:

لإيجاد علاقة النمذج الحركي للحالة الأولى للفاك العلوي عندما تكون $\theta_1 \in [0^\circ, 24.5^\circ]$ ، نقوم أولاً بإيجاد $v(\theta_1)$ عن طريق اشتقاق العلاقة:

$$X = L_1 \cos \theta_1 - \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}$$

نشتق العلاقة بالنسبة للزاوية θ_1 :

$$v(\theta_1) = \frac{dx}{d\theta_1}$$

$$\frac{dX}{d\theta_1} = \frac{d}{d\theta_1} \left(L_1 \cos \theta_1 - \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2} \right)$$

نشتق الحدين كل على حدى:

$$\frac{d}{d\theta_1}(L_1 \cos \theta_1) = -L_1 \sin \theta_1$$

$$\frac{d}{d\theta_1} \left[L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{من أجل سهولة عملية اشتقاق الحد الثاني}$$

نفرض أن المقدار $L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2$ هو $u(\theta_1)$ ونشتقه:

$$u(\theta_1) = L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2$$

$$\frac{d}{d\theta_1} \left[L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right] = -2(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(-L_1 \cos \theta_1)$$

$$r(u) = u^{\frac{1}{2}} \quad \text{بفرض أن:}$$

$$\frac{dr}{du} = \frac{d}{du} \left(u^{\frac{1}{2}} \right) = \frac{1}{2} u^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{u}}$$

بتعويض العلاقات الناتجة عن عمليات الاشتقاق في علاقة الاشتقاق الأساسية تصبح العلاقة بالشكل التالي:

$$\frac{dr}{d\theta_1} = \left[-2(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(-L_1 \cos \theta_1) \right] \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{u}}$$

$$\frac{dr}{d\theta_1} = \left[-2(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(-L_1 \cos \theta_1) \right] \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}}$$

$$\frac{dr}{d\theta_1} = \frac{-(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(-L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}} = \frac{(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}}$$

ومنه تصبح علاقة السرعة بالشكل التالي:

$$v(\theta_1) = -L_1 \sin \theta_1 - \frac{(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}}$$

نعوض علاقة السرعة $v(\theta_1)$ في علاقة النموذج الحركي فتصبح العلاقة بالشكل التالي:

$$x' = \left[-L_1 \sin \theta_1 - \frac{(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}} \right] \cdot \omega$$

بنفس الطريقة السابقة نستطيع إيجاد علاقة النموذج الحركي للحالة الثانية للفك العلوي عندما تكون
 $\theta_1 \in [24.5^\circ, 75^\circ]$

$$v(\theta_1) = \frac{dx}{d\theta_1}$$

$$X = \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2} - L_1 \cos \theta_1$$

$$\frac{dX}{d\theta_1} = \frac{d}{d\theta_1} \left(\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2} - L_1 \cos \theta_1 \right)$$

$$\frac{d}{d\theta_1} (L_1 \cos \theta_1) = -L_1 \sin \theta_1$$

$$\frac{d}{d\theta_1} \left[L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

بفرض أن: $u(\theta_1) = L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2$

$$\frac{d}{d\theta_1} \left[L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right] = -2(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(-L_1 \cos \theta_1)$$

بفرض أن: $r(u) = u^{\frac{1}{2}}$

$$\frac{d}{du} \left(u^{\frac{1}{2}} \right) = \frac{1}{2} u^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{u}}$$

$$\frac{dr}{d\theta_1} = \left[-2(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(-L_1 \cos \theta_1) \right] \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{u}}$$

$$\frac{dr}{d\theta_1} = \left[-2(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(-L_1 \cos \theta_1) \right] \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}}$$

$$\frac{dr}{d\theta_1} = \frac{-(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(-L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}} = \frac{(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}}$$

ومنه فإن علاقة السرعة تُكتب بالشكل التالي:

$$v(\theta_1) = L_1 \sin \theta_1 + \frac{(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}}$$

نعوض في علاقة النموذج الحركي:

$$x' = \left[L_1 \sin \theta_1 + \frac{(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}} \right] \cdot \omega$$

4-1-2 - علاقة النموذج الحركي للفاك السفلي:

$$X = L_4 \cos \theta_2 + \sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}$$

$$v(\theta_2) = \frac{dx}{d\theta_2}$$

$$\frac{dx}{d\theta_2} = \frac{d}{d\theta_2} \left(L_4 \cos \theta_2 + \sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2} \right)$$

$$\frac{d}{d\theta_2} (L_4 \cos \theta_2) = -L_4 \sin \theta_2$$

$$\frac{d}{d\theta_2} \left[L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$u(\theta_2) = L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2$$

$$\frac{d}{d\theta_2} \left[L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2 \right] = -2(L_6 + L_4 \sin \theta_2)(L_4 \cos \theta_2)$$

بفرض أن: $r(u) = u^{\frac{1}{2}}$

$$\frac{d}{du} \left(u^{\frac{1}{2}} \right) = \frac{1}{2} u^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{u}}$$

$$\frac{dr}{d\theta_2} = \left[-2(L_6 + L_4 \sin \theta_2)(L_4 \cos \theta_2) \right] \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{u}}$$

$$\frac{dr}{d\theta_2} = \left[-2(L_6 + L_4 \sin \theta_2)(L_4 \cos \theta_2) \right] \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}}$$

$$\frac{dr}{d\theta_2} = \frac{-(L_6 + L_4 \sin \theta_2)(L_4 \cos \theta_2)}{\sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}}$$

$$v(\theta_2) = -L_4 \sin \theta_2 + \frac{-(L_6 + L_4 \sin \theta_2)(L_4 \cos \theta_2)}{\sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}}$$

نعوض في علاقة النموذج الحركي:

$$x' = \left[-L_4 \sin \theta_2 + \frac{-(L_6 + L_4 \sin \theta_2)(L_4 \cos \theta_2)}{\sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}} \right] \cdot \omega$$

4-2- النموذج التحريكي للميكانيزم:

هو مجموعة العلاقات التي تربط تسارع دخل الميكانيزم بالتسارع الزاوي للفيكين.

يعطى النموذج التحريكي بالعلاقة التالية:

$$\begin{aligned} x'' &= \frac{d^2 x}{dt^2} \\ &= \frac{d}{dt} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} \right) \\ &= \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{d\theta} \right) \cdot \frac{d\theta}{dt} + \frac{dx}{d\theta} \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{d\theta}{dt} \right) \\ &= \frac{d}{d\theta} \left(\frac{dx}{d\theta} \right) \cdot \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 + \frac{dx}{d\theta} \cdot \frac{d^2 \theta}{dt^2} \\ &= \frac{d^2 x}{d\theta^2} \cdot \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 + \frac{dx}{d\theta} \cdot \frac{d^2 \theta}{dt^2} \\ &= \frac{d^2 x}{d\theta^2} \cdot \omega^2 + \frac{dx}{d\theta} \cdot \dot{\omega} \end{aligned}$$

$$x'' = a(\theta) \cdot \omega^2 + v(\theta) \cdot \dot{\omega}$$

4-2-1 - علاقة النموذج التحريكي للفك العلوي:

لإيجاد علاقة النموذج التحريكي للحالة الأولى للفك العلوي عندما تكون $\theta_1 \in [0^\circ, 24.5^\circ]$ نوجد علاقة التسارع، ولإيجاد علاقة التسارع $a(\theta_1)$ نكتب علاقة السرعة بالشكل التالي من أجل تسهيل عملية اشتقاق التوابع:

$$v(\theta_1) = -L_1 \sin \theta_1 - \frac{(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}}$$

$$v(\theta_1) = f(\theta_1) - \frac{g(\theta_1)}{h(\theta_1)}$$

$$f(\theta_1) = -L_1 \sin \theta_1$$

$$g(\theta_1) = (L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)$$

$$h(\theta_1) = \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}$$

نشتق علاقة السرعة لإيجاد علاقة التسارع:

$$a(\theta_1) = \frac{d}{d\theta_1}(v(\theta_1)) = \frac{d}{d\theta_1}\left(f(\theta_1) - \frac{g(\theta_1)}{h(\theta_1)}\right)$$

$$a(\theta_1) = f'(\theta_1) - \frac{g'(\theta_1).h(\theta_1) - g(\theta_1).h'(\theta_1)}{[h(\theta_1)]^2}$$

$$\frac{df}{d\theta_1} = -L_1 \cos \theta_1$$

$$\frac{dg}{d\theta_1} = (-L_1 \cos \theta_1)(L_1 \cos \theta_1) + (-L_1 \sin \theta_1)(L_3 - L_1 \sin \theta_1)$$

$$= -L_1^2 \cos^2 \theta_1 - L_1 L_3 \sin \theta_1 + L_1^2 \sin^2 \theta_1$$

$$= L_1^2 (\sin^2 \theta_1 - \cos^2 \theta_1) - L_1 L_3 \sin \theta_1$$

$$\frac{dh}{d\theta_1} = \frac{d}{d\theta_1} \left[\left(L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

بفرض أن: $u(\theta_1) = (L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2)$

$$\frac{du}{d\theta_1} = -2(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(-L_1 \cos \theta_1)$$

$$= 2L_1L_3 \cos \theta_1 + 2L_1^2 \sin \theta_1 \cdot \cos \theta_1$$

نفرض أن: $h(u) = u^{\frac{1}{2}}$

$$\frac{dh}{du} = \frac{1}{2} u^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{u}}$$

$$\frac{dh}{d\theta_1} = \frac{du}{d\theta_1} \cdot \frac{dh}{du} = 2L_1L_3 \cos \theta_1 + 2L_1^2 \sin \theta_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{u}}$$

$$\frac{dh}{d\theta_1} = \frac{L_1L_3 \cos \theta_1 + L_1^2 \sin \theta_1 \cdot \cos \theta_1}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}}$$

بالتعويض نجد أن علاقة التسارع هي:

$$a(\theta_1) = -L_1 \cos \theta_1 - \left[\frac{\left[L_1^2 (\sin^2 \theta_1 - \cos^2 \theta_1) - L_1L_3 \sin \theta_1 \right] \cdot \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2} - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1) \cdot \frac{L_1L_3 \cos \theta_1 + L_1^2 \sin \theta_1 \cdot \cos \theta_1}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}}}{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2} \right]$$

$$a(\theta_1) = -L_1 \cos \theta_1 - \left[\frac{\left[L_1^2 (\sin^2 \theta_1 - \cos^2 \theta_1) - L_1L_3 \sin \theta_1 \right] \cdot (L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2) - L_1^2L_3 \cos^2 \theta_1 + L_1^4 \sin^2 \theta_1 \cdot \cos^2 \theta_1}{\left[L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right]$$

نكتب علاقة التسارع بالشكل التالي لسهولة استخدامها في العلاقات:

$$a(\theta_1) = -L_1 \cos \theta_1 - \left[\frac{A - B + C}{\left[L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right]$$

حيث أن:

$$A = \left[L_1^2 (\sin^2 \theta_1 - \cos^2 \theta_1) - L_1 L_3 \sin \theta_1 \right] \cdot \left(L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right)$$

$$B = L_1^2 L_3 \cos^2 \theta_1$$

$$C = L_1^4 \sin^2 \theta_1 \cdot \cos^2 \theta_1$$

بالتعويض تصبح علاقة النموذج التحريكي للحالة الأولى:

$$x'' = \left[-L_1 \cos \theta_1 - \left(\frac{A - B + C}{\left[L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right) \right] \cdot \omega^2 - \left[L_1 \sin \theta_1 - \frac{(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}} \right] \cdot \dot{\omega}$$

بنفس الطريقة السابقة نستطيع إيجاد علاقة النموذج التحريكي للحالة الثانية للفك العلوي عندما تكون

$$:\theta_1 \in [24.5^\circ, 75^\circ]$$

$$v(\theta_1) = L_1 \sin \theta_1 + \frac{(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}}$$

$$v(\theta_1) = f(\theta_1) + \frac{g(\theta_1)}{h(\theta_1)}$$

$$f(\theta_1) = L_1 \sin \theta_1$$

$$g(\theta_1) = (L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)$$

$$h(\theta_1) = \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}$$

لإيجاد علاقة التسارع نشتق علاقة السرعة:

$$a(\theta_1) = \frac{d}{d\theta_1}(v(\theta_1)) = \frac{d}{d\theta_1} \left(f(\theta_1) + \frac{g(\theta_1)}{h(\theta_1)} \right)$$

$$a(\theta_1) = f'(\theta_1) + \frac{g'(\theta_1) \cdot h(\theta_1) - g(\theta_1) \cdot h'(\theta_1)}{[h(\theta_1)]^2}$$

$$\frac{df}{d\theta_1} = L_1 \cos \theta_1$$

$$\frac{dg}{d\theta_1} = (-L_1 \cos \theta_1)(L_1 \cos \theta_1) + (-L_1 \sin \theta_1)(L_3 - L_1 \sin \theta_1)$$

$$= -L_1^2 \cos^2 \theta_1 - L_1 L_3 \sin \theta_1 + L_1^2 \sin^2 \theta_1$$

$$= L_1^2 (\sin^2 \theta_1 - \cos^2 \theta_1) - L_1 L_3 \sin \theta_1$$

$$\frac{dh}{d\theta_1} = \frac{d}{d\theta_1} \left[\left(L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

بفرض أن: $u(\theta_1) = \left(L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right)$

$$\frac{du}{d\theta_1} = -2(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(-L_1 \cos \theta_1)$$

$$= 2L_1 L_3 \cos \theta_1 + 2L_1^2 \sin \theta_1 \cdot \cos \theta_1$$

بفرض أن: $h(u) = u^{\frac{1}{2}}$

$$\frac{dh}{du} = \frac{1}{2} u^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{u}}$$

$$\frac{dh}{d\theta_1} = \frac{du}{d\theta_1} \cdot \frac{dh}{du} = 2L_1 L_3 \cos \theta_1 + 2L_1^2 \sin \theta_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{u}}$$

$$\frac{dh}{d\theta_1} = \frac{L_1 L_3 \cos \theta_1 + L_1^2 \sin \theta_1 \cdot \cos \theta_1}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}}$$

$$a(\theta_1) = L_1 \cos \theta_1 + \left[\frac{\left[L_1^2 (\sin^2 \theta_1 - \cos^2 \theta_1) - L_1 L_3 \sin \theta_1 \right] \cdot \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2} - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1) \cdot \frac{L_1 L_3 \cos \theta_1 + L_1^2 \sin \theta_1 \cdot \cos \theta_1}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}}}{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2} \right]$$

$$a(\theta_1) = L_1 \cos \theta_1 + \left[\frac{\left[L_1^2 (\sin^2 \theta_1 - \cos^2 \theta_1) - L_1 L_3 \sin \theta_1 \right] \cdot \left(L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right) - L_1^2 L_3^2 \cos^2 \theta_1 + L_1^4 \sin^2 \theta_1 \cdot \cos^2 \theta_1}{\left[L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right]$$

$$a(\theta_1) = L_1 \cos \theta_1 + \left[\frac{A - B + C}{\left[L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right]$$

حيث أن:

$$A = \left[L_1^2 (\sin^2 \theta_1 - \cos^2 \theta_1) - L_1 L_3 \sin \theta_1 \right] \cdot \left(L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right)$$

$$B = L_1^2 L_3^2 \cos^2 \theta_1$$

$$C = L_1^4 \sin^2 \theta_1 \cdot \cos^2 \theta_1$$

$$x'' = \left[L_1 \cos \theta_1 + \left(\frac{A - B + C}{\left[L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right) \right] \cdot \omega^2 + \left[L_1 \sin \theta_1 + \frac{(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}} \right] \cdot \dot{\omega}$$

4-2-2- علاقة النموذج التحريكي للفك السفلي:

بنفس الطريقة السابقة نستطيع إيجاد علاقة النموذج التحريكي للفك السفلي:

نستنتج علاقة التسارع:

$$v(\theta_2) = -L_4 \sin \theta_2 + \frac{-(L_6 + L_4 \sin \theta_2)(L_4 \cos \theta_2)}{\sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}}$$

$$v(\theta_2) = f(\theta_2) + \frac{g(\theta_2)}{h(\theta_2)}$$

$$f(\theta_2) = -L_4 \sin \theta_2$$

$$g(\theta_2) = -(L_6 + L_4 \sin \theta_2)(L_4 \cos \theta_2)$$

$$h(\theta_2) = \sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}$$

$$a(\theta_2) = \frac{d}{d\theta} (v(\theta_2)) = \frac{d}{d\theta} \left(f(\theta_2) + \frac{g(\theta_2)}{h(\theta_2)} \right)$$

$$a(\theta_2) = f'(\theta_2) + \frac{g'(\theta_2).h(\theta_2) - g(\theta_2).h'(\theta_2)}{[h(\theta_2)]^2}$$

$$\frac{df}{d\theta_2} = -L_4 \cos \theta_2$$

$$\frac{dg}{d\theta_2} = -[(L_4 \cos \theta_2)(L_4 \cos \theta_2) + (-L_4 \sin \theta_2)(L_6 + L_4 \sin \theta_2)]$$

$$= -[L_4^2 \cos^2 \theta_2 - L_4 L_6 \sin \theta_2 - L_4^2 \sin^2 \theta_2]$$

$$= L_4^2 (\sin^2 \theta_2 - \cos^2 \theta_2) + L_4 L_6 \sin \theta_2$$

$$\frac{dh}{d\theta_2} = \frac{d}{d\theta_2} \left[\left(L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

بفرض أن: $u(\theta_2) = \left(L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2 \right)$

$$\frac{du}{d\theta_2} = -2(L_6 + L_4 \sin \theta_2)(L_4 \cos \theta_2)$$

$$= -2L_4 L_6 \cos \theta_2 - 2L_4^2 \sin \theta_2 \cdot \cos \theta_2$$

بفرض أن: $h(u) = u^{\frac{1}{2}}$

$$\frac{dh}{du} = \frac{1}{2} u^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{u}}$$

$$\frac{dh}{d\theta_2} = \frac{du}{d\theta_2} \cdot \frac{dh}{du} = -2L_4 L_6 \cos \theta_2 - 2L_4^2 \sin \theta_2 \cdot \cos \theta_2 \cdot \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{u}}$$

$$\frac{dh}{d\theta_2} = \frac{-L_4 L_6 \cos \theta_2 - L_4^2 \sin \theta_2 \cdot \cos \theta_2}{\sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}}$$

$$a(\theta_2) = -L_4 \cos \theta_2 + \left[\frac{\left[L_4^2 (\sin^2 \theta_2 - \cos^2 \theta_2) + L_4 L_6 \sin \theta_2 \right] \cdot \sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2} + (L_6 + L_4 \sin \theta_2) (L_4 \cos \theta_2) \cdot \frac{-L_4 L_6 \cos \theta_2 - L_4^2 \sin \theta_2 \cdot \cos \theta_2}{\sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}}}{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2} \right]$$

$$a(\theta_2) = -L_4 \cos \theta_2 + \left[\frac{\left[L_4^2 (\sin^2 \theta_2 - \cos^2 \theta_2) + L_4 L_6 \sin \theta_2 \right] \cdot (L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2) - L_4^2 L_6^2 \cos^2 \theta_2 - 2L_4^3 L_6 \sin \theta_2 \cdot \cos^2 \theta_2 - L_4^4 \sin^2 \theta_2 \cdot \cos^2 \theta_2}{\left[L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right]$$

$$a(\theta_2) = -L_4 \cos \theta_2 + \left[\frac{A - B - C - D}{\left[L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right]$$

حيث أن:

$$A = \left[L_4^2 (\sin^2 \theta_2 - \cos^2 \theta_2) + L_4 L_6 \sin \theta_2 \right] \cdot (L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2)$$

$$B = L_4^2 L_6^2 \cos^2 \theta_2$$

$$C = 2L_4^3 L_6 \sin \theta_2 \cdot \cos^2 \theta_2$$

$$D = L_4^4 \sin^2 \theta_2 \cdot \cos^2 \theta_2$$

$$x'' = \left[-L_4 \cos \theta_2 + \left(\frac{A - B - C - D}{\left[L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right) \right] \cdot \omega^2 - \left[L_4 \sin \theta_2 + \frac{-(L_6 + L_4 \sin \theta_2) (L_4 \cos \theta_2)}{\sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}} \right] \cdot \dot{\omega}$$

وبذلك نكون قد وصفنا نموذجي القبضة الحركي والتحريك من خلال مجموعة العلاقات الرياضية السابقة.

5- تمثيل علاقات النموذج الهندسي المباشر والعكسي على برنامج *MatLab*:

تم تمثيل العلاقات الرياضية الحاكمة للنموذجين المباشر والعكسي باستخدام برنامج *MatLab* وتم الوصول إلى مجموعة المنحنيات الممثلة لها (كما ستوضح الفقرات اللاحقة).

وللتحقق من صحة العلاقات المدروسة تم أخذ نقطة عشوائية من كل منحنى وتم التأكد من مطابقتها للقيم العملية على برنامج *Inventor*.

5-1- التمثيل البياني للنموذج الهندسي المباشر والعكسي للحالة الأولى للفاك العلوي:

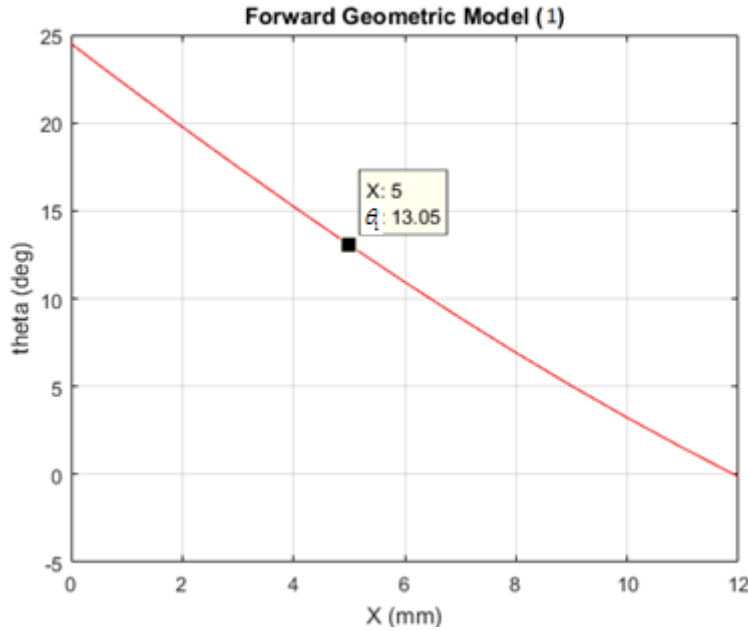
بتمثيل العلاقة الرياضية الحاكمة للنموذج المباشر للحالة الأولى للفاك العلوي عندما تكون $\theta_1 \in [0^\circ, 24.5^\circ]$ نحصل على الشكل (8.2):

$$\theta_1 = \sin^{-1} \frac{\frac{L_3^2 + L_1^2 + X^2 - L_2^2}{2L_1X}}{\sqrt{(1)^2 + \left(\frac{L_3}{X}\right)^2}} - \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{(1)^2 + \left(\frac{L_3}{X}\right)^2}}$$

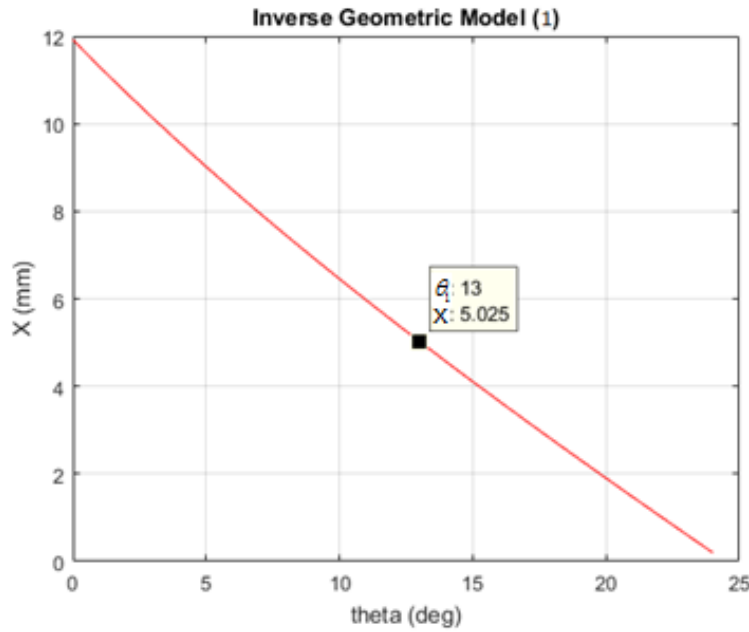
وكذلك بتمثيل العلاقة الحاكمة للنموذج العكسي نحصل على الشكل (9.2):

$$X = L_1 \cos \theta_1 - \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}$$

حيث أن الأطوال L_1, L_2, L_3 حسب التصميم المقترح هي: $L_1=36\text{mm}$, $L_2=34\text{mm}$, $L_3=24\text{mm}$.



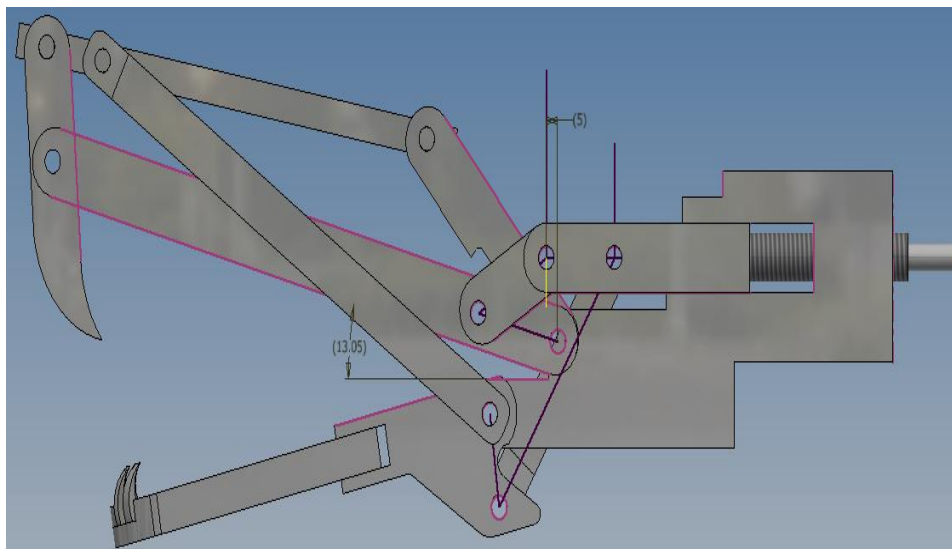
الشكل (8.2): المخطط البياني للنموذج الهندسي المباشر للحالة الأولى للفاك العلوي.



الشكل (9.2): المخطط البياني للنموذج الهندسي العكسي للحالة الأولى للفك العلوي.

من الشكلين السابقين نلاحظ أن الحل وحيد لكل من النموذجين المباشر والعكسي على كامل مجال العمل، فمن أجل دخل معين نحصل على خرج مقابل وحيد، حيث من أجل نقطة عمل معينة ولتكن $x=5\text{mm}$ ($\theta=13\text{deg}$) نلاحظ تطابق الحل بين النموذجين المباشر والعكسي للقبضة.

نقوم كذلك من خلال الشكل (10.2) بالتحقق عملياً من صحة نقطة العمل السابقة من خلال برنامج الـ Inventor، حيث نلاحظ تطابق النتائج العملية مع القيم النظرية للنموذج الممثلة على المخطط البياني ($x_{\text{act}}=5\text{mm}$) ($\theta_{\text{act}}=13.05\text{ deg}$).



الشكل (10.2): التحقق العملي للحالة الأولى للفك العلوي عملياً على برنامج Inventor .

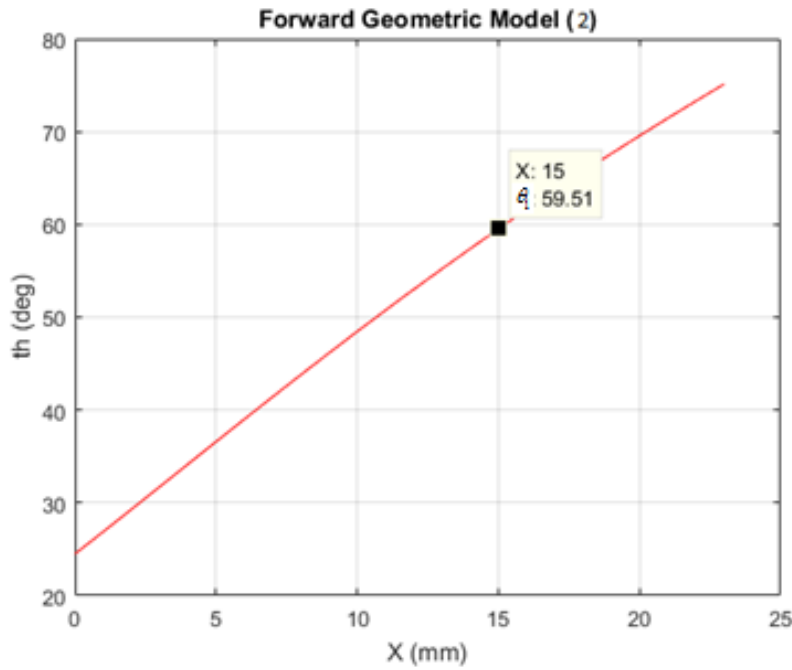
5-2- التمثيل البياني للنموذج الهندسي المباشر والعكسي للحالة الثانية للفتك العلوي:

نقوم كذلك بتمثيل العلاقة الرياضية الحاكمة للنموذج المباشر للحالة الثانية للفتك العلوي نحصل على الشكل (11.2):

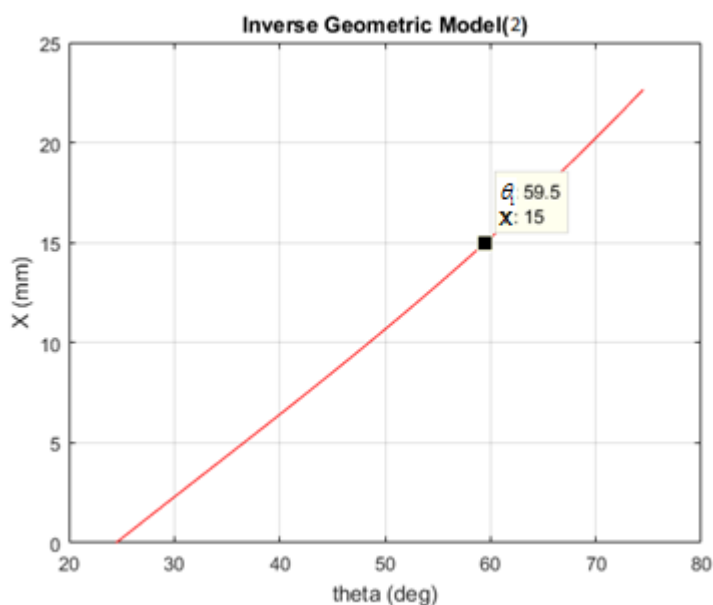
$$\theta_1 = \sin^{-1} \frac{\frac{L_3^2 + L_1^2 + X^2 - L_2^2}{-2L_1X}}{\sqrt{(1)^2 + \left(-\frac{L_3}{X}\right)^2}} - \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{(1)^2 + \left(-\frac{L_3}{X}\right)^2}}$$

وكذلك بتمثيل العلاقة الحاكمة للنموذج العكسي نحصل على الشكل (12.2):

$$X = \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2} - L_1 \cos \theta_1$$



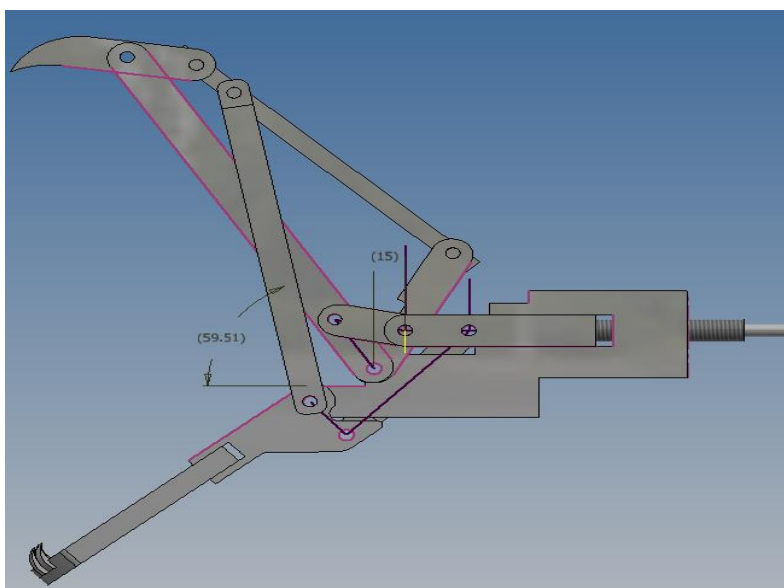
الشكل (11.2): المخطط البياني للنموذج الهندسي المباشر للحالة الثانية للفتك العلوي.



الشكل (12.2): المخطط البياني للنموذج الهندسي العكسي للحالة الثانية للفاك العلوي.

نلاحظ هنا كذلك من الشكلين السابقين أن الحل وحيد لكل من النموذجين المباشر والعكسي على كامل مجال العمل للحالة الثانية، فمن أجل دخل معين نحصل على خرج مقابل وحيد، حيث من أجل نقطة عمل معينة ولتكن $(x=15 \text{ mm}, \theta=59.5\text{deg})$ نلاحظ تطابق الحل بين النموذجين المباشر والعكسي للقبضة.

نقوم كذلك هنا من خلال الشكل (13.2) بالتحقق عملياً من صحة نقطة العمل السابقة من خلال برنامج الـ Inventor، حيث نلاحظ تطابق النتائج العملية مع القيم النظرية للنموذج الممثلة على المخطط البياني $(x_{act}=15\text{mm}, \theta_{act}=59.51\text{deg})$.



الشكل (13.2): التحقق العملي للحالة الثانية للفاك العلوي عملياً على برنامج inventor.

5-3- التمثيل البياني للنموذج الهندسي المباشر والعكسي للفاك السفلي:

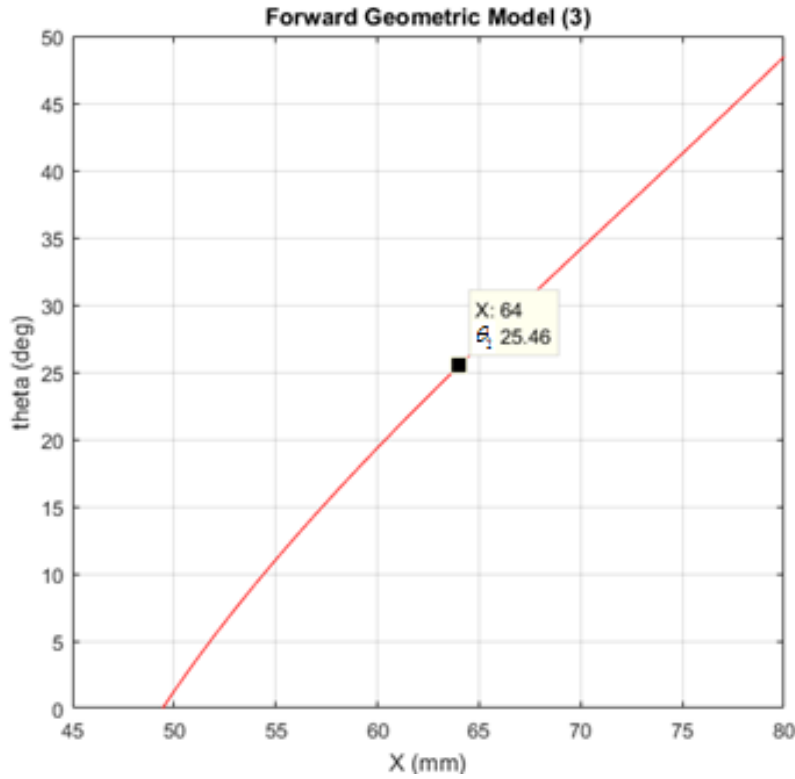
نقوم كذلك بتمثيل العلاقة الرياضية الحاكمة للنموذج المباشر للفاك السفلي فنحصل على الشكل (14.2):

$$\theta_2 = \sin^{-1} \frac{\frac{L_6^2 + L_4^2 + X^2 - L_5^2}{2L_4X}}{\sqrt{(1)^2 + \left(-\frac{L_4}{X}\right)^2}} - \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{(1)^2 + \left(-\frac{L_4}{X}\right)^2}}$$

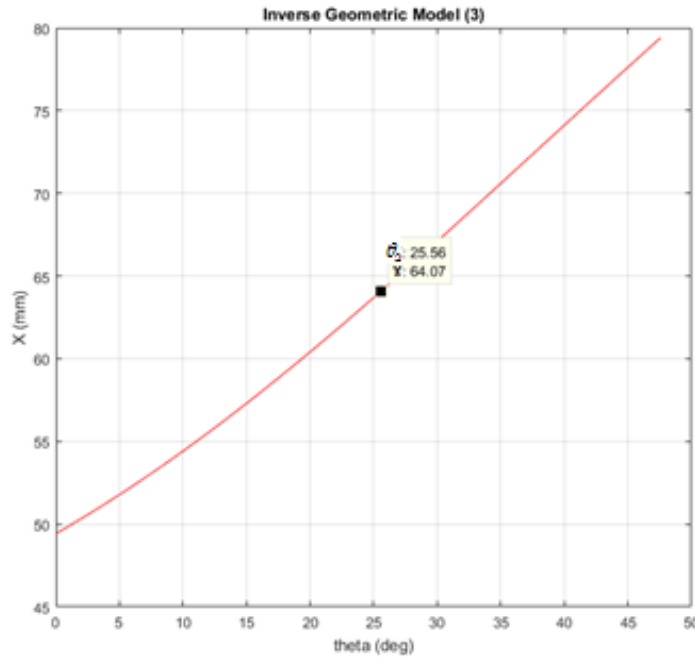
وكذلك بتمثيل العلاقة للنموذج العكسي نحصل على الشكل (15.2).

$$X = L_4 \cos \theta_2 + \sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}$$

حيث أن الأطوال L_4, L_5, L_6 حسب التصميم المقترح هي: $L_4=27\text{mm}$, $L_5=88\text{mm}$, $L_6=45\text{mm}$.



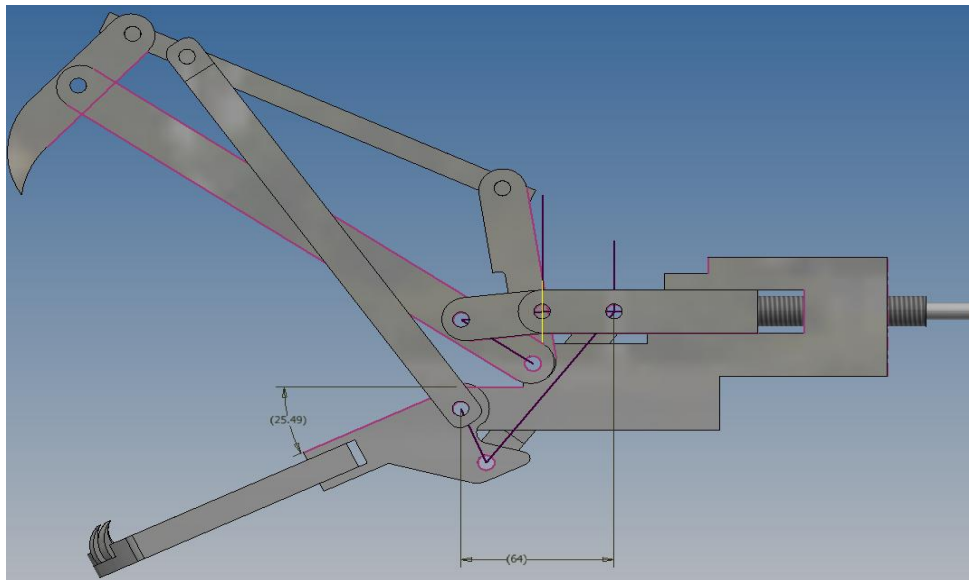
الشكل (14.2): المخطط البياني للنموذج الهندسي المباشر للفاك السفلي.



الشكل (15.2): المخطط البياني للنموذج الهندسي العكسي للفاك السفلي.

من الشكلين السابقين نلاحظ هنا كذلك أن الحل وحيد لكل من النموذجين المباشر والعكسي للفاك السفلي على كامل مجال العمل، فمن أجل دخل معين نحصل على خرج مقابل وحيد، حيث من أجل نقطة عمل معينة ولتكن $(x=64\text{mm}, \theta=25.5\text{deg})$ نلاحظ تطابق الحل بين النموذجين المباشر والعكسي للقبضة.

نقوم كذلك هنا من خلال الشكل (16.2) بالتحقق عملياً من صحة نقطة العمل السابقة من خلال برنامج الـ Inventor، حيث نلاحظ تطابق النتائج العملية مع القيم النظرية للنموذج الممثلة على المخطط البياني $(x_{\text{act}}=64\text{mm}, \theta_{\text{act}}=25.49\text{deg})$.



الشكل (16.2): التحقق العملي لحالة الفاك السفلي عملياً على برنامج inventor.

مما سبق نستنتج تطابق القيم النظرية مع القيم العملية في كل من النموذجين الهندسي المباشر والعكسي لكل حالة من الحالات الثلاثة الموصفة لفضاء عمل القبضة.

الفصل الثالث

التصميم الميكانيكي

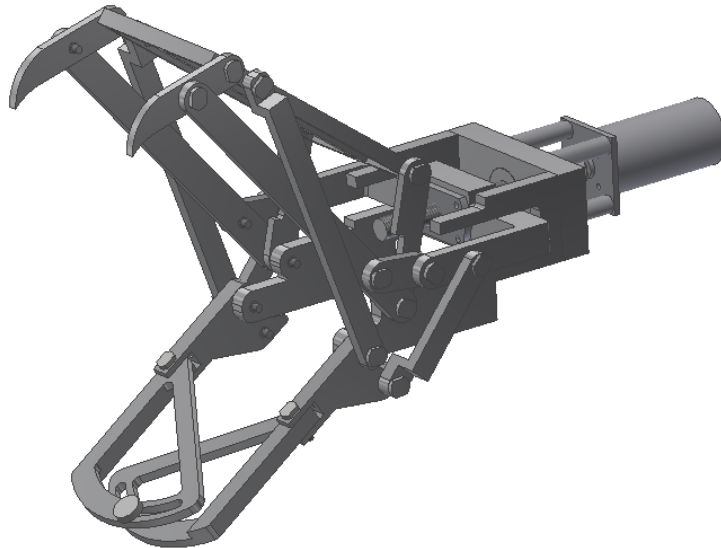
التصميم الميكانيكي

يحتوي هذا الفصل على تصميم القبضة باستخدام برنامج الـ Inventor، بالإضافة إلى الدراسة الإنشائية لأجزاء القبضة وتحملها للأحمال الممكن تطبيقها عليها.

1- التصميم الميكانيكي لقبضة الروبوت:

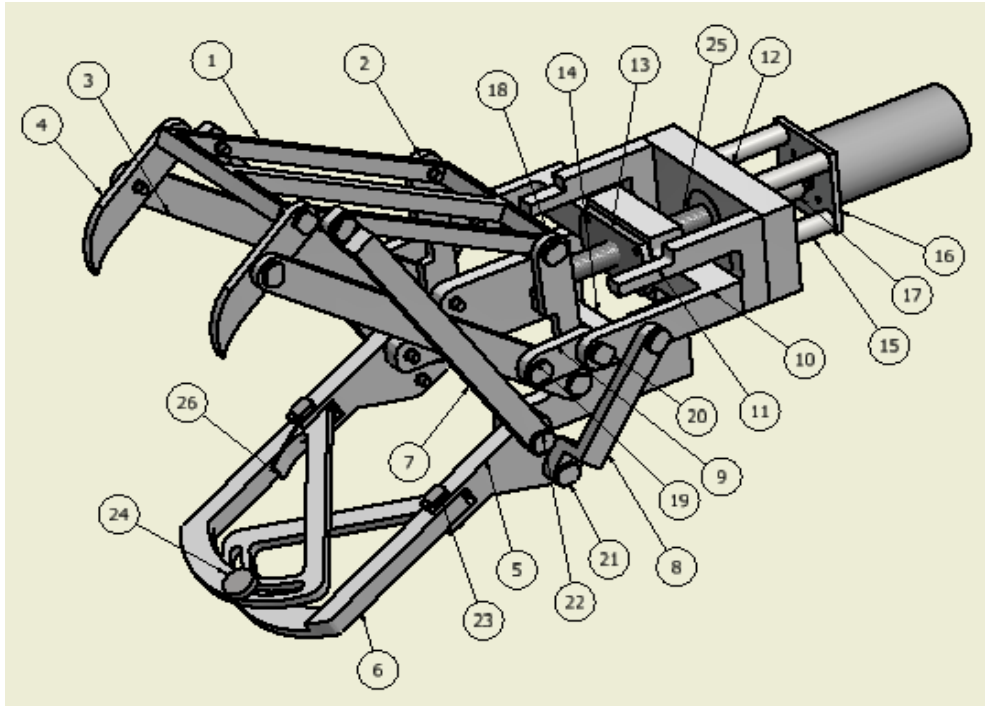
وفق تصميمنا المقترح يجب أن يؤمن نظام الحركة الانسحابية شوط عمل فعال قدره 36 mm ليفتح الفك بزاوية قدرها 125° ، لذلك اخترنا أن يكون طول المحور المقلوظ 138.5 mm وذلك لحاجتنا تصميمياً لتشغيل طرف المحور من أجل تثبيته مع المحرك، إضافة إلى الأخذ بعين الاعتبار أبعاد الصامولة، إن هذا الطول يؤمن شوط فعال أكبر من المطلوب مما يسمح لاحقاً باستخدام الميكانيزم في تطبيقات تحتاج إلى زاوية فتح أكبر من الزاوية المطلوبة في تصميمنا المقترح.

لتثبيت المحور مع هيكل القبضة نحقق رابطة دورانية بواسطة رولمان مزدوج بصفين من الدحارج الكروية، حيث أن الرولمانات توضع عادة لتسهيل الحركة الدورانية.



الشكل (1.3): التصميم النهائي لقبضة الروبوت.

يبين الشكل (2.3) القطع الأساسية التي تتألف منها قبضة الروبوت.



الشكل (2.3): الأجزاء الأساسية المؤلفة للقبضة.

يبين الجدول (1.3) رمز ومادة الأجزاء الأساسية المؤلفة للقبضة ووزنها وعددها.

حيث أن مادة الألمنيوم القاسي هي عبارة عن سبائك ثلاثية تركيبها هو: (Al Cu Mg)

الرقم	رمز القطعة	المادة	الوزن (kg)	العدد
1	Part 1	ألمنيوم قاسي	0.142	1
2	Part 2	ألمنيوم قاسي	0.028	2
3	Part 3	ألمنيوم قاسي	0.077	2
4	Part 4	ألمنيوم قاسي	0.025	2
5	Part 5	ألمنيوم قاسي	0.064	2
6	Part 6	ألمنيوم قاسي	0.084	2
7	Part 7	ألمنيوم قاسي	0.072	2
8	Part 8	ألمنيوم قاسي	0.035	2

2	0.018	ألمنيوم قاسي	Part 9	9
1	0.0268	ألمنيوم قاسي	Part 10	10
2	0.0175	ألمنيوم قاسي	Part 11	11
1	0.286	ألمنيوم قاسي	Part 12	12
1	0.350	Steel	Part 13	13
1	0.034	ألمنيوم قاسي	Part 14	14
4	0.039	Steel	Part 15	15
1	0.024	ألمنيوم قاسي	Part 16	16
1	0.051	Steel	Part 17	17
6	0.008	Stainless steel	Part 18	18
4	0.008	Stainless steel	Part 19	19
4	0.009	Stainless steel	Part 20	20
4	0.011	Stainless steel	Part 21	21
2	0.013	Stainless steel	Part 22	22
2	0.007	Stainless steel	Part 23	23
1	0.015	Stainless steel	Part 24	24
1	0.141	Steel	Part 25	25
2	0.006	صفيحة فولاذ نابضي	Part 26	26

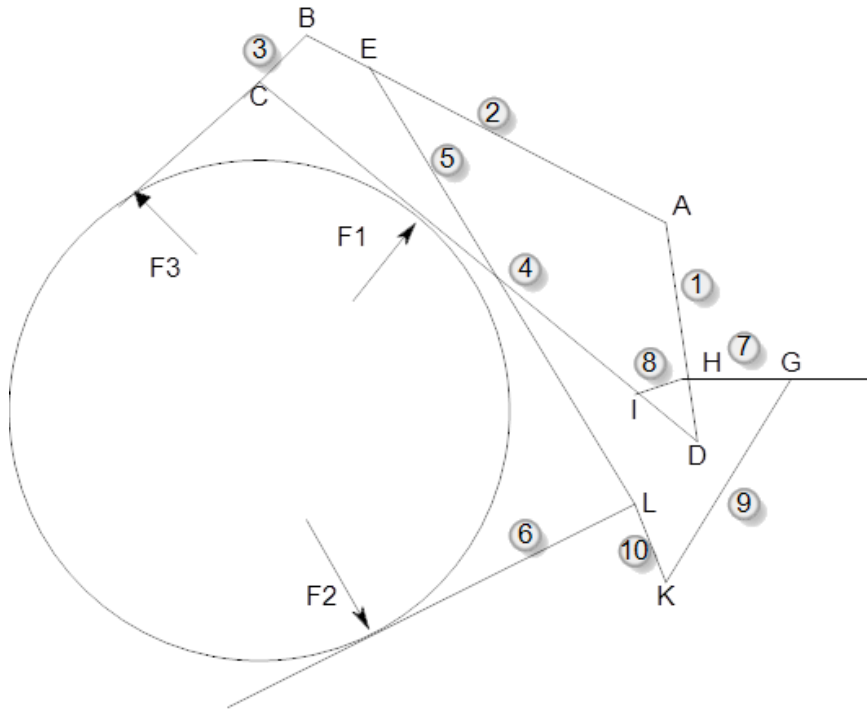
الجدول (1.3): رمز ومادة الأجزاء الأساسية المولدة للمقبض ووزنها وسماكتها وعددها.

بالتالي نجد أن الوزن الكلي للقبضة هو 2.5 kg .

2- دراسة القوى الستاتيكية:

نهدف من خلال هذه الدراسة إلى تحديد قيمة عزم المحرك اللازم لقيادة القبضة لتحقيق عملية إمساك الحمل المفروض، حيث سيتم بدايةً حساب قيمة العزوم اللازم تطبيقها من قبل الفك العلوي والسفلي على الحمل، ومن ثم يتم استنتاج قيمة القوة الانسحابية اللازم تطبيقها عن طريق الميكانيزم الساعدي المرفقي لكل من الفكين، وبالتالي يتم بالنهاية تحديد قيمة عزم المحرك المطلوب.

تم تقسيم أجزاء الميكانيزم إلى مجموعة وصلات لدراسة تأثير القوى فيما بينها (الشكل (3.3)). يؤثر الحمل على الفك العلوي والسفلي والناب بثلاثة قوى F_1, F_2, F_3 . نفرض أن هذه القوى موزعة بشكل منتظم على الفك العلوي والسفلي والناب. وبفرض أن الوزن المطلوب التقاطه وحمله هو 15 kg.



الشكل (3.3): تأثير قوى الحمل على القبضة الروبوتية.

2-1- حساب قوة الاحتكاك:

من أجل إتمام عملية الإمساك لابد من حساب القوى الواجب تأمينها لضمان عملية إمساك الجسم وعدم انزلاقه، لذلك يجب دراسة قوى الاحتكاك الناجمة عن عملية ضغط الفكين العلوي والسفلي على الجسم. حتى لا يحصل انزلاق يجب أن تكون قوى الاحتكاك السكوني أكبر من قوة الثقل.

بما أن الوزن الأعظمي للجسم الواجب إمساكه هو 15 kg، وبأخذ قيمة معامل الاحتكاك بين مادة الحمل ومادة المقبض بعين الاعتبار، نطبق العلاقة التالية :

$$F_f = \mu_s F$$

حيث:

F_f : هي قوة الاحتكاك السكوني.

μ_s : معامل احتكاك مادة الجسم مع مادة القبضة.

F : القوة الناعظمية المطبقة على الجسم.

لإيجاد قيمة مجموعة القوى انطلاقاً من الحمل يلزم معرفة معامل الاحتكاك بين مادة الحمل ومادة القبضة. تم اعتماد مادة القبضة من Aluminum ، نفرض أن الحمل مادته steel وهي الحالة الأسوأ، وبالتالي نختار معامل الاحتكاك السكوني بين Aluminum و steel من الجدول التالي:

Material 1	Material 2	Coefficient Of Friction			
		DRY		Greasy	
		Static	Sliding	Static	Sliding
Aluminum	Aluminum	1,05-1,35	1,4	0,3	
Aluminum	Mild Steel	0,61	0,47		
Brake Material	Cast Iron	0,4			
Brake Material	Cast Iron (Wet)	0,2			
Brass	Cast Iron		0,3		
Brick	Wood	0,6			
Bronze	Cast Iron		0,22		
Bronze	Steel			0,16	
Cadmium	Cadmium	0,5		0,05	
Cadmium	Mild Steel		0,46		
Cast Iron	Cast Iron	1,1	0,15		0,07
Cast Iron	Oak		0,49		0,075

الجدول (2.3): جدول معاملات الاحتكاك السكوني والحركي.

بدايةً نحسب قوى الحمل المؤثرة على الميكانيزم:

$$F_{f1} = \mu_s F_1$$

$$F_1 = \frac{F_{f1}}{\mu} = \frac{50}{0,61} = 82N$$

$$F_{f2} = \mu_s F_2$$

$$F_2 = \frac{F_{f_2}}{\mu} = \frac{50}{0.61} = 82N$$

$$F_{f_3} = \mu_s F_3$$

$$F_3 = \frac{F_{f_3}}{\mu} = \frac{50}{0.61} = 82N$$

قوى الحمل F_1 و F_2 تؤثر بشكل مباشر على الوصلتين 4 و 6 مما يُمكننا من حساب العزم الناتج بشكل مباشر وفق العلاقات التالية:

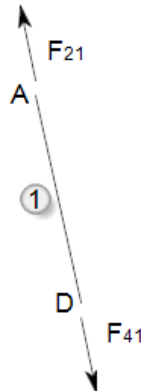
$$T_1 = F_1.h_1 = 82 * 150 = 12300N.mm = 12.3N.m$$

$$T_2 = F_2.h_2 = 82 * 100 = 8200N.mm = 8.2N.m$$

حيث h_1, h_2 : ذراع القوتين F_1, F_2 على التوالي بالنسبة لمركز دوران القطعتين 4 و 6.

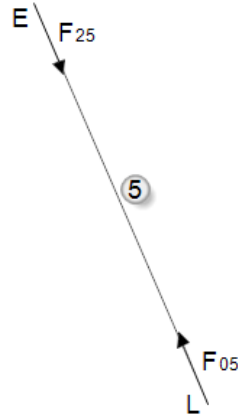
أما القوة F_3 فهي تؤثر على الناب وبالتالي على الفك العلوي بأكمله لذلك سوف نقوم بدراسة القوى على وصلات الفك العلوي حتى نتمكن من إيجاد قيمة العزم الناتج عن القوة F_3 .

ولإيجاد قيمة العزم الناتج عن القوة F_3 بدايةً نقوم بتحليل قوى الوصلة 1، حيث تؤثر فيها قوتين متعاكستين مباشرة كما هو موضح بالشكل (4.3).



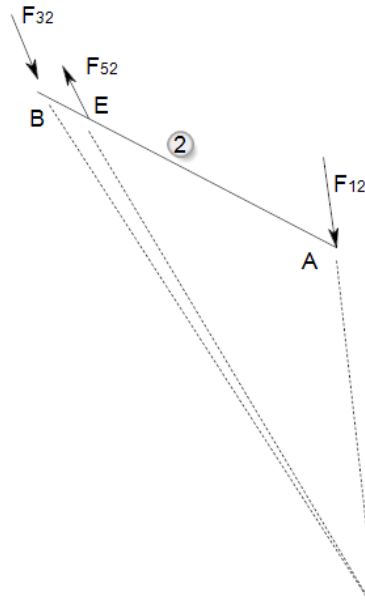
الشكل (4.3): القوى المؤثرة على الوصلة 1.

والوصلة 5 تؤثر فيها أيضاً قوتين متعاكستين مباشرة (الشكل (5.3)).

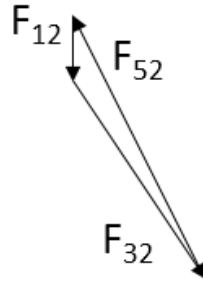


الشكل (5.3): القوى المؤثرة على الوصلة 5

أما الوصلة 2 فتؤثر فيها ثلاث قوى (الشكل (6.3)) لذلك سوف نقوم برسم مثلث القوى (الشكل (7.3)) وفق مقياس رسم مناسب لإيجاد القيم العددية للقوى.



الشكل (6.3): القوى المؤثرة على الوصلة 2



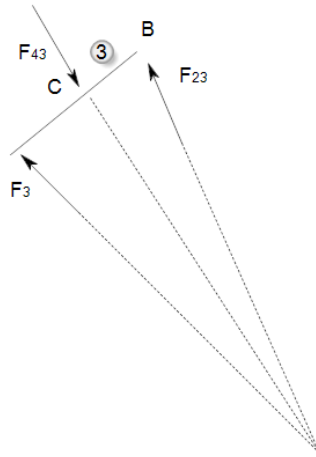
الشكل (7.3): مثلث القوى للوصلة 2

ومنه نجد أن القيم العددية لقوى الوصلة 2 هي:

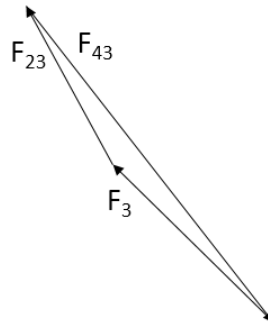
$$F_{52} = F_{25} = F_{05} = 52.5N$$

$$F_{12} = F_{21} = F_{14} = F_{41} = 5N$$

والوصلة 3 تؤثر فيها ثلاث قوى أيضاً (الشكل (8.3))، لذلك سنقوم برسم مثلث القوى (الشكل (9.3)) لإيجاد القيم العددية لهذه القوى.



الشكل (8.3): القوى المؤثرة على الوصلة 3



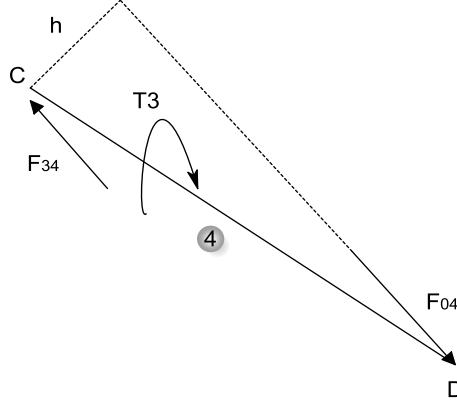
الشكل (9.3): مثلث القوى للوصلة 3

من مثلث القوى للوصلة 3 نجد أن:

$$F_{23} = F_{32} = 47.5N$$

$$F_{43} = F_{34} = 127.5N$$

أصبح بإمكاننا حساب العزم T_3 من الوصلة 4:



الشكل (10.3): القوى المؤثرة على الوصلة 4.

$$T_3 = F_{34} \cdot h = 127.5 \cdot 37.5 = 4781.25 N \cdot mm = 4.781 N \cdot m$$

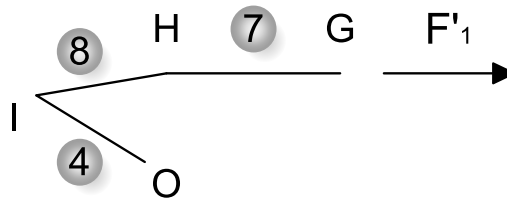
ومنه نجد أنه أصبح بإمكاننا حساب العزم الكلي المؤثر على الفك العلوي وفق العلاقة:

$$T_4 = T_1 + T_3 = 12.3 + 4.781 = 17 N \cdot m$$

من أجل حساب القوة اللازمة لتحقيق عملية القبض نقوم بتحليل القوى لوصلات الميكانيزم الساعدي

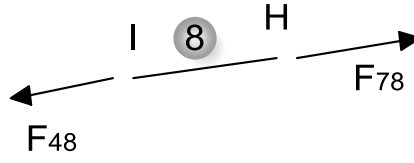
المرفقي في الفك العلوي و السفلي : $F = F'_1 + F'_2$

بداية نقوم بدراسة القوى للميكانيزم الساعدي المرفقي في الفك العلوي (الشكل (11.3)):



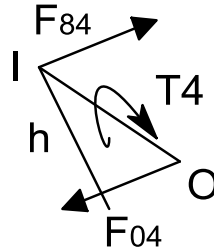
الشكل (11.3): الميكانيزم الساعدي المرفقي للفك العلوي.

الوصلة 8 تؤثر عليها قوتين متعاكستين مباشرة (الشكل (12.3)):



الشكل (12.3): القوى المؤثرة على الوصلة 8.

الوصلة 4 (الشكل (13.3)) تؤثر عليها قوتين والعزم T_4 ، وبما أن قيمة العزم معلومة بالتالي يمكننا حساب قيم القوى المؤثرة على هذه الوصلة.



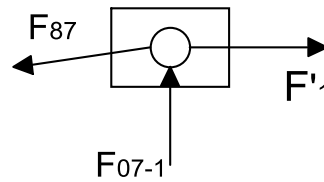
الشكل (13.3): القوى المؤثرة على الوصلة 4 للميكانيزم الساعدي للفيك العلوي.

$$T_4 = F_{84} \cdot h$$

$$F_{84} = \frac{T_4}{h} = \frac{17000}{25} = 680N$$

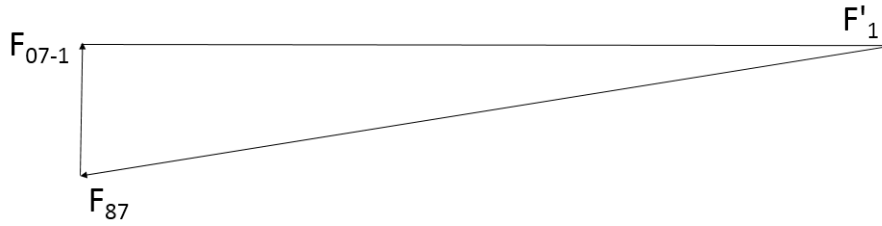
$$F_{78} = F_{84} = F_{48} = F_{04} = 680N$$

أصبح بإمكاننا إيجاد قيمة القوة F'_1 عن طريق مثلث القوى (الشكل (15.3)) :



الشكل (14.3): القوى المؤثرة على الوصلة 7 للميكانيزم الساعدي للفيك العلوي.

مثلث القوى يُرسم بالشكل التالي:

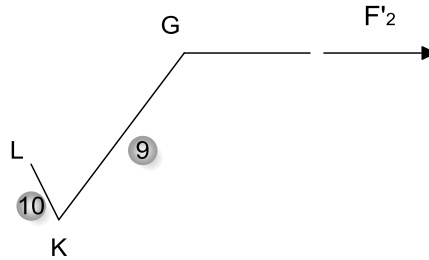


الشكل (15.3): مثلث القوى للوصلة 7 للميكانيزم الساعدي للفك العلوي.

$$F_{07-1} = 85N$$

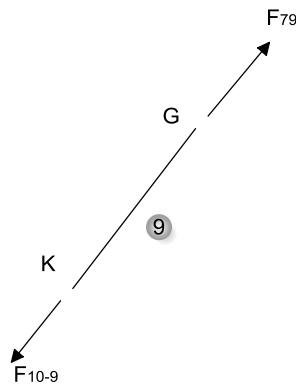
$$F'_{1} = 565N$$

بعدها نقوم بدراسة القوى في الميكانيزم الساعدي المرفقي في الفك السفلي (الشكل (16.3)):



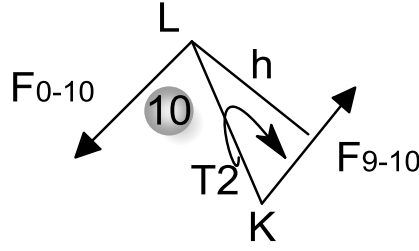
الشكل (16.3): الميكانيزم الساعدي المرفقي في الفك السفلي.

الوصلة 9 تؤثر عليها قوتين متعاكستين مباشرة (الشكل (17.3)).



الشكل (17.3): القوى المؤثرة على الوصلة 9.

أما الوصلة 10 فتؤثر عليها قوتين والعزم T_2 (الشكل (18.3))، وبما أن قيمة العزم معلومة يمكننا حساب قيم القوى المؤثرة على هذه الوصلة.

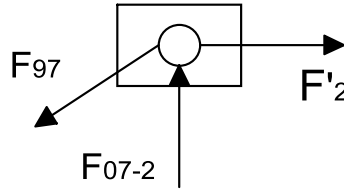


الشكل (18.3): القوى المؤثرة على الوصلة 10

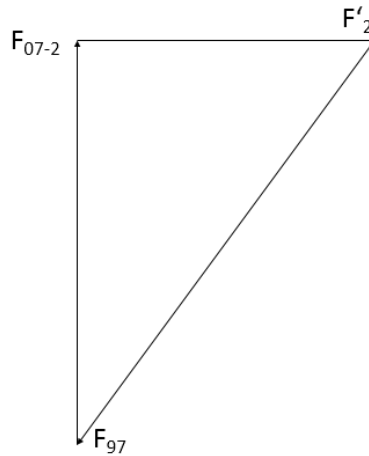
$$F_{9-10} = \frac{T_2}{h} = \frac{8200}{17.5} = 468.5N$$

$$F_{79} = F_{9-10} = 468.5N$$

إذاً أصبح بإمكاننا إيجاد قيمة القوة F'_2 عن طريق مثلث القوى (الشكل (20.3)).



الشكل (19.3): القوى المؤثرة على الوصلة 7 للميكانيزم الساعدي للفاك السفلي.



الشكل (20.3): مثلث القوى للوصلة 7 للميكانيزم الساعدي للفاك السفلي.

$$F'_2 = 257N$$

$$F_{07-2} = 370N$$

ومنه نجد أن القوة اللازمة لتحقيق عملية القبض هي مجموع القوتين F'_1, F'_2 :

$$F = F'_1 + F'_2 = 565 + 257 = 822N$$

3- تحديد مواصفات المفاعل الانسحابي:

لتحديد عزم المحرك اللازم لإتمام عملية القبض نطبق المبدأ الأساسي في التحريك:

$$T_M = T_L + \dot{\omega} \sum I$$

حيث: T_M العزم الذي يقدمه المحرك، $\sum I$ مجموع عزوم العطالة، $\dot{\omega}$ التسارع الزاوي، T_L عزم تحريك الحمل.

يعطى عزم تحريك الحمل بالعلاقة التالية:

$$T_L = \frac{P(F + mg)}{2\pi\eta}$$

حيث: P هي خطوة المحور المقلوظ، F القوة اللازمة لتحريك ميكانيزم القبضة، m كتلة الميكانيزم، g تسارع الجاذبية الأرضية، η مردود المحور المقلوظ.

بتعويض القيم العددية المعتمدة تصميمياً نجد أن قيمة العزم هي:

$$T_L = \frac{2(822 + 2.5 \cdot 10)}{2\pi \cdot 0.9} = 299.7 N.mm \approx 0.3 N.m$$

نقوم بحساب مجموع عزوم العطالة $\sum I$ والذي يُعطى بالعلاقة التالية:

$$\sum I = I_L + I_S$$

حيث أن:

$$I_L = M \cdot \left(\frac{P}{2\pi} \right)^2$$

$$I_S = M_S \cdot \left(\frac{D_S}{2} \right)^2$$

حيث: I_L عزم عطالة الحمل، I_S عزم عطالة المحور المقلوظ، P هي خطوة المحور المقلوظ، M كتلة الحمل الكلي، M_S كتلة المحور المقلوظ، D_S قطر المحور المقلوظ.
نعوض القيم العددية في العلاقات السابقة:

$$I_L = M * \left(\frac{P}{2\pi} \right)^2$$

$$I_L = 15 * \left(\frac{2 * 10^{-3}}{2\pi} \right)^2 = 10 * 10^{-6} \text{ Kg.m}^2$$

$$I_S = M_S * \left(\frac{D_S}{2} \right)^2$$

$$I_S = 0.147 * \left(\frac{14 * 10^{-3}}{2} \right)^2 = 49 * 10^{-6} \text{ Kg.m}^2$$

ومنه نجد أن مجموع عزوم العطالة يساوي:

$$\sum I = I_L + I_S = 49 * 10^{-6} + 10 * 10^{-6} = 59 * 10^{-6} \text{ Kg.m}^2$$

3-1- حساب السرعة الزاوية والتسارع الزاوي:

ولحساب السرعة الزاوية والتسارع الزاوي نفرض أن الزمن اللازم لإتمام عملية القبض هو $t = 1 \text{ s}$ خلال شوط حركة قدره $d = 36 \text{ mm}$ (وذلك حسب التصميم الميكانيكي).
ومنه فإن السرعة الخطية تُحسب من العلاقة التالية:

$$V = \frac{d}{t} = \frac{36}{1} = 36 \text{ mm / s}$$

والسرعة الزاوية تُعطى بالعلاقة :

$$\omega = \frac{V}{p} = \frac{36}{2} = 18 \text{ tr / s} = 113 \text{ rad / s} = 1080 \text{ rpm}$$

نفرض أننا نريد الوصول لهذه السرعة الزاوية من لحظة الإقلاع بزمّن قدره 0.1 s وبالتالي:

$$\dot{\omega} = \frac{1080 * 2\pi}{60 * 0.1} = 1130.4 \text{ rad / s}^2$$

$$\dot{\omega} \sum I = 6.7 * 10^{-2} \text{ N.m}$$

وبالتالي نجد أن عزم المحرك الذي نحتاجه:

$$T_M = T_L + \dot{\omega} \sum I$$

$$T_M = 0.3 + 6.7 * 10^{-2} = 0.36 N.m \simeq 0.4 N.m$$

والاستطاعة تُعطى بالعلاقة التالية:

$$P = T.\omega = 0.4 * 113 = 45.2 watt \simeq 45 watt$$

نضرب الاستطاعة بمعامل أمان 1.5 فتصبح قيمة الاستطاعة:

$$P = 45 * 1.5 = 67.5 watt$$

وبالتالي سوف يتم اختيار المحرك المطلوب وفق المواصفات المذكورة أعلاه.

4- الدراسة الإنشائية:

قمنا بإجراء دراسة إنشائية لمنظومة القبضة بالوضعين الشاقولي والأفقي عند حملها لأسطوانة للتأكد من متانة الفكوك و تحملها لوزن الأسطوانة باعتماد النمذجة التالية:

✓ عرفنا نوع مادة كل قطعة من القبضة.

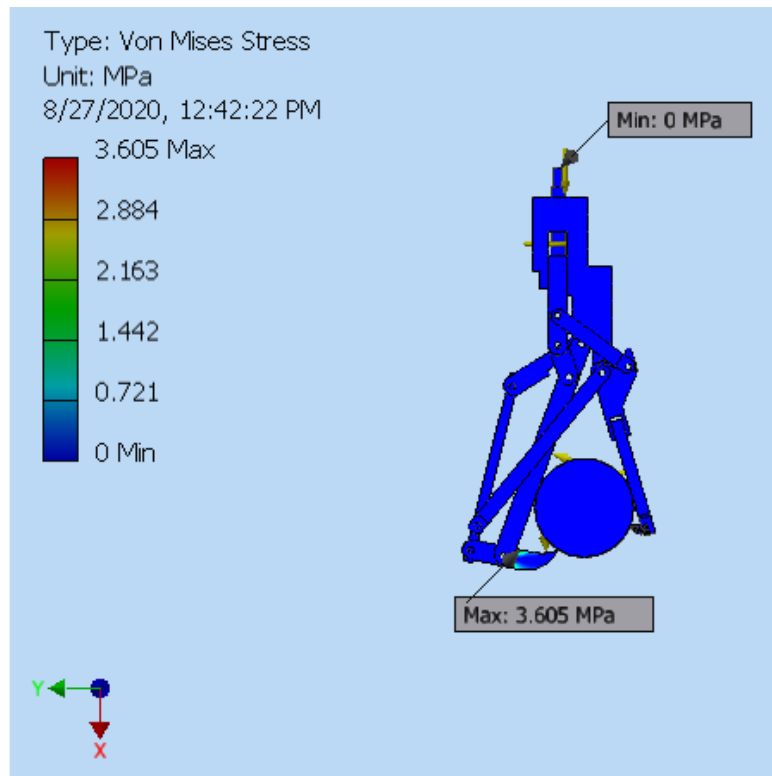
✓ أخضعنا القبضة الحاملة للأسطوانة لحقل تسارع الجاذبية الأرضية.

✓ طبقنا على المحور قيمة العزم المطلوب وهي 0.36 N.m

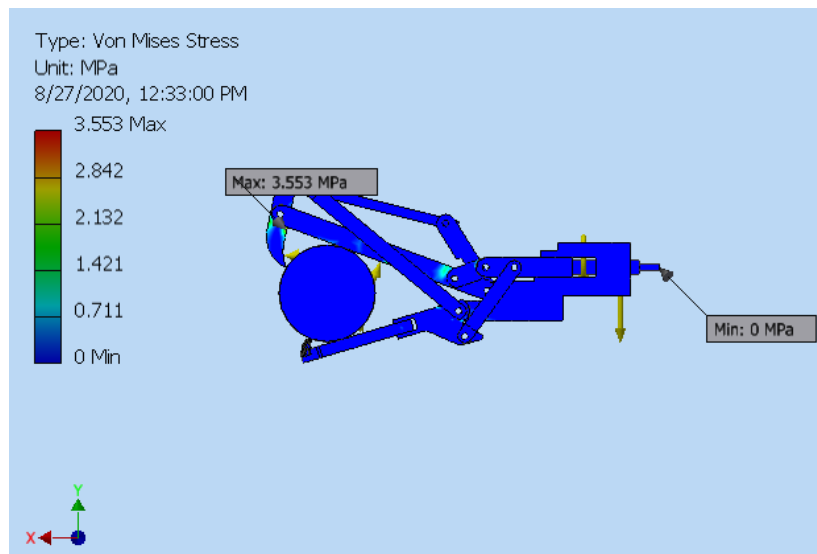
✓ طبقنا حمل أسطواني بقيمة الوزن الأعظمي (15 Kg).

✓ ثبتنا قاعدة المحرك.

بإجراء المحاكاة نجد أن إجهاد von Mises الأعظمي في الفك هو تقريباً $\sigma_{max} = 3.6 Mpa$ في كلٍ من الوضعيتين الشاقولية والأفقية (الشكل (21.3)) (الشكل (22.3))، بالمقارنة مع إجهاد الخضوع للألمنيوم القاسي نجد أن الفك متين بمعامل أمان جيد ويتحمل الإجهادات المطبقة عليه.

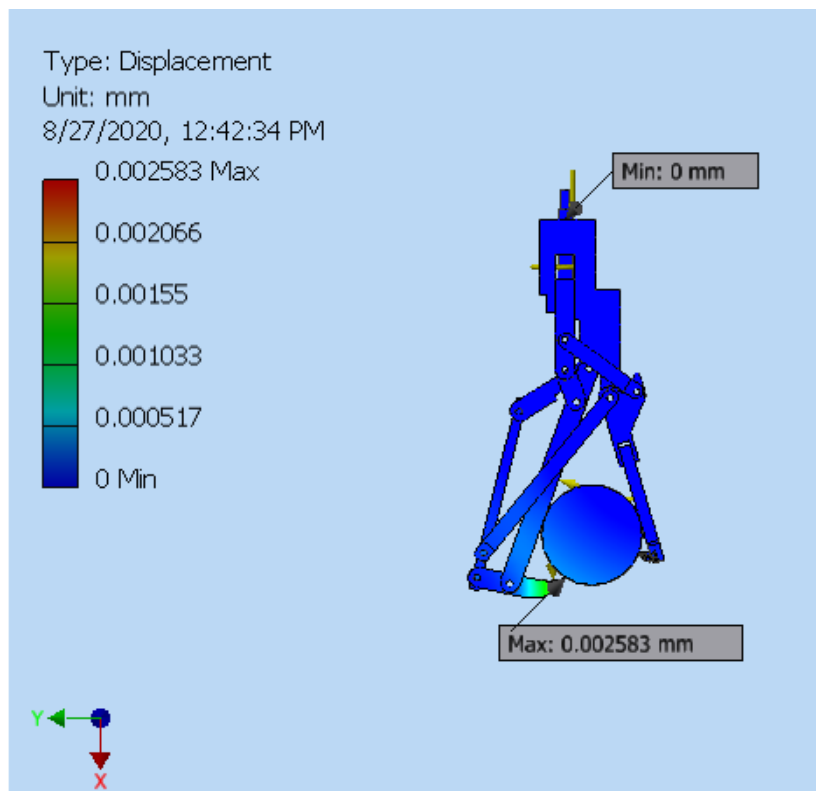


الشكل (21.3): إجهاد von Mises للقبضة في الوضعية الشاقولية.

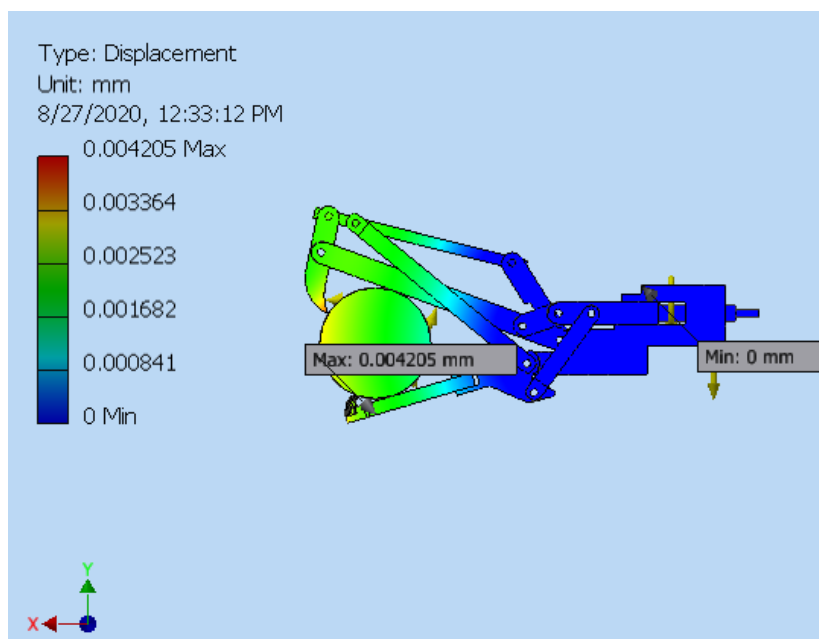


الشكل (22.3): إجهاد von Mises للقبضة في الوضعية الأفقية.

وقمنا أيضاً بحساب قيمة التدلي في كلتا الوضعتين الشاقولية والأفقية، فكان التدلي الأعظمي في الوضعية الشاقولية هو 0.002583 mm كما هو موضح في الشكل (23.3)، وفي الوضعية الأفقية 0.004205 mm كما في الشكل (24.3)، وهي قيم صغيرة ومقبولة وبالتالي فإن هذا المقبض يحقق شرط المتانة.



الشكل (24.3): قيمة التدلي للقبضة في الوضعية الشاقولية.



الشكل (25.3): قيمة التدلي للقبضة في الوضعية الأفقية.

الفصل الرابع

النتائج والمحاكاة العملية

النتائج والمحاكاة العملية

في هذا الفصل سوف نقوم بإجراء المحاكاة الديناميكية للقبضة على برنامج *Inventor* للتأكد من صحة قيم القوى التي توصلنا لها نتيجة تحليل القوى لأجزاء القبضة.

1- مقدمة عامة عن النمذجة:

تُمكن النمذجة من فهم علم الحركة المجردة (kinematic) والسلوك الحركي للميكانيزمات، علم الحركة المجردة هو دراسة حركة الميكانيزم بما في ذلك الموضع، السرعة، التسارع، في حين أن علم التحريك (Dynamic) هو دراسة الكتل والقوى العطالية المؤثرة على الميكانيزم.

يتم بناء نموذج افتراضي بواسطة مجموعة برامج Inventor simulation، تتيح مجموعة البرامج هذه للمصمم أن يحول قيود التركيبية بشكل أوتوماتيكي إلى مفاصل ميكانيكية، كما وتؤمن هذه البرامج القدرة على تطبيق قوى خارجية من ضمنها الجاذبية الأرضية وتسمح لتأثيرات احتكاك التماس، التخميد، العطالة لأن تؤخذ بالحسبان. نتيجة لذلك فإن مجموعة النمذجة تزودنا بمعلومات عن قوى رد الفعل، السرعات، التسارع وأكثر من ذلك.

بهذه المعلومات يستطيع المصمم أن يُعيد استخدام قوى رد الفعل بشكل أوتوماتيكي لينجز تحليلاً لعنصر منتهى، حيث أن كل تلك المعلومات تساعد المصممين على بناء منتج أمثل.

2- المحاكاة الديناميكية للمقبض:

قمنا بإجراء المحاكاة الديناميكية للقبضة على برنامج inventor 2013 للتأكد من صحة النتائج النظرية. حيث قمنا بدراسة القبضة بالوضعيتين الأفقية والשאقولية.

ولإجراء عملية المحاكاة قمنا بما يلي:

✓ إدخال نوع الروابط بين القطع (دورانية - انسحابية - كروية).

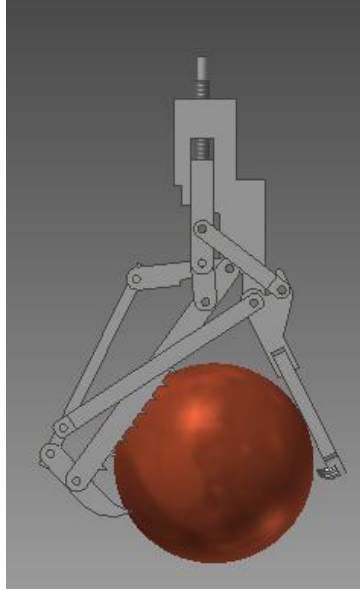
✓ إدخال قيمة العزم.

✓ إدخال قيمة معامل الاحتكاك بين مادة الحمل ومادة القبضة.

✓ إدخال قوة تسارع الجاذبية الأرضية.

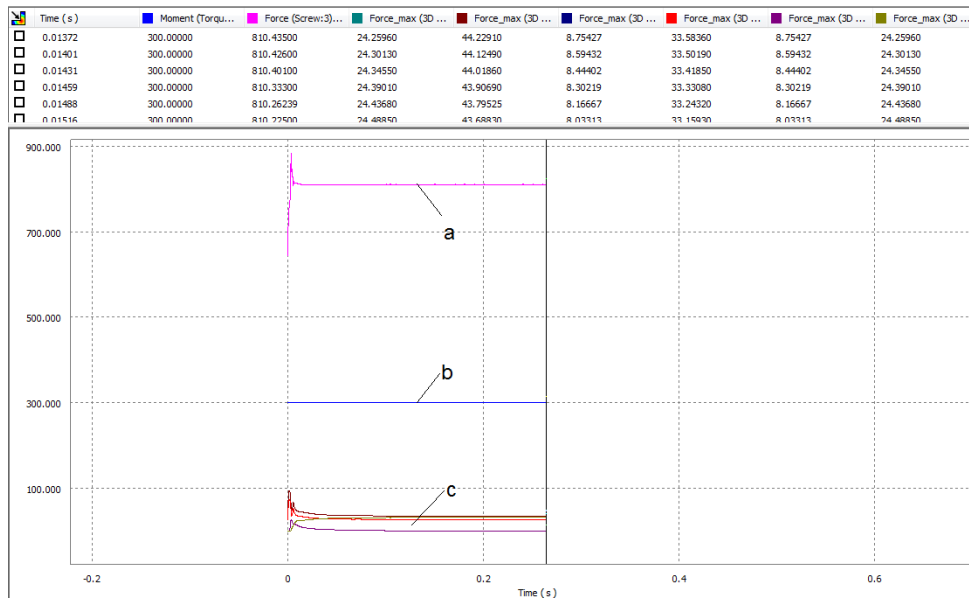
2-1- الوضعية الشاقولية:

يبين الشكل (1.4) قبضة الروبوت في الوضعية الشاقولية وهو مُحمل بوزن 15 kg.



الشكل (1.4): قبضة الروبوت في الوضعية الشاقولية.

تم تطبيق العزم النظري المدروس ($T_m = 0.36 \text{ N.m}$) على محور المحرك، فكانت نتائج المحاكاة للقبضة في الوضعية الشاقولية كما هو موضح بالشكل (2.4).



الشكل (2.4): المخططات البيانية للعزم والقوى في حالة الوضعية الشاقولية للميكانيزم.

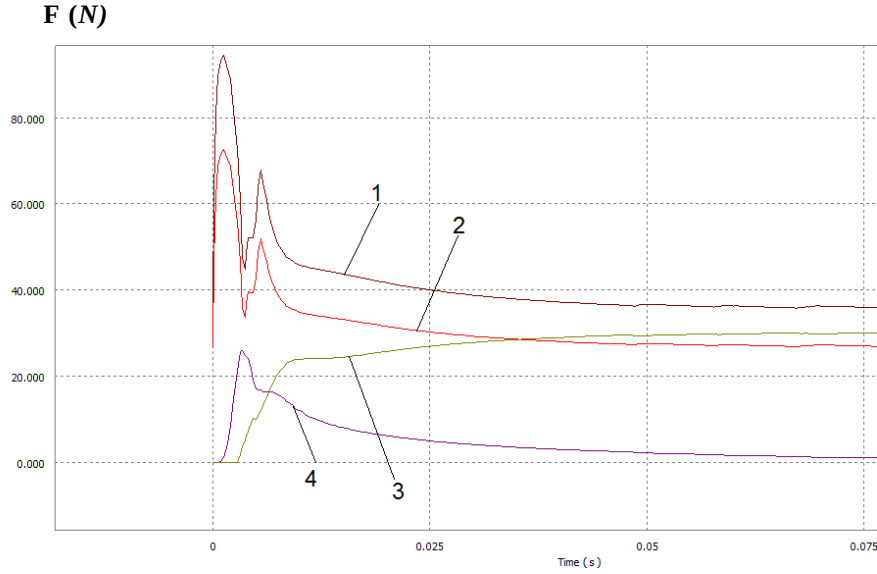
حيث:

a هو الخط البياني للقوة اللازمة لإتمام عملية القبض.

b هو الخط البياني لعزم المحرك المطبق.

c هي الخطوط البيانية لقيم قوى فكي القبضة المؤثرة على الحمل (F_1, F_2, F_3).

يبين الشكل (3.4) المخططات البيانية للقوى المؤثرة بشكل أوضح.



الشكل (3.4): التمثيل البياني لقيم القوى بالنسبة للزمن في حالة الوضعية الشاقولية للميكانيزم.

حيث:

1 هو الخط البياني للقوة المطبقة من قبل الفك السفلي (الجانب الأيسر) على الحمل.

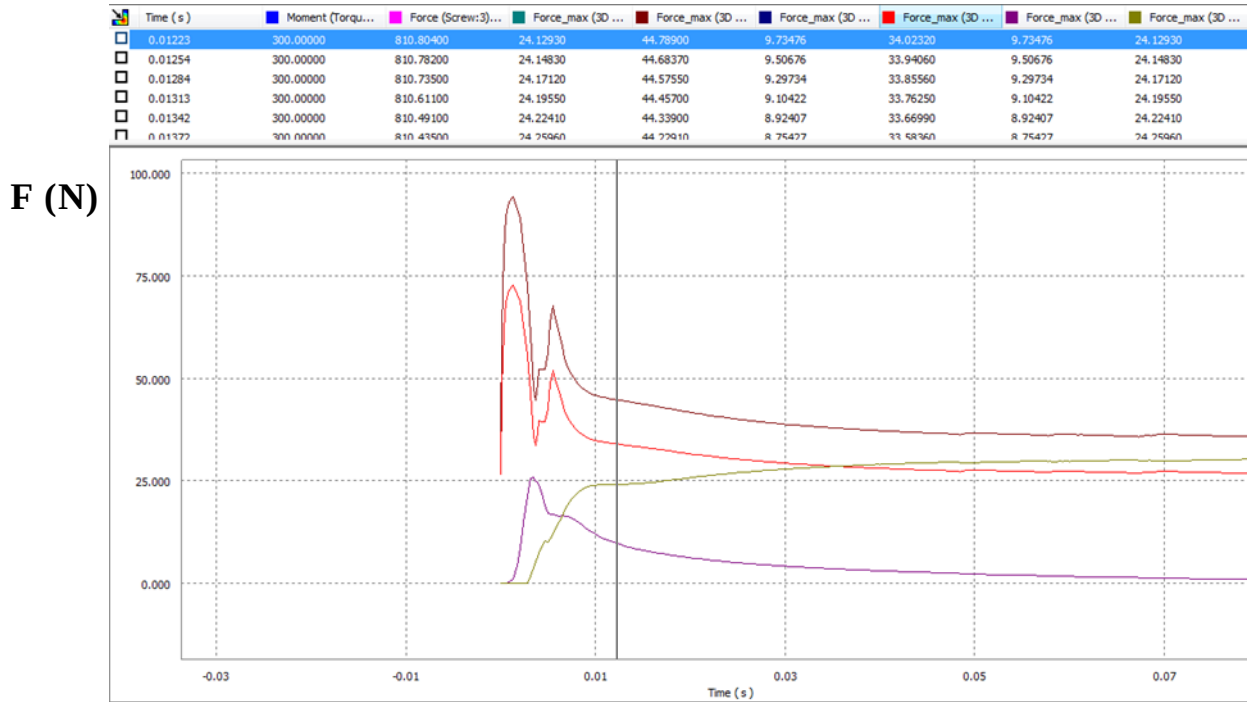
2 هو الخط البياني للقوة المطبقة من قبل الفك السفلي (الجانب الأيمن) على الحمل.

3 يعبر عن خطين بيانيين متطابقين للقوة المطبقة من قبل الفك العلوي (بجانبه الأيمن والأيسر) على الحمل.

4 يعبر عن خطين بيانيين متطابقين للقوة المطبقة من قبل النابين الأيمن والأيسر على الحمل.

- نلاحظ من الشكل (3.4) تطابق الخطوط البيانية للنابين في الجانبين الأيمن والأيسر وكذلك للقطعة العلوية في كلا الجانبين ويعود ذلك لتوضع الحمل في مركز القبضة بشكل متناظر. أما سبب تباين الخطوط البيانية للقطعة السفلى في الجانبين فهو نتيجة توضع قطعة فوق الأخرى تصميمياً.

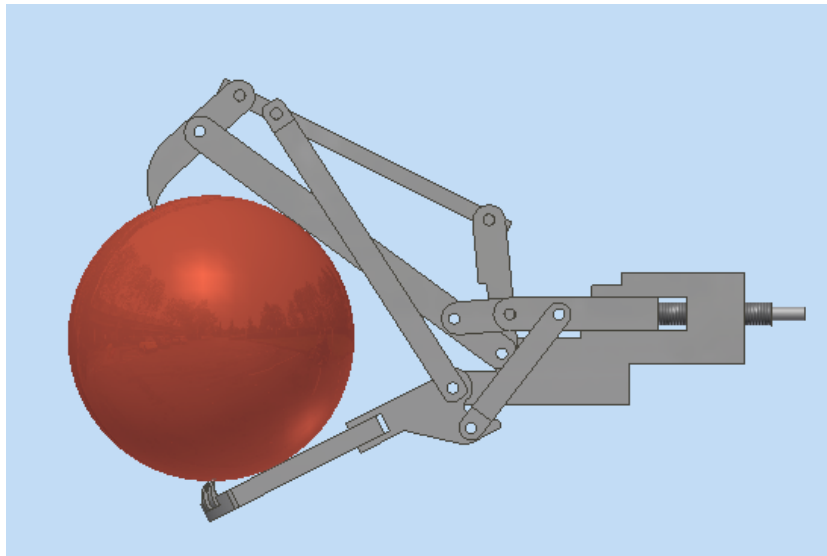
للتأكد من صحة قيم القوى نأخذ قيمة عشوائية من مخطط قيم القوى كما في الشكل (4.4).



الشكل (4.4): نتائج قيم القوى في حالة الوضعية الشاقولية للميكانيزم.

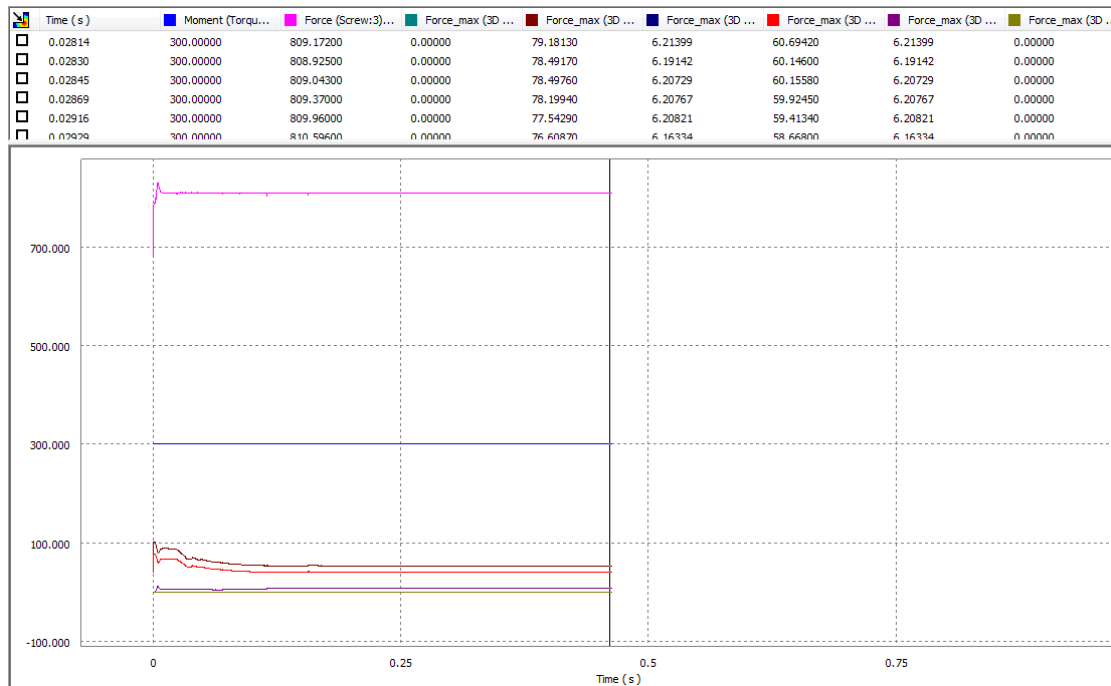
- نلاحظ من الشكل أعلاه وجود اضطراب في قيم القوى المؤثرة على الحمل في بداية عملية المحاكاة ويعود ذلك لعملية الصدم البدائية الناتجة عن تصادم فكي القبضة مع الحمل، بينما نلاحظ استقرار قيم هذه القوى فيما بعد على القيم اللازمة.
- كما نلاحظ من الشكل (4.4) أن مجموع قيم القوى الست هو تقريباً 150 N وهي قيمة موافقة للقيم المحسوبة.
- كما نلاحظ التقارب بين قيم القوى المؤثرة من قبل الفكين العلوي و السفلي على الحمل، ويعود ذلك لتحمل الفكين الحمل بشكل متناظر تقريباً ضمن الوضعية الشاقولية.

2-2- الوضعية الأفقية:



الشكل (5.4): قبضة الروبوت في الوضعية الأفقية.

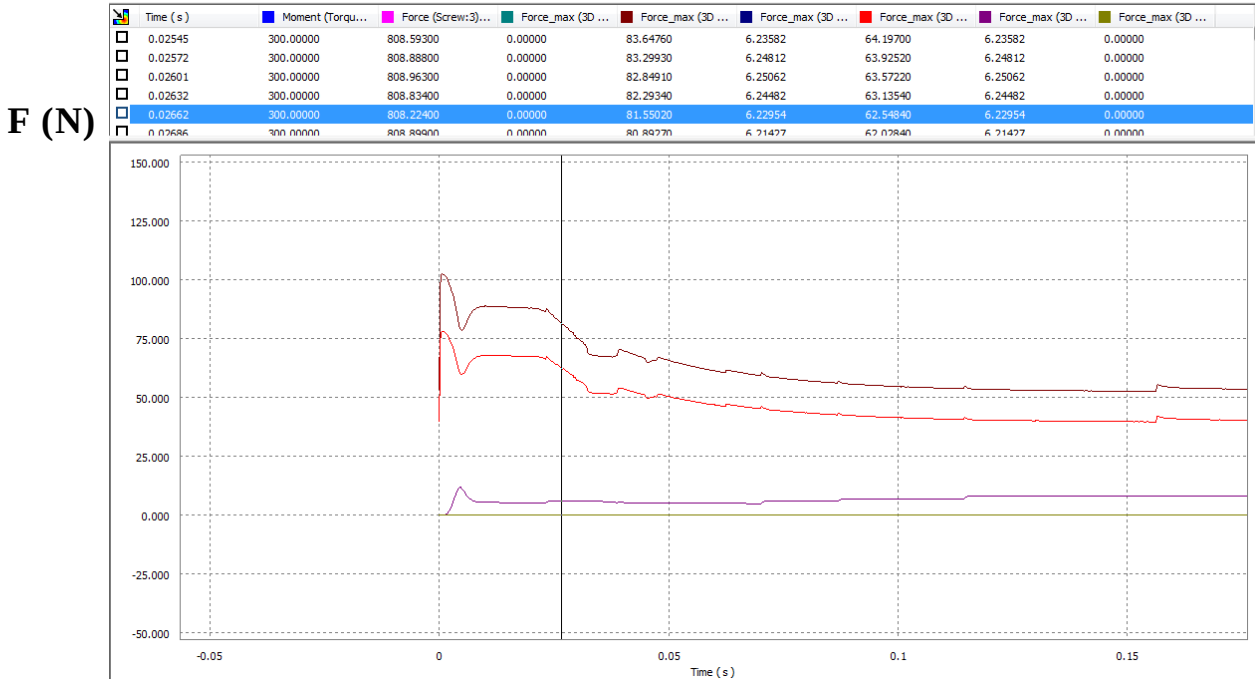
كذلك تم تطبيق العزم النظري المدروس ($T_m=0.36 \text{ N.m}$) على محور المحرك، فكانت نتائج المحاكاة للقبضة في الوضعية الأفقية كما هو موضح بالشكل (6.4):



الشكل (6.4): المخططات البيانية للعزم والقوى في حالة الوضعية الأفقية للميكانيزم.

نلاحظ أيضاً من المخططات السابقة تطابق الخطوط البيانية للنايين في الجانبين الأيمن والأيسر وكذلك للقطعة العلوية في كلا الجانبين. أما سبب تباين الخطوط البيانية للقطعة السفلى في الجانبين فهو نتيجة توضع قطعة فوق الأخرى.

كما في الوضعية السابقة نأخذ قيمة عشوائية للتأكد من صحة النتائج (الشكل (7.4)).



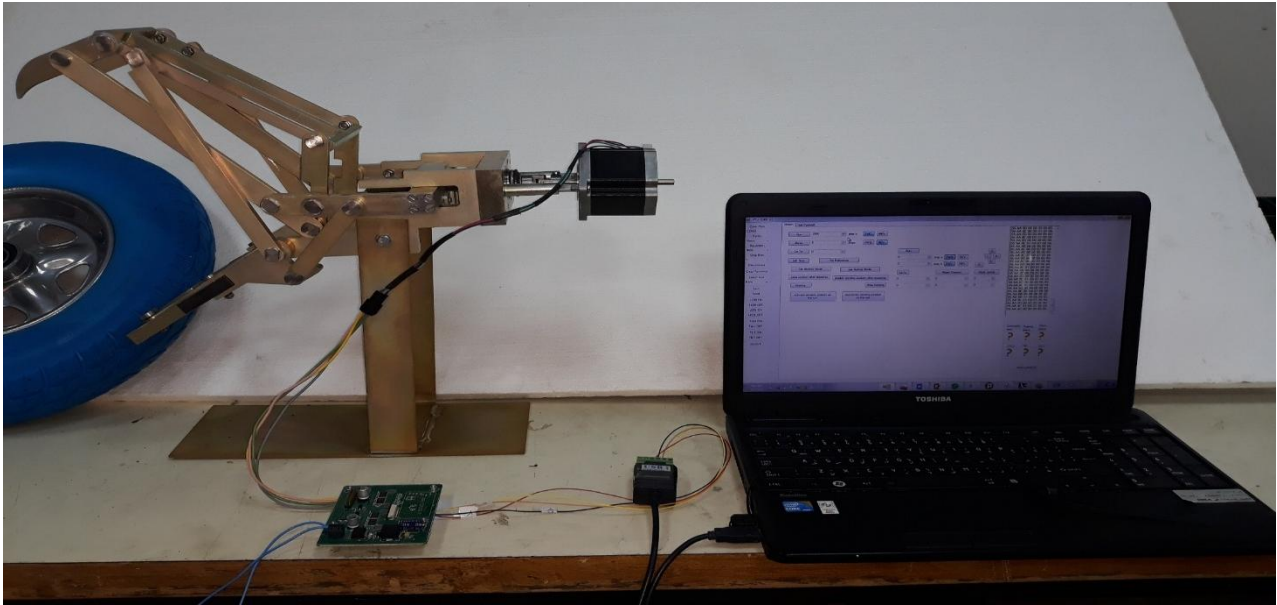
الشكل (7.4): نتائج قيم القوى في حالة الوضعية الأفقية للميكانيزم.

- نلاحظ من الشكل (7.4) أيضاً أن مجموع قيم القوى هو تقريباً 150 N.
- كما نلاحظ أن قيم القوى المؤثرة من قبل الفك السفلي على الحمل في هذه الحالة (الوضعية الأفقية) ذات قيم أعلى من الوضعية السابقة (الرأسية)، ويعود ذلك لتحمل الفك السفلي الجزء الأكبر من الحمل.

ختاماً نجد من خلال المحاكاة الديناميكية السابقة قدرة القبضة المدروسة على القبض والإمساك بالحمل المفروض عليها في الوضعيتين الشاقولية والأفقية.

3- النتائج العملية لميكانيزم القبضة:

- تم تنفيذ القبضة الروبوتية عملياً ثم تجميعها كما هي مبينة بالشكل (8.4).
- لقيادة القبضة عملياً تم الاعتماد على محرك خطوي يحقق المواصفات المطلوبة: $T=0.5 \text{ N.m}$, $W=1000 \text{ rpm}$, حيث تم التحكم بعملية الفتح والإغلاق مع تحديد قيمة الوضع الزاوي لفكي القبضة.
- تتم القيادة عن طريق إرسال الأوامر من الواجهة التخاطبية إلى الدارة الالكترونية التي بدورها تولد الإشارات اللازمة للمحرك.
- تكمن أهمية استخدام المحرك الخطوي Stepper Motor في دقة حركته و إمكانية تقدير وضعه الزاوي في كل لحظة انطلاقاً من الوضعية الصفرية.



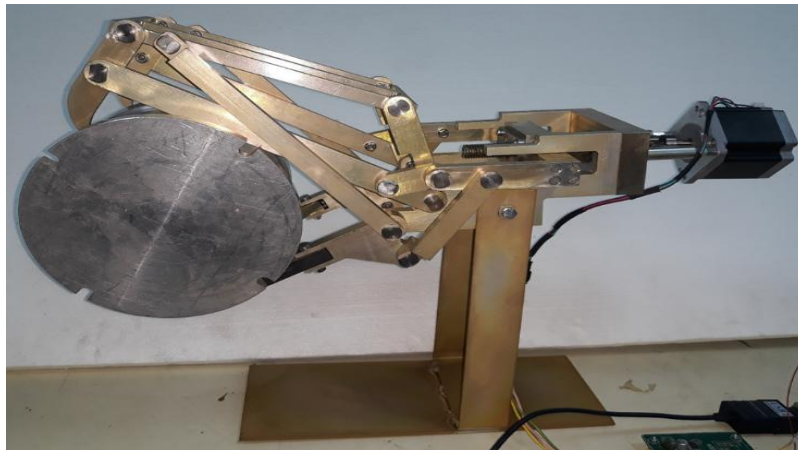
الشكل (8.4): القبضة الروبوتية المنفذة .

ثم تم اختبار قدرة القبضة على إمساك عدة أجسام بأحجام وأشكال وأوزان مختلفة كما هو موضح في (الشكل (9.4)، الشكل (10.4)، الشكل (11.4)، الشكل (12.4)، الشكل (13.4)).

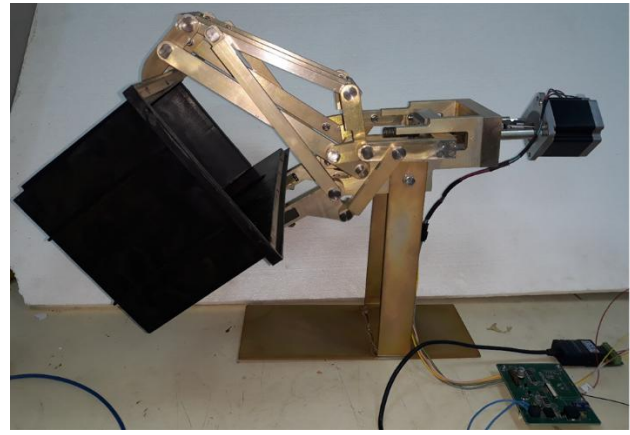
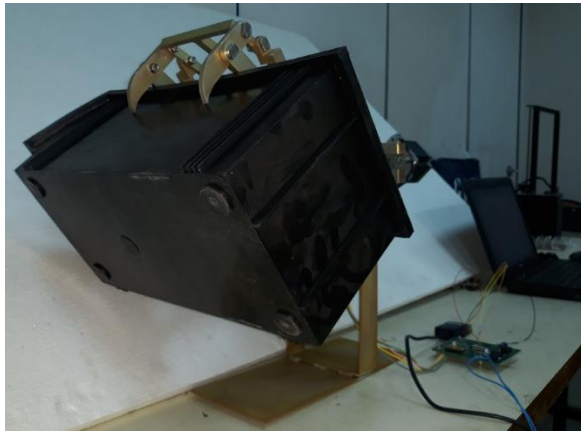


الشكل (9.4): إمساك القبضة لعجلة متوسطة الحجم.

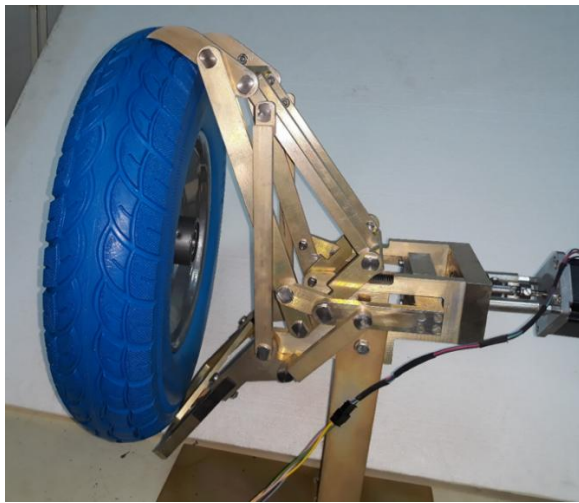
نلاحظ من الشكل (9.4) خاصية التمدد الجانبي للفك السفلي نتيجة حجم ووزن العجلة.



الشكل (10.4): إمساك القبضة لشكل أسطواني.



الشكل (11.4): إمساك القبضة لجسم مستطيل الشكل.



الشكل (12.4): إمساك القبضة لعجلة كبيرة الحجم.



الشكل (13.4): إمساك القبضة بوضعيتين مختلفتين لجسم متوازي مستطيلات .

الفصل الخامس

الخاتمة والآفاق المستقبلية

الخاتمة والآفاق المستقبلية

1- الخاتمة:

يمكن تلخيص النقاط التي تم العمل عليها في هذا البحث بالشكل التالي:

- ✓ تصميم وتنفيذ قبضة روبوتية مشابهة لفك الأفعى تحقق دفتر الشروط الوظيفية المطلوب، بحيث تتمكن من إمساك أجسام بالأحجام والأشكال والأوزان المطلوبة.
- ✓ نمذجة القبضة هندسياً وحركياً وتوضيح آلية عملها.
- ✓ دراسة القوى الستاتيكية للميكانيزم وإيجاد عزم المحرك المطلوب لإتمام عملية القبض.
- ✓ التأكد من صحة النتائج عن طريق إجراء المحاكاة الديناميكية للميكانيزم بواسطة برنامج inventor.
- ✓ تمثيل العلاقات الرياضية الخاصة بنموذج القبضة الهندسي (المباشر والعكسي) بيانياً من خلال برنامج الـ *Matlab* و التحقق من صحة هذه العلاقات من خلال مطابقة بعض النقاط التجريبية عملياً على برنامج الـ *Inventor*.
- ✓ إجراء دراسة إنشائية لمنظومة القبضة بالوضعين الشاقولي والأفقي عند حملها لأسطوانة للتأكد من متانة الفكوك و تحملها لوزن الأسطوانة.
- ✓ التحقق العملي من قدرة القبضة الروبوتية المقترحة على الإمساك بأجسام ذات أشكال وحجوم مختلفة.

2- الآفاق المستقبلية:

هذا البحث قابل للتطوير من عدة نواحي نلخصها بالنقاط التالية:

- يمكن إضافة حساسات ضغط لمعرفة القوى التي يطبقها فكي القبضة العلوي والسفلي على الجسم.
- كذلك يمكن إضافة نظام رؤية للنظام بحيث يتمكن من تحديد شكل الجسم المراد إمساكه واختيار الوضعية المناسبة تلقائياً.
- كما يمكن دراسة التصميم الأمثلي للميكانيزم.

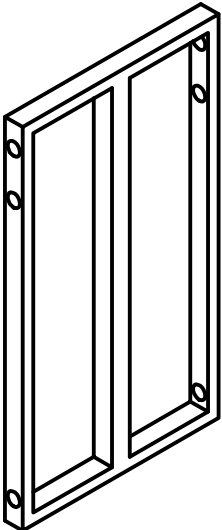
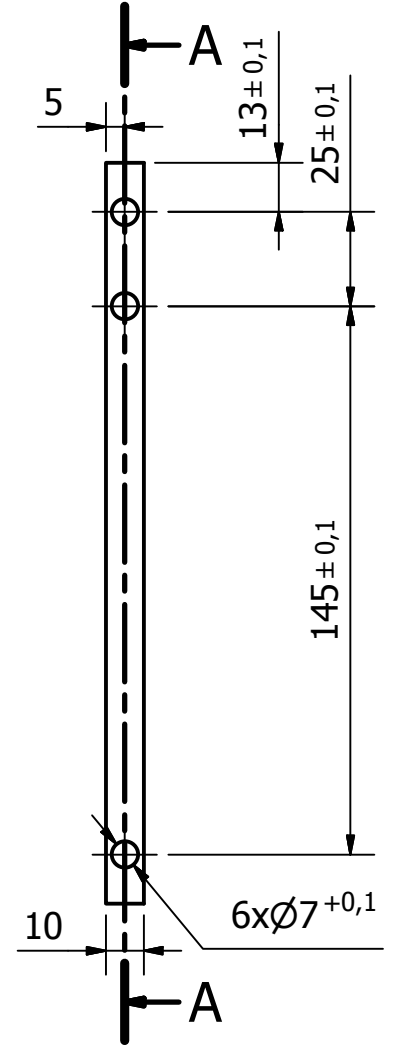
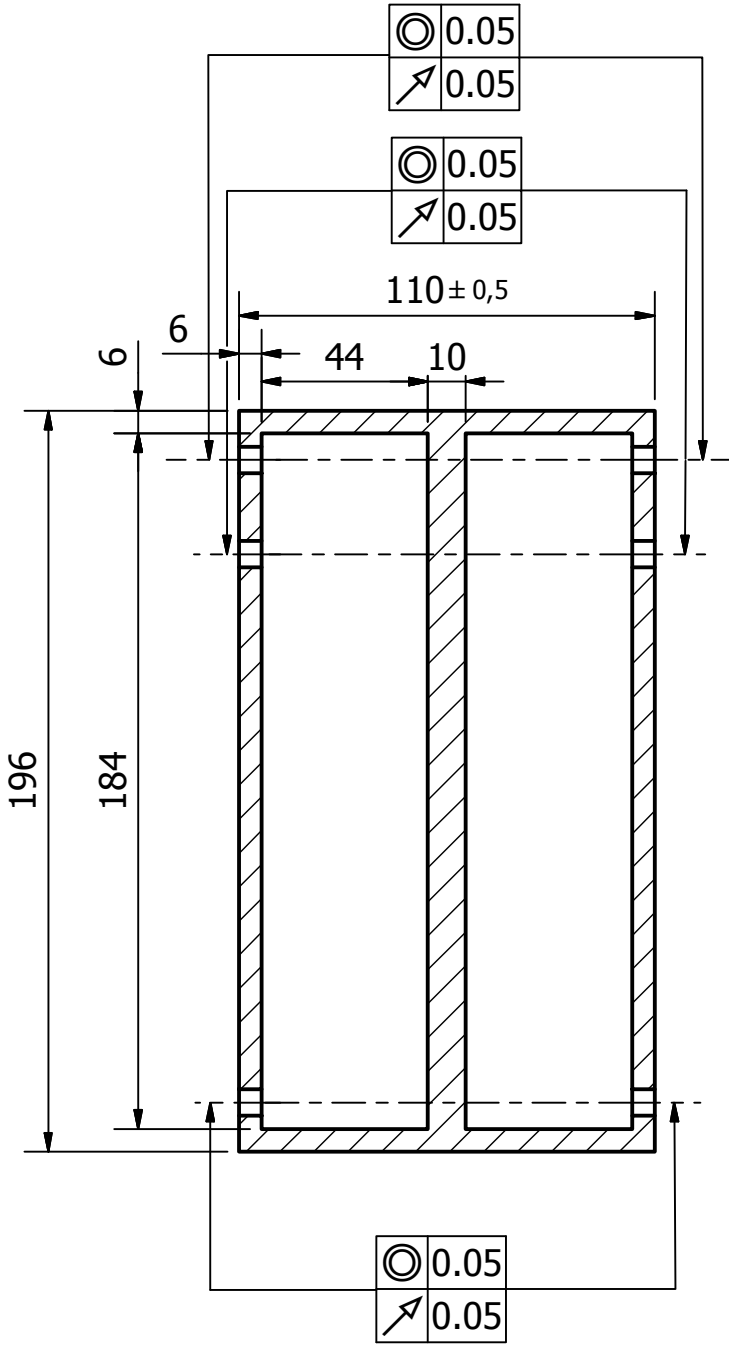
المراجع

المراجع

- [1] M.W.Spong , S.Hutchinson and M.Vidyasayar "Robot Modeling and Control", first ed , NewYork , pp.419.1981.
- [2] Siciliano ,B, Khatib,O and others ,2013 – Springer Handbook of Robotics. Springer -V erlag, Berlin Heidelberg, pp.1627.
- [3] Álvaro Martínez, (2015). Mechanical design of a robot's gripper, Warsaw University Of Technology.
- [4] Endo G, Togawa K, Hirose S (1999) Study on self contained and terra in adaptive active cord mechanism. Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems. Tokyo: IEEE: 111-117.
- [5] Frazzetta Th (1966) Studies on the morphology and function of the skull in the Aoidae (Serpentes).Part 11. Morphology and function of the jaw apparatus in Python sebae and Python molurus. Morph. j. 118: 217-296.
- [6] Dullemeijer P, Povel Gde (1972) The construction for feeding in rattlesnakes. Zoologische mededelingen. j. 47(46):570-575.
- [7] Boltt Re, Ewer Rr (1964) The functional anatomy of the head of the puff adder. Bitis arietans (Merr.). Morph. j. 114:83-106.
- [8] Kley Nj (2006) Morphology of the Lower Jaw and Suspensorium in the Texas Blindsnake, Leptotyphlops dulcis (Scoleophidia: Leptotyphlopidae). Journal of morphology. j. 267:494-515.
- [9] Paolo D, Eugenio G (1996) Robotics for medical applications. IEEE Robotics and Automation Magazine. j. 9:44-56.
- [10] Gutt Cn, Oniu T, Mehrabi A (2004) Robot-assisted abdominal surgery. Br J Surg. j.91:1390-1397.
- [11] G. Endo, K. Togawa and S. Hirose: IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (Tokyo, Japan, October 17-21, 1999). Vol. 3, p.1399.

- [12] T.H. Frazzetta: J. Morph, Vol. 118 (1966) No.2,p.217.
- [13] K.V. Kardong, P. Dullemeijer and J.A.M. Fransen: Amphibia-Reptilia Vol.7 (1986) No.3, p.271.
- [14] Alexandra Deufel and David Cundall: Journal of Morphology. Vol.271 (2010) No.1, p.75.
- [15] Zijuan Liu, Jian Fei, Zhuang Fu, Weixin Yan and Yanzheng Zhao (2011). Mechanical Design of Bionic Snake Mouth and its Analysis. Advanced Materials Research Vols. 299-300 (2011) pp 1024-1027.

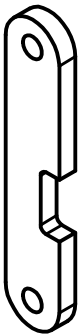
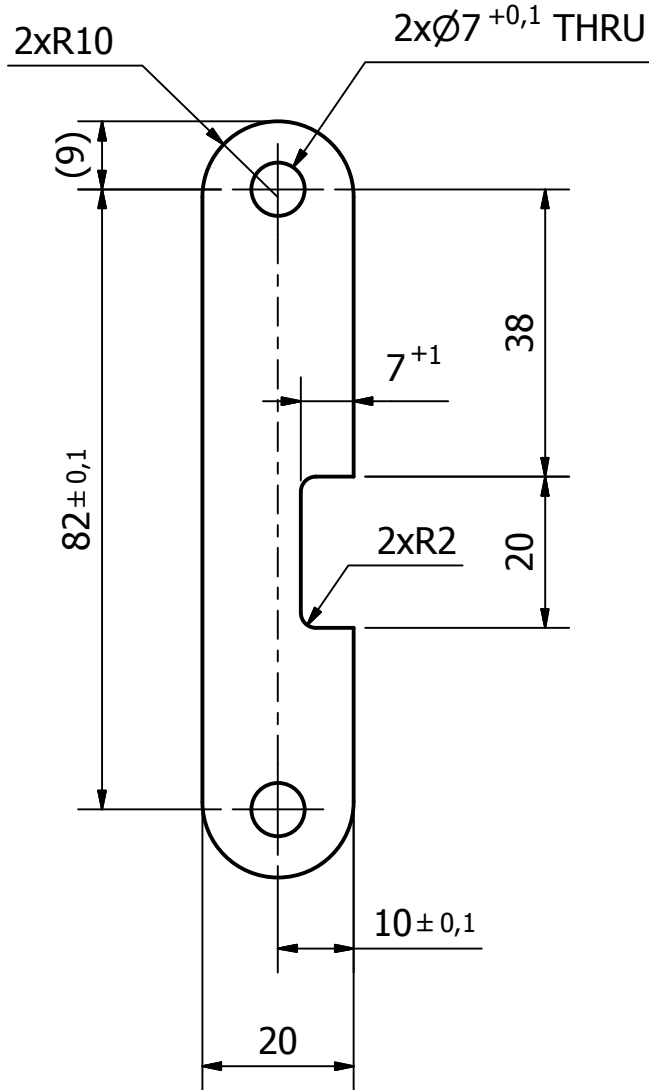
A-A



معالجة سطحية بالأكرومات باستثناء الثقوب.

الزوايا غير المنكورة أصغر ما يمكن.

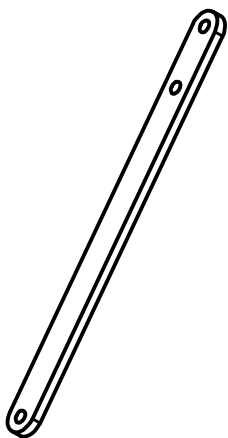
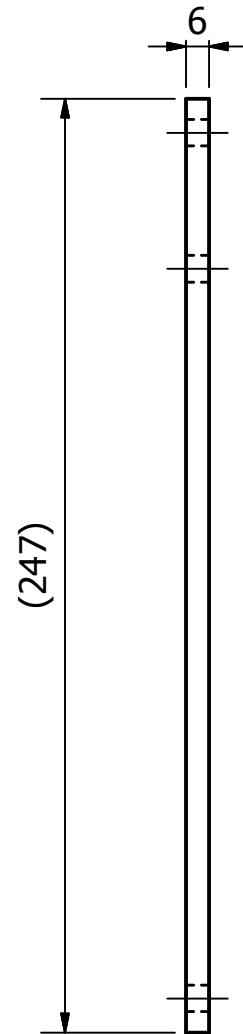
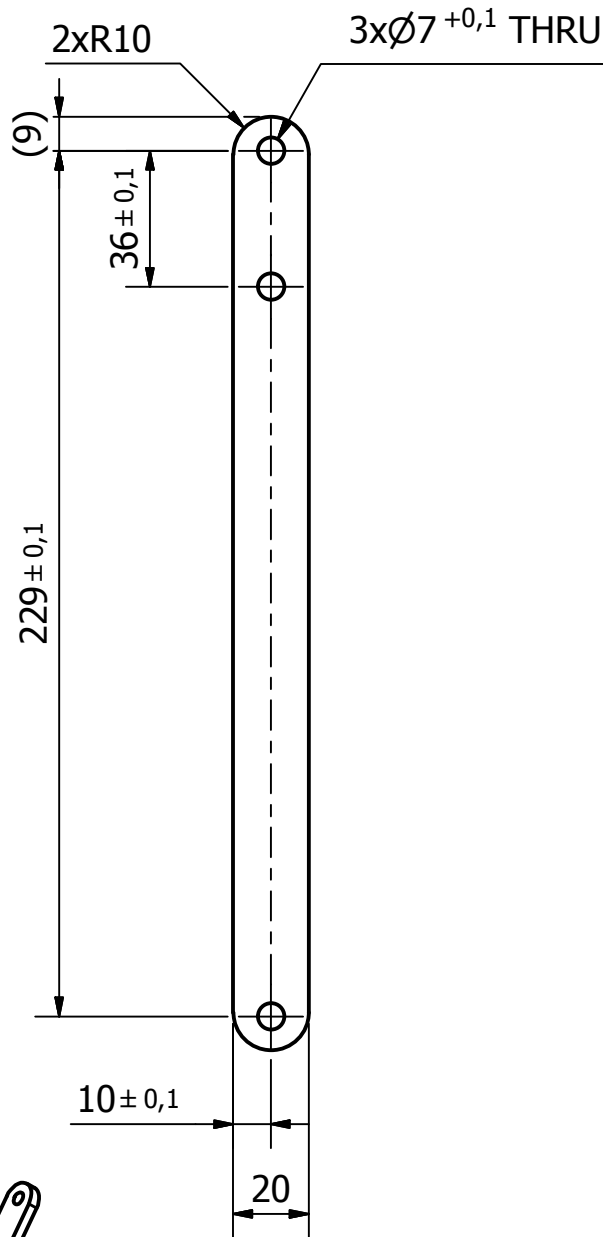
المادة الأولية		العدد	الرمز البينيوي	اسم القطعة	
ألمنيوم قاسي		1	part 1	القطعة العلوية للفاك العلوي	
م. فردوس الحاج	تصميم	اسم المشروع		ماجستير أتمنة أنتاج	
م. فردوس الحاج	رسم				
د. نافع عفاش	إشراف				
mm	الأبعاد	تصميم مقبض روبوت		المقياس	رقم الصفحة
N8	نعومة السطوح العامة			1 : 2	عدد الصفحت
±0.5	التسامحات الغير منكورة				12/6/2020



معالجة سطحية بالأكرومات باستثناء الثقوب.

الزوايا غير المذكورة أصغر ما يمكن.

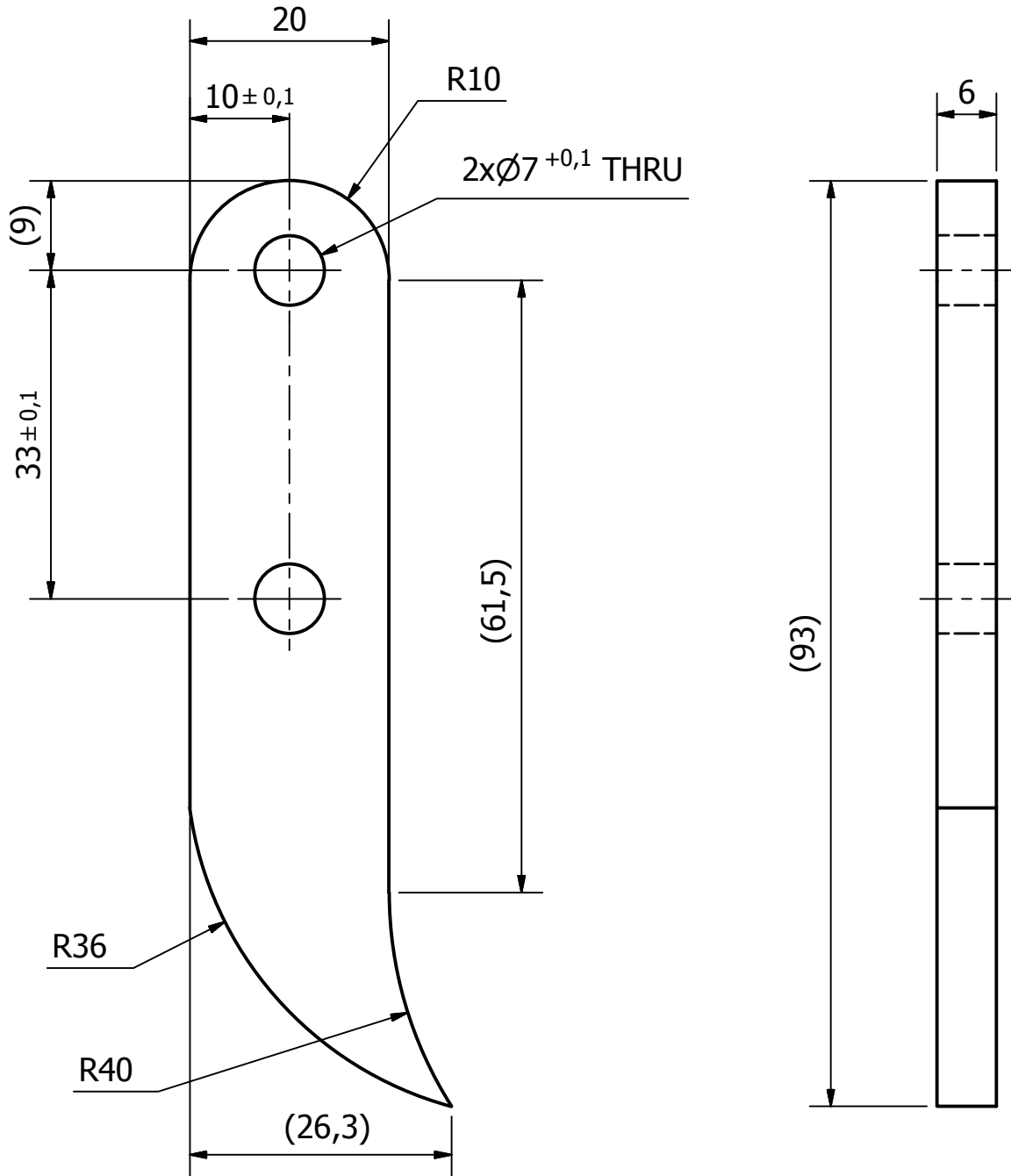
المادة الأولية		العدد	الرمز البنيوي	اسم القطعة		
ألومنيوم قسبي		2	part 2	القطعة 2 من الفك العلوي		
م. فردوس الحاج	تصميم	اسم المشروع		ملجستير أتمتة أنتاج		
م. فردوس الحاج	رسم					
د. نافع عفش	إشراف					
mm	الأبعاد					
N8	نعومة السطوح العامة	تصميم مقبض روبوت		المقياس	رقم الصفحة	تاريخ الإصدار
±0.5	التسامحات الغير مذكورة			1 : 1	عدد الصفحات	12/6/2020



معالجة سطحية بالأكرومات باستثناء الثقوب.

الزوايا غير المذكورة أصغر ما يمكن.

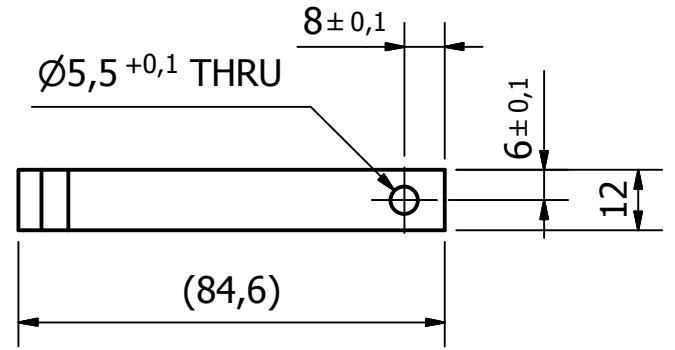
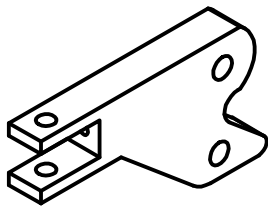
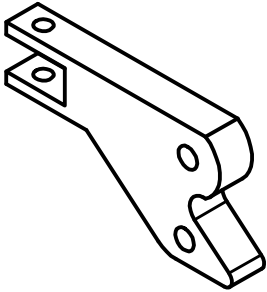
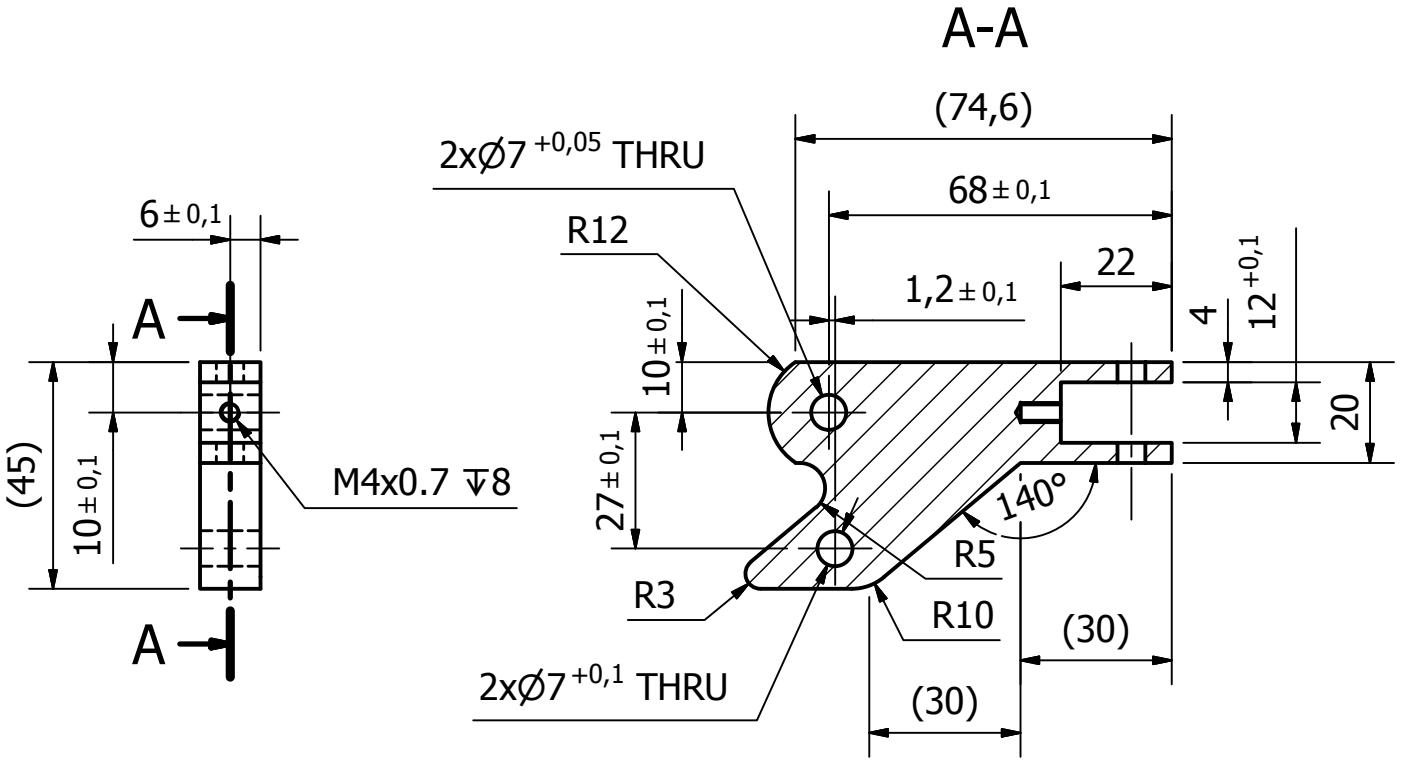
المادة الأولية		العدد	الرمز البنوي	اسم القطعة		
ألمنيوم قاسي		2	part 3	القطعة 3 من الفك العلوي		
م. فردوس الحاج	تصميم	اسم المشروع		ماجستير أتمتة إنتاج		
م. فردوس الحاج	رسم					
د. نافع عفّش	إشراف					
mm	الأبعاد	تصميم مقبض روبوت		المقياس	رقم الصفحة	تاريخ الإصدار
N8	نعومة السطوح العامة			1 : 2	عدد الصفحات	
± 0.5	التسامحات الغير مذكورة					



معالجة سطحية بالأكرومات باستثناء الثقوب.

الزوايا غير المذكورة أصغر ما يمكن.

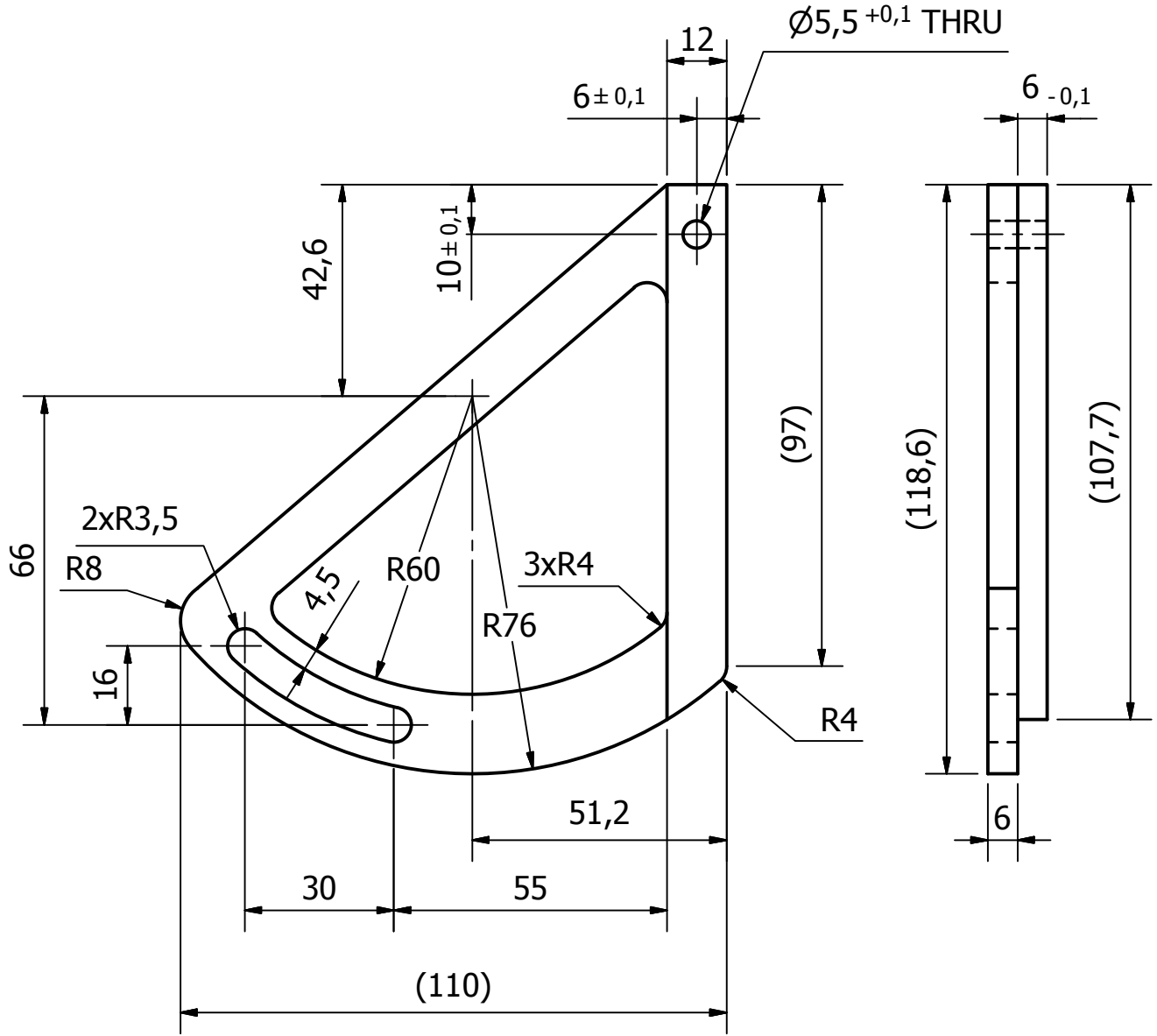
المادة الأولية		العدد	الرمز البينيوي	اسم القطعة		
ألمنيوم قاسي		2	part 4	الناناب		
تصميم	م. فردوس الحاج	اسم المشروع		ماجستير أتمتة إنتاج		
رسم	م. فردوس الحاج					
إشراف	د. نافع عفاش					
الأبعاد	mm	تصميم مقبض روبوت		المقياس	رقم الصفحة	تاريخ الإصدار
N8	نعومة السطوح العامة			3 : 2	عدد الصفحات	
±0.5	التسامحات الغير مذكورة					



معالجة سطحية بالأكرومات باستثناء الثقوب.

الزوايا غير المذكورة أصغر ما يمكن.

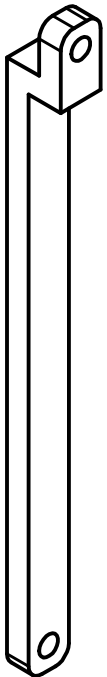
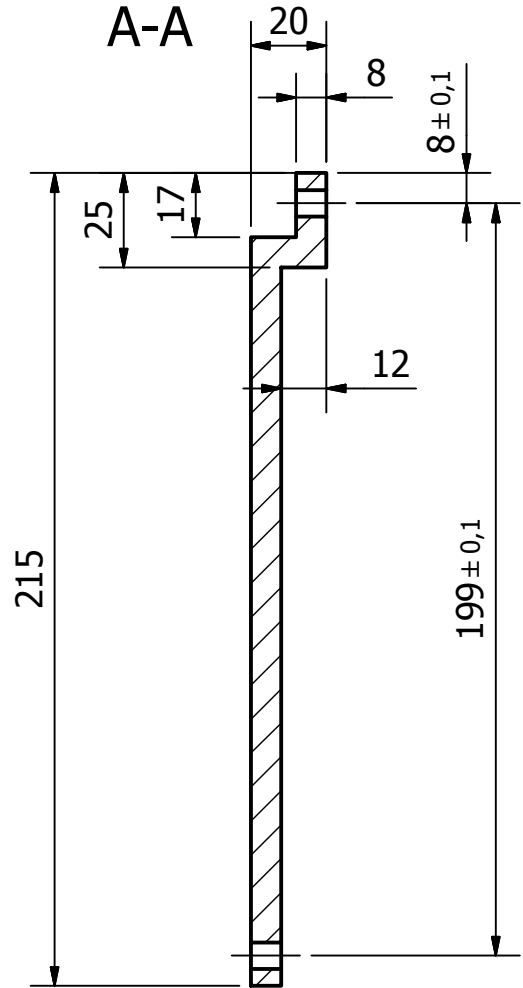
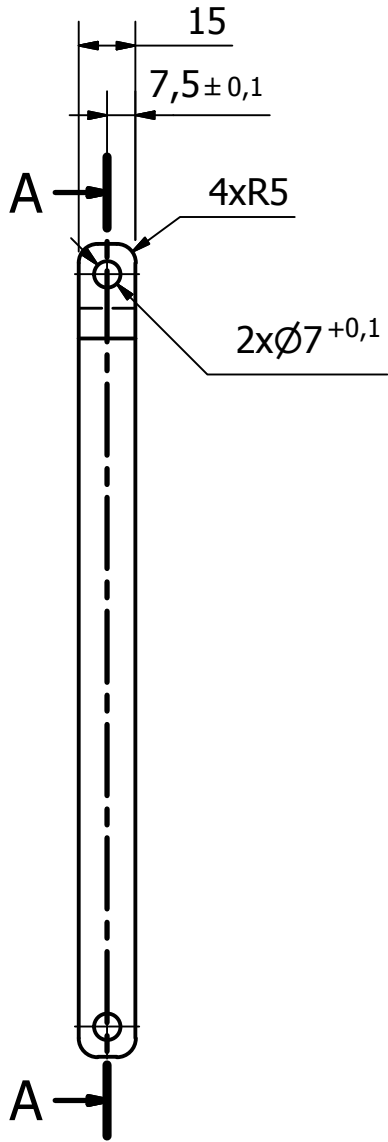
المادة الأولية		العدد	الرمز البنيوي	اسم القطعة			
ألمنيوم قاسي		2	part 5	القطعة الأساسية في الفك السفلي			
م. فردوس الحاج	تصميم	اسم المشروع		ماجستير أتمتة إنتاج			
م. فردوس الحاج	رسم						
د. نافع عفاش	إشراف						
mm	الأبعاد	تصميم مقبض روبوت		المقياس	رقم الصفحة	تاريخ الإصدار	
N8	نعومة السطوح العامة			2 : 3	عدد الصفحات		
±0.5	التسامحات الغير مذكورة						



معالجة سطحية بالإكرومات باستثناء الثقوب.

الزوايا غير المذكورة أصغر ما يمكن.

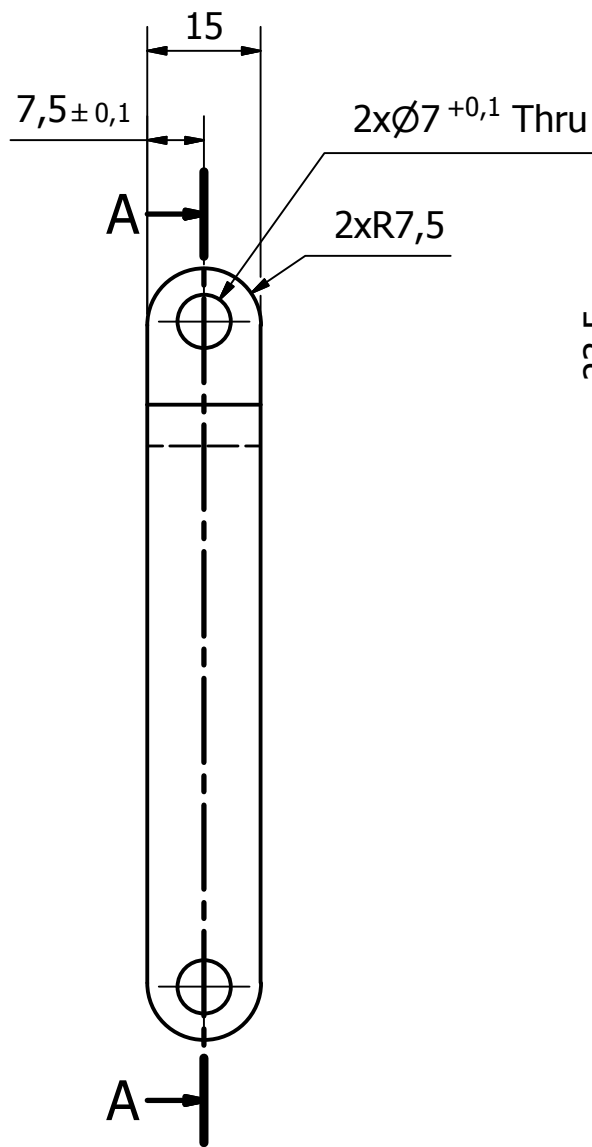
اسم القطعة		الرمز البنيوي	العدد	المادة الأولية	
قطعة التمدد الجانبي للفك السفلي		part 6	2	ألمنيوم قاسي	
ماجستير أنمته أنتاج		اسم المشروع		تصميم	م. فردوس الحاج
				رسم	م. فردوس الحاج
				إشراف	د. نافع عفاش
				الأبعاد	mm
تاريخ الإصدار		تصميم مقبض روبوت		نعومة السطوح العامة	N8
				التسامحات الغير مذكورة	±0.5
رقم الصفحة	المقياس				
عدد الصفحات	3 : 4				



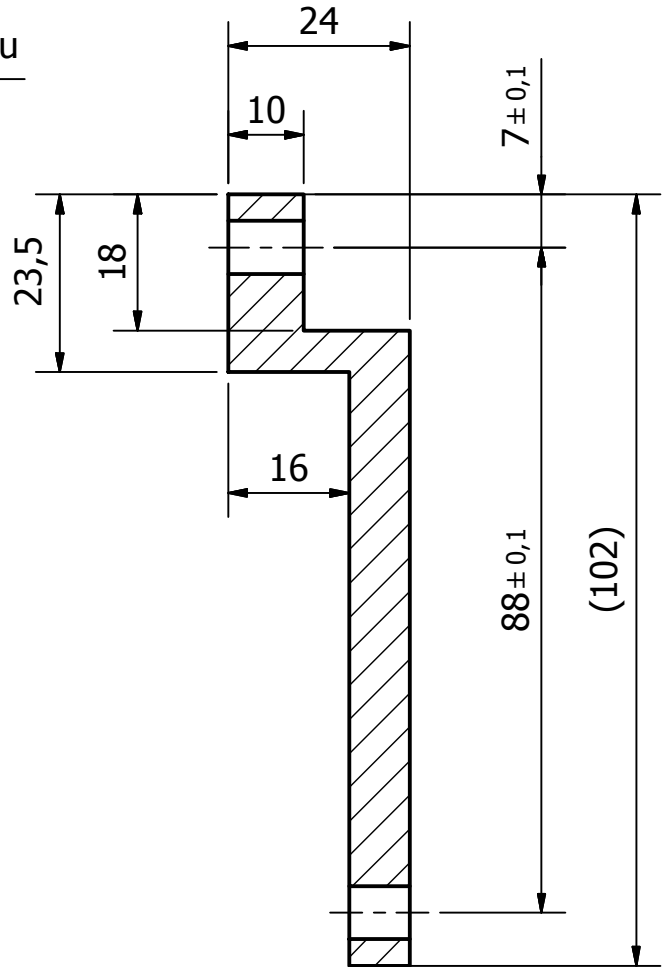
معالجة سطحية بالإكرومات باستثناء الثقوب.

الزوايا غير المذكورة أصغر ما يمكن.

اسم القطعة		الرمز البيئي	العدد	المادة الأولية	
القطعة الواصلة بين الفك العلوي والفك السفلي		part 7	2	ألمنيوم قاسي	
ماجستير أنمته أنتاج		اسم المشروع		تصميم	م. فردوس الحاج
				رسم	م. فردوس الحاج
				إشراف	د. نافع عفاش
				الأبعاد	mm
تاريخ الإصدار		تصميم مقبض روبوت		نعومة السطوح العامة	N8
				التسامحات الغير مذكورة	±0.5
رقم الصفحة	المقياس				
عدد الصفحات	1 : 2				



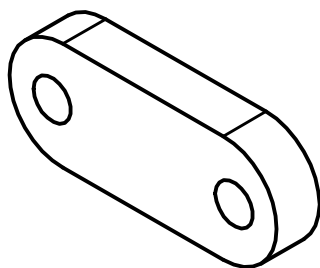
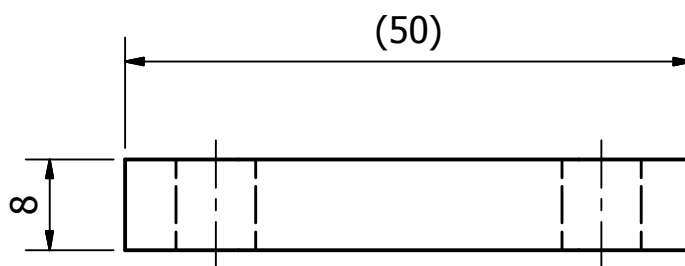
A-A



معالجة سطحية بالإكرومات باستثناء الثقوب.

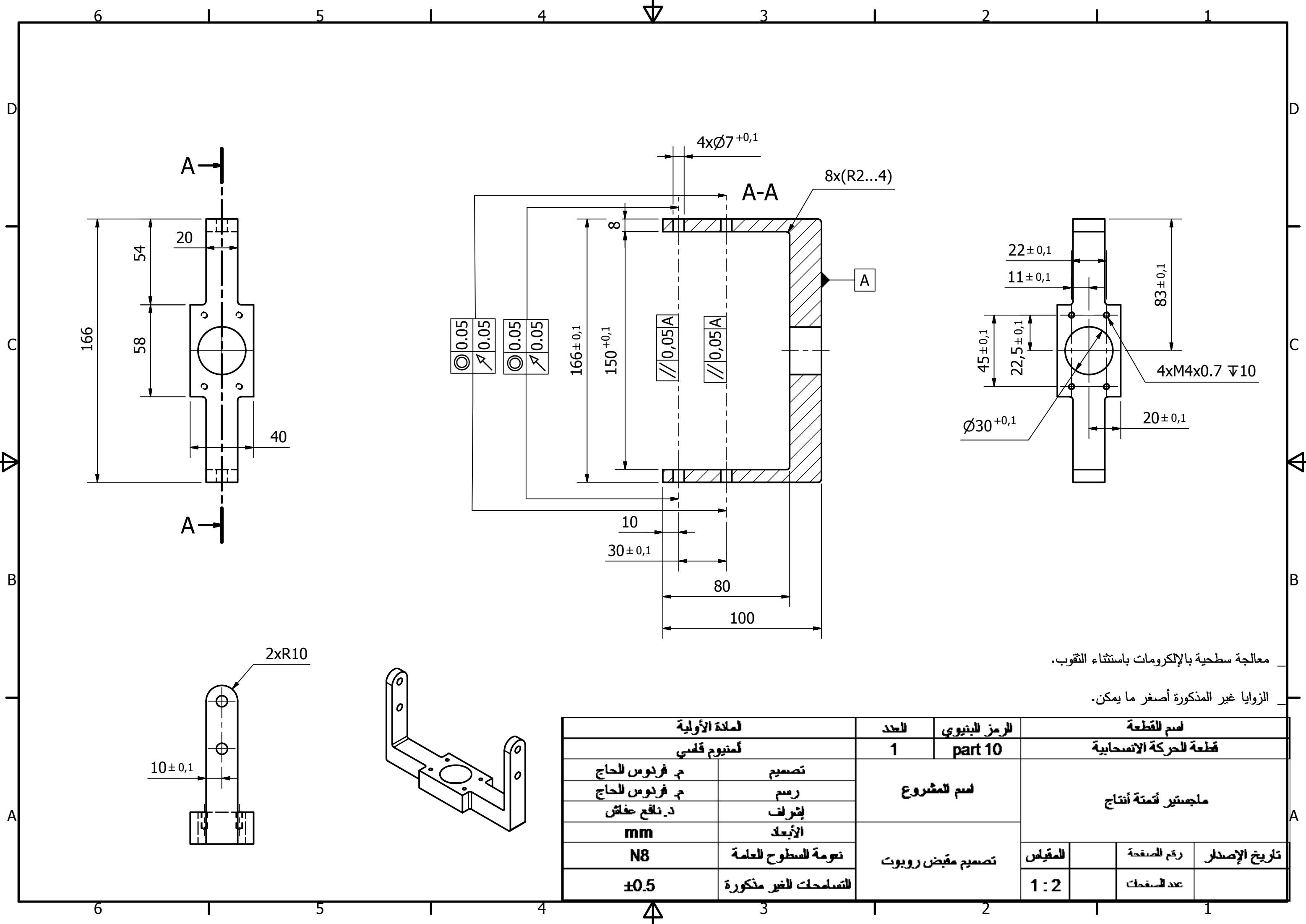
الزوايا غير المذكورة أصغر ما يمكن.

اسم القطعة		الرمز البنيوي	العدد	المادة الأولية	
القطعة الواصلة بين الفك السفلي وقطعة الحركة الانسحابية		part 8	2	ألومنيوم قاسي	
ماجستير أتمتة إنتاج		اسم المشروع		تصميم	م. فردوس الحاج
				رسم	م. فردوس الحاج
				إشراف	د. نافع عفاش
		تصميم مقبض روبوت		الأبعاد	mm
تاريخ الإصدار	رقم الصفحة			نعومة السطوح العامة	N8
عدد الصفحت	1 : 1			التسامحات الغير مذكورة	±0.5



الزوايا غير المذكورة أصغر ما يمكن.

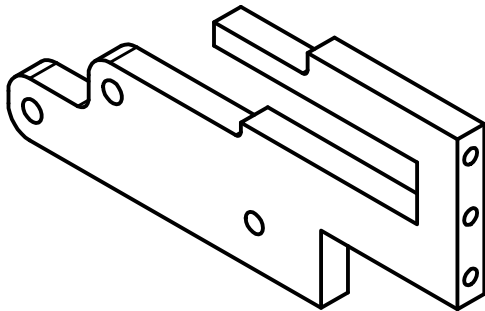
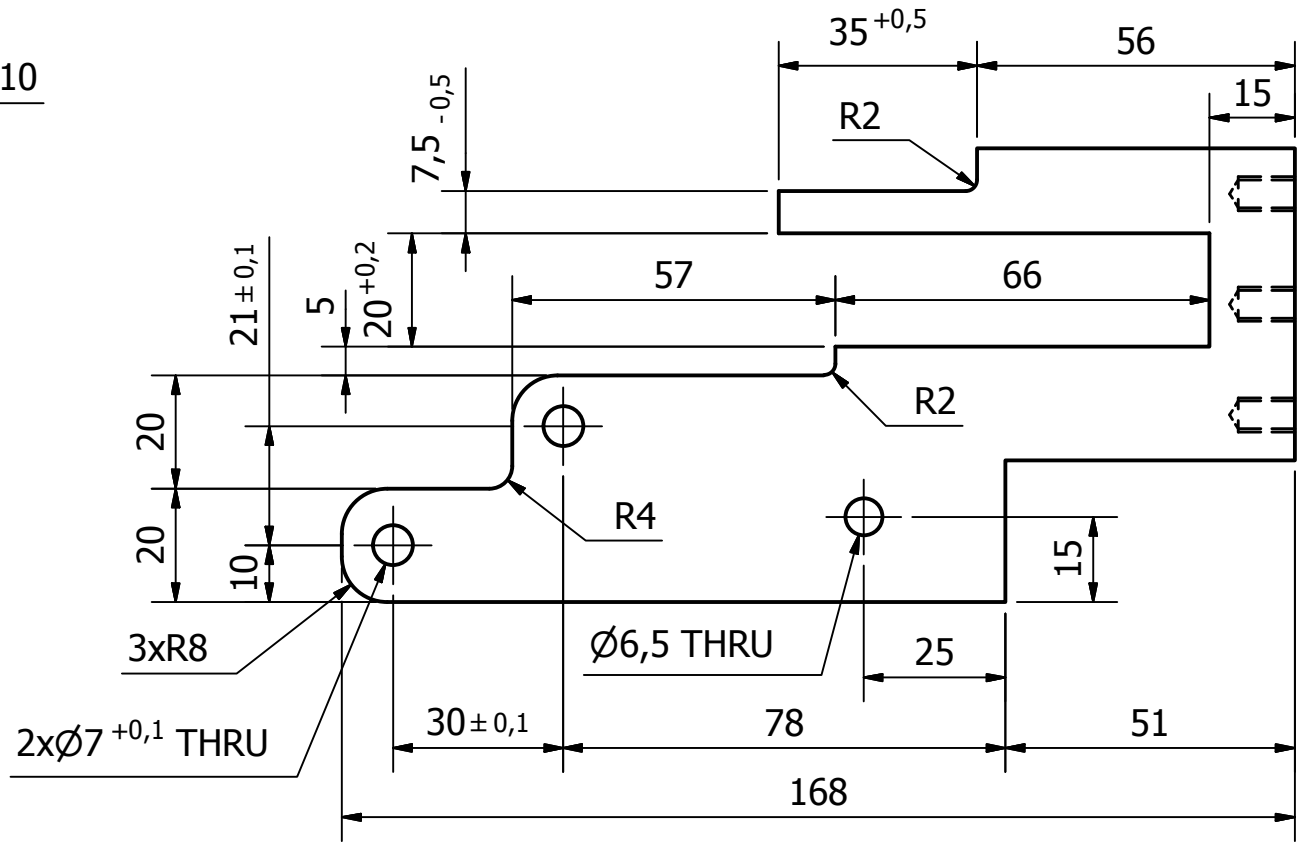
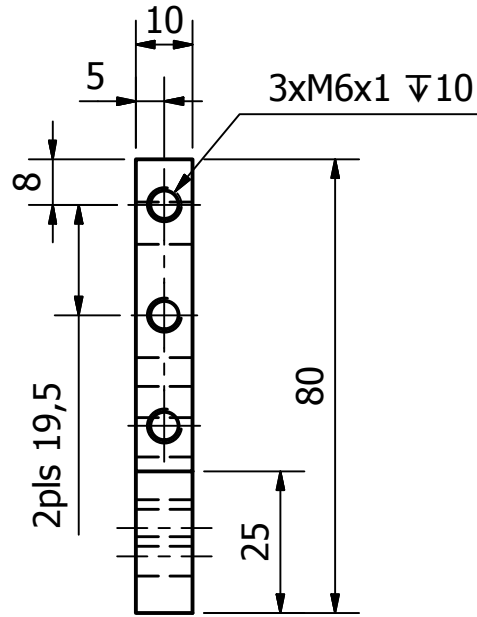
المادة الأولية		العدد	الرمز البنيوي	اسم القطعة			
ألنيوم قاسي		2	part 9	القطعة الواصلة بين الفك العلوي وقطعة الحركة الانسحابية			
م. فردوس الحاج	تصميم	اسم المشروع		ماجستير أتمتة إنتاج			
م. فردوس الحاج	رسم						
د. نافع عفش	إشراف						
mm	الأبعاد						
N8	نعومة السطوح العامة	تصميم مقبض روبوت		المقياس		رقم الصفحة	تاريخ الإصدار
±0.5	التسامحات الغير مذكورة			3 : 2		عدد الصفحات	



معالجة سطحية بالإكرومات باستثناء الثقوب.

الزوايا غير المذكورة أصغر ما يمكن.

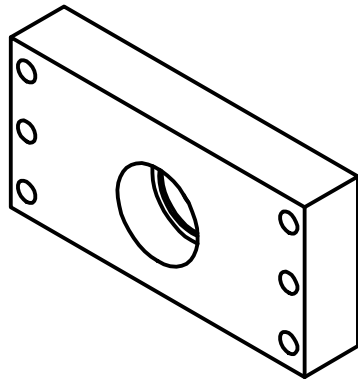
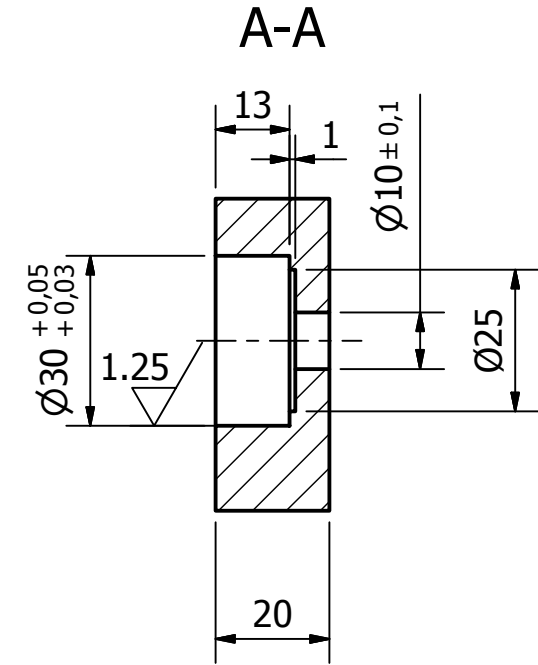
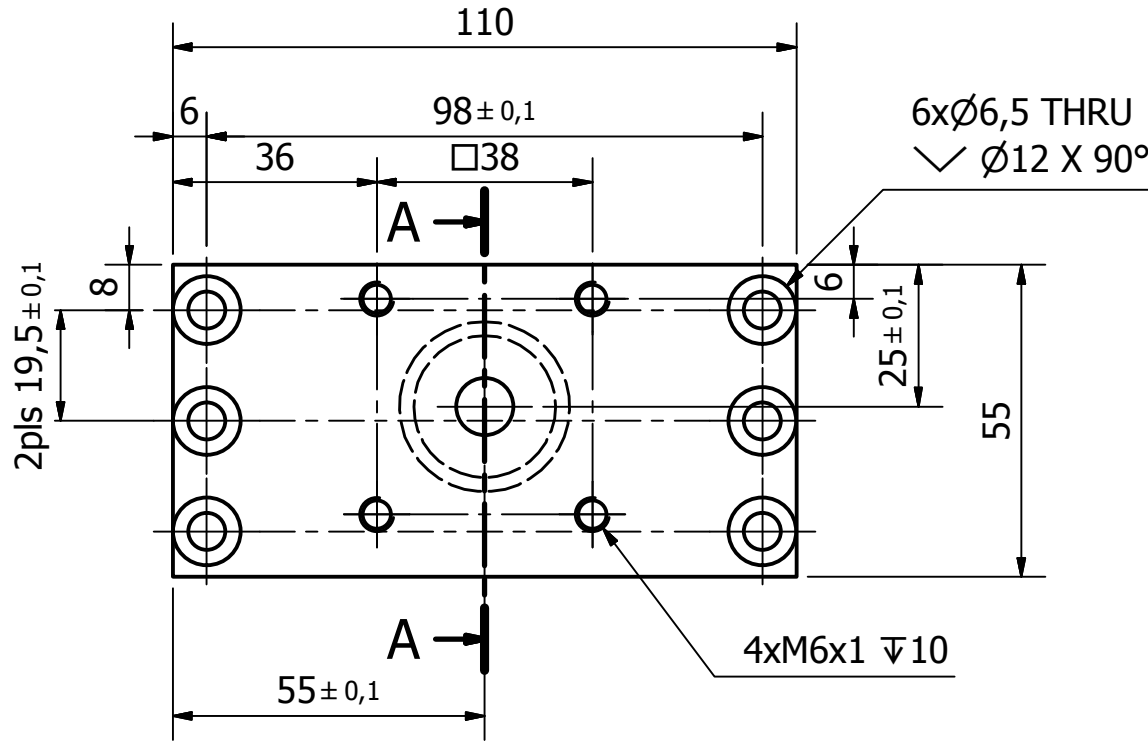
اسم للقطعة		الرمز للبنوي	العدد	لمادة الأولية	
قطعة للحركة الانسحابية		part 10	1	ألمنيوم قلبي	
ملجستير ثمتة أنتاج		اسم للمشروع		تصميم	م. فريوس للحاج
				رسم	م. فريوس للحاج
				إشراف	د. نافع عفاش
		تصميم مقبض روبوت		الأبعاد	mm
تاريخ الإصدار	رقم الصفحة			نعومة المسطوح للعلامة	N8
عدد الصفحات				للتسامحات الغير مذكورة	±0.5
		1 : 2			



معالجة سطحية بالإلكرومات باستثناء الثقوب.

الزوايا غير المذكورة أصغر ما يمكن.

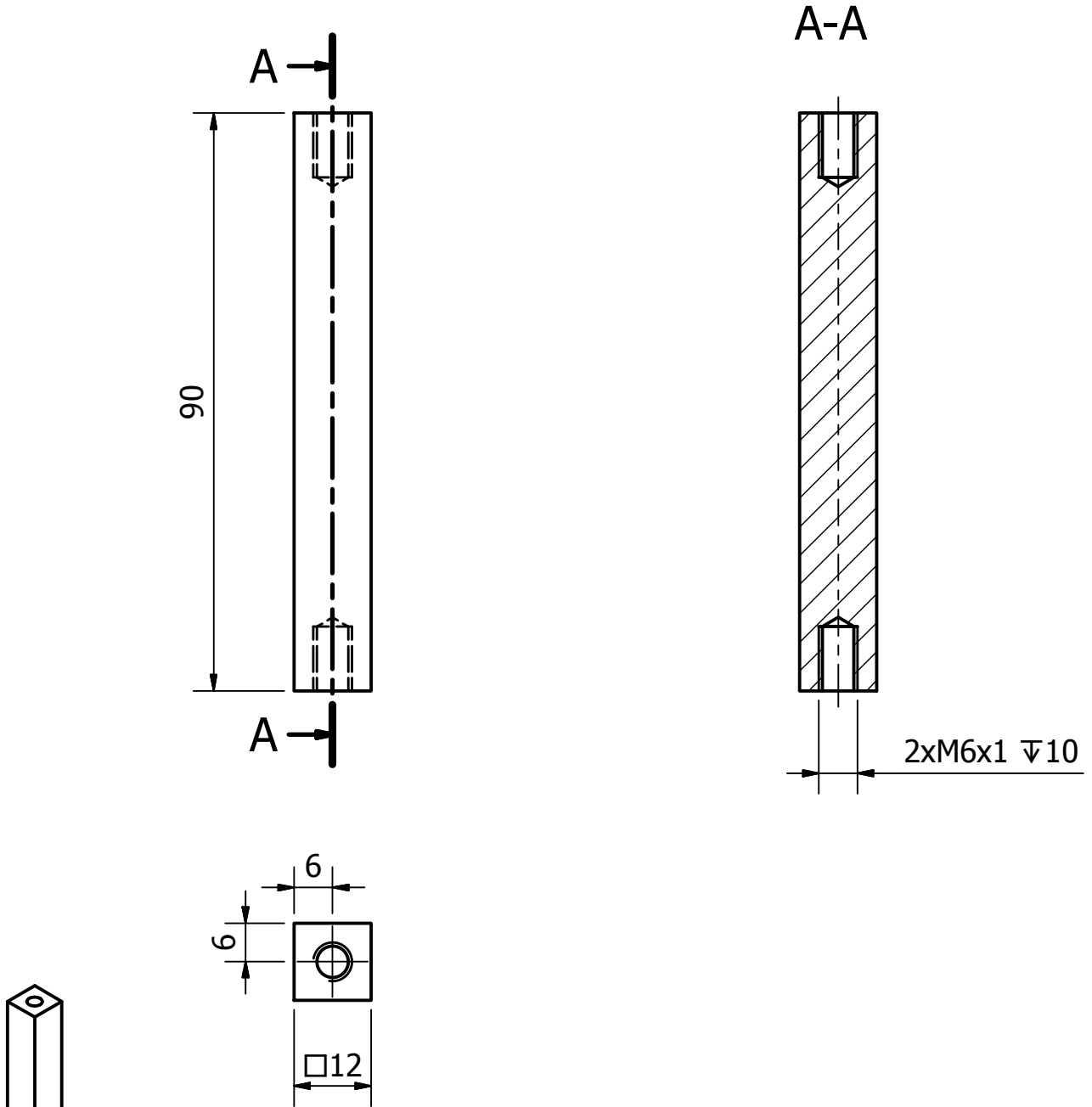
المادة الأولية		العدد	الرمز البنيوي	اسم القطعة			
ألمنيوم قاسي		2	part11	القطعة الجانبية			
م. فريوس الحاج	تصميم	اسم المشروع		ماجستير أتمتة إنتاج			
م. فريوس الحاج	رسم						
د. نافع عفش	إشراف						
mm	الأبعاد	تصميم مقبض روبوت		المقياس	رقم الصفحة	تاريخ الإصدار	
N8	نعومة السطوح العامة						
±0.5	التسامحات الغير مذكورة			3 : 4	عدد الصفحات		



معالجة سطحية بالالكرومات باستثناء الثقوب.

الزوايا غير المذكورة أصغر ما يمكن.

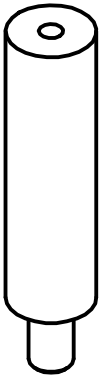
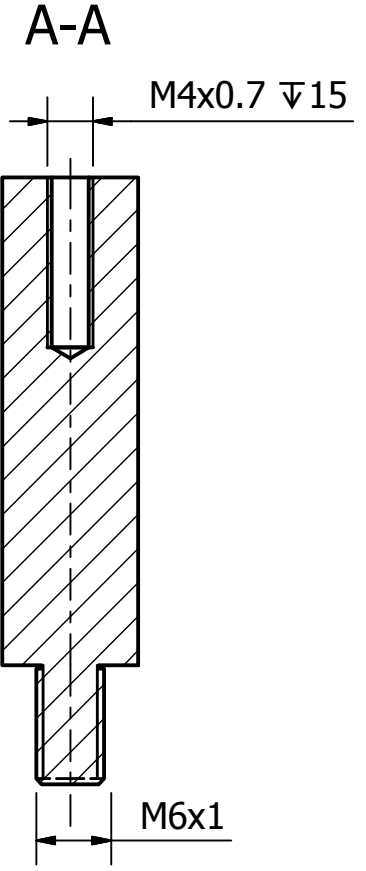
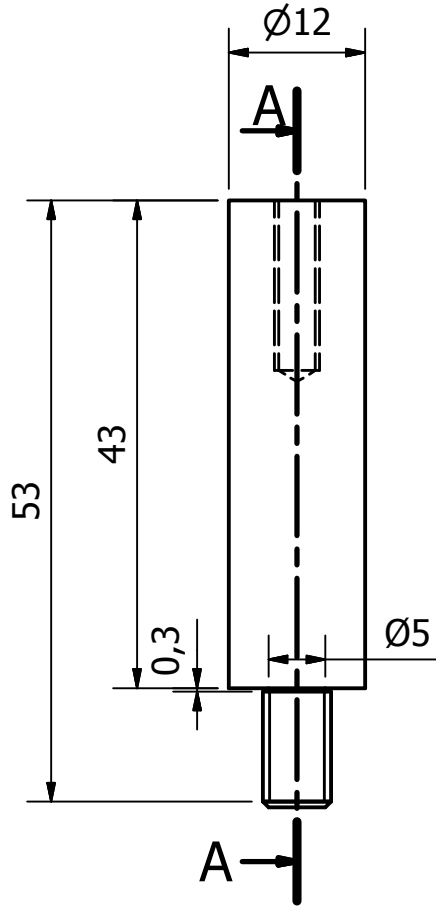
المادة الأولية		العدد	الرمز البنوي	اسم القطعة	
ألمنيوم قاسي		1	part 12	القاعدة	
م. فردوس الحاج	تصميم	اسم المشروع		ماجستير أتمتة إنتاج	
م. فردوس الحاج	رسم				
د. نافع عفاش	إشراف				
mm	الأبعاد	تصميم مقبض روبوت		رقم الصفحة	تاريخ الإصدار
N8	نعومة السطوح العامة			المقياس	
±0.5	التسامحات الغير مذكورة			عدد الصفحات	
				3 : 4	



معالجة سطحية بالإكرومات باستثناء الثقوب.

الزوايا غير المذكورة أصغر ما يمكن.

اسم القطعة	الرمز البنوي	العدد	المادة الأولية
دعامة	part 14	1	ألمنيوم قاسي
ماجستير أتمتة إنتاج		اسم المشروع	
تاريخ الإصدار	رقم الصفحة	المقياس	تصميم مقبض روبوت
عدد الصفحات	1 : 1		تصميم مقبض روبوت
			نعممة السطوح العامة
			التسامحات الغير مذكورة
			±0.5
			mm
			N8
			د. نافع عفاش
			إشراف
			رسم
			م. فردوس الحاج
			تصميم
			م. فردوس الحاج



معالجة سطحية ضد الصدأ.

الزوايا غير المذكورة أصغر ما يمكن.

المادة الأولية		العدد	الرمز البنوي	اسم القطعة	
st 37		4	part 15	فاصل مسافة	
م. فردوس الحاج	تصميم	اسم المشروع		ملجستير أتمتة أنتاج	
م. فردوس الحاج	رسم				
د. نافع عفّش	إشراف				
mm	الأبعاد	تصميم مقبض روبوت		المقياس	رقم الصفحة
N8	نعومة السطوح العامة			3 : 2	عدد الصفحات
±0.5	التسامحات الغير مذكورة				

تاريخ الإصدار

عدد الصفحات

المقياس

تصميم مقبض روبوت

التسامحات الغير مذكورة

نعومة السطوح العامة

±0.5

الأبعاد

د. نافع عفّش

م. فردوس الحاج

م. فردوس الحاج

st 37

المادة الأولية

فاصل مسافة

ملجستير أتمتة أنتاج

اسم المشروع

العدد

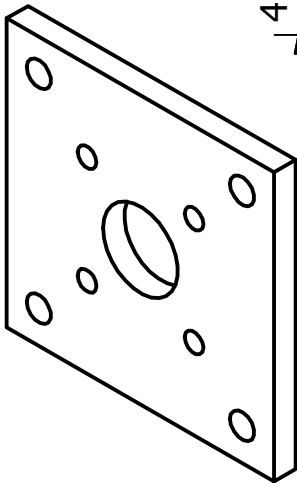
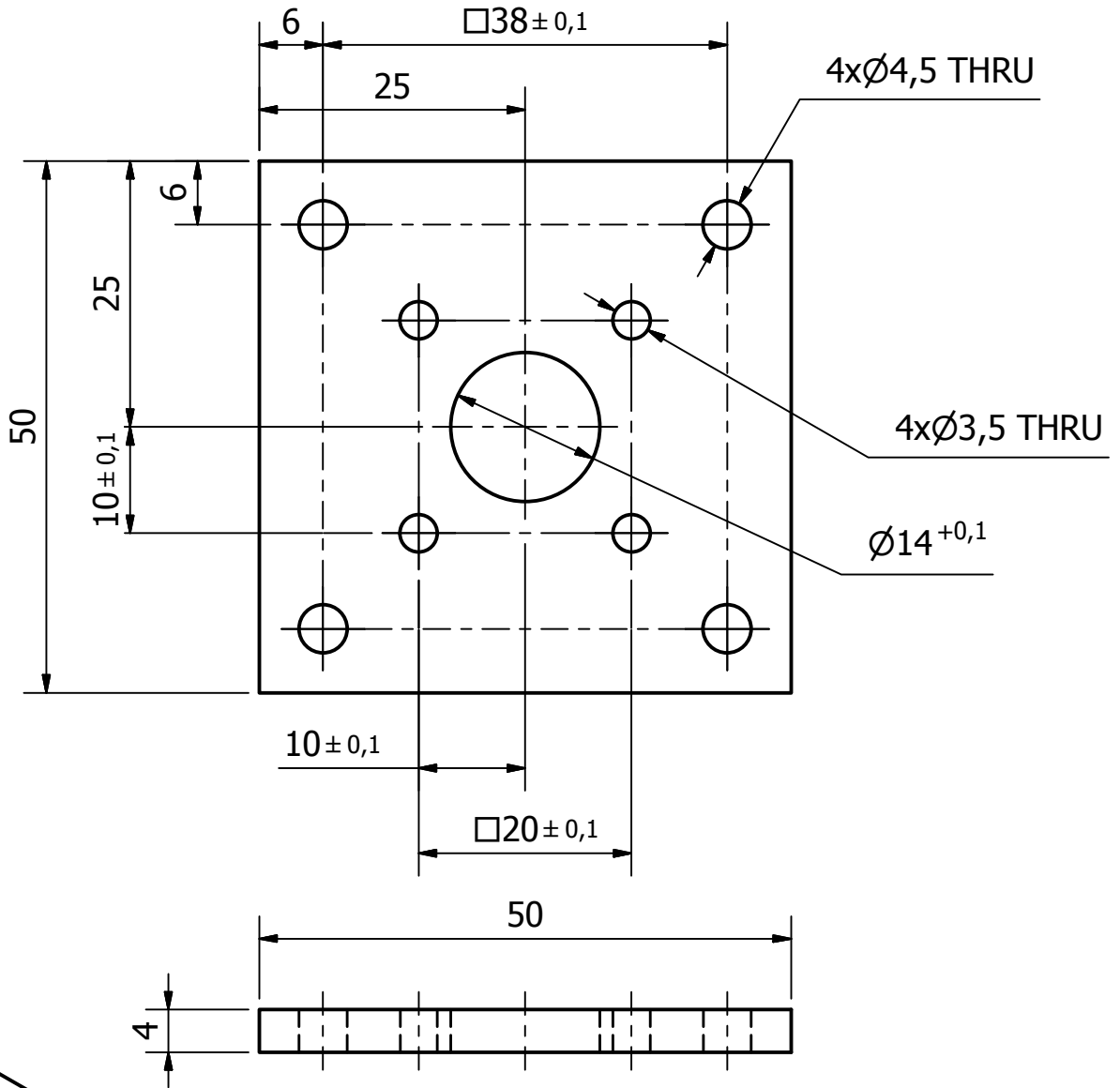
الرمز البنوي

part 15

4

معالجة سطحية ضد الصدأ.

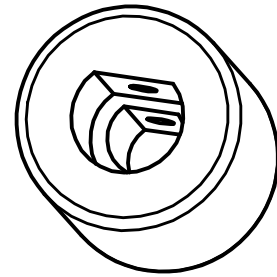
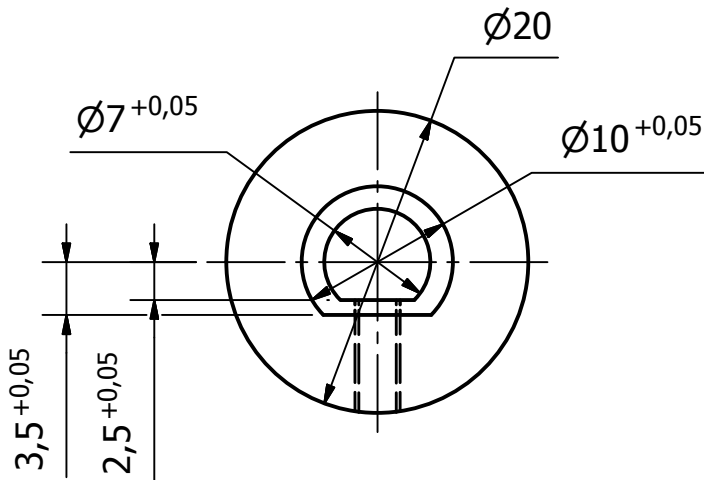
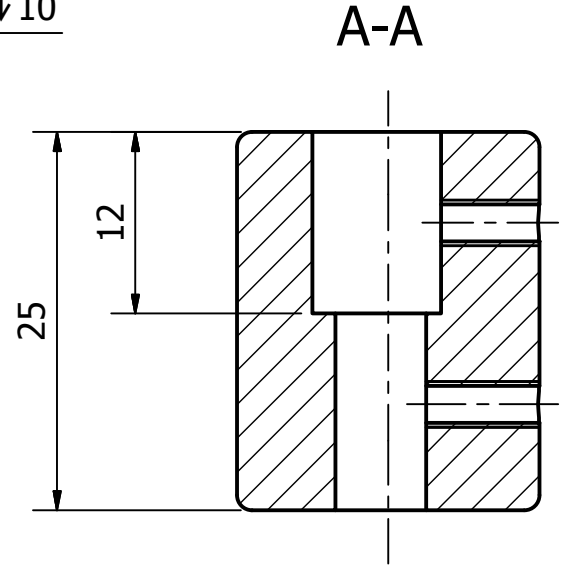
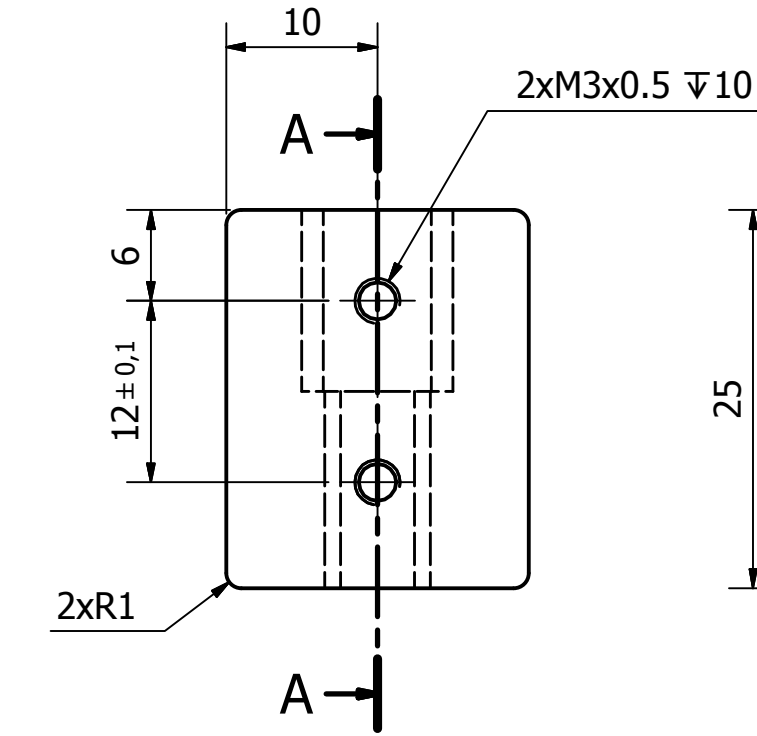
الزوايا غير المذكورة أصغر ما يمكن.



معالجة سطحية بالأكرومات.

الزوايا غير المذكورة أصغر ما يمكن.

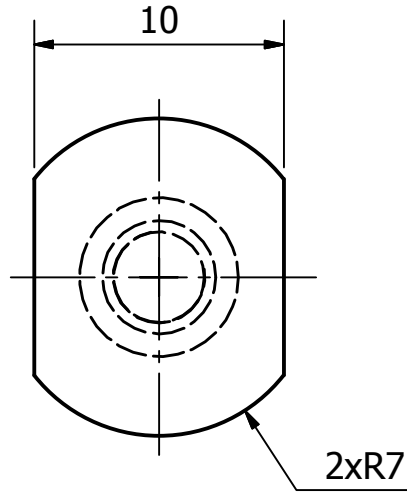
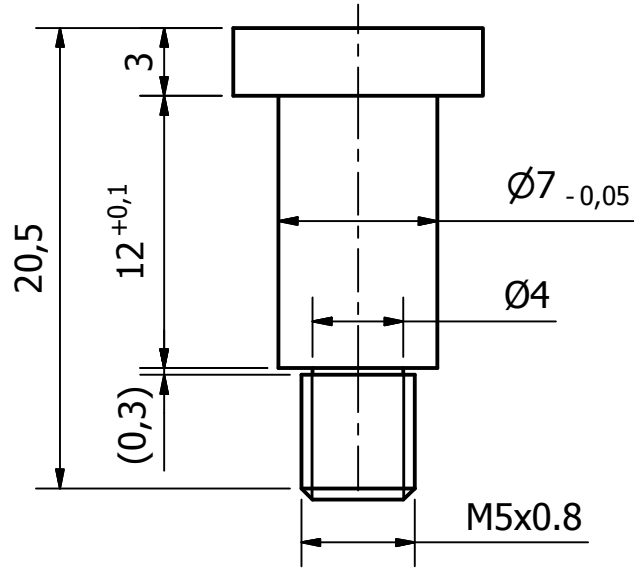
اسم القطعة		الرمز البنوي	العدد	المادة الأولية	
قاعدة تثبيت المحرك		part 16	1	ألومنيوم قاسي	
ماجستير أتمتة إنتاج		اسم المشروع		تصميم	
				رسم	
				إشراف	
				الأبعاد	
تاريخ الإصدار		رقم الصفحة	المقياس	تصميم مقبض روبوت	
عدد الصفحات		3 : 2			
N8		نعومة السطوح العامة			
±0.5		التسامحات الغير مذكورة			



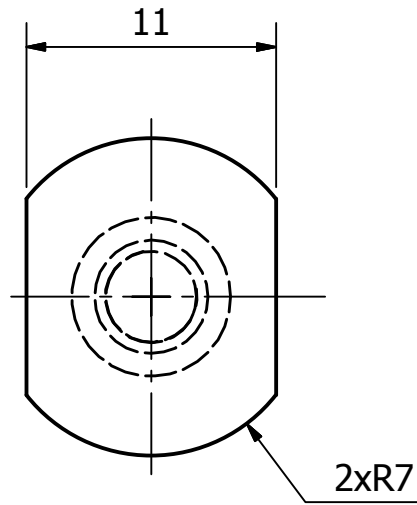
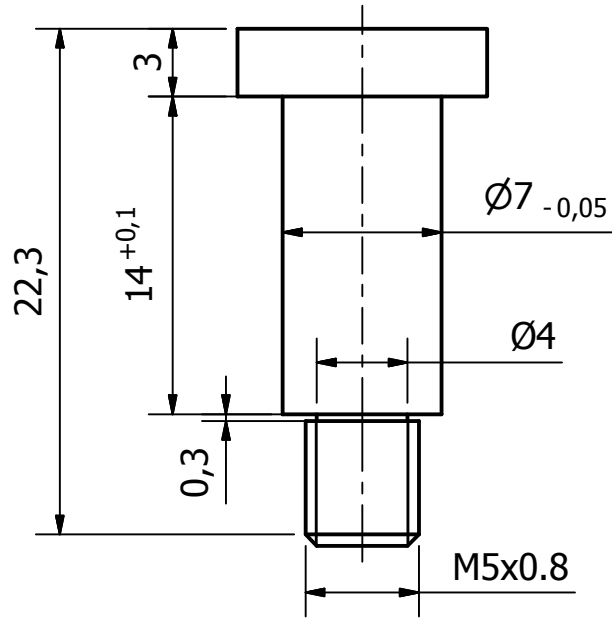
معالجة سطحية ضد الصدأ.

الزوايا غير المذكورة أصغر ما يمكن.

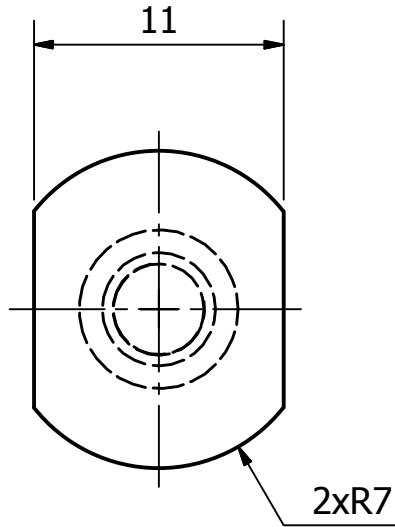
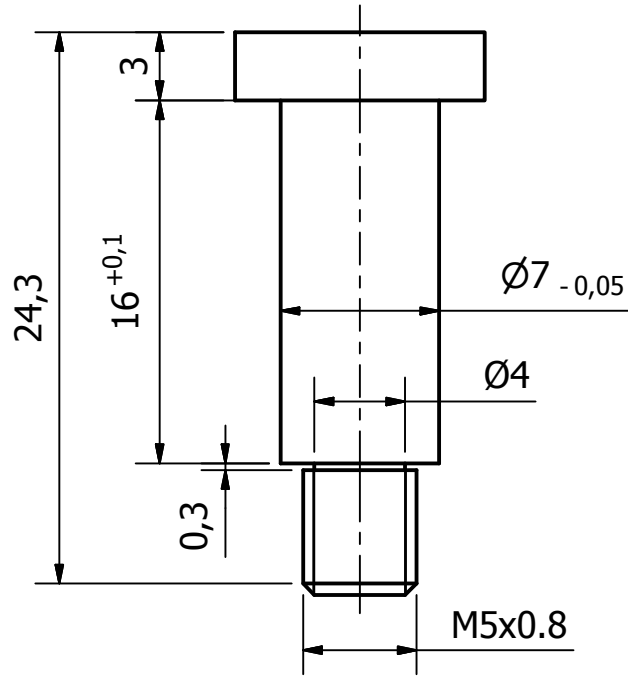
المادة الأولية		العدد	الرمز البنوي	اسم القطعة		
steel		1	part 17	قارئة مرنة		
م. فردوس الحاج	تصميم	اسم المشروع		ماجستير أتمتة إنتاج		
م. فردوس الحاج	رسم					
د. نافع عفش	إشراف					
mm	الأبعاد	تصميم مقبض روبوت		المقياس	رقم الصفحة	تاريخ الإصدار
N8	نعومة السطوح العامة			2 : 1	عدد الصفحت	
±0.5	التسامحات الغير مذكورة					



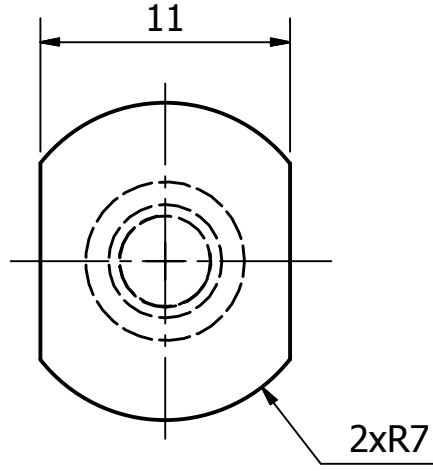
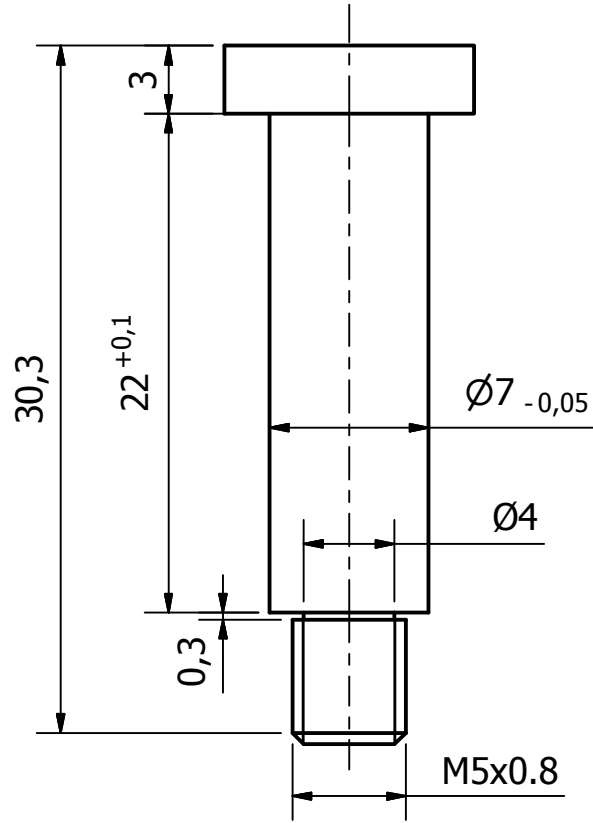
المادة الأولية		العدد	الرمز البيئي	اسم القطعة			
Stainless steel		6	part 18	المحور 1			
م. فردوس الحاج	تصميم	اسم المشروع		ماجستير أتمتة إنتاج			
م. فردوس الحاج	رسم						
د. نافع عفاش	إشراف						
mm	الأبعاد	تصميم مقبض روبوت		المقياس	رقم الصفحة	تاريخ الإصدار	
N8	نعومة السطوح العامة						
±0.5	التسامحات الغير مذكورة			3 : 1	عدد الصفحت		



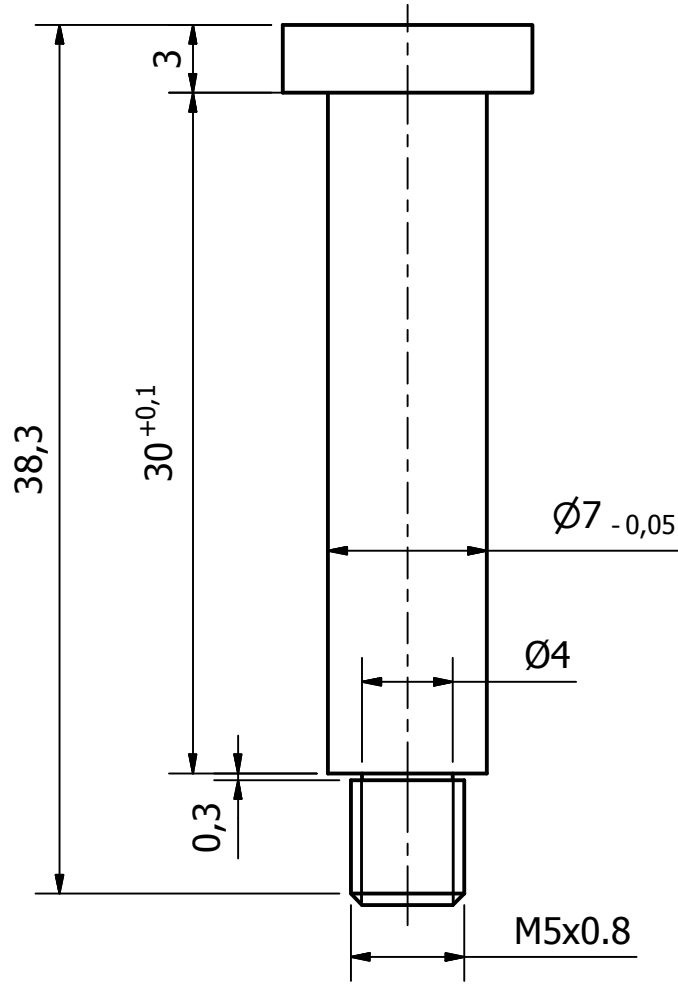
المادة الأولية		العدد	الرمز البنيوي	اسم القطعة			
Stainless steel		4	part 19	المحور 2			
م. فردوس الحاج	تصميم	اسم المشروع		ماجستير أتمتة إنتاج			
م. فردوس الحاج	رسم						
د. نافع عفاش	إشراف						
mm	الأبعاد	تصميم مقبض روبوت		المقياس	رقم الصفحة	تاريخ الإصدار	
N8	نعومة السطوح العامة						
±0.5	التسامحات الغير مذكورة			3 : 1	عدد الصفحات		



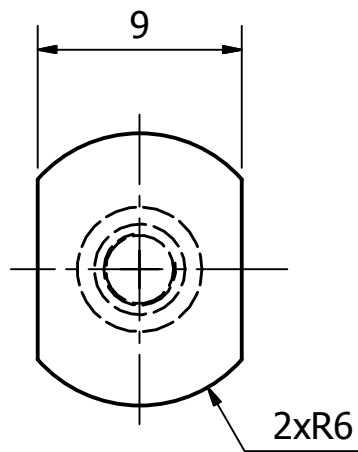
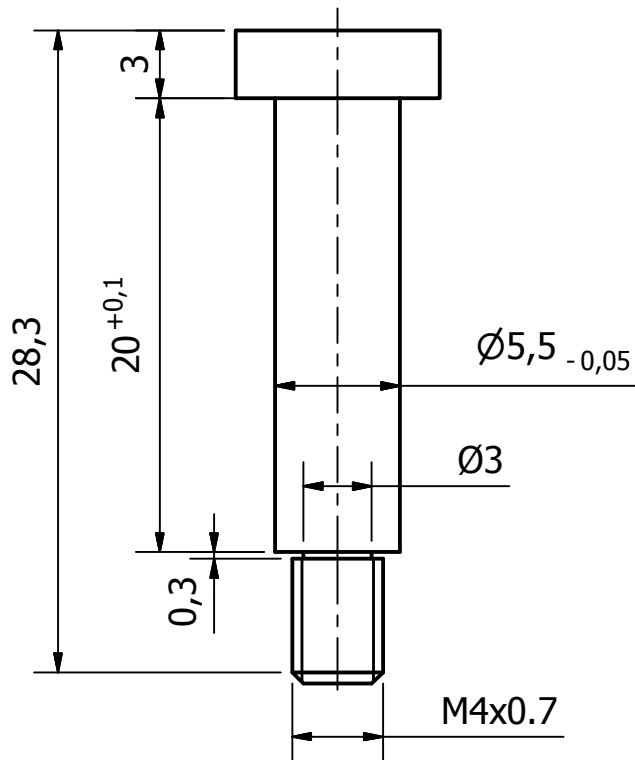
المادة الأولية		العدد	الرمز البنوي	اسم القطعة			
Stainless steel		4	part 20	المحور 3			
م. فردوس الحاج	تصميم	اسم المشروع		ماجستير أتمتة إنتاج			
م. فردوس الحاج	رسم						
د. نافع عفّاش	إشراف						
mm	الأبعاد	تصميم مقبض روبوت		المقياس	رقم الصفحة	تاريخ الإصدار	
N8	نعومة السطوح العامة						
±0.5	التسامحات الغير مذكورة			3 : 1	عدد الصفحات		



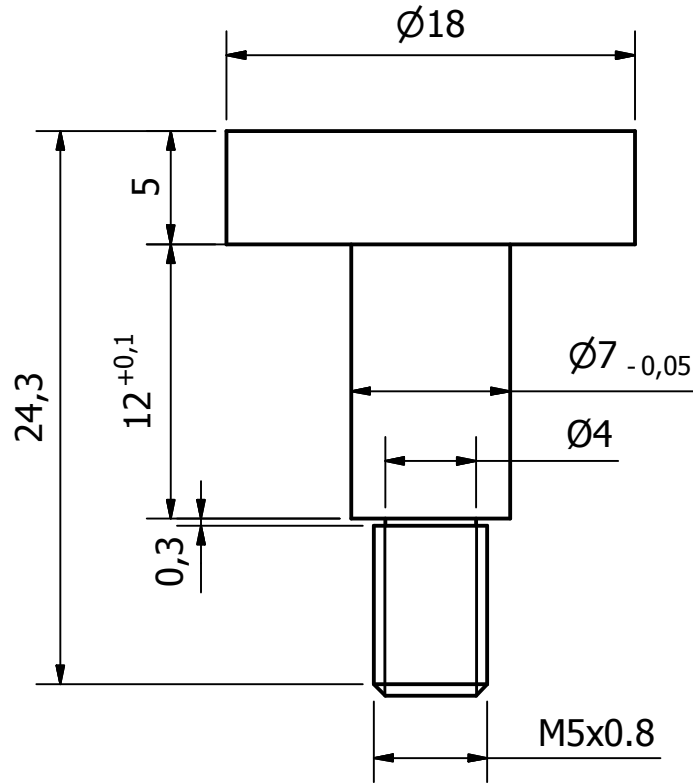
المادة الأولية		العدد	الرمز البنوي	اسم القطعة			
Stainless steel		4	part 21	المحور 4			
م. فردوس الحاج	تصميم	اسم المشروع		ماجستير أتمتة إنتاج			
م. فردوس الحاج	رسم						
د. نافع عفّاش	إشراف						
mm	الأبعاد	تصميم مقبض روبوت		المقياس	رقم الصفحة	تاريخ الإصدار	
N8	نعومة السطوح العامة			3 : 1	عدد الصفحات		
±0.5	التسامحات الغير مذكورة						



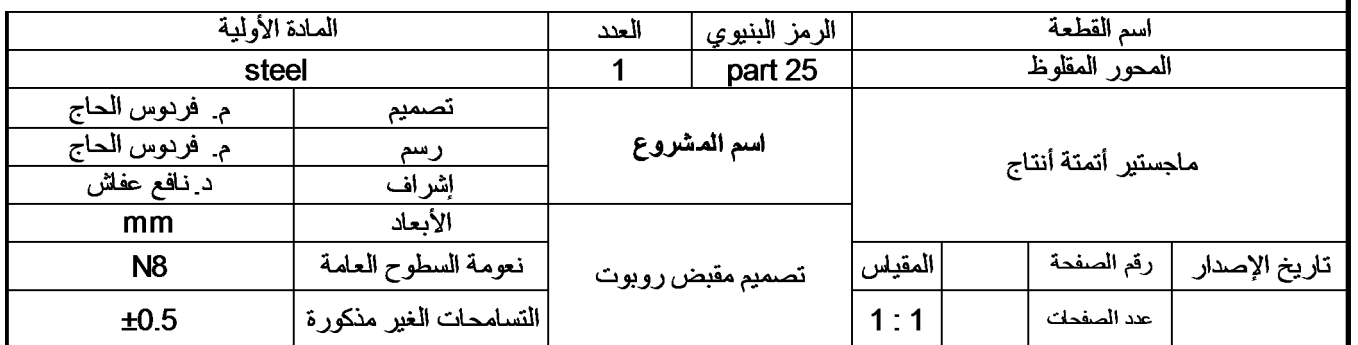
المادة الأولية		العدد	الرمز البنوي	اسم القطعة			
Stainless steel		2	part 22	المحور 5			
م. فردوس الحاج	تصميم	اسم المشروع		ماجستير أتمتة إنتاج			
م. فردوس الحاج	رسم						
د. نافع عفّاش	إشراف						
mm	الأبعاد	تصميم مقبض روبوت		المقياس	رقم الصفحة	تاريخ الإصدار	
N8	نعومة السطوح العامة						
±0.5	التسامحات الغير منكورة			3 : 1	عدد الصفحات		

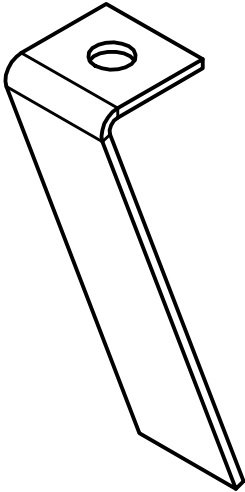
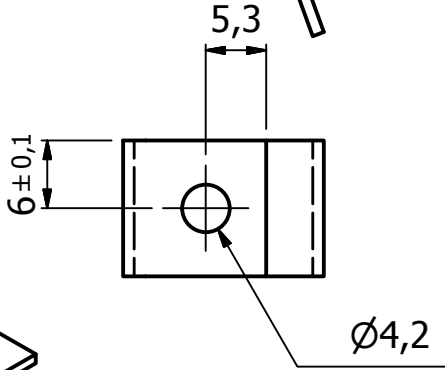
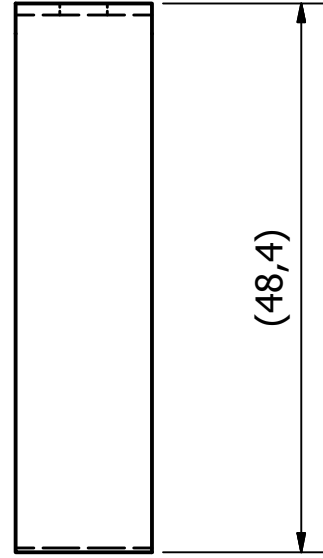
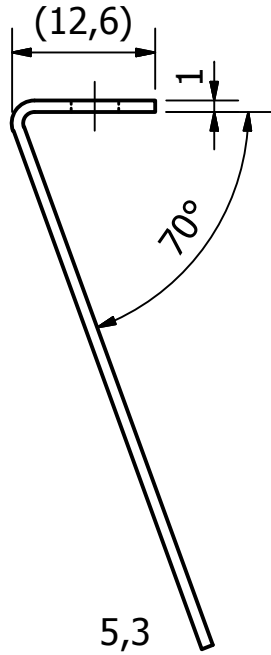
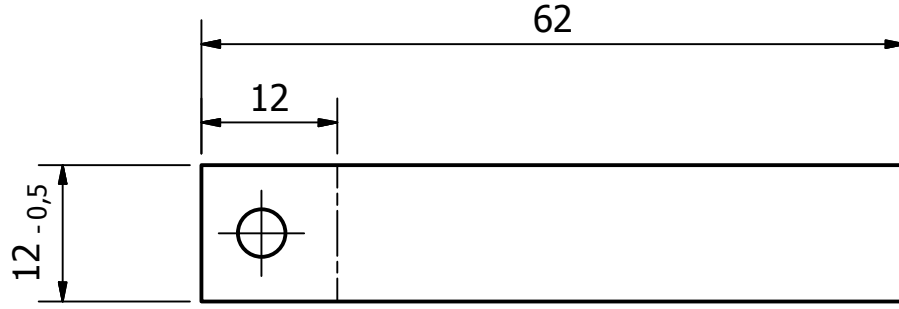


المادة الأولية		العدد	الرمز البنوي	اسم القطعة		
Stainless steel		2	part 23	المحور 6		
م. فردوس الحاج	تصميم	اسم المشروع		ماجستير أتمتة إنتاج		
م. فردوس الحاج	رسم					
د. نافع عفّاش	إشراف					
mm	الأبعاد	تصميم مقبض روبوت		المقياس	رقم الصفحة	تاريخ الإصدار
N8	نعومة السطوح العامة					
±0.5	التسامحات الغير مذكورة			3 : 1	عدد الصفحات	



المادة الأولية		العدد	الرمز البنوي	اسم القطعة			
Stainless steel		1	part 24	المحور 7			
م. فردوس الحاج	تصميم	اسم المشروع		ماجستير أتمتة إنتاج			
م. فردوس الحاج	رسم						
د. نافع عفاش	إشراف						
mm	الأبعاد	تصميم مقبض روبوت		المقياس	رقم الصفحة	تاريخ الإصدار	
N8	نعومة السطوح العامة				عدد الصفحات		
±0.5	التسامحات الغير منكورة			3 : 1			





معالجة تثبيت أبعاد

اسم القطعة		الرمز البنيوي	العدد	المادة الأولية	
صفحة نابضية		part 26	2	صفحة فولاذ نابض	
ملجستير أتمنة أنتاج		اسم المشروع		تصميم	م. فردوس الحاج
				رسم	م. فردوس الحاج
				إشراف	د. نافع عفاش
				الأبعاد	mm
تاريخ الإصدار	رقم الصفحة	تصميم مقبض روبوت		N8	نعومة السطوح العامة
عدد الصفحات	3 : 2			±0.5	التسامحات الغير منكورة