



جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم التصميم الميكانيكي

دراسة اهتراء المسننات المصنعة من مادة البولي أميد عند تأثير عزوم قتل مختلف

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة التصميم الميكانيكي

إعداد الطالب:

المهندس موسى بدور

بإشراف:

الدكتور المهندس محمد سمير البرزاوي

العام الدراسي

2022-2021

الفهرس		
9	الملخص	
10	التعريفات	.i
10	المقدمة	.ii
13	مشكلة البحث	.iii
13	تساؤلات البحث	.iv
13	مسلمات البحث	.v
13	هدف البحث	.vi
13	أهمية موضوع البحث	.vii
14	منهج البحث وأدواته	.viii
الفصل الأول:		
الدراسة المرجعية		
16	مقدمة	1-1
16	الأبحاث المرجعية	1-2
29	ملخص الدراسة المرجعية	1-3
الفصل الثاني:		
استعمال المواد البلاستيكية في تصنيع المسننات		
31	المواد المستعملة في تصنيع المسننات	2-1
32	البولي أميد وخصائصه	2-2
33	خصائص الأמידات	2-2-1
34	خصائص مادة البولي أميد وتطبيقاتها	2-2-2

36	خصائص مادة البولي أميد6 وتطبيقاتها	2-2-3
37	أجزاء المسنن	2-3
38	تصنيع المسننات وتصنيفها	2-4
41	الصفات الأساسية للمسننات البلاستيكية	2-5
الفصل الثالث: تصميم المسننات البلاستيكية		
44	أساسيات في تصميم المسننات البلاستيكية	3-1
49	قوانين حساب مسننات اللدائن الحرارية	3-2
الفصل الرابع تصميم جهاز الاختبار		
60	تصميم الجهاز	4-1
62	الحسابات التصميمية لألية نقل الحركة	4-2
64	تصميم المسننات	4-2-1
70	تصميم الأعمدة	4-2-2
الفصل الخامس الدراسة العملية (المكونات-المواد المستعملة -الاختبارات)		
78	مكونات الجهاز المستعمل	5-1
79	المبدأ النظري للبحث والمواد المستعملة في البحث	5-2
81	طريقة إجراء الاختبار	5-3
82	مراحل الاختبار	5-4

83	المرحلة الأولى	5-4-1
84	المرحلة الثانية	5-4-2
85	المرحلة الثالثة	5-4-3
87	المرحلة الرابعة	5-4-4
الفصل السادس النتائج والمناقشة		
88	نتائج الاختبارات	6-1
88	نتائج اختبار المرحلة الأولى	6-1-1
90	نتائج اختبار المرحلة الثانية	6-1-2
92	نتائج اختبار المرحلة الثالثة	6-1-3
94	نتائج اختبار المرحلة الرابعة	6-1-4
99	الاستنتاجات	6-2
99	المقترحات والتوصيات	6-3
101	المراجع	
103	Abstract	

فهرس الاشكال		
12	الشكل يوضح جهاز اختبار اهتراء للمسننات البلاستيكية	1
17	الشكل يوضح المسنن الدودي القائد والمقود في آلية لتخفيض السرعة	1-1
18	الشكل يوضح الجهاز المستعمل لدراسة اهتراء المسنن الدودي والمزود بتقنية التحليل الهيكلي	1-2
18	الشكل يوضح النسبة المئوية للخسارة الوزنية لمسننات دودية معززة بألياف الزجاج	1-3
20	الشكل يوضح تغير الاهتراء بتغير عزم الفتل وتغير السرعة	1-4
21	الشكل يوضح تغير قيمة الاهتراء بتغير عزم الفتل لمجموعة من الأزواج البلاستيكية	1-5
22	يوضح الشكل الاهتراء في مسننات من مادة النايلون ولاسيتال	1-6
23	الشكل يوضح الجهاز المستعمل	1-7
24	يوضح تغير قيمة الاهتراء بتغير عزم الفتل لمجموعة من أزواج مسننات الأسيتال	1-8
25	يوضح تغير قيمة الاهتراء بتغير عزم الفتل لمجموعة من أزواج مسننات النايلون	1-9
26	الشكل يوضح الجهاز المستعمل للاختبار	1-10
27	الشكل يوضح علاقة تحدد الخسارة النسبية في الوزن بدلالة عدد الدورات بالدقيقة	1-11
28	الشكل يوضح الجهاز المستعمل للاختبار	1-12

31	الشكل يظهر نماذج عن مسننات مصنوعة من مواد بلاستيكية	2-1
33	الشكل يوضح الصيغة الكيميائية لمركب البولي أميد	2-2
34	الشكل يظهر الصيغة الكيميائية لمركب البولي أميد 6.6	2-3
36	الشكل يظهر منتجات مصنوعة من مادة البولي أميد 6.6	2-4
36	الشكل يظهر الصيغة الكيميائية لمركب البولي أميد 6	2-5
38	الشكل يظهر البارامترات الأساسية للمسنن	2-6
39	الشكل يظهر مسنناً اسطوانياً ذا أسنان مستقيمة	2-7
39	الشكل يظهر مسنناً حلزونياً	2-8
40	الشكل يظهر مسنناً مخروطياً	2-9
41	الشكل يظهر مسنناً دودياً	2-10
41	يوضح علاقة الضجيج بعدد الدورات بالدقيقة لتعشيق مسننات مصنوعة من الفولاذ مع بعضها ومسننات من البلاستيك مع مسننات من الفولاذ حسب نوع المادة.	2-11
46	الشكل يظهر شكل الأخاديد الموجودة على المحامل	3-1
47	الشكل يظهر نسبة ضغط السطح المسموح	3-2
48	الشكل يظهر حل للحد من تأثير ضغط السطح	3-3
52	الشكل يظهر معامل التصحيح في دورة تشغيل ED	3-4
53	الشكل يوضح معامل الاتصال الجزئي ϵ_{az}	3-5
54	الشكل يظهر قيم عامل التشغيل K_B	3-6
54	الشكل يوضح قيم معامل شكل السن Y_f	3-7

55	الشكل يوضح مخطط تصحيح لقيمة التلامس المستعرضة	3-8
56	الشكل يوضح مخطط قيم زاوية الضغط الفعالة	3-9
58	الشكل يوضح مخطط عامل منطقة التشكيل z_H بواسطة بروفيل التصحيح و $\alpha = 20^0$	3-10
60	مخطط كينماتيكي لجهاز اختبار المسننات البلاستيكية المنفذ	4-1
61	الشكل يوضح مخطط عزم الدخل والخرج على جهاز الاختبار المنفذ	4-2
65	الشكل يوضح مخطط القوى المؤثرة على المحور القائد	4-3
66	الشكل يوضح مخطط القوى وردود الأفعال على المحور القائد	4-4
67	الشكل يوضح مخطط عزوم الانعطاف على العمود القائد	4-5
68	الشكل يوضح مخطط القوى المؤثرة في العمود المقود	4-6
71	يوضح عزوم الانحناء الداخلية المؤثرة على المحور المقود.	4-7
72	الشكل يوضح ردود الافعال عند المسند A-B	4-8
73	الشكل يوضح ردود الافعال عند المسند B-C	4-9
74	الشكل يوضح ردود الافعال عند المسند C-D	4-10
75	الشكل يوضح مخطط القوى وردود الأفعال على العمود المقود	4-11
76	الشكل يوضح مخطط عزوم الانعطاف على العمود المقود.	4-12
81	الشكل يوضح الجهاز المنفذ	5-1
79	الشكل يوضح طريقة تطبيق العزم	5-2
80	الشكل يوضح جهاز الاختبار المنفذ	5-3

82	يوضح حالة المسننات بعد نهاية المرحلة الأولى	5-4
83	يوضح حالة المسننات بعد نهاية المرحلة الثانية	5-5
85	يوضح حالة المسننات بعد نهاية المرحلة الثالثة	5-6
86	يوضح حالة المسننات بعد نهاية المرحلة الرابعة	5-7
96	الشكل يوضح علاقة عامل الاهتراء بدلالة عدد الدورات	6-1
97	الشكل يوضح علاقة عامل الاهتراء بتغير العزم	6-2

	فهرس الجداول	
50	الجدول يوضح قيم k_2 حسب درجة الحرارة	3-1
51	الجدول يوضح قيم المعامل k_3 ومعامل الاحتكاك μ	3-2
81	الجدول يوضح ملخص بالخطوات المطبقة خلال المرحلة الأولى	5-1
82	الجدول يوضح ملخص بالخطوات المطبقة خلال المرحلة الثانية	5-2
84	الجدول يوضح ملخص بالخطوات المطبقة خلال المرحلة الثالثة	5-3
85	الجدول يوضح ملخص بالخطوات المطبقة خلال المرحلة الرابعة	5-4
88	الجدول يوضح نتائج اختبارات المرحلة الأولى من التجربة	6-1
90	الجدول يوضح نتائج اختبارات المرحلة الثانية من التجربة	6-2
92	الجدول يوضح نتائج اختبارات المرحلة الثالثة من التجربة	6-3
94	الجدول يوضح نتائج اختبارات المرحلة الرابعة من التجربة	6-4
98	يوضح التوافق بين ما ذكره الباحث D. Waltonc في المرجع (11) ونتائج البحث.	6-5

الملخص

المسنتات البلاستيكية قادرة على العمل من دون تزييت وبسرعات عمل مرتفعة نسبياً كما أنها تقاوم نسبياً ارتفاع درجات الحرارة مما يعطي عمراً تشغيلياً مرتفعاً نسبياً خصوصاً في مجال عمل الاستطاعات المنخفضة والمتوسطة .

جرى في هذا البحث اختيار مادة البولي أميد لما تمتلك من خصائص مميزة كمقاومة التآكل ومقاومة المذيبات العضوية وغيرها..... وهذه الخصائص تجعل من مادة البولي أميد في قائمة الخيارات لدى المصمم عند اختيار مادة المسنن وإن اختبار المسننات المصنوعة من البولي أميد في ظروف عمل مشابهة لظروف العمل الحقيقية تعطينا نتائج دقيقة عن تصرف هذه المادة عند عملها مما يساعدنا وبدقة على تحديد مكان عملها المناسب وكيفية التصميم وتحديد طريقة الاستخدام الامثل للمسننات.

تم في هذا البحث دراسة أربعة أزواج من المسننات المصنوعة من مادة البولي أميد 6 تحت ظروف عمل محددة وتحت تأثير عزوم قتل مختلفة. وجرى لهذا الغرض تصميم جهاز اختبار مكون من محرك وذراع معدنية وكتل وزنية وزوجين من مسننات البولي أميد.

تم تطبيق عزم قتل بواسطة ذراع محملة بوزن معين وتقدير اهتراء المسننات بطريقة حساب معامل الاهتراء $R\%$ عن طريق تقدير الخسارة النسبية بالوزن باستخدام ميزان حساس.

توزن المسننات قبل الاختبار وبعد ذلك يتم تقدير معامل الاهتراء. تكرر هذه العملية مع تطبيق عزم قتل جديد في المجال $N.m$ (1-1.4-2.1).

بالاستناد إلى نتائج معامل الاهتراء تم الحصول على منحنى يربط معامل الاهتراء مع عدد الدورات لكل عزم قتل مطبق. لوحظ عند جميع هذه المنحنيات حدوث فترة اهتراء أولي متزايد ثم بعد ذلك تدخل المسننات فترة استقرار (اهتراء بسيط) بعدها تدخل المسننات فترة اهتراء متزايد ولكن بوتيرة اقل من الاهتراء الاول.

أظهرت التجربة منحنى يربط معامل الاهتراء بعزم القتل و تبين من هذا المخطط ضرورة عدم تحميل المسننات بعزوم كبيرة لما لها من تأثير في عمل المسننات وعلى معدل الاهتراء وأستنتج أيضاً أن مسننات البولي أميد هي جيدة للاستخدامات ذات للاستعمالات المنخفضة والمتوسطة.

i. التعريفات:

البولي أميد: البولي أميد عبارة عن سلسلة من البوليمرات التي تحتوي على روابط متكررة من الأميد (-CO-NH-)، مثال على ذلك البروتينات.

الاهتراء: هو تآكل سطح المادة الصلبة نتيجة تأثير وفعل سطح آخر. وهي تتعلق بتأثر السطح وخصوصاً إزالة المادة من السطح كنتيجة للفعل الميكانيكي.

القتل: هو تأثير هيكلي مهم يزيد من قوة القص لدى الجسم. ويحدث الالتواء في الجسم عندما يتم التأثير بقوة معينة وفي اتجاه معين تسمى بقوة القتل فتسبب القتل للجزء المعرض لهذه القوة وتعرف هذه القوة بعزم الدوران.

ii. المقدمة:

تعد المواد البلاستيكية أهم ثمرة ومنتج بشري مهم اكتشفها الإنسان وطورها حتى أصبحت المادة الصناعية الرئيسة في عصرنا الحديث، حيث أمكن بالتقدم العلمي والتكنولوجي الحاصل اليوم إنتاج أنواع جديدة وعديدة من المواد البلاستيكية، ويوجد حتى الآن ما يقرب من عشرة آلاف نوع من المواد البلاستيكية الاصطناعية، وهناك الكثير من الأنواع الجديدة قادمة على الطريق [1]. ولذلك يمكن تسمية العصر الحديث بعصر البلاستيك أو عصر الثورة البلاستيكية .. حيث لم يكن الإنسان يستطيع تحقيق تلك الإنجازات والتطورات الحديثة من دون وجود المواد البلاستيكية. حيث تستعمل المواد البلاستيكية اليوم في الصناعة والزراعة والنقل والمواصلات والاتصالات والفضاء.....إلخ.

حتى أصبحت حياتنا تعتمد اعتماداً كبيراً على هذه المواد البلاستيكية. فملابسنا وحقائبنا والأواني المنزلية وخرطوم المياه والأنابيب والأدوات الصحية وهياكل وتوصيلات الثلاجات والغسالات وأجهزة الكمبيوترات وكاميرات التصوير وأجهزة الراديو والتلفزيون ومواد العزل الحراري والكهربائي والصوتي والأساسات وأكياس حفظ الطعام وقطع وتوصيلات الأجهزة والمعدات.. ما هي إلا بداية لقائمة لا تنتهي من منتجات المواد البلاستيكية التي يستعملها الإنسان أو بالأصح نستعملها في حياتنا اليومية [1] .

كما نستعمل المواد البلاستيكية في المجال الطبي والصحي كمكون رئيس للأعضاء الصناعية والأوردة الدموية التركيبية لجسم الإنسان، والمفاصل الصناعية والحقن وصناعة الأسنان وما إلى ذلك. إضافة إلى ذلك فحينما غادر الإنسان الأرض إلى الفضاء، فإنه لم يستغن عن المواد البلاستيكية فقد أخذها معه في رحلته إلى الفضاء.

تصميم عناصر الآلات بصورة مبسطة هو إيجاد أبعاد العنصر وفق نوع المادة التي يصنع منها، فاختيار نوع المادة يعتمد على قدرة هذه المادة على تأدية الدور المطلوب منها تحت ظروف العمل المختلفة من حرارة وضغط وتلوث وغيرها، على أن تكون التكلفة مناسبة وعدد ساعات عمل تتوافق وباقي أجزاء هذه الآلة.

فحتى وقت قريب كانت المعادن هي صاحبة السيطرة الغالبة في تصنيع عناصر الآلات وبشكل خاص الفولاذ، وما زالت هذه السيطرة موجودة حتى الآن. ولكن المواد البلاستيكية أصبحت تدخل في تصنيع القطع بشكل ملحوظ وتدرجي وذلك لما لها من مزايا تجعلها قادرة على منافسة المعادن من حيث المتانة وخفة الوزن والعمل في شروط جافة وفوق ذلك كله انخفاض سعرها بالمقارنة مع المواد المعدنية، كما أن تنوع المواد البلاستيكية الواسع يعطينا مجالاً واسعاً في الاختيار، لما لها من خيارات كبيرة من حيث الصفات الميكانيكية والفيزيائية مما ساعد في ذلك أن الأبحاث في مجال المواد البلاستيكية مستمر ويتطور بشكل يومي الأمر الذي يعطينا خيارات جديدة بشكل دائم [2].

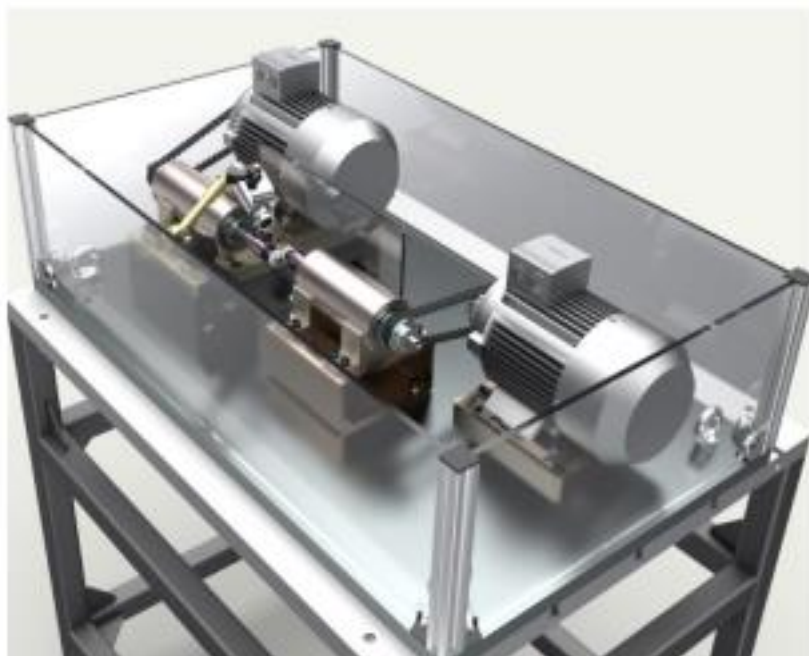
هذا ساعد أيضاً في تغيير رأي الكثير من المصممين وشركات التصميم العالمية للاتجاه نحو استخدام المواد البلاستيكية في تصميم وتصنيع قطع الآلات كالسيارات والطائرات والسفن وفي صناعة الساعات وخطوط الإنتاج كخطوط الطباعة التي أصبحت تعتمد بشكل كبير على القطع البلاستيكية في تركيبها وأيضاً خطوط إنتاج المواد الاستهلاكية كالكرتون والورق، حيث تستخدم الرولات البلاستيكية والمسننات البلاستيكية وغيرها من عناصر الآلات التي تصنع من البلاستيك [2].

تقدم المسننات البلاستيكية احتمالات كبيرة لتطوير تطبيقات عالية التكنولوجيا لما تتمتع به من خصائص فريدة عن المسننات المعدنية. إن التوجه المتزايد في استخدام المسننات البلاستيكية مستمر وذلك بسبب عدة عوامل أهمها: التكلفة وإمكانية العمل بسرعات دوران عالية والقدرة على التصرف بسلك آمن عند التوقف الفجائي هذا الاستخدام المتزايد جعل من الحاجة لدراسات تبحث في أنظمة توقع الانهيارات للمسننات البلاستيكية بالمقارنة مع المسننات المعدنية أمراً ملحاً [2].

في الوقت الراهن، ينحصر استخدام المسننات البلاستيكية في التطبيقات التي تتطلب أحمال منخفضة ونقل الحركة بدقة، ويكمن السبب في حقيقة مفادها أن المسننات البلاستيكية توفر عدداً من المزايا مقارنة بالمسننات المعدنية: فهي أقل وزناً، وأقل ضجيجاً من المعدن. وعلاوة على ذلك، يمكن استخدامها بدون تزييت ويمكن استخدامها في بيئات عدوانية كيميائياً بفضل مقاومتها الكيميائية لعدد كبير من المواد فضلاً عن انخفاض تكاليف المواد والتصنيع [2].

ويتمثل التحدي الحالي في زيادة التركيز على تطبيقات نقل الطاقة الكهربائية ذات الاستطاعات العالية وعدد الدورات المرتفع وارتفاع درجات الحرارة، التي تمثل الحدود الفعلية للتجهيزات البلاستيكية. وفي الواقع أن أسباب فشل معدات تكنوبوليمر تتمثل بكسر الأسنان نتيجة انحناء الأسنان والاهتراء والأضرار الحرارية. ولهذا السبب من المهم مراعاة المبادئ النظرية لتصميم المسننات البلاستيكية، و التركيز على

النقاط الحرجة المذكورة أعلاه وعلى النقيض من المسننات الفولاذية التي يتم فيها التصميم من خلال المبادئ التوجيهية للمعايير (ISO، DIN، AGM)، والأساليب التحليلية والمعادلات فإن التعامل مع المواد البلاستيكية أكثر تعقيدا وغالبا ما يواجه مصممين المسننات البلاستيكية نقص في البيانات المادية التي تمنعهم من استخدام المواد بالشكل الأمثل [3].



الشكل (1) يوضح جهاز اختبار اهتراء المسننات البلاستيكية

وفي النهاية إن اختبار المسننات البلاستيكية في ظروف عمل مشابهة لظروف العمل الحقيقية تعطينا نتائج دقيقة عن تصرف هذه المادة خلال عملها مما يساعدنا وبدقة على تحديد مكان عملها المناسب وكيفية التصميم وتحديد طريقة الاستعمال الأمثل للمسننات.

لقد قسم هذا البحث إلى عدة فصول:

يتضمن الفصل الأول استعراض البحوث والدراسات السابقة التي لها علاقة بموضوع البحث ومدى الاستفادة منها **بينما يتضمن الفصل الثاني** أهم المواد البلاستيكية المستخدمة في صناعة المسننات وخصائص مادة البولي أميد واستخداماتها. أما **الفصل الثالث** فقد اختص بتصميم المسننات البلاستيكية واستعراض أهم البيانات التي يجب الأخذ بها في تصميم المسننات كما يوضح **الفصل الرابع** الحسابات التصميمية لآلية نقل الحركة والمبدأ الذي تم اعتماده في إجراء التجربة أثناء تصميم الجهاز.

أما الفصل الخامس يبين مكونات الجهاز المستخدم والمسننات المستهدفة وملخص عن مراحل الاختبارات المطبقة، وفي النهاية يوضح **الفصل السادس** نتائج الاختبارات ومناقشتها والمقترحات والتوصيات التي ينبغي على الباحثين الأخذ بها في حال الرغبة في تطوير البحث والوصول الى نتائج تحدد بدقة خصائص المادة.

iii. مشكلة البحث:

بسبب أهمية العناصر البوليميرية في الصناعات بشكل عام وفي تصميم عناصر الآلات بشكل خاص وبشكل أخص في صناعة المسننات برزت الحاجة الملحة لإجراء تجارب عملية على فعالية استخدامها وتحديد شروط ومجال استخدامها وخاصة تحت تأثير عزوم الفتل المتغيرة.

ضرورة استنتاج نماذج خاصة في تصميم المسننات البلاستيكية مختلفة عن النماذج الخاصة في تصميم المسننات المعدنية وذلك بعد تجميع ودراسة عدد كبير من الدراسات والابحاث والذي سيكون بحثنا جزء من هذه الابحاث.

iv. تساؤلات البحث:

يسعى البحث للإجابة عن الأسئلة التالية:

1 - ما مستوى الاهتراء الحاصل في مسننات مصنوعة من مادة البولي أميد تتعرض لتأثير عزوم الفتل؟

2 - هل توجد علاقة تربط معامل اهتراء البولي أميد بتغير عزم الفتل؟

3- هل توجد علاقة تربط معامل الاهتراء بعدد الدورات أو بعدد ساعات العمل ؟

v. مسلمات البحث:

يوجد اهتراء للمسننات المصنوعة من مادة البولي أميد

vi. هدف البحث:

- اختبار المسننات تحت ظروف عدد دورات يحدد بدقة (سرعة دوران ثابتة ومعلومة) وعزوم فتل مختلفة.

- تحديد علاقة معامل الاهتراء بعدد الدورات أو بعدد ساعات العمل.

- تحديد علاقة معامل الاهتراء بتغير عزم الفتل.

vii. أهمية موضوع البحث:

- إن اختبار المسننات المصنوعة من مادة البولي أميد في ظروف عمل مشابهة لظروف العمل الحقيقية تعطينا نتائج دقيقة عن تصرف هذه المادة خلال عملها مما يساعدنا وبدقة على تحديد ظروف عملها المناسبة وكيفية تصميمها.

- وضع قيم حقيقية عملية لإمكانية الاستعمال العملي للبولىميرات في المسننات وخاصة مسننات البولي أميد، فاختبار هذه المادة في المسننات ودراسة انفعالها وأداؤها هو أمر مهم لما لهذه المادة من صفات ميكانيكية تجعلها قادرة نظريا على شغل هذا الدور ولكن لابد من إجراء التجارب وتسجيل نتائج عملية في ظروف عمل مشابهة لظروف العمل الحقيقية.

viii. منهج البحث وأدواته:

سنعتمد في بحثنا المنهج الآتي:

بعد تركيب المسننات المراد اختبارها تبدأ المرحلة الأولى، حيث يتم تشغيل الجهاز لعدد دورات من مرتبة العشرة ملايين دورة ثم تسجيل النتائج ووزن المسننات عدة مرات خلال زمن المرحلة الأولى ثم تبدأ المرحلة الثانية بفك المسننات المختبرة وتثبيت زوج جديد وتطبيق عزم دوران بتحميل الذراع بوزن 0.7kg وتشغيل الجهاز عند دورات وزمن مماثل للمرحلة الأولى. وتسجيل النتائج ووزن المسننات عدة مرات خلال زمن هذه المرحلة، ثم تبدأ المرحلة الثالثة بفك المسننات المختبرة وتثبيت زوج جديد وتطبيق عزم دوران أكبر بتحميل الذراع بوزن 1kg وتشغيل الجهاز عند دورات وزمن مماثل للمراحل السابقة، وتتكرر عملية تسجيل النتائج ووزن المسننات ثم تبدأ المرحلة الرابعة بفك المسننات المختبرة وتثبيت زوج جديد وتطبيق عزم دوران أكبر بتحميل الذراع بوزن 1.5kg وتشغيل الجهاز لعدد دورات وزمن مماثل للمراحل السابقة وتتكرر عملية تسجيل النتائج ووزن المسننات عدة مرات من زمن هذه المرحلة .

في النهاية سيتم رسم منحني بياني يوضح تغير قيمة عامل الاهتراء بدلالة عدد الدورات ومنحني يوضح تغير قيمة عامل الاهتراء بتغير عزم القتل.

الفصل الأول:

الدراسة المرجعية

مقدمة	:1-1
الأبحاث المرجعية	:1-2
ملخص الدراسة المرجعية	:1-3

1-الفصل الأول: الدراسة المرجعية

1-1 : مقدمة

برزت أهمية وضرورة استعمال المواد البلاستيكية في تصنيع المسننات بسبب قدرتها على العمل دون تزييت كما أن التكلفة المنخفضة نسبياً مهدت الطريق للشركات لكي تدعم وتشجع مراكز البحث على اجراء تجارب تعطي نتائج يمكن الاعتماد عليها عند التصميم، ولا يمكننا إغفال الصفات الاخرى للمواد البلاستيكية والتي قد تتغير من مادة بلاستيكية الى اخرى كالاhtراء والمتانة وتحمل الصدم [4].

1-2 : الأبحاث المرجعية

1 – Durability Characteristics Analysis of Plastic Worm Wheel with Glass Fiber Reinforced Polyamide[5].

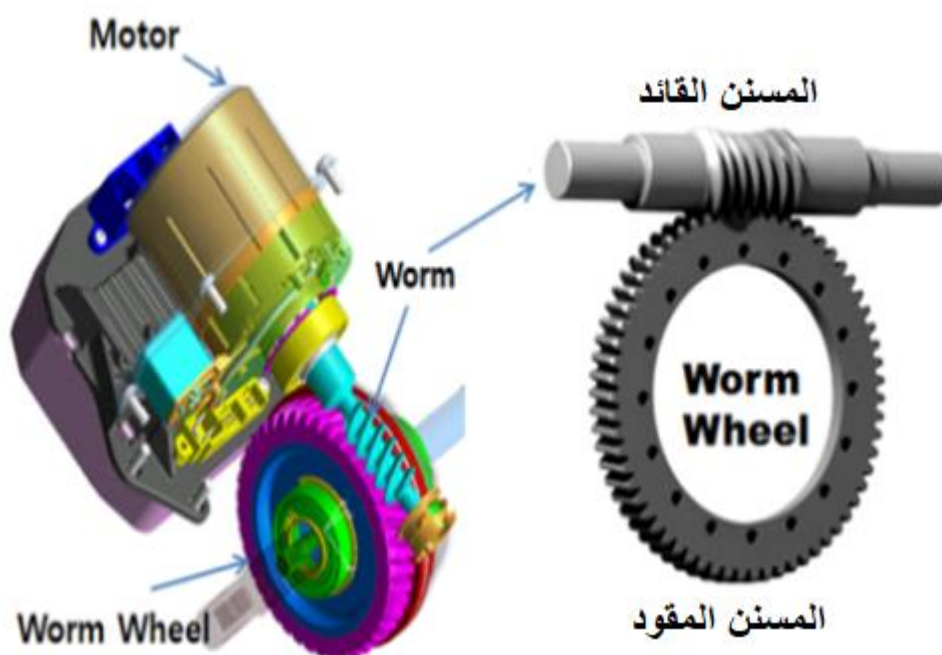
تحليل خصائص المسنن الدودي البلاستيكي المصنوع من مادة البولي أميد المعززة بألياف الزجاج.

الهدف:

تستعمل المسننات الدودية البلاستيكية على نطاق واسع في مجال تصنيع الآلات لما تتميز من خفة الوزن، وتخمين الاهتزاز، والحد من الضوضاء، فضلاً عن المقاومة العالية للتآكل ومع ذلك فمن الصعب جداً بالنسبة للبلاستيك تأمين الخواص الميكانيكية المطلوبة لتجهيزات المركبات. لكن استعمال الراتنج البلاستيكي المعزز بالألياف الزجاجية في عملية تصنيع المسننات الدودية البلاستيكية جعل من الممكن تحقيق تلك الخواص الميكانيكية. الهدف من هذه الدراسة تحليل الخصائص الميكانيكية حسب محتويات الألياف الزجاجية وذلك بطرائق تحليلية وتجريبية ومعرفة تأثير نسبة ألياف الزجاج على الخصائص الميكانيكية.

المنهجية:

المادة المستعملة في الدراسة هي مادة البولي أميد 6.6 المعززة بألياف الزجاج بنسبة 25 % ومادة البولي أميد المعززة بألياف الزجاج بنسبة 50% ويوضح الشكل (1-1) المسنن الدودي القائد والمقود في آلية لتخفيض السرعة.



الشكل (1-1) المسنن الدودي القائد والمقود في آلية لتخفيض السرعة

- قبل تصميم العجلة الدودية (المسنن المقود) تم تصميم المسنن القائد (الدودة) وتم التأكد من تصميم المسننات من خلال التحليل الهندسي الهيكلي القائم على الحواسيب.
- تم إنتاج المسننات البلاستيكية عن طريق الحقن بالراتنج البلاستيكي وتم إضافة تعزيزات الألياف الزجاجية.
- تم إجراء التجربة بواسطة ميكانيزم معين وعند درجة حرارة الجو المحيط يوضح الشكل (1-2) الجهاز المستعمل في اختبار المسننات.

النتيجة:

يوضح المخطط في الشكل (1-3) الخسارة الوزنية لمسننات دودية معززة بألياف الزجاج حيث يبين الباحثين في هذه الدراسة عدة نقاط:

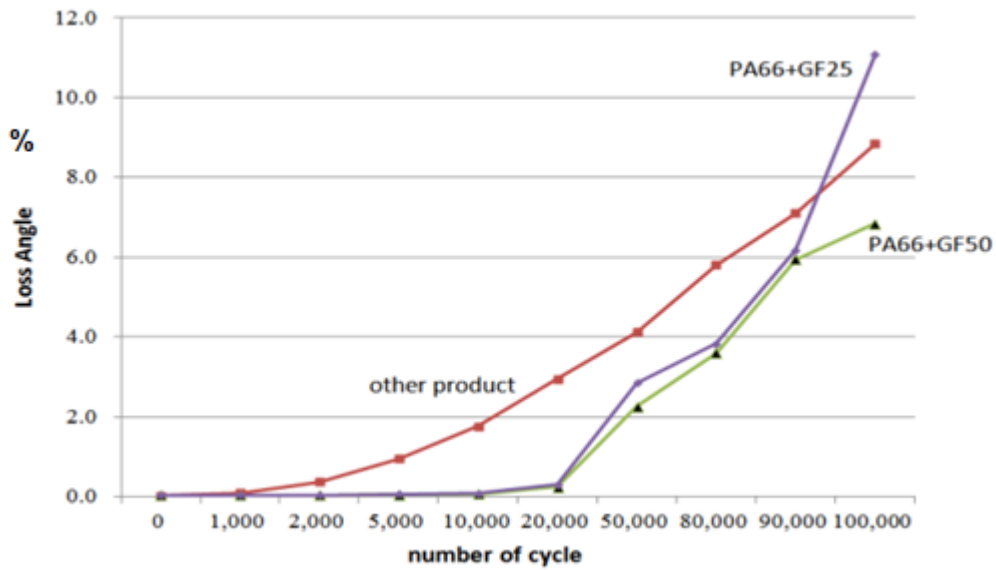
- يكون معدل الاهتراء قليل ومتقارب بالنسبة للمسننين المختبرين لحدود (20000) دورة .



الشكل (1-2) يوضح الجهاز المستعمل لدراسة اهتراء المسنن الدودي والمزود بتقنية التحليل الهيكلي

- يزداد معدل الاهتراء بشكل خطي بالنسبة للمسننين المختبرين من (20000-100000) دورة.

- يبين الشكل ازدياد معدل اهتراء المسنن المقوى بألياف الزجاج بنسبة 25wt عن المسنن المقوى بنسبة 50wt.



الشكل (1-3) يوضح النسبة المئوية للخسارة الوزنية لمسننات دودية معززة بألياف الزجاج

- بعد التحليل الهيكلي تبين أن المسنن الدودي جيد جداً للاستعمال من حيث الاجهاد الانفعال الأعظمي.

- أتضح إن المسنن الدودي المعزز بالألياف الزجاجية بنسبة 50 في المائة جيد من حيث التشوه.

الاختلاف:

- المسنن المستخدم مسنن دودي أما في بحثنا فمسننات عدلة.

- المادة المستعملة هي مادة PA66 معززة بألياف الزجاج أما في البحث المادة المستعملة PA6 .

- تم اختبار اهتراء المسننات عند عزم قتل ثابت مقداره (60N.m) أما في بحثنا تم اختبار اهتراء المسننات تحت تأثير عزوم قتل مختلفة.

2- Investigation of Wear Resistance and Torque Transmission Capacity of Glass Filled Polyamide and PEEK Composite Spur Gears[6].

البحث في مقاومة الاهتراء وتغير العزم في مسننات العدلة البلاستيكية من PA, PEEK المعززة بألياف الزجاج.

الهدف:

تهدف الدراسة لتحليل الخصائص الميكانيكية لمسننات PA, PEEK المعززة بالألياف الزجاجية وذلك بطرائق تحليلية وتجريبية وتحديد المادة الأفضل في اختيار مادة السنن وتحديد المسنن الافضل من ناحية الخواص الميكانيكية.

المنهجية:

المادة المستعملة في الدراسة هي مادة PA66 المعززة بألياف الزجاج بنسبة 30% ومادة PEEK المعززة بألياف الزجاج بنسبة 30% حيث قام باحثون بدراسة اهتراء مجموعة من مسننات PA66, PEEK المعززة بألياف الزجاج بتغير قيم عزم القتل التي تتراوح من (2N.m-4.5N.m) واستخدام محرك متغير السرعات حيث تم اختبار أربع أزواج من المسننات وفق ما يأتي:

- زوج من المسننات المصنوعة من مادة PA66 عند سرعة 257rpm.
- زوج من المسننات المصنوعة من مادة PA66 عند سرعة 494 rpm.
- زوج من المسننات المصنوعة من مادة PEEK عند سرعة 257rpm.
- زوج من المسننات المصنوعة من مادة PEEK عند سرعة 494rpm.

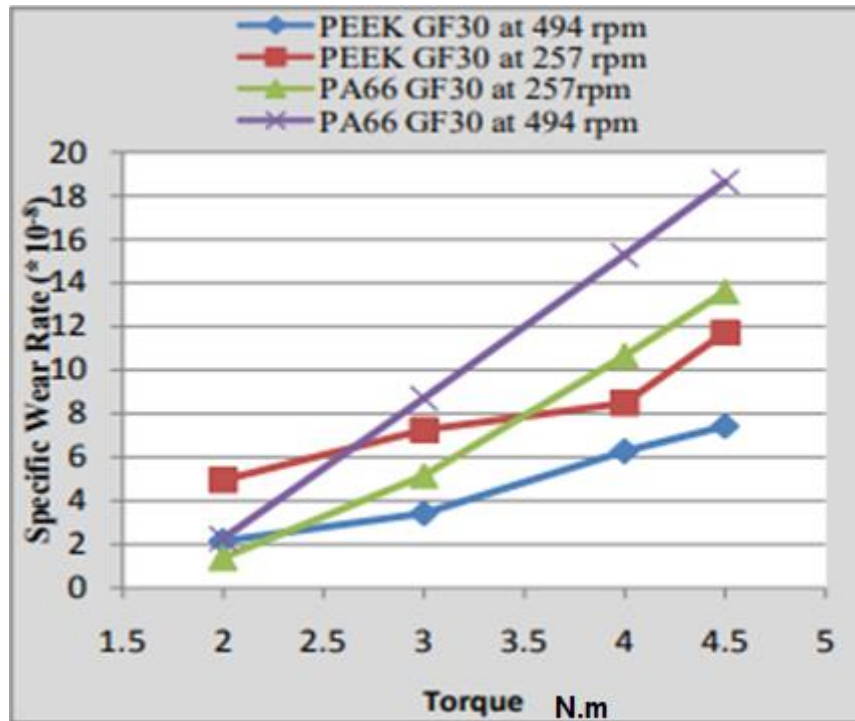
- يوضح الشكل (4-1) تغير معدل الاهتراء مع تغير العزم (تغير الحمل) وتغير السرعات للمسنتات المختبرة.

النتيجة:

حيث يبين الباحثين في هذه الدراسة عدة نقاط:

-يزداد معدل الاهتراء بازدياد عزم الفتل لكلا المادتين.

- بالنسبة لمادة ل PEEK يزداد معدل الاهتراء بزيادة السرعات وهذا لا ينطبق على مادة PA66.



الشكل (4-1) يوضح تغير الاهتراء بتغير عزم الفتل وتغير السرعة

- إن مسنتات PEEK المعززة بألياف الزجاج بنسبة 30% لديها مقاومة عالية للاهتراء وقدرة عالية لنقل عزم الدوران بالمقارنة بمسنتات PA66 المعززة بألياف الزجاج بنسبة 30%.

الاختلاف:

- المادة المستعملة في الدراسة المرجعية هي مادة PA66 المعززة بألياف الزجاج أما في هذا البحث المادة المستعملة هي PA6.

-تمت التجربة في هذه الدراسة عند سرعتين مختلفتين (257-494) rpm أما في البحث تمت التجربة عند سرعة ثابتة 1485rpm

3- A Review on Failure Characteristics of Polymer Gear[7].

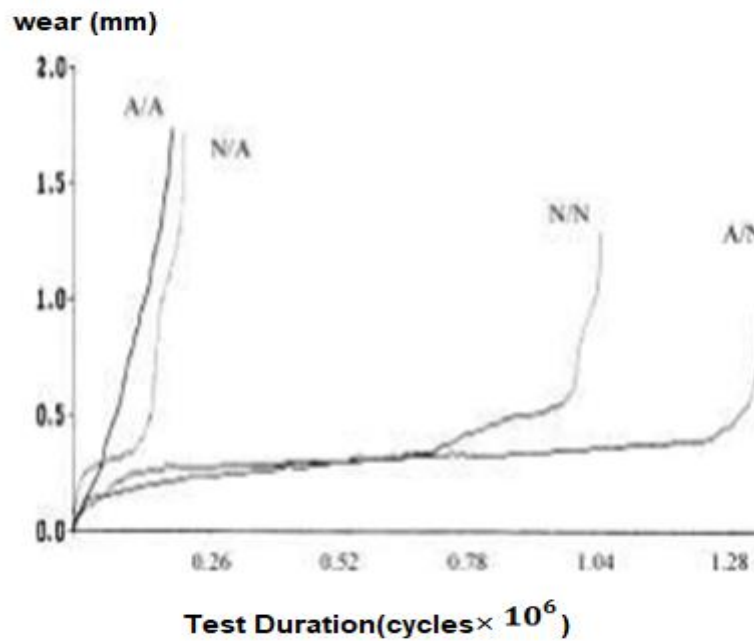
- دراسة انهيار مسنن بوليمر

الهدف:

فشل مسننات البوليمر يختلف عن المعادن بسبب خصائص هذه المادة المختلفة تماماً عن المعادن ومن الأمثلة على فشل مسننات البوليمر ذوبان المادة التي لا تحدث في المعادن. يمكن تصنيف هذا النوع من الفشل تحت الضرر الحراري وتستهدف هذه الدراسة أنواع الفشل الذي يتعرض له مسنن البوليمر: كالاhtراء، رصد الحالة السطحية لهيكل المادة، فقدان الوزن والضرر الحراري.

المنهجية:

المادة المستعملة في الدراسة هي مادة البولي أميد والأسيتال حيث قام باحثون بدراسة اهتراء أزواج من مسننات (اسيتال -نايلون) -(نايلون - اسيتال) -(اسيتال - اسيتال) -(نايلون - نايلون) بتغير عزم الفتل و تم اختبار المسننات بتطبيق عزم من (10-16) N.m ويوضح الشكل (1-5) تغير قيمة الاهتراء بتغير عزم الفتل لمجموعة من الأزواج.



الشكل (1-5) يوضح تغير قيمة الاهتراء بتغير عزم الفتل لمجموعة من الأزواج البلاستيكية

النتيجة:

- من خلال الشكل (5-1) تقسم المنحنيات لثلاث مراحل:

مرحلة أولى: زمن المرحلة قصير ومعدل اهتراء كبير.

مرحلة ثانية: معدل اهتراء قليل ولكن بمنحى تصاعدي.

مرحلة ثالثة: معدل اهتراء كبير وانهايار المسنن.

فتكون المراحل الثلاثة في منحنى (N/N) كالاتي:

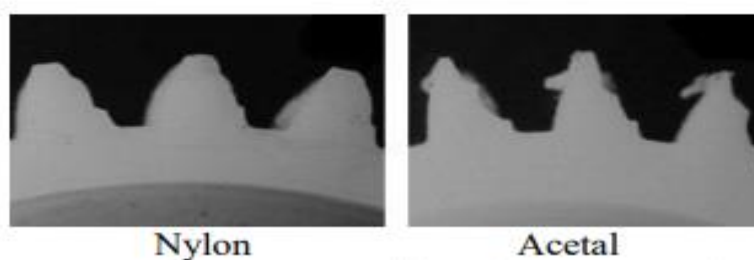
مرحلة أولى: تمتد من بداية التجربة حتى 100 ألف دورة.

مرحلة ثانية: تمتد من (100-630) ألف دورة.

مرحلة ثالثة: تمتد من (630-980) ألف دورة.

- يمكن الاستنتاج من الدراسة المستعرضة أن تحديد مقدار الاهتراء والبنية الدقيقة ورصد الحالة السطحية وفقدان الوزن والتلف الحراري هي أفضل طريقة للكشف عن الفشل في مسننات البوليمر ويوضح الشكل (6-1) الاهتراء في مسننات من مادة نايلون ولأسييتال.

- من أجل تحقيق الاستعمال الأمثل لمسننات البوليمر في التطبيقات يجب أن تحسب بارامترات التشغيل مسبقاً مثل الحمل ودرجة الحرارة الجارية.



ويوضح الشكل (6-1) الاهتراء في مسننات من مادة نايلون ولأسييتال

الاختلاف:

- المادة المستعملة في الدراسة المرجعية هي أزواج من (نايلون-نايلون)، (اسييتال-نايلون)

, (نايلون - اسييتال) معززة بألياف الزجاج أما في بحثنا المادة المختبرة هي البولي أميد (PA6) .

4- Friction and wear behaviour of acetal and nylon gears [8].

سلوك الاحتكاك والاهتراء لمسننات الأسيتال والنايلون.

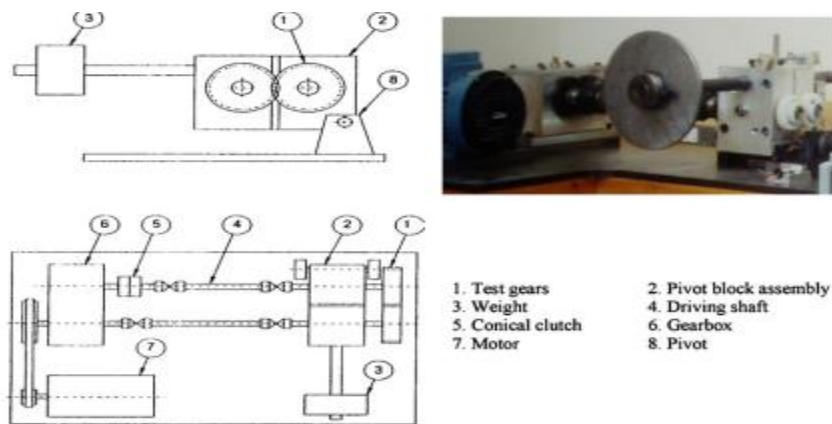
الهدف:

تقدم الدراسة الحالية تحقيقاً واسعاً حول سلوك الاحتكاك والاهتراء لمسننات البولييمر (الأسيتال والنايلون) ، حيث تستعمل مسننات البولييمر في الصناعة بشكل متزايد كما تزداد المزايا الاقتصادية والتقنية لها ومن بين هذه المزايا :انخفاض تكلفة الإنتاج القدرة على العمل بدون تشحيم وارتفاع القدرة على التحمل حيث يعتبر تحميل الأسنان في كثير من التطبيقات أمر في غاية الأهمية لذلك يجب أخذ قدرة تحمل المسنن بعين الاعتبار عند تصميم مسنن البولييمر فتصميم مسنن البولييمر لا يخضع للقوانين التي يخضع لها المسنن المعدني فقط بل يحتاج لإخضاع المسنن لظروف مشابهة لظروف العمل الحقيقية .

المنهجية:

- المادة المستعملة في هذه الدراسة هي مادة الأسيتال والنايلون حيث قام باحثون بدراسة اهتراء زوج مسننات من الأسيتال (اسيتال -اسيتال) وزوج (نايلون-نايلون) تحت تأثير تغير عزم الفتل وتمت التجربة ضمن ظروف تشغيلية معينة وفق ما يأتي:

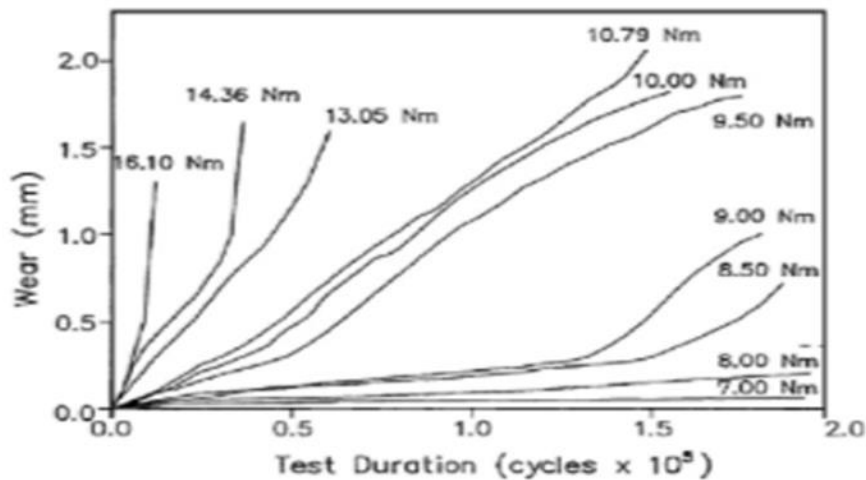
- سرعة تشغيل :1000 دورة في الدقيقة.
- عزم الفتل المطبق: من 7 N.m إلى 16.1N.m بالنسبة للأسيتال.
- عزم الفتل المطبق: من 5 N.m إلى 20N.m بالنسبة للنايلون.
- يوضح الشكل (1-7) الجهاز المستعمل في هذه الدراسة.



الشكل (1-7) يوضح الجهاز المستعمل

النتيجة:

- بالنسبة للأسيتال و من خلال الشكل (8-1) نستنتج الآتي:
 - يمكن تقسيم الاهتراء الحاصل إلى ثلاث مراحل جارية وخطية ونهائية. فتكون المراحل الثلاثة في منحنى يوضح علاقة الاهتراء بدلالة عدد دورات لزوج مسننات من الأسيتال تحت تأثير عزم فتل مقداره (9N.m) كالآتي:
 - مرحلة أولى: تمتد من بداية التجربة حتى 20 ألف دورة.
 - مرحلة ثانية: تمتد من (20-130) ألف دورة.
 - مرحلة ثالثة: تمتد من (130-180) ألف دورة.
 - في نهاية التجربة كانت نسبة التحطم 40% من سماكة الأسنان بالإضافة إلى كسر بسيط ناجم عن ارتفاع الأحمال.
 - إيجاد علاقة تربط بين تغير معدل الاهتراء مع تغير العزم حيث يبين الباحثين في هذه الدراسة عدة نقاط:
 - ومن أجل عزوم أعلى من 8 N.m فإن الاهتراء يتزايد بسرعة بعد زمن يساوي تقريبا 200 ألف دورة وذلك عند اختبار مادة الأسيتال.
 - و يستنتج من غير المجدي استعمال مسننات من هذه المادة عند تطبيق عزوم أكبر من 8N.m.
- بالنسبة للنايلون ومن خلال الشكل (9-1) نستنتج ما يأتي:
 - بالنسبة للنايلون يمكن تقسيم الاهتراء الحاصل إلى ثلاث مراحل جارية وشبه خطية ونهائية.
 - المرحلة الأولى: فترة زمنية قصيرة معدل اهتراء مرتفع.

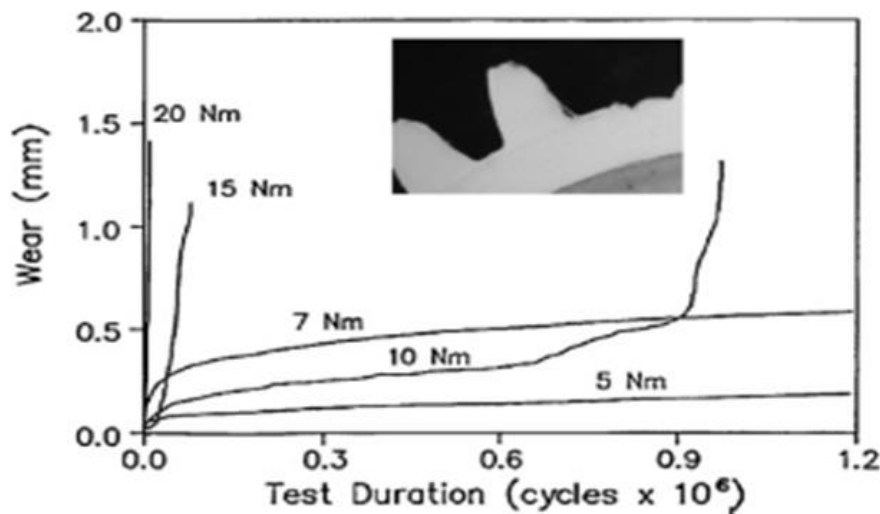


الشكل (8-1) يوضح تغير قيمة الاهتراء بتغير عزم الفتل لمجموعة من أزواج مسننات الأسيتال

المرحلة الثانية: معدل اهتراء قليل بشكل شبه خطي.
المرحلة الثالثة: يزداد معدل الاهتراء بسرعة.

فتكون المراحل الثلاثة في منحنى يوضح علاقة الاهتراء بدلالة عدد الدورات لزوج مسننات من النايلون تحت تأثير عزم قتل مقداره (10N.m) كالآتي:
مرحلة أولى: تمتد من بداية التجربة حتى 50 ألف دورة.
مرحلة ثانية: تمتد من (50) ألف دورة حتى 650 ألف دورة.
مرحلة ثالثة: تمتد من 650 ألف دورة حتى 950 ألف دورة.

- في نهاية التجربة أن الاهتراء الحاصل ليس ناتج عن الاحتكاك فقط بل عن تشوه السن بسبب الآثار الحرارية.
- يحدث كسر للأسنان في نقطة الخطوة وذلك عند عزوم أكبر من 10N.m .
- إيجاد علاقة تربط بين تغير معدل الاهتراء مع تغير العزم حيث يبين الباحثين في هذه الدراسة أنه من غير المجدي استعمال مسننات من هذه المادة عند تطبيق عزوم أكبر من 10N.m.



الشكل (9-1) يوضح تغير قيمة الاهتراء بتغير عزم القتل لمجموعة من أزواج مسننات النايلون الاختلاف:

- المادة المستعملة نايلون-اسيتال أما المادة المستعملة في هذا البحث مادة PA6.
- تم اختبار اهتراء المسننات عند عزم قتل متغيرة عند مجال (5-20) N.m للنايلون و (7-16) N.m للاسيتال أما في بحثنا تم اختبار اهتراء المسننات تحت تأثير عزوم قتل مختلفة ضمن المجال (0.7-2.1N.m) .

5- A New Design of the Universal Test Rig to Measure the Wear Characterizations of Polymer Acetal Gears (Spur, Helical, Bevel, and Worm) [9].

تصميم جديد لجهاز الاختبار العالمي لقياس اهتراء مسننات البوليمر أسيتال.

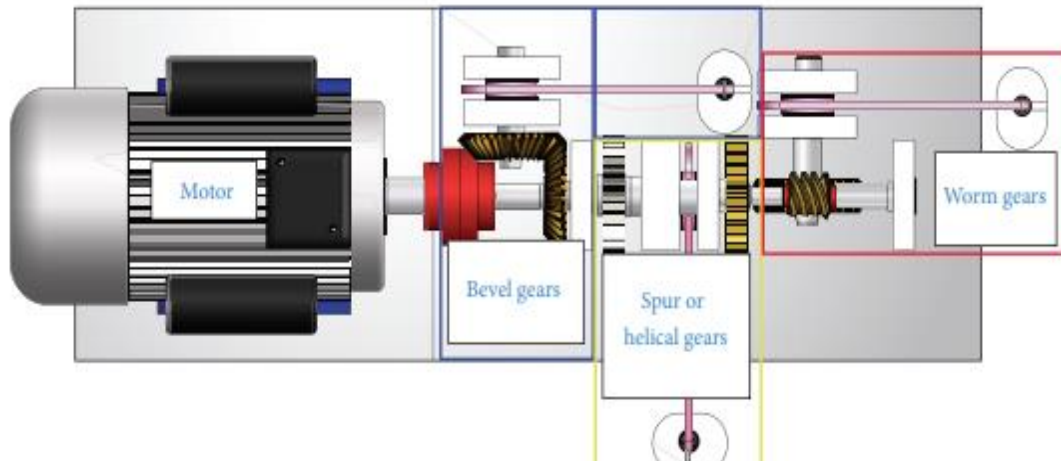
الهدف:

ويهدف هذا العمل إلى دراسة توصيف الاهتراء للأنواع الشائعة من مسننات البوليمر الأسيتال (عدلة، حلزوني، مخروطي، دودي) باستعمال جهاز اختبار عالمي جديد من أجل الحصول على نتائج موثوقة وكمرجع عند مقارنتها بمسنتات الأسيتال النانوية.

المنهجية:

المادة المستعملة في هذه الدراسة هي الأسيتال حيث قام الباحثون بدراسة اهتراء مجموعة من مسننات الاسيتال (عدلة-حلزوني -مخروطي-دودي) وتمت التجربة باستعمال جهاز الاختبار الشامل الذي يتألف من ثلاث وحدات مختلفة يتم ربطها بواسطة عمود القيادة الرئيسي حيث تقوم الوحدة الأولى باختبار المسننات المخروطية أما الوحدة الثانية تستعمل لاختبار المسننات الحلزونية والعدلة وأخيراً الوحدة الثالثة تستعمل لاختبار المسننات الدودية. تمت التجربة ضمن ظروف تشغيلية معينة وفق الآتي:

- سرعة تشغيل: 1420 دورة في الدقيقة.
- عزم الفتل المطبق: 4N.m.
- يوضح الشكل (1-10) الجهاز المستعمل في هذه الدراسة.



الشكل (1-10) يوضح الجهاز المستعمل للاختبار.

النتيجة:

- إيجاد علاقة تربط بين فقدان الوزن مع تغير عدد الدورات ويوضح الشكل (1-11) تغير فقدان الوزن بتغير عدد الدورات.

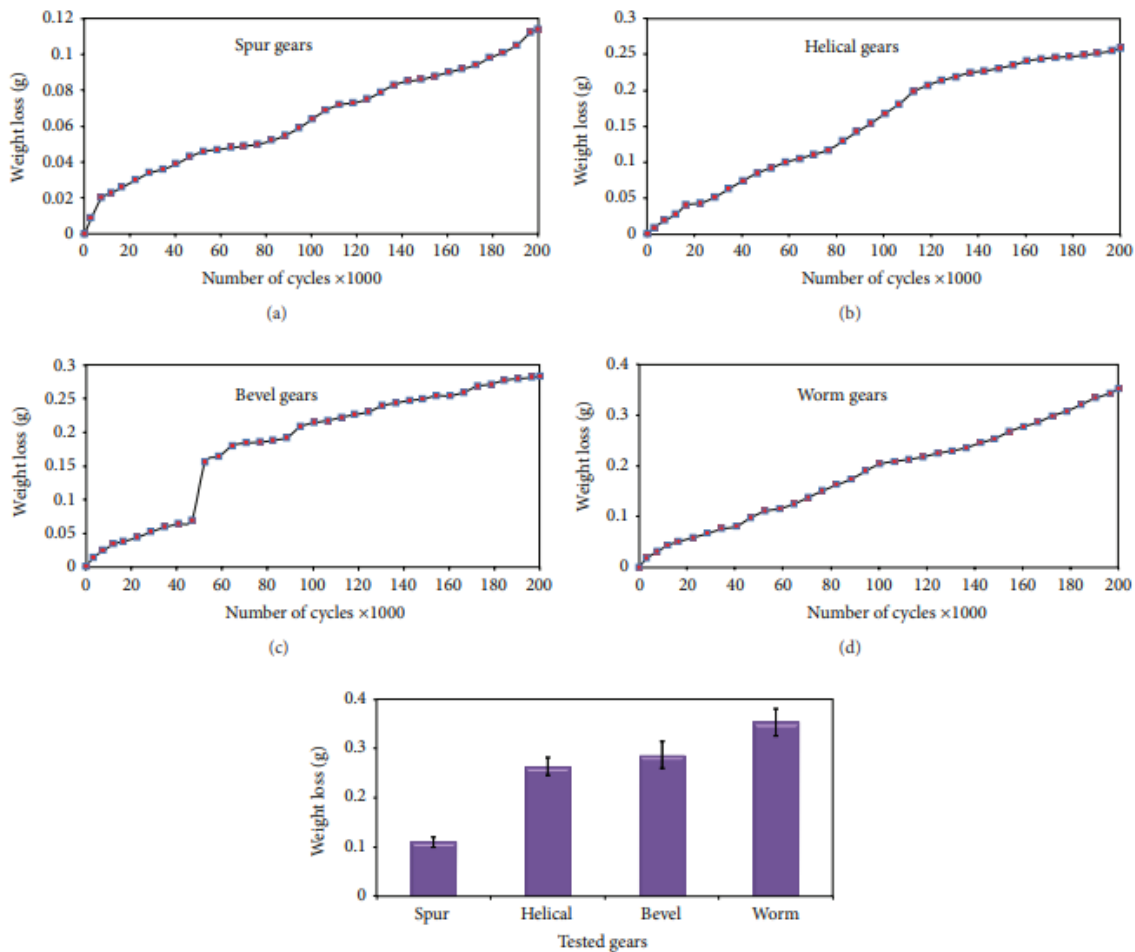
- يزداد معدل اهتراء المسننات الحلزونية والمخروطية والدودية للأسيتال بنسب 56%-60%-68% على التوالي مقارنة باهتراء مسنن العدلة.

- ويتبين أن مسنن أسيتال العدلة هو الأفضل من حيث مقاومة الاهتراء وأن المسنن الدودي هو أكثر الأنواع قابلية للاهتراء.

الاختلاف:

- المادة المستعملة هي مادة الأسيتال أما في بحثنا المادة المستعملة هي مادة PA6.

- تم اختبار اهتراء المسننات عند عزم قتل ثابت أما في هذا البحث تم اختبار اهتراء المسننات تحت تأثير عزوم قتل مختلفة.



الشكل (1-11) يوضح علاقة تحدد الخسارة النسبية في الوزن بدلالة عدد الدورات بالدقيقة

6- Traction and Wear Evaluation of a Number of Plastic Materials and Greases under Combined Rolling and Sliding Contact Condition [10].

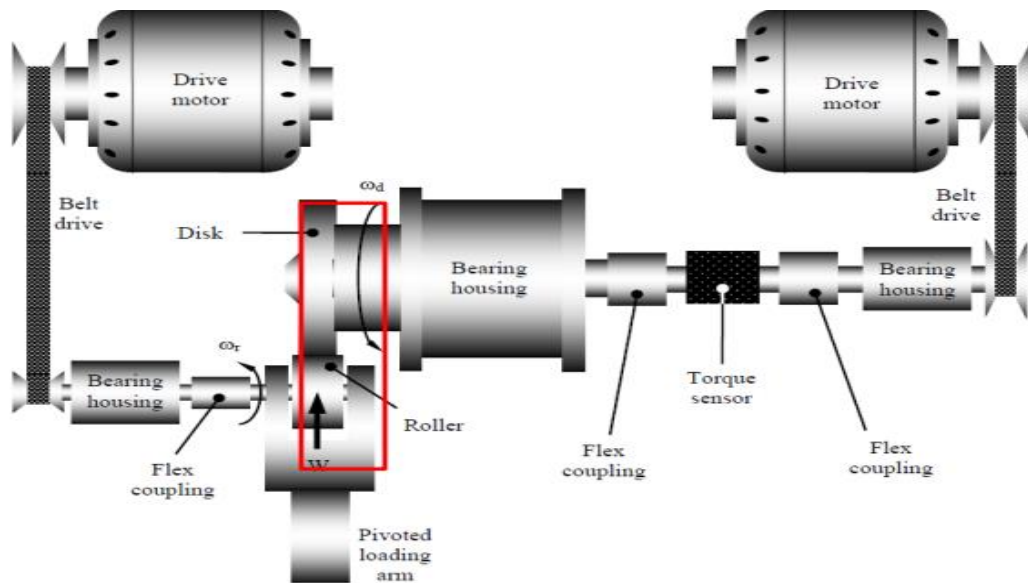
تقيم اهتراء مجموعة من المسننات البلاستيكية ضمن شروط الانزلاق والدرجة.

الهدف:

تهدف هذه الدراسة لتقييم اهتراء مجموعة متنوعة من المواد البلاستيكية لملاءمتها للسيارات وتطبيقات القيادة ضمن ظروف الاحتكاك واختبارات الاهتراء.

المنهجية:

- المادة المستعملة في هذه الدراسة مجموعة متنوعة من المواد البلاستيكية:
 - مسنن من مادة PA46 معزز بألياف الزجاج بنسبة 30%.
 - مسنن من مادة PA66 معزز بألياف الزجاج بنسبة 30%.
 - مسنن من مادة PEEK معزز بألياف الكربون بنسبة 30%.
 - أربع أنواع مختلفة من الشحوم.
- تمت التجربة باستعمال جهاز اختبار القرص المزدوج ويبين الشكل (1-12) الجهاز المستعمل تم تسمية المسنن الصغير بالقرص والمسنن الكبير بالدوار وتمت التجربة ضمن ظروف عمل محددة:
 - سرعة المحرك: 5000 دورة بالدقيقة كسرعة قصوى.
 - استطاعة المحرك 10 حصان.
- يحتوي جهاز الاختبار على أجهزة للتحكم الدقيق بسرعة الدوران.



الشكل (1-12) يوضح جهاز الاختبار المستعمل.

النتيجة:

- تبين الدراسة ان المسنن المصنوع من مادة PEEK أكثر مقاومة للاهتراء من باقي المواد المختبرة لكنه أكثر تكلفة وأكثر صعوبة للعمل في الألة.
- لذلك يفضل استعمال المسننات المصنوعة مادة PA46-PA66 في التطبيقات التي يكون فيها الاهتراء والاحتكاك قليل.

الاختلاف:

- المادة المستعملة PA46, PA66 معززة بألياف الزجاج و PEEK معزز بألياف الكربون أما في هذا البحث فالمادة المستعملة PA6 .
- تم الاختبار في هذه الدراسة عند شروط تشغيلية مختلفة سرعة المحرك 500rpm واستطاعة المحرك 10hp.

3-1: ملخص الدراسة المرجعية

يمكن تلخيص النقاط المشتركة في أغلب الأبحاث بالنقاط التالية:

- استعمال الطرائق التحليلية والتجريبية لتحليل الخصائص الميكانيكية للمسننات البلاستيكية.
- يمكن تقسيم الاهتراء الحاصل بالمسننات البلاستيكية لثلاث مراحل أساسية.
- يزداد الاهتراء الحاصل للمسننات البلاستيكية بازدياد العزم المطبق.

الفصل الثاني:

استعمال المواد البلاستيكية في تصنيع المسننات

- 2-1 : المواد المستعملة في تصنيع المسننات.
- 2-2 : البولي أميد وخصائصه.
- 2-3 : أجزاء المسنن.
- 2-4 : تصنيع المسننات وتصنيفها.
- 2-5 : الصفات الأساسية للمسننات البلاستيكية.

2-الفصل الثاني: استعمال المواد البلاستيكية في تصنيع المسننات

1-2: المواد المستعملة في تصنيع المسننات:

يستعمل طيف واسع من المواد البلاستيكية في تصنيع مختلف أنواع المسننات وتتميز هذه المواد بنعومة سطح أفضل من المعادن وفعالية كبيرة لتقليل الضوضاء وامتصاص عالٍ للاهتزاز، كما تتميز هذه المواد بوزن أخف من الفلزات المعدنية ومقاومة عالية للتآكل الناجم عن مياه البحر. وهذه الأمور تجعل من المواد البلاستيكية منافساً حقيقياً وبديلاً عن المواد المعدنية وفيما يأتي أهم المواد المستعملة في صناعة المسننات[11]:



الشكل (2-1) يظهر نماذج من مسننات مصنوعة من مواد بلاستيكية

• PA6 :

في هندسة الآلات تعد هذه المواد مواد عامة للمسننات، وتتميز بمقاومة للاهتراء [11].

• PA66 :

أكثر مقاومة للاهتراء مقارنة بـ PA6 وأقل امتصاص للرطوبة [11].

• LINNOTAM(PA6C) :

من حيث الأساس مثل PA6-PA66 حيث يتمتع بمقاومة عالية للاهتراء ودرجة عالية من الشفافية [11].

• **:LINNOTAM(HIPERFORMANCE 612)LINNOTAM DRIVE 612FE (PA6/126)**

البولي أميد الصلب المعدل ملائم للاستعمال في المناطق التي تكون تحت تأثير للأحمال العالية , وله مقاومة احتكاك مساوية LINNOTAM [11].

• **: LINNOTAM(HIPERFORMANCE 1200)LINNOTAM DRIVE 1200FE**

البولي أميد الصلب القاسي يتميز بامتصاص منخفض للماء، لذلك يعطي ثبات أبعاد أكثر من البوليميدات الأخرى، كذلك فهو ملائم للاستعمال في المناطق التي تكون تحت تأثير الأحمال العالية، ويمتاز بمقاومة عالية للاهتراء [11].

• **: LINNOTAM GLUDE (PA6C +OIL)**

يتميز بتزيت ذاتي؛ لذلك يستعمل في التطبيقات الجافة والتطبيقات التي تتطلب مقاومة اهتراء ممتازة.

• **: POM-C**

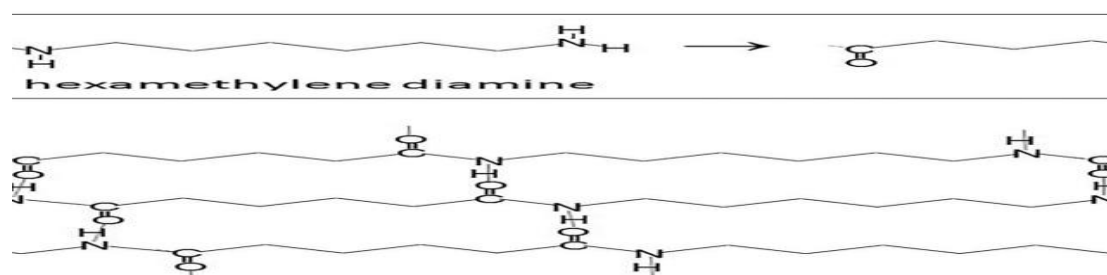
بسبب القابلية المنخفضة لامتصاص الرطوبة، فهو يستعمل للمسننات الصغيرة التي تتطلب دقة عالية للأبعاد، كما أن هذه المادة تكون قاسية ولا تلائم تطبيقات التشغيل الجاف لكن في حال التزيت الدائم فأن المسننات POMC تكون أكثر تحملاً من باقي البولي أميدات [11].

• **:PE-UHMW**

بسبب الثابتية المنخفضة، فإنه يستعمل فقط للمسننات التي تتعرض للأحمال العالية، وتتميز بمقاومة كيميائية عالية ومعامل تخميد جيدة حيث يكون ملائماً لتطبيقات التخميد الميكانيكي.

2-2 : البولي أميد وخصائصه:

البولي أميد عبارة عن سلسلة من البوليمرات التي تحتوي على روابط متكررة من الأميد (-CO-NH-)، مثال على ذلك البروتينات، والبولي أميد المصنع له اسم تجاري وهو النايلون [12-13].



الشكل (2-2) يوضح الصيغة الكيميائية لمركب البولي أميد.

لقد كان الحرير هو أول بوليمير بولي (أميد) (PA) استعمل استعمالاً تجارياً. فالحرير هو PA طبيعي تنتجه يرقات دودة القز.

حرير العناكب هو أيضاً PA طبيعي مكون من أحماض أمينية بسيطة. ويمكن النظر إليه كبوليمير طبيعي عالي الأداء. ولقد جرى إنتاج أول بوليمرات PA الاصطناعية في الثلاثينيات من القرن الماضي، يطلق عليها الآن اسم النايلون (NYLON). على الجانب الآخر من طيف منتجات PA نجد بوليمرات PA العطرية البحتة التي يطلق عليها اسم الأراميدات (Aramids). في الأراميدات تكون كل من كسر ثنائي الحمض وثنائي الأمين عطرية بطبيعتها. وفي الوقت الذي يصنف فيه النايلون بوليميراً هندسياً تصنف الأراميدات بوليمرات عالية الأداء [13].

من وجهة النظر الكيميائية، يمكن النظر إلى بوليمرات العطرية جزئياً بصفتها نايلوناً. الأكثر شيوعاً هو إدخال كسر ثنائية الحمض عطرية، إلا أنه هناك أنواع تستعمل إضافة إلى ذلك كسر ثنائية الأمين عطرية.

تعد بوليمرات PA العطرية جزئياً بوليمرات بولي (فتال أميد) (PPA) عندما تزيد نسبة ثنائيات الحمض العطرية إلى ثنائيات الحمض فيها على نسبة 60 في المئة، وبشكل سائد من حمض ترفتاك (TPA) أو حمض إيزوفتاليك (IPA). تعد بوليمرات PPA وبعض أنواع بوليمرات PA العطرية جزئياً بوليمرات عالية الأداء [13].

2-2-1 : خصائص الأמידات:

- تُنتج مادة البولي أميد عن طريق تفاعل الحمض الثنائي مع الديامين.
- يمكن أن تكون مادة البولي أميد مادة شحمية، شبه عطرية، أو عطرية بالكامل.

- تُدعى البولي أميدات العطرية بالأراميد، وهي أفضل من ناحية القوة، وأقوى في الإذابة، كما أنها مقاومة للهب أو الحرارة، ولكنها أغلى في الثمن، وصعبة الإنتاج.

- هناك نوعان مهمان من الأميدات العطرية، وهما: بولي (ب-فينيلين تيريفثالاميد).

poly (p-phenylene terephthalamide) وبولي (م-فينيلين أيزوفثالاميد) .

poly (m-phenylene isophthalamide).

- تمتلك البولي أميدات العطرية هيكلًا قويًا، وروابط هيدروجينية قوية، ترفع درجة انصهار المركب.

- البولي أميد الأليفاتية يتم انتاجه بدرجة أكبر من البولي أميد العطري، لأنه غير متبلور، ولا يتبلور إلا أثناء الحقن، ويمكن زيادة درجة التبلور هذه في عدة تطبيقات حسب الحاجة.

- أهم نوعين من البولي أميدات الأليفاتية، هما: نايلون 6.6 ونايلون 6، حيث أن كليهما يتميز بخواص ميكانيكية ممتازة، من هذه الخواص: المرونة واجهاد الشد والمتانة.

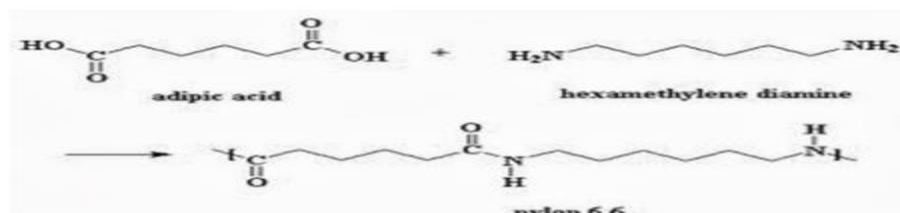
- كل الأميدات لها درجة انصهار عالية.

- كل الأميدات تمتلك مقاومة جيدة للزيوت، الفطريات، الكثير من المذيبات، وأيضاً للمواد القاعدية.

- يمتلك البولي أميد العديد من الخصائص التي تميزه عن غيره، فهو مقاوم الذوبان في السوائل العضوية، كما أنه مقاوم للتحلل في المحاليل القاعدية، ولكنه غير مقاوم للتحلل في الأحماض [13].

2-2-2 خصائص مادة البولي أميد 6.6 وتطبيقاتها:

النايلون 6.6 هو عبارة عن مادة متعددة الأميد مصنوعة بالبلورة التكتيفية لحمض الأديبيك ميثيل نيديامين وتحتوي كل وحدة مكررة على 12 ذرة كربون [14].



الشكل (2-3) يظهر الصيغة الكيميائية لمركب البولي أميد 6.6

تتميز هذه المادة بالخصائص الآتية:

- 1- مقاومة عالية للتآكل ونقطة انصهار عالية.
- 2- تحمل قيم اجهاد الشد الكبيرة.
- 3- مقاومة جيدة جداً للتحلل الضوئي.
- 4- تمتلك ميزة على المنتجات الصناعية, لأنه يقلل من الرطوبة في المنتجات الخام, كما أنه يمتلك نقطة انصهار عالية وثباتية عالية للأبعاد.

• الخصائص الفيزيائية للنايلون 6.6:

- 1- يمتلك النايلون 6.6 وزن جزئي 226.32g/mol وكثافة بلورية 1.24 g/(cm)^3 .
- 2- يمتلك سلاسل جزئية طويلة مما يؤدي إلى المزيد من الروابط الهيدروجينية وجعلها مرنة جداً.
- 3- يعد مستقراً جداً في الطبيعة.
- 4- النايلون 6.6 هو صلب غير متبلور, لذا يحتوي على خاصية مرونة كبيرة ويزوب بشكل طفيف في الماء المغلي.
- 5- لا تسمح خواصه الكيميائية بتأثره بالمذيبات مثل الماء والكحول وغير ذلك.
- 6- يعد صبغة النايلون 6.6 صعب جداً ولكن بمجرد صباغته يمتلك ثباتيه عالية للون ويصبح أقل عرضة للبهتان [14].

تطبيقات النايلون 6.6:

- يعد من المواد العاتمة ويتعلق استعماله فيما يأتي:
- يعدّ مضاد للماء في الطبيعة لذلك يستعمل في صناعة ملابس السباحة [13].
 - يمتلك نقطة انصهار عالية فهو مقاوم للحرارة والاحتكاك لذلك يعتبر مناسب في المطارات والمكاتب ومعظم الأجزاء المعرضة للاهتراء [14].



الشكل (2-4) يظهر منتجات مصنوعة من مادة البولي أميد 6.6

2-2-3 خصائص مادة البولي أميد 6 وتطبيقاتها:

نايلون 6 هو مادة البولي أميد شبه البلورية. على عكس معظم النايلون الأخرى، فإن النايلون 6 ليس بوليمر تكثيف، ولكن يتكون من بلمرة فتح الحلقة [14].



الشكل (2-5) يظهر الصيغة الكيميائية لمركب البولي أميد 6

- ألياف النايلون 6 قوية ولديها إجهاد شد عالية.
- مقاومة عالية للتآكل وللمواد الكيميائية مثل الأحماض والقلويات.
- مقاومة للتجاعيد وتتمتع بمرونة جيدة.
- يمكن للألياف امتصاص ما يصل إلى 2.4% من الماء، وهذا يقلل من قوة الشد.

- كالألياف تركيبية، يكون النايلون 6 ذو لون أبيض عمومًا ولكن يمكن صباغته قبل الإنتاج للحصول على ألوان مختلفة [14].

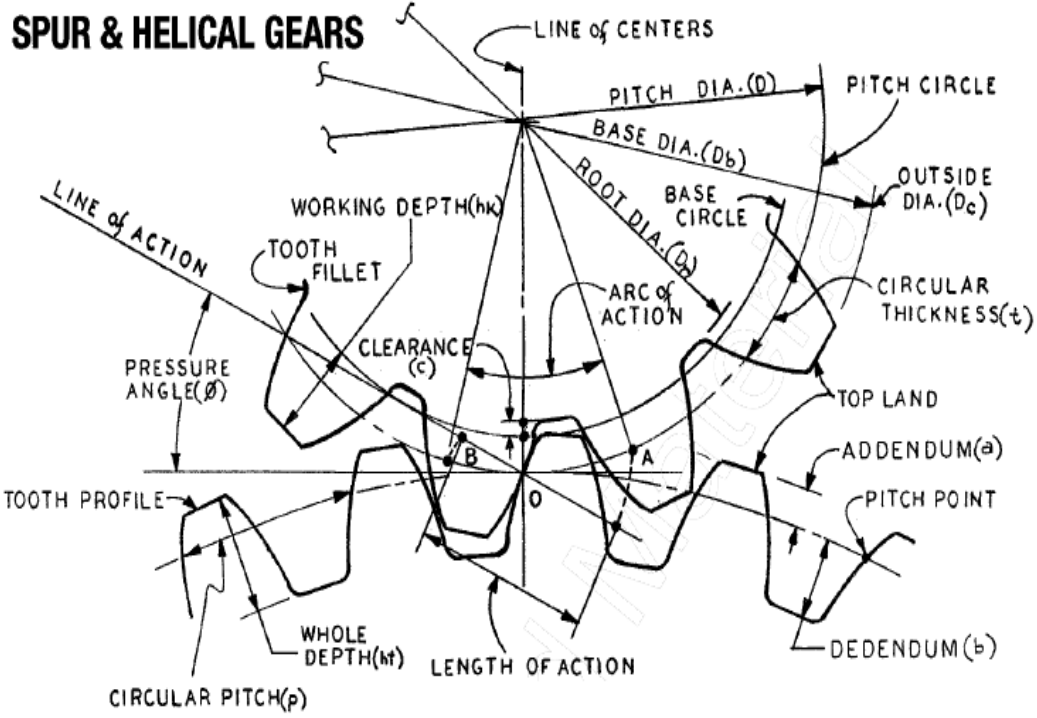
تطبيقات نايلون 6:

- تستعمل في التطبيقات التي تكون فيها المتانة والتآكل مهمة، مثل المسننات.
- تستعمل ألياف النايلون 6 في المنسوجات والأقمشة والسجاد.
- تستعمل أفلام النايلون 6 لتغليف المواد الغذائية، والتي توفر صلابة ونفاذية منخفضة للغاز، إلى جانب مقاومتها للحرارة.
- خصائص التشحيم الذاتي تجعله مناسباً للمسننات والمحامل.
- العزل الكهربائي، ومقاومة التآكل والمتانة يجعلون من النايلون 6 خيارًا جيدًا لأجزاء الحمل العالية في التطبيقات الكهربائية، مثل: العوازل، وصناديق التبديل، ومشابك الكابلات في كل مكان [14].

2-3 أجزاء المسنن:

تتكون أجزاء المسنن من التالي:

- دائرة الخطوة Pitch circle هي دائرة مستمدة من عدد الأسنان والخطوة الدائرية.
- الخطوة الاسطوانية Pitch cylinder هي اسطوانة قطرها مساوٍ للخطوة الدائرية.
- قطر دائرة الخطوة Pitch diameter (D) هو قطر دائرة الخطوة في حال كون المسننات متوازية، فيمكن حسابه بدلالة المسافة المركزية [15].
- زاوية الضغط Pressure angle (ϕ) هي الزاوية رأسها على محيط دائرة الخطوة تتشكل بين خط الضغط عندما يكون عمودياً على سطح السن ومماس دائرة الخطوة [15].
- العمق الكلي ht ما يعادل عمق العمل؛ فضلاً عن الفراغ بين دائرة الخطوة ورأس السن.
- ارتفاع منطقة العمل hk . منطقة العمل: هي مسافة الاشتراك بين الاسنان.
- ساق السن Addendum هو الارتفاع القطري للسن فوق دائرة الخطوة [15].
- جذر السن DEDENDUM هو العمق القطري للسن تحت دائرة الخطوة.
- الخلوص Clearance وهو الفرق في الارتفاع العمودي بين ساق السن وجذره [15].
- البروفيل Profile هو المنحنى الذي يشكل جانبية وجه السن [15].



الشكل (2-6) يظهر البارامترات الأساسية للمسنن.

2-4 تصنيع المسننات وتصنيفها:

يتم تصنيع المسننات البلاستيكية بنفس طريقة التشغيل الآلي للمسننات المعدنية نفسها، حيث إن قوة القطع منخفضة، ويمكن التصنيع بواسطة ملف واحد وبمعدلات تغذية عالية وبالتالي يقلل من تكاليف التصنيع، وعند التصنيع باستعمال معدلات تغذية عالية تظهر أسطح متموجة. في البداية تعطي هذه التموجات انطباعات غير مناسبة. ومع ذلك ففي التطبيقات الجافة أسطح الأسنان سوف تنعم بسرعة بعد فترة زمنية قصيرة من التشغيل.

أما في تطبيقات التشحيم يعمل الشكل المتموج كتجويف تشحيم حيث يجمع زيت التشحيم، وهذا يعطي ميزة للمسننات؛ بعبارة أخرى لا يؤدي هذا التموج لأي انخفاض في الجودة، ويعتمد تشغيل المسننات بشكل أساسي على الموديل وتحقيق جودة من 9 to 10.

وفيما يتعلق بتحقيق جودة الأسنان يجب مراعاة الفراغ بين مسننات البلاستيك بحيث تتناسب مع بعضها. لذلك يسمح بزيادة مستويات التفاوت المسموح بها عن تلك المسموح بها في حالة استخدام المسننات معدنية، ويطبق ذلك بصفة خاصة على مسننات نقل الطاقة [16].

تصنف المسننات إلى:

- **المسننات الأسطوانية ذات الأسنان المستقيمة :Spur Gears**

تستعمل هذا النوع من المسننات في نقل الحركة بين المحاور المتوازية، وهذه المسننات مزودة بأسنان مستقيمة موازية لمحور دورانها، ويمكن تعشيقها داخلياً أو خارجياً كما هو موضح في الشكل (2-7) .



الشكل (2-7) يظهر مسنناً اسطوانياً ذات أسنان مستقيمة.

- **المسننات الحلزونية Helical Gears:**

تستعمل المسننات الحلزونية لنقل الحركة، وتعديل السرعات أو اتجاه الحركة بشكل واسع في الآلات والمعدات، وسميت بهذا الاسم لكون أسنانها حلزونية الشكل، وقد أكسبها ذلك قدرة على تحمل قوى كبيرة، ومزايا التعشيق الجيد بين الأسنان ونعومة الحركة بين المسننات، مما أشاع استعمالها في الآلات والمعدات الصناعية.

ومن خلال التجربة العملية تبين أن المسننات البلاستيكية الحلزونية ذات الأسنان الحلزونية الصغيرة تتميز بتشغيل أقل ضجة من المسننات البلاستيكية العدلة، كما أن هذه المسننات تتميز بقدرة على تحمل القوى المؤثرة أكثر من مثيلاتها الفولاذية وبالرغم من أن طول خط اتصال السطح يزداد والقوى تتوزع بين عدة أسنان إلا أن القوى غير متساوية والأسنان تتشوه مما يخفض من مميزات المسننات الحلزونية إلى حد ما [16].



الشكل (2-8) يظهر مسنناً حلزونياً

- **المسّنّات المخروطية Bevel Gears:**

تستعمل هذه المسّنّات في الحركة بين المحاور المتقاطعة وفي حالة الأحمال أو السرعات المرتفعة [17].



الشكل (9-2) يظهر مسنناً مخروطياً

- **المسّنّات الدودية worm Gears:**

تستعمل هذه المسّنّات بين المحاور غير المتوازية وغير المتقاطعة والمتعامدة، كما هو موضح في الشكل (10-2).



الشكل (10-2) يظهر مسنناً دودياً

تمتاز هذه المسّنّات بنسب تعشيق عالية وبصغر الحيز الذي تشغله [16-17].

2-5 الصفات الأساسية للمسّنّات البلاستيكية:

- **الضجيج المنخفض:**

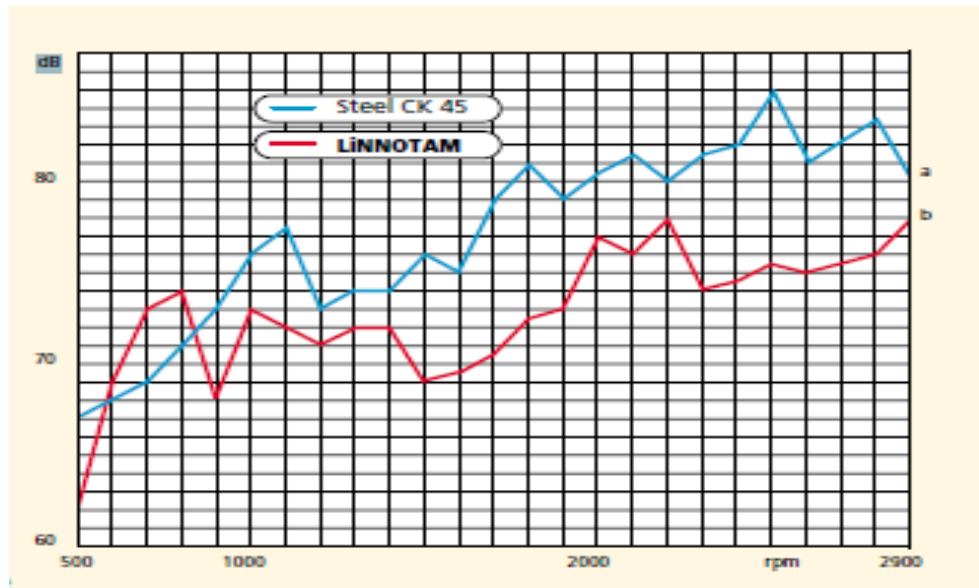
عند المقارنة بين المسّنّات البلاستيكية والمسّنّات المعدنية من حيث الضجيج فإن المسّنّات البلاستيكية تتميز بضجيج أقل حيث يتم تصميم هذه المسّنّات بخلوصات أقل (بين المسّنّات)؛ الأمر

الذي يؤدي إلى تعشيق أكثر عمقاً وبالتالي إلى ضجيج أقل، كما أن خاصية الطراوة الموجودة في أغلب هذه المواد تؤدي إلى انزلاق أكبر للمسننات على بعضها، مما يعطي ضجيج أقل مقارنة بالمسننات المعدنية.

يوضح المخطط منحنيات شدة (كثافة) الصوت: a: للمسننات فولاذ / فولاذ

b: فولاذ / بلاستيك

حيث يبلغ الحد الأعظمي للاختلاف حوالي 9ab؛ لذلك وبناءً على هذا فإن فولاذ / فولاذ يصدر ضجيج أعلى بثلاث مرات من فولاذ / بلاستيك [18].



شكل (11-2) يوضح علاقة الضجيج بعدد الدورات بالدقيقة لتعشيق مسننات مصنوعة من الفولاذ مع بعضها ومسننات من البلاستيك مع مسننات من الفولاذ حسب نوع المادة.

• انخفاض التكلفة:

المسننات المصنوعة من البلاستيك يمكن أن تكون بديلاً فاعلاً من حيث التكلفة عن المعدن حيث إن طرق تصنيع المسننات البلاستيكية يعتمد بشكل أساسي على التشكيل بالحقن أو الصب. هذا يجعل توحيد القطع أمراً سهلاً؛ مما يخفض الكلفة النهائية بشكل ملحوظ [18].

• المتانة:

في بيئات الضغط المنخفض فإن المسننات البلاستيكية غالباً ما تقدم عمر أطول من المعادن كل من مادتي polyamide، Acetyl فهي تعطي مقاومة جيدة جداً من حيث مقاومة الاحتكاك والاهتراء ومواصفات ميكانيكية جيدة .

- مقاومة المواد الكيميائية:

مقارنة مع معظم المعادن فالبلاستيك هو أكثر مقاومة للتآكل الناتج عن المواد الكيميائية كالزيوت والمذيبات العطرية[18].

- انخفاض الوزن:

كثافة البلاستيك أقل من المعادن حتى لو عززت بمواد كالزجاج أو الكربون أو غيرها من المواد. فالمواد البلاستيكية يمكن أن تقلل لحد كبير من العطالة.

الفصل الثالث:

تصميم المسننات البلاستيكية

3-1: أساسيات في تصميم المسننات البلاستيكية

3-2: قوانين حساب مسننات اللدائن الحرارية

3: تصميم المسننات البلاستيكية

3-1 : أساسيات في تصميم المسننات البلاستيكية:

تستمر المسننات البلاستيكية في إزاحة المسننات المعدنية عن ساحة التطبيقات الآخذة في الاتساع. ويجري أيضا تعزيز خصائصها الفريدة من نوعها مع التطورات الجديدة، سواء في المواد أو في التجهيز. وفي هذا الصدد، يمكن إنتاج المسننات البلاستيكية بشكل مماثل للمسننات المعدنية عن طريق التشغيل أو التشكيل أو عن طريق القوالب [19].

يجب أن يكون مهندس التصميم على دراية بمجموعة من العوامل التي تتعلق بالمسننات البلاستيكية ومن أهم هذه العوامل ما يأتي [19]:

- سعة تحميل أقل مقارنة بالمعادن.
- عدم استقرار الأبعاد بسبب ازدياد معامل التمدد الحراري وامتصاص الرطوبة مقارنة بالمعادن.
- قدرة منخفضة على العمل في درجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة جداً.
- تتأثر سلباً بـ مواد كيميائية معينة وكذلك ببعض مواد التزيت.
- يمكن أن تؤدي عملية الانتاج غير الصحيحة إلى حدوث ضغوط داخلية تتمركز عند جذور الأسنان مما يؤدي إلى زيادة التشوه.
- إن تكاليف البلاستيك تتبع الأسعار البتروكيميائية، وبالتالي فهي أكثر تقلباً، وخاضعة لزيادات في الأسعار.
- فيما يلي أهم البيانات التي يجب استعمالها في تصميم المسننات وفي تحديد أبعاد المسننات:

• الموديل-زاوية الضغط

- تتوقف قدرة المسننات البلاستيكية على تحمل القوى المؤثرة عليها بشكل كبير على اختيار الموديل وزاوية الضغط وعلى اعتبار القوة المحيطة (Fu) ثابتة فإنه كلما زادت زاوية الضغط تزداد القوة في جذر السن. وعلى الرغم من ذلك، فإن الزيادة الفعلية تكون أقل مقارنةً بالمسننات الفولاذية حيث يصبح عامل الاتصال، أقل ويصبح من الصعب تعشيق عدة اسنان في الوقت نفسه.

- لزيادة قدرة تحمل المسننات البلاستيكية للقوى المؤثرة فمن الأفضل زيادة عامل التعشيق بدلا من زيادة قدرة تحمل جذر السن الفردي.

- ومما ورد يمكننا أن نستنتج الآتي:

1- يفضل استعمال موديل صغير للدائن الحرارية المرنة المتينة (تزيد عامل التعشيق ← تعشق عدة اسنان في الوقت نفسه)

2- يفضل استعمال موديل كبير للدائن الحرارية القاسية (تزيد قوة جذر السن، ولا يمكن الحصول على عامل تعشيق كبير بسبب التشوه الحاصل عن التصنيع).

- زاوية الضغط محددة بـ 20° ، ولكن في بعض الأحيان نحتاج لتغييرها. فبزاوية ضغط $> 20^\circ$ تعطي أسناناً أقل سماكة وأقل حملاً مع مقطع عرضي حاد للأسنان وضجة تشغيل قليلة، أما إذا كانت زاوية ضغط الأسنان $< 20^\circ$ فتعطي أسناناً أكثر حدة، وذات سماكة أكبر ومع قوة جذر كبيرة [20].

• تصحيحات البروفيل

التصحيحات ضرورية بشكل عام في الحالات الآتية:

1- جعل أزواج المسننات تعتمد على قاعدة المحور المحدد (تصحيح سلبي أو إيجابي للبروفيل).

2- عدد الأسنان، غير محقق وبالتالي إلى إضعافها (تصحيح إيجابي للبروفيل).

في هذه التطبيقات يجب الانتباه إلى أن التصحيحات السلبية للبروفيل تؤدي إلى إضعاف المسننات، ونتيجة ذلك تصبح قوة السن أقل ما يمكن. وهذا يؤدي لتخفيض عمر المسنن وقدرته على تحمل قوى التأثير [20].

• خلوص الجانب - خلوص القمة

بسبب التمدد الحراري للمسننات البلاستيكية وتأثيرها على أبعاد المسننات يجب الانتباه لترتيب هذه المسننات بحيث تضمن أصغر خلوص محقق للجانب والقمة، لذلك عند استعمال المسننات البلاستيكية يجب الحفاظ على الحد الأدنى للخلوص الجانبي بحيث يساوي (0.04) من الموديل.

ويعطى الخلوص الجانبي بالعلاقة الآتية [20]:

$$Se = Seo + 2 \cdot l \cdot \sin \alpha (K_\alpha + K_f) \text{ [mm]} \quad (1)$$

Seo: خلوص الجانب الأصغر (mm).

K_α : معامل استطالة.

K_f : معامل التصحيح لامتناس الرطوبة.

α : زاوية الضغط.

L : البعد بين مركزي المسننين (mm).

بالنسبة لخلوص القمة يساوي 0.3.modulus ويأخذ في الحسبان تقلبات درجة الحرارة $\pm 20C^{\circ}$ [20].

• انتقال القدرة

مجاري الأخاديد تستعمل بشكل عام للاتصال في الآلات، وكذلك تستعمل في المسننات البلاستيكية لتحقيق هذا الاتصال. حيث يجب جعل جوانب مجرى الأخاديد أقل ما يمكن، والتأكد بعدم تجاوز ضغط السطح للحد المطلوب.

يتم حساب ضغط السطح بالعلاقة (2) [20]. ويوضح الشكل (3-1) شكل يظهر شكل الأخاديد الموجودة على المحامل:

$$p_f = \frac{M_d \cdot 10^3}{i \cdot r_m \cdot h \cdot b} \quad (2)$$

M_d : عزم الدوران المنقول (N m).

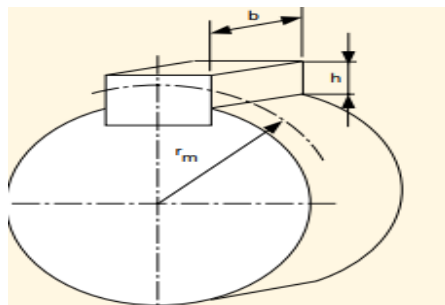
i : عدد جوانب الأخاديد.

r_m : نصف القطر بين المركز المحور ومركز المحمل الجانبي (mm) .

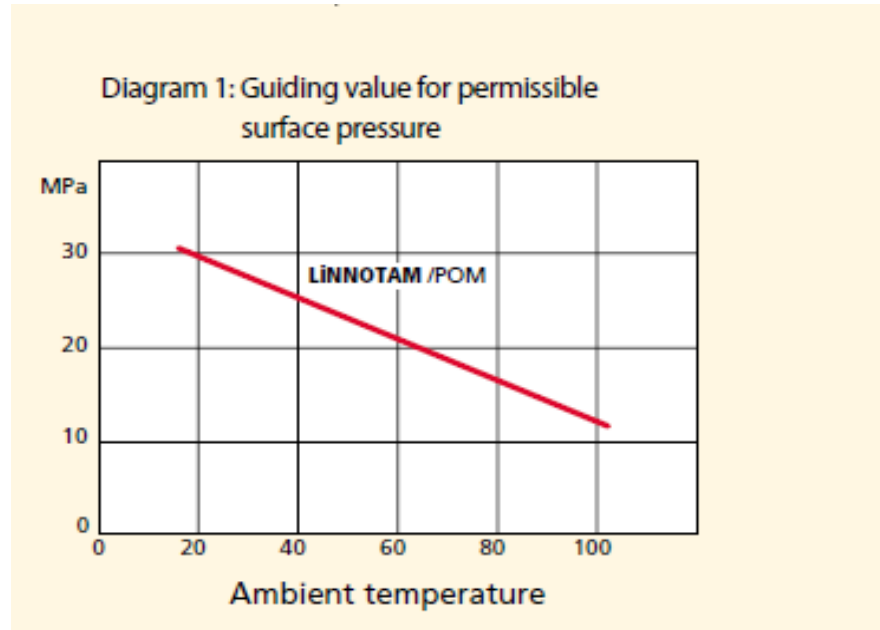
h : ارتفاع المحمل الجانبي (mm).

b : عرض المحمل الجانبي (mm).

تتم المقارنة بين المعدل المحسوب والمخطط (3-2) بحيث لا تتجاوز القيم القصوى المسموح بها.



الشكل (3-1) يظهر شكل الأخدود (المجرى) الموجود على المسنن

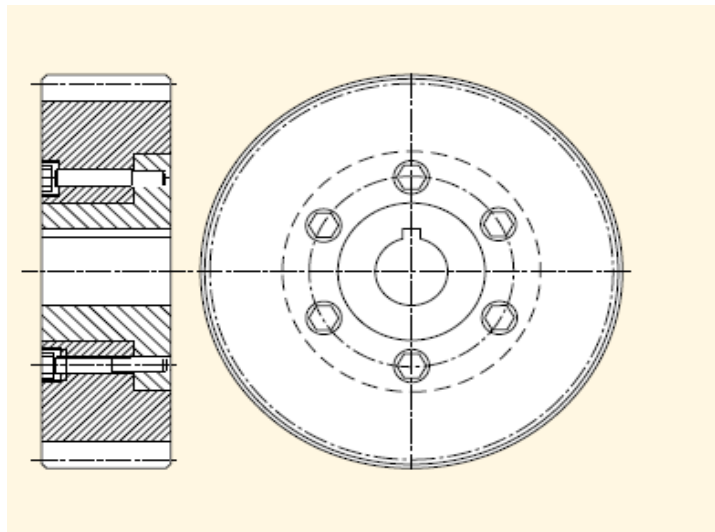


الشكل (3-2) يظهر نسبة ضغط السطح المسموح

وهذه القيمة لا تحتوي على عامل أمان لأنواع صدمات القوى أو احتياطات السلامة، ويوصى بعامل أمان من (1.5-4) حسب مقدار القوى.

إذا كان الضغط الجانبي المحسوب يعطي قيمة ضغط عالٍ تتجاوز الحدّ المسموح أو إذا كان هناك مخاوف من تشوه المحور فإنه يوجد عدة طرق لنقل القدرة وإحدى هذه الطرق الاتصال غير الإيجابي بجسم المسنن بواسطة قطعة فولاذية يتم شدها بشكل جيد على جسم المسنن [20].

يوضح الشكل (3-3) حلاً ممكناً للتصميم.



الشكل (3-3) يظهر حلاً للحدّ من تأثير ضغط السطح.

لتثبيت القطعة الفولاذية يوصى باستعمال صامولات تجويف السداسي; وفقاً لـ DIN 912 وفق الصنف 8.8 أو وفق الأبعاد الآتية:

Tip diameter	Number of screws	Screw size
up to 100 mm	3	M6
up to 200 mm	4	M 8
above 200 mm	6	M8/M 10

للمسئونات ذات السماكة القليلة يستعمل صامولات تجويف سداسي وفق لـ DIN 6912 وفق الصنف 8.8.

3-2 : قوانين حساب مسننات اللدائن الحرارية

أسباب الانهيار المبكر لمسننات اللدائن الحرارية بشكل عام تخضع للقوانين والمبادئ نفسها التي تسبب الانهيار في المسننات الفولاذية.

حيث لا يوجد اختلاف في حساب المسننات البلاستيكية عن الطرق المعروفة. والفرق الوحيد هو خصائص المواد البلاستيكية التي تدرج في الحسابات بشكل عوامل تصحيح [20].

• حساب العزم M_d والسرعة المحيطة v والقوة المحيطة F_u

$$M_d = 9550 \cdot \frac{P}{n} \quad (\text{N.m}) \quad (3)$$

حيث:

P : الطاقة (kw)

n : السرعة (min^{-1})

$$F_u = 2.10^3 \cdot \frac{M_d}{d_0} \quad (\text{N}) \quad (4)$$

حيث:

M_d : العزم (N.m)

$$V = \frac{d_0 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 10^3} \quad (\text{m/s}) \quad (5)$$

حيث:

d_0 : البعد المرجعي (mm)

• درجة حرارة جسم السن θ_z ودرجة حرارة جانب السن θ_f في التشغيل المتواصل

كما هو الحال في جميع التصميمات المصنوعة من اللدائن الحرارية، فإن درجة الحرارة تؤدي دوراً رئيساً في قدرة تحمل المسنن للقوى المؤثرة، ويتم التمييز بين درجة حرارة جسم السن ودرجة حرارة جانب السن.

حيث درجة حرارة جسم السن هي المسؤولة عن تحميل جذر السن وعن تشوه السن؛ بينما تستعمل درجة حرارة جانب السن لتقدير مستوى الاهتراء. ومن الصعب جداً تحديد هاتين الدرجتين بدقة؛ بسبب صعوبة تحديد معامل نقل الحرارة للمسنن الدوار بدقة، وإنما بشكل تقريبي.

وبالتالي فإن أي تحديد حسابي للحرارة يحتوي على مقدار معين من الخطأ وخاصة عند حساب درجة حرارة جانب السن حيث تنتج قيم عالية وفي بعض الحالات فوق درجة حرارة انصهار البلاستيك.

ولكن من الناحية العلمية قد لوحظ عدم وجود ذوبان في بروفيل السن ومع ذلك يمكن اعتبار هذه القيم سمات ومقارنة لدرجات الحرارة ومن المفترض أن القيم المحسوبة الزائدة تعتبر ضماناً لتصميم جانبي آمن.

فيما يتعلق بالحسابات الحرارية للمسننات، حرارة الاحتكاك، الحرارة المنتشرة بين المسنن وغرفة المسنن والحرارة المنتشرة بين غرفة المسنن والجو المحيط يجب الأخذ بعين الاعتبار المعادلة الآتية [20]:

$$\theta_{1,2} = \theta_0 + P \cdot \mu \cdot 136 \cdot \frac{i + 1}{z_{1,2} + 5i} \cdot \left(\frac{k_2 \cdot 17100}{b \cdot z_{1,2} \cdot (v \cdot m)^{\frac{1}{4}}} + 7,33 \cdot \frac{k_3}{A} \right) [^{\circ}\text{C}] \quad (6)$$

حيث:

يشير الرقم 1: الى المسنن القائد.

يشير الرقم 2: الى المسنن المقود.

θ_u : درجة حرارة المحيط $^{\circ}\text{C}$.

P : الاستطاعة kW.

μ : معامل الاحتكاك.

i : معدل الانتقال $Z1/Z2$.

z_1 : عدد اسنان المسنن القائد.

Z_2 : عدد اسنان المسنن المقود.

k_2 : معامل يتعلق بالمواد.

b : عرض سطح السن mm.

V : السرعة المحيطية m/sec.

A : مساحة علبة المسنن m^2 .

k_3 : معامل يتعلق بالمسنن.

بالنسبة للمعامل k_2 يعطى حسب درجة الحرارة المحسوبة وفق الجدول (3-1):

الجدول (3-1) يوضح قيم k_2 حسب درجة الحرارة	
Calculation of root temperature	Calculation of flank temperature
$k_2 = 7$ for mating components steel/plastic	$k_2 = 1.0$ for mating components steel/plastic
$k_2 = 10$ for mating components plastic/plastic	$k_2 = 2.4$ for mating components plastic/plastic
$k_2 = 0$ in the case of oil lubrication	$k_2 = 0$ in the case of oil lubrication
$k_2 = 0$ at ≤ 1 m/sec	$k_2 = 0$ at ≤ 1 m/sec

بالنسبة للمعامل k_3 ومعامل الاحتكاك μ يعتمد على درجة الحرارة المحسوبة ويبين الجدول (3-2) قيم المعامل k_3 ومعامل الاحتكاك μ .

الجدول (3-2) يوضح قيم المعامل k_3 ومعامل الاحتكاك μ .	
$k_3 = 0$ for completely open gear $m^2 K/W$	$\mu = 0.04$ for gears with permanent lubrication
$k_3 = 0.043$ to 0.129 for partially open gear $l n m^2 K/W$	$\mu = 0.07$ for gears with oil mist lubrication
$k_3 = 0.172$ for closed gear in $m^2 K$	$\mu = 0.09$ for gears with assembly lubrication
	$\mu = 0.2$ PA/steel
	$\mu = 0.4$ PA/PA
	$\mu = 0.18$ POM/steel
	$\mu = 0.2$ POM/POM
	$\mu = 0.25$ PA/POM

- درجة حرارة جسم السن ϑ_z ودرجة حرارة جانب السن ϑ_f في عمليات التشغيل المتقطع.

بسبب انخفاض كمية الحرارة الناتجة عن الاحتكاك تزداد قدرة المسننات على تحمل الحمولات في التشغيل المنخفض عند خفض دورة التشغيل [19].

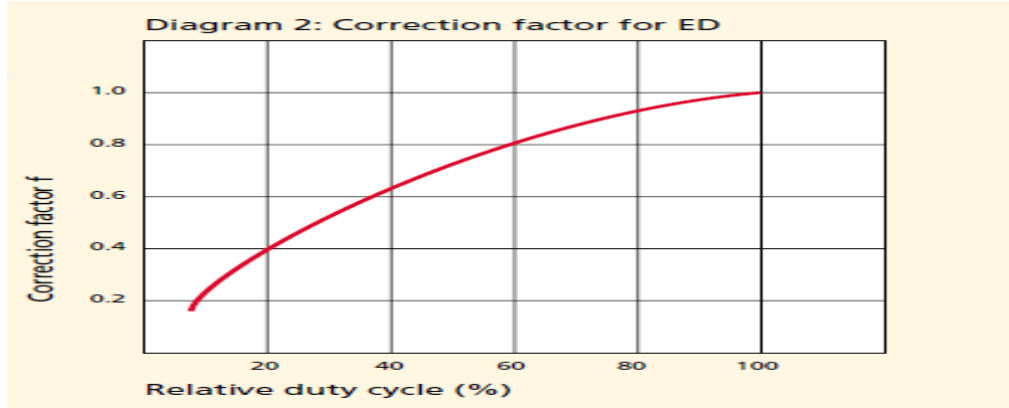
دورة التشغيل هي النسبة المئوية لحاصل تقسيم زمن التحميل (t) على زمن الدورة الإجمالي (T) وتعطى بالعلاقة الآتية [19]:

$$ED = \frac{t}{T} \cdot 100 [\%] \quad (7)$$

T: زمن الدورة (min).

t: مجموع ازمنة التحميل خلال زمن الدورة (min) .

بالنسبة للمسننات البلاستيكية يكون زمن الدورة الإجمالي يساوي $T=75\text{min}$ وتحدث جميع أزمنة التحميل (t) خلال هذه الدورة وباستعمال القيمة التي يتم حسابها بهذه الطريقة (دورة التشغيل) يمكن تحديد عامل التصحيح f من الرسم البياني (3-3):



الشكل (3-4) يظهر معامل التصحيح في دورة تشغيل ED.

يجب الأخذ في الحسبان أن كل مدة تحميل تتجاوز 75min يتم تقييمها كحمل مستمر.

وبأخذ عامل التصحيح ودرجة حرارة جانب السن ودرجة حرارة جسم السن تصبح العلاقة كالآتي [20]:

$$\theta_{1,2} = \theta_0 + P \cdot f \cdot \mu \cdot 136 \cdot \frac{i+1}{z_{1,2} + 5i} \cdot \left(\frac{k_2 \cdot 17.100}{b \cdot z_{1,2} \cdot (v \cdot m)^{\frac{3}{4}}} + 7,33 \cdot \frac{k_3}{A} \right) [^{\circ}\text{C}] \quad (8)$$

ويمكن أخذ قيم معامل الاحتكاك والمعامل k_2, k_3 من الجدول (3-2), (3-1).

• حساب مقاومة جذر السن

إذا تجاوز مقدار الحمل، على جذر السن الحد المسموح به فإن الأسنان من المفترض أن تنهار؛ لذلك يجب حساب مقدار حمل جذر السن ومقارنته بالقيم المسموح بها.

لتصنيع مسنن قائد ومقود من البلاستيك يجب القيام بالحساب بشكل منفصل كلا على حدة [20].

يتم حساب مقدار الاجهاد الذي يتعرض له السن من العلاقة (9) [20]:

$$\sigma_F = \frac{F_U}{b \cdot m} \cdot K_B \cdot Y_F \cdot Y_\beta \cdot Y_\epsilon \quad [\text{MPa}] \quad (9)$$

F_U : القوة المحيطةية (N).

b : عرض المسنن (mm).

k_b : عامل تشغيل ويعطى حسب نوع عملية التشغيل.

Y_F : معامل شكل لأسنان مخطط (3-8).

Y_ϵ : معامل معدل الاتصال $\epsilon_a = \epsilon_{az1} + \epsilon_{az2}$ and $Y_\epsilon = \frac{1}{\epsilon_a}$.

Y_B : عامل حلزوني يأخذ لزيادة قدرة المسنن الحلزوني على تحمل القوى المؤثرة في المسننات البلاستيكية 0.1.

m : الموديول.

Table 1: Partial transverse contact ratio for gears without profile correction

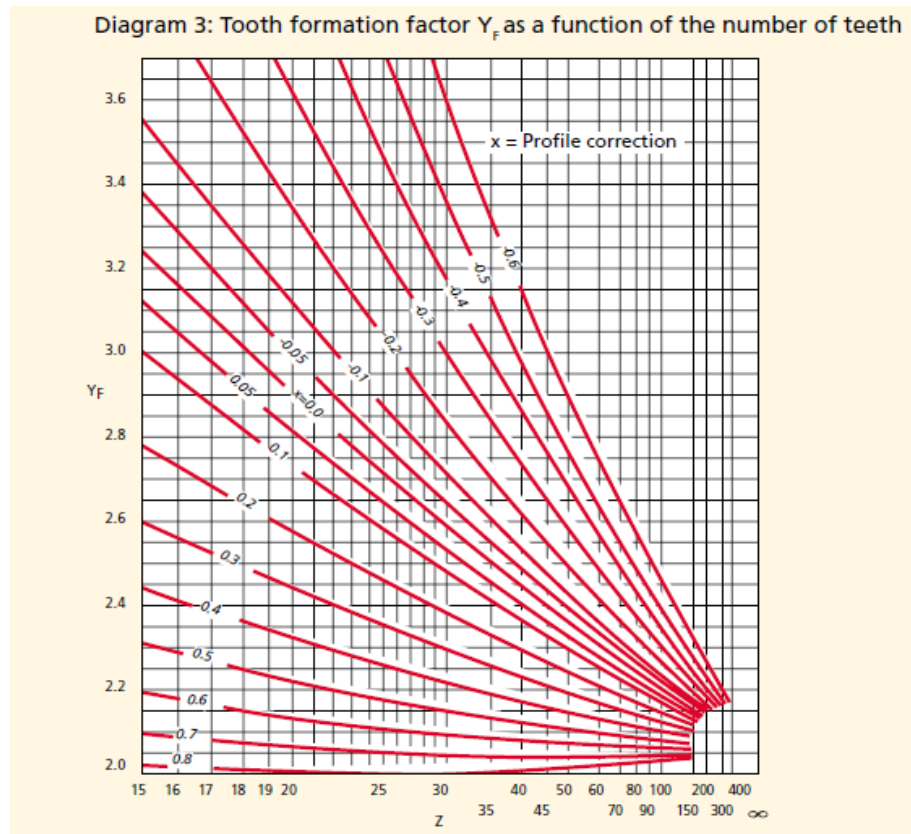
z	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$\epsilon_{\alpha z}$	0.731	0.740	0.749	0.757	0.765	0.771	0.778	0.784	0.790	0.796	0.801
z	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
$\epsilon_{\alpha z}$	0.805	0.810	0.815	0.819	0.822	0.827	0.830	0.833	0.837	0.840	0.843
z	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
$\epsilon_{\alpha z}$	0.846	0.849	0.851	0.854	0.857	0.859	0.861	0.863	0.866	0.868	0.870
z	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
$\epsilon_{\alpha z}$	0.872	0.873	0.875	0.877	0.879	0.880	0.882	0.883	0.885	0.887	0.888
z	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
$\epsilon_{\alpha z}$	0.889	0.891	0.892	0.893	0.895	0.896	0.897	0.899	0.899	0.900	0.901
z	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
$\epsilon_{\alpha z}$	0.903	0.903	0.904	0.906	0.906	0.907	0.909	0.909	0.910	0.911	0.912
z	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
$\epsilon_{\alpha z}$	0.913	0.913	0.914	0.915	0.916	0.917	0.917	0.918	0.919	0.919	0.920
z	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101
$\epsilon_{\alpha z}$	0.920	0.921	0.922	0.922	0.923	0.924	0.924	0.925	0.925	0.926	0.927

الشكل (3-5) يوضح معامل الاتصال الجزئي ϵ_{az} .

Table 2: Operating factor K_B

Mode of operation of the driving machine	Mode of operation of the driven machine			
	Even	Moderate impact	Average impact	Strong impact
Even	1.0	1.25	1.5	1.75
Moderate impact	1.1	1.35	1.6	1.85
Average impact	1.25	1.5	1.75	2.0
Strong impact	1.5	1.75	2.0	2.25

الشكل (3-6) يظهر قيم عامل التشغيل K_B .



الشكل (3-7) يوضح قيم معامل شكل السن Y_F .

في حال بروفيل تصحيح أسنان المسنن يجب ضبط القيمة Y_F وفق المعادلة الآتية [20]:

$$\epsilon_a = \frac{Z_1}{2\pi} \cdot (\tan \alpha_{E1} - \tan \alpha_{A1}) \quad (10)$$

تعتمد قيمة $\tan \alpha_{E1}$ على معامل التصحيح :

$$D_1 = \frac{d_{k1}}{d_{G2}}$$

حيث:

d_{k1} = البعد الخارجي للمسنن القائد.

d_{G2} = البعد الداخلي للمسنن المقاد.

$$\tan \alpha_{A1} = \tan \alpha_{tw} \cdot \left(1 + \frac{z_2}{z_1}\right) - \frac{z_2}{z_1} \tan \alpha_{A2} \quad (11)$$

تعتمد قيمة $\tan \alpha_{A2}$ على معامل التصحيح :

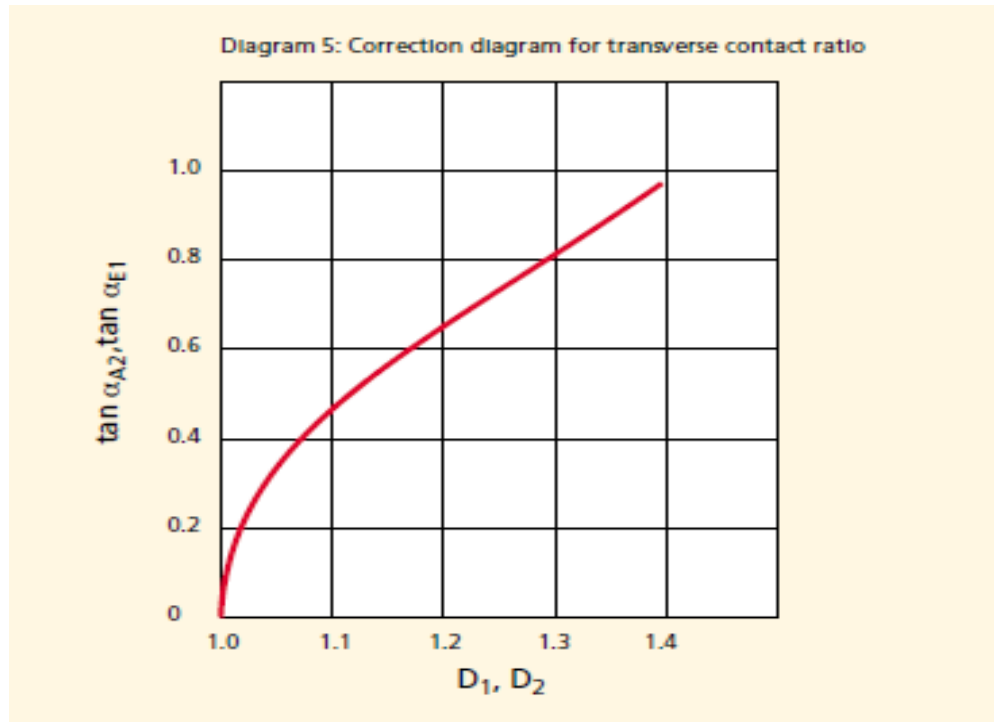
$$D_2 = \frac{d_{k2}}{d_{G1}}$$

حيث:

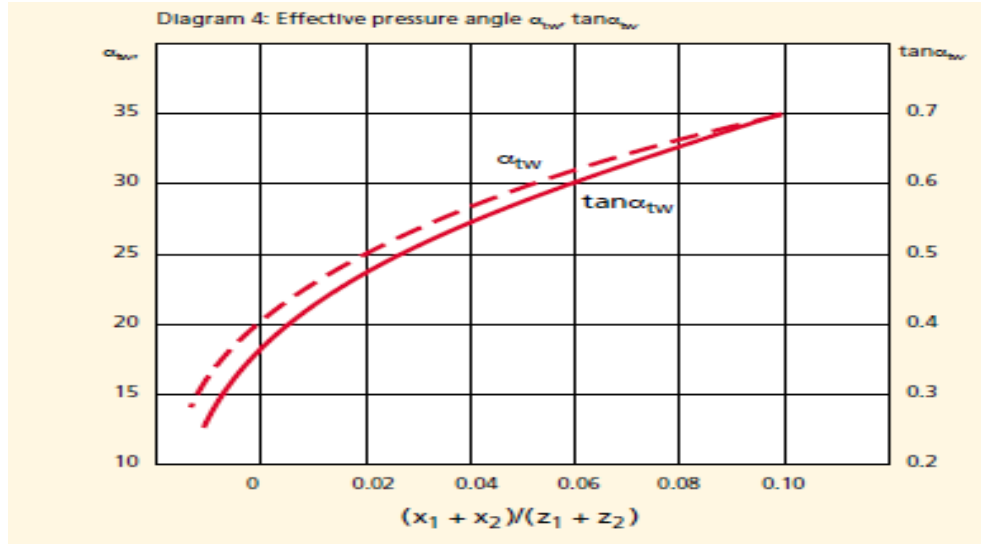
d_{k2} = البعد الخارجي للمسنن المقاد.

d_{G1} = البعد الداخلي للمسنن القائد.

تأخذ قيمة $\tan \alpha_{A2}$ و $\tan \alpha_{E1}$ من المخطط التوضيحي (3-7) أما زاوية ضغط α_{tw} يتم حسابه عن طريق حساب معامل التصحيح $x_{1,2}$ وعدد الأسنان $z_{1,2}$ حيث يدل الرقم (1) على المسنن القائد أما الرقم (2) على المسنن المقاد [20].



الشكل (3-8) يوضح المخطط تصحيح لقيمة التلامس المستعرضة.



الشكل (9-3) يوضح المخطط قيم زاوية الضغط الفاعلة.

• حساب مقاومة بروفيل الأسنان:

يؤدي الضغط الزائد في بروفيل الأسنان إلى الاهتراء الزائد أو التآكل. حيث يتركز الاهتراء بشكل خاص في جذر أو قمة الأسنان ويؤدي إلى تغيير بشكل الأسنان ونقل الطاقة بشكل غير متساوٍ [21].

لذلك يجب تحديد إجهاد الحصر بالمسننات لتفادي حدوث الاهتراء أو التآكل المبكر. ويعطى إجهاد الحصر بالعلاقة الآتية [21]:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{(Z_1 + Z_2) \cdot F_U}{z_2 \cdot b \cdot d_0}} \cdot K_B \cdot Z_\epsilon \cdot Z_H \cdot Z_M \text{ (MPa)} \quad (12)$$

F_U = القوة المحيطة (N).

Z_1 = عدد أسنان المسنن القائد.

Z_2 = عدد أسنان المسنن المقاد.

b = عرض المسنن (mm).

d_0 = البعد المرجعي (mm).

K_B = عامل التشغيل لأنواع مختلفة من عمليات التشغيل من الجدول.

Z_ϵ = عامل نسبة الاتصال.

Z_H = معامل منطقة التشكيل.

Z_M = معامل يتعلق بالمواد.

تشابه نسبة التلامس لعدة أسنان تعريض السن، وهذا التعريض يتم حسابه عن طريق معامل نسبة الاتصال Z_ε .

يعطى معامل نسبة الاتصال (Z_ε) بالعلاقة الآتية [21]:

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - (\varepsilon_{\alpha Z1} + \varepsilon_{\alpha Z2})}{3}} \quad (13)$$

حيث:

$\varepsilon_{\alpha Z1}$: نسبة التلامس الجزئية المستعرضة للمسند القائد الشكل (3-5).

$\varepsilon_{\alpha Z2}$: نسبة التلامس الجزئية المستعرضة للمسند المقود الشكل (3-5).

بالنسبة لمعامل التشكيل Z_H [16]:

- إذا كانت زاوية الضغط $\alpha = 20^\circ$ تأخذ تقريبا $Z_H = 1.76$

- إذا كانت زاوية الضغط $\alpha \neq 20^\circ$ وعندها Z_H تعطى بالعلاقة الآتية [21]:

$$Z_H = \frac{1}{\cos \alpha} \cdot \sqrt{\frac{1}{\tan \alpha_{tw}}} \quad (14)$$

حيث:

α = زاوية الضغط.

$\tan \alpha_{tw}$ = زاوية الضغط المؤثر.

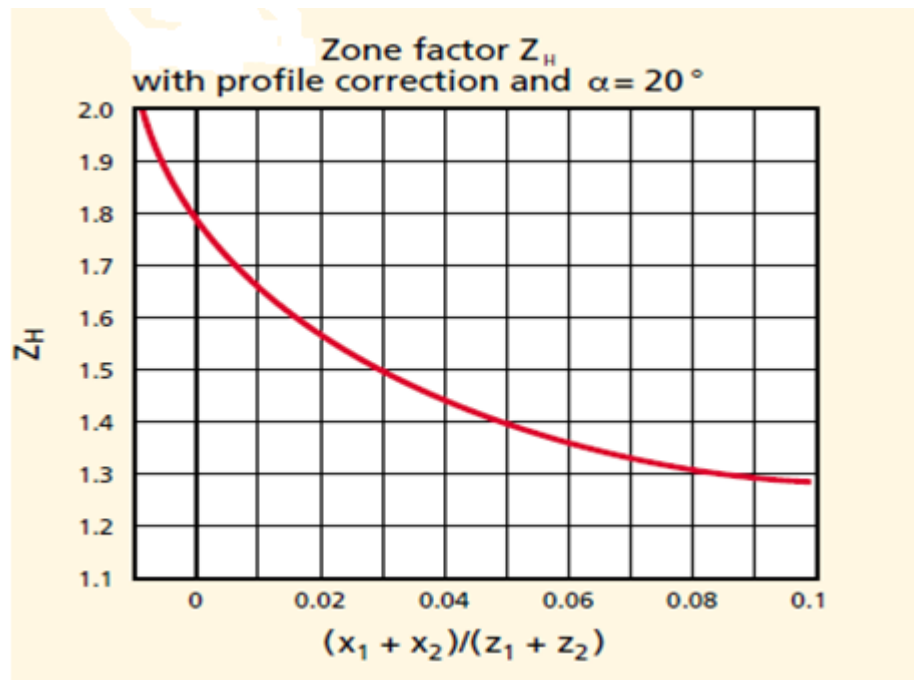
- عند حساب عامل المواد (Z_M) يؤخذ في الحسبان مرونة البلاستيك التي تسبب سطح تلامس فاعل لبروفيل السن. ويعطى عامل المواد (Z_M) بالعلاقة الآتية:

$$Z_M = \sqrt{0.38 \cdot E'} \quad (15)$$

$$E' = \frac{E_1 \cdot E_2}{E_2 + E_1} \quad (16)$$

E_1 : معامل المرونة للمسند القائد (البينون).

E_2 : معامل المرونة للمسند المقود.



الشكل (3-10) يوضح مخطط معامل منطقة التشكيل Z_H بواسطة بروفيل التصحيح و $\alpha = 20^\circ$

الفصل الرابع :

تصميم جهاز الاختبار

4-1 : تصميم الجهاز

4-2 : الحسابات التصميمية لآلية نقل الحركة

4-الفصل الرابع: تصميم جهاز الاختبار

1-4: تصميم الجهاز

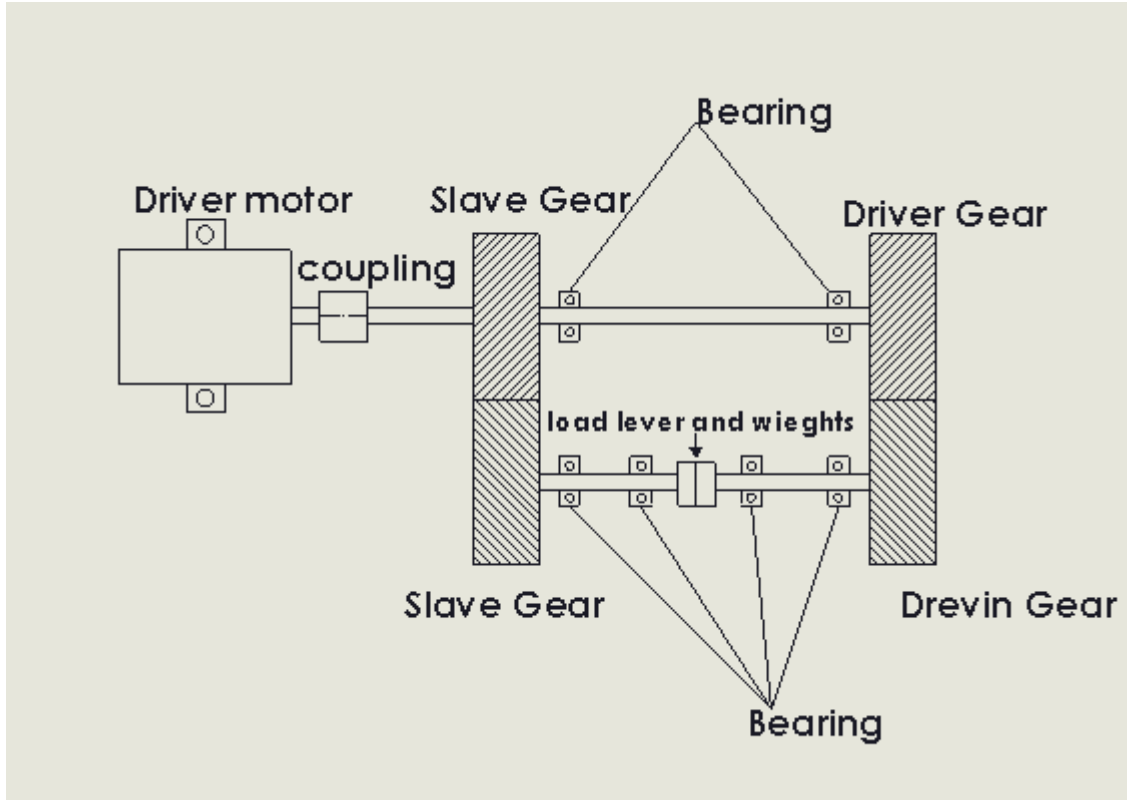
تحدثت الكثير من المراجع حول جدوى استعمال المواد البلاستيكية، حيث فرضت هذه المواد نفسها على كل مناحي فعاليتنا اليومية ابتداءً من السلع ذات الاستعمال العادي جداً وصولاً إلى الأجهزة التقنية عالية التطور. حيث دخلت المواد البلاستيكية تقريباً كل بيت ومصنع ومكتب؛ فالمقاعد والأسقف المعلقة وطلاء الجدران والسيارات واعمدة الإنارة والملابس لا تخلو من أجزاء البلاستيكية في صنعها؛ مما يجعل الاستغناء عنها أمراً صعباً كما أنها دخلت كبديل استثماري عن المعادن لما تتمتع من خصائص ومواصفات تجعل المواد البلاستيكية منافساً حقيقياً للمعادن. فكثير من المراجع التي تبحث في تصميم المسننات كانت مادة البولي أميد هي الأكثر استعمالاً في تصنيع المسننات لما لها من صفات تخدم الوظيفة التي يؤديها المسنن. حيث تتميز بالمتانة ومقاومة اهتراء مقبولتين نسبياً؛ فضلاً عن مقاومة عالية للتآكل والمواد الكيميائية، مثل: الأحماض والقلويات ومقاومة للتجاويع ويعد البولي أميد 6 والبولي أميد 6.6 أكثر أنواع البولي أميد شيوعاً واستعمالاً حيث تمتلك كل منها ميزات ومجال استعمال مفضل، وهذا لا يلغي إمكانية استعمال مواد أخرى في تصنيع المسننات قد تكون مناسبة بشكل أفضل أو مماثلة للبولي أميد وذلك تبعاً لمجال الاستعمال مثل ABS, PEEK...الخ[15].

في هذه التجربة سيتم إجراء تجارب على مادة البولي أميد 6 ضمن ظروف عمل محددة، حيث سيتم مراقبة عمل المسنن تحت تأثير عزم قتل معين ومراقبة اهتراء المسنن بعد عدد دورات معين ومراقبة حالة هذه المسننات خلال زمن التجربة ثم فك المسننات وتثبيت زوج مسننات جديد وتطبيق عزم قتل جديد...وهكذا ومقارنة الاهتراء الحاصل في جميع الحالات ومقدار تأثير عزم القتل على عمر المسنن واستنتاج العمر المثالي والعزم المثالي لهذه المادة عند ظروف عمل مماثلة.

إن إجراء تجارب يتطلب تصميم جهاز اختبار مدروس بدقة ومصمم على أسس علمية صحيحة حتى يتم ضمان نتائج دقيقة يمكن الاعتماد عليها كمرجع؛ وبالتالي تم تصميم جهاز اختبار مناسب.

إن المبدأ الذي تم اعتماده في إجراء التجربة والذي تم تصميم الجهاز بما يتناسب معه هو تطبيق عزم دوران عن طريق ذراع معدنية محملة بأوزان على جملة حركية مؤلفة من زوجين من المسننات المصنوعة من مادة البولي أميد. تتألف التجربة من أربعة مراحل أساسية، حيث يتم تطبيق عزم قتل بشكل تصاعدي بعد كل مرحلة. عندما تبدأ التجربة يتم حساب عدد الدورات عن طريق عداد وعند فترات مختلفة من زمن المرحلة الأولى يتم تحليل النتائج وحساب مقدار الاهتراء حتى انتهاء المرحلة (لا يتم تطبيق عزم قتل بواسطة ذراع معدنية) ثم يتم فك المسننات وتثبيت مسننات جديدة وتطبيق عزم قتل عن طريق الذراع المعدنية وبشكل مماثل يتم حساب عدد الدورات ومقدار الاهتراء ثم تطبق المرحلة الثالثة بفك زوج المسننات، وتثبيت زوج جديد وتطبيق عزم أكبر. وبشكل مماثل يتم حساب عدد الدورات

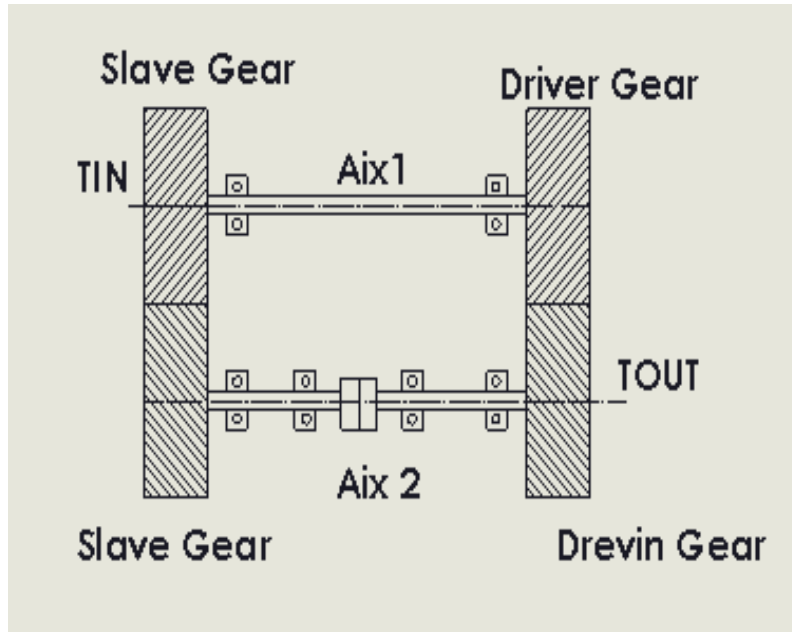
ومقدار الاهتراء ثم بعد ذلك تطبق المرحلة الرابعة بتطبيق عزم فتل أكبر وبشكل مماثل يتم حساب عدد الدورات ومقدار الاهتراء ثم بعد ذلك يتم رسم منحني بياني يوضح تغير قيمة عامل الاهتراء بدلالة ساعات العمل ومنحني بياني يوضح تغير قيمة معامل الاهتراء بتغير العزم عندها يمكن تحليل النتائج واستنتاج قيم مثالية لعمل هذه المسننات ضمن شروط مشابهة لشروط التجربة. ويوضح الشكل (4-1) المخطط الكينماتيكي لجهاز الاختبار المنفذ.



الشكل (4-1) يوضح المخطط كينماتيكي لجهاز اختبار المسننات البلاستيكية المنفذ.

4-2: الحسابات التصميمية لآلية نقل الحركة

يوضح الشكل (4-2) مخطط عزم الدخل والخرج على جهاز الاختبار المنفذ:



الشكل (4-2) يوضح المخطط عزم الدخل والخرج على جهاز الاختبار المنفذ.

4-2-1: تصميم المسننات

قطر المسنن القائد:

$$D_p = 75 \text{ mm}$$

عرض السنن القائد:

$$B_p = 15 \text{ mm}$$

القطر الداخلي للمسنن القائد:

$$d_p = 8 \text{ mm}$$

الموديول:

$$m = 1.2 \text{ mm}$$

عدد أسنان المسنن القائد:

$$Z_p = 60$$

قطر المسنن المقاد:

$$D_w = 75 \text{ mm}$$

عرض السنن المقاد:

$$B_w=15\text{mm}$$

القطر الداخلي للمسنن المقاد:

$$d_w=8\text{mm}$$

الموديول:

$$m=1.2\text{mm}$$

عدد أسنان المسنن المقاد:

$$Z_p=60$$

تم اختيار بناءً على عوامل عدة، منها مجال مقارب للأبعاد والبارامترات المختارة ضمن المراجع، كما تم مراعاة اختيار المسننات ذات الأبعاد المتوفرة في الأسواق المحلية.

نسبة النقل:

$$i = \frac{N_p}{N_w} = \frac{z_w}{z_p} = \frac{D_w}{D_p} = \frac{Mt_w}{Mt_p} = 1 \quad (17)$$

استطاعة المحرك:

$$P=100\text{W}=0.134\text{hp} \quad (18)$$

والسرعة الخطية:

$$V = \frac{\pi \times DP \times NP}{60} = \frac{\pi \times Dw \times Nw}{60} = 5.4\text{m/sec} \quad (19)$$

حيث أن سرعة دوران المحرك هي:

$$N=1485\text{rpm}$$

زاوية الضغط:

$$\omega = 20^\circ$$

القوة الماسية:

$$F_t = 1000 \frac{P}{V} = 24\text{N} \quad (20)$$

القوة القطرية:

$$F_r = F_t \tan (\omega) = 8.7 \text{ N} \quad (21)$$

العزم المطبق على الدخل:

$$Mt_p = \frac{Ft \times DP}{2} \quad (22)$$

$$Mt_p = 0.9 \text{ N.m}$$

العزم المطبق على الخرج:

$$Mt_w = \frac{Ft \times Dw}{2} \quad (23)$$

$$Mt_w = 0.9 \text{ N.m}$$

يجب تحقيق شرط المتانة وشرط الاهتراء .

أولاً: شرط المتانة [22]:

$$F_s > F_d$$

F_s : صلابة العارضة

F_d : القوة الديناميكية تقاس (N)

$$F_d = F_t \times C_v \quad \text{حيث} \quad (24)$$

F_t : القوة الماسية (N).

C_v : معامل السرعة.

$$F_t = 1000 \frac{P}{V}$$

$$F_t = 24 \text{ N}$$

$$C_v = \frac{1+V}{1+0.25V} \quad (25)$$

$$C_v = 2.8$$

ومنه:

$$Fd=24 \times 2.8=67.2N$$

حساب FS [22]:

$$FS=\pi \times m \times y \times b \times \sigma_b \quad (26)$$

$$Y=0.713 \quad \text{حيث:}$$

$$m=1.25 \quad \text{الموديول:}$$

$$b=15mm \quad \text{عرض المسنن:}$$

إجهاد الانعطاف المسموح [22]:

$$\sigma_b = \pi \frac{\sigma_{b1} \times KV \times KT \times KL \times KM}{CS} \quad (27)$$

حيث:

$$\sigma_{b1} = 3.8 \text{ kgf/mm}^2$$

$$Kt=1, kl=1, km=0.75, kv=1.2$$

$$\sigma_b = 28N/mm^2$$

ومنه

$$FS=3.14 \times 1.2 \times 15 \times 0.713 \times 28=1128N$$

FS > FD والشرط محقق

ثانياً: شرط الاهتراء [22]:

$$Fw > Fd$$

$$Fw : \text{قوة الاهتراء (N).}$$

$$Fd : \text{القوة الديناميكية (N).}$$

$$Fw = d \times b \times \phi \times kw \quad (28)$$

$$kw = 1.4N/m^2 \quad \text{من جدول}$$

$$\phi = \frac{2 \cdot i}{i+1} = 1 \text{ : نسبة التخفيض}$$

$$b = 15 \text{ mm : عرض المسنن}$$

$$d = 75 \text{ mm : قطر المسنن}$$

$$F_w = 75 \times 15 \times 1 \times 1.4 = 1575 \text{ N}$$

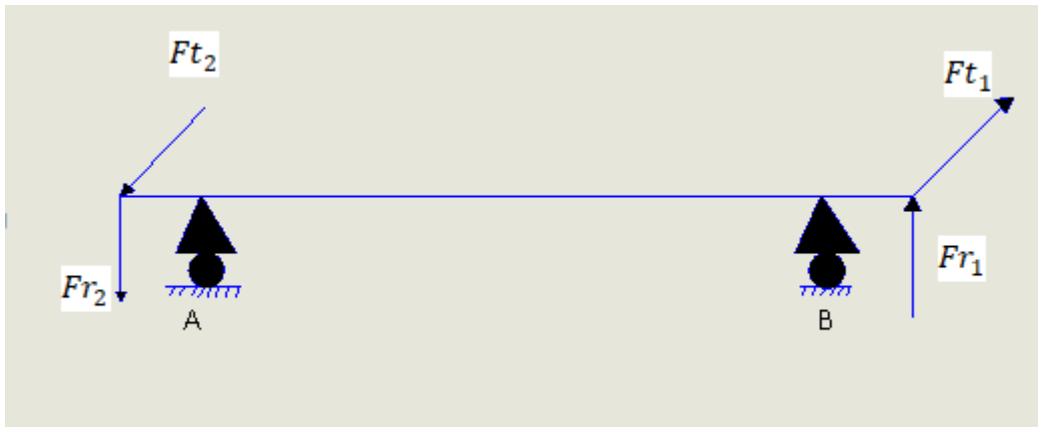
$$F_w > F_d \text{ الشرط محقق}$$

وبالتالي الشرطان محققان.

4-2-2: تصميم الأعمدة

أولاً: المحور القائد:

يوضح الشكل (4-3) القوى المؤثرة في المحور القائد.



الشكل (4-3) يوضح مخطط القوى المؤثرة في المحور القائد.

$$F_{t1} = F_{t2} = 1000 \frac{P}{V} = 24 \text{ N}$$

$$F_{r1} = F_{r2} = F_t \tan(\omega) = 8.7 \text{ N}$$

$$F_1 = \sqrt{F_{r1}^2 + F_{t1}^2 + 2F_{r1} \times F_{t1} \cos 90}$$

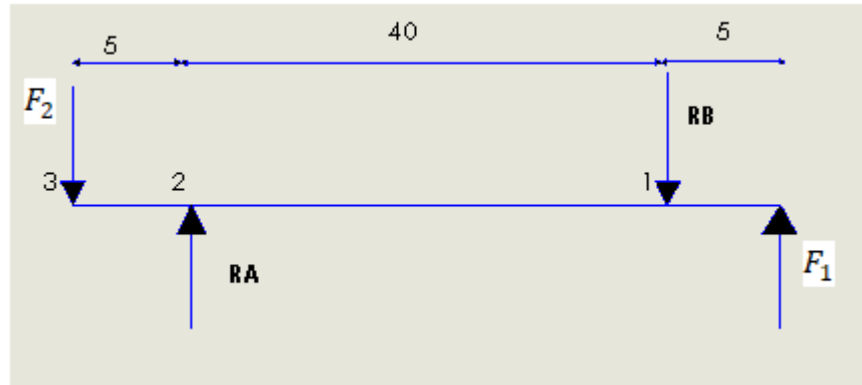
$$F_1 = 32 \text{ N}$$

$$F_2 = \sqrt{F_{r2}^2 + F_{t2}^2 + 2F_{r2} \times F_{t2} \cos 90}$$

$$F_2 = 32 \text{ N}$$

حساب ردود الأفعال:

يوضح الشكل (4-4) مخطط القوى وردود الأفعال على العمود القائد.



الشكل (4-4) يوضح مخطط القوى وردود الأفعال على العمود القائد.

مجموع العزوم عند النقطة (A):

$$\sum MA = -RB (0.4) + F_1 (0.45) + F_2 (0.05) = 0$$

$$RB = 40N$$

مجموع العزوم عند النقطة (B):

$$\sum MB = F_1 (0.05) - RA (0.4) + F_2 (0.45) = 0$$

$$RA = 40N$$

حساب عزم الانعطاف الأعظمي:

عزم الانعطاف عند النقطة (1):

$$M1 = F_1 (X)$$

$$M1 = 0$$

$$X = 0 \text{ عند}$$

$$M1 = 1.6 N$$

$$X = 0.05 \text{ عند}$$

عزم الانعطاف عند النقطة (2):

$$M2 = F_1 (0.05 + X) - RB(X)$$

$$M2 = 1.6 N.m$$

$$X = 0 \text{ عند}$$

$$M_2 = -1.6 \text{ N.m}$$

$$X = 0.4 \text{ عند}$$

عزم الانعطاف عند النقطة (3)

$$M_3 = F_1 (0.45 + X) - R_B (0.40 + X) + R_A(X)$$

$$M_3 = -1.6 \text{ N.m}$$

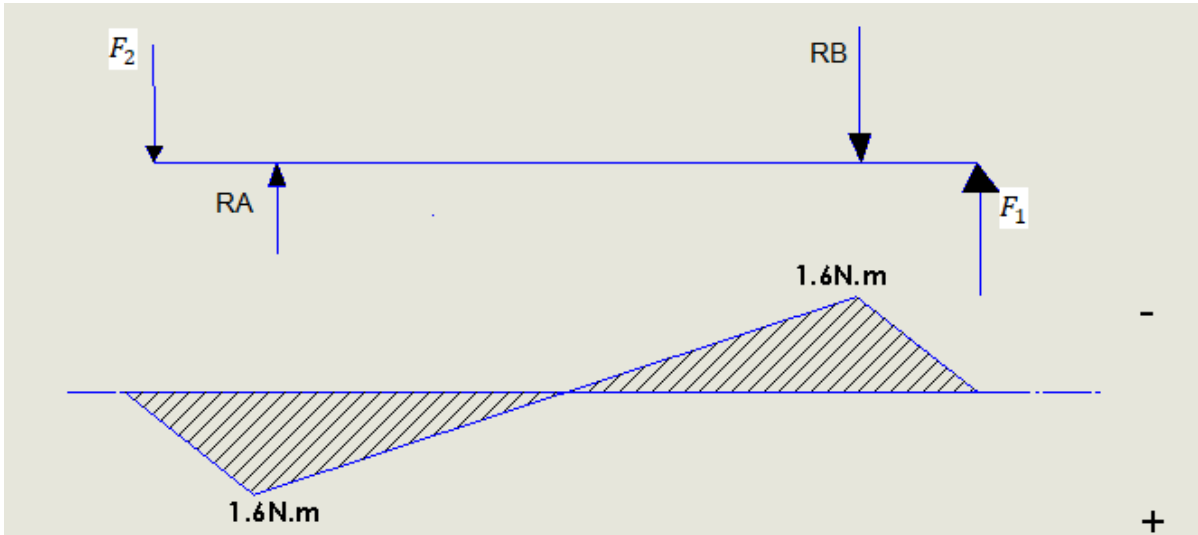
$$X = 0 \text{ عند}$$

$$M_3 = 0$$

$$X = 0.05 \text{ عند}$$

$$M_{b1} = 1.6 \text{ N.m} \text{ ومنه}$$

وبالتالي يكون مخطط الانحناء (الانعطاف) لهذا العمود كما موضح بالشكل (4-5)



الشكل (4-5) يوضح مخطط عزوم الانعطاف على العمود القائد.

يحسب عزم الفتل بالعلاقة الآتية [22]:

$$M_{t1} = \frac{703 \times P}{180} \quad (29)$$

$$M_{t1} = \frac{703 \times 0.134}{180}$$

$$M_{t1} = 5.2 \text{ N.m}$$

$$Z_{1\max} = \frac{16 \sqrt{(kb \times M_{b1})^2 + (Kt \times M_{t1})^2}}{\pi d^3} \quad (30)$$

$$d_{1^3} = \frac{16 \sqrt{(kb \times M_{b1})^2 + (Kt \times M_{t1})^2}}{\pi Z_{eq}}$$

حيث: $k_t=1$, $k_b=1$

$$Z_{eq}=0.65\sigma_{out}$$

$$\sigma_{out} = 200\text{mpa} = 2039\text{kg/cm}^3$$

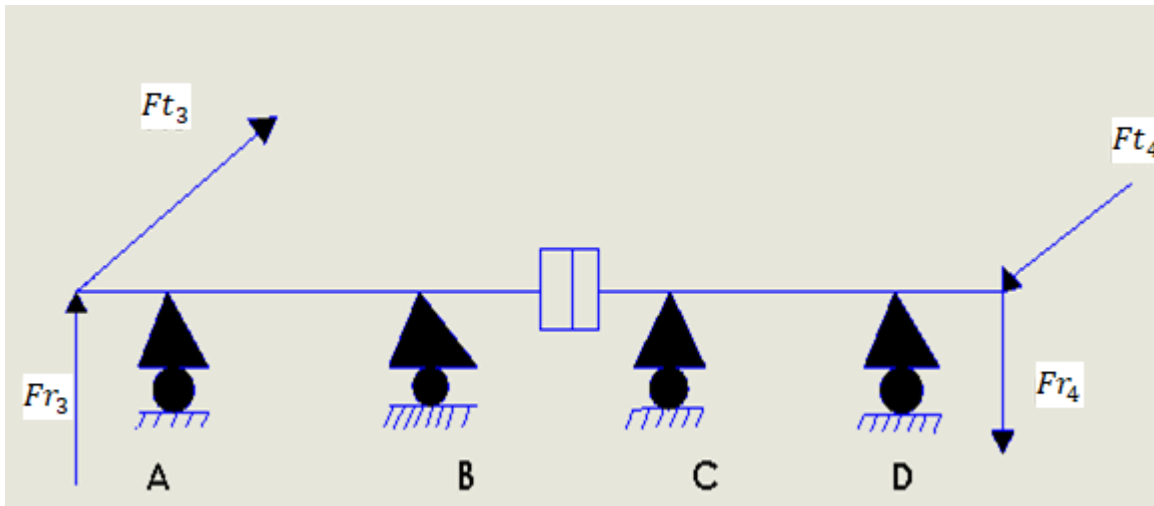
ومنه:

$$d_1 \geq 2.3\text{mm}$$

سوف يتم اختيار عمود 8mm

ثانياً: العمود المقود

أولاً: يوضح المخطط (4-6) القوى المؤثرة في العمود المقود:



(4-6) مخطط يوضح القوى المؤثرة في العمود المقود.

$$Ft_3 = Ft_4 = 1000 \frac{P}{V} = 24\text{N}$$

$$Fr_3 = Fr_4 = Ft \tan(\omega) = 8.7\text{N}$$

$$F_3 = \sqrt{Fr_3^2 + Ft_3^2 + 2Fr_3 \times Ft_3 \cos 90}$$

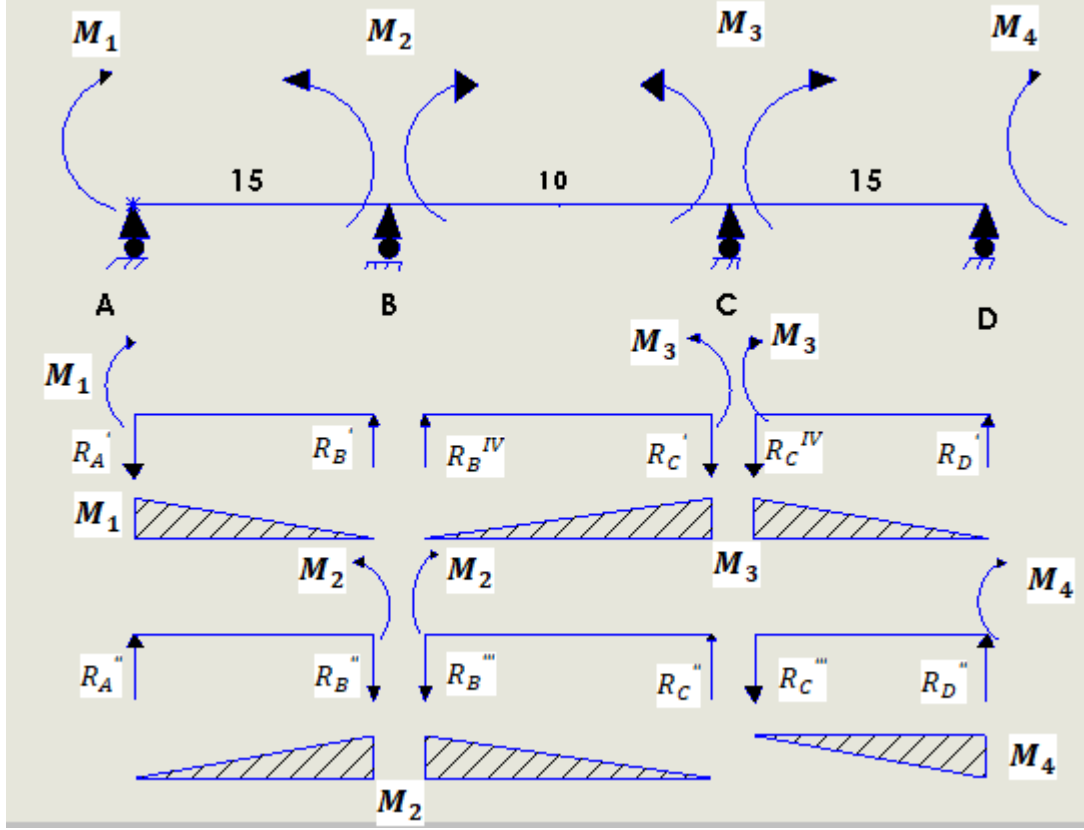
$$F_3 = 32\text{N}$$

$$F_4 = \sqrt{Fr_4^2 + Ft_4^2 + 2Fr_4 \times Ft_4 \cos 90}$$

$$F_4 = 32\text{N}$$

حساب ردود الأفعال:

يوضح الشكل (4-7) مخطط العزوم المؤثرة على المحور المقود.



الشكل (4-7) يوضح عزوم الانحناء الداخلية المؤثرة على المحور المقود.

$$M_1 = 5 \times F_3 = 32 \times 5 = 160 \text{ N.cm}$$

$$M_4 = 5 \times F_4 = -32 \times 5 = -160 \text{ N.cm}$$

لأيجاد ردود الأفعال نطبق نظرية العزوم الثلاثة عند (A-B-C):

$$M_1 \cdot L_1 + 2M_2(L_1 + L_2) + M_3 \cdot L_2 = -6(r_L + r_R) = 0 \quad (31)$$

$$(160) \cdot (15) + 2M_2(25) - M_3(10) = 0$$

$$50M_2 - 10M_3 = -2400 \quad (32)$$

نطبق نظرية العزوم الثلاثة عند (B-C-D):

$$M_2 \cdot L_2 + 2M_3(L_3 + L_2) + M_4 \cdot L_3 = -6(r_L + r_R) = 0 \quad (33)$$

$$10M_2 + 2M_3(25) + (-160) \cdot (15) = 0$$

$$10M_2 + 50M_3 = 2400 \quad (34)$$

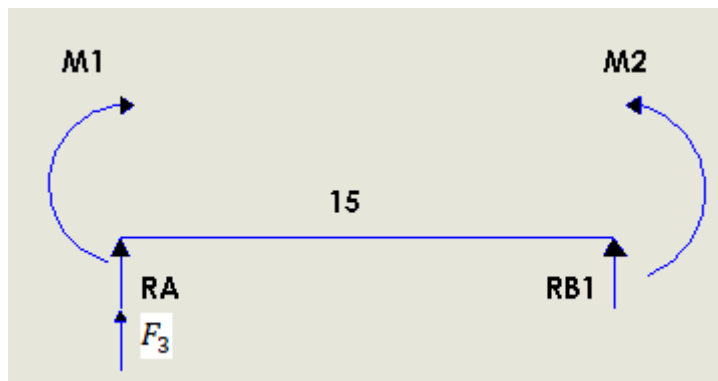
نعوض (32) ب(34):

$$M_2 = -37 \text{ N.cm}$$

$$M_3 = 55.3 \text{ N.cm}$$

تعيين ردود الأفعال:

يوضح الشكل (4-8) ردود الأفعال عند المسند A-B



الشكل (4-8) يوضح ردود الأفعال عند المسند A-B

$$\sum M_A = 0$$

$$RB_1 \cdot 15 - M_1 + M_2 = 0$$

$$15RB_1 - 160 - 37 = 0$$

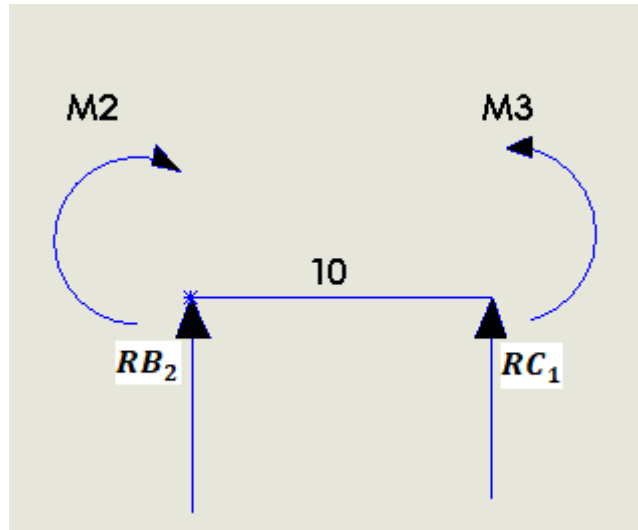
$$RB_1 = 13.1 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$RA + F_3 + RB_1 = 0$$

$$RA = -32 - 13.1 = -45.1 \text{ N}$$

يوضح الشكل (4-9) ردود الأفعال عند المسند B-C :



الشكل (4-9) يوضح ردود الأفعال عند المسند B-C

$$\sum MB = 0$$

$$10R_{C1} - M_2 + M_3 = 0$$

$$10R_{C1} + 37 + 55.3 = 0$$

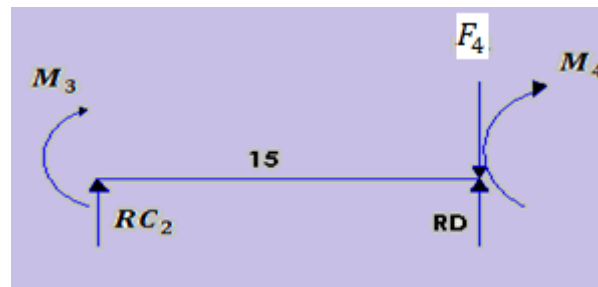
$$R_{C1} = -9.2 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{C1} + R_{B2} = 0$$

$$R_{B2} = 9.2 \text{ N}$$

الشكل (4-10) يوضح ردود الأفعال عند المسند C-D:



الشكل (4-10) يوضح ردود الأفعال عند المسند C-D

$$\sum MC = 0$$

$$-15F_4 + 15RD - M_4 - M_3 = 0$$

$$-15F_4 + 15RD - 160 - 55.3 = 0$$

$$RD = 46.3 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$RC_2 + RD - F_4 = 0$$

$$RC_2 = -14.3 \text{ N}$$

في النهاية تكون ردود الأفعال كالآتي:

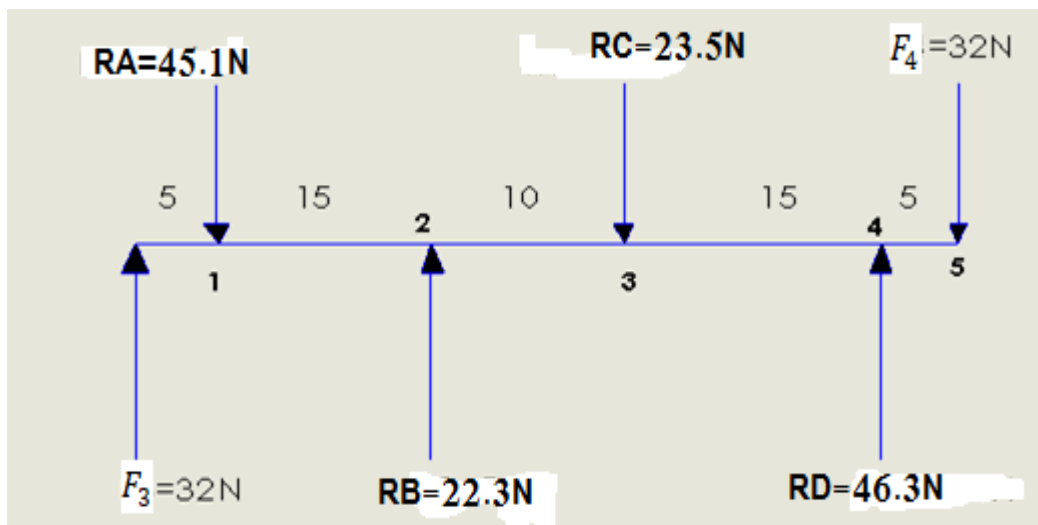
$$RA = -45.1 \text{ N}$$

$$RB = RB_1 + RB_2 = 13.1 + 9.2 = 22.3 \text{ N}$$

$$RC = RC_1 + RC_2 = -9.2 - 14.3 = -23.5 \text{ N}$$

$$RD = 46.3 \text{ N}$$

يوضح الشكل (4-11) مخطط القوى وردود الأفعال على العمود المقود.



الشكل (4-11) يوضح مخطط القوى وردود الأفعال على العمود المقود

حساب عزم الانعطاف الأعظمي:

عزم الانعطاف عند النقطة (1):

$$M1 = F_3 (X)$$

$$M1 = 0 \quad \text{عند } X = 0$$

$$M1 = 1.6 \text{ N} \quad \text{عند } X = 0.05$$

عزم الانعطاف عند النقطة (2):

$$M2 = F_3 (0.05 + X) - RA(X)$$

$$M2 = 1.6 \text{ N.m} \quad \text{عند } X = 0$$

$$M2 = -0.36 \text{ N.m} \quad \text{عند } X = 0.15$$

عزم الانعطاف عند النقطة (3)

$$M3 = F_3 (0.2 + X) - RA (0.15 + X) + RB(X)$$

$$M3 = -0.36 \text{ N.m} \quad \text{عند } X = 0$$

$$M3 = 0.56 \text{ N.m} \quad \text{عند } X = 0.1$$

عزم الانعطاف عند النقطة (4)

$$M4 = F_3 (0.3 + X) - RA (0.25 + X) + RB(0.1 + X) - RC(X)$$

$$M4 = 0.56 \text{ N.m} \quad \text{عند } X = 0$$

$$M4 = -1.67 \text{ N.m} \quad \text{عند } X = 0.15$$

عزم الانعطاف عند النقطة (5)

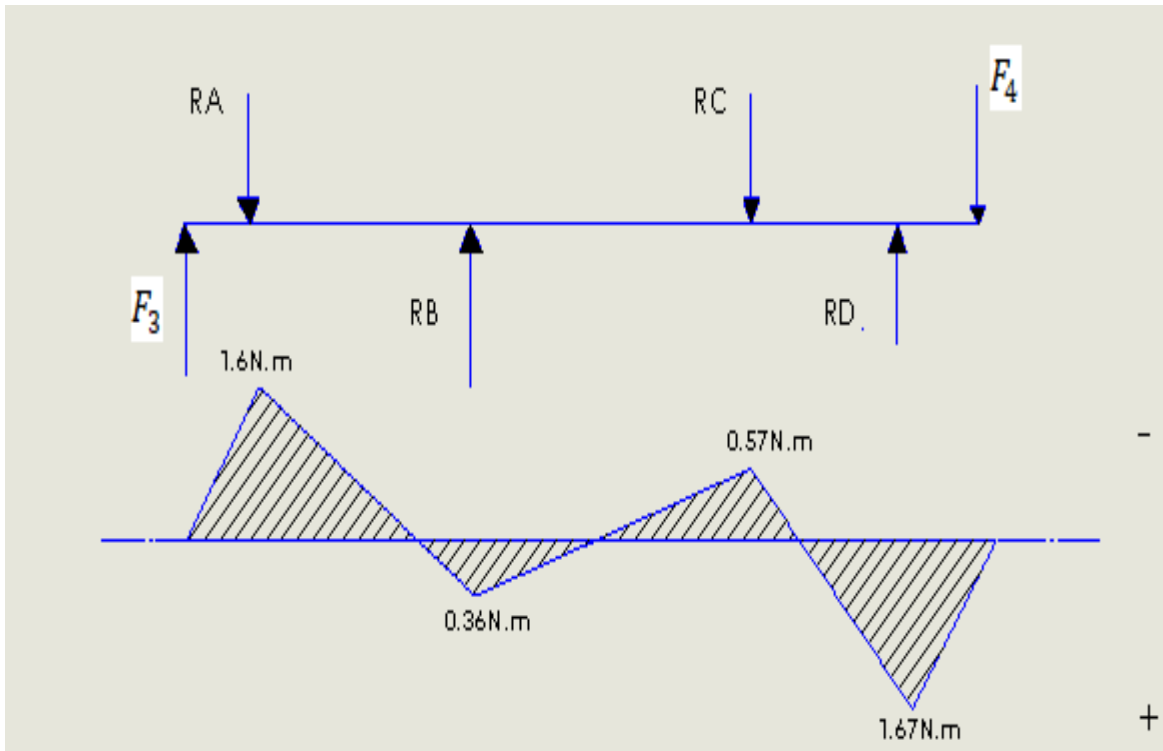
$$M5 = F_3 (0.45 + X) - RA (0.4 + X) + RB(0.25 + X) - RC(0.15 + X) + RD(X)$$

$$M5 = -1.67 \text{ N.m} \quad \text{عند } X = 0$$

$$M5 = 0 \text{ N.m} \quad \text{عند } X = 0.05$$

$$Mb1 = 1.67 \text{ N.m} \quad \text{ومنه}$$

وبالتالي يكون مخطط الانحناء (الانعطاف) لهذا العمود كما موضح بالشكل (4-12)



الشكل (4-12) يوضح مخطط عزوم الانعطاف على العمود المقود.

$$M_{t1} = \frac{703 \times 0.134}{180}$$

$$M_{t1} = 5.2 \text{ N.m}$$

$$Z_{2\max} = \frac{16\sqrt{(kb \times Mb1)^2 + (Kt \times Mt1)^2}}{\pi d^3}$$

$$d^3 = \frac{16\sqrt{(kb \times Mb1)^2 + (Kt \times Mt1)^2}}{\pi Z_{eq}}$$

حيث: $k_t=1$, $k_b=1$

$$Z_{eq} = 0.65 \sigma_{out}$$

$$\sigma_{out} = 200 \text{ mpa} = 2039 \text{ kg/cm}^3$$

ومنه:

$$d1 \geq 2.8\text{mm}$$

سوف يتم اختيار عمود 8mm

الفصل الخامس:

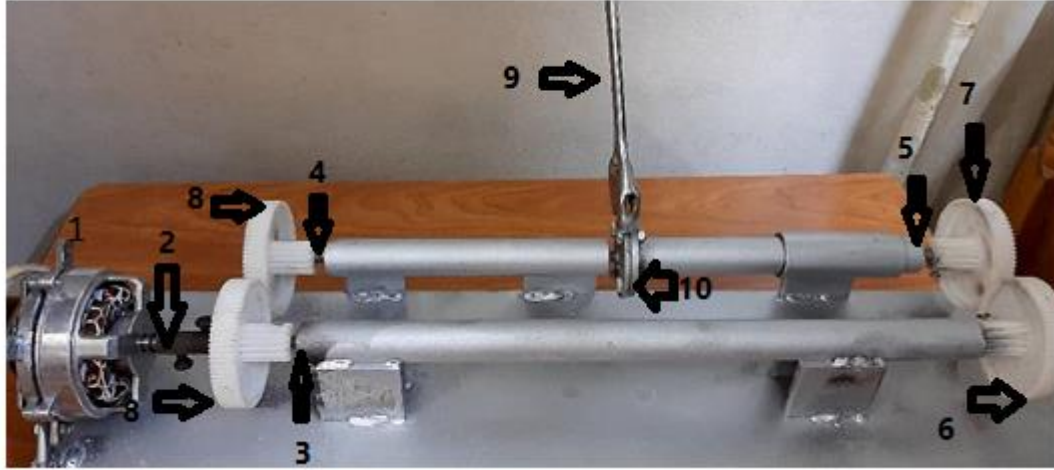
الدراسة العملية (المكونات - المواد المستخدمة - الاختبارات)

- | | |
|--|------|
| مكونات الجهاز المستعمل | 5-1: |
| المبدأ النظري للبحث والمواد المستعملة في البحث | 5-2: |
| طريقة إجراء الاختبار | 5-3: |
| مراحل الاختبار | 5-4: |

5- الفصل الخامس: الدراسة العملية (المكونات -المواد المستعملة - الاختبارات)

5-1 : مكونات الجهاز المستعمل

يوضح الشكل (5-1) الجهاز المنفذ، ويتألف من العناصر الآتية :



الشكل (5-1) يوضح الجهاز المنفذ.

1-محرك كهربائي يعمل بالتيار المستمر, استطاعته 100 watt وعدد دوراته 1485 rpm.

2-قارنة لوصل المحرك مع المحور القائد.

3-عمود قائد مصنوع من ستانلس ستيل 314 بقطر 8mm.

4-عمود مقود يتألف من محورين مصنوعين من ستانلس ستيل 314 بقطر 8mm.

5-رولمانات عدد 6.

6-مسنن قائد قطره 75mm موديول 1.2mm.

7-مسنن مقود قطره 75mm موديول 1.2mm.

8- مسنن مساعد عدد 2 بقطر 75mm موديول 1.2mm.

9-ممسك القبضة: ذراع معدنية من الحديد الانشائي ST37 طول الذراع 14.5cm.

10- قبضة الحمل.

5-2 : المبدأ النظري للبحث والمواد المستعملة في البحث:

لدراسة اهتراء المسننات المصنوعة من مادة البولي أميد بتأثير عزوم دوران مختلفة تم اعتماد مبدأ حساب معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن حيث تعتمد الطريقة على تصميم جهاز يحاكي طبيعة عمل مسننات معشقة مع بعضها تدور بسرعة معينة ومطبق عليها عزم دوران عن طريق ميكانيك معين، وتتألف التجربة من أربع مراحل أساسية. وفي كل مرحلة يتم فك وتثبيت زوج جديد من المسننات وتطبيق عزم دوران جديد. وفي ظروف محيطية غير متغيرة يتم تشغيل الجهاز لعدد دورات معين من رتبة العشرة ملايين دورة لكل مرحلة من المراحل الأربعة، وفي كل مرحلة يتم إيقاف العمل من أجل وزن المسننات وحساب معامل الاهتراء عند نقاط معينة مقابلة لعدد دورات معينة، ثم يتم رسم منحنى بياني يوضح بشكل دقيق المنحنى الذي تتخذه هذه المسننات المصنوعة من هذه المادة، وذلك ضمن مدة التجربة عند قيم عزوم دوران متغيرة وهذا المنحنى يحدد تغير معامل الاهتراء عند عدد دورات مختلفة أو بدلالة الزمن.

المواد المستعمل في البحث:

تم استعمال 4 أزواج من مسننات البولي أميد 6 مصنعة بطريقة الحقن، وبعد إجراء الحسابات التصميمية اللازمة من حيث استطاعة المحرك وعدد الدورات تم اعتماد:

المسنن القائد ذي الصفات التالية: (الموديول 1.2 وعدد أسنان 60 وعرض 15mm وقطر خارجي 75mm).

والمسنن المقاد ذو الصفات التالية: (الموديول 1.2 وعدد أسنان 60 وعرض 15mm وقطر خارجي 75mm).

5-3 : طريقة إجراء الاختبار:

تم تطبيق عزم الدوران على المحور (2) من العمود المقاد، وذلك بعد تثبيت المحور (1) من نفس العمود وبذلك يصبح كامل الجملة الحركية تحت تأثير هذا العزم. يوضح الشكل (5-2) طريقة تطبيق العزم على المحور (2).



الشكل (5-2) يوضح طريقة تطبيق العزم

حساب الاهتراء للمسنن يتم بواسطة قياس الخسارة النسبية في الوزن لكلا المسننين، وذلك بشكل دقيق ويجب الانتباه عند أخذ القياس أثناء فترة التجربة أن تتم إعادة المسننات إلى نفس الوضع النسبي نفسه بين المسنن القائد والمسنن المقود بدقة بعد حساب الخسارة النسبية في الوزن يتم حساب معامل الاهتراء R% وذلك بالاعتماد على الخسارة النسبية في الوزن كما ذكرنا سابقاً وذلك بالاعتماد على العلاقة الآتية [22]:

$$R\% = \frac{\left((P_0 - P_i) \times \frac{M_i}{M_0} \right) \times 100}{P_0} \quad (35)$$

M_i : الكتلة الحالية للمسنن القائد.

P_0 : كتلة المسنن الأصلي.

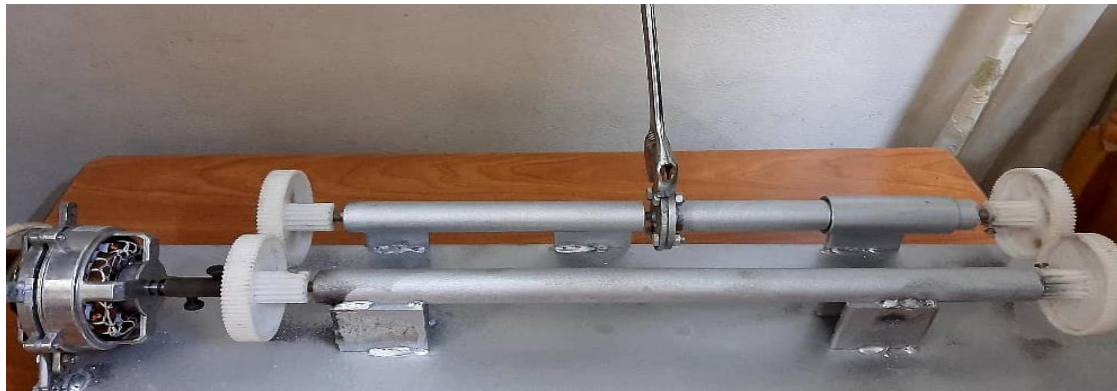
P_i : الكتلة الحالية للمسنن.

M_0 : الكتلة الأصلية للمسنن القائد.

تم وصل الجهاز وتجهيزه ضمن مخابر جامعة دمشق كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، ومن ثم تشغيله ضمن ظروف محيطية شبه مستقرة.

5-4: مراحل الاختبار

الشكل (5-3) يوضح جهاز الاختبار المنفذ.



الشكل (5-3) يوضح جهاز الاختبار المنفذ.

تمت التجربة على أربعة مراحل أساسية: تتضمن كل مرحلة تطبيق عزم قتل معين، وحساب الاهتراء بطريقة حساب معامل الاهتراء R% وهو بدلالة الخسارة النسبية بالوزن حسب العلاقة (35).

وذلك على مراحل من زمن التجربة عند عدد دورات معين يتم فك المسننات ووزنها ثم يتم حساب معامل الاهتراء. وتتكرر هذه العملية حتى نهاية زمن التجربة ثم يتم فك زوج المسننات وتثبيت زوج مسننات، جديد وتطبيق عزم قتل جديد.

5-4-1 : المرحلة الأولى

تشغيل المسننات بدون تطبيق عزم قتل عن طريق تحميل الذراع (العزم المقاوم عند الدخل والخرج 0.9N.m) يبين الجدول (5-1) ملخص بالخطوات المطبقة خلال المرحلة الأولى.

الجدول (5-1): ملخص بالخطوات المطبقة خلال المرحلة الأولى	
الخطوات	ملخص بخطوات المرحلة الأولى
الخطوة الأولى	بعد نحو 2.2 مليون دورة نحو (24.7) ساعة تشغيل تم أخذ أول قياس ويوضح الجدول (6-1) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\% = 0.41\%$
الخطوة الثانية	بعد نحو 3.5 مليون دورة نحو (39.3) ساعة تشغيل تم أخذ ثاني قياس ويوضح الجدول (6-1) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\% = 0.82\%$
الخطوة الثالثة	بعد نحو 4.8 مليون دورة نحو (53.8) ساعة تشغيل تم أخذ ثالث قياس ويوضح الجدول (6-1) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\% = 1.11\%$
الخطوة الرابعة	بعد نحو 6.1 مليون دورة نحو (68.4) ساعة تشغيل تم أخذ رابع قياس ويوضح الجدول (6-1) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\% = 1.23\%$
الخطوة الخامسة	بعد نحو 7.4 مليون دورة نحو (83) ساعة تشغيل تم أخذ خامس قياس ويوضح الجدول (6-1) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\% = 1.34\%$
الخطوة السادسة	بعد نحو 8.7 مليون دورة نحو (97.6) ساعة تشغيل تم أخذ سادس قياس ويوضح الجدول (6-1) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\% = 1.73\%$
الخطوة السابعة	بعد نحو 10 مليون دورة نحو (112.2) ساعة تشغيل تم أخذ سابع قياس ويوضح الجدول (6-1) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\% = 1.91\%$



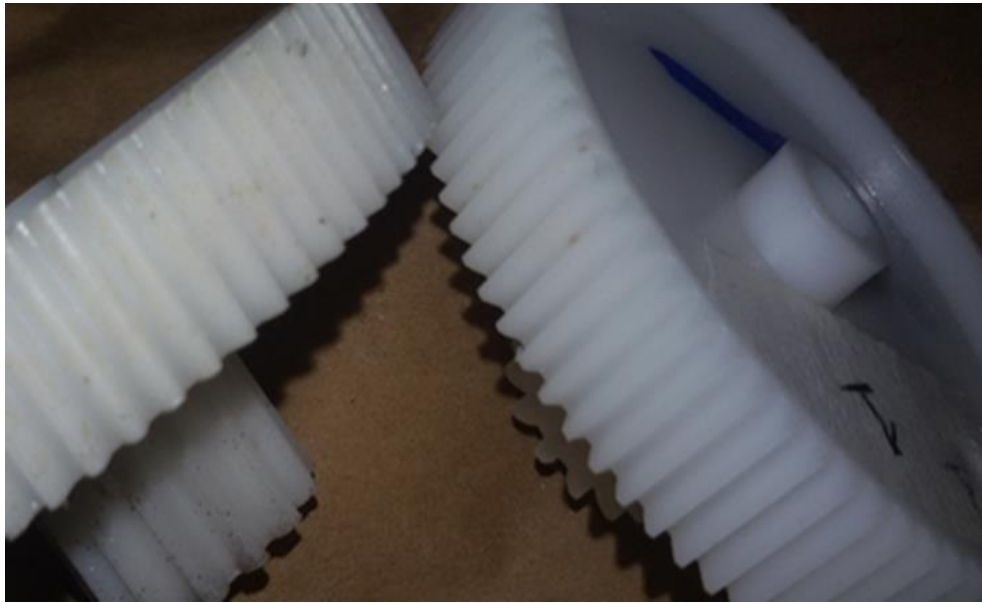
الشكل (4-5) يوضح حالة المسننات بعد نهاية المرحلة الأولى.

5-4-2 المرحلة الثانية:

- تطبيق عزم فتل بمقدار 1N.m (عن طريق تحميل الذراع المعدنية بوزن 0.7kg) يبين الجدول (5-2) ملخص بالخطوات المطبقة خلال المرحلة الثانية.

الجدول (5-2): ملخص بالخطوات المطبقة خلال المرحلة الثانية	
الخطوات	ملخص بخطوات المرحلة الثانية
الخطوة الأولى	بعد نحو 2.2 مليون دورة نحو (24.7) ساعة تشغيل تم أخذ أول قياس ويوضح الجدول (6-2) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\% = 0.29\%$
الخطوة الثانية	بعد نحو 3.5 مليون دورة نحو (39.3) ساعة تشغيل تم أخذ ثاني قياس ويوضح الجدول (6-2) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\% = 0.92\%$
الخطوة الثالثة	بعد نحو 4.8 مليون دورة نحو (53.8) ساعة تشغيل تم أخذ ثالث قياس ويوضح الجدول (6-2) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\% = 1.2\%$

الخطوة الرابعة	بعد نحو 6.1 مليون دورة نحو (68.4) ساعة تشغيل تم أخذ رابع قياس ويوضح الجدول (6-2) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\%=1.3\%$
الخطوة الخامسة	بعد نحو 7.4 مليون دورة نحو (83) ساعة تشغيل تم أخذ خامس قياس ويوضح الجدول (6-2) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\%=1.43\%$
الخطوة السادسة	بعد نحو 8.7 مليون دورة نحو (97.6) ساعة تشغيل تم أخذ سادس قياس ويوضح الجدول (6-2) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\%=2.3\%$
الخطوة السابعة	بعد نحو 10 مليون دورة نحو (112.2) ساعة تشغيل تم أخذ سابع قياس ويوضح الجدول (6-2) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\%=2.5\%$



الشكل (5-5) يوضح حالة المسننات بعد نهاية المرحلة الثانية.

3-4-5: المرحلة الثالثة

- يطبق عزم قتل بمقدار 1.4N.m (عن طريق تحميل الذراع المعدنية بوزن 1kg) يبين الجدول (3-5) ملخص بالخطوات المطبقة خلال المرحلة الثالثة.

الجدول (3-5): ملخص بالخطوات المطبقة خلال المرحلة الثالثة	
الخطوات	ملخص بخطوات المرحلة الثالثة
الخطوة الأولى	بعد نحو 2.2 مليون دورة نحو (24.7) ساعة تشغيل تم أخذ أول قياس ويوضح الجدول (3-6) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\%=0.63\%$
الخطوة الثانية	بعد نحو 3.5 مليون دورة نحو (39.3) ساعة تشغيل تم أخذ ثاني قياس ويوضح الجدول (3-6) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\%=0.87\%$
الخطوة الثالثة	بعد نحو 4.8 مليون دورة نحو (53.8) ساعة تشغيل تم أخذ ثالث قياس ويوضح الجدول (3-6) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\%=1.31\%$
الخطوة الرابعة	بعد نحو 6.1 مليون دورة نحو (68.4) ساعة تشغيل تم أخذ رابع قياس ويوضح الجدول (3-6) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\%=1.4\%$
الخطوة الخامسة	بعد نحو 7.4 مليون دورة نحو (83) ساعة تشغيل تم أخذ خامس قياس ويوضح الجدول (3-6) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\%=1.52\%$
الخطوة السادسة	بعد نحو 8.7 مليون دورة نحو (97.6) ساعة تشغيل تم أخذ سادس قياس ويوضح الجدول (3-6) نتائج هذه القياسات وتبلغ الخسارة النسبية في الوزن $R\%=2.67\%$
الخطوة السابعة	بعد نحو 10 مليون دورة نحو (112.2) ساعة تشغيل تم أخذ سابع قياس ويوضح الجدول (3-6) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\%=2.78\%$



الشكل (5-6) يوضح حالة المسننات بعد نهاية المرحلة الثالثة.

5-4-4: المرحلة الرابعة:

- يطبق عزم بمقدار 2.1N.m (عن طريق تحميل الذراع المعدنية بوزن 1.5kg) يبين الجدول (5-4) ملخص بالخطوات المطبقة خلال المرحلة الرابعة.

الجدول (5-4): ملخص بالخطوات المطبقة خلال المرحلة الرابعة	
الخطوات	ملخص بخطوات المرحلة الرابعة
الخطوة الأولى	بعد نحو 2.2 مليون دورة نحو (24.7) ساعة تشغيل تم أخذ أول قياس ويوضح الجدول (6-4) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\%=0.87\%$
الخطوة الثانية	بعد نحو 3.5 مليون دورة نحو (39.3) ساعة تشغيل تم أخذ ثاني قياس ويوضح الجدول (6-4) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\%=1.16\%$
الخطوة الثالثة	بعد نحو 4.8 مليون دورة نحو (53.8) ساعة تشغيل تم أخذ ثالث قياس ويوضح الجدول (6-4) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\%=1.69\%$
الخطوة الرابعة	بعد نحو 6.1 مليون دورة نحو (68.4) ساعة تشغيل تم أخذ رابع قياس ويوضح الجدول (6-4) نتائج هذه القياسات

ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\%=1.8\%$	
بعد نحو 7.4 مليون دورة نحو (83) ساعة تشغيل تم أخذ خامس قياس ويوضح الجدول (4-6) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\%=1.9\%$	الخطوة الخامسة
بعد نحو 8.7 مليون دورة نحو (97.6) ساعة تشغيل تم أخذ سادس قياس ويوضح الجدول (4-6) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\%=3.1\%$	الخطوة السادسة
بعد نحو 10 مليون دورة نحو (112.2) ساعة تشغيل تم أخذ سابع قياس ويوضح الجدول (4-6) نتائج هذه القياسات ويبلغ معامل الاهتراء بدلالة الخسارة النسبية في الوزن $R\%=3.3\%$	الخطوة السابعة



الشكل (7-5) يوضح حالة المسننات بعد نهاية المرحلة الرابعة.

الفصل السادس:

النتائج والمناقشة

- 6-1 : نتائج الاختبارات.
- 6-2 : الاستنتاجات.
- 6-3 : المقترحات والتوصيات.

6- النتائج والمناقشة

6-1: نتائج الاختبارات

6-1-1: نتائج اختبار المرحلة الأولى يوضح الجدول (6-1) نتائج الاختبار.

الجدول (6-1): نتائج اختبار المرحلة الأولى من التجربة		
مسكن المقاد	مسكن القائد	
الوزن الأصلي	40.72	40.67
الوزن بعد 2.2 مليون دورة	40.55	40.50
الخسارة في الوزن (gr)	0.17	0.17
الخسارة النسبية في الوزن	0.41%	0.40%
معامل الاهتراء		R%=0.41%
الوزن بعد 3.5 مليون دورة	40.39	40.14
الخسارة في الوزن (gr)	0.33	0.34
الخسارة النسبية في الوزن	0.81%	0.80%
معامل الاهتراء		R%=0.81%
الوزن بعد 4.8 مليون دورة	40.25	40.23
الخسارة في الوزن (gr)	0.5	0.44
الخسارة النسبية في الوزن	1.16%	1.08%
معامل الاهتراء		R%=1.11%

40.12	40.21	الوزن بعد 6.1 مليون دورة
0.55	0.54	الخسارة في الوزن (gr)
1.21%	1.25%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=1.23%		معامل الاهتراء
40.08	40.17	الوزن بعد 7.4 مليون دورة
0.59	0.55	الخسارة في الوزن (gr)
1.32%	1.35%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=1.34%		معامل الاهتراء
39.90	40.01	الوزن بعد 8.7 مليون دورة
0.77	0.71	الخسارة في الوزن (gr)
1.71%	1.73%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=1.73%		معامل الاهتراء
39.90	39.92	الوزن بعد 10 مليون دورة
0.77	0.8	الخسارة في الوزن (gr)
1.89%	1.95%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=1.91%		معامل الاهتراء

6-1-2: نتائج اختبار المرحلة الثانية:

يوضح الجدول (6-2) نتائج اختبار المرحلة الثانية من التجربة.

الجدول (6-2): نتائج اختبار المرحلة الثانية من التجربة		
مسنن القائد	مسنن المقاد	
40.48	40.75	الوزن الأصلي
40.27	40.63	الوزن بعد 2.2 مليون دورة
0.21	0.12	الخسارة في الوزن (gr)
0.51%	0.29%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=0.29%		معامل الاهتراء
40.14	40.37	الوزن بعد 3.5 مليون دورة
0.34	0.38	الخسارة في الوزن (gr)
0.84%	0.93%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=0.92 %		معامل الاهتراء
40.12	40.25	الوزن بعد 4.8 مليون دورة
0.36	0.5	الخسارة في الوزن (gr)
0.88%	1.22%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=1.2 %		معامل الاهتراء

40.07	40.21	الوزن بعد 6.1 مليون دورة
0.41	0.54	الخسارة في الوزن (gr)
1.0%	1.3%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=1.3%		معامل الاهتراء
40.03	40.16	الوزن بعد 7.4 مليون دورة
0.45	0.59	الخسارة في الوزن (gr)
1.1%	1.44%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=1.43%		معامل الاهتراء
39.64	39.79	الوزن بعد 8.7 مليون دورة
0.84	0.96	الخسارة في الوزن (gr)
2.07%	2.42%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=2.3%		معامل الاهتراء
39.55	39.70	الوزن بعد 10 مليون دورة
0.93	1.05	الخسارة في الوزن (gr)
2.29%	2.45%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=2.5%		معامل الاهتراء

6-1-3 نتائج اختبار المرحلة الثالثة:

يوضح الجدول (6-3) نتائج اختبارات المرحلة الثالثة من التجربة

الجدول (6-3): نتائج اختبارات المرحلة الثالثة من التجربة		
مسنن القائد	مسنن المقاد	
40.89	40.64	الوزن الأصلي
40.62	40.38	الوزن بعد 2.2 مليون دورة
0.27	0.26	الخسارة في الوزن (gr)
0.66%	0.63%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=0.63%		معامل الاهتراء
40.56	40.32	الوزن بعد 3.5 مليون دورة
0.33	0.32	الخسارة في الوزن (gr)
0.8%	0.78	الخسارة النسبية في الوزن
R%=0.87%		معامل الاهتراء
40.35	40.10	الوزن بعد 4.8 مليون دورة
0.54	0.54	الخسارة في الوزن (gr)
1.3%	1.3%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=1.31%		معامل الاهتراء

40.24	40.06	الوزن بعد 6.1 مليون دورة
0.65	0.63	الخسارة في الوزن (gr)
1.58%	1.55%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=1.4%		معامل الاهتراء
40.24	40.01	الوزن بعد 7.4 مليون دورة
0.65	0.63	الخسارة في الوزن (gr)
1.58%	1.55%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=1.52%		معامل الاهتراء
39.75	39.79	الوزن بعد 8.7 مليون دورة
1.14	1.12	الخسارة في الوزن (gr)
2.78%	2.75%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=2.67%		معامل الاهتراء
39.71	39.48	الوزن بعد 10 مليون دورة
1.18	1.16	الخسارة في الوزن (gr)
2.88%	2.85%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=2.78%		معامل الاهتراء

6-1-4: نتائج اختبار المرحلة الرابعة:

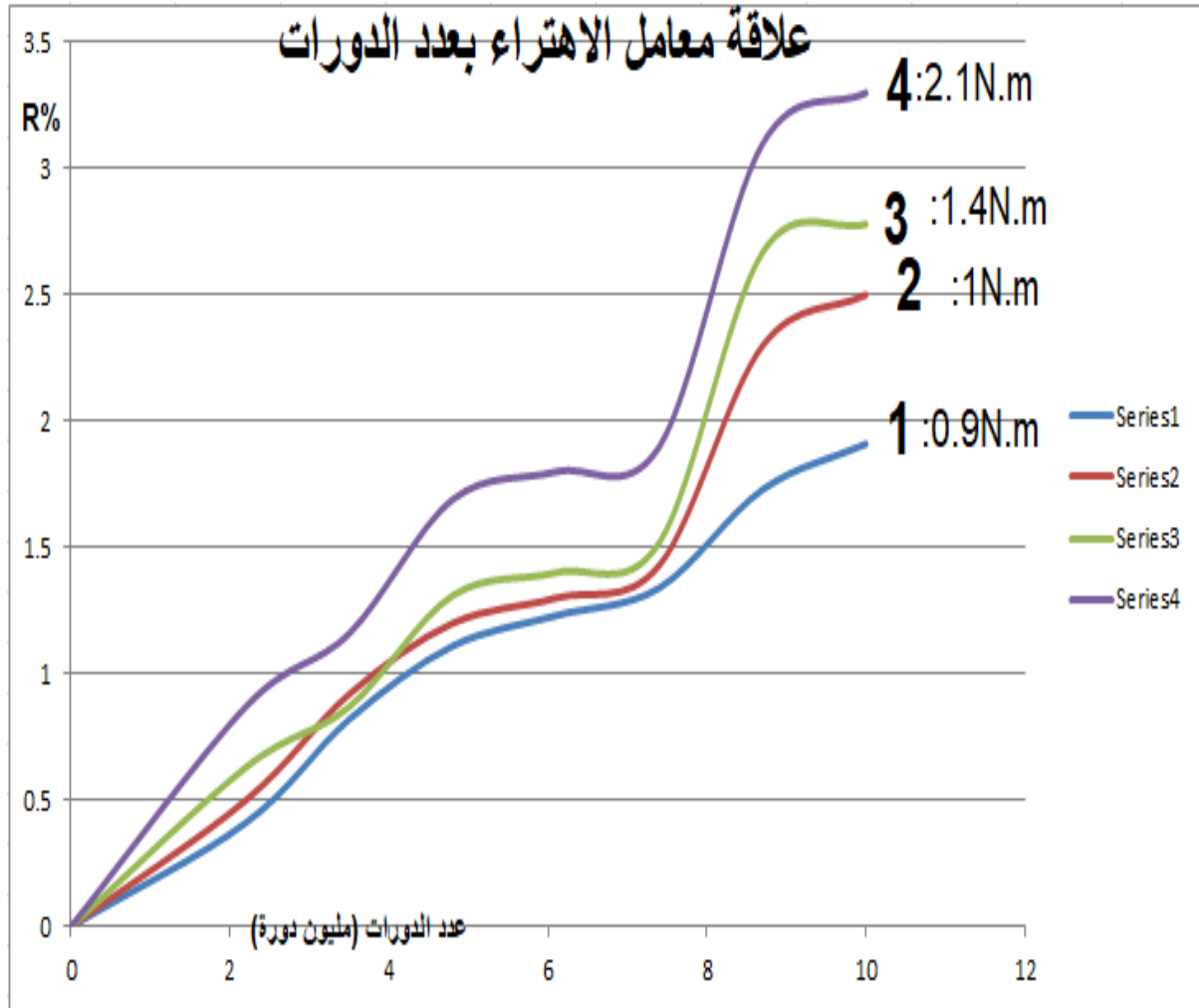
يوضح الجدول (6-4) نتائج اختبارات المرحلة الرابعة من التجربة.

الجدول (6-4): نتائج اختبارات المرحلة الرابعة من التجربة		
الوزن الأصلي	مسنن المقاد	مسنن القائد
الوزن بعد 2.2 مليون دورة	40.99	40.66
الخسارة في الوزن (gr)	40.63	40.30
الخسارة النسبية في الوزن	0.36	0.36
معامل الاهتراء	0.87%	0.88
R%=0.87%		
الوزن بعد 3.5 مليون دورة	40.51	40.18
الخسارة في الوزن (gr)	0.48	0.48
الخسارة النسبية في الوزن	1.17%	1.18%
معامل الاهتراء	1.16%	
R%=1.16%		
الوزن بعد 4.8 مليون دورة	40.31	39.96
الخسارة في الوزن (gr)	0.68	0.70
الخسارة النسبية في الوزن	1.65	1.72
معامل الاهتراء	1.69%	
R%=1.69%		

39.93	40.25	الوزن بعد 6.1 مليون دورة
0.73	0.75	الخسارة في الوزن (gr)
%1.80	%1.79	الخسارة النسبية في الوزن
R%=1.8%		معامل الاهتراء
39.87	40.21	الوزن بعد 7.4 مليون دورة
0.79	0.78	الخسارة في الوزن (gr)
1.94	1.90	الخسارة النسبية في الوزن
R%=1.9%		معامل الاهتراء
39.34	39.70	الوزن بعد 8.7 مليون دورة
1.32	1.29	الخسارة في الوزن (gr)
3.2%	3.1%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=3.1%		معامل الاهتراء
39.61	39.25	الوزن بعد 10 مليون دورة
1.38	1.41	الخسارة في الوزن (gr)
3.4%	3.3%	الخسارة النسبية في الوزن
R%=3.3%		معامل الاهتراء

بالاستناد الى نتائج معامل الاهتراء جرى الحصول على منحنى يربط معامل الاهتراء مع عدد الدورات لكل عزم فتل مطبق ومنحنى يربط معامل الاهتراء بتغير العزم.

يوضح الشكل (6-1) منحنى يربط معامل الاهتراء مع عدد الدورات لكل عزم فتل مطبق.



الشكل (6-1) يوضح علاقة عامل الاهتراء بدلالة عدد الدورات

- من خلال دراسة المنحنيات في الشكل (6-1) نلاحظ ما يلي:

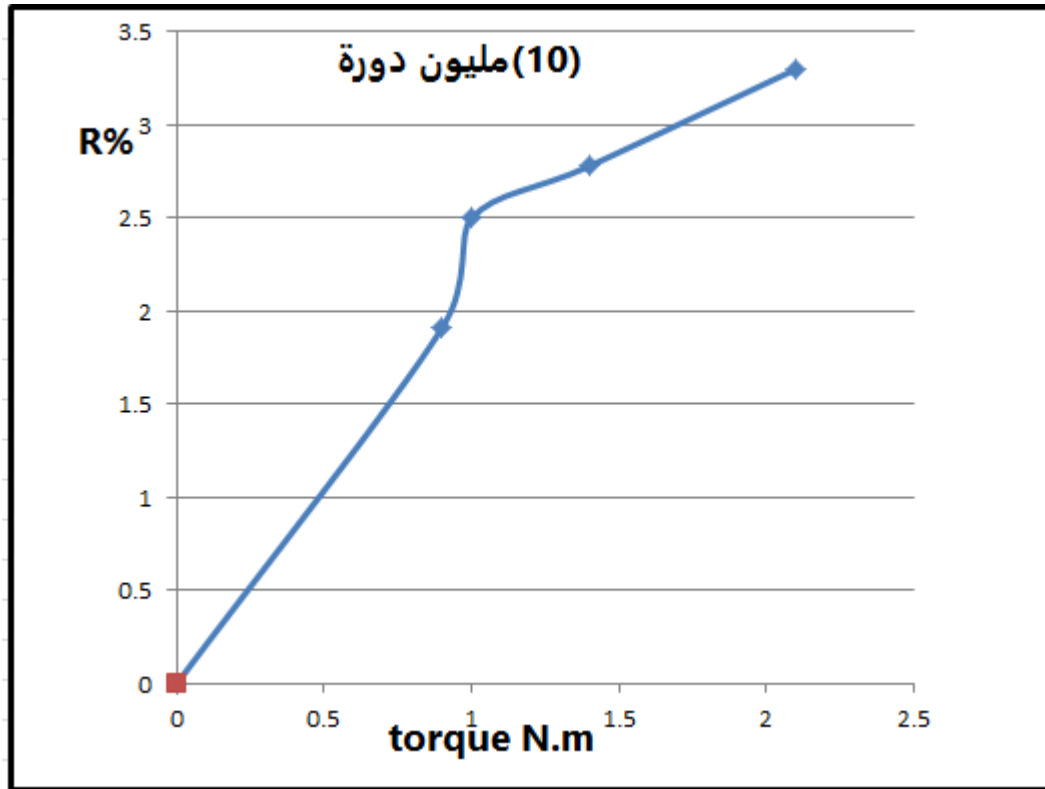
- تنقسم المنحنيات الأربعة الى ثلاث مراحل اساسية:

- المرحلة الأولى: وجود اهتراء متزايد علاقته شبه خطية بالنسبة للزمن وتختلف هذه المرحلة من منحنى لآخر تمتد هذه المرحلة من بداية التجربة حتى 4.8 مليون دورة.

-المرحلة الثانية: حصول نوع من الاستقرار وحدث اهتراء بسيط حيث تمتد هذه المرحلة من 4.8 مليون دورة الى 7.4 مليون دورة.

- المرحلة الثالثة: حصول اهتراء بوتيرة أعلى بعد نهاية مرحلة الاستقرار وذلك حتى نهاية عمر التجربة من 7.4 مليون دورة الى 10 مليون دورة.

- يوضح الشكل (2-6) منحنى يربط معامل الاهتراء مع تغير العزم:



الشكل (2-6) يوضح علاقة عامل الاهتراء بتغير العزم

- من المنحني (2-6) تزداد نسبة الاهتراء بازدياد العزم المطبق حيث في نهاية التجربة يكون العزم الاكبر ذو معامل اهتراء أعلى.

- يزداد معامل الاهتراء بازدياد العزم المطبق بعلاقة شبه خطية.

يمكن تفسير هذه النتائج على أنه عند بداية عمل المسننات يحدث ما يسمى الروداج، وهي مرحلة يكون معامل الاهتراء مرتفعة نسبياً، وذلك نتيجة أن كل مسنن يحاول أخذ وضعه النسبي بالنسبة للمسنن الآخر. تسمى هذه المرحلة في الصناعة مرحلة التشغيل الأولي، حيث لا يتم تشغيل الآلات بسرعاتها الافتراضية ولا يتم تحميلها بحمولاتها الافتراضية حتى يتم تجاوز هذه المرحلة (53.8سا)، ثم بعد ذلك

تدخل المسننات المختبرة مرحلة الاستقرار (29.2 سا) وهي حالة طبيعية حتى الآن المسننات في هذه المرحلة في الوضعية المثلى للعمل ولا يحدث فيها اهتراء ملحوظ. أما المرحلة الثالثة (29.2 سا) تبدأ بعد نهاية مرحلة العمل الطبيعي (الاستقرار) حيث يحدث تزايد ملحوظ في الاهتراء.

يزداد معدل الاهتراء في المسننات المختبرة بزيادة العزوم المطبقة، وهذه الزيادة تكون بشكل طردي مع زيادة العزوم بتقسيم التجربة إلى ثلاث مراحل رئيسية: مرحلة عدم الاستقرار (4.8 مليون دورة وتليها مرحلة استقرار تمتد نحو (2.6 مليون دورة ثم تليها مرحلة عدم استقرار تمتد نحو (2.6 مليون دورة يتبين أن مرحلة الاستقرار تعتبر مقبولة نوعاً ما.

وبالتالي يتوضح تأثير العزم بشكل سلبي على أداء وكفاءة عمل المسنن البلاستيكي وبمقارنة هذه النتائج التي تم التوصل إليها مع النتائج المذكورة في المراجع المذكورة ونلاحظ أنها تتوافق بشكل كبير مع ما ذكره الباحث D, Waltonc في المرجع.

يبين الجدول (5-6) مقارنة بين ما ذكره الباحث Waltonc.D في المرجع (8) ونتائج البحث.

الجدول (5-6) يوضح مقارنة بين ما ذكره الباحث D. Waltonc في المرجع (8) ونتائج البحث		
المادة المستعملة	الباحث D. Waltonc في المرجع (8)	نتائج البحث
اسيتال	بولي أميد 6	
النتائج	يزداد الاهتراء بزيادة العزم المطبق حتى الوصول الى قيمة حدية تنهار عندها المسننات	يزداد الاهتراء بزيادة العزم المطبق
الطريقة المستعملة	حساب الاهتراء بطريقة قياس السماكة (مم)	حساب الاهتراء بطريقة فقدان الوزن (غرام)

2-6: الاستنتاجات

من خلال هذا البحث يمكن التواصل للاستنتاجات الآتية:

1-يفضل عدم تطبيق عزم قتل كبير على المسننات لما يسببه من زيادة معدل الاهتراء حيث تبين التجربة عند تطبيق عزم 2.1N.m يخسر المسنن القائد 3.4% من وزنه، وهذه النسبة تعد كبيرة بالنسبة لوزن المسنن.

2- يتضح من التجربة أن مدة مرحلة الاستقرار لجميع المنحنيات هي نفسها تقريباً، وتمتد (2.6) مليون دورة. وهذا ما يكسب مادة البولي أميد6 ميزة الاستقرار والثباتية وعلى الرغم من أن مقدار الاهتراء يختلف من منحٍ لآخر إلا أن مدة الاستقرار ثابتة نسبياً.

3-عدم تحميل المسننات بالاستطاعات العظمى حتى نهاية المرحلة الأولى (الروداج) والتي تقدر بحوالي 4.8 مليون دورة.

4-إن اهتراء المسننات ترتبط خطياً مع زيادة العزم؛ أي إنه يوجد تناسب طردي بين زيادة العزم ومعامل الاهتراء.

2-6: المقترحات والتوصيات

- دراسة اهتراء مسنن بولي أميد 6 بتغير عزم القتل عند درجات حرارة مرتفعة حيث تعتبر درجة الحرارة عامل أساسي في التسبب بفشل المسننات لذا يعتبر دراسة اهتراء مسنن بتغير عزم القتل عند درجات حرارة مرتفعة أمر هام.
- دراسة اهتراء عدة انواع من المسننات البولي أميد 6 خاضعة لنفس الظروف (حلزوني -عدلة - مخروطي -دودي) وإمكانية تحديد النوع الأفضل من ناحية مقاومة الاهتراء.
- دراسة اهتراء مسنن PA6 بطرق أخرى غير فقدان الوزن كطريقة التحليل الهيكلي للبنية ومقارنة النتائج بين الطريقتين وتحديد الأفضل.
- دراسة اهتراء مسننات PA6 تخضع لنفس عدد دورات ونفس الاستطاعة كالاتي:
-مسنن يخضع لعزم قتل كبير عند درجة حرارة الجو المحيط.
-مسنن يخضع لعزم منخفض ودرجة حرارة مرتفعة.
دراسة إمكانية تحديد معامل الاهتراء الأكبر والوصول الى بارامترات تحدد التشغيل الأمثل للمسنن PA6.
- على الرغم من أن المسننات البلاستيكية محدودة في التطبيقات التي تتطلب استطاعات كبيرة إلا أنه مع تطور تصميم المسننات وإضافة الألياف بنسب متفاوتة جعل دخول المسننات البلاستيكية المعززة بالألياف في ساحة التطبيقات التي تتطلب استطاعات كبيرة أمر واقع وأمر في غاية الأهمية

يجعل منه قاعدة للإنطلاق في دخول المسننات البلاستيكية كمنافس حقيقي للمعادن في كافة المجالات والاستخدامات.

المراجع:

- (1) الأتاسي يمن 2009 البوليمرات العالية الاداء جامعة الملك سعود عدد صفحات 746
- (2) مجونز روبرت 2021 ميكانيك المواد المركبة عدد صفحات 830
- (3) Podkrižnik Simon 2016 Durability Investigation of plastic gears , University of Novo mesto p450
- (4) Goodwine Kaira 2019 The Ethics of Single–Use Plastics DePauw University 265
- (5) Hee Kim Gun 2013 Durability Characteristics Analysis of Plastic Worm Wheel with Glass Fiber Reinforced Polyamide University of Incheon p18
- (6) A. D. Dighe 2014 Investigation of Wear Resistance and Torque Transmission Capacity of Glass Filled Polyamide and PEEK Composite Spur Gear International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) p 5
- (7) W. M. Ghazali 2016 A Review on Failure Characteristics of Polymer Gear Faculty of Mechanical Engineering, Universitiy Malaysia Pahang p10
- (8) Hooke Christopher, D walton 2009 Friction and wear behaviour of acetal and nylon gears The University of Warwick p8
- (9) Yousef Samy 2015 A New Design of the Universal Test Rig to Measure the Wear Characterizations of Polymer Acetal Gears (Spur, Helical, Bevel, and Worm) Cairo University, Giza 12566, Egypt p30
- (10) Wilson Steve 2012 Traction and Wear Evaluation of a Number of Plastic Materials and Greases under Combined Rolling and Sliding Contact Conditions the Ohio State University p96
- (11) Sheridan David 2012 Design Development of Precision Plastic Gear Transmissions p79
- (12) سعيد أسعد 2014 البلاستيك انواعه وتأثيره على صحة الانسان جامعة البصرة عدد الصفحات (6)
- (13) Ying Gong 2009 Manufacturing and physical properties of all–polyamid Composites Article in Journal of Materials Science p(7)
- (14) Njuguna J 2016 Influence of Temperature on Mechanical Properties of Short Glass Fibre-Reinforced Polyamide 6 and 66 Composites for Automotive Robert Gordon University Aberdeen, United Kingdom P20
- (15) Adams, C.E. 1986 Plastics Gearing. New York: Dekker p720

- (16) Kwara OmuAran 2015 Department of Mechanical Engineering, Nigeria
- (17) McKinlay, W. 1976. A System for Involute Spur and Helical Gears, p360
- (18) McGuinn jack 2016 Plastic Gearing Continues Converting the Unconverted, p392
- (19) Rajesh Kumar 2016 Design and Contact Analysis of Plastic Spur Gears Using Finite Element Analysis KP Engineering College, Tamil Nadu, India p7
- (20) Adams, C.E. 1986 Plastics Gearing. New York: Dekker p720
- (21) Mani Mahesh Plastic Gear Moulding Design Guide company Scribd p27
- (22) بكري أمين 2017 تصميم عناصر الآلات باستخدام المواد البلاستيكية دراسة حالة :اهتراء المسننات

المصنعة من البولي أميد جامعة دمشق عدد الصفحات 88

Abstract:

Plastic Gears are able to operate at relatively high working speeds and are relatively resistant to rising temperatures, giving a relatively high operational life, especially in the area of low and medium-use work.

In this research, polyamide was selected for characteristic properties such as corrosion resistance, resistance to organic solvents, etc. These characteristics make polyamide in the designer's menu of options when choosing a gear and that testing polyamide anesthesia in working conditions similar to the actual working conditions gives us accurate results of the behavior of this substance when working, thus helping us determine precisely where it works, how it is designed and how it is best used.

In this research, four gears pairs of polyamide-6 were studied under specific working conditions and under the influence of different torque. For this purpose, a test device consisting of an engine, a metal arm, weight blocks and a pair of polyamide was designed.

The torque was applied with an arm loaded with a particular weight and the anesthesia of the gear was estimated in a way that computed the R% by estimating the relative weight loss using a sensitive balance.

The anesthesia is weighed before the test and then the atherosclerosis factor is wear.

This process was repeated with the application of a new torque in (1-1.4-2.1)N.m. Based on the results of the wear factor, a curve was obtained linking factor wear to the number of cycles per applied torque. In all of these curves, an increased initial wear period was observed, after which the gear would enter a stabilization period (a simple wear), after which the gear would enter a period of increased wear but at a lower frequency than the initial.

as the experiment shows a curve By tying down the wear rate to the torque of the hill this chart results in the failure of the gears to load too much due to their impact on gear operation and wear rate, and also concludes that the polyamide gears are good for low-power, high-return applications.

Damascus University

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering

Design Engineering Department



The Study of The Wear of Polyamide Gears Under The Effect of Different Torques

Graduation project prepared to obtain the Degree of Master

In Engineering of the Mechanical Design

By

Eng. Moussa Baddour

Supervised by

Dr. Eng Mohamad Samir Albrzawi

Academic Year

2022-2021