

تأثير الخلوصات في الآلات العاملة في الظروف الديناميكية

د. حسين حمزة⁽¹⁾

الملخص

يعد تشتت جزء من الطاقة الموجهة لفعالية ما في جسم الآلة، أو تحول هذه الطاقة إلى نوع آخر من الأمواج غير المفيدة أحد الأسباب المؤدية إلى انخفاض فعالية هذه الآلة أو انهيارها، وبخاصة تلك الآلة التي تعمل في الظروف الديناميكية (الصدم الطولي مثلاً) . يكمن موضوع هذا البحث في إجراء دراسة تحليلية لأحد الأسباب التي تؤدي إلى تبادل الطاقة بين ناقل الأمواج الطولية وجسم الآلة وتأثير ذلك في مردود هذه الآلة وفعاليتها. يتعرض ناقل الأمواج الطولية لإجهادات ذات قيم عالية جداً مما يؤدي إلى انفعالات طولية وعرضية في الناقل (المحور) أثناء مرور الموجة وتأثيرها في الخلوص الذي يفصل بين الناقل والدليل. جرى توضيح ذلك بواسطة المعادلات الرياضية المستنتجة، التي تبين كلاً من الانفعالات الموجية لمعدن الناقل والطاقة المنتقلة في جسم الآلة، والتي تعمل على انخفاض فعالية الآلة واهتزازها بشكل غير مرغوب به وأحياناً إلى تفككها (أو انهيارها). بين هذا البحث ضرورة الأخذ بالحسبان تلك الظاهرة المرافقة لانتشار الأمواج الطولية وتأثيرها في أبعاد الناقل بغية تلافي الجوانب السلبية المذكورة آنفاً.

كلمات مفتاحية: الصدم الطولي، انتشار الأمواج الطولية، طاقة الانفعالات الصدمية، ازدواجات التجميع، مقاومة المواد.

⁽¹⁾ قسم القوى الميكانيكية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق

The Effective of clearances on machines operated at dynamic dictation

⁽¹⁾Hossen Hamza, Dr. Eng.

ABSTRACT

One of the reasons leading to decrease the effectiveness and breakdown of the machine operating under dynamic conditions is the dispersion of part of energy directed to an activity in the machine body, or its transformation into another type of non-useful wave.

The subject of the research is to conduct an analytical study for one of the reasons that leads to the energy exchange between the longitudinal wave vector and the machine body and its effect on the efficiency and effectiveness of the machine.

The conductors metal of longitudinal waves are subjected to stresses of very high values, which leads to longitudinal and transverse deformations in the conductor metal during the passage of the wave and its effect on the clearance separating the carrier and the guide.

Therefore, this was clarified by the deduced mathematical equations that show the wave deformations of the conductor metal and the energy transmitted to the machine body that reduces the effectiveness of the machine, its undesirable vibration, and sometimes to its dissociation.

In conclusion, the research shows the necessity to take into account the phenomenon accompanying the process of longitudinal wave propagation and its effect on the dimensions of the conductor metal to avoid the negative aspects mentioned previously.

Keywords: Longitudinal impact, propagation of longitudinal waves, energy of shock waves, assembly tolerance, resistance of materials.

⁽¹⁾ Department of General mechanics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University

1-المقدمة:

من المعلوم إن الآلات العاملة في الظروف الديناميكية (الصدمة) تتطلب دقة في التصميم والتصنيع، وذلك بسبب توافر القيم الكبيرة للإجهادات الديناميكية المتغيرة بالقيمة والاتجاه.

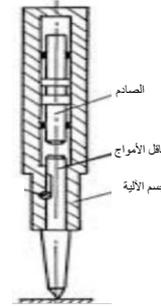
تتعرض نواقل الأمواج الطولية لإجهادات ذات قيم عالية جداً مما يؤدي إلى انفعالات طولية وعرضية في النواقل (المحاور) أثناء مرور الموجة وتأثيرها في الخلوص، الذي يفصل بين الناقل والدليل.

إن انتشار الأمواج الصدمية الطولية في المحاور (آلات الطرق والحفر) تعمل على تغيير في أبعاد الخلوصات فيما بينها نتيجة الانفعالات الموجية المنتشرة في معدن الآلة، مما يؤدي إلى ظهور حركة نسبية بين أجزائها المتماسكة، وفي النتيجة فقدان الآلة لدقتها وفعاليتها، وفي كثير من الأحيان انهيارها خلال فترة محدودة [1,2].

وقد تطرقت عدة بحوث إلى دراسة تأثير الصدم الطولي في متانة الآلات العاملة في الظروف الديناميكية [3,4].

2-الهدف من البحث:

دراسة تحليلية لتحديد الانفعالات الموجية العرضية في محاور آلة الحفر بالصدمة واستنتاج المعادلات الرياضية الناظمة لانتقال الطاقة الموجية إلى جسم الآلة شكل (1)، وذلك كما يلي:



الشكل (1) مقطع طولي في الآلة التي تعمل بمبدأ الصدم.

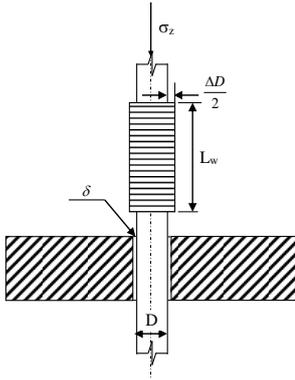
1-استنتاج المعادلات الخاصة بالانفعالات الموجية العرضية للمحاور عند تحميلها بالأمواج الطولية (الإجهادات الطولية σ_z).

2-استنتاج المعادلات الرياضية التي تبين تبادل الطاقة بين المحور (ناقل الأمواج) وجسم الآلة أثناء عبور الموجة.

3-منهجية البحث:

3-1 استنتاج المعادلات الخاصة بالانفعالات الموجية العرضية للمحاور عند تحميلها بالأمواج الطولية.

لدراسة هذا النظام العامل في الظروف الصدمية أُخذ مقطع طولي في المحور المحمل بالأمواج الطولية وجسم الآلة شكل (2):



الشكل (2) مقطع طولي يبين انتقال الأمواج الطولية في المحور الناقل.

تعمل الإجهادات الموجية الطولية σ_z على ظهور انفعالات طولية U_z وعرضية U_x و U_y على طول الموجة المنتشرة في المحور بسرعة الصوت (a) في المعدن [4,5]:

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1)$$

حيث: E - عامل يونغ. ρ - الوزن النوعي للناقل.

استناداً إلى الشروط الحدية للنموذج المدروس حيث:

$$\tau_{zx} = \tau_{zy} = 0, \quad \sigma_x = \sigma_y = 0$$

$$t_w = \frac{L_w}{a} \quad (9)$$

في حال كانت الموجة الطولية المنتشرة في المحور موجة شد، فإن الاجهادات σ_z تتمتع بإشارة موجبة تعمل على تقليص قطر المحور حسب العلاقة (8) وزيادة في طوله حسب العلاقة (6) والعكس صحيح.

هذا يعني أنه في الحالة الأولى تؤدي إلى جعل الخلوص δ بين المحور والدليل (التقرب) يزداد عن الخلوص المحدد والمصمم مما يسبب ظهور أمواج الانحناء التي تنشأ نتيجة اللامركزية بين المحور والدليل، وفي كثير من الأحيان تصل إلى قيم كبيرة وخطرة جداً بحدود 53% من الاجهادات الطولية، وتُعيّن هذه القيمة بدقة [1,2,8] بالعلاقة التالية:

$$\sigma_G = (0.26 - 0.42) \frac{i}{\sqrt{\frac{I}{A}}} \times \frac{v}{a} E \quad (10)$$

i - عامل الانزياح اللامركزي.

A - مساحة المقطع العرضي.

I - عزم العطالة المحوري لمقطع المحور العرضي.

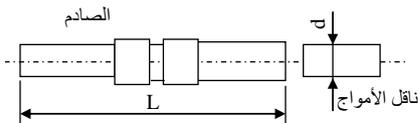
v - سرعة الانفعالات الطولية لمعدن المحور.

من الملاحظ بأن الاجهادات σ_G حسب العلاقة تزداد بشكل طردي مع ازدياد i أي بزيادة الخلوص بين المحور والدليل.

أما في الحالة الثانية عندما تكون موجة ضغط، والتي هي الأكثر شيوعاً في الآلات العاملة في المناجم، يحصل العكس حيث الانفعالات الطولية حسب العلاقة (6) $0 > \square L$ والانفعالات العرضية $\square D > 0$ حسب العلاقة (8).

وكمثال عددي للنقار الهيدروليكي S2000HD الشكل

(3)، يبين الجدول (1) أبعاد النقار المذكور [9]:



الشكل (3) مقطع طولي للاصادم والناقل في النقار الهيدروليكي.

والتعويض في قانون هوك العام [6,7] :

$$\left. \begin{aligned} \frac{du_x}{dx} &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)] \\ \frac{du_y}{dy} &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_x + \sigma_z)] \\ \frac{du_z}{dz} &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_y + \sigma_x)] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

يمكن تحديد الانفعالات النسبية التي تظهر في مقاطع المحور الطولية والعرضية على طول الموجة خلال عبورها، حيث μ معامل بواسون:

$$\frac{du_x}{dx} = -\frac{\mu}{E} \sigma_z \quad (3)$$

$$\frac{du_y}{dy} = -\frac{\mu}{E} \sigma_z \quad (4)$$

$$\frac{du_z}{dz} = \frac{\sigma_z}{E} \quad (5)$$

وبما أن الاجهادات الموجية الطولية σ_z تنتشر في محور ذي أبعاد طولية تفوق مثيلاتها العرضية يمكن عندئذ اعتبارها تتوزع بشكل منتظم (فرضية بيرنولي) [6,7] ولا تتعلق بالإحداثيين x، y.

يمكن إيجاد الانفعال الطولي U_z من العلاقة (5):

$$U_z = \Delta L = \int_0^{L_w} \frac{\sigma_z}{E} dz = \frac{\sigma_z}{E} L_w \quad (6)$$

L_w - طول الموجة المنتشرة.

ويمكن إيجاد الانفعال العرضي لمقطع المحور من العلاقات (3,4):

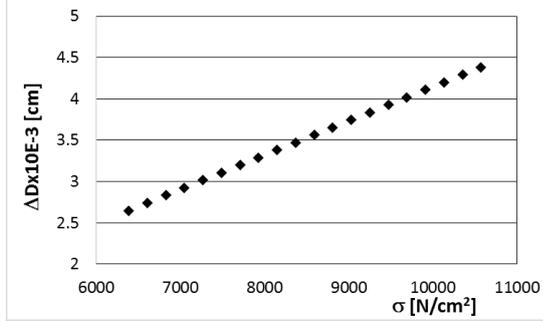
$$\left. \begin{aligned} U_x = U_y &= -\frac{\mu}{E} \int_{-r}^r \sigma_z dy \\ &= -\frac{\mu}{E} 2r \sigma_z = -\frac{\mu D}{E} \sigma_z \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

أي مقدار الانفعال العرضي لقطر المحور:

$$\Delta D = -\frac{\mu D}{E} \sigma_z \quad (8)$$

يترافق هذا الانفعال العرضي لقطر الناقل مع انتشار الموجة الطولية في المحور والمرتبب بزمن استمرارية الموجة الطولية:

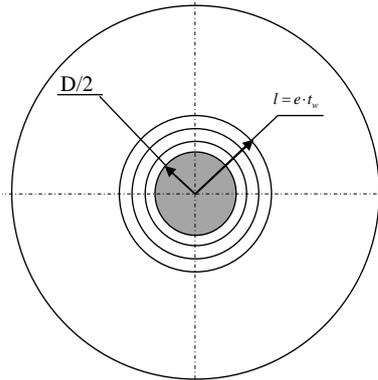
ويبين الشكل (4) العلاقة بين الانفعالات العرضية واجهادات الضغط لقطر المحور، والتي تأخذ شكل علاقة خطية.



الشكل (4) العلاقة بين الانفعالات العرضية لقطر المحور واجهادات الضغط.

يبين الشكل (4) العلاقة الخطية بين الانفعال العرضي للمحور الناقل للأموح، والاجهادات العابرة مع الموجة، حسب العلاقة (8)، مما يؤدي إلى نقصان قيمة الخلوص بين الناقل وجسم الآلة.

وفي اللحظة التي تكون $\Delta D > 2\delta$ تصبح حركة المحور قسرية، حيث يحصل التلامس أو التماسك بين المحور والدليل والذي يستمر طوال عبور الموجة الطولية، مما يؤدي إلى انتشار أمواج الاجهادات العرضية في جسم الآلة بسرعة الصوت وانتقال جزء من طاقة الموجة الطولية إلى أجزاء الآلة شكل (5).



الشكل (5) انتشار أمواج الاجهادات العرضية في جسم الآلة (مسقط أفقي)

الجدول (1) أبعاد النقار الهيدروليكي S2000HD

m=244 Kg	كتلة الصادم
L=1.738 m	طول الصادم
d=0.17 m	قطر ناقل الأمواج
E=8200 J	استطاعة النقار
f=6.7 HZ	تردد الصادم

قوى طولية متغيرة بين 1450kN و 2400kN يبين الجدول (2) قيمة تغير قطر النقار كتابع لتغير الاجهاد حسب العلاقة (8).

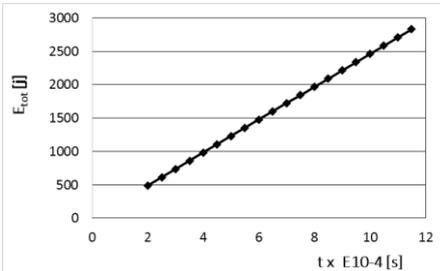
الجدول (2) الانفعال العرضي والاجهادات في ناقل الأمواج.

F [N]	σ [N/cm ²]	$\Delta D \times 10^{-3}$ [cm]
1450000	6388.23	2.65
1500000	6608.51	2.74
1550000	6828.8	2.83
1600000	7049.08	2.92
1650000	7269.36	3.01
1700000	7489.64	3.11
1750000	7709.93	3.2
1800000	7930.21	3.28
1850000	8150.5	3.38
1900000	8370.78	3.47
1950000	8591.06	3.56
2000000	8811.35	3.65
2050000	9031.63	3.74
2100000	9251.91	3.84
2150000	9472.2	3.93
2200000	9692.48	4.02
2250000	9912.76	4.111
2300000	10133.05	4.20
2350000	10353.33	4.29
2400000	10573.62	4.38

وكمثال عددي للنفار الهيدروليكي S2000HD الشكل (3)، يبين الجدول (3) قيمة تغير الطاقة المنتقلة كتابع لتغير زمن عبور الموجة. الجدول (3) الطاقة المنتقلة مع تغير زمن عبور الموجة.

$t \times 10^{-4} [s]$	$E_{tot} [J]$
0	0
2	492.093
2.5	615.1163
3	738.1396
3.5	861.1628
4	984.1861
4.5	1107.209
5	1230.233
5.5	1353.256
6	1476.279
6.5	1599.302
7	1722.326
7.5	1845.349
8	1968.372
8.5	2091.395
9	2214.419
9.5	2337.442
10	2460.465
10.5	2583.488
11	2706.512
11.5	2829.535

كما تم رسم الطاقة الضائعة المنتقلة إلى جسم الآلة أثناء الصدم كتابع لزمن عبور الموجة الطولية كما هو مبين في الشكل (6).



الشكل (6) العلاقة بين الطاقة المنتقلة في جسم الآلة وزمن الصدمة.

2-3 استنتاج المعادلات الرياضية التي تبين تبادل الطاقة بين المحور (ناقل الأمواج) وجسم الآلة أثناء عبور الموجة.

استنتاج العلاقات التي تبين تبادل الطاقة بين المحور وجسم الآلة أثناء مرور الموجة:

يمكن وبشكل تقريبي، حساب كتلة المعدن التي انتشرت إليها الموجة العرضية بالعلاقة التالية [5]:

$$m_G = \rho A e t_w \quad (11)$$

حيث:

ρ - الكثافة الحجمية لمعدن الدليل، A - مساحة سطح التماس - e - سرعة انتشار الموجة العرضية.

t_w - زمن استمرارية الموجة الطولية .

حسب قانون نيوتن الثاني ومبدأ تغير كمية الحركة واعتبار القوة F ثابتة [10] نجد القوة المطبقة على سطح الدليل (القوة داخل الموجة العرضية):

$$F t_w = m_G v = \rho A e t_w v \quad (12)$$

v - سرعة الانفعالات الداخلية لمعدن الدليل.

$$F = \rho A e v = C \cdot v \quad (13)$$

$C = \rho A e$ - المقاومة الموجية العرضية.

وبالتالي سرعة الانفعالات الداخلية لمعدن الدليل:

$$v = \frac{F}{C} \quad (14)$$

الانفعال العرضي الحاصل على طول الموجة المنتشرة

في جسم الآلة:

$$U = v t_w = \frac{F}{C} t_w \quad (15)$$

الطاقة المنتقلة إلى جسم الآلة:

$$E_{tot} = F U = \frac{F^2}{C} t_w \quad (16)$$

إلى انتقال جزء من طاقة الموجة إلى جسم الآلة على شكل طاقة حركية وكامنة.

4- تؤدي الطاقة الحركية إلى حركة نسبية اهتزازية بتردد عبور الأمواج الطولية، مما يؤثر في تماسك أجزاء الآلة ودقة عملها وفعاليتها.

5- في حال حصل تطابق بين الدور الخاص لجسم الآلة وعبور الموجة الطولية المباشرة، يمكن أن يصل تردد المجموعة بكاملها إلى حالة الطنين وانهيار الآلة وتفككها [11].

6- من الواضح أنه كلما ازداد زمن عبور الموجة t_w ازدادت الطاقة المنتقلة لجسم الآلة.

7- لابد عند تصميم المحاور ودلائلها في الظروف الديناميكية مراعاة كل ما ورد في هذا البحث، بحيث تكون دقة التصنيع عالية جداً.

نلاحظ في الشكل العلاقة الخطية بين الطاقة الضائعة المنتقلة إلى جسم الآلة وزمن عبور الموجة، حيث إن زيادة زمن عبور الموجة يزيد الطاقة المنتشرة في جسم الآلة مما يؤدي إلى زيادة اهتزازها، وانخفاض مردودها.

تحسب الطاقة الحركية للموجة المنتشرة بالعلاقة:

$$E_k = \frac{m_G v^2}{2} = \frac{F^2 t_w}{2C} \quad (17)$$

أما الطاقة الانفعالية الكامنة للموجة المنتشرة تحسب بالعلاقة:

$$E_p = \frac{FU}{2} = \frac{F^2 t_w}{2C} \quad (18)$$

كما هو ملاحظ من العلاقتين (16) و (17) إن الطاقة الحركية للموجة تساوي نصف الطاقة الكلية المنتقلة إلى جسم الآلة وهذه الطاقة تعمل على تحريك أجزاء الآلة بسرعة الانفعالات حسب العلاقة (14) مما يؤدي إلى حركة اهتزازية لأجزاء الآلة.

الخاتمة:

1- يؤدي انتشار الأمواج الطولية إلى ظهور انفعالات عرضية في المقطع العرضي للناقل، إذ يمكن أن تؤدي هذه الانفعالات إلى زيادة الخلوص δ أو نقصانه وأحياناً انعدامه، وذلك وفقاً لطبيعة الموجة (شد أو ضغط).

2- في حال كان الخلوص $\delta \ll 2D$ ، وبخاصة عند مرور أمواج الشد، يمكن أن يؤدي ذلك إلى ظهور أمواج الانحناء العرضية، وبالتالي اجهادات الانحناء σ_G ذات التأثير الخطر في متانة المحور والآلة بشكل عام وفعاليتها.

3- في حال كان الخلوص $\delta \leq 2D$ وهي الحالة الأكثر شيوعاً في حال الصدم الطولي ومرور أمواج الضغط، عندئذ يمكن أن يحدث التلامس أو التماسك بين المحور والدليل خلال فترة عبور الموجة، مما يؤدي

References المراجع

- [1] Бегагоен И.А., Дядора А.Г., Бажал А.И «Бурильные машины». М.:Недра, 1972.-368с.
- [2] Бегагоен И.А., Бойко А.ИГ. «Повышение точности и долговечности Бурильных машин». М.:Недра, 1985.-214с.
- [3] Алимов О.Д., Манжосов В.К., Еремьянц В.Э «Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах». -М.: наука, 1985.-358с`
- [4] ремьянц В.Э. «ДИНАМИКА УДАРНЫХ СИСТЕМ». Учебное пособие: В 2 ч. Ч. 1. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2011. 324 с.
- [5] Авдеева А.И. «Разработка методики расчета распространения продольных волн деформаций по буровому инструменту» 2014. - С. 328-333.
- [6] Степин П.А. «сопротивление материалов». изд.-М высшая шкла, 1988.-367с.
- [7] JOHN CASE, LORD CHILVER, CARL T.F. ROSS, "Strength of Materials and Structures" 4 edition ISBN 0 340 71920 6, 719 Pages·2006.
- [8] Иванов к.и., Ермоленко М.М., Андреев В.И. «Техника Бурения» -М.:Недра., 1966.-370с.
- [9] В. К. Манжосов, В. В. Слепухин «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО УДАРА В СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМАХ НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ». (2011)
- [10] J.L Meriam; L.G. Kraige., «Engineering Mechanics Dynamics». American Society for Testing and Materials International. (2015).
- [11] د. عبدو شحادة، د. وعد عمران ، "ديناميك الآلات والاهتزازات" منشورات جامعة دمشق (2016)

Received	2021/3/1	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2021/5/19	قبول البحث للنشر