

الاختيار الأمثل لشكل الصادم في آلات الحفر العاملة بالصدمة

د. حسين حمزة⁽¹⁾

الملخص

يزداد الطلب على الفحم الحجري والمعادن باطراد، بغية زيادة القدرة الإنتاجية للمؤسسات والمنافسة في الأسواق العالمية، إن الحصول على كميات كبيرة من المعادن يتوقف على استخراج كميات كبيرة من المواد الخام، وهذا يرتبط بشكل أساسي بفعالية الآلات العاملة في هذا المضمار. تطور صناعة التعدين مجموعة متنوعة من الآلات التي تعمل بطرق مختلفة في مجال التنقيب عن المعادن، فمنها ما يعتمد على عمليات الحفر بالطرق (الصدمة)، وهذا يتطلب تحسين معدات الحفر بهدف التخفيف من اليد العاملة والوقت والطاقة والمال. إن آليات الحفر بالطرق (الصدمة) يتوقف عملها على عدة عناصر أساسية هي الصادم وناقل الأمواج وأداة الحفر. نتيجة صدم ناقل الأمواج تنتشر موجة انفعالات بسرعة الصوت في معدن الناقل وذات بارامترات محددة تتعلق بمواصفات الصادم إلى المكان المراد استثمار طاقة الموجة في تحطيمه. إن الموجة المتشكلة عن طريق الصادم، والمحملة بالطاقة، تنتقل عبر ناقل الأمواج إلى أن تصل إلى نهايته، حيث يتم الاستفادة من جزء من هذه الطاقة، وجزء ينتشر في الوسط المحيط، وجزء آخر ينعكس عائداً إلى الآلة مؤدياً إلى أضرار فيها ودون أي فائدة إنتاجية، وبناء على الاستثمار الفعال لطاقة الموجة يحدد مردود أو فعالية الآلة العاملة على هذا المبدأ. تبين من خلال هذا البحث أن بارامترات الأمواج المرنة المتشكلة في الجزء الأساسي والرئيسي من الموجة والذي يتمتع باستمرارية محددة يكون في المقدمة، وهو الذي يلعب الدور الفعال في تحطيم المادة. وللاستفادة من أكبر كمية من الطاقة المحمولة في الموجة، يجب على المصمم تشكيل موجة ذات مواصفات محددة من جميع النواحي، بحيث تتطابق تقريباً مع مواصفات المقاومة الديناميكية للمادة المراد تحطيمها، فكلما كانت قريبة منها كلما كانت فعالية ومردود الآلة أفضل. ويخلص هذا البحث إلى نتيجة هامة تربط بين تغيير بارامترات الموجة الرئيسي بتغيير أبعاد الصادم وإيجاد التصميم الهندسي المناسب والأمثل للصادم المتوافق مع المقاومة الديناميكية للمادة المراد تحطيمها، دون الحاجة لتغيير استطاعة الآلة أو مواصفاتها.

كلمات مفتاحية: الصدم الطولي، انتشار الأمواج الطولية، طاقة الانفعالات الصدمية، آلات الحفر بالصدمة، المقاومة الديناميكية للمواد.

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

The perfect choice of shocker shape in impact drilling machines

⁽¹⁾Hossen Hamza, Dr. Eng.

ABSTRACT

These days, demanding for coal and minerals is steadily increasing in order to increase the productive capacity of enterprises and competition in global markets at the lowest cost. The provision of minerals is related to the extraction of large quantities of raw materials depending mainly on the effectiveness of machines operating in this regard.

Therefore, mining industry is developing on a variety of machines that operate in different ways in this field, including impact drilling (shock) and this requires the improvement of drilling equipments in order to reduce labor, time, energy and money.

The drilling machines of impact drilling (shock) depend mainly on several elements: the shocker and the drilling tool) the wave carrier formed by the shocker).

When the wave carrier hits, a wave of deformation spreads at the speed of sound in the carrier's metal and has specific parameters related to the shocker specifications where the wave the place energy is to be invested in destroying it.

The shock and energy-loaded wave is transmitted through the wave carrier until it reaches its end, where part of this energy is utilized, one part is scattered in the surrounding middle, and another part reflects back to the machine without any benefit and therefore determines the yield or effectiveness of the machine operating on this principle.

In order to take advantage of the greatest amount of energy carried in the wave, the designer must form a wave with specific parameters that almost match the specifications of the dynamic resistance of the material to be broken, this result in more efficient machine performance.

It was found through research in the parameters of the elastic waves formed, that the main part of the wave, which has a specific continuity, who plays a main role in breaking the material.

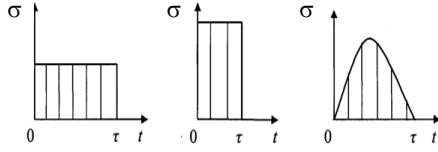
This research concludes to an important conclusion linking the main wave shape and the shocker shape and finding the appropriate and optimal design for the shocker compatible with the dynamic resistance of the material to be broken, without the need to change the machine's capacity or specifications.

Keywords: Longitudinal impact, propagation of longitudinal waves, energy of shock waves, Impact drilling machines, resistance of materials.

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

1- المقدمة

الديناميكية للمادة المتفاعلة معها في عملية الحفر أو ما يعرف بمعامل الانعكاس الديناميكي. عند صدم ناقل الأمواج تنتشر موجة انفصالات بسرعة الصوت في معدن الناقل وذات بارامترات محددة تتعلق بمواصفات الصادم من حيث استمراريته ومطالها الأعظمي وشكلها وكمية الطاقة التي تحملها ويمكن للأمواج أن تحمل نفس كمية الطاقة ولكن بأشكال مختلفة كما هو مبين في الشكل (2).



الشكل (2) أمواج صدمية مختلفة البارامترات تحمل نفس كمية الطاقة.

ومن هذه البارامترات:

زمن استمراريته والذي يعتمد بشكل أساسي على طول الصادم [2,3] حسب العلاقة:

$$t_w = \frac{2L_1}{a_1} \quad (3)$$

حيث :

L_1 - طول الصادم. a_1 - سرعة الصوت في معدن الصادم.

القوة في الموجة المنتشرة حسب العلاقة [3,2] :

$$N = \rho A a v = C v \quad (4)$$

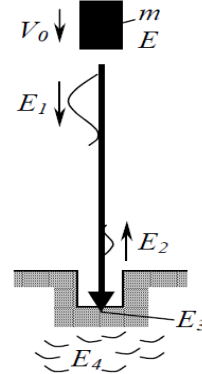
حيث:

v - سرعة الانفعالات داخل الموجة.

$C = \rho A a$ - الصلابة الصدمية (الموجية) للناقل والتي تتوقف على مساحة مقطعه العرضي A والكثافة النوعية ρ وسرعة الصوت في معدن الناقل a . وأخيراً شكل الموجة الذي يعتمد بشكل رئيسي على المواصفات

الهندسية لأبعاد الصادم كما سنرى لاحقاً.

إن فعالية الآلات العاملة على مبدأ الصدم كما هو مبين في الشكل (1).



الشكل (1) توزيع الطاقة أثناء عملية الحفر.

يتوقف على استثمار الطاقة الحركية المقدمة من الصادم والتي تعطى بالعلاقة:

$$E_k = E_1 = \frac{mv_0^2}{2} \quad (1)$$

حيث m - كتلة الصادم. v_0 - سرعة الصادم.

تتحول طاقة الصادم أثناء الصدم إلى موجة مرنة منتشرة في ناقل الأمواج إلى أداة الحفر بسرعة الصوت محملة بالطاقة $E_1 = E_k$ إلى المكان المراد استثمارها فيه حيث يتم الاستفادة بشكل فعال من جزء من هذه الطاقة E_3 وجزء ينتشر في الوسط المحيط E_4 وجزء آخر ينعكس عائداً إلى الآلة E_2 دون الاستفادة منه وبناء على ذلك يحدد مردود أو فعالية الآلة العاملة على هذا المبدأ بالعلاقة [1]:

$$\eta = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \quad (2)$$

فكلما كانت الطاقة المنعكسة أقل كلما كان مردود آلة الحفر أفضل وهذا يتوقف بشكل أساسي على مواصفات الموجة المنفصلة أثناء عملية الصدم وتناغمها مع المقاومة

ضغط وهذا يتوقف على معامل الانعكاس الديناميكي q بين الفلز وأداة الحفر ويكون مفعولها عكسي وذات تأثير سلبي على عمل الآلة ومردودها، مما يؤدي أيضاً إلى ظهور حركة نسبية بين أجزائها المتماسكة وفي النتيجة فقدان الآلة لفعاليتها وفي كثير من الأحيان انهيارها خلال فترة محدودة [4].

أما إذا كان العكس أي الاجهاد في الموجة أكبر بكثير من الاجهاد اللازم لتحطم المادة فإن جزءاً من الطاقة غير المستثمر E_2 بشكل فعال أيضاً سوف ينعكس إلى جسم الآلة على شكل موجة تمدد ولها تأثير سلبي أيضاً على مردود الآلة ومتانتها [4].

وبنفس المنطق في حال كمية الطاقة في الموجة تفوق كمية الطاقة اللازمة عند إذ الطاقة غير المستثمرة E_2 تعود إلى جسم الآلة بتأثير سلبي.

2- الهدف من البحث:

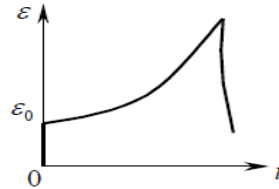
دراسة تحليلية لتحديد الانفعالات الموجية الطولية في ناقل الأمواج لآلة الحفر بالصدمة، والعلاقات الرياضية الناظمة التي تربط بين شكل ومواصفات الموجة المنتشرة في الناقل وشكل الصادم وتأثيره على انتقال الطاقة الموجية إلى ناقل الأمواج، بحيث تمكننا من اختيار مواصفات محددة للصادم نستطيع من خلاله إحداث موجة تكون قريبة قدر الإمكان من حيث البارامترات من مواصفات المقاومة الديناميكية للمادة المراد تحطيمها بغية الوصول إلى مردود أفضل للآلة.

3- منهجية البحث:

يمكن وصف عملية تكون وانتشار أمواج الانفعالات المرنة في نظام يعمل على مبدأ الصدم الطولي حسب الشكل (4) من خلال النظرية الموجية أحادية البعد التي صاغها العالم الفرنسي Sain-Venan كما يلي [2,3]:

إن فعالية الأمواج الصدمية الطولية المنتشرة في ناقل الأمواج إلى الوسط المراد تحطيمه يجب أن تتمتع بمواصفات محددة لكي تستطيع أن تقوم بالفعالية المطلوبة منها، وقد بينت عدة دراسات في هذا المجال [1,2] على العلاقة التي تربط بين شكل الصادم وبارامترات الموجة المذكورة آنفاً وبالتالي فإن مردود آلة الصدم وفعاليتها لا يتوقف فقط على كتلة الصادم وسرعته الابتدائية وإنما أيضاً على شكل الأجسام المتصادمة، بناءً على ذلك، يجب الاهتمام بتصميم الصادم وتحديد بارامتراته في آلات الصدم الطولي لما له من أهمية كبيرة على مردود الآلة.

فكما نعلم تتمتع كل مادة بمقاومة ذات بارامترات محددة للتحطم، في حال كانت القوى ستاتيكية أو ديناميكية كما هو الحال في بحثنا فالمواد الهشة لها خواص مختلفة عن المواد اللدنة أو البلاستيكية وقد بينت بعض الدراسات على سبيل المثال [1,2] شكل الموجة الصدمية المثالية لتحطيم المواد الهشة الشكل (3):



الشكل (3) الشكل المثالي للموجة الصدمية لتحطيم المواد الهشة.

لكي نستطيع تحطيم هذه المادة لابد من توجيه موجة تتمتع بصفات محددة تبدأ من قيمة ما للإجهادات $\sigma_0 = E\varepsilon_0$ ومن ثم تتزايد بما يتوافق تقريباً مع المقاومة الديناميكية لهذه المادة بالذات، من حيث استمراريتها وكمية الطاقة المنقولة فيها وشكلها إلى أن تصل إلى اجهاد التحطم.

فإذا كان الاجهاد في الموجة أصغر من الاجهاد اللازم لتحطم المادة أو الفلز في هذه الحالة سوف ينعكس الجزء الأكبر من طاقتها E_2 إلى جسم الآلة على شكل موجة

بالاشتقاق نجد :

$$\frac{\partial N}{\partial x} = EA \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (9)$$

بتعويض 9 بالعلاقة 7 نجد :

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} a^2 = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (10)$$

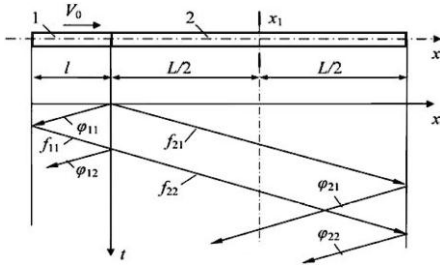
حيث: $a = \sqrt{E/\rho}$ - سرعة انتشار الأمواج المرنة

الطولية في معدن الناقل (للفولاذ [m/s] 5200-5000) وتمثل العلاقة (10) المعادلة الموجية التفاضلية من الدرجة الثانية لانتشار أمواج الانفعالات المرنة الطولية في النواقل أحادية البعد [3,9] والتي تمتلك حلاً حسب دالامبير يعطى على الشكل التالي:

$$u(x,t) = f(at-x) + \varphi(at+x) \quad (11)$$

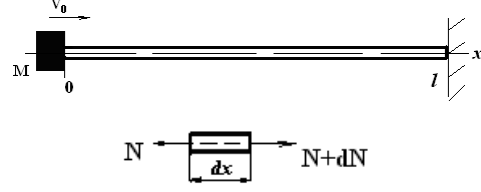
$f(at-x)$ - تابع الإزاحة للمقطع العرضي X في الموجة المباشرة في الاتجاه الموجب للمحور X في اللحظة t.

$\varphi(at+x)$ - تابع الإزاحة للمقطع العرضي X في الموجة المنعكسة في الاتجاه السالب للمحور X في اللحظة t كما في الشكل (5) [9].



الشكل (5) الموجة المنتشرة المباشرة والمنعكسة في ناقل الأمواج 2 والصادم 1.

وحسب الشروط الحدية الابتدائية والنهائية للناقل تحدد طبيعة الموجة المنتشرة، وعلى سبيل المثال لناقل نهايته حرة كما هو مبين في الشكل (5) تنتشر موجة ضغط بسرعة الصوت من بداية الناقل إلى أن تصل لنهايته الحرة، ثم تنعكس على شكل موجة تمدد ومن ثم تصل إلى بدايته الحرة أيضاً، ثم تنعكس على شكل موجة ضغط كما



الشكل (4) آلية التي تعمل بمبدأ الصدم والقوى المؤثرة على العنصر dx .

كتلة الصادم m تمتلك سرعة ابتدائية V_0 تصدم ناقل الأمواج الذي طوله l مما يؤدي الى ظهور موجة طولية في الناقل .

نأخذ جزءاً عنصرياً من الناقل طوله dx كما هو مبين في الشكل (4) حيث تأثر عليه القوى الطولية $N(x,t)$ و $N+dN$ أثناء عبور موجة الصدم حيث :

$$dN = \frac{\partial N}{\partial x} dx \quad (5)$$

وحسب قانون نيوتن الثاني [5,6]:

$$N + \frac{\partial N}{\partial x} dx - N = dm \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (6)$$

حيث: x - الاحداثي على طول الناقل مع اتجاه انتشار الموجة.

$u(x,t)$ - الانفعال الطولي في المقطع العرضي للناقل.

$\frac{\partial u}{\partial x}$ - الانفعال الطولي النسبي في المقطع العرضي .x

$\frac{\partial u}{\partial t}$ - سرعة الانفعال الطولي في المقطع العرضي.

$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$ - تسارع الانفعال الطولي في المقطع

العرضي . $dm = \rho A dx$ - الكتلة العنصرية للناقل.

$$\frac{\partial N}{\partial x} dx = \rho A dx \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (7)$$

وحسب قانون هوك [7,8] :

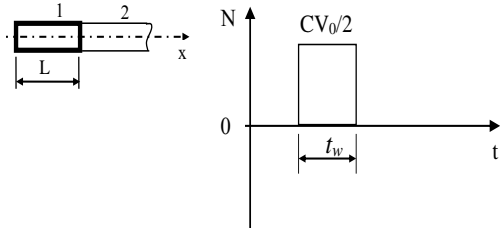
$$N = EA \frac{\partial u}{\partial x} \quad (8)$$

حيث: E - معامل المرونة (معامل يونغ) .

وتحسب الطاقة المنتقلة إلى الناقل بالعلاقة التالية:

[10,11,12]

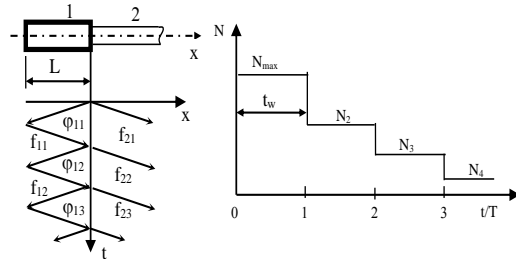
$$E_w = \frac{Aa}{E} \int_0^{t_w} \sigma^2(t) dt = \frac{Aa}{E} \sigma^2 t_w \quad (15)$$



الشكل (8) الموجة المستطيلة المتشكلة في ناقل الأمواج

حيث $A_1=A_2$.

- وفي حال كانت مساحة المقطع العرضي للصادم $A_1 > A_2$ شكل (9)، عندئذ تتشكل موجة متدرجة المطال في الناقل، وتكون استمرارية التدرجة الأولى والتي تدعى بالموجة الرئيسية t_w وتمتلك القيمة العظمى من حيث القوة وكمية الطاقة ويحدد إجهادها الأعظمي حسب العلاقة (16): [2,10,11].



الشكل (9) موجة متدرجة القوة لآلة تعمل بمبدأ الصدم

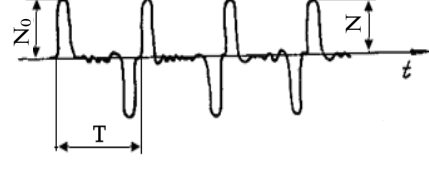
باستخدام صادم ($A_1 > A_2$).

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 = \frac{1}{1+r} \frac{V_0}{a} E \quad (16)$$

$$r = \frac{C_2}{C_1} = \frac{A_2 \rho_2 a_2}{A_1 \rho_1 a_1} \quad \text{حيث:}$$

وكل جزء من الموجة استمراريته يحدد بالعلاقة (3) ولكن بمطال أو إجهاد أقل يحدد بالعلاقة التالية: [2,10,11].

هو موضح من خلال الشكل (6) الذي تم الحصول عليه عن طريق راسم الإشارة:



الشكل (6) انتشار الموجة المرنة في ناقل ذي نهاية حرة.

يحدد الزمن الفاصل بين موجتين متعاقبتين بالعلاقة:

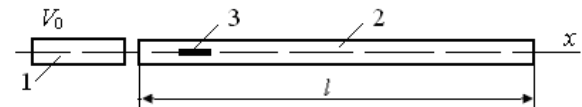
$$T = \frac{2L_2}{a_2} \quad (12)$$

حيث: L_2 - طول ناقل الأمواج.

a_2 - سرعة الصوت في معدن الناقل.

بينما تحدد استمرارية كل موجة حسب العلاقة (3). ويحدد شكل الموجة المنتشرة في الناقل ذي المقطع الثابت حسب شكل الصادم كما نبين ذلك:

- في حال كان الصادم جزءاً من الناقل أي يمتلك نفس مواصفات الناقل من حيث مساحة المقطع العرضي $A_1=A_2$ ونوع المعدن $\rho_1 = \rho_2$ ، ويختلف معه بالطول فقط $L_2 > L_1$ شكل (7):



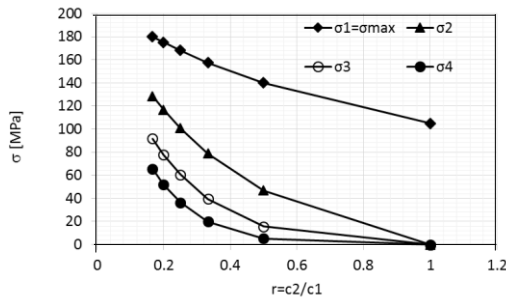
الشكل (7) آلة تعمل بمبدأ الصدم الطولي (الصادم 1،

ناقل الأمواج 2، حساس 3).

أثناء عملية التصادم تتشكل موجة مستطيلة شكل (8) ويتم الحصول عليها من خلال الحساس 3 الذي ينقل الإشارة إلى راسم الإشارة، تحدد استمراريته t_w في الناقل بالمعادلة (3)، ويعطى مطالها الذي يمثل الإجهاد داخل الموجة بالعلاقة: [2,10,11].

$$\sigma = \frac{1}{2} \frac{V_0}{a} E \quad (13)$$

$$N = \rho a A \frac{V_0}{2} = C \frac{V_0}{2} \quad (14)$$



الشكل (10) الإجهادات الناتجة في التدرجات المتلاحقة في كل موجة عند تغير مساحة المقطع العرضي A_1 للصادم.

نلاحظ من خلال الشكل (10) ان الإجهادات في التدرجة الأولى $\sigma_1 = \sigma_{max}$ تكون هي الأكبر دائماً، وتتناقص الإجهادات في التدرجات اللاحقة $\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4$ متسارعة كلما اقتربت مساحة المقطع العرضي للصادم A_1 من مساحة المقطع العرضي للناقل A_2 .

عندما $r = 1$ (أي تساوي سطوح التصادم $A_1 = A_2$) تتشكل موجة مستطيلة فقط، كما في الحالة السابقة شكل (8)، وتكون الاجهادات في التدرجات المتلاحقة في هذه الحالة معدومة، كما هو واضح في الشكل (10).

وتحسب الطاقة المنقولة مع كل تدرجه من الموجة بالعلاقة:

$$E_n = \frac{Aa}{E} \sigma_n^2 t_n \quad (20)$$

حيث: t_n - زمن استمرارية الموجة للتدرجة الواحدة. ولحساب الطاقة الكلية المنتقلة من كل أجزاء الموجة خلال استمراريته:

$$E_{TOT} = \sum E_n \quad (21)$$

نبين أيضاً من خلال الجدول (2) الطاقة المنقولة في الموجة المتدرجة المتشكلة في ناقل الأمواج لكل تدرجه نتيجة اختلاف مساحة المقطع العرضي A_1 للصادم:

$$\sigma_n = q^{n-1} \sigma_1 \quad (17)$$

ويمكن حساب القوى المتدرجة اللاحقة كما يلي:

$$N_n = q^{n-1} N_1 \quad (18)$$

حيث:

q - معامل الانعكاس الديناميكي، وفي حال كان الصادم والناقل من نفس المعدن يعطى بالعلاقة:

$$q = \left| \frac{1-r}{1+r} \right| = \left| \frac{A_2 - A_1}{A_2 + A_1} \right| \quad (19)$$

n - رقم التدرجية في الموجة.

باستخدام العلاقة (17) نبين من خلال الجدول (1) بارامترات الموجة المتدرجة المتشكلة في ناقل الأمواج نتيجة التغير في مساحة المقطع العرضي A_1 للصادم مع المحافظة على سرعته الابتدائية $V_0 = 5$ [m/s] وطوله $L = 0.1$ [m] وكذلك زمن الصدمة $t_w = 4 \times 10^{-5}$ [s] المحدد من خلال العلاقة (3):

جدول (1) بارامترات الموجة الناتجة عن صادم متغير المقطع العرضي.

q	$A_1 \times 10^{-4}$ [m ²]	r	$\sigma_1 = \sigma_{max}$ [MPa]	σ_2 [MPa]	σ_3 [MPa]	σ_4 [MPa]
0	5	1	105	0	0	0
0.33	10	0.5	140	47	16	5.2
0.5	15	0.33	158	79	39	20
0.6	20	0.25	168	101	60	36
0.66	25	0.2	175	117	78	52
0.71	30	0.17	180	129	92	66

نرسم المخطط البياني الذي يوضح العلاقة بين الإجهادات الناتجة في التدرجات المتلاحقة في كل موجة عند تغير مساحة المقطع العرضي A_1 للصادم.

عندما $r = 1$ تتشكل موجة مستطيلة فقط، وتكون كل طاقة الصادم محمولة في هذه الموجة المستطيلة، كما هو واضح في الشكل (11).

هذا يدل على إمكانية تشكيل موجة مستطيلة أو متدرجة لها بارامترات محددة من خلال تغيير مساحة المقطع العرضي للصادم فقط.

- أما في حال كان الصادم مكوناً من جزئين مختلفي المساحة العرضية للمقطعين شكل (12)، ويحقق العلاقة: $0 \leq A_3 \leq A_1 \leq A_2$ عندئذ تتمتع الموجة الرئيسية ببارامترات تحدد بالعلاقات التالية: [10,11,13].

الإجهاد في التدرجة الأولى:

$$\sigma_1 = \frac{1}{1+r} \frac{V_0}{a} E \quad (22)$$

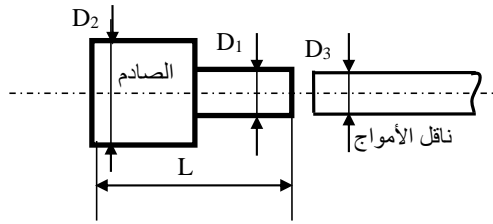
الإجهاد الأعظمي يكون في التدرجة الثانية:

$$\sigma_{\max} = \frac{1}{2} \left[1 + q_1 + (1 - q_1^2) q_2 \right] \frac{V_0}{a} E \quad (23)$$

معامل الانعكاس الديناميكي:

$$q_1 = \frac{A_1 - A_3}{A_1 + A_3}, \quad q_2 = \frac{A_2 - A_1}{A_2 + A_1} \quad (24)$$

حيث: A_1, A_2, A_3 - مساحة المقاطع العرضية المختلفة للصادم والناقل.



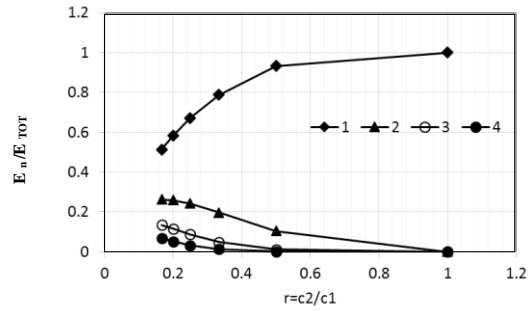
شكل (12) صادم متدرج المقطع العرضي لآلية تعمل بمبدأ الصدم ($0 \leq A_3 \leq A_1 \leq A_2$).

باستخدام العلاقات (22,23) نبين من خلال الجدول (3) تغيير الاجهاد الأعظمي في الجزء الرئيسي من الموجة

جدول (2) الطاقة المنقولة في التدرجات المتلاحقة للموجة

r	E ₁ [j]	E ₂ [j]	E ₃ [j]	E ₄ [j]
1	5.25	0	0	0
0.5	9.33	1.04	0.14	0.013
0.33	11.81	2.95	0.74	0.18
0.25	13.44	4.84	1.74	0.63
0.2	14.58	6.48	2.88	1.28
0.17	15.43	7.87	4.02	2.05

نرسم المخطط البياني الذي يوضح النسبة بين الطاقة المنقولة في التدرجات المتلاحقة والطاقة الكلية للصادم في كل موجة مع تغيير مساحة المقطع العرضي A₁ للصادم شكل (11):

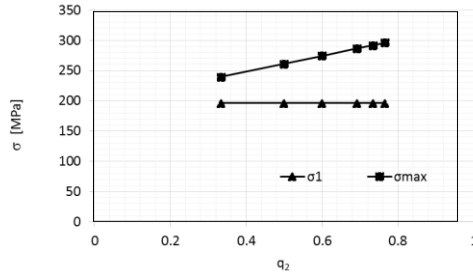


الشكل (11) العلاقة بين نسبة الطاقة المحمولة في

التدرجات المتلاحقة في الموجة إلى الطاقة الكلية للصادم.

يتضح من الشكل (11) أن كمية الطاقة الأساسية المحمولة ضمن الموجة بالنسبة للطاقة الكلية للصادم تكون في التدرجة الأولى من الموجة التي يمثلها الخط البياني رقم 1، أما في باقي التدرجات والتي تمثلها الخطوط البيانية رقم 2 و3 و4 فتكون كمية الطاقة المحمولة صغيرة بالمقارنة معها، وبالتالي يكون الجزء الفعال من طاقة الموجة محمولا على التدرجة الأولى، حيث تتمتع بإجهاد أعظمي وبالكمية الأكبر من طاقة الصادم اللازمة لتحطيم المادة المراد معالجتها. وكلما اقتربت النسبة بين سطوح التصادم بين الصادم وناقل الأمواج، كلما ازدادت الطاقة المنقولة في التدرجة الأولى E₁ وتتناقص الإجهاد الأعظمي $\sigma_1 = \sigma_{\max}$ كما هو مبين في الشكلين (10,11)، في هذه الحالة يجب الموازنة بينهما والنظر إلى البارامتر الأهم للمادة المراد معالجتها.

برسم المخطط البياني الذي يوضح العلاقة بين الإجهادات الناتجة في الجزء الرئيسي من الموجة وتغير مساحة مقطع الجزء الثاني للصادم A_2 وبالتالي q_2 كما هو مبين في الشكل (14).



شكل (14) الإجهادات الناتجة في الجزء الرئيسي من الموجة

نلاحظ كلما ازدادت مساحة المقطع العرضي A_2 في الجزء الثاني كلما ازداد الإجهاد الأعظمي σ_{max} في التدرجة الثانية من الموجة الرئيسية مع ثبات الإجهاد σ_1 في التدرجة الأولى، وهذا يبين إمكانية زيادة الإجهاد الأعظمي دون الحاجة الى زيادة كتلة الصادم أو زيادة سرعته الابتدائية وبالتالي تشكيل موجة ذات مواصفات محددة متناسبة مع مقاومة ديناميكية لفلز ما يراد تحطيمه .

ومن خلال الجدول التالي نبين العلاقة بين الطاقة المنقولة في تدرجات الجزء الأساسي من الموجة ونسبتها من الطاقة الكلية للصادم مع تغير مساحة المقطع الثاني A_2 وثبات الاستطاعة الكلية للصادم .

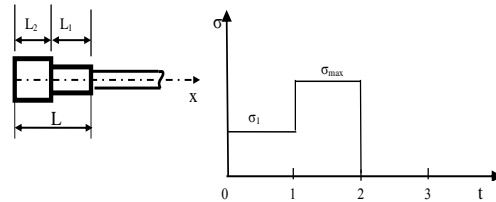
جدول (4) الطاقة المنقولة في أجزاء الموجة الرئيسية.

A_2 [cm ²]	E_1 [j]	E_2 [j]	E_{1-2} [j]	$\frac{E_{1-2}}{E_{tot}}$
75	18.3	31	49	0.38
65	18.3	34	53	0.41
55	18.3	39	57	0.45
40	18.3	49	68	0.53
30	18.3	60	78	0.61
20	18.3	75	93	0.73

المنتشرة في ناقل أمواج مساحة مقطعه $A_3=5$ [cm²] نتيجة استخدام صادم مساحة مقطع جزئه الأول ثابت ومقداره $A_1=10$ [cm²] ومساحة مقطع جزئه الثاني A_2 متغير، كما هو موضح في الشكل (13)، وبالتالي يتغير معامل الانعكاس الديناميكي q_2 مع المحافظة على معامل الانعكاس الديناميكي $q_1=0.33$ وكتلته $m=5.2$ [kg] وسرعته الابتدائية $V_0=7$ [m/s] وبالتالي استطاعته الكلية $E_{TOT}=127.4$ [j]

جدول (3) الاجهاد الأعظمي في الموجة الناتجة عن صادم ذو جزئين مختلفي المقطع العرضي .

$t \times 10^{-5}$ [s]	q_2	$A_2 \times 10^{-4}$ [m ²]	σ_1 [MPa]	σ_{max} [MPa]
2.9	0.76	75	196	296
3.4	0.73	65	196	292
4	0.7	55	196	286
5.5	0.6	40	196	274
7.3	0.5	30	196	261
11	0.33	20	196	240



شكل (13) الموجة الرئيسية لآلية تعمل بمبدأ الصدم باستخدام صادم $(0 \leq A_3 \leq A_1 \leq A_2)$.

تحليل شكل الموجة الناتج يتبين أن الموجة بدأت بإجهاد σ_1 حسب العلاقة (22) واستمر لفترة $t_1 = 2L_1/a$ ومن ثم ازداد الإجهاد حسب العلاقة (23) بما يتناسب مع الجزء الثاني للصادم حيث أصبح σ_{max} وباستمرارية أيضا تتناسب مع طول جزئه الثاني $t_2 = 2L_2/a$ حيث زمن استمرارية الجزء الرئيسي من الموجة يساوي مجموع الزمنين: $t=t_1+t_2$

خلال تغير شكل الصادم أو من خلال عكس اتجاه الصادم فقط مع المحافظة على كتلته واستطاعته وسرعته الابتدائية.

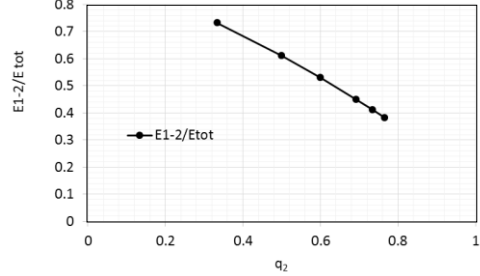
من الملاحظ أن الموجة الرئيسية المتشكلة تحتوي على النسبة الأكبر من الطاقة والتي تصل إلى ما يفوق 50% من طاقة الصادم والتي لها المفعول الأساسي في عملية الحفر.

أيضاً بالمقارنة بين شكل الموجة الرئيسية الناتجة عن الصدم وشكل الصادم نلاحظ تشابها واضحا بينهما، مما يمكننا من تصميم شكل الصادم المناسب للمادة المراد معالجتها في حال معرفة شكل المقاومة الديناميكية التي تتمتع بها.

4- الاستنتاجات:

- 1- تبين من خلال النتائج الحسابية والمخططات البيانية شكل (14، 10) أن شكل الصادم وأبعاده الهندسية يلعب الدور الرئيسي في تحديد قوى وإجهادات الصدم بغض النظر عن تغير كتلة الصادم وسرعته الابتدائية.
- 2- إمكانية تغيير شكل الموجة وبارامتراتها للوصول إلى فعالية جيدة للآلة من خلال تغيير شكل الصادم وأبعاده الهندسية أو من خلال عكس اتجاه الصادم شكل (16، 13) دون أي تغيير بمواصفات الآلة.
- 3- نلاحظ تشابها بين شكل الموجة الرئيسية والصادم (الأشكال 8، 13، 16) وبالتالي نستطيع استقراء شكل الموجة الناتجة عن الصادم، وبناء على ذلك، يمكننا اختيار الصادم المناسب للمادة المراد معالجتها بالصدمة بما يتناسب مع المقاومة الديناميكية لها.
- 4- تحتوي الموجة الرئيسية المتشكلة، كما في الشكلين (15، 11)، على نسبة أكثر من 50% من طاقة الصادم الكلية، ويتعلق زمن تأثيرها بطول الصادم وسرعة الصوت في معدنه.

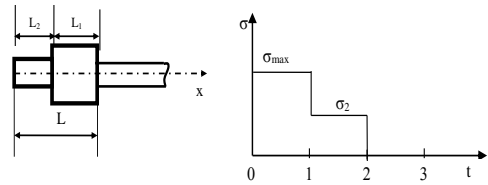
نرسم المخطط البياني الذي يوضح النسبة بين الطاقة المنقولة في الجزء الرئيسي من الموجة والطاقة الكلية للصادم مع تغير مساحة المقطع العرضي A_2 وبالتالي q_2



الشكل (15) العلاقة بين نسبة الطاقة المنتقلة في الجزء الرئيسي من الموجة الناتجة مع q_2 .

بتحليل المخطط البياني في الشكل (15) يتبين : كلما ازدادت مساحة المقطع الثاني A_2 مع ثبات مساحة المقطع الأول أي زيادة معامل الانعكاس الديناميكي q_2 كلما تناقصت الطاقة المحمولة في الموجة الرئيسية مع ازدياد الاجهاد الأعظمي σ_{max} كما هو مبين في الشكل (14).

في حال تم الصدم بنفس الصادم ولكن في الاتجاه المعاكس للحالة الأولى أي من الطرف الثاني للصادم مع المحافظة على السرعة الابتدائية له نحصل على موجة شكلها معاكس للحالة السابقة وذات بارامترات مختلفة كما هو مبين في الشكل (16):



الشكل (16) الموجة الرئيسية لآلية تعمل بمبدأ الصدم

$$\text{باستخدام صادم } (0 \leq A_3 \leq A_1 \leq A_2)$$

بناءً على كل ما ذكر، يمكن تشكيل موجة لها بارامترات محددة بحسب ما هو مطلوب لفعالية ما من

References

المراجع

جدول الرموز والمصطلحات:

- [1] Жуков Иван Алексеевич., «ФОРМИРОВАНИЕ УПРУГИХ ВОЛН В ВОЛНОВОДАХ ПРИ УДАРЕ ПО НИМ ПОЛУКАТЕНОИДАЛЬНЫМИ БОЙКАМИ». Томск – 2005
- [2] Бегаоев И.А., Дядора А.Г., Бажал А.И «Бурильные машины». М.: Недра, 1972.-368с.
- [3] Алимов О.Д., Манжосов В.К., Еремьянц В.Э. «Удар Распространение волн деформаций в ударных системах».-М.: наука, 1985.-358с
- [4] Бегаоев И.А., Бойко А.И.Г. «Повышение точности и долговечности Бурильных машин». М.: Недра, 1985.-214с.
- [5] J.L.Meriam; L.G.Kraige., «Engineering Mechanics Dynamics». American Society for Testing and Materials International. (2015).
- [6] R C Hibbeler., «Engineering mechanics dynamics» 13th edition ISBN-13: 978-0132911276
- [7] Степин П.А. « Сопротивление материалов». изд.-М высшая шкла, 1988.-367с.
- [8] JOHN CASE, LORD CHILVER, CARL T.F. ROSS, «Strength of Materials and Structures». 4edition ISBN 0 340 71920 6, 719 Pages 2006.
- [9] Еремьянц В.Э. «ДИНАМИКА УДАРНЫХ СИСТЕМ». Учебное пособие: В 2 ч. Ч. 1. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2011. 324 с.
- [10] Авдеева А.И. «Разработка методики расчета распространения продольных волн деформаций по буровому инструменту». 2014. - №5. - С. 328-333.
- [11] Иванов к.и., Ермоленко М.М., Андреев В.И. «Техника Бурения».-М.: Недра, 1966.-370с
- [12] Ямпольский Д.З. «ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО УДАРА. СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТОМ». Bulletin of Science and Technical Development. DOI: 10.18411. № 9 (145), (2019)
- [13] В. К. Манжосов, В. В. Слепухин «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО УДАРА В СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМАХ НЕ ОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ». (2011)

الرمز	الوصف
E_k, E_1	الطاقة الحركية للصادم (طاقة الموجة المباشرة) [j]
m	كتلة الصادم [kg]
V_0	سرعة الصادم [m/s]
E_w	طاقة الموجة [j]
E_2	الطاقة الحركية للموجة المنعكسة [j]
E_3	الطاقة الحركية الفعالة للموجة [j]
E_4	الطاقة المنتشرة في الوسط الخارجي [j]
η	مردود الآلة
t_w	زمن استمرارية الموجة [s]
$L_{1,2}$	طول الصادم 1 وطول ناقل الأمواج 2 [m]
$-a_{1,2}$	سرعة الصوت في معدن الصادم 1 والناقل 2 [m/s]
a	سرعة الصوت في المعدن [m/s]
N	القوة في داخل الموجة المنتشرة [N]
ρ	الكثافة النوعية [Kg/m ³]
ν	سرعة الانفعالات داخل الموجة [m/s]
A	مساحة المقطع العرضي [m ²]
σ	الاجهادات الطولية [N/m ²]
E	معامل المرونة (عامل يونغ) [N/m ²]
\mathcal{E}	الانفعال النسبي
q	معامل الانعكاس الديناميكي
u	الانزياح الطولي في المقطع العرضي للناقل [m]
x	الاحداثي على طول الناقل [m].
$\partial u / \partial x$	الانفعال الطولي النسبي في المقطع العرضي x.
$\partial u / \partial t$	سرعة الانفعال الطولي في المقطع العرضي [m/s]
$\partial^2 u / \partial t^2$	تسارع الانفعال الطولي في المقطع العرضي [m/s ²]
dm	الكتلة العنصرية للناقل [kg]
$f(at-x)$	تابع الإزاحة للمقطع العرضي في الموجة المباشرة
$\varphi(at+x)$	تابع الإزاحة للمقطع في الموجة المنعكسة
T	الزمن الفاصل بين موجتين متعاقبتين في الناقل [s]
$C_{1,2}$	الصلابة الموجية للصادم 1 والناقل 2
r	نسبة عامل المرونة الموجي للناقل 2 والصادم 1
$A_{1,2,3}$	مساحة المقاطع العرضية للصادم والناقل [m ²]
n	رقم التدرجية في الموجة
t_n	زمن استمرارية الموجة للتدرجية الواحدة [s]
E_{TOT}	طاقة الموجة الكلية [j]
E_n	طاقة الموجة في كل تدرجه [j]
$t_{1,2}$	زمن استمرارية الموجة في الجزء 1 و 2 من الصادم المتدرج المقطع [s]

Received	2021/4/27	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2021/9/22	قبول البحث للنشر