

دراسة تأثير التردد والسعة على مردود الأفران التحريضية على شكل الحوجلة

الدكتور جهاد بدور*

(تاريخ الإيداع 12 / 1 / 2011. قُبل للنشر في 27 / 3 / 2012)

□ ملخص □

يُقاس تطور أي بلد صناعياً بمدى قدرته على صهر وتشكيل المعادن بمختلف أنواعها. استخدمت طرق عديدة لصهر تلك المعادن، كالأفران التي تعمل على الفحم الحجري والوقود وغيرها، حيث يصدر عنها مواد ملوثة لها تأثيرها السلبي على الوسط الخارجي، والكائنات الحية، لذلك تم دراسة طريقة حديثة لصهر المعادن هي الفرن التحريضي على شكل حوجلة، إعداد نموذج رياضي، وتحديد البارامترات الأفضل لعمل الفرن، المقاومة النوعية والتردد ومعرفة مدى تأثيره على البيئة.

الكلمات المفتاحية: فرن تحريضي - البيئة.

* أستاذ مساعد في قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Studying the Impact of Frequency and Capacity on the Efficiency of Crucible Shape Inductive Furnaces

Dr. Jihad Baddour*

(Received 12 / 1 / 2011. Accepted 27 / 3 / 2012)

□ ABSTRACT □

The development of any industrial country is measured by its ability of melting and forming the metal in various types. Many methods have been used to melt these metals. Such as carbon stone furnace and fuel furnaces, etc. where radiate some bad materials which have negative impact on outdoor environment and creatures. So, it is important to design and study modern method to melt the metals which is crucible shape inductive furnace. Also, it has been prepared mathematical model and defined the optimal parameters of furnace works, such as resistance and frequency and also to know its effect on the environment.

Keywords: Inductive Furnace, Environment.

*Associate Professor; Department of Mechanical Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تعدُّ نظرية التسخين التحريضي من النظريات الهامة في الحياة العملية، حيث صممت عدة أنواع من التجهيزات لتسخين الاسطوانات والصفائح المعدنية تحريضياً، وأيضاً استخدمت في عمليات إسقاء وإحماء المعادن وتلحيمها وتقيها وصهرها. تقسم الأفران التحريضية إلى أفران على شكل قناة، وأفران على شكل حوجلة صنعت بقياسات وحجوم مختلفة، توجد أبحاث ودراسات لتحسين عمل هذه الأفران، لكن في بحثنا سندرس تأثير الحجم والتردد على المردود.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث لإعداد نموذج رياضي يساعد في دراسة كل الظواهر الفيزيائية الحاصلة داخل الفرن، أثناء مرور التيار الكهربائي في الملف، وتحديد البارامترات المؤثرة على عمله، وإعداد خوارزمية تساعد في إجراء الحسابات اللازمة.

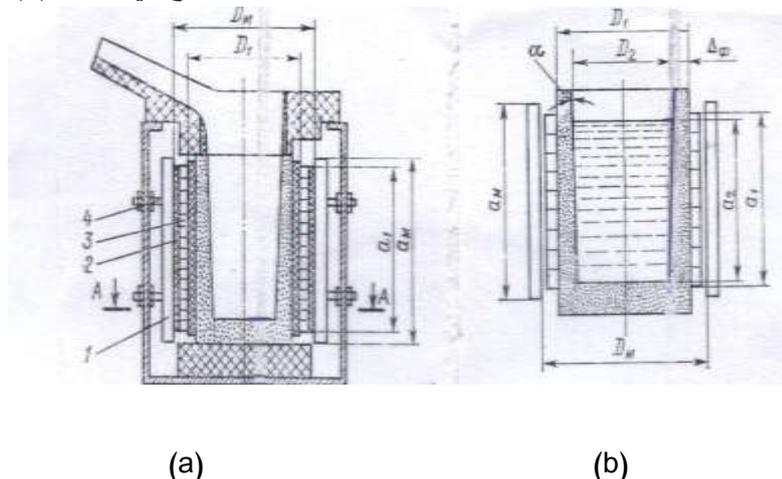
طرائق البحث ومواده:

أنجز هذا البحث اعتماداً على أبحاث ومراجع نشرت في المجالات التالية:

تسخين وصهر المعادن باستخدام الحقل الكهرومغناطيسي، وفي مجال ثقب ولحام المعادن، وخط المعادن المصهورة تحريضياً. اعتماداً على ما سبق سنقوم بوضع النموذج الرياضي لدراسة كل الظواهر الفيزيائية الحاصلة داخل الفرن، أثناء مرور التيار الكهربائي في الملف، وتحديد البارامترات المؤثرة على عمله، واعتماداً على هذا النموذج سنقوم بوضع برنامج حاسوبي باستخدام لغة الفورتران.

الدراسة الرياضية:

الفرن التحريضي على شكل حوجلة والمخصص لصهر الفولاذ تحريضياً موضح في الشكل (1).



الشكل (1) : a- فرن تحريضي على شكل حوجلة. b- نموذج رياضي للفرن.

يتكون هذا الفرن من: 1- القلب المغناطيسي، 2- العازلية، 3- الملف، 4- الغلاف الخارجي. أما في

الداخل، فتوجد حوجلة الصهر.

يشبه الفرن التحريضي إلى حد كبير المحول الكهربائي، حيث يؤدي الملف في الفرن دور الملف الأولي

في المحول بينما يؤدي المعدن المراد صهره دور الملف الثانوي في المحول. يوصل الملف بالشبكة الكهربائية

وغايته تمرير التيار الكهربائي، لتوليد الحقل المغناطيسي اللازم لصهر المعدن تحريضياً. في داخل الحوجلة عند مرور التيار عبر الملف سيتولد حقل كهرومغناطيسي يتقاطع مع الفولاذ الموجود ضمن الحوجلة، فتتعرض في الفولاذ تيارات ذات شدة عالية مما يؤدي إلى حدوث ضياعات طاقة كهربائية عالية ترفع درجة الحرارة إلى مقدار كافٍ، لإجراء عملية صهر الفولاذ.

يعطى الفيض المغناطيسي بالعلاقة [1,2] :

$$\Phi = \frac{U}{4.44f.W_1} \quad (1)$$

$U[V]$ - توتر التغذية.

$f[Hz]$ - التردد.

W_1 - عدد لفات الملف.

الفيض المغناطيسي في القلب:

$$\Phi_m = K_m \cdot \Phi \quad (2)$$

K_m - يتعلق بالأبعاد الهندسية للقلب المغناطيسي.

ضياعات الاستطاعة في القلب:

$$P = S_m \cdot a_m \cdot \gamma \cdot P_m \quad (3)$$

$S_m[m^2]$ - مساحة مقطع القلب.

$\gamma[kg/m^3]$ - كثافة الفولاذ.

$a_m[m]$ - ارتفاع القلب.

$P_m[W/kg]$ - الضياعات النوعية في الفولاذ.

المقاومة الفعلية والمفاعلة التحريضية للمعدن:

$$r_2 \approx X_{m2} = \frac{\pi \rho_2 W_2^2 \left(\frac{D_2}{\sqrt{2} \Delta_2} \right)^2}{a_2 \cdot A} \quad (4)$$

$W_2 = 1$ - عدد لفات الملف الثانوي (المعدن) وعادة تكون 1.

$\Delta_2[m]$ - عمق تسرب الموجة المغناطيسية في المعدن.

$D_2[m]$ - القطر الداخلي للحوجلة.

$a_2[m]$ - ارتفاع المعدن ضمن الحوجلة.

A - ثابت يؤخذ من الجدول (1).

المقاومة الفعلية والمفاعلة التحريضية للملف [3]:

$$r_1 \approx X_{m1} = \frac{\pi \rho_1 D_1}{0.9 \Delta_1 a_1} \quad (5)$$

$\Delta_1[m]$ - عمق تسرب الموجة في المعدن المصنوع منه الملف (النحاس).

$a_1[m]$ - ارتفاع الملف.

$\rho_1 [\Omega.m]$ - المقاومة النوعية لمعدن الملف.

$D_1[m]$ - القطر الخارجي للحوجلة.

مفاعلة التشتت المغناطيسي.

$$X_s = \frac{2\pi f \mu_0 \pi (D_1^2 - D_2^2)}{4a_2} \quad (6)$$

μ_0 [H/m] - السماحية المغناطيسية للهواء.
مفاعلة العمل على فراغ (بدون حمولة):

$$X_0 = \frac{0,84 \cdot 2\pi f \cdot \mu_0 \cdot \pi D_1}{4(a_1 - 0,84a_2)} \quad (7)$$

إن عامل التحويل في الفرن يختلف عن عامل التحويل في المحولات وهو:

$$c = \frac{1}{\left(\frac{r_2}{x_0}\right)^2 + \left[1 + \frac{(x_s + x_{m2})}{x_0}\right]^2} \quad (8)$$

المردود أو عامل الريج:

$$\eta_n = \frac{r_2}{r_n} \quad (9)$$

$$r_2' = c \cdot r_2$$

$$r_n = r_1 + r_2'$$

r_2 [Ω] - مقاومة المعدن المصهور منسوبة إلى الملف:

r_n [Ω] - المقاومة الفعلية الكلية للفرن.

تحسب استطاعة الفرن الفعلية بالعلاقة:

$$P_n = \frac{P_2}{\eta_n} \quad (10)$$

P_2 [W] - الاستطاعة المفيدة المقدمة للمعدن.

الضیاعات في الملف:

$$\Delta P_n = \frac{P_n}{1 - \eta_n} \quad (11)$$

المفاعلة التحريضية للحمولة منسوبة للأولي:

$$x_2' = c \left\{ x_{m2} + x_s + \left[r_2'^2 + (x_{m2} + x_s)^2 \right] / x_0 \right\}$$

المفاعلة الكلية:

$$x_n = x_{m1} + x_2'$$

الممانعة الكلية:

$$z_n = \sqrt{x_n^2 + r_n^2}$$

التوتر المطبق على الحمولة منسوب للأولي:

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_2 \cdot Z_n$$

$$W_1 = \dot{U} / \dot{U}_2$$

التيار المتحرض في المعدن:

$$\dot{I}_2 = \sqrt{\frac{P_2}{r_2}} \quad (12)$$

التيار المسحوب من الشبكة:

$$I_1 = \frac{\dot{I}_2}{w_1} \quad (13)$$

سعة الفرن هي [4,5] :

$$G = \frac{M_{cg}(t_n - t_0)}{24} \quad (14)$$

M_{cg} [ton/hr] - الإنتاجية في كل يوم.

t_n [hr] - مدة الصهر.

t_0 [hr] - مدة التحميل.

الحجم المفيد لحوجلة الصهر:

$$V = \frac{10^3 \cdot G}{\gamma} \quad (15)$$

الطاقة الحرارية المفيدة الكلية للفرن:

$$P_T = \frac{q \cdot G}{3.6 \cdot t_n} \quad (16)$$

q [J/kg] - المحتوى الحراري للمعدن (الفولاذ) عند درجة الانصهار.

المردود الحراري للفرن:

$$\eta_T = \frac{P_T}{P_T + \Delta P_T} \quad (17)$$

ΔP_T - الضياعات الحرارية وتبلغ 5-35% من استطاعة الفرن الكلية.

الاستطاعة المفيدة الحرارية المقدمة للحمولة (المعدن):

$$P_2 = P_T + \Delta P_T \quad (18)$$

استطاعة منبع التغذية يجب أن تكون أكبر من الاستطاعة الكلية للفرن بحدود 5-10%.

عند انصهار الفولاذ سيتولد داخل الفرن ضغط يعطى بالعلاقة:

$$P_c = \frac{3.16 \cdot 10^{-4} P_o}{\sqrt{\rho_2 \cdot f}} \quad (22)$$

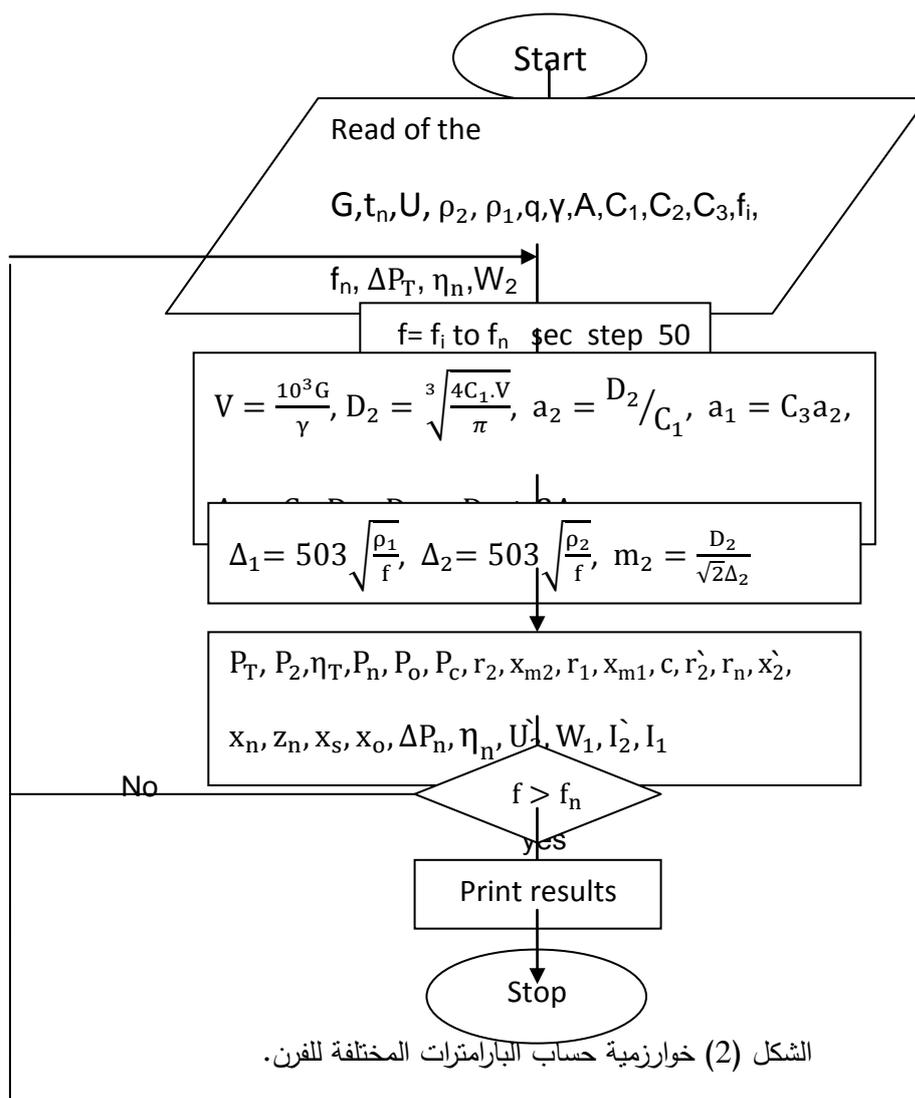
$$P_o = \frac{P_2}{\pi D_2 a_2}$$

P_o [W/m²] - الاستطاعة النوعية السطحية.

ρ_2 [Ω.m] - المقاومة النوعية للمعدن المصهور (الفولاذ).

انشاء خوارزمية لحساب بارامترات الفرن:

تم وفقاً للمعادلات السابقة وضع برنامج حاسوبي باستخدام لغة الفورتران لدراسة كل الظواهر الفيزيائية الحاصلة داخل الفرن أثناء مرور التيار الكهربائي في الملف، وتحديد البارامترات المؤثرة على عمله، وذلك استناداً للخوارزمية المبينة بالشكل (2).

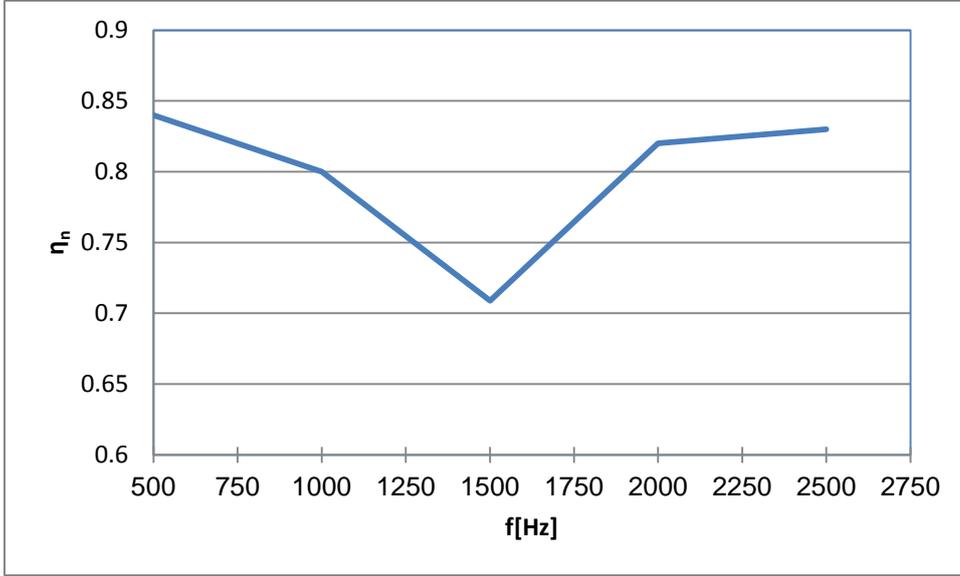


النتائج والمناقشة:

يتم تشغيل البرنامج بأخذ المعطيات التالية:

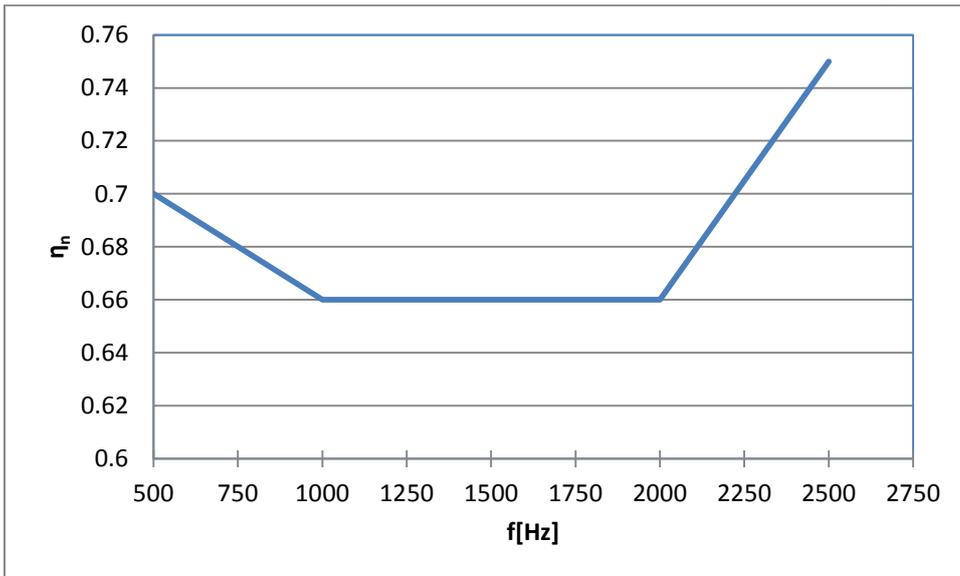
سعة الفرن $G = 6$ ton، مدة الصهر $t_n = 1.5$ h، توتر التغذية $v = 1500$ ، المقاومة النوعية للفلوآز (حالة أولى) $\rho_2 = 1,37 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot m$ ، المقاومة النوعية للفلوآز (حالة ثانية) $\rho_1 = 0,2 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot m$. المحتوى الحراري للفلوآز $q = 1,42 \cdot 10^6$ J/kg، كثافة الفلوآز $\gamma = 7200$ kg/m³

المقاومة النوعية للنحاس $\rho_1 = 2.10^{-8} \Omega.m$ ، يوجد أنواع متعددة من الفولاذ ولكل نوع مقاومة نوعية مختلفة لذلك سنجري الدراسة على نوعين فقط.



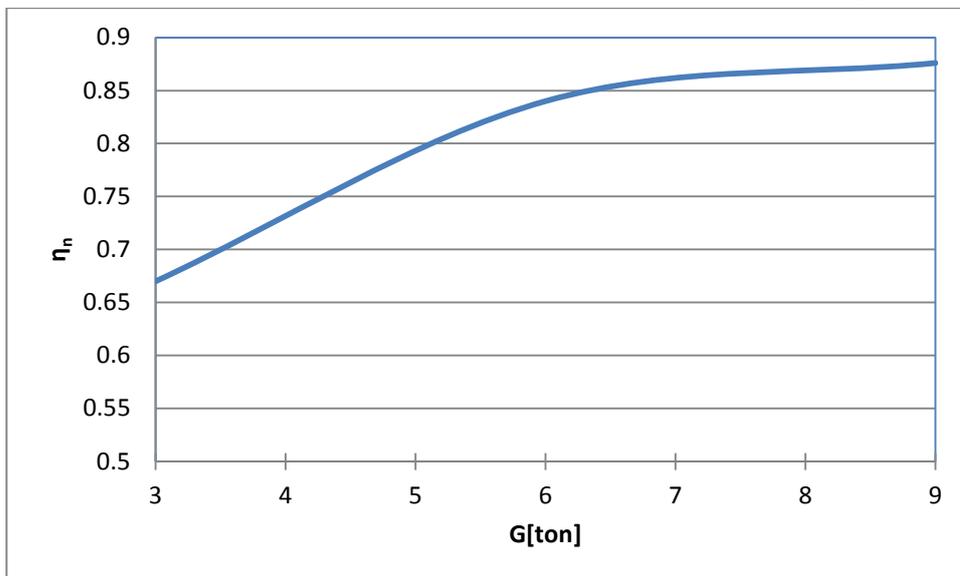
الشكل (3) علاقة المردود بالتردد عندما $\rho_2 = 1,37. 10^{-6} \Omega.m$

يوضح الشكل (3) علاقة المردود بالتردد عند صهر الفولاذ ذات المقاومة النوعية $\rho_2 = 1,37.10^{-6} \Omega.m$ ، واضح أن المردود يكون أقل ما يمكن عند التردد 1500 Hz وله أعلى قيمة عند التردد 500 Hz لذلك ينصح بإجراء عملية الصهر لهذا النوع من الفولاذ عند التردد 500 Hz.



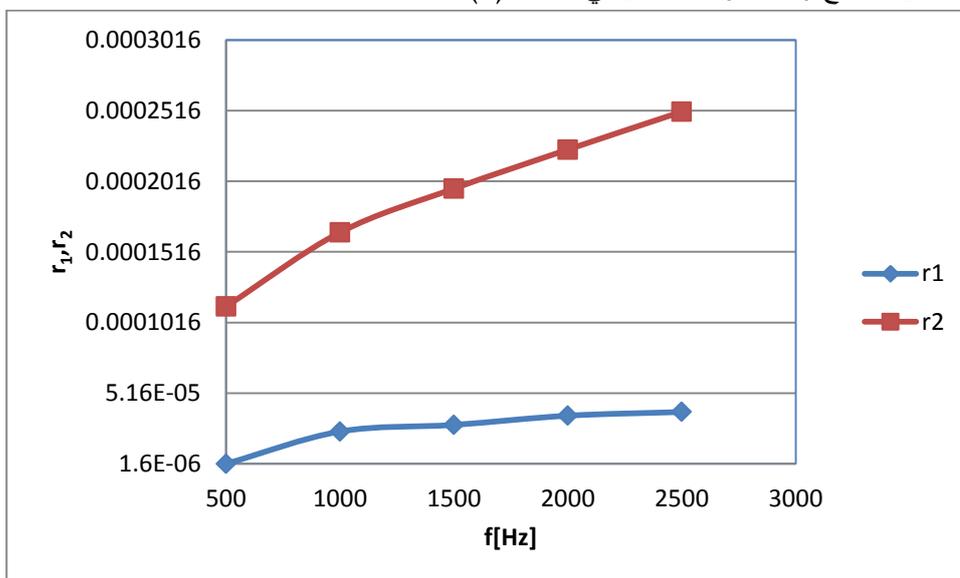
الشكل (4) علاقة المردود بالتردد عندما $\rho_2 = 0,2. 10^{-6} \Omega.m$

في الشكل (4) نجد علاقة المردود بالتردد عند نوع جديد من الفولاذ ذات المقاومة النوعية $\rho_2 = 0,2 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot m$. نلاحظ أن المردود ينخفض في المجال الترددي (1000 - 2000) Hz، بينما تكون أعلى قيمة للمردود عند التردد 2500 Hz لذلك يجب أن يصهر هذا النوع من الفولاذ عند التردد 2500 Hz. نلاحظ أيضاً أن هناك علاقة وثيقة بين المردود، وسعة الفرن كما هو موضح في الشكل (5) حيث يرتفع المردود مع زيادة سعة الفرن.



الشكل (5) علاقة المردود بسعة الفرن.

لاحظنا أثناء إجراء الدراسة أن هناك علاقة بين المقاومات الفعلية للملف وللمعدن المصهور (الفولاذ) بالتردد حيث تزداد تلك المقاومات مع زيادة التردد كما هو في الشكل (6).



الشكل (6) علاقة المقاومات r_1 ، r_2 بالتردد.

جدول (1) يبين قيم الثابت A.

2500	2000	1500	1000	500	f[Hz]
0.026	0.029	0.023	0.04	0.058	$\rho_2 = 1,37. 10^{-6} \Omega.m$
0.009	0.011	0.015	0.012	0.022	$\rho_2 = 0,2. 10^{-6} \Omega.m$

الاستنتاجات والتوصيات:

- يتعلق المردود بالتردد وفقاً لنوع المعدن، ويكون أفضل ما يمكن عند الترددين 500 Hz, 2500 Hz.
 - علاقة ارتفاع المردود مع زيادة سعة الفرن حتى 6 ton طردية، أما فوق هذه القيمة يكون أقل إلى حد ما.
 - زيادة المقاومات الفعلية للملف والمعدن المصهور مع زيادة التردد.
- نظراً للاهتمام العالمي الكبير بالمحافظة على البيئة، ينصح باستخدام الأفران التحريضية لضجيجها المنخفض، وانعدام المواد الملوثة الصادرة عنها بالمقارنة مع الأفران التقليدية العاملة على الفحم، الديزل والغاز، التي ضجيجها أكبر، وينتج عنها الملوثات التالية (أول وثاني أكسيد الكربون، ثاني أكسيد الكبريت، أكاسيد النتروجين والمركبات العضوية المتطايرة).

المراجع:

- 1-TAKAKI, Y. November - A new induction heating floating - zone refining furnace for ultra purification of iron – chromium alloys. Journal de physique IV colloque C7, vol. 5, 1995 .
- 2- TAKASHI, T. - Thermal and Magnetic Field Analysis of Induction Heating Problems. Journal of Materials Processing Technology 161, 2005, 193-198.
- 3- KARBASCHI, H., TAVAKOLI, M., SAMAVAT, F. - Computational modeling of induction heating process. Progress in electromagnetic research letters, vol. 11, 2009, 93-102.
- 4- OUDNI, Z., MOHELLEBI, H., FELIACHI, M. November - Effect of Aluminum Layer on Induction Heating Control Case Study Using Finite Elements Method. Journal of electrical systems, special ISSUE, No.1 2009 ,62-66.
- 5- TIMUR AYDEMIR, M. - A Simple Induction Heating Design for the Steel Molds of Aluminum Extrusion Presses. Gazi University, Ankara, TURKEY,2000.