

تراکم پودرهای فلزی به روش تخلیه الکتریکی

دکتر محمود شاکری

استادیار دانشکده مهندسی مکانیک " دانشگاه صنعتی امیرکبیر "

بکیده:

تراکم پودر فلزات به کمک تخلیه الکتریکی روش نسبتاً جدیدی برای تراکم پودرهای فلزی است. در این روش پودر فلزی در مسیر تخلیه بار خازن‌های شارژ شده قرار می‌گیرد. وقتی سطح ولتاژ در خازن‌ها از مقدار معینی بیشتر باشد، بر اثر تخلیه، یک محصول خام تولید می‌شود. این محصول مقاومت کافی برای سایر عملیات حرارتی و یا مکانیکی را دارا است.

Electrical Discharge Powder Compaction

M. Shakeri, Ph.D.

Mech. Eng. Dept. Amirkabir Univ. of Tech.

ABSTRACT

Electrical discharge powder compaction is a relatively new method for the compaction of metal Powders. In this method metal Powders are Connected across a charged capacitor bank. Above a certain voltage, due to the discharge, a low density green product is produced. The green product is strong enough to be transported for further mechanical and heating treatment.

علائم اختصاری:

Q	بار خازن	a, a_0	شعاع استوانه
R	مقاومت الکتریکی	C	ظرفیت خازن
T	زمان	E_0	ولتاژ شارژ اولیه خازن
\dot{W}	نرخ کار دینامیکی	e, f, g, g', h, K	مقادیر ثابت
β	نسبت میراثی جریان	I	شدت جریان
ω	فرکانس زاویه‌ای	L	اندوکتانس سلف

مقدمه:

وقتی سطح ولتاژ ذخیره الکتریکی در خازن کم است، تراکم به صورت کامل انجام نمی‌شود و فقط سیم‌هایی در جهت طولی ایجاد می‌گردد. (۳ و ۴). با ازدیاد ولتاژ میله به صورت کامل تراکم شده و دانسیته آن حدود ۶۰٪ می‌شود. اگر میزان ولتاژ از مقدار معینی بیشتر شود انفجار در میله اتفاق می‌افتد. (۵ و ۶). تجهیزات لازم جهت تراکم، و وسایل اندازه‌گیری

تجهیزات لازم برای تراکم پودر فلزی به صورت خلاصه شده در شکل (۱) نشان داده شده است. در این روش پودر فلزی داخل لوله‌ای غیرهادی (شیشه‌ای - پلاستیکی و...) قرار گرفته و دو سر آن الکترودها قرار می‌گیرند. مجموعه تجهیزات لازم یک سری خازن الکتریکی و یک سوچ تخلیه فشار قوی است. البته یک مدار شارژ هم لازم است که بتواند خازن‌ها را تا سطح ولتاژ مورد نیاز شارژ نماید. پس از تخلیه

روش تراکم پودر فلزی به کمک تخلیه الکتریکی روش نسبتاً جدیدی است که اولین بار در سال ۱۹۷۶ مورد استفاده قرار گرفت (۱ و ۲).

در این روش پودر فلزی در مسیر یک خازن الکتریکی قرار می‌گیرد، شکل (۱). خازن به کمک دستگاه شارژ تا ولتاژ مورد نظر شارژ شده و بار ذخیره شده در خازن در زمان بسیار کوتاهی روی ستون پودر تخلیه می‌شود. این جریان پوسته اکسید روی دانه‌های پودر را شکسته و مسیره‌های برای عبور جریان ایجاد می‌نماید. عبور جریان از این مسیره‌ها باعث می‌شود دانه‌های پودر فلزی بهم جوش خورده و ضمناً "درمسیره‌های عرضی نیز بر اثر گرما اتصالاتی بین پودرها ایجاد می‌گردد. عبور جریان از مسیره‌های مختلف ایجاد شده باعث اعمال نیروی الکتروماگنت در جهت شعاعی شده و در نتیجه باعث تراکم و فشرده شدن ستون پودر (به صورت میله استوانه‌ای) می‌شود.

الکتريکی، یک محصول خام (green Product) به صورت استوانه‌ای و یا صور مختلف دیگر ایجاد می‌شود. (۷ و ۸) این محصول مقاومت کافی برای حمل و نقل را داراست.

تجهیزات استفاده شده برای تراکم

همانطوری که در شکل (۱) نشان داده شده است، عمده تجهیزات مورد نیاز یک سری خازن است. در کارهای انجام شده از پانزده خازن که ظرفیت هر کدام $5.32 \mu F$ است (۵ و ۶) استفاده شده دستگاه شارژ از یک ترا-فورمر متغیر $250/25000V$ و یک کلید یکسوکننده همراه با خازن تعادل $0.01 \mu F$ و یک مقاومت $0.7 M \Omega$ تشکیل شده است. ماگزیمم جریان شارژ $33 mA$ می‌باشد. سیستم سوئیچ شامل یک سوئیچ ایگنیترون و یک سوئیچ مکانیکی است که به صورت موازی بهم وصل شده‌اند. معمولاً از سوئیچ ایگنیترون استفاده می‌شود که خود به کمک یک پالس $3kV$ از یک ژنراتور جداگانه تحریک می‌شود.

دستگاههای اندازه‌گیری

ولتاژ شارژ شده درخازن به کمک ولت‌متر " electronic - multitrion Voltmeter " اندازه‌گیری می‌شود. جریان تخلیه

به کمک کوئل Rogowsky که دورستون پودر قرار می‌گیرد قابل اندازه‌گیری است. جریان تخلیه درستون باعث ایجاد یک نیروی الکتروماگنت در کوئل شده که نهایتاً با کالیبره شدن صحیح، در دستگاه اندازه‌گیری می‌تواند جریان عبور کرده ازستون را نشان دهد، شکل (۲).

تحلیل تئوری

در مقدمه علائم اختصاری بکار برده شده در این تحلیل تئوری آورده شده است. واقعیت امر این است که تا بحال هرچند راه‌حل کلی مدار و سیستم داده شده است، حل تئوریک قابل قبولی برای این روش تراکم ارائه نگردیده است. تحلیل تئوری زیر خط کلی حل یک مدار را به دست می‌دهد. بالانس ولتاژ در مدار، شکل (۱) به کمک رابطه زیر داده می‌شود:

$$\frac{d}{dr} (L') + R + \frac{Q}{C} = 0 \quad (1)$$

که در آن Q بار ذخیره شده درخازن است.

$$Q = \int Idt \quad (2)$$

رابطه بالانس انرژی در سیستم به صورت زیر است:

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{1}{2} LI^2 + \frac{Q^2}{2C} \right] + I^2 R + \dot{W} = 0 \quad (3)$$

که در آن W نرخ کارمکانیکی، $I^2 R$ انرژی تبدیل شده به حرارت و $[\frac{1}{2} LI^2 + \frac{Q^2}{2C}]$

کل انرژی ذخیره شده می‌باشد.

شدت جریان عبور کرده از مدار

اگر R، C، L در روابط (۱) و (۳) ثابت فرض شوند، شدت جریان به صورت زیر درمی‌آید:

$$I = -\frac{E_0}{LW} e^{-\beta t} \sin(\omega t)$$

که در آن

$$\beta = \frac{R}{2L}$$

نسبت میراثی جریان،

$$\omega = \sqrt{\left(\frac{1}{LC}\right)^2 - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

فرکانس زاویه‌ای، و

$$E_0 = Q_0 / C$$

ولتاژ شارژ اولیه در مدار است.

مساله توجه نشده در این راه‌حل این است که هرچند در مدار می‌توان اندوکتانس (L) را ثابت فرض کرد، ولی مقاومت R کاملاً متغیر است و نمی‌تواند ثابت فرض شود. لذا برای حل دقیقتر می‌توان L و C را ثابت و R را متغیر فرض کرد حال اگر از رابطه (۱) نسبت به زمان مشتق بگیریم، خواهیم داشت:

$$L \frac{d^2 I}{dt^2} + R \frac{dI}{dt} + I \frac{dR}{dt} + \frac{I}{C} = 0 \quad (5)$$

برای حل این سیستم می‌توان مشابه حالت انفجار سیم، مقاومت را به صورت یک سری در نظر گرفت و نهایتاً " جریان را به صورت زیر به دست آورد. (۸)

$$R = K + \frac{h}{t+g} + \frac{g}{(t+g)^2} + \frac{f}{(t+g)^3} + \frac{e}{(t+g)^4} \quad (6)$$

$$I = \frac{E_0 e^{-\lambda t}}{L \left(\frac{d\lambda}{dt} \right) t = 0} \quad (7)$$

که در آن λ در آن g, f, e, h, k, g' ثابت هستند و مقادیر λ در مراجع شماره (۳ و ۴) داده شده است.

مساله عمده در این راه‌حل این است که طبق رابطه (۶) تغییرات R نسبت به زمان به صورت یک سری در نظر گرفته شده است که به تدریج با زمان تغییر می‌کند و حال آن که در ستون پودر فلزی تغییر مقاومت ناگهانی است. لذا لازم است در این مورد راه‌حل بهتری ارائه گردد.

فشار اعمال شده روی ستون

از راه‌حل مقدماتی برای پیدا کردن فشار به کمک تئوری الکترو-

ماگنت (۲)، نشان می‌دهد که فشار موجود روی ستون به صورت زیر است:

$$P = \frac{\mu I^2}{4 \pi a_0} (a_0^2 - a^2) \quad (8)$$

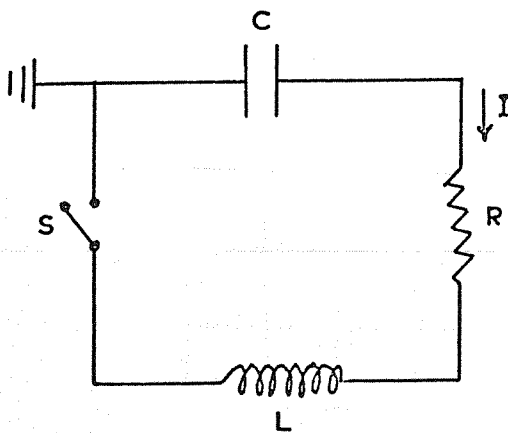
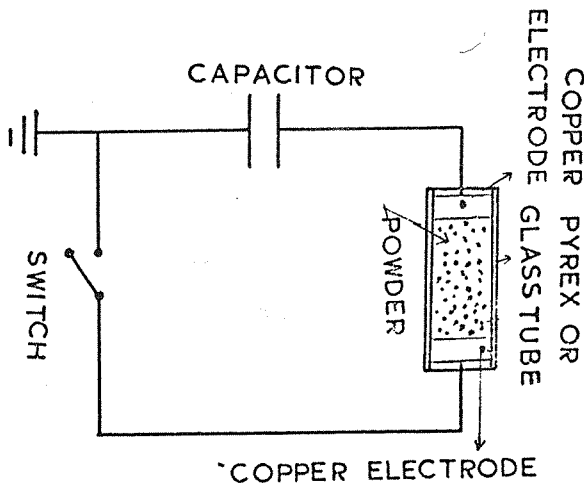
که در آن a_0 شعاع خارجی میله استوانه‌ای است. اگر R در مدار ثابت فرض شود، با استفاده از رابطه (۴) خواهیم داشت:

$$P = \frac{\mu (E_0 / L \omega)^2 (a_0^2 - a^2) - 2\beta t}{4 \pi a_0^2} e^{-\beta t} \sin^2(\omega t) \quad (9)$$

با توجه به ثابت فرض کردن R خطای این راه‌حل می‌تواند زیاد باشد و تا به حال تطابقی بین نتایج تجربی و راه‌حل تئوری فوق ارائه نشده است.

II/ راه‌حل دوم که به صورت پیشنهادی ارائه شده است (۶) چنین بیان می‌کند که برای به دست آوردن نیروی شعاعی در ستون پودر، بلافاصله پس از عبور اولین جریان، تعداد زیادی سیمهای طولی تشکیل می‌شود. عبور جریان از داخل سیمها باعث نیروی جاذبه بین سیمها می‌شود که نهایتاً عمل تراکم را کامل می‌نماید.

- پیشنهاد می‌شود در زمینه‌های ذیل تحقیق ادامه باید .
۱. از نظر تئوری انتخاب رابطه صحیحی برای مقاومت و حل روابط مدار برای بررسی تئوریک جریان الکتریکی ،
 ۲. بررسی نهایی نیروی تراکم و ارتباط آن با جریان .
 ۳. بررسی امکان تولید سری با این روش
 ۴. با توجه به این که این روش برای تولید محصولاتی با دانسیته کم بیشتر مناسب است ، دو رشته تحقیقی مناسب برای ادامه کار می‌تواند تولید فیلترهای فلزی ، و الکتروود و سیمهای جوشکاری باشد . در این زمینه آزمایشهای مقدماتی انجام شده (۸) ، ولی تحقیق زیادتر مورد نیاز است .



شکل شماره ۱

و بالاخره III/ با توجه به نتایجی که ضمن کار تجربی عاید شده است ، هرچند پیدا کردن نیروی تراکم شعاعی برای حل نهایی سیستم مفید است ، ولی واقعیت امر این است که عمدتاً در این روش ایجاد شبکه‌های طولی و عرضی سیمهای بسیار نازک و عمل سینترینگ بین دانه‌ها (۳) ، عمده مساله در تشکیل ستون جامد است . به عبارت دیگر دانسیته محصول خام حدود دانسیته پودر ضربه خورده ، (tap density) ، است و فقط عمل تخلیه باعث سینتر شدن و جوش خوردن دانه‌های پودر می‌گردد .

نتایج تجربی

به کمک این روش امکان تراکم انواع پودرهای فلزی موجود است . در جدول (۱) چند نمونه از پودرهای مورد استفاده برای این آزمایش نشان داده شده است .

بیشترین آزمایش روی پودر آهن انجام گرفته است . در تراکم پودر آهن دامنه وسیعی از ولتاژ مورد استفاده قرار می‌گیرد . در ولتاژ کم فقط تعداد معدودی سیم طولی تشکیل می‌شود . با ازدیاد ولتاژ بین این سیم‌ها ارتباطهای عرضی برقرار می‌گردد و بالاخره در ولتاژ معینی (بسته به مشخصات هندسی میله) تراکم کامل انجام می‌گیرد ، شکل (۳) .

اگر ولتاژ را باز هم زیادتر نمائیم ، نهایتاً " در میله انفجار رخ می‌دهد . نحوه انفجار بدین صورت است . که ابتدا در ناحیه محوری استوانه ، ذوب رخ می‌دهد . اگر میله کوتاه باشد مواد مذاب از دو انتهای آن به خارج فوران می‌نماید ، شکل (۴) ، در صورتی که میله بلند باشد ذوب هسته مرکزی از نواحی وسط میله شروع می‌شود و در همان حوالی با ایجاد سوراخهایی به خارج فوران می‌نماید ، شکل (۵) در بعضی انواع پودرها انفجار به صورت لایه‌ای و در امتداد طولی رخ می‌دهد ، شکل (۶) .

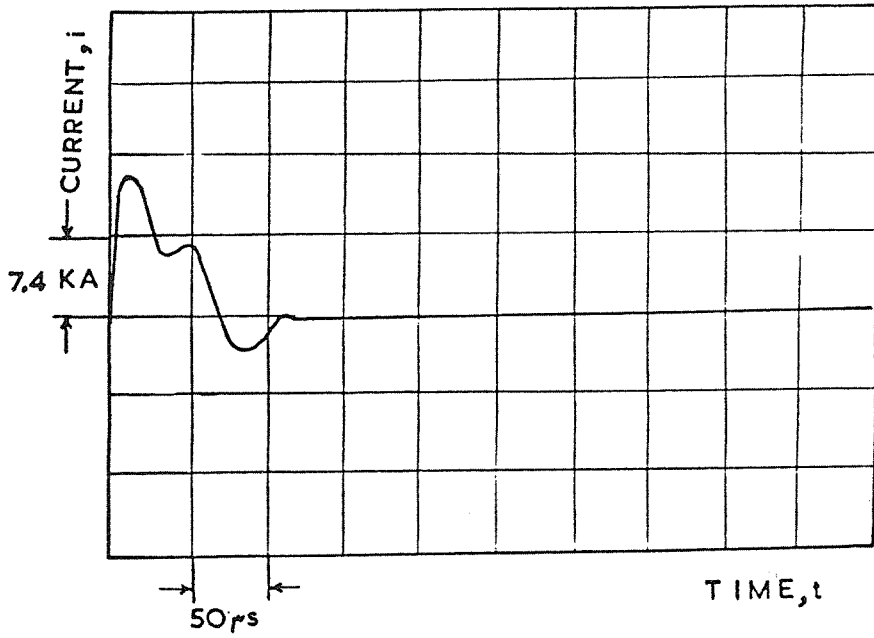
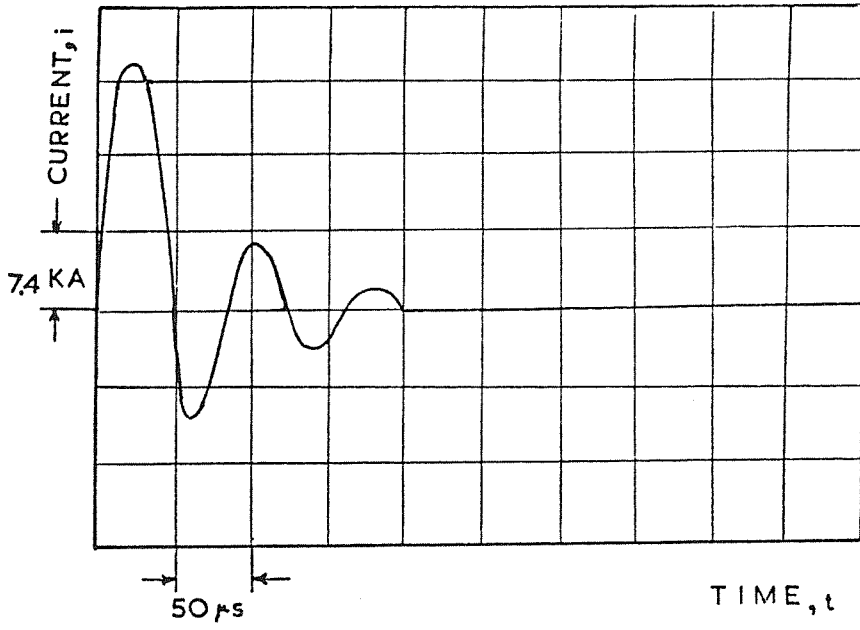
پودر انواع مختلف فلزات دیگر نیز با این روش متراکم شده ، ولی مقاومت تراکم به خوبی آهن نیست .

محصول خام ایجاد شده می‌تواند مورد عملیات مکانیکی قرار گیرد . در مورد میله استوانه‌ای مناسب‌ترین عمل مکانیکی چکش کاری دورانی (rotary Swaging) است . این عمل روی بسیاری از میله‌ها انجام گرفت و دانسیته تا ۹۰٪ به دست آمد ، (شکل ۷) عمل دیگر روی محصول خام ، عملیات حرارتی (Sintering) است که تحقیق در این زمینه ادامه دارد .

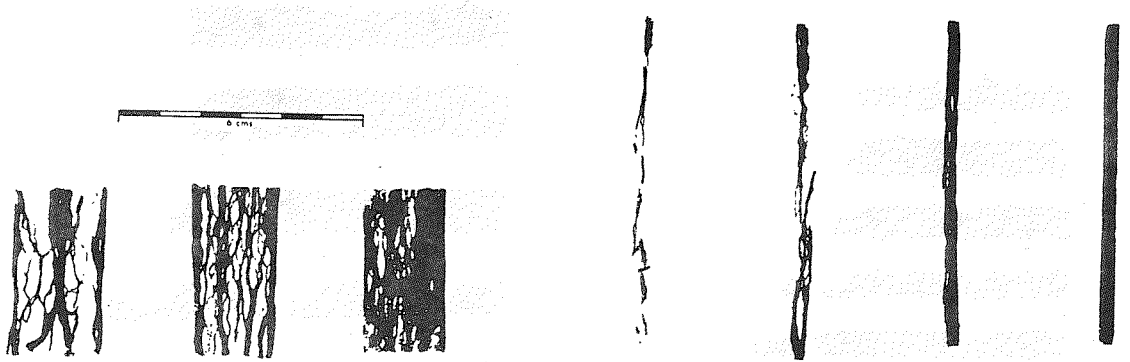
از جمله نتایج به دست آمده دیگر با این روش تراکم پودر آهن با مقاطع و اشکال مختلف دیگر است (۳) اشکال عمده در این حالت این است که تولید زنجیره‌ای و سری مشکل به نظر می‌رسد و در این زمینه امکان تحقیق بیشتر موجود است .

نتیجه

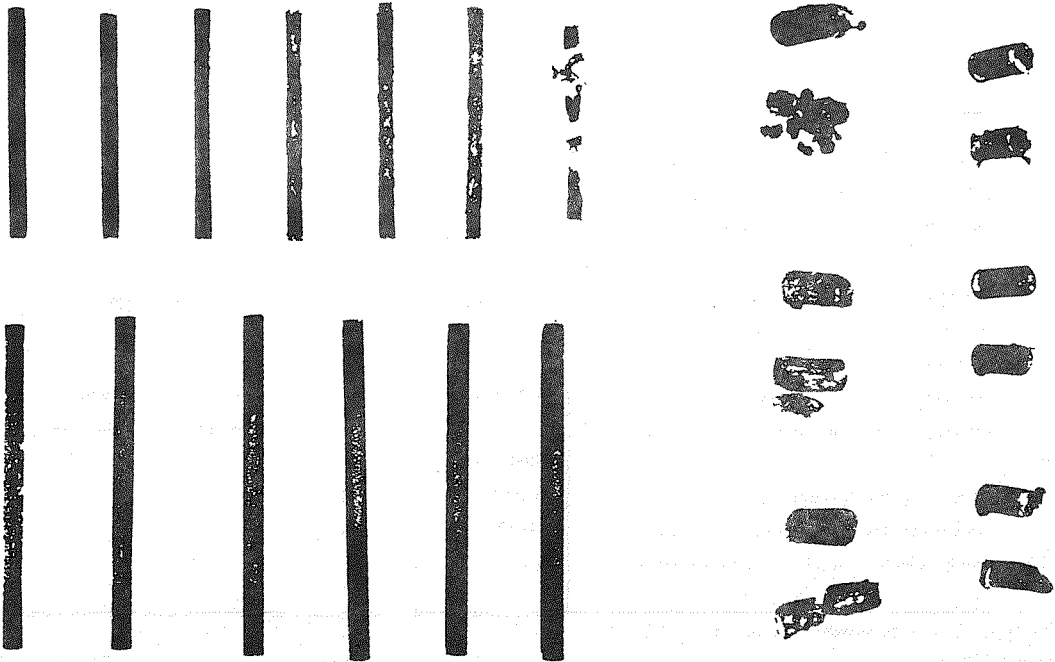
پودرهای فلزی را می‌توان به کمک تخلیه الکتریکی متراکم کرد . دانسیته تولید نسبتاً کم است ، ولی مقاومت محصول خام برای ادامه عملیات مکانیکی و حرارتی کافی است . ضمناً با این روش امکان تولید محصولاتی با اشکال پیچیده موجود است . از عمده محاسن این روش ارزان بودن قالب است که در روشهای استاتیکی مساله عمده‌ای در تولید می‌باشد .



شکل شماره ۲

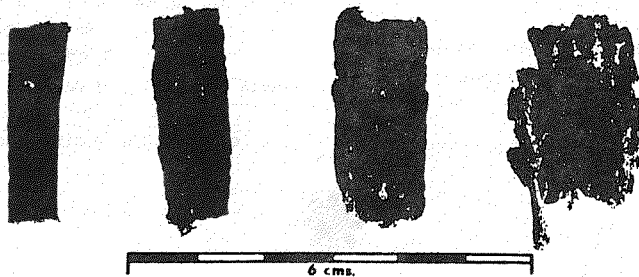


شکل شماره ۳

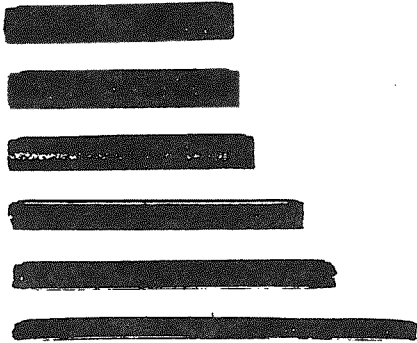


شکل شماره ۴

شکل شماره ۵



شکل ۶



شکل ۷

منابع

1. W.Johson, S. Clyens and S.T.S. Al – Hassani, "Compaction of Metal Powders using high voltage Electrical Discharges and Rotary Swaging" Metallurgical and Metal Forming, Nov. (1976).
2. S. Clyens, S.T.S. Al – Hassani, and W. Johanson, "The Compaction of powder Metallurgy Bars using high voltage Electrical Discharge", Int. J. Mech. Sci. 18, (1976).
3. M. Shakery, S.T.S. Al-Hassani, and T.J. Davies "Electrical Discharge powder Compaction" powder Metallurgy Int., Vol. 11, No, 3, 1979.
4. S.T.S. Al-Hassani, and M. Shakery, "Consolidation of — powders by direct Electrical Discharge" Proc. 7th North American Manufacturing Research Conf., Univ. Michigan, 1979 P. 205.
5. M. Shakery, "Electrical Discharge powder Compaction", MSC. Dissertation, UMIST (1977).
6. M. Shakery, "Electrical Discharge powder Compaction", Ph.D. Tnesis, UMIST (1979).
7. S.T.S Al-Hassani, J.L. Duncan, W. Johnson, "On the parameters of the Magnetic Forming process", J.Mech. Izng. Sci, 16, (1974).
8. T.Alp, S.T.S. Al-Hassani, and W. Johnson, Trans. ASME, Vol. 107, July 1985.

جدول شماره ۱

Material	Symbol	Mesh Sizes
Annealed Iron	Fe	All mesh sizes range between - 72 to + 400
Steel (1)*	M-84	"
Steel (2)*	JJm	"
Nickel	Ni	- 325
Copper	Cu	- 325

* %age composition of M-84:

C	S	P	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
0	0.01	0.014	0.02	0.31	0.31	0.38	0.58
			Sn	Cu	Fe		
			0.012	0.09	98.74		

* %age composition of JJm:

C	S	P	Si	Mn	Fe
0.02	0.018	0.012	0.03	0.29	99.67

