

# تراکم پودرهای فلزی به روش تخلیه الکتریکی اثر ولتاژ تخلیه در مقاومت جسم خام

دکتر محمود شاکری

استادیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مهندس بیژن ملائی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

در تراکم پودر به روش تخلیه الکتریکی، 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. استحکام این محصول بستگی به ولتاژ تخلیه، دانه‌بندی پودر، دانسیته فشاری و نوع پودر دارد. در این مقاله اثر ولتاژ روی استحکام خام قطعه برای دو نوع پودر آهن و برنز بررسی شده است.

## Effect of Discharge Voltage on Green Strength in Electrical Discharge Powder Compaction

M. Shakeri, Ph.D.

B. Mollaii, M.Sc.

Mech. Eng. Dept. Amirkabir Univ. of Tech

### ABSTRACT

In electrical discharge powder compaction process, metal - powders are connected across a charged capacitor bank. Above a certain voltage, due to the discharge, a low density green product is produced. Green strength of this product depends on the discharge voltage, the size distribution of powder grains, the tap density and the type of powders. In this paper, the effect of voltage on green strength of iron and bronze powders is discussed.

مقدمه

پودر فلزات را می‌توان به راحتی با تخلیه الکتریکی متراکم کرد. این روش به عنوان یک فرآیند صنعتی برای اولین بار در سال ۱۹۷۶ مورد استفاده قرار گرفت. (۱)

در این روش انرژی الکتریکی یک بانک خازن به طور ناگهانی از میان یک ستون پودر که در یک محفظه عایق قرار دارد تخلیه می‌گردد و جریان عبوری از ستون پودر باعث گرم شدن و جوش خوردن ذرات پودر می‌شود و علاوه بر آن میدان مغناطیسی حاصل باعث تراکم پودر در جهت شعاعی می‌گردد. در نتیجه پس از تخلیه، قطعه را می‌توان به راحتی از داخل محفظه بیرون آورد. (۲)

مدار تخلیه و معادل الکتریکی آن در شکل (۱) نشان داده شده است.

در ولتاژهای پائین عمل تراکم به طور کامل صورت نمی‌گیرد و فقط سیم‌هایی در جهت طولی تشکیل می‌شود با افزایش ولتاژ قطعه به طور کامل متراکم می‌شود و اگر میزان ولتاژ از مقدار معینی تجاوز کند، انفجار روی می‌دهد.

تجهیزات لازم

(۱) مدار تخلیه: این مدار در شکل (۲) نشان داده شده است. مدار تخلیه شامل یک سیستم تامین قدرت می‌باشد که می‌تواند خازن مدار را تا ماکزیمم ۱۵ kV با جریان ۸۰ mA از طریق مقاومت شارژ ۱۰۰ KΩ شارژ کند. در آزمایشات از یک خازن ۱۰۰ μF استفاده شده است. کار مدار تریستور فرمان دادن به لامپ ایگنیترون است. این مدار توسط یک پالس ۵ ولتی عمل کرده و ولتاژ خروجی معادل ۱ KV

امیرکبیر/۱۹۵

به لامپ ایگنیترون می‌فرستد. لامپ ایگنیترون یک لامپ سه قطبی حیوه‌ای است که برای عمل سوچینگ سریع و پر قدرت مورد استفاده قرار می‌گیرد. زمان تخلیه این لامپ حدود ۱۰۰ - ۵۰ میکروثانیه است.

اتصال بار خازن به ستون پودر نیز توسط الکترودهای مسی انجام می‌گیرد.

(۲) دستگاه خمشی instron ، مدل ۱۱۱۵ که سرعت حرکت فکهای اعمال نیرو در آن بین ۰/۰۵ تا ۵۰ mm<sup>min</sup> است. این دستگاه قادر است تغییرات بار را بر حسب خیز نمونه با سرعت قابل کنترل رسم نماید.

(۳) قالبها: قالبها لوله‌های شیشه‌ای از جنس پیرکس بوده که قطر داخلی آنها ۲ mm طول آنها حدود ۱۰ cm است.

(۴) پودرهای فلزی: در این آزمایش از دو پودر آهن و برنز با مشخصات زیر استفاده شده است.

پودر برنز: با درصد آلیاژی ۸۸/۵٪ مس، ۱۰٪ قلع، ۱/۵٪ روی.

شکل ذرات بی‌فایده، روش تولید آنها اتمایزینگ و با دانه‌بندی بزرگتر از mesh ۱۰۰

پودر آهن: این پودر با نام W4037 - Cox از سوئد تهیه شده و شکل ذرات نزدیک به کروی است با دانه‌بندی زیر:

ریزتاز ۲۳۰ مش: بین ۱۷۰ تا ۲۳۰. بین ۱۰۰ تا ۱۷۰ مش. بزرگتر از ۱۰۰ مش  
درصد ۴/۵ ۸/۶ ۳۶/۹ ۵۰

## روش کار

ابتدا یک سر لوله شیشه‌ای توسط یکی از الکترودها مسدود شده و سپس پودر مورد نظر به مقدار معین در داخل آن ریخته شده و پس از پر شدن قالب سر دیگر آن نیز توسط الکتروده دیگری مسدود می‌شود. با فشردن الکترودها روی پودر از تماس سر الکترودها با پودر اطمینان حاصل می‌گردد. شکل (۳) یک قالب آماده را نشان می‌دهد. دو سر الکترودها به نقاط ۱ و ۲ در مدار شکل (۲) متصل می‌شوند. در هر مرحله خازن تا ولتاژ مورد نظر شارژ شده و روی ستون پودر تخلیه می‌گردد. این کار برای ولتاژهای مختلف و پودر آهن و برنز انجام می‌گیرد. میله‌های تراکم شده را پس از درآوردن از قالب توسط دستگاه instron مورد آزمایش خمش قرار می‌دهند.

## نتایج تجربی

(۱) پودر آهن: نتیجه آزمایش در منحنی شکل (۴) نشان داده شده است.

دیده می‌شود که با افزایش ولتاژ، استحکام خام میله افزایش می‌یابد و دلیل آن این است که با افزایش ولتاژ، انرژی تخلیه  $E = \frac{1}{2} CV^2$  ظرفیت خازن و ولتاژ تخلیه و جریان عبوری از ستون پودر افزوده می‌گردد. نتیجتاً "حرارت ایجاد شده زیاد گشته و تعداد پل‌ها و سیم‌های فلزی افزایش می‌یابد. از طرف دیگر میدان مغناطیسی حاصل قویتر بوده و باعث تراکم بیشتر شعاعی می‌شود. خیز ماکزیم میله که معرف انعطاف‌پذیری آن است نیز بین محدوده ۰/۴۲۵ تا ۰/۶۵ mm متغیر است و دلیل افزایش تقریبی آن با ولتاژ را

به این صورت می‌توان توجیه کرد که در درجه حرارتهای بالا ساختمان قطعه تقریباً "آئینه می‌شود.

تا ولتاژ ۸ kv اثرات ذوب‌شدگی در سطوح قطعه دیده نمی‌شود ولی در ولتاژهای ۸/۵ تا ۱۰ kv ، اثرات ذوب‌شدگی در سطوح مشخص است و مقطع قطعه در ناحیه‌های ذوب‌شده کوچکتر می‌باشد. در نتیجه در تولید قطعات برای بالا بردن استحکام خام، نمی‌توان ولتاژ را بی‌رویه زیاد کرد زیرا پس از یک ولتاژ معین، سطوح قطعه ناصاف می‌گردد. از لحاظ ماکزیم استحکام و قابل قبول بودن سطوح قطعه، ولتاژ ۸ kv برای این ابعاد قطعه مناسب به نظر می‌رسد. دانستیه خام در این حالت  $\frac{4}{54} \frac{gr}{cm^3}$  ، یعنی ۵۸/۲٪ دانستیه تثوری می‌باشد.

(۲) پودر برنز: نتیجه آزمایش در مورد این پودر نیز در شکل (۵) نشان داده شده است. مشابهاً دیده می‌شود که با افزایش ولتاژ استحکام خام قطعه افزایش می‌یابد. دلیل صعودی بودن این منحنی، همان دلایل ذکر شده در مورد پودر آهن است. تفاوت‌های نتایج این آزمایش با آزمایش پودر آهن به شرح زیر است:

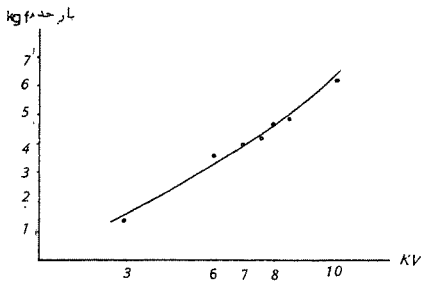
۱ - در مورد پودر برنز در ولتاژهای پائین‌تر می‌توان به استحکام کافی برای حمل و نقل رسید و دلیل آن این است که اولاً "نیروی تراکم لازم برای پودر برنز کمتر از پودر آهن است. از طرف دیگر چون نقطه ذوب برنز کمتر از آهن است، در درجه حرارتهای پائین‌تری پل‌ها تشکیل می‌شوند.

۲ - در مورد برنز افزایش شدیدی پس از ولتاژ ۷ kv مشاهده می‌شود که دلیل آن به شرح زیر است: در پودر برنز از ولتاژ ۷ kv اثرات ذوب‌شدگی در سطوح قطعه دیده می‌شود و در ولتاژهای ۸ و ۹ kv ، تقریباً "قسمت عمده‌ای از پودر برنز ذوب می‌گردد، به همین دلیل اتصال ذرات به‌همدیگر تقریباً "کامل بوده و جریانی از مذاب‌فشارهای خالی اتصالها را بر می‌کنند در نتیجه استحکام قطعه به سرعت بالا می‌رود. البته ولتاژهای ۸ و ۹ kv در تراکم پودر برنز با ابعاد فوق قابل قبول نیستند.

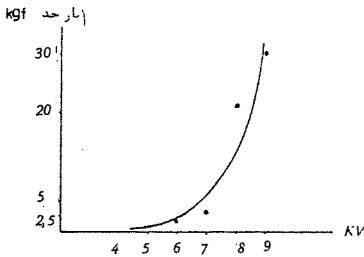
## نتیجه

پودرهای فلزی را می‌توان با استفاده از روش تخلیه الکتریکی تا دانستیه حدود ۶۰٪ دانستیه تثوری و استحکام کافی برای حمل و نقل تراکم کرد. (۲) قالبهای مورد استفاده در این روش بسیار ساده و ارزان بوده و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است. برای بالا بردن استحکام قطعه می‌توان پس از تراکم قطعه را تحت عملیات سینترینگ و یا چکش کاری دورانی قرارداد. (۴) با این روش امکان تولید محصولات به اشکال میله، لوله، پروفیل‌های چهار و شش گوش و اشکال پیچیده‌تر وجود دارد، (۵) پیشنهاد می‌شود که در زمینه‌های زیر تحقیق ادامه یابد.

- ۱ - اثر انرژی تخلیه الکتریکی در دانستیه و استحکام خام قطعه
- ۲ - بررسی امکان تراکم میله‌های بلند به منظور ساخت الکترودهای جوشکاری.
- ۳ - بررسی امکان ساخت فیلت‌های فلزی با این روش.



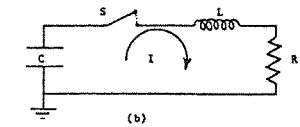
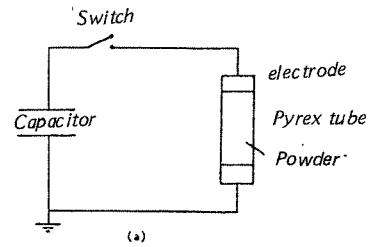
نمودار ۴ - تغییرات استحکام قطعه بر حسب ولتاژ تخلیه پودر آهن، دانه‌بندی موجود، ظرفیت خازن،  $100 \mu F$ ، قطر قالب  $7 \text{ mm}$ ، طول قطعه  $50 \text{ mm}$



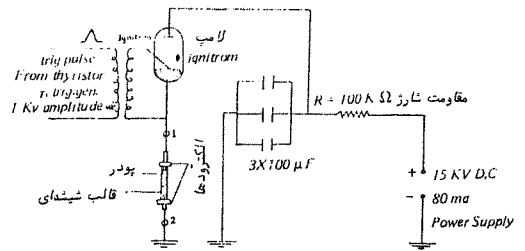
نمودار ۵ - استحکام بر حسب ولتاژ برای پودر برنز، دانه‌بندی بزرگتر از  $100 \text{ mesh}$  ظرفیت  $100 \mu F$ ، قطر قالب  $7 \text{ mm}$

منابع

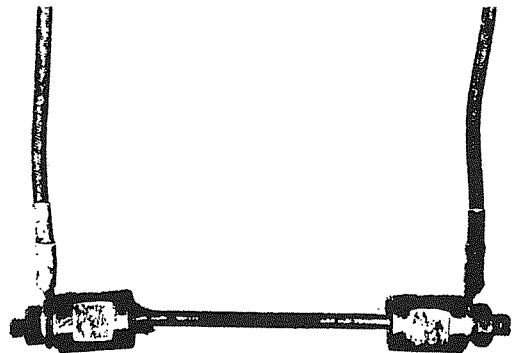
1. T. AIP, ST.S AL - Hassani and W. Johnson - "The electrical discharge compaction of powder: Mechanic and material structure" - Transaction of ASME, vol. 107, July 1985, P. 186 - 194.
2. M. Shakeri, AL - Hassani and T.J Davies - "Electrical - discharge powder compaction" - Powder metallurgy International - vol. 11, No. 3, 1979 - P. 120 - 124.
3. شاکری، محمود. تراکم پودرهای فلزی به روش تخلیه الکتریکی. مجله علمی و فنی امیرکبیر. شماره ۰۱۱. بهار ۱۳۶۸. ص ۱۲۷ - ۱۳۱.
4. W. Johnson, S. clyens and ST. AL - Hassani - "Compaction of metal powders using high voltage electrical discharges and rotary swaging" - metallurgy and metal forming, November 1976 - P. 382 - 385.
5. S.T.S Al - Hassani, and M.Shakery, "Consolidation of powder by direct electrical discharge" Proc. 7th North American Manufacturing research conf. Univ. Michigan, 1979.



شکل ۱ - (a) سیستم تخلیه مورد استفاده در تراکم پودر (b) مدار LRC معادل



شکل ۲ - شماتیک مدار تخلیه الکتریکی



شکل ۳ - قالب آماده برای عملیات تراکم به روش تخلیه الکتریکی