

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

بررسی روش شکل دهی ریخته‌گری ژلی در ساخت سیستم‌های MEMS

خدیجه فلاح مراد^۱، مهدی پوررحمانی^۲، محدثه سادات تقوی^۳

۱- دانشجو کارشناسی ارشد بیومتریال، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- دانشجو کارشناسی ارشد سرامیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- دانشجو کارشناسی ارشد بیومتریال، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

از اصلی‌ترین مواد اولیه مورد استفاده در ساخت سیستم‌های MEMS مواد سرامیکی هستند. ریخته‌گری ژلی یکی از جدیدترین و جذاب‌ترین روش‌های شکل‌دهی مواد سرامیکی است که قابلیت شکل‌دهی قطعات سه بعدی و پیچیده‌ای را از سرامیک‌های مهندسی نظیر سیلیکون، آلومینا و زیرکونیا دارا است. مزایای زیادی از جمله استحکام خام بالا، قابلیت ماشینکاری بالا در حالت خام و غیره سبب شده تا این روش مورد توجه بسیاری از محققان و صنایع در زمینه‌های الکتروسرامیک، الکترومغناطیس و غیره قرار گیرد. در پژوهش پیش رو به بررسی این فرایند شکل‌دهی پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی

MEMS، ریخته‌گری ژلی، شکل‌دهی، الکتروسرامیک،

الکترومغناطیس، ماشینکاری

ماشینکاری خوبی در حالت خام دارد [۲]. بر این اساس روش ریخته‌گری ژلی یکی از بهترین روش‌ها جهت تهیه سیستم‌های MEMS است [۱].

۲- روش ریخته‌گری ژلی

ریخته‌گری ژلی از جمله فرایندهای شکل‌دهی سرامیک‌ها است [۳] که اساس آن بر ترکیب نظریه‌های مرتبط با سرامیک‌های سنتی و شیمی پلیمرها گذاشته شده است. اصول این روش شامل پلیمریزاسیون منومرها و تشکیل یک شبکه شبه سه بعدی است که ذرات را به شکل مورد نظر در جای خود ثابت می‌کند [۴]. این فرایند اولین بار توسط اوماته و جنی در آزمایشگاه ملی ائک ریج ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۹۰ ارائه گردید [۵-۷].

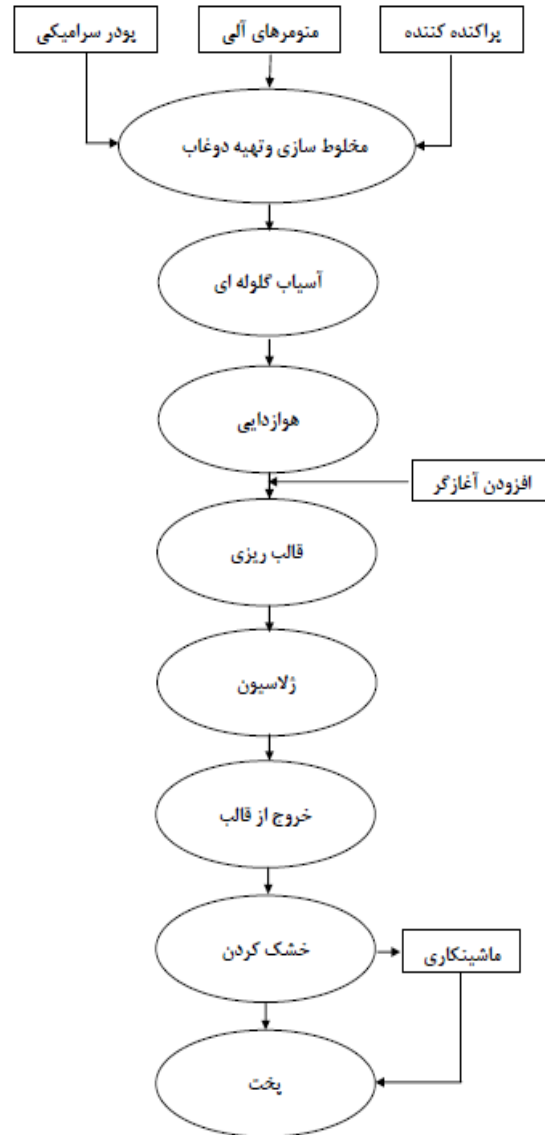
از آنجایی که روش‌های شکل‌دهی در حالت تر توانایی کنترل بهتر بر واکنش‌های بین ذره‌ای، همگنی در ساختار میکروسکوپی و چیدمان ذرات را دارند در مقایسه با روش‌های خشک مطلوب‌تر هستند [۸] اما انقباض زیاد ناشی از خروج رطوبت مشکل اصلی این روش‌ها است. ریخته‌گری ژلی با کنترل نسبت منومرها و مولفه‌های دیگر می‌تواند این انقباض را تا حد زیادی کنترل نماید. بنابراین این روش محدودیت‌های بسیاری از سایر روش‌های شکل‌دهی را کاهش داده و به همین سبب مورد توجه قرار گرفته است [۳].

طرح کلی فرایند ریخته‌گری ژلی در شکل (۱-۱) مشخص شده است. همان طوری که در نمودار نشان داده شده است، مرحله ابتدایی فرایند، تهیه دوغابی با پایداری مناسب جهت دستیابی به خواص یکنواخت در قطعه است. دوغاب تهیه شده جهت افزایش همگنی در آسیاب گلوله‌ای قرار گرفته و سپس هوازادایی می‌گردد. انتخاب سیستم مونومری و تهیه محلول مونومری با درصد وزنی مناسب مرحله بعدی فرایند است. پس از آن آغازگری متناسب با سیستم مونومری به مخلوط اضافه شده و مخلوط قالب ریزی می‌شود. سپس به وسیله حرارت و یا شتاب‌دهنده شیمیایی (عموماً TEMED)

۱- مقدمه

سیستم‌های میکروالکترومکانیکی (MEMS)، سیستم‌هایی با کاربردهای الکتریکی و غیر الکتریکی هستند که شامل انواع سویچ‌ها، سنسورهای شتاب و غیره است. از جمله مواد اولیه مورد استفاده در ساخت این‌گونه سیستم‌ها، پودرهای سرامیکی مانند سیلیکون، آلومینا و زیرکونیا هستند که استفاده‌های بسیاری در صنایع الکتروسرامیک، الکترومغناطیس، هوافضا و ... دارند. ساخت این قطعات در شکل‌های پیچیده نیازمند روش‌های شکل‌دهی پیشرفته و عملیات‌های تکمیلی بعدی از جمله ماشینکاری است [۱]. با توجه به تردی و چقرمگی کم محصولات سرامیکی، ماشینکاری قطعه نهایی مشکل بوده و ممکن است سبب بروز ترک در قطعه گردد لذا امروزه ماشینکاری قطعات در حین فرایند شکل‌دهی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. روش ریخته‌گری ژلی از جمله روش‌هایی است که به دلیل استحکام خام بالایی که به قطعات می‌دهد، قابلیت

فرایند ژلاسیون تسریع می‌شود. پس از اتمام ژلاسیون قطعه از قالب خارج گشته و با عملیات خشک کردن، ماشین‌کاری، پخت و سایر فرایندهای بعد از پخت (بسته به مواد اولیه مصرفی و کاربرد مورد استفاده) قطعه آماده استفاده می‌گردد [۲].



شکل (۱-۱) طرح کلی فرایند ریخته‌گری ژلی [۹]

۱-۱- انتخاب سیستم مونومری

شناخته شده‌ترین مونومر در فرایند ریخته‌گری ژلی، آکریل آمید (AM) است که عموماً همراه با پیوند دهنده عرضی متیلن بیس آکریل آمید (MBAM) مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹ و ۱۰]. تاکنون تحقیقات زیادی روی این مونومر صورت گرفته است. بررسی‌ها نشان

می‌دهد که آکریل آمید ماده‌ای سمی و مضر برای سیستم عصبی است [۱۰ و ۱۱]. بنابراین در کاربردهای حساس خصوصاً سیستم‌های بیولوژیکی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. از این رو مونومرهای دیگری از جمله آلژینات سدیم، آگاروز، ژلاتین، متاکریل آمید، اکریلیک اسید و... هم به این فرایند راه یافته‌اند [۹ و ۱۱]. اما سیستم آکریل آمید با وجود سمی بودن، فوایدی هم دارد که مانع از خروج این مونومر از فرایند ریخته‌گری ژلی گردیده است. به عنوان مثال: مقدار مونومر اصلی مصرفی در سیستم اکریلیک اسید حدود ۴ برابر سیستم آکریل آمید و غلظت مولار شتاب‌دهنده و آغازگر آن به ترتیب ۱۲ و ۱۲۰ برابر سیستم مذکور است [۸]. به علاوه به دلیل آزادتر بودن کربن عامل پلیمریزاسیون در آکریل آمید، نرخ پلیمریزاسیون در آن بیشتر است [۱۲]. از طرفی خصوصیات و عملکرد سیستم آکریل آمید در شرایط مختلفی بررسی شده و شناخته تر بودن آن بررسی‌های دیگر را سهولت می‌بخشد. پس از سیستم آکریل آمید سیستم‌های اکریلیک اسید و آلژینات پر کاربردترین مونومرها در ریخته‌گری ژلی هستند [۹].

۲-۱- عوامل موثر در کیفیت روش و قطعه نهایی

عوامل بسیاری باید مورد توجه قرار گیرد تا هم روش به درستی انجام شده و هم قطعه نهایی از کیفیت مطلوبی برخوردار باشد. از جمله این عوامل عبارتند از:

- ✓ انتخاب سیستم مونومری مناسب
- ✓ مقدار و نسبت مونومرهای مصرفی
- ✓ PH مناسب جهت حفظ پایداری دوغاب و جلوگیری از رسوب
- ✓ اندازه ذرات پودر
- ✓ چگونگی و زمان ترکیب کردن مواد اولیه
- ✓ روش‌های مخلوط‌سازی
- ✓ هوازدایی
- ✓ کنترل زمان و دمای ژلاسیون
- ✓ کنترل زمان و دمای خشک کردن و ...

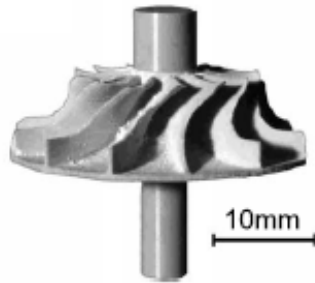
بنابراین جهت رسیدن به خواص بهینه کنترل و بررسی عوامل مذکور بسیار حائز اهمیت است [۹ و ۲].

۳-۱- مزایای ریخته‌گری ژلی

ریخته‌گری ژلی مزایای بسیاری در مقابل سایر روش‌های شکل‌دهی

Acrylamide ^۳
Methylenebisacrylamide ^۴

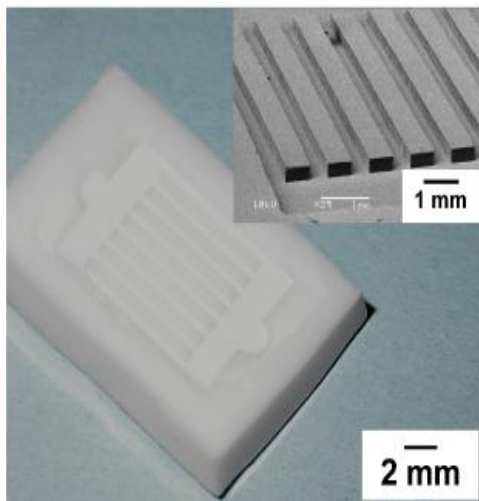
LCD^۵ها به کار می روند)، توربین‌های گازی و ... کاربرد دارد [۱۵و۱۴]. به طور کلی اساس اولیه سیستم‌های MEMS بر سیلیکون و ترکیبات آن بنا شده است [۱]. شکل (۲-۱) یک توربین گازی ساخته شده از نیتريد سیلیکون را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱) توربین سیلیکون نیتريدی [۱۴]

۲-۲- آلومینا

از پرکاربردترین مواد سرامیکی در صنایع مختلف می‌توان به آلومینا اشاره نمود. خواص منحصر به فرد این ماده از جمله مقاومت به سایش، مقاومت شیمیایی، دیرگدازی و ... سبب شده تا آلومینا هم به صورت متخلخل و هم به صورت متراکم کاربردهای فراوانی داشته باشد. ساختارهای متخلخل در میکروفیلترها، انواع غشاها و ... و ساختارهای متراکم در چرخ دنده‌ها، بوت‌ها در ابعاد مختلف (کوچکترین بوت‌ها ساخته شده دارای ابعاد ۵mm*۴mm*۱mm است)، تیغه‌های ساینده و ... استفاده می‌گردند [۱۶]. شکل (۲-۲) و (۲-۳) قطعات ساخته شده از آلومینا را نشان می‌دهند.



شکل (۲-۲) تصویر میکروسکوپ نوری از ساختار اسلات‌های میکروکانال ساخته شده به روش ریخته‌گری ژلی [۱۷]

دارد که از جمله آن عبارتند از :

- ✓ قابلیت تولید شکل‌های پیچیده
- ✓ سادگی روش شکل‌دهی
- ✓ هزینه کم تجهیزات مورد نیاز
- ✓ امکان استفاده از قالب‌های متنوع و کم هزینه
- ✓ قابلیت تولید انبوه و قطعات حجیم
- ✓ استحکام خام بالا و قابلیت ماشین‌کاری خوب
- ✓ یکنواختی خواص در بدنه نهایی
- ✓ مقدار کم ماده آلی مصرفی و خروج آسان آن از بدنه
- ✓ قابلیت کاربرد در ساخت قطعات سرامیکی و فلزی از پودر
- ✓ زمان تولید کم
- ✓ عدم نیاز به اپراتورهای متخصص [۹و۲].

۲- سرامیک‌های مهندسی در MEMS

مواد سرامیکی مختلفی در ساخت سیستم‌های MEMS کاربرد دارند که برخی از آنها عبارتند از :

۱-۲- سیلیکون

از جمله رایج‌ترین مواد در این سیستم‌ها سیلیکون است که از خواص بسیار خوب الکتریکی، مکانیکی و فرایند اچ برخوردار است. به علاوه این ماده در دسترس، دارای حد خستگی خیلی کم و در نتیجه طول عمری در بازه بیلیون چرخه بدون شکست، با اتلاف انرژی نزدیک به صفر است [۱۳]. سیلیکون دارای ساختارهای میکروسکوپی تک کریستال، پلی کریستال و آمرف است. رشد بلور در یک جهت خاص باعث بروز آنیزوتروپی خواص در جهت مطلوب و مورد نظر می‌گردد به طور مثال می‌تواند استحکامی نزدیک به فولاد و یا خواص الکتریکی خاصی را در جهت ترجیحی ایجاد نماید. پلی سیلیکون نیز در ساخت مدارهای مجتمع IC، سازه‌های میکرومکانیکی، مجتمع کردن اتصالات الکتریکی، ترموکوپلها، دیوده‌های انشعابات p-n و بسیاری از وسیله‌های الکتریکی با ساختارهای میکرومکانیکی استفاده می‌شود که سنسورهای شتاب‌سنج از مهمترین انواع آن است. اکسید، نیتريد و کاربید سیلیکون نیز به دلیل خواص منحصر به فردی که دارند در سیستم‌های MEMS مورد استفاده در صنایع مختلف کاربرد دارند به عنوان مثال اکسید سیلیکون به دلیل اینکه عایق خوب حرارت و الکتریسیته بوده و قابلیت حکاکی بالا در فرایند اچ کردن دارد، به عنوان لایه‌های از بین رونده در ماشین‌کاری مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۴]. نیتريد سیلیکون نیز در ساخت سلول‌های خورشیدی، ترانزیستورهای لایه نازک (که در ساخت

شکل (۲-۴) چرخ دنده ساخته و میکروماشینکاری شده از جنس

PZT [۱]

۳- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

مواد سرامیکی مختلفی از جمله سیلیکون و ترکیبات آن، آلومینا و زیرکونیا در ساخت سیستم‌های MEMS کاربرد دارند. از آنجایی که سرامیکها موادی ترد با چقرمگی کم هستند، انتخاب روش شکل دهی مناسب با حداقل عیوب ایجاد شده از اهمیت بالایی برخوردار است. روش ریخته‌گری ژلی به دلیل ایجاد قطعاتی با اشکال پیچیده، دارای استحکام خام بالا، قابلیت ماشینکاری بالا و ... روشی بسیار مناسب و مورد توجه برای شکل‌دهی این مواد است.

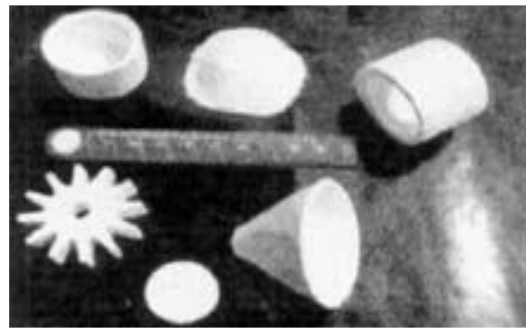
منابع

- [1] Olhero, S.M, Garcia-Gancedo, L, Zhang, D, Button, T.W, Alves, F.J, "Preparation of ceramic microelectromechanical systems (MEMS) using a gelcasting consolidation technique". JJ Electroceram 9 (2008): 1-6
- [2] Mohsen Haji, Masoud Alizade, Tooraj Ebadzade, Hadi Barzegar Beforoe, Mohamad Hasan Amin, 2010, "A review of gelcasting process in shaping ceramics" Journal of ceramics
- [3] L.J. Vandeperre, A.M. De wilde, J. Luyten, "Gelatin gelcasting of ceramic components", journal of materials processing technology, 135, 2003, p.p. 312-316
- [4] Jinlong Yang, Juanli Yu, Yong Huang, "Recent developments in gelcasting of ceramics", Journal of the European Ceramic Society, 2011, p.p. 23
- [5] Janney MA, Omatete OO, Walls CA, "Development of low toxicity gel-casting system" J. Am. Ceram. Soc. 1998;81(3), p.p. 581-91.
- [6] Young AC, Omatete OO, Janney MA, "Gel-casting of alumina", J Am Ceram Soc 1991;74(3), p.p. 612-618.

[۷] حیدر آخوندی، احسان طاهری نساج، حسین سرپولکی، ایوب تعاونی، "رفتار ریخته‌گری ژله‌ای و سینترینگ نانو پودر آلومینا"، یازدهمین کنگره سالانه انجمن مهندسیین متالورژی ایران، ۱۳۹۱

- [8] Gauckler LJ, Graule T, Baader F, "Ceramic forming using enzyme catalyzed reactions", Mater Chem Phys 1999;61(1), p.p. 78-102.

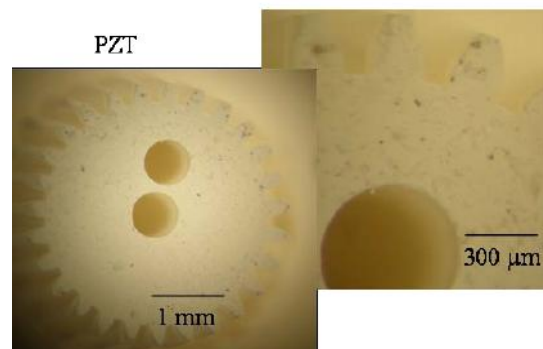
[۹] خدیجه فلاح‌مراد، محدثه سادات تقوی، "بررسی عوامل موثر بر خواص و ریزساختار ممبران‌های رسی تهیه شده



شکل (۳-۲) قطعات آلومینایی نزدیک به ابعاد محصول نهایی که مستقیماً از روش ریخته‌گری ژلی در قالب‌های شیشه‌ای، پلاستیکی و فلزی بدست آمده اند [۱۶]

۳-۲- زیرکونیا

این ماده به دلیل چقرمگی بالا، مقاومت به شوک حرارتی، مقاومت به سایش و خواص الکتریکی و مغناطیسی مناسب هم به صورت متخلخل و هم به صورت متراکم بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. زیرکونیا متخلخل بر اساس سایز تخلخل در فیلترهای جدایش مذاب فلزی، فیلترهای گازی و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۸]. نوع متراکم آن نیز به عنوان عایق الکتریکی، زیرپایه و ... کاربرد دارد. زیرکونیا دارای سه ریزساختار مکعبی، تتراگونال و منوکلینیک است اما نکته مورد توجه این است که زیرکونیا به طور خالص و تک فاز استحکام کافی نداشته و بر این اساس به صورت مخلوطی از فازهای نیمه پایدار و پایدار و یا ترکیب آن با عناصر دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. سرب زیرکونیا تیتانات (PZT) از این دسته ترکیبات است که یک ماده پیزوالکتریک بوده و قابلیت تبدیل انرژی الکتریکی و مکانیکی به هم را دارد. چنین موادی در ساخت ترانزیستورها کاربرد فراوانی دارند که اساس صنایع الکتریکی هستند [۱]. شکل (۲-۴) یک چرخ دنده ساخته شده از جنس PZT را نشان می‌دهد



lead zirconate titanate^۱

- Tsuru, Sangkyun Kang, Alexander G. Cooper, Alexander Nickel, Fritz B. Prinz, " Rapid prototyping and manufacturing by gelcasting of metallic and ceramic slurries" Materials Science and Engineering A334, 2002
- [۱۶] پیام شهسواری، "شکل‌دهی سرامیک‌ها از طریق ریخته‌گری ژلی سرامیک‌ها از دوغاب‌های آبی"، نشریه دنیای مواد، شماره ۳، ۱۳۸۷
- [17] Christian, Paul J. A. Kenis, " Fabrication of Ceramic Microscale Structures", American Ceramic Society, 90 [9] 2779–2783 (2007)
- [18] Jean Marc Tulliani, Cecilian Bartuli, Edoardo Bemporad, Alessio Cavalieri, Jacopo Tirill, Giovannipulci, Marco Sebastiani, "Dense and Porous Zirconia Prepared by Gelatine and Agar Gel-Casting: Microstructural and Mechanical Characterization", Materialy Ceramiczne/ Ceramic Materials/. 63, 1, (2011), 109-116
- به روش ریخته‌گری ژلی"، پروژه کارشناسی، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۹۲
- [10] Marek Potoczek, " A catalytic effect of alumina grains onto polymerization rate of methacrylamide-based gelcasting system", Ceramics International , 32, 2006 , , p.p. 739–744
- [۱۱] زهرا صالحپور، حسین سرپولکی، " ژل بایندهای طبیعی، گامی نو در صنعت سرامیک" فصلنامه سرامیک ایران، شماره ۴، ۱۳۸۴، صفحه ۲۶-۱۶
- [12] J. Brandrup, E.H. Immergut, " Polymer Handbook", third ed, John Wiley and Sons, New York, 1989
- [۱۳] جلیل بصیریان جهرمی، "سامانه‌های میکروالکترومکانیکی MEMS"، مجله صنعت هوشمند، شماره ۴، ۱۳۹۱
- [۱۴] ابک منافی، نادر ریجانی، علی اصغر نصیرلو، "انتخاب مواد و بررسی تکنولوژی MEMS"، مجله فنی مهندسی ساخت و تولید، شماره ۴۲
- [15] Ju`rgen Stampfl, Hao-Chih Liu, Seo Woo Nam, Katsuhiko Sakamoto, Hideaki

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله