

## ساخت افزودنی در گروه SMS - فلسفه و محصولات<sup>1</sup>

ترجمه: محمدحسین نشاطی

ساخت افزودنی با سرعت مهیجی در حال بهره‌برداری شدن است. اکنون مهندسان طراح هیچ محدودیت تولیدی همانند اجبار به در نظر گرفتن شکل هندسی قطعه کار ورودی ندارند، بنابراین می‌توانند از کارکردی که قطعه می‌بایستی انجام دهد شروع کنند و بلافاصله می‌توانند نتیجه "چاپ شده" را به صورت قطعه واقعی بررسی کنند. گروه SMS از قبل به دستاوردهای بزرگی در این زمینه چالش‌برانگیز تکنولوژیکی دست یافته است و از لحاظ تکنولوژی برای آینده به حداکثر رساندن مزایای آن و ارائه محصولات جدید و خدمات مرتبط با آن برای مشتریان خود در موقعیت خوبی قرار دارد.

انقلابی در تولید در حال وقوع است. ساخت افزودنی (AM)، یا چنانکه عموماً بنام چاپ سه بعدی (3D) شناخته می‌شود، با سرعت مهیجی در حال بهره‌برداری شدن است. AM به معنای تولید یک شی بر اساس داده‌های طراحی دیجیتال 3D با افزودن لایه به لایه مواد است. برای سال‌های بسیاری، شرکت گروه SMS در این زمینه با یک تیم جوان و اختصاصی تحقیق و توسعه برای پیشبرد و ترویج این تکنولوژی نوآورانه در این شرکت بسیار فعال بوده است. این تیم فعالیت‌های خود را به بررسی اینکه کدام اجزای جدید و بهینه‌سازی شده احتمالاً توسط AM تولید شوند محدود نمی‌کند، بلکه اعضا مقدار زیادی از وقت خود را نیز به معرفی روش جدید تفکر در بخش‌های طراحی و مهندسی شرکت تخصیص می‌دهند.

نقش بعدی تیم پروژه برقراری ارتباط دانش فنی و قابلیت و مزایای AM در گروه SMS می‌باشد. ما کارگاه‌های طراحی برای مهندسان SMS را برگزار می‌نمائیم و در ارتباط مستقیم با بخش‌های طراحی هستیم و هیچ فرصتی را برای به اشتراک‌گذاری اطلاعات در مورد AM با همکارانمان از دست نمی‌دهیم تا بتوانند قابلیت‌های زیادی را که ارائه می‌دهد مشاهده نمایند.

گروه SMS به عنوان یک سازنده کارخانه و ماشین‌آلات برای صنایع فولاد و فلزات غیرآهنی، اصولاً بر اجزای ساخته شده از مواد فلزی متمرکز است، زیرا ماشین‌آلات و تجهیزات در طی عملیات تحت بارهای بسیار بالایی قرار می‌گیرند. اما، با AM، توسط هیچ محدودیتی در ساخت محدود نمی‌شویم. مجبور نیستیم که شکل هندسی قطعه کار ورودی را در نظر بگیریم، مثلاً یک قطعه کار (لقمه) خام آهنگری یا الزامات خاصی که توسط فرآیندهای ماشینکاری همانند فرزکاری یا مته‌کاری مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین می‌توانیم از کارکردی که قطعه باید انجام دهد شروع کنیم.

ما روش تکنولوژیکی خلاقانه‌ای را برای طراحی بکار می‌گیریم و می‌توانیم شکل "کامل" برای کارکرد محصول را ایجاد کنیم. برای مثال، ما تفکر در مورد سوراخ‌های مستطیلی و ماشینکاری شده در کانال‌های خنک‌کاری را متوقف کرده‌ایم چون طرح‌های AM با مقطع مطلوب قابل تولید هستند.

تیم پروژه از قبل تعداد زیادی از راه‌حل‌های نوآورانه را اجرا کرده است که به طور جذابی نشان می‌دهد که فرآیندهای AM چه مزایایی را تامین می‌کنند.

مهمترین مزایای آن عبارتند از:

- کاهش وزن قابل توجه اجزای دینامیکی محرک

<sup>1</sup> - Additive manufacturing at SMS group – philosophy and products, MILLENIUM STEEL 2019.

- ساخت ویژگی‌های کارکردی به طور مستقیم در قطعه در طی فرآیند چاپ 3D
- بهبود بازدهی انرژی در نتیجه الگوهای جریان بهینه‌شده و به حداقل رساندن وزن
- کوتاه شدن قابل توجه دوره تحویل
- امکان تولید بالقوه محصولات در هر جای دنیا
- راه‌حل‌های سفارشی‌سازی شده

### تکنولوژی‌های ساخت افزودنی

امروز تعداد تکنیک‌های قابل دسترس AM بسیار زیاد است، اما، در حال حاضر از دو تکنیک اصلی عموماً برای کاربردهای کارخانه و ماشین‌آلات سنگین استفاده می‌شود.

**ذوب لیزری انتخابی در بستر پودر** - در ذوب لیزری انتخابی، پودر فلزی همگن با خلوص بالا به صورت انتخابی، به طور لایه به لایه در موقعیت‌های تعیین شده با کنترل رباتیک با لیزر ذوب می‌شود. به این طریق، قطعه به تدریج ساخته شده تا شیء نهائی تولید شود. با استفاده از تکنیک بستر پودر، امکان تولید قطعات (اجزا) با سازه پیچیده و بی‌نظیر تاکنون که توسط فرآیندهای متعارف امکان‌پذیر نیست وجود دارد.

برای اجزای بر پایه پلاستیک، فرآیند زینتر لیزری انتخابی (SLS) در دسترس است. این تکنیک بسیار شبیه فرآیند بستر پودر با استفاده از فلزات می‌باشد، تفاوت اساسی این است که از پودر پلاستیکی خاصی به جای فلز استفاده می‌کند.

**فرآیند رسوبگذاری ذوب لیزری (LMD)** - در رسوبگذاری لیزری فلز، پودر یا سیم فلز از طریق نازل‌ها تغذیه شده و توسط لیزر در نقاط تعیین شده ذوب می‌شود. واحدی که لیزر و نازل را در خود جای می‌دهد ممکن است توسط یک ربات کار کند. رسوبگذاری لیزری فلز به نرخ بالایی رشد دست می‌یابد، اما از لحاظ "ظرافت" محدودتر از ذوب انتخابی لیزری است.

### مثال‌های افزودنی در شرکت SMS

**افشانک برای کارخانه‌های آهنگری** - یک مثال بسیار جذاب، استفاده از قطعات AM ساخت افشانک‌ها برای خنک‌کاری و روانکاری قالب‌ها در کارخانه‌های آهنگری ضربه‌ای (دراپ فورجینگ) می‌باشد.

یک چرخه پرس آهنگری:

- بارگذاری
- اعمال فشار
- بیرون‌اندازی
- خنک‌کاری



شکل 1- افشانک استاندارد در حال کار.

پرس آهنگری پس از هر کورس باز می‌شود. به منظور به حداقل رساندن تنش‌های حرارتی و افزایش سرعت حرکت خروج قطعه‌کار، تماس قالب باید تا آنجا که ممکن است کوتاه نگهداشته شود. خنک‌کاری قالب باید در طی این مدت زمان بسیار کوتاه انجام شود، بنابراین ضروری است که افشانک هرچه ممکن است سریعتر به موقعیت عملیاتی خود برسد.

بازوهای حامل افشانک‌ها باید به گونه‌ای قابل حرکت باشند که خنک‌کاری بتواند فوق‌العاده سریع بین کورس‌های آهنگری، در عین حال به حداقل رساندن خنک‌کاری قطعه کار انجام شود. علاوه بر این، بازوها باید از طراحی بسیار محکم و سهولت دسترسی

برای جایگزینی افشانک برخوردار باشد. این الزامات فرآیندهای خنک‌کاری و روانکاری قالب را مخصوصاً با طراحی افشانک‌های معمولی به شدت چالشی می‌کنند.



شکل 2- افشانک‌های جدید (ساخته‌شده از پلاستیک یا فلز).

ویژگی این موارد به شرح زیر است (شکل 1):

- در پرس‌های خاصی، تا چهار افشانک مورد نیاز است
- آنها از اجزای فلزی محکم ساخته می‌شوند
- آنها گران هستند
- تلاش قابل توجهی صرف ساخت در مته‌کاری کانال‌های توزیع‌کننده مایعات خنک‌کاری و روانکاری در درون افشانک می‌شود
- گاهی اوقات آنها کانال‌های مایع در حال کار با گردش‌های مستطیل تیز را نشان می‌دهند که می‌تواند به ذراتی همانند پوسته‌های انباشته در کانال منجر شود

• وزن یک افشانک معمولاً بین 2 و 15 kg

• اشکال در پرس ممکن است به قالب آسیب برساند

• به منظور امکان دادن به افشانک‌های سنگین که باید به سرعت و با دقت جمع شده و برداشته شوند، بازوهای حامل افشانک‌ها باید طراحی بسیار محکمی داشته باشند.

کارشناسان گروه SMS از این وضعیت خوشنود نبودند و بنابراین بررسی توانایی‌های AM را در یک مرحله بسیار زودرس آغاز کردند. قطعات آهنگری ضربه‌ای انواع شکل‌ها را دارند، و خنک‌کاری و روانکاری قالب باید سازگار با شکل قالب باشد. به این معنی که نازل‌های پاشش باید در موقعیت صحیح قرار گیرند و زاویه پاشش و محل اصابت پاشش باید برای تامین الزامات خاص قالب تنظیم شوند. چون افشانک‌ها باید طبق طرح جانمایی مورد نیاز قالب در محل قرار گیرند، طراحی آنها به طور قابل توجهی تغییر می‌کند.



شکل 3- افشانک جدید در حال کار.

فعالیت‌های تحقیق و توسعه گروه SMS نتایج انقلابی به ارمغان آورده است، با توسعه نسل جدیدی از افشانک‌ها، فرآیندی را با قابلیت تولید این افشانک‌های جدید با چاپ سه بعدی از پلاستیک یا فلز ایجاد کرده است. هزینه این راه‌حل نوآورانه برای بهره‌برداران پرس به میزان قابل توجهی کمتر است و وزن افشانک‌های جدید (شکل 2) تنها یک دهم وزن افشانک‌های معمولی می‌باشد، که به طور قابل توجهی فرسایش بازوی حامل افشانک‌ها را کاهش می‌دهد. مزیت کلیدی دیگر برای بهره‌بردار امکان تولید افشانک-

های سفارشی‌ساز طبق تقاضا است، یعنی، افشانک‌های یدکی بالقوه بدون زمان و بدون هزینه‌های بالای تحمیلی از نگهداری فیزیکی آنها در انبار موجود می‌باشند. همچنین به بهره‌برداران امکان طراحی مجدد و بهینه‌سازی افشانک برای کاربرد خاص را به آسانی فراهم می‌سازد. شکل 3 اسپری‌های جدید در حال کار را نشان می‌دهد.

گروه SMS از قبل در حال توسعه طرح‌های صرفه‌جویی در وزن برای بازوهای نگهدارنده‌ای می‌باشد که در سرعت‌های بکارگیری بالاتری عمل می‌کنند. این تکنولوژی با ثبت اختراع قریب‌الوقوع در حال حاضر آسانترین روش استفاده برای طراحی افشانک برای قالب‌های آهنگری ضربه‌ای است. بدون هیچ تغییری در شکل هندسی، این جزء را می‌توان از پلاستیک یا فلز (آلومینیوم یا فولاد ضد زنگ) تولید کرد. افشانک‌های جدید با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری هوشمند طراحی می‌شوند. بر اساس موقعیت‌های نازل، نرم‌افزار به طور کامل به صورت خودکار شکل هندسی بهینه افشانک برای چاپگر 3D را محاسبه می‌کند. **استفاده تجاری** - انتظار می‌رود ورود به بازار رسمی به زودی انجام شود. افشانک‌ها آزمایش‌های میدانی را گذرانده‌اند و در شرایط عملیاتی کارخانه به صورت موفقیت‌آمیزی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این کاربردها، بیشتر اتصالات سیستم‌های خنک‌کاری موجود می‌توانند مورد استفاده مجدد قرار گیرند تا مسائل مربوط به تغییرات اصلاحی به حداقل برسد. افشانک‌های ساخته‌شده از پلی‌آمید در طی عملیات مداوم با رسیدن به حداکثر دمای حدود  $50^{\circ}\text{C}$  بی‌نقص کار کردند. در طی آزمایش توسط مشتری، شرکت بهارات فورج در آلمان، دما تنها  $14^{\circ}\text{C}$  اندازه‌گیری شد. این دمای پایین بخشی ناشی از اثر خنک‌کاری ثابت توسط هوای فشرده مورد استفاده برای پوسته‌زدائی و بخشی ناشی از فرآیند خاص در محل آن کارخانه است، که تماس افشانک‌ها با قطعه‌کار داغ را فوق‌العاده نامحتمل می‌سازد.

برای شرکت بهارات فورج، افشانک به طور خاص طراحی شده است تا امکان تعویض بین آب و سیال پاششی بر اساس گرافیت فراهم شود. نازل‌ها را می‌توان با کلید بست، که عدم وجود هیچ نشستی ناخواسته سیال را تضمین می‌کند. همه کنترل‌ها با محرک هوای فشرده انجام می‌شوند.

شرکت بهارات فورج قصد دارد آنرا به عنوان تجهیزات استاندارد در کارخانه خود نصب کند. مزایا عبارتند از:

- الگوی پاشش خیلی همگن‌تر است
- قالب‌ها تمیزترند و مصرف سیال کمتر است
- حمل‌ونقل آسانتر از مورد افشانک‌ها ساخته‌شده به صورت معمولی است
- انباشتگی موادی که اغلب در داخل افشانک‌های معمولی رخ می‌دهد، یافت نشده است. این به دلیل طراحی بهینه جریان کانال‌های سیال است.

به منظور تضمین عمر کاری طولانی مدت افشانک‌های پلاستیکی، در شرایط عملیاتی خاص ممکن است لازم باشد برنامه‌ای برای اقدامات حفاظتی اختصاصی داشت تا در صورت وقوع خرابی توسط سیستم کنترل فرآیند فعال شود. اگر قطعات در نتیجه یک خرابی بایستی در قالب باقی بمانند، یک پرده هوا فعال خواهد شد و محیط اطراف را به مدت 60 ثانیه خنک می‌کند بدون اینکه اثر خنک‌کنندگی بر قالب‌ها ایجاد شود. در صورت چسبیدگی (گیر کردن قطعات آهنگری در قالب بالایی)، افشانک‌ها بلافاصله از منطقه آهنگری برداشته می‌شوند تا از تماس با قطعات آهنگری جلوگیری شود.

### **آینده، توسعه‌های یکپارچه**

چون افشانک‌ها بخش یکپارچه‌ای از سیستم‌های خنک‌کاری و روانکاری در کارخانه‌های آهنگری ضربه‌ای هستند برای دستیابی به حداکثر کارائی، ضرورت دارد در سیستم کلی یکپارچه شوند. سه جنبه در سطح بالاتر و طراحی هماهنگ‌شده، تمرکز توسعه‌ها خواهند بود.

**اتوماسیون** - افشانک‌های سبک وزن را می‌توان به طور خودکار در کسری از ثانیه توسط حرکت خطی در موقعیت‌های صحیح قرار داد. تمام افشانک‌ها از طریق پایانه استاندارد شده‌ای به سیستم خنک‌کننده متصل می‌شوند که باعث می‌شود تعویض یک افشانک بسیار آسان و سریع باشد.

**سیستم اسپری کننده** - سیستم اسپری کننده شامل مخزن، شیرها و خطوط تامین برای تمام سیالات مورد نیاز است. این سیستم همه عملیات سوئیچینگ را که می‌تواند برای بهره‌برداری کامل از قابلیت‌های تکنولوژی جدید، یعنی امکان خاموش و روشن کردن نازل‌های منفرد در فواصل بسیار کوتاه و تامین خنک‌کنندگی بهینه قالب، و در عین حال صرفه‌جویی در سیالات پاشش مورد استفاده قرار گیرند را مدیریت می‌کند. مورد دومی ویژگی منحصر به فرد افشانک‌های جدید است. با تغییر سریع روشن و خاموش کردن نازل‌های منفرد، حتی ایجاد اثر جاروب-کنندگی هم امکان‌پذیر است. شیرهای واکنش سریع، سوئیچینگ مستقیم شیرها را از طریق سیگنال‌های کنترل اختصاصی و سنسورهای اطلاعات بازخوردی مربوط به شرایط درونی پرس، تضمین می‌کنند. از این اطلاعات همچنین می‌توان برای بهینه‌سازی فرآیند کنترل استفاده کرد.



شکل 4- نازل‌های منفرد.



شکل 5- نصب نازل در کارخانه BIRLA COPPER

**کنترل** - کنترل‌های ساده، بر پایه بینایی برای محصول فعلی و بهینه‌کردن الگوی پاشش یا موقعیت پاشش در کسری از ثانیه در طی اجرای عملیات تنظیم می‌شود. مشتری می‌تواند بین یک افشانک ساخته شده از پلاستیک یا فلز انتخاب کند. اگر نوع پلاستیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، توصیه می‌شود که برای محافظت از افشانک در صورت خرابی، قطع‌کن مدار (سیرکت بریکر) اجرا شود. این وظیفه قبلاً در سیستم SMS به صورت استاندارد گنجانده شده است.



شکل 6- افشانک‌های معمولی و AM خنک‌کاری غلتک.

برنامه‌ریزی برای چاپ اجزای هدایت‌کننده جریان سنسورها نیز انجام می‌شود. این امکان تحریک الکتریکی شیرها و ایجاد پیام‌های وضعیت سیستم را فراهم می‌سازد. ارزش افزوده بدست آمده و قابلیت برای بهینه‌سازی فرآیند، سیستم اسپری چاپ شده 3D را برای عملیات آهنگری ضربه‌ای، به یک تکنولوژی آماده برای صنعت 4.0 تبدیل می‌کند. با یکپارچه‌سازی ترموسنسورها، امکان دستیابی به تصویر دقیق حرارتی از محصول در طی آهنگری و مستندسازی واضح فرآیند تولید فراهم خواهد شد.



شکل 7- افشانک نصب‌شده خنک‌کاری غلتک.

شد، که در اصل می‌تواند برای واکنش به شرایط متغیر در زمان واقعی استفاده شود.

### نمونه‌های دیگر محصولات AM در گروه SMS

**نازل‌های شکاف حلقوی** - در یک کارخانه سیم مفتول مسی، از نازل‌های شکاف حلقوی برای خنک‌کاری سیم و حذف آب استفاده می‌شود. قطعه معمولی شامل شش قسمت است و تنظیم فاصله شکاف نیاز به استفاده از یک شیم (فاصله پرکن) دارد، و راه‌اندازی و تنظیم درست این جزء مستلزم تلاش زیاد از سوی مشتری ما بود.

وظیفه ما دو قسمت داشت: اول، طراحی جزء باید ساده می‌شد و دوم، انجام تنظیم بدون کمک شیم قابل اجرا می‌بود. ما نازلی را با AM تولید کردیم که تنها نیاز به 35 mm فضای نصب دارد - در مقایسه با 65 mm قبلی - و با وزن فقط 0.85 kg به جای 2.5 kg و از طراحی یکپارچه برخوردار است که نیاز به پیش‌مونتاژ یا تنظیم نازل قبل از نصب ندارد (نگاه کنید به **شکل 4**).

نازل‌های جدید از قبل با موفقیت در کارخانه BIRLA COPPER در هند در حال کار بوده‌اند (نگاه کنید به **شکل 5**). نازل‌ها



شکل 8- مقطع مقطع سراسری یک انژکتور SIS

شلوغی کمتری از موارد قبلی دارند و تمام مشخصات کارکردی را تامین نموده یا حتی از آن فراتر می‌روند. چون نازل‌ها را از مواد پراستحکام، مقاوم در برابر سایش ساخته‌ایم، می‌توانند بسیار طولانی‌تر از پیشینیان خود در خدمت باقی بمانند.

یک افشانک جدید خنک‌کننده غلتک برای کارخانه‌های سیم مفتول با ویژگی طراحی متناسب‌شده با نازل‌های یکپارچه، عالی عمل کرده است. با استفاده از آلومید، ترکیبی از پودر آلومینیوم و پودر پلی آمید، جزء جدید در حال حاضر سبک‌تر و ارزان‌تر از راه‌حل معمولی است. مقایسه بین این دو مورد در **شکل 6** ارائه و افشانک نصب شده در **شکل 7** نشان داده شده است.

**فولادسازی با کوره قوس الکتریکی (EAF)** - ما توانسته‌ایم اندازه انژکتورهای SIS (سیستم تزریق SMS) مورد استفاده برای تزریق سوخت و اکسیژن در ذوب فولاد را تا 60 درصد کاهش دهیم. همچنین انژکتورها در حال حاضر به صورت یک قطعه در مقایسه با هشت جزء جداگانه قبلی در آمده‌اند. مقطع سراسری یک انژکتور در **شکل 8** نشان داده شده است، که نشان‌دهنده پیچیدگی آن است.

**ساخت لوله** - کارخانه‌های جوشکاری لوله ساخت گروه SMS در آینده قادر به تولید لوله‌های با قطر زیر 355 mm (14 in) و یا حتی کمتر خواهند بود. این نتیجه یک طراحی هیبریدی است که ترکیبی از ساخت افزودنی و

تولید معمولی می‌باشد به طوری که رینگ‌های روغن برای منبسط‌کننده‌ها بتوانند بدون کاستن از ظرفیت عملکردی آنها کوچکتر شوند. یک مثال در **شکل 9** نشان داده شده است.

### ملاحظات پایانی

افزودنی‌ها و پروژه‌های ذکر شده در بالا جهتی را که AM در آن به پیش می‌رود نشان می‌دهند. چند نیروی محرک وجود دارد. حال مهندسان طراحی می‌توانند از چاپگرها برای چاپ قطعاتی که طراحی می‌کنند استفاده نموده و بلافاصله نتایج را به صورت

اجزای واقعی بررسی کنند. طراحی دیجیتال سه بعدی همراه با رباتیک و چاپگرهای پیچیده‌تر از همیشه، در حال تامین تقاضای رو به رشد برای اجزای AM هستند. این، به نوبه خود، در حال تحریک توسعه در تکنولوژی چاپگر است، برای مثال، اولین ماشین‌های هیبریدی ترکیبی از AM و فرز از قبل در بازار موجود است.

گروه SMS از قبل دستاوردهای بزرگی در این زمینه تکنولوژیکی چالش برانگیز کسب کرده است و موقعیت خوبی برای آینده از لحاظ تکنولوژی، به حداکثر رساندن مزایای آن و ارائه محصولات جدید و خدمات مرتبط با آن به مشتریان خود دارد.