

بنام یکتای بی همتا

ساختار پمپ‌های دنده‌ای مذاب پلیمری جهت ایجاد
فشار در دستگاه‌های اکسترودر پلاستیک

Extrusion Pump Melt Pump

نویسنده

دکتر محمد جعفر حسینی شیرازی

سرشناسه	:	حسینی شیرازی، محمدجعفر، ۱۳۴۷-
عنوان و نام پدیدآور	:	ساختار پمپ‌های دنده‌ای مذاب پلیمری جهت ایجاد فشار در دستگاه‌های اکسترودر پلاستیک نویسنده محمدجعفر حسینی شیرازی.
مشخصات نشر	:	تهران: مؤسسه آموزشی تألیفی ارشدان، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	:	۴۸ص.
شابک	:	۹۷۸-۶۲۲-۲۵۱-۵۶۸-۳
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	کتابنامه: ص. ۴۶.
موضوع	:	پلاستیک -- حدیده‌کاری
موضوع	:	Plastics -- Extrusion
موضوع	:	پمپ‌های دنده‌ای
موضوع	:	Gear pumps
رده بندی کنگره	:	TP۱۱۷۵
رده بندی دیویی	:	۶۶۸/۴۱۳
شماره کتابشناسی ملی	:	۶۱۴۸۴۶۸



مؤسسه آموزشی تألیفی ارشدان

نام کتاب:	ساختار پمپ‌های دنده‌ای مذاب پلیمری جهت ایجاد فشار در دستگاه‌های اکسترودر پلاستیک
تألیف:	محمدجعفر حسینی شیرازی
ناشر:	آموزشی تألیفی ارشدان
ویرایش:	اول
نوبت چاپ:	اول ۱۳۹۹
حروفچینی و صفحه آرایی:	سید امیرعباس فاضلی
طراح و گرافست:	شیما بنی آدم
شابک:	۹۷۸-۶۲۲-۲۵۱-۵۶۸-۳
شمارگان:	۱۰۰۰
مرکز خرید آنلاین:	www.arshadan.com www.arshadan.net
مرکز پخش و توزیع:	۰۲۱۴۷۶۲۵۵
قیمت:	تومان

فهرست کتاب

۳	-----	مقدمه کتاب
۴	-----	فصل یک پمپ‌های مذاب پلیمری و کاربردهای آن
۵	-----	مهندس حرارت، سیالات و طراحی قطعات صنعتی
۷	-----	پمپ‌های مذاب پلیمری (MELT PUMP)
۱۰	-----	چرا پمپ‌های مذاب پلیمری؟
۱۳	-----	انواع پمپ‌های انتقال مواد مذاب پلیمری بنا به نوع پلیمر
۱۷	-----	پمپ مذاب پلیمری برای تولید فیلامنت های چاپ سه بعدی
۲۰	-----	فصل دوم ساختمان و قطعات پمپ مذاب پلیمری
۲۱	-----	ساختمان اصلی
۲۱	-----	بدنه اصلی پمپ مذاب پلیمری
۲۶	-----	چرخ دنده‌های پمپ مذاب پلیمری
۲۶	-----	یاتاقان‌های پمپ‌های مذاب پلیمری
۲۷	-----	سیستم کنترل فشار حلقه بسته برای اکستروژن پمپ مذاب
۳۰	-----	فصل سوم انتخاب فولاد در فرآیند ساخت صنعت پلاستیک
۳۱	-----	انتخاب فولاد در فرآیند ساخت
۳۲	-----	۱- فولادهای نیتريد پذیر:
۳۶	-----	۲- فولادهایی با قابلیت سختکاری بصورت عمقی
۳۸	-----	۳- فولادهای آبدیده و حرارت دیده
۳۹	-----	۴- فولادهای مخصوص
۴۶	-----	منابع

مقدمه کتاب

اگرچه صنایع پلاستیک در ایران با توجه به قدمتی که در تولید قطعات دارد، پیشرفت قابل ملاحظه‌ای نموده است اما ماشین سازی و تولید ماشین آلات صنایع پلاستیک از رشد مناسبی برخوردار نبوده است.

واحد‌های صنعتی تولید ماشین آلات صنایع پلاستیک در ایران به طور معمول بجهت عدم آگاهی و تخصص کارشناسان این رشته موفقیت چندانی را کسب ننموده‌اند.

رفع این مشکل بدون شک نیاز به مطالعه و تحقیق بیشتر در زمینه‌های علمی و پژوهشی در این زمینه را می‌طلبد.

در ادامه این کتاب کارشناسان محترم صنایع پلاستیک می‌توانند به اطلاعات بیشتری پیرامون پمپ‌های مذاب پلیمری (MELT PUMP) دست پیدا کنند.



فصل یک

پمپ‌های مذاب پلیمری و کاربردهای آن

مهندسی حرارت، سیالات و طراحی قطعات صنعتی

علم مهندسی مکانیک شاخه‌ای از مهندسی است که با طراحی، ساخت و راه‌اندازی دستگاه‌ها و ماشین‌ها سروکار دارد.

مهندسی مکانیک نقش بسزایی در بالا بردن امنیت زندگی، بهبود کیفیت کلی زندگی، و نیز ایجاد شور و نشاط اقتصادی ایفا کرده است.

به جرات می‌توان گفت که مهندسی مکانیک، گسترده‌ترین رشته مهندسی از نظر دامنه فعالیت‌ها و کاربردها است.

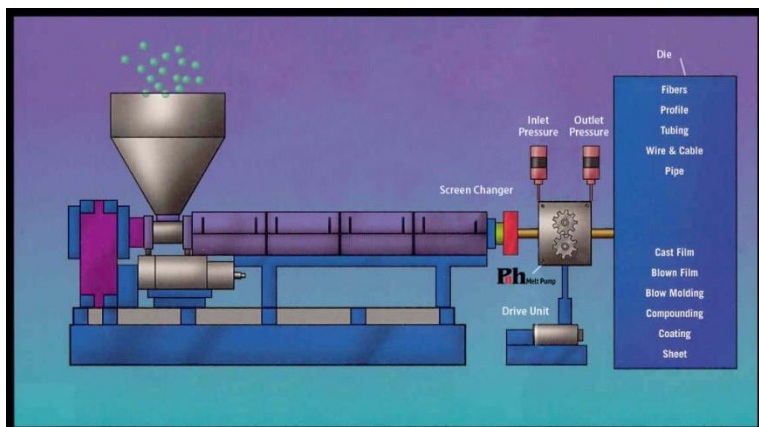
مهندسان مکانیک با استفاده از اصول اساسی حاکم بر نیرو، انرژی، حرکت و گرما و با دانش تخصصی خود، سیستم‌های مکانیکی و دستگاه‌ها و فرآیندهای گرمایی را طراحی کرده و می‌سازند.

یکی از شاخه‌های مهندسی مکانیک مهندسی حرارت و سیالات است در این رشته مهندسان با طراحی‌های مختلف در زمینه سیالات که طیف وسیعی از صنعت را شامل می‌شود آشنا شده و خلاقیت‌های خود را بروز می‌دهند.

پیشرفت تکنولوژی و فناوری‌های جدید در کشورهای صنعتی هر روز نیازهای مختلف جامع بشری را تأمین می‌نماید و بدون شک رشد و تعالی علوم تجربی نیاز به تأمین منابع علمی و دانستی‌های علوم دارد.

امروزه تولید قطعات پلاستیکی سهم بسزایی را در مصرف جامع جهانی ایفا می‌نماید. یکی از این نوع تولیدات مربوط به تولید پروفیل‌ها و انواع ورق‌های پلاستیکی است.

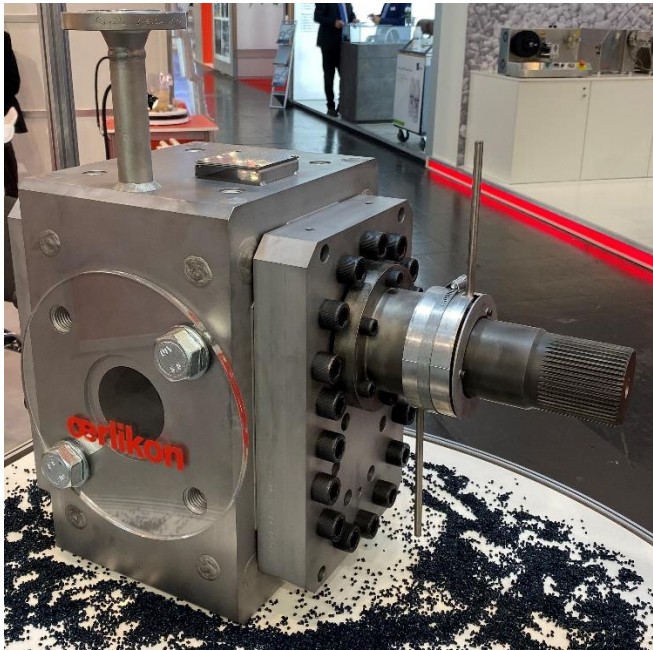
در این کتاب به بررسی یکی از مهم‌ترین مجموعه‌هایی که در دستگاه‌های اکسترودر بدان نیاز است پرداخته خواهد شد.



صنایع پلاستیک و طراحی فرآیند سیال مذاب از مواد پلیمری یکی از بخش‌هایی است که مورد توجه مهندسين این رشته یعنی مهندسين رشته حرارات و سيالات می‌باشد. نوع فرآیندهای تولید در جهان امروزی هر روز دستخوش تغییرات و پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای شده است به گونه‌ای که با ایجاد خلاقیت و توانمندی‌ها در اروپا هر روزه سیستم‌های تولید به سوی کیفیت برتر در تولید محصولات گام بر می‌دارد. لازمه حرکت و پیشرفت دقیق در صنایع پلاستیک دقت و بررسی و تحلیل مجموعه‌های کوچکی است که پیکره یک ماشین صنعتی را شامل می‌شود. سیستم‌های کوچک و ساده در کنار هم یک مجموعه پیچیده را تشکیل می‌دهد. یکی از قسمت‌های اصلی یک ماشین اکسترودر تولیدی، بخصوص در تولید ورق‌ها و پروفیل‌های پلاستیکی، مجموعه‌ای به نام پمپ‌های مذاب پلیمری (MELT PUMP) می‌باشد. امید است این کتاب بهره‌ای هرچند کوچک در راه تعالی تکنولوژی‌های داخلی داشته باشد. در ادامه با بررسی دقیق‌تر این مجموعه خواهیم دانست که این پمپ چه اهمیتی داشته و ساختمان آن شامل چه قطعاتی است. همچنین خواهیم دانست که این پمپ چگونه کار می‌کند و جهت ساخت آن از چه نوع موادی استفاده می‌شود.



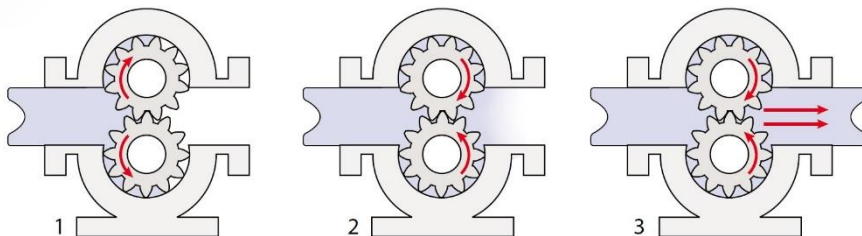
پمپ‌های مذاب پلیمری (MELT PUMP)



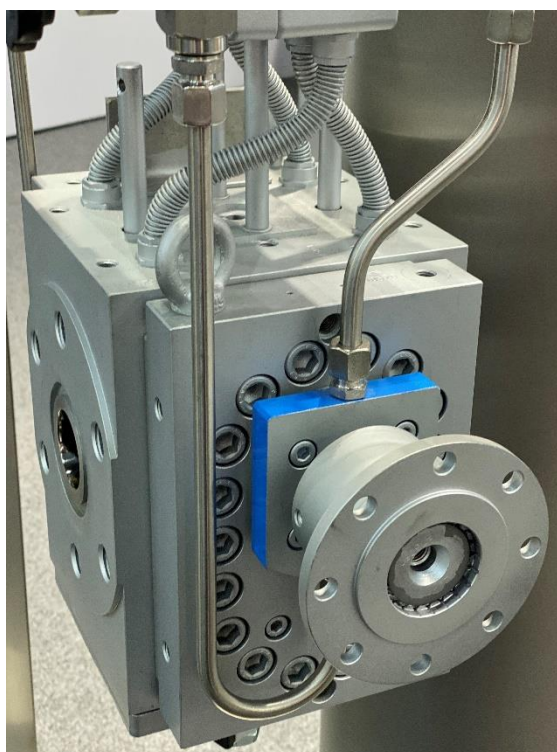
پمپ‌های مذاب پلیمری (MELT PUMP)، پمپ‌هایی هستند که بعد از سیستم خروجی اکسترودر ها جای می‌گیرند.

این پمپ‌ها که بصورت دنده‌ای ساخته می‌شود. جهت ایجاد فشارهای بالا در اکسترودر مورد استفاده دارند. پمپ‌های مذاب پلیمری (MELT PUMP) همانند پمپ‌های هیدرولیک بوده و دارای دو دنده مستقیم و یا مارپیچ می‌باشد. و یکی از

دنده‌ها متصل به یک واحد محرک بوده که معمولاً از طریق یک کوپلینگ به یک سروموتور اتصال دارد با حرکت سروموتور دنده اصلی حرکت کرده و دنده مقابل را به حرکت وا می‌دارد. در جریان این فرآیند پلیمر به سمت پمپ مکش نموده و از طریق محیط خارجی دنده‌ها به سمت خروجی پمپ جریان پیدا می‌کند. و در نتیجه با ایجاد فشار، سیال مذاب (پلیمر مذاب) را به درون قالب‌های تولید ورق و پروفیل هدایت می‌نمایند. با تنظیم سرعت چرخش دنده‌ها می‌توان سرعت و فشار مختلفی را برای جریان مذاب پلیمری ایجاد نمود.



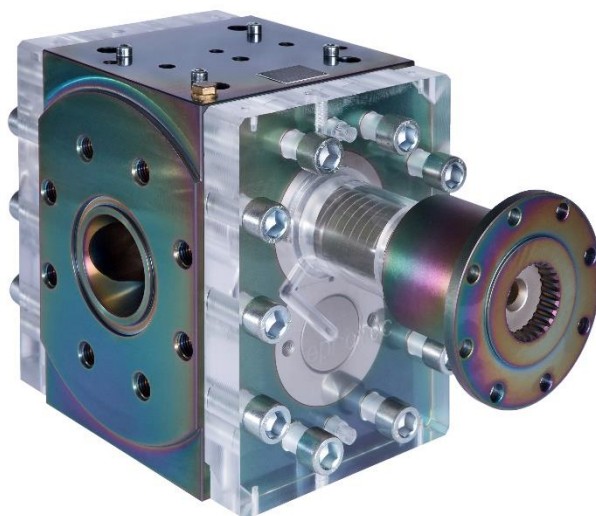
جریان مذاب در این پمپ‌ها تا سیصد درجه سانتی گراد بالا می‌رود و ویسکوزیته مذاب بین ۳۰۰ الی ۲۰۰۰ پواز متغیر است. در پیشرفته‌ترین دستگاه‌های اکسترودر تولیدی در اروپا بجهت یکنواختی و بالا بردن کیفیت محصول از پمپ‌های مذاب پلیمری استفاده زیادی می‌شود. فشار ورودی در پمپ‌های مذاب بین ۵ الی ۱۲۰ بار بوده و فشار خروجی بنا به نوع پمپ مذاب تا ۷۰۰ بار قابل افزایش است.



این پمپ‌ها در ابعاد و اندازه‌ها، فرم ظاهری، سرعت عملکرد، فشار قابل ایجاد و جنس فولادی آن، دارای مدل‌های بسیار متنوع و مختلفی است. اما باید توجه داشت که حداکثر سرعت این پمپ‌ها از ۶۰ دور در دقیقه تجاوز نمی‌کند.

پیش‌تازان تولید این پمپ‌ها کشورهای اروپایی بخصوص کشور سوئیس و آلمان می‌باشند که سالهاست در صنایع پلاستیک از این مجموعه استفاده می‌نمایند.

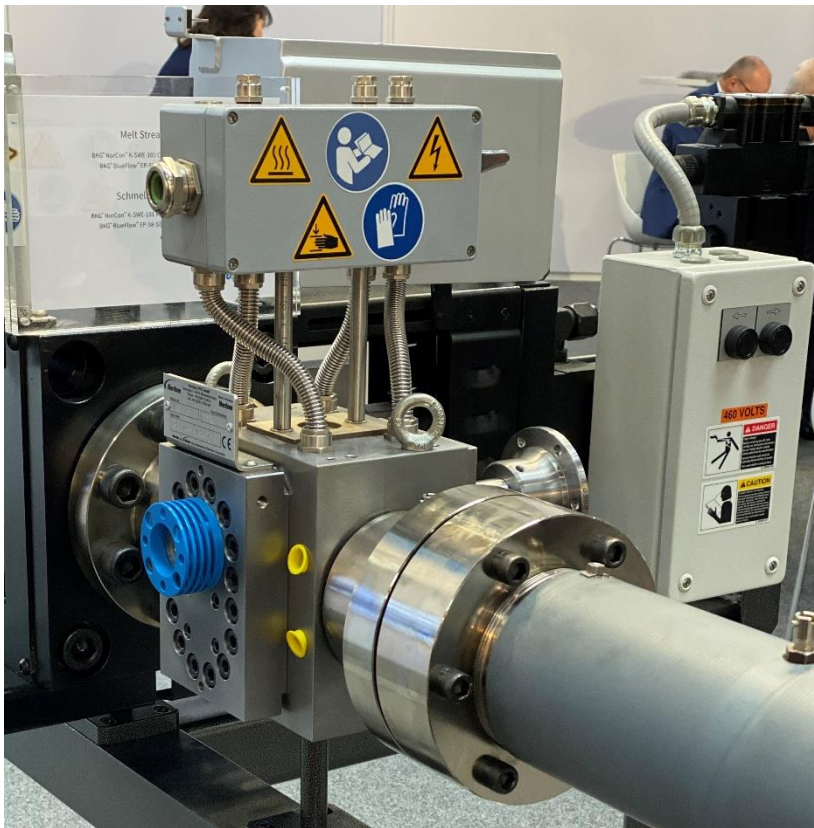
اگر چه تولید با استفاده از پمپ‌های مذاب پلیمری (MELT PUMP) باعث کیفیت برتر در تولید ورق‌ها و پروفیل‌ها گردیده است اما در ماشین آلات ساخته شده در ایران این پمپ‌ها مورد استفاده پیدا نکرده است.



چرا پمپ‌های مذاب پلیمری؟

استفاده از این پمپ‌ها باعث آن گردیده که اکسترودر بعنوان یک دستگاه ذوب فعال عمل نموده و پمپ مذاب پلیمری بعنوان یک یکنوخت کننده، تقویت کننده فشار، ثابت کننده فشار و ثابت کننده سرعت، باعث ایجاد مزیت‌هایی زیادی در محصول تولیدی شود که تعدادی از این محاسن به شرح زیر است:

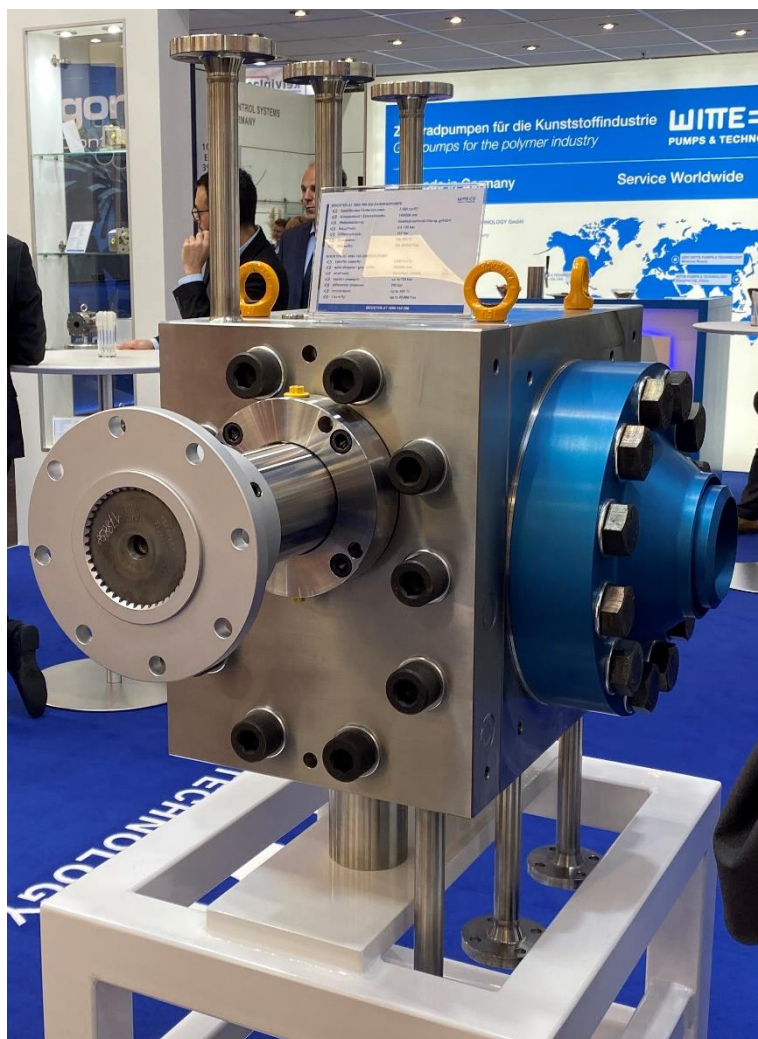
- ۱- بالا بردن کیفیت محصول تولید شده از نظر ساختار
- ۲- جلوگیری از ایجاد حباب‌های هوای (مک) در داخل محصول
- ۳- یکنواختی و همگن شدن پلیمر مذاب جهت تولید محصول مطلوب‌تر
- ۴- کمتر شدن ضایعات محصول بجهت رفع مشکلات تولید
- ۵- صرفه اقتصادی بیشتر در نتیجه تولید محصول بهتر
- ۶- امکان تولید قطعات خاص



- ۷- ایجاد رقابت بمنظور بالا بردن کیفیت نسبت به کالاهای تولید شده در روشهای سنتی
- ۸- کم کردن چرخه باز یافت بجهت امکان تولید با کیفیت بالا
- ۹- امکان رقابت نزدیکتر در بازارهای هدف
- ۱۰- تقویت محصول تولیدی از نظر استحکام بعلت فشرده بودن قطعات تولیدی در هنگام تولید
- ۱۱- بالا بردن کیفیت ظاهری محصول تولید شده
- ۱۲- تولیدات با تنش کمتر و فرم صلبتر
- ۱۳- پایداری شکل محصول در طول زمان بخاطر یکنواختی اولیه در تولید
- ۱۴- بعلت کم کردن جریان برگشتی از اکسترودر عمر گیربکس اکسترودر بالا می‌رود



- ۱۵- بهره وری حجمی بالاتر با استفاده از پمپ مذاب پلیمری
- ۱۶- بهره وری در انرژی از ۵ الی ۲۰ درصد
- ۱۷- پایین بردن دمای ذوب پلیمر نسبت به شرایط قبل
- ۱۸- تثبیت ابعاد محصول تولید شده
- ۱۹- استفاده از اکسترودر کوچک تر در زمان بکار گیری پمپ مذاب نسبت به خروجی مواد مذاب
- ۲۰- کم کردن فشار اکسترودر از ۲۰ تا ۵۰ بار فشار کمتر، با استفاده از پمپ مذاب پلیمری
- ۲۱- کم کردن شکست های ایجاد شده در لبه قطعات اکسترودر شده پروفیل و فیلم



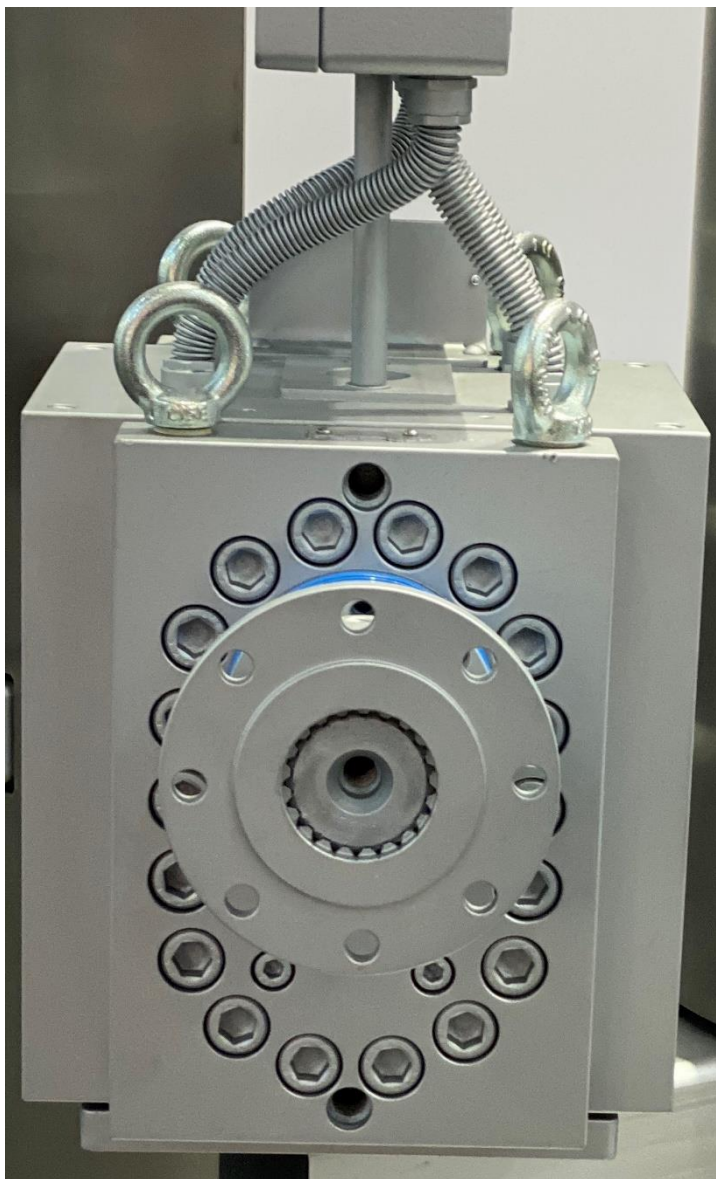
انواع پمپ‌های انتقال مواد مذاب پلیمری بنا به نوع پلیمر

پمپ‌ها انتقال مواد مذاب پلیمری از نظر شکل و ساختمان و ترکیب بندی بدنه دارای انواع مختلفی هستند.

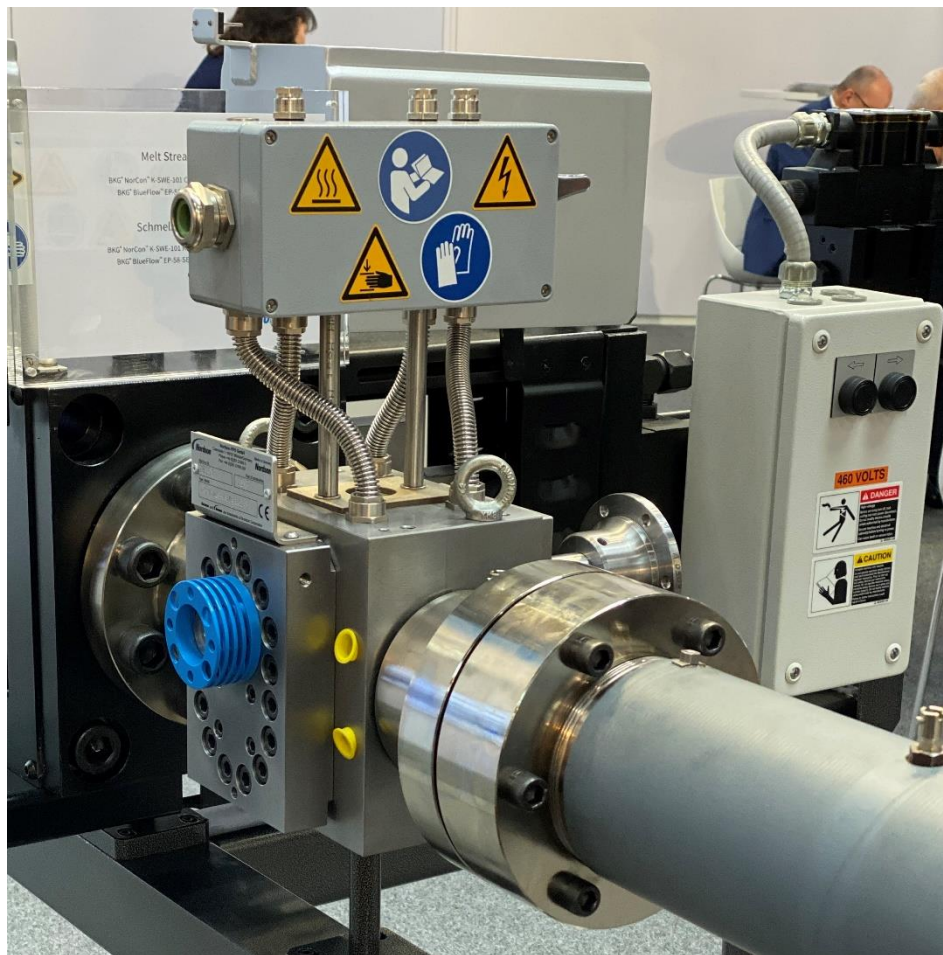
همچنین این پمپ‌ها بنا به ساختار درونی توانایی ایجاد فشارهای بالا و پایین را برای پلیمرهایی با غلظت (ویسکوزیته) مختلف را دارد.



در ترکیب بندی و نوع طراحی این پمپ‌ها بنا به نوع مواد پلاستیک (پلی استارین - پلی آمید - پلی پروپیلن - پی و ی سی - ای بی اس - پلی اتیلن - پلی اتیلن تروفثالاف و غیره) و انواع گرانول‌های مصرفی شکل ساختمان داخلی، نوع مواد اولیه فولادی، قدرت و توان سیستم‌های محرک و نوع سیستم‌های کنترل پمپ‌ها مختلف است.



در واقع شکل طراحی پمپ تأثیر بسزایی در ایجاد فشارهای بالا دارد. و بنا به نوع و ساختار مواد اولیه مصرفی می‌باید انتخاب دقیق‌تری روی به کار گیری یک سیستم پمپ انتقال مواد مذاب پلیمری داشت تا بتوان به نتایج عالی‌تری در کیفیت محصول تولید شده دست یافت. البته نوع و چگونگی بکار گیری سیستم‌های فیلترینگ در قبل از ورود مواد مذاب پلیمری به داخل پمپ و یکنواختی ایجاد شده نیز می‌تواند در خروجی مواد پلاستیک از پمپ تأثیر گذار باشد.



پمپ‌های مذاب پلیمری (MELT PUMP) برای تولید انواع محصولات زیر استفاده می‌شوند:

- ۱- ورق‌های ضخیم و پلیت‌های پلاستیکی
- ۲- شیت‌های پلاستیکی با ضخامت‌های مختلف
- ۳- تولید فیلم‌های نازک در صنعت پلاستیک
- ۴- پروفیل‌های ساده و پیچیده
- ۵- لوله‌هایی با قطر کم تا زیاد
- ۶- پوشش دهی انواع کابل‌ها
- ۷- تولید انواع فوم‌های صنعتی و خانگی
- ۸- تولید انواع کامپوند ها
- ۹- تولید در صنایع بازیافت
- ۱۰- تولید انواع افزودنی‌ها صنعت پلاستیک



پمپ مذاب پلیمری برای تولید فیلامنت های چاپ سه بعدی

چنانکه می دانید اکثر دستگاه های چاپ سه بعدی از فیلامنت های مختلف برای ساخت یک قطعه استفاده می کنند. همیشه همگن بودن پلیمر در فیلامنت های پلیمری دارای اهمیت زیادی است چرا که محصول تولید شده در دستگاه های چاپ سه بعدی که از فیلامنت های همگن استفاده می کنند، بهتر می باشد.

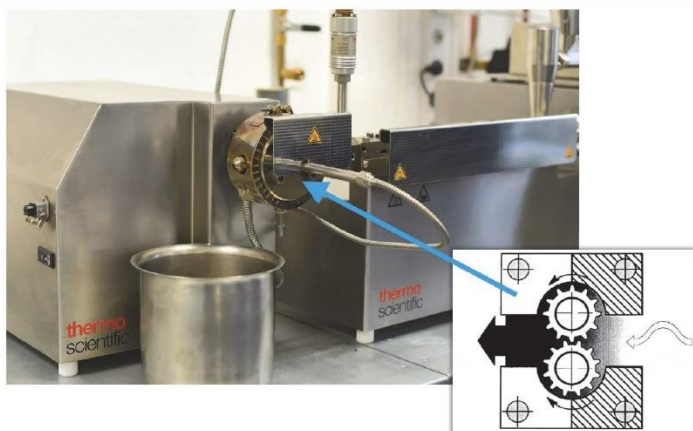


Figure 1: Thermo Scientific™ Process 11 Twin-Screw Extruder with attached Thermo Scientific™ Process 11 Melt Pump.

استفاده از پمپ مذاب پلیمری در فرآیند تولید فیلامنت های دستگاه چاپ سه بعدی باعث صرفه جویی در وقت و نیروی کار شده و محصول نهایی تولید شده دارای کمترین تنش حرارتی هستند چراکه به علت همگن بودن این فیلامنت های تولید شده، دستگاه چاپ سه بعدی با درجه حرارت کمتر و سرعت بالاتر می تواند قطعات با کیفیت بهتری را تولید کند.

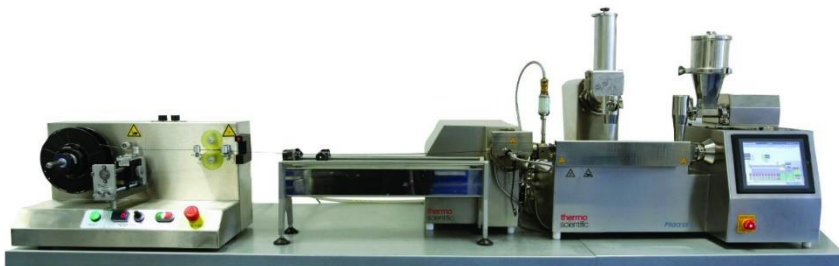


Figure 2: Process 11 Extruder with attached Process 11 Melt Pump, water bath and filament spooler unit (right to left).

مشخصات پمپ مذاب پلیمر جهت تولید فیلامنت پرینترهای سه بعدی

Process 11 Melt Pump technical data	
Pump volume	0.6 cm ³
Rotation speed	0.1 - 60 rpm
Output rate	3.6 cm ³ /h - 2.16 l/h
Maximum pressure	500 bar
Temperature range	RT - 400 °C
Heating zones	2 (1 internal, 1 external)
Dimensions	370 H x 550 L x 340 mm W
Weight	30 kg
Power supply	1 x 230 V, 50/60Hz, 16 A

Process 11 Melt Pump options	
045-1507	Strand Nozzle, D: 1.5 mm
045-1509	Strand Nozzle, D: 2.0 mm
045-1510	Strand Nozzle, D: 2.5 mm
045-1512	Strand Nozzle, D: 3.0 mm
045-1513	Strand Nozzle, D: 3.5 mm
567-7682	Base plate for vertical applications (fiber spinning, blown film)
567-5683	Adapter for Thermo Scientific™ HAAKE™ Dies



یکی از مهمترین موارد در تولید فیلامنت که باعث کیفیت محصول خروجی در پرینترهای سه بعدی می‌باشد، دقت ابعادی قطری فیلامنت مصرف شده است. در دستگاه‌های اکسترودر تولید فیلامنت‌های دستگاه چاپ سه بعدی که مجهز به پمپ مذاب پلیمر می‌باشند، می‌توان با کنترل سرعت پمپ مذاب پلیمر، امکان تولید فیلامنت با دقت تلرانس قطری بالاتر را ایجاد نمود.

در جداول زیر تاثیرات استفاده از پمپ مذاب پلیمر را در فرآیند تولید فیلامنت های دستگاه چاپ سه بعدی نشان می دهد.

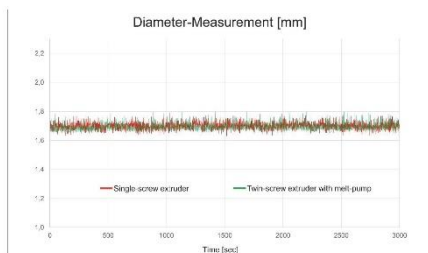


Figure 4: Results of the diameter measurement with single-screw extruder and twin-screw extruder with attached melt pump.

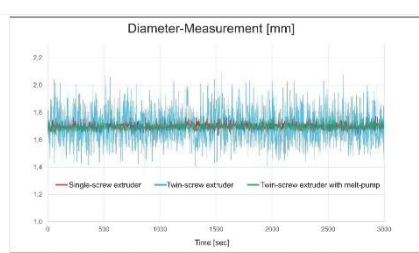


Figure 5: Results of the 3D filament diameter measurement with the single-screw extruder, twin-screw extruder and twin-screw extruder with attached melt pump.

Filament Diameter	Single-screw Extruder	Twin-screw Extruder	Twin-screw Extruder with Melt Pump
Average	1.699 mm	1.699 mm	1.694 mm
Minimum	1.631 mm	1.334 mm	1.648 mm
Maximum	1.773 mm	2.089 mm	1.798 mm
Deviation	0.142 mm	0.755 mm	0.150 mm
Dev. in %	4.2%	22.2%	4.4%
Std. Dev:	0.0227	0.1135	0.0231

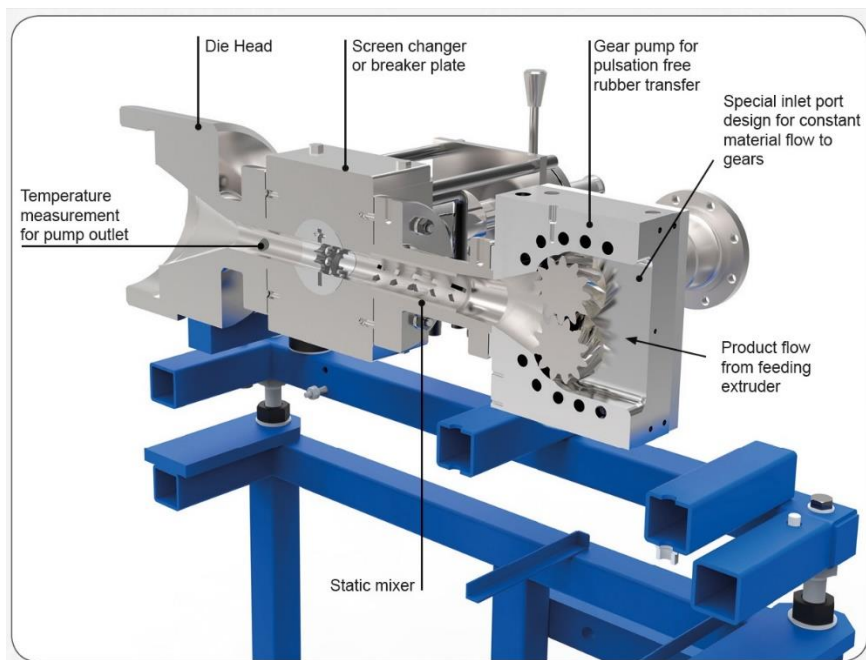
Table 1: Statistical results of the diameter measurement with single-screw extruder, twin-screw extruder and twin-screw extruder with attached melt pump.

فصل دوم

ساختمان و قطعات پمپ مذا ب پلیمری

ساختمان اصلی

در تصویر زیر برش عرضی از یک مجموعه پمپ مذاب پلاستیک برای دید بهتر آمده است:



بدنه اصلی پمپ مذاب پلیمری

بدنه اصلی پمپ مذاب پلیمری (Melt pump) و به اصطلاح پوسته که در بر گیرنده قطعات مختلف پمپ مذاب می باشد. از جنس فولادی انتخاب و ساخته می شود.

بدنه اصلی پمپ مذاب را می توان بصورت مجزا ساخته و در داخل یک پوسته آلومینیومی جای داد و یا بصورت منفرد و فاقد پوسته بیرونی مورد استفاده قرار داد.

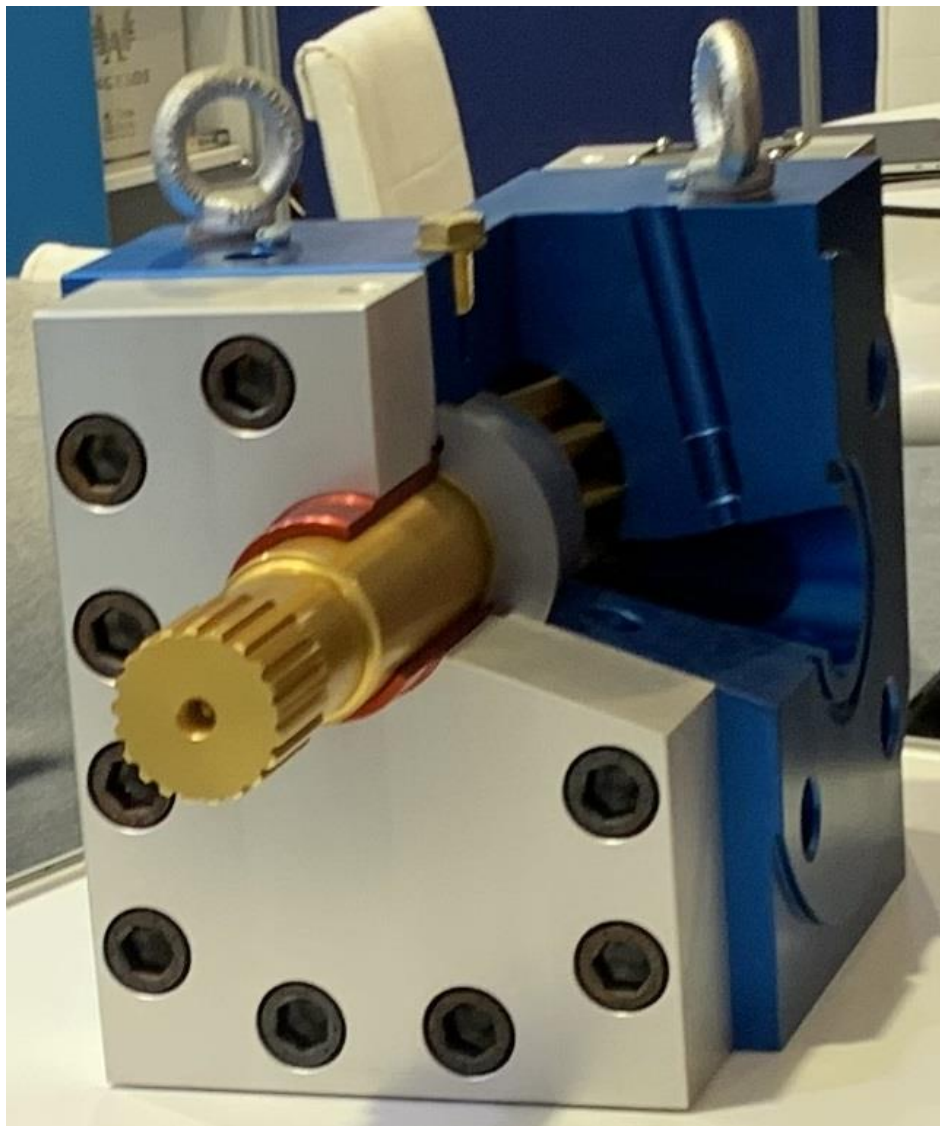
در هر شکل بجهت اتصال بدنه اصلی پمپ مذاب به سیستم فیلترینگ و یا خروجی به سیستم‌های قالب‌های کلندرینگ و غیره می‌باید محل‌های اتصال توسط فلانچ‌هایی متناسب با این سیستم‌ها در طراحی مد نظر قرار گیرد. این فلانچ‌ها باید بنا به نوع و اندازه پمپ‌های مواد مذاب پلیمری طراحی و ساخته شوند.



بدنه اصلی پمپ بعد از عملیات ماشین کاری توسط ماشین‌های تراشکاری و فرزکاری بصورت دستی و یا CNC و در نهایت ساخت کاملان می‌باید تحت عملیات سخت کاری در شرکتهای مخصوصی تا سختی پنجاه الی شصت و سه راکول سی (RC) قرار گیرد تا استحکام لازم در جهت استفاده حاصل شود.

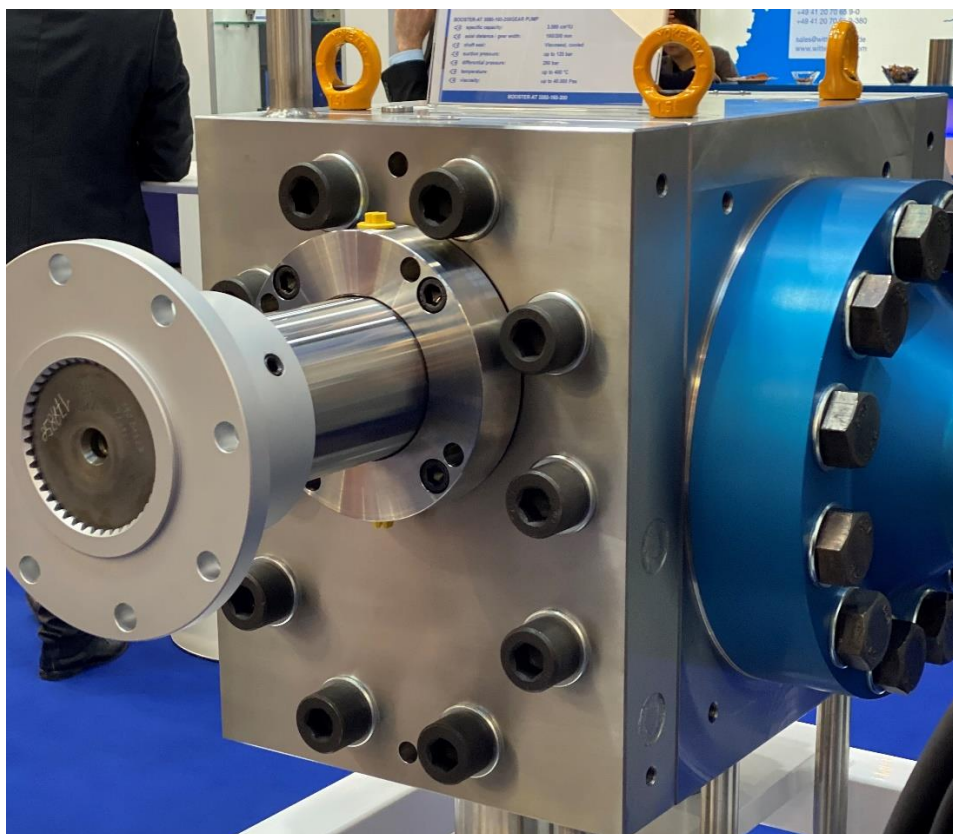
در ساخت این قسمت بجهت مراحل زیاد تولید و مدت بالای ماشین کاری و جلوگیری از ایجاد تنش در قطعه و عدم تاب برداشتن آن، قطعه با دقت بالا و توجه کامل میبایستی ساخته شود.

در پاره‌ای از موارد بعلت این مشکل در طراحی این قطعه از روش ساخت مرکب استفاده می‌گردد. بگونه ای که قطعه فوق از چند قسمت ساخته شده و بتوسط پیچ یا پیچ و مهره به یکدیگر متصل می‌شود. سطوح داخلی بدنه تحت عملیات سنگ کاری و با دقت ((صافی سطح)) دو دهم الی هشتصدم میکرون ماشین کاری شده و سطوح بیرونی تحت ((صافی سطح)) دو دهم میکرون ساخته می‌شود.





سطوح کناری که محل اتصال و قرارگیری درپوش‌ها است بجهت فشار بالا در پمپ و نیاز به آبندی باید تحت عملیات سنگ مغناطیس با ((صافی سطح)) دو دهم الی هشت‌صدم میکرون ماشین کاری شوند. بدنه‌ها اغلب تحت درجه حفاظت پنجاه و چهار ساخته می‌شوند.



در طراحی بدنه اصلی توجه به موارد زیر اهمیت فراوانی دارد:

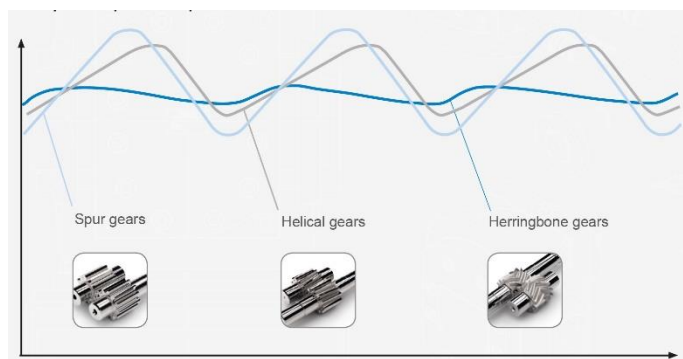
- ۱- انتخاب فولاد مناسب و نوع و فرآیند سخت کاری
- ۲- شکل مناسب انتخابی بدنه بجهت ماشین کاری آسان و صرفه اقتصادی
- ۳- توجه به مقاومت مصالح و محاسبه استحکام در برابر تنش‌های فشاری قطعه
- ۴- رعایت تolerانس‌های خاص
- ۵- محل جای گیری المنت‌های حرارتی و توجه به تعویض آسان المنت‌ها
- ۶- رعایت فاصله و نوع استقرار قطعات درون بدنه
- ۷- توجه به صراحی صنعتی و یا به اصطلاح زیبایی شکل بدنه
- ۸- رعایت خصوصیات طرح با توجه به نیازهای خواسته شده و مورد انتظار از قطعه
- ۹- انتخاب نوع و چگونگی اتصال قطعه از طرفی به اکسترودر و از طرف دیگر به قالبهای مربوطه تولید ورق یا پروفیل
- ۱۰- توجه به تنش‌های ایجاد شده توسط حرارت محصول و حرارت ایجاد شده توسط المنت‌های جا سازی شده داخل بدنه
- ۱۱- تعیین نوع و شکل ماشین کاری با توجه به روش‌های انتخابی ساخت قطعه
- ۱۲- عبور مواد مذاب پلیمری در کوتاه‌ترین مسیر و درعین حال با بیشترین بازدهی فشار



چرخ دنده‌های پمپ مذاب پلیمری

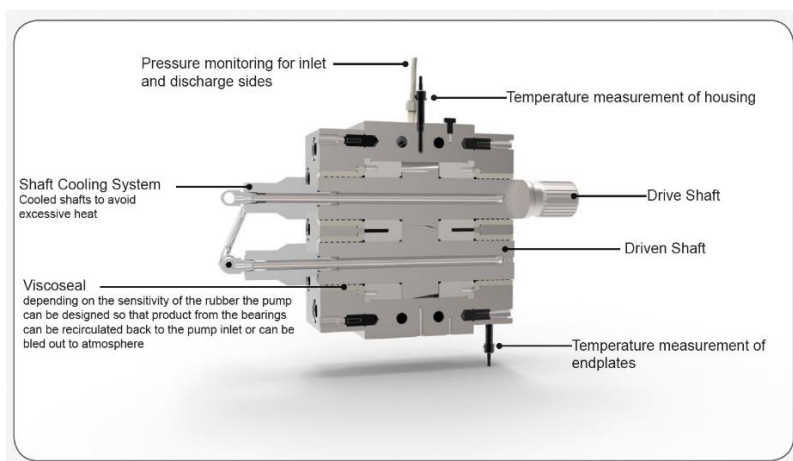
این چرخ دنده‌ها در انواع مختلف از نظر شکل ظاهری، ابعاد، جنس و نوع سخت کاری و پوشش دهی ساخته می‌شود.

دنده‌ها معمولاً در سه نوع مستقیم، مورب، مورب دوطرفه ماشین آری می‌گردد.



یاتاقان‌های پمپ‌های مذاب پلیمری

یاتاقان‌های پمپ به گونه‌ای طراحی شده‌اند که از پلیمر مذاب برای روغن کاری خود استفاده می‌کنند. پلیمر مذاب از طریق یاتاقان هدایت می‌شود و به جریان اصلی باز می‌گردد. برای پلیمرهای حساس برشی، دیگر به فرآیند برگشته و تخلیه می‌شوند و برای حفظ کیفیت مذاب پلیمری به جریان اصلی هدایت نمی‌شود.



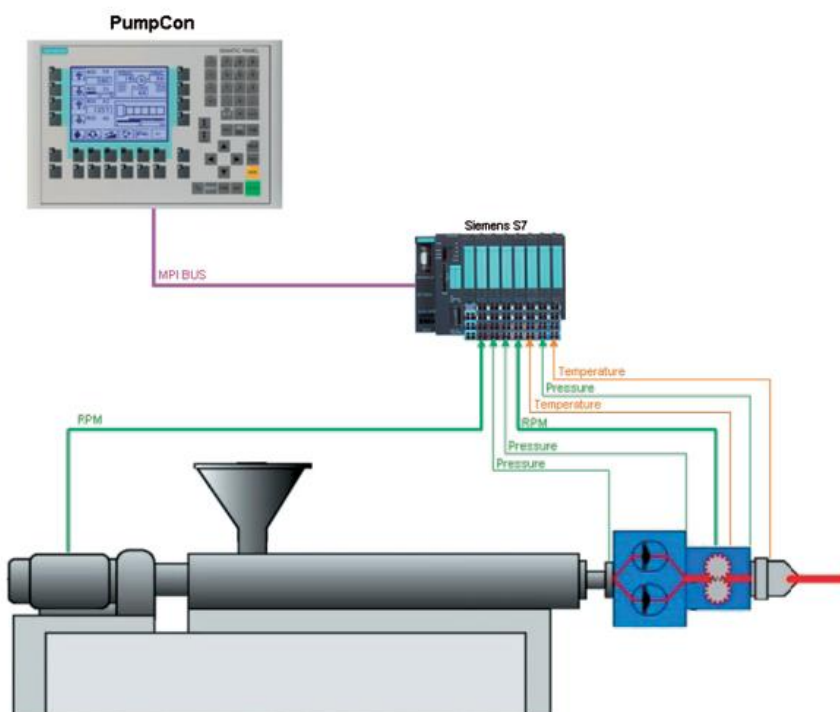
سیستم کنترل فشار حلقه بسته برای اکستروژن پمپ مذاب

اکسترودرهایی با پمپ مذاب توانسته جایگاه ویژه و منحصر بفردی را در بین انواع مختلف فرایندهای اکستروژن پلاستیک به خود اختصاص دهد این پمپها ب ایجاد جریان ثابت می‌تواند با از بردن موجهای غیرمنتظره در فرایند تولید افت نرخ خروجی محصول را به حداقل برساند و باعث کم شدن ضایعات تولید به شکل قابل ملاحظه‌ای گردد.



این پمپ‌های چرخ دنده دستگاه‌های جابجایی مثبت هستند که پلیمر مذاب را به سمت خروجی اکسترودر با سرعت نسبتاً ثابت می‌کشند. در اکسترودرهای با پمپ دنده‌ای مذاب پلیمری، کارکرد اصلی اکسترودر این است که به عنوان یک واحد پلاستیک عمل کند تا یک ذوب همگن را به ورودی پمپ دنده منتقل کند.

پمپ دنده‌ای که بین اکسترودر و قالب خروجی قرار گرفته شده است، باعث می‌شود که مواد براحتی از قالب اکسترودر خارج شود و به سمت خروجی رانده گردد، اما ورودی پمپ دنده گرچه دارای تغییرات زیاد در فشار و حجم مواد مذاب پلیمر است اما بجهت وجود پمپ دنده‌ای مذاب پلیمری روانی و یکنواختی در خروج مواد پلاستیک بعد از پمپ کاملاً فراهم می‌گردد. و در طی یک فشار ثابت مواد بصورت مذاب پلیمر داخل قالب اکسترودر رفته و محصولی کاملاً همگن را تولید می‌نماید.



در سیستم‌های کنترل جدید در این فرآیند سرعت حرکت مارپیچ اکسترودر و سرعت حرکت پمپ مذاب پلیمری بگونه‌ای با هم عمل می‌کنند که با فرمان سنسور فشار داخل قالب، با تغییر سرعت در این دو سیستم، فشار ورودی به قالب اکسترودر بصورت کاملاً یکنواخت عمل نمایند.

با توجه به این نکته ظریف می‌توان نتیجه گرفت که سیستم کنترل از این نوع، عملکرد فرآیند متغییر را ثابت نموده و به طور قابل توجهی باعث کاهش چشمگیر نوسانات فشار خروجی به سمت قالب شده و با حفظ ایمنی برای دستگاه می‌تواند به تولیدی به مراتب یکنواخت‌تر بیانجامد. استفاده از سنسورهای حرارتی و کنترل‌های انتگرالی امکان کنترل دقیق درجه حرارت لازمه را در پمپ فراهم می‌کند. هیترها بصورت کارتریجی اغلب تحت درجه حفاظت پنجاه و چهار ساخته می‌شوند.



فصل سوم

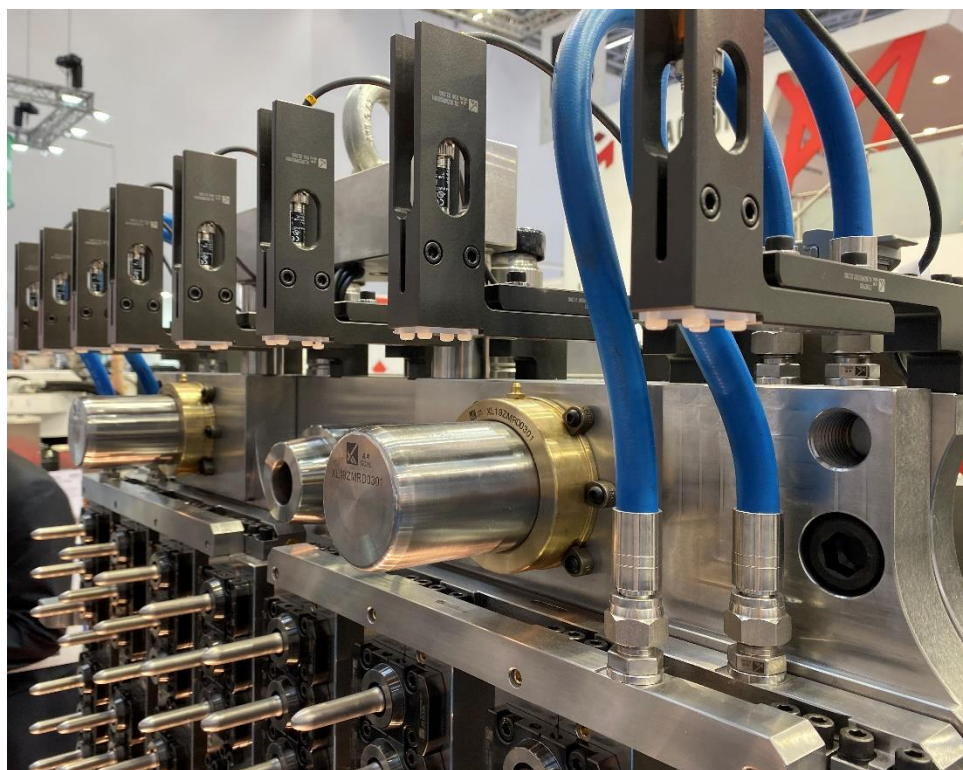
انتخاب فولاد در فرآیند ساخت

صنعت پلاستیک

انتخاب فولاد در فرآیند ساخت

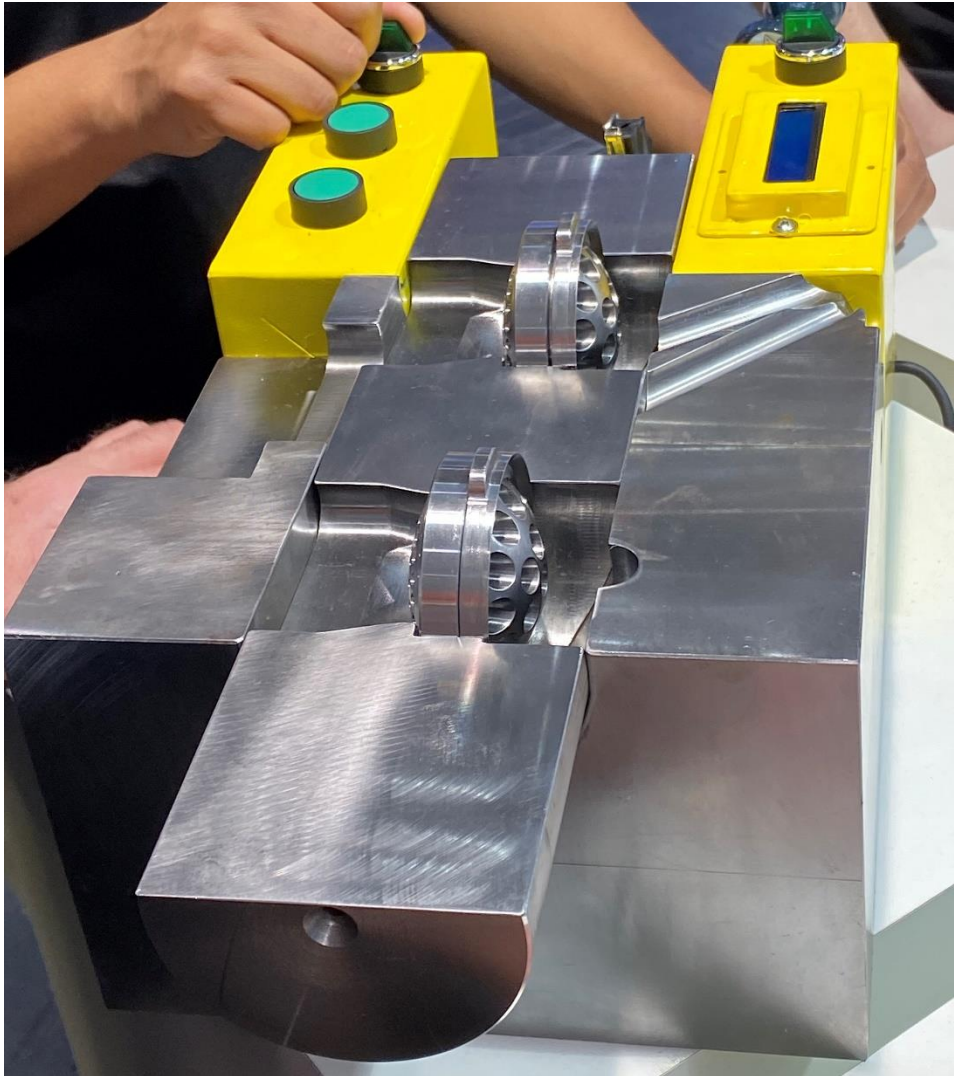
انتخاب نوع فولاد مناسب برای ساخت بدنه اصلی یکی از بخش‌های بسیار مهم در این نوع پمپ‌ها می‌باشد. پلیمرهای پلاستیکی مختلف از نظر دمای پردازش دارای خواص مختلفی هستند، خوردگی، سایش بیش از حد در مواردی که افزودنی‌های مختلفی مانند کربنات کلسیم، ترکیباتی با برآمدها، فلوراید‌ها یا در بعضی موارد الیاف سلیس دارند تأثیرات مخربی روی بدنه خواهد داشت.

البته بدنه اصلی پمپ مذاب پلیمری در مواردی که کاربرد مواد پلاستیک برای صنایع تولید تجهیزات پزشکی باشد از فولادهای ((استنلس استیل)) نیز تهیه می‌شود که در این صورت نوع ((استنلس استیل)) باید از شاخه‌ای استفاده شود که قابلیت آبکاری سخت وجود داشته باشد. البته باید توجه نمود که انتخاب نوع فولاد بر ماشینکاری آن تأثیر مستقیمی دارد. در انتخاب نوع فولاد فقط انتخاب یک شماره فولاد کافی نیست بلکه خرید از برندهای معتبر اهمیت زیادی دارد.

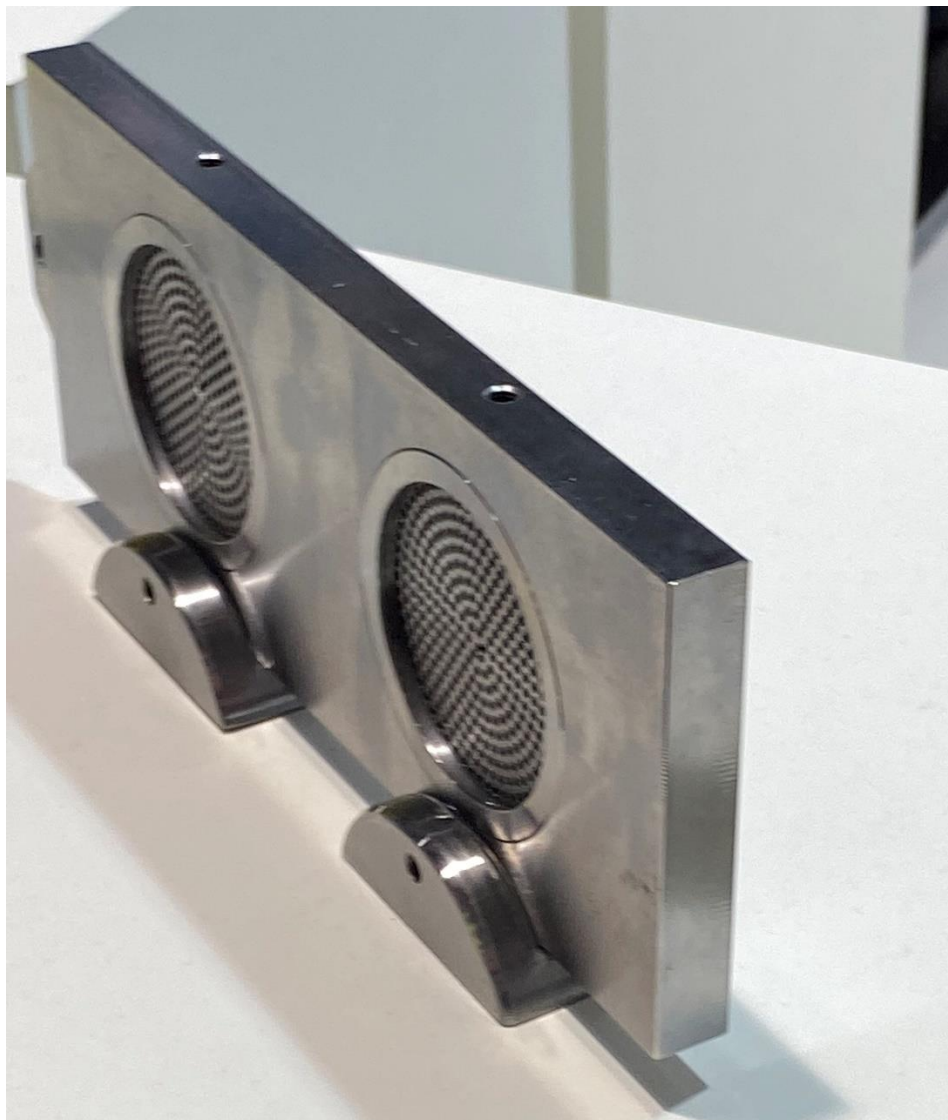


۱- فولادهای نیتريد پذير:

فرآيند نيتريد کردن يک عمليات حرارتي برای فولاد است که نيتروژن را را اطراف فولاد پراکنده می کند اين فرآيند برای سخت کردن سطح فولاد کاربرد دارد. از اين فرآيند معمولاً برای فولادهایی با کربن پايين و يا کم آلياژ و يا در مواقع ای خاص برای فولادهایی با کربن بالا استفاده می کنند.



فرآیند نیتريد سختی سطح بالایی را به اجرای فولادی منتقل می‌نماید. البته فرآیندهای دیگری نیز وجود دارد که مشابه این فرآیند می‌باشند اما نیتريد کردن مزایایی مانند، انجام فرآیند بین ۴۹۵ الی ۵۳۵ درجه سانتیگراد، به آرامی گرم شدن در این فرآیند، جلوگیری از شوک ناگهانی به قطعات فولادی، اچ کردن در این فرآیند در یک فضای محافظ و در نتیجه اکسید شدن و فولاد آبکاری شده تمیزتر، ضمن سفید بودن سطح مقاوم در برابر سایش را می‌دهد، دقت عدم تنش بالا برای اشکال پیچیده را فراهم می‌نماید.



- البته فرآیند نیتريد کردن معايبي نيز دارد كه از آن جمله مي‌توان به موارد ادامه اشاره نمود:
- (۱) در صورت اينكه سطوح قطعه چربي گيري از مبيعات ماشين كاري نشده باشد نتايج ضعيفي از آبكاري بدست مي‌آيد و يا در مواقعي سطح فولاد پوسته پوسته مي‌شود.
 - (۲) غلظت بالاي آمونياك در فرآيند نيتريد مي‌تواند براي استنشاق مضر باشد.
 - (۳) سختي سطح فولاد در اين روش فقط بين ۳۰ الي ۸۰ ميكرون و سطح زيرين آن نرم است.





بیشتر فولادهای دارای آلیاژهای نیتريد مانند آلومینیوم، کروم، مولیبدن و تیتانیوم برای نیترات استفاده می‌شوند. متداول‌ترین فولادها برای استفاده در ساخت قالب‌ها و فرآیند پلاستیک با ترکیب شیمیایی آنها در جدول زیر آمده است. این فولادها قابلیت نیتراته شدن دارند.

Chemical Composition of 1.2767 (EN 30B) Steel

	C	Cr	Mo	Ni
1.2767 (EN 30B)	0.45 %	1.4 %	0.3 %	4.0 %

Chemical Composition of 1.8509 (EN 41B) Steel

	C	Si	Mn	Cr	Mo	Al
1.8509 (EN 41B)	0.40 %	0.25 %	0.50 %	1.60 %	0.20 %	1.20 %

Chemical Composition of 1.2344 (H13) Steel

	C	Si	Cr	Mo	V
1.2344 (H13)	0.40 %	1.0 %	5.3 %	1.4 %	1.0 %

Chemical Composition of 1.2311 (P20) Steel

	C	Mn	Cr	Mo
1.2311 (P20)	0.40 %	1.5 %	1.90 %	0.2 %

۲- فولادهایی با قابلیت سختکاری بصورت عمقی

فولادهای سخت شونده میزان کربن‌های متفاوتی دارند. در مواقعی فولادها با کربن متوسط و بالا تا دماهایی بالاتر از دمای بحرانی آلیاژ، گرم می‌شوند. سپس این فرآیند گرما به سمت درجه پایین حرکت کرده و تشکیل مارتنزیت پایدار صورت می‌گیرد. این نوع فولادها در فرآیند سختکاری ابتدا فولاد کربن به تدریج تا دمای بالاتر از دمای بحرانی آلیاژ گرم می‌شود و سپس در یک پروسه مناسب، با استفاده از آب یا روغن، به سمت خنک شدن پیش می‌رود. فولاد در این مرحله حداکثر سختی آلیاژی را داراست و معمولاً شکننده است. در این مرحله برای رسیدن به سختی و چقرمگی مطلوب، معتدل سازی انجام می‌شود. در حالت خنک کردن، فولاد در دمای قابل توجهی پایین‌تر از دمای بحرانی آلیاژ گرم می‌شود و دوباره به سطح مورد نظر گرمایی بر می‌گردد. این فرایند توسط متالورژیست‌های با تجربه انجام می‌شود تا از شکستگی و از دست دادن خواص فولاد جلوگیری شود.



برخی از این نوع فولادهای با سختی تا عمق که در صنعت پلاستیک مورد استفاده قرار می‌گیرد به شرح زیر است:

الف- فولاد H13 یک فولاد مناسب برای ساخت قطعات مختلف در صنایع پلاستیک می‌باشد این فولاد قابلیت سخت کاری بین ۵۲ الی ۵۶ راکول سی را دارد استحکام کششی، مقاومت در برابر سایش و چقرمگی این فولاد بسیار مناسب است.

	C	Si	Cr	Mo	V
1.2344 (H13)	0.40 %	1.0 %	5.3 %	1.4 %	1.0 %

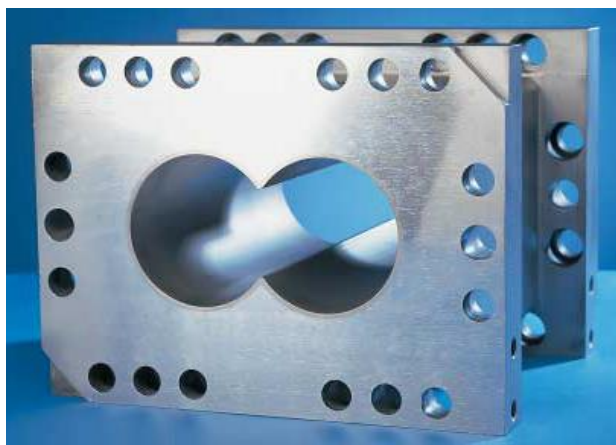
ب- فولاد EN30B یک فولاد با بالاترین مقاوت و استحکام مناسب است این فولاد قابلیت سختکاری تا ۵۶ راکول سی را دارد.

	C	Cr	Mo	Ni
1.2767 (EN30B)	0.45 %	1.4 %	0.3 %	4.0 %

ج- فولاد ۱.۲۳۱۶ با داشتن کروم بالا از مقاومت بسیار خوبی در برابر خوردگی برخوردار است ماشینکاری خوب، صیقل پذیری عالی این فولاد نسبت به فولادهای دیگر بسیار مناسب است. این فولاد معمولاً در مواقعی که از گرانول پی وی سی استفاده می‌شود کاربرد بیشتر دارد. این فولاد معمولاً تا ۴۹ راکول سی قابل سخت شدن است.

	C	Cr	Mo
1.2316	0.36 %	16 %	1.2 %

چندین فولاد دیگر هم در صنعت پلاستیک وجود دارد اما باید توجه نمود که صرفه اقتصادی در خرید مواد اولیه و فراوانی آلیاژهای فولاد همیشه باید مد نظر طراح قرار گیرد پس در خانواده فولادهای سخت



شونده تا عمق، به این سه فولاد بسنده می‌کنیم. البته طراحان توجه کنند که حداکثر وزن یک قطعه را نباید از ۱۸۰ کیلو گرم بالاتر ببرند چراکه معمولاً شرکت‌های آبکاری با وزن‌های پایین‌تر قطعات جهت انجام کامل یک پروسه آبکاری بهتر عمل می‌کنند.

۳- فولادهای آبدیده و حرارت دیده

این فولادها در کارخانه‌های فولاد سازی از قبل مورد آبکاری اولیه و حرارت دیده‌اند. این فولادهای کاربرد وسیعی در صنعت پلاستیک و دیگر صنایع دارند. از آنجا که این فولادها پس از سخت شدن آنیل می‌شوند لذا از سختی و استحکام کمی برخوردارند، اما مقاومت و استحکام بالایی دارند. پولیش پذیری این فولادها نسبت به فولادهای قابلیت سختی تا عمق، کمتر می‌باشد. برای بالا بردن سختی سطحی این نوع فولادها می‌توان از روش‌های آبکاری نترید و یا آبکاری کروم سخت بهره گرفت.

الف- فولاد P20 یا ۱.۲۳۱۱:

یک فولاد مناسب برای کار در دستگاه‌های اکسترودر پلاستیک است این فولاد در حالت آنیل شده بوده و دارای سختی ۳۰ الی ۳۲ راکول سی است و همچنین قابلیت نیتريد جهت بالا بردن سختی سطحی دارد. این فولاد قابلیت ماشینکاری عالی داشته و این مزیت کاربردی آن است.

	C	Mn	Cr	Mo
1.2311 (P20)	0.40%	1.50%	1.9%	0.2%

ب- فولاد P20+S یا ۱.۲۳۱۲:

یک فولاد مناسب برای کار در شرایطی است که نیاز به پولیش بالاتر می‌باشد همچنین ماشین کاری آن آسان بوده و کاربرد زیادی در صنعت پلاستیک دارد این فولاد در حالت آنیل شده بوده و دارای سختی ۳۰ الی ۳۵ راکول سی است و همچنین قابلیت نیتريد جهت بالا بردن سختی سطحی دارد. درواقع این فولاد بعلت دارا بودن گوگرد دارای خواص بهتری نسبت به فولاد ۱.۲۳۱۱ می‌باشد.

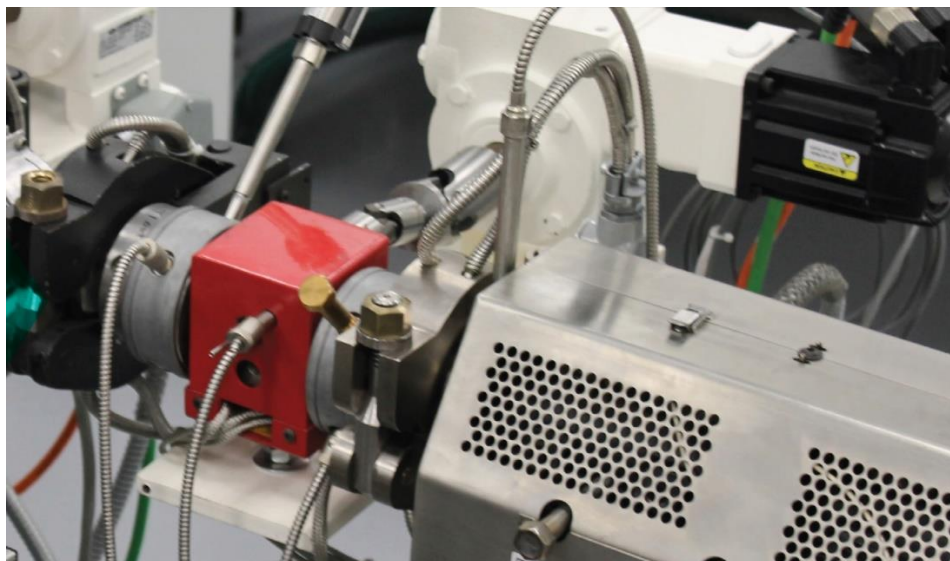
	C	Mn	Cr	Mo	S
1.2312 (P20+S)	0.40%	1.5%	1.9%	0.2%	0.05%

ج- فولاد P20+Ni یا ۱.۲۳۳۸:

این فولاد خاص یک فولاد مناسب برای کار در شرایطی است که نیاز به پولیش کاری بالاتری از نظر کیفیت می‌باشد.

همچنین ماشین کاری آن آسان بوده و کاربرد زیادی در صنعت پلاستیک دارد این فولاد در حالت آنیل شده بوده و دارای سختی ۳۰ الی ۳۵ راکول سی است و همچنین قابلیت نیتريد جهت بالا بردن سختی سطحی دارد. درواقع این فولاد بعلت دارا بودن یک درصد نیکل دارای خواص بهتری از جهت سختی پذیری بوده و قابلیت سختکاری تا ۵۱ راکول سی را فراهم می‌کند.

	C	Cr	Mo	Ni	S
1.2738 (P20+Ni)	0.40 %	1.9 %	0.2 %	1.0 %	≤ 0.005 %



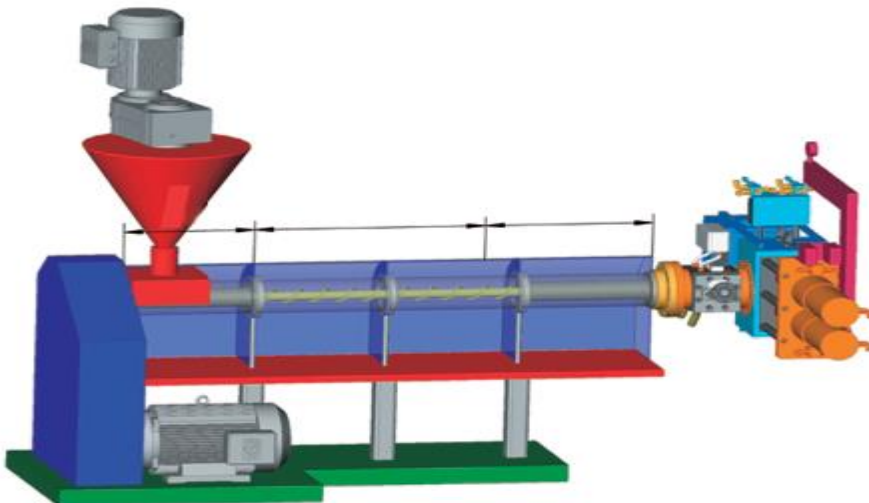
۴- فولادهای مخصوص

برخی از پلیمرها در صنعت پلاستیک نسبت به سایر مواد پلاستیک دارای خواص خورنده‌تری هستند. در پروسه‌های تولید با برخورد این پلیمرها با سطح فولاد، معمولاً سطح فولادها آسیب می‌بینند. پلیمرهای پلاستیکی مانند: PVC, PVDF, ETFE و پلیمرهای پلاستیکی دارای برמיד برای ساخت قالب و قطعات در صنعت پلاستیک نیاز به فولادهای مخصوصی دارند. برخی از این نوع فولادها به حدی گران است که استفاده آر آنها از نظر اقتصادی مناسب نیست. بنابر این در مواقع ای فقط در سطح تماس با این پلیمرها از فولادهای مخصوص استفاده می‌شود. متداول‌ترین این فولادها برای کاربردهای ویژه به شرح زیر است:

الف- فولاد ۱.۲۳۱۶:

یک فولاد مناسب برای کار در قطعات دستگاه‌های پلاستیکی است که در تماس با پلیمر PVC هستند. این فولاد بدلیل دارا بودن شانزده درصد کروم از مقاومت بالایی در برابر خوردگی دارا می‌باشد و قابلیت ماشینکاری و پولیش پذیری خوبی را داراست. این فولاد می‌تواند تا ۴۹ راکول سی سخت شود. این فولاد معمولاً بصورت صفحه، تسمه و میلگرد عرضه می‌گردد. بنابر این می‌توان از این فولاد برای انواع قالبهای اکسترودر تولید لوله و پروفیل پی وی سی استفاده نمود.

	C	Cr	Mo
1.2316	0.36 %	16 %	1.2 %



ب- فولاد ۱.۲۰۸۳:

یک فولاد مناسب برای کار در قطعات دستگاه‌های پلاستیکی است که در تماس با پلیمر خورنده هستند. این فولاد کمتر از فولاد ۱.۲۳۱۶ دارای کروم است. با وجود این از مقاومت بالایی در برابر خوردگی دارا می‌باشد و قابلیت ماشینکاری و پولیش پذیری خوبی را داراست. این فولاد به حالت آنیل شده تهیه و عرضه می‌شود و می‌تواند تا ۵۶ راکول سی سخت شود. این فولاد معمولاً بصورت صفحه، تسمه و میلگرد عرضه می‌گردد. بنابر این می‌توان از این فولاد برای انواع قالبهای تزریق و اکسترودر استفاده نمود.

	C	Cr
1.2083	0.42 %	13 %

پ- فولاد استنلس استیل:

استنلس استیل معمولی هر چند که دارای نرمی می باشد ولی بعلت خاصیت ضد خوردگی آن برای قطعات اکسترودر کاربرد دارد. شماره های خاصی از فولاد استنلس استیل برای تولید کاربردی قعات مختلف وجود دارد. برخی از شماره های معمول استفاده شده از فولاد استنلس استیل به شرح زیر است: د- فولاد استنلس استیل ۱.۴۴۶۲ این فولاد بیشتر در بازار جهانی به Duplex F^{۵۱} نیز شناخته می شود. این نوع فولاد استنلس استیل با یک ساختار پنجاه - پنجاه آستنیت، فریت بصورت ریز ساختاری تهیه شده است. این فولاد یک ترکیب با استحکام مکانیکی خوب و انعطاف پذیری با مقاومت در برابر خوردگی مناسب را ارائه نموده است. این فولاد قابلیت کار در حرارت بالا و قدرت عملکرد مناسب را به دلیل مقدار بالای کروم با درصد ۲۱ الی ۲۳ درصد در ترکیب با عناصر دیگر ارائه نموده و مقاومت خوبی را در ساخت قطعات مختلف از خود نشان داده است. از این فولاد استنلس استیل در ساخت قطعاتی که در ارتباط با پلیمرهای PVC و PVDF می باشد استفاده شده و رضایتمندی مشتریان را جلب نموده است. از آنجا که معمولاً سختی این فولاد در حدود ۲۸ راکول سی می باشد. لذا بهترین فولاد جهت ساخت قالب هایی می باشد که در تماس با پلیمرهای خورنده قرار دارد. ترکیبات این فولاد در جدول زیر آمده است:

	C	Cr	Si	Mg	P	S	Ni	Mo	NO
1.4462	0.03 %	21-23 %	1%	2%	0.035 %	0.015 %	4.5-6.5 %	2.5-3.5 %	0.1-0.2 %

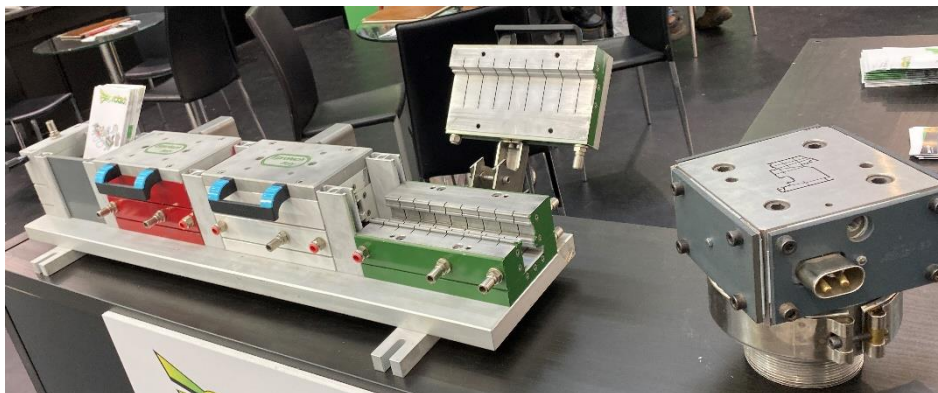
ت- فولاد استنلس استیل UDDOHOLM STAVAX® ESR با کیفیت عالی همانند فولاد ۱.۲۰۸۳ بوده اما دارای ترکیبات شیمیایی بهتری می باشد. از خواص این فولاد می توان به مقاومت در برابر خوردگی، پولیش عالی، مقاومت در مقابل سایش، ماشین کاری مناسب، ثبات در سختی اشاره نمود. این فولاد استنلس استیل به دلیل این خصوصیات به صورت ایده آل برای ابزارآلاتی که کاربری پزشکی دارد مورد استفاده قرار می گیرد و قابلیت سختکاری تا ۵۰ الی ۵۲ راکول سی را دارد. تنها ایراد این فولاد استنلس استیل محدودت تولید آت تا قطر ۲۵۵ میلیمتر است. در جدول زیر ترکیبات این فولاد آمده است:

	C	Cr	Si	Mn	V
Stavax®	0.38 %	13.6 %	0.9 %	0.5 %	0.3 %



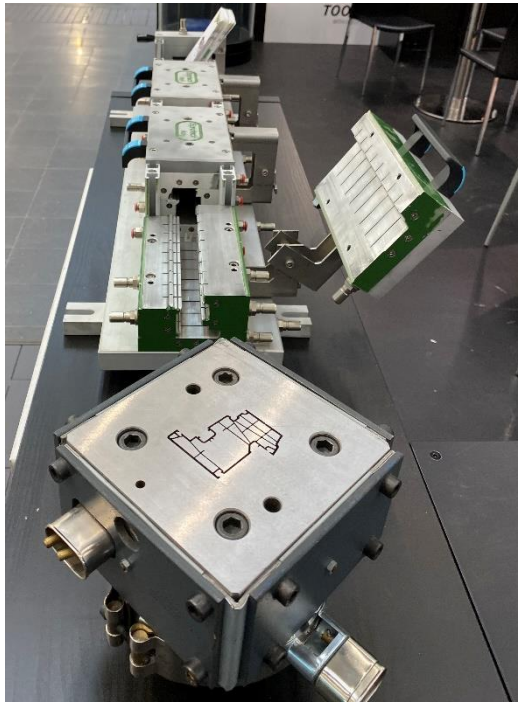
ث- سایر فولادهای مخصوص:

برخی از این فولادها فقط در زمانی که مقادیر بالا فلوراید و برمید وجود دارد، کاربرد پیدا می‌کنند. در هنگام کار با پلیمر ETFE و پلیمرهایی که دارای برمید هستند و درجه حرارت در سطح بالاتری وجود دارد این پلیمرها گازهای فلوئوریک و برمید تشکیل می‌دهند. که وجود این گازها به مرور زمان و بنا به مدت استفاده باعث ایجاد حفره‌های شدید در فولاد می‌شود. کاربرد این فولادها در صنایع پلاستیک بنا به نیاز بوده ولی کاربرد اساسی این فولادها در صنایع سیم و کابل بیشتر است.



ج- فولادهای Hastelloy®

Hastelloy® نام تجاری شرکت بین المللی Haynes International است که یکی از بزرگترین تولید



کنندگان آلیاژهای نیکل - کبالت با کارایی بالا می باشد.

این شرکت توانسته با تجربه بالا دوازده آلیاژ مقاوم در برابر خوردگی را با نام تجاری Hastelloy® به بازار عرضه نموده است.

معروفترین این فولادها C-۲۷۶ Hastelloy است که در صنعت سیم و کابل کاربرد وسیعی دارد.

از آنجا که قیمت فروش این فولاد با کارایی بالا به نسبت فولادهای دیگر بسیار بالا است، در صنایع سیم و کابل برای اکستروژن پلیمرهای حاوی ترکیبات فلوراید و برمید، استفاده از آن محدود به قطعات کوچک و یا در قسمتهای خاصی از قالبهاست.

در کار با این فولاد، اگر از ابزار برش، بازدهی

مناسب و سرعت مناسب استفاده شود، البته مطابق با دستورالعملهای سازنده، از قابلیت ماشین کاری و پولیش پذیری خوبی برخوردار است.

استفاده از سرعتهای برش اشتباه در هنگام ماشینکاری این فولاد، می تواند به سخت شدن قطعه کار منجر شود، که در اینگونه موارد برای کار بیشتر روی آن باید آنیل شود.

مطابق مشخصات سازنده، ترکیب شیمیایی فولاد Hastelloy C-۲۷۶ همانطور که در جدول زیر آمده مشخص است.

	Co	Cr	Mo	Ni	W	Fe	Si	Mn	C	V
Hastelloy® C-276	2.5%	16%	16%	Bal- anced	4%	5%	0.08%	1%	0.01%	0.35%

چ-فولادهای Inconel®

آلیاژ ۶۰۰ در واقع یک فولاد آلیاژی است که از ترکیب نیکل-کروم-آهن، یک مهندسی استاندارد برای کاربردهایی می باشد که به مقاومت در برابر خوردگی و گرما نیاز دارند. این فولاد آلیاژی خواص مکانیکی عالی دارد و ترکیبی مطلوب از استحکام بالا و کارایی خوب را تشکیل داده است. به دلیل هزینه بالای این فولاد، در قالبهای کوچک برای صنعت سیم و کابل، بمنظور کاربرد برای پلیمرهای حاوی فلوراید و برمید استفاده می شود. مطابق مشخصات سازنده، ترکیب شیمیایی فولاد Inconel® همانطور که در جدول زیر آمده مشخص است.

	Cr	Ni+Co	Fe	Si	Mn	C	Si	Cu
Inconel® alloy 600	14-17 %	72 %	6-10 %	0.50 %	1 %	0.15 %	0.50 %	0.50 %

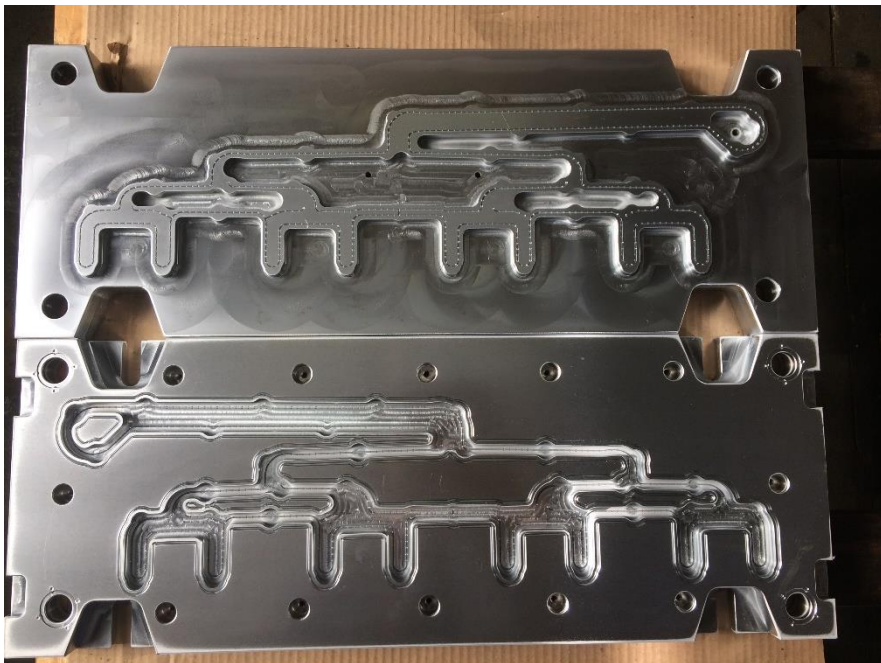
ح- کاربرد تنگستن

اجزای کوچک مانند پین ها و قالب ها بخصوص در سیم و کابل که از بین می روند، از پودر فلزات سنگی کاربرد و تنگستن در مقادیر مساوی ساخته می شوند. قطعات ساخته شده از کاربرد تنگستن بیش از دو برابر سخت تر از فولاد است و در صورت وجود سایش این قطعات نسبت به سایر فلزات، مانند سیم مسی، عمری چندین برابر بیشتر دارند.



خ- آبکاری مقاوم در برابر خوردگی

سطوح قالب‌هایی که با مواد خورنده مانند PVC، PVDF و غیره در تماس هستند نیاز است تحت این نوع آبکاری‌ها قرار گیرند. همچنین این روش آبکاری در برخی از کاربردهای دیگر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. قالب‌های بزرگ برای پردازش PVC و PVDF ساخته شده از فلزات غیر خورنده گران هستند. بنابراین، سطوح قسمتهای خاصی با کروم و نیکل به صورت آبکاری سخت پوشش دهی می‌شوند. آبکاری کروم سخت، مقاوم در برابر خوردگی، کاملاً مقاوم در برابر سایش است و بسیار جلا داشته و چسبندگی کمتری در برابر مواد مذاب پلیمری دارد. آبکاری کروم سخت معمولاً بین ۱۵ میکرون الی ۳۰۰ میکرون ضخامت دارد. البته در بعضی اوقات، در صورت ترمیم قالب‌ها، از پوشش ضخیم‌تر استفاده می‌شود. آبکاری نیکل سخت بعضاً به دلیل توانایی مهار خوردگی توسط اسید هیدروکلریک در کار با PVC مورد استفاده قرار می‌گیرد. آبکاری نیکل سخت معمولاً در مقایسه با آبکاری کروم سخت ضخیم‌تر است و در بعضی موارد چندین لایه رسوب روی هم قرار می‌گیرد، تا ضخامت حداکثر یک میلی متر را تشکیل دهد.



References

- [١] ThyssenKrupp Materials UK Limited, website: www.thyssen.co.uk (tool steel composition and properties)
- [٢] Bohler-Uddeholm worldwide, website: www.bucorp.com, (for special steels Stavax ESR)
- [٣] Haynes International (for Hastelloy®)
- [٤] High-Performance Alloys, Special Metals Corporation, www.hpalloy.com (for Inconel alloys)
- [٥] Use of melt pump to produce filaments for additive manufacturing (3D printing)
Mathias Jährling Thermo Fisher Scientific, Karlsruhe, Germany