

جهت خرید فایل word به سایت www.kandooon.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

جهت خرید فایل word به سایت www.kandooon.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید



دانشکده مهندسی مواد و متالورژی

دانشگاه آزاد اسلامی - واحد یزد

عنوان:

سرمت متریال

زمستان ۱۳۸۶

چکیده:

سرمت های مخلوطی از فلز و سرامیک هستند. سرمت از حدود سال ۱۹۳۰ به اشکال مختلف مورد استفاده قرار گرفته است ولی تا سالهای ۱۹۷۰ کار عملی جدی روی آن انجام نشده بود. این پیوند مولکولی می تواند مابین فلزات مختلفی مانند آهن، کبالت، نیکل و کروم و سرامیک های نظیر اکسید، کربور، نیترو، بورور، سیلیکات تشکیل شود. پیوند مولکولی تشکیل شده این فلزات و سرامیک ها بسیار محکم بوده و این مواد دارای خواص ویژه ای می باشند. بسته به نوع فلز و سرامیک ترکیبی، سرمت های متفاوت با خواص متمایز جهت کاربردهای خاص می تواند تشکیل شود ولی تقریباً کلیه سرمتها در خواص ذیل مشترک می باشند.

- سختی بسیار بالا

- مقاومت در مقابل خوردگی شیمیایی

- رفتار مکانیکی مابین فلز و سرامیک

- مقاومت حرارتی بالا

- مقاومت خوب در برابر خزش

امروزه از فرمول های متنوع تری از سرمت مانند تنگستن کارباید تیتانیوم کاربونیتریدها برای افزایش عمر و کاربری بهتر ابزار برش استفاده می شود. همچنین فلزاتی نظیر آلومینیوم، تیتانیوم، مس و آلومینیوم تیتانیوم بین فلزی که با الیاف یا ویسکرها کاربید سیلیسیم تقویت شده اند از خود افزایش قابل ملاحظه ای در خواص مکانیکی به ویژه در دماهای بالا نشان می دهند این سرمت های برای سازه های هوا فضای پیشرفته مورد توجه است.

در این پروژه تولید سرمت های کاربید تیتانیوم زمینه فولادی مد نظر است و هدف این پروژه افزایش مقاومت به سختی در حرارت بالا می باشد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: تعریف و طبقه بندی سرمت ها
۱-۱-۱	مقدمه
۱-۲-۱	طبقه بندی
۱-۲-۱-۱	سرمت های با پایه ی کاربید
۲-۲-۱	سرمت های با پایه ی کربونیتريد
۳-۲-۱	سرمت های با پایه ی نیتريد
۴-۲-۱	سرمت های با پایه ی اکسید
۵-۲-۱	سرمت های با پایه ی بوراید
۶-۲-۱	سرمت های محتوی کربن
	فصل دوم : تکنیک های ساخت و تولید سرمت
۱-۲-۱	مقدمه
۲-۲-۱	آماده سازی پودر
۳-۲-۱	زینترینگ
۱-۳-۲	مکانیزم زینترینگ فاز مایع
۲-۳-۲	کوره ها
۴-۲-۱	پرس کاری سرد بصورت ایستا
۵-۲-۱	عمل فشارش هیدرواستاتیک (همه جانبه) سرد
۱-۵-۲	امتیازها و معایب
۶-۲-۱	روش اکستروژن گرم برای مخلوط های پودری سرمت
۷-۲-۱	نورد پودر
۸-۲-۱	ریخته گری دوغای بی
۹-۲-۱	فرایند قالبگیری تزریقی (MIM)
۱-۹-۲	کاربردها و مزایای فرایند MIM برای سرمت ها
۱۰-۲-۱	فشرده سازی داغ ایستا
۱۱-۲-۱	پرس ایزواستاتیک گرم (HIP)

- ۱۲-۲-۱۲- اکستروژن گرم شمش های سرمت ۳۵
- ۱۲-۲-۱- روش ها ۳۵
- ۱۲-۲-۲- کاربرد ۳۶
- ۱۲-۲-۳- ترکیب زینترینگ - فشرده سازی ۳۸
- ۱۳-۲- تراوش ۴۰
- ۱۴-۲- اتصال و ریز ساختار: ۴۰
- ۱۴-۲-۱- اتصال ۴۴
- ۱۴-۲-۲- انحلال پذیری ۴۴
- ۱۴-۲-۳- رطوبت ۴۵
- ۱۴-۲-۴- ریز ساختار ۴۶
- ۱۴-۲-۵- آرایش موقعیت های سرمت برای بهبود مقاومت در مقابل تغییر شکل و تافش شکست ۴۷

فصل سوم: انواع سرمت ها و کاربردهای آن

۱-۳- سرمت های اکسیدی

- ۱-۳-۱- مقدمه ۵۰
- ۱-۳-۲- سرمت های اکسید-سیلیکون ۵۰
- ۱-۳-۳- سرمت های اکسید آلومینیوم ۵۱
- ۱-۳-۴- سرمت های اکسید منیزیم ۵۳
- ۱-۳-۵- سرمت های اکسید بریلیوم ۵۴
- ۱-۳-۶- سرمت های اکسید زیرکونیوم ۵۴
- ۱-۳-۷- سرمت های اکسید توریوم ۵۵
- ۱-۳-۸- سرمت های اکسید اورانیوم ۵۵
- ۱-۳-۹- سرمت های محتوی دیگر اکسیدها ۵۷
- ۱-۳-۱۰- سوپر هادی دمای بالا با زمینه فلزی ۵۸
- ۲-۳-۲- سرمت های کاربرد و کربونیتريد ۵۸
- ۲-۳-۱- مقدمه ۵۸
- ۲-۳-۲- سرمت های کاربرد تیتا نیم متصل به نیکل ۶۱

۳-۲-۳ - سرمت های کاربید تیتا نیم متصل به فولاد..... ۶۲

۳-۲-۴ - مقایسه ی کاربیدهای متصل به فولاد که قابلیت عملیات حرارتی دارند با کاربید

تنگستن متصل با کبالت ۶۴

۳-۲-۵ - مقایسه ی سرمت های کاربید متصل به فولاد با دیگر مواد مقاوم در برابر سایش

۳-۲-۶ - سرمت های کاربید با آرایش های مختلف اتصال فولادی..... ۶۵

۳-۲-۷ - ساختن سرمت های کاربید تیتا نیم متصل به فولاد..... ۶۷

۳-۲-۸ - سخت کردن سرمت ها با اتصال فولاد ۶۸

۳-۲-۸-۱ - ماشینکاری و سایش ۶۸

۳-۲-۹ - سرمت های کربونیتريد تیتا نیم ۶۹

۳-۲-۹-۱ - ویژگی ها ۷۲

۳-۲-۹-۲ - کاربردها ۷۵

۳-۲-۱۰ - سرمت های کاربید تنگستن متصل به فولاد ۷۵

۳-۲-۱۱ - سرمت های کاربید کروم ۷۶

۳-۲-۱۱-۱ - کاربردها و ویژگیها ۷۷

۳-۲-۱۲ - دیگر سرمتهای بر پایه ی کاربید ۷۹

۳-۲-۱۳ - سرمت های کاربید سیلیسیم - آلومینیوم ۸۰

۳-۲-۱۴ - سرمت های کاربید آلومینیوم - بور ۸۱

۳-۳ - سرمتهای بورید

۳-۳-۱ - مقدمه ۸۳

۳-۳-۲ - سرمت های بورید زیرکونیوم ۸۵

۳-۳-۳ - سرمتهای بورید تیتانیم ۸۶

۳-۳-۴ - سرمتهای بورید مولیبدن ۸۷

۳-۳-۵ - دیگر سرمتهای نسوز (دیرگداز) ۸۸

۳-۳-۵-۱ - سرمتهای نیتريدی و کربونیتريدی ۸۸

فصل چهارم: روش تحقیق

۴-۱ - مقدمه ۹۲

۴-۲ - تولید سرمت های کاربید تیتانیم زمینه فولاد ریل ۹۲

جهت خرید فایل word به سایت www.kandooch.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

۳-۴- تولید سرمت های کاربید سیلیسیوم- آلومینیوم.....۹۲

فصل پنجم: نتایج و بحث

۱-۵- مقایسه مقاومت به سایش نمونه سرمتی با نمونه AL-Si و Al خالص.....۹۴

۲-۵- مقایسه خواص مکانیکی AL خالص و AL-Si با سرمت کاربید سیلیسیم - آلومینیوم.....۹۵

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱. روشهای متالورژی پودر تولید سرمت و کاربردهای سماتنه	۸
شکل ۲. پرسکاری سرد بصورت ایستا با (a) پرس معمولی از دو طرف (b) پرس با فک ثابت.	۱۴
شکل ۳. بازگیری سیکل پرس با کنترل کردن حرکت قالب (با لا و پایین فشار)	۱۴
شکل ۴. شمایی از مخزن پرس هیدرواستاتیک سرد با یک قالب پودر در روش کیسه ی مرطوب	۱۹
شکل ۵. شمایی از تجهیزات پرس هیدرواستاتیک روش کیسه ی خشک	۲۰
شکل ۶. ماشین آلات اکستروژن گرم برای مخلوط های پودری سرمت. (a) دهانه اکستروژن. (b) پرس فشار کاری تحت خلا.	۲۱
شکل ۷: شمایی از نورد پودر با تغذیه به روش اشباع شده و آرایش افقی غلتک ها. نسبت تراکم h_0/h_g	۲۴
شکل ۸: فرایند نورد پودر با کشیدن قرقره در میان غلطک های مخصوص پس از اولین عملیات زیتترینگ	۲۴
شکل ۹: شمایی از ریخته گری دوغابی پودر فلزی	۲۶
شکل ۱۰. شمایی از فرایند MIM برای سرمت ها.	۳۰
شکل ۱۱. قالب و مکانیزم تزریق برای فرایند MIM	۳۱
شکل ۱۲: مقیاس تولید Mg ۲۲۵ (۲۵۰ تنی) پرس داغ خلا.	۳۳
شکل ۱۳: سه روش برای اکستروژن گرم مخلوط های پودر. (a) روش پودر شل. (b) روش شمشال. (c) روش قوطی فولادی.	۳۶
شکل ۱۴: شمایی سیکل نمودار برای موم گذاری با فشار پایین وزیتترینگ با فشار بالا.	۳۹
شکل ۱۵: مونتاژ قالب تراوش پره توربین از نوع سرمت.	۴۱
شکل ۱۶. شمایی از تشکیل سرمت ها که با صفحه کوچکی محکم شده و در اثر تراوش حاصل ی گردد. (a) تراوش زیر کونیم. (b) تراوش آلومینیوم	۴۳
شکل ۱۷: نیروهای عامل سطح در یک نقطه از فصل مشترک از مایع ساکن روی جامد	۴۵

- شکل ۱۸ : ریزساختار از سرمت های کاربید تیتانیم زیتر شده در خلا به مدت یکساعت و دمای ۱۴۰۰ درجه ی سانتیگراد (2550°F) در گرافیت. ۶۷
- شکل ۱۹ تاثیر دما روی خصوصیات استحکام از سرمت های اکسید آلومینیوم - کروم.. ۵۳
- شکل ۲۰: سختی دمای اتاق سرمت های کاربید عملیات حرارتی شده با اتصال های فلز آهن دار. ۶۲
- شکل ۲۱ : تصویر شفاف شده ذره کاربید در سرمت با اتصال فولادی. ۶۴
- شکل ۲۲ :سرعت های برش برای ۰,۰۷۵ میلیمتر (۰,۰۰۳ in) تغییرشکل دماغه در مقابل درصد اتمی از اتصال تیتانیم برای موادها شامل چهار سطوح مختلف از آلومینیوم. ۶۹
- شکل ۲۳ :مقاومت در مقابل تغییرشکل ابزار محتوی کاربید وانادیم از موادهای ابزار برش شامل ۰ یا ۵ درصد آلومینیوم.مواد برش فولاد ۴۳۴۰ با سختی HB ۳۰۰ ۷۰
- شکل ۲۴ : ترکیب مرجح از سرمت های کربونیتريد تیتانیم. ۷۱
- شکل ۲۵ :میکروساختار یک نمونه اسپینودال سرمت کربونیتريد تیتانیم. ۷۲
- شکل ۲۶ : شمایی از ریزساختار سرمت کربونیتريد تیتانیم. ۷۳
- شکل ۲۷ : تاثیر ترکیب اتصال فلز در استحکام گسیختگی عرضی از سرمت کربونیتريد تیتانیم. ۷۴
- شکل ۲۸ :مقایسه دامنه خوردگی دونوع سرمت و کاربیدهای سماتنه شده هنگام تراشکاری فولاد ۴۳۴۰ ۷۵
- شکل ۲۹ : تاثیر دما روی خواص حرارتی واستحکام سرمت های کاربید کروم. ۷۹

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱: تاریخچه ای از توسعه تولیدات سرمت و بازا ریایی آنها.....	۲
جدول ۲: روشهای شکل دادن سرمت.....	۸
جدول ۳: مقایسه ای از استحکام گسیختگی عرضی برای کاربردهای سمانته شده بعد از پرس ایزواستاتیک گرم و زیتترینگ فشاری.....	۳۹
جدول ۴: مقایسه و خصوصیات از سرمت های اکسید آلومینیوم.....	۵۲
جدول ۵: خصوصیات دی اکسید اورانیوم وزمینہ دلخواه فلزات در سرمت های سوخت راکتور هسته ای.....	۵۷
جدول ۶: خصوصیات سرمت های کاربرد با اتصال فولادی.....	۶۶
جدول ۷: کاربردهای از سرمت های کاربرد با اتصال فولادی.....	۶۷
جدول ۸: خصوصیات کاربرد تنگستن با اتصال فولادی.....	۷۶
جدول ۹: خصوصیات سرمت های کاربرد کروم.....	۷۸
جدول ۱۰: خصوصیات از موادهای انتخاب شده جاذب نوترون.....	۸۲
جدول ۱۱: خصوصیات از بوریدهای فلز و سرمت های با پایه بوراید.....	۸۵

فصل اول: تعریف و طبقه بندی سرمت ها

۱-۱- مقدمه:

سرمت، نامی اختصاری که در تمام جهان برای ترکیبی همگن که از فلزها یا آلیاژها یا یک یا چند فاز سرامیکی است که متشکل از تقریباً ۱۵ تا ۱۸ درصد از حجم آن است و انحلال پذیری نسبتاً اندکی بین فازهای فلزی و سرامیکی در دمای آماده سازی وجود دارد به کار می رود. تعریفی خوب از کلمه سرامیک را می توان در «فهرست سرامیکی» پیدا کرد. هر نوع محصول غیر عادی، غیر فلزی که در طول ساخت یا استفاده در معرض دمای بالا قرار می گیرد. بطور نمونه، اما نه منحصرراً، سرامیک یک اکسید، برآید، کاربرد فلزی، یا ترکیب یا مخلوطی از چنین موادی است؛ که در آنها آنیونهایی وجود دارد که نقش مهمی در ساختار و خواص اتمی بازی می کند.» با داشتن منبعی خاص در مورد سرمت ها، این تعریف از جزء سرامیکی می تواند تا مرزی گسترش یابد که شامل نیتريدها، کربونیتريدها و سیلیسیدها نیز بشود.

در دیدی وسیع، سرمت ها همانند نوع خاص مواد سخت و دیرگداز موجود در طبقه کلی، زمینه فلزی کامپوزیت ها هستند. در مقاله های علمی این موضوع پوشش خوبی داده شده است، به ویژه در طیف حجم شکستگی های خاص قابل مقایسه و اجزاء فلزی. در مقام مقایسه با لایه های کامپوزیت، ترکیب فلز و غیر فلز در سرمت ها در مقیاس بسیار ریز اتفاق می افتد. فاز غیر فلزی معمولاً غیر رشته ای است اما تعدادی دانه های ریز غیر هم محور تشکیل یافته که به خوبی در هم پراکنده شده و به زمینه فلزی چسبیده اند. در صورتی که جزء فلزی یا سرامیکی غالباً به صورت رشته ای می باشند، ماده باید به عنوان یک ماده ی کامپوزیتی در نظر گرفته شود. اتصال بین فاز غیر فلزی و زمینه فلزی اثرات مهمی را در بین سرمت ها ایجاد می کند؛ این مورد به شدت بر ارتباطات فازی، انحلال پذیری و ویژگی های مرطوب شدن که در ارتباط با اجزاء سرامیکی و فلزی هستند، تأثیر می گذارد. تفاوت در بین اندازه ی جزء سرامیکی به سیستم و کاربرد آن مربوط است. این میتواند ریزی ۵۰ تا ۱۰۰ میکرومتر باشد، همانگونه که در بعضی از انواع سرمت ها بر پایه ی دی اکسید اورانیوم (UO_2) که برای عناصر سوخت راکتور هسته ای استفاده می شوند یا به ریزی ۱ تا ۲ میکرومتر، که در نوع ریز ذرات کاربردهای سمانته شده وجود دارد. می باشد. در صورتی که جزء سرامیکی، کوچکتر و در اندازه های کمتر می باشد، ماده می تواند به عنوان طبقه ای از آلیاژ مقاوم شده تلقی شود و بنابراین از تعریف مورد قبول برای سرمت ها خارج می شود.

هدف اصلی از ترکیب فلز و سرامیک در مقیاس معمولی، دستیابی به کیفیت مورد نظر و حذف خواص نامناسب و ناخواسته هر دو نوع ماده است. مثال برجسته ای از خواص مطلوب که از مواد سرامیکی و فلزی حاصل می شود انواع فلزات سخت است که از کاربیدهای سماتنه ساخته می شوند. کاربیدهای سماتنه شده از رشدی دائمی در ۶ دهه ی گذشته برخوردار بوده اند. در طول این زمان، توسعه مواد ابزارهای ساخته شده از سرامت/ فلز سخت از کاربیدهای با پایه ی فلز تنگستن به مواد پیچیده ی کاربیدی و با پایه ی نیتريدی رفت (جدول ۱)

جدول ۱: تاریخچه ای از توسعه تولیدات سرامت و بازار ریابی آنها

Year	Composition	Trademark	Manufacturer
1930-1931	WC-Co	G1	Krupp-Widia
1930	TiC-Mo ₂ C-(Ni, Mo, Cr)	Titanit S	Metallwerk Plansee
1930	TaC-Ni	Ramet	Fansteel Corporation
1933	TiC-TaC-Ni	...	Siemens AG
1938-1945	TiC-VC-(Fe, Ni, Co)	...	Metallwerk Plansee
1949-1955	TiC-(NbC)-(Ni, Co, Cr, Mo, Al)	WZ	Metallwerk Plansee
	TiC-(Nb, Ta, Ti)C-(Ni, Mo, Co)	Kentanium	Kennametal
1952-1954	TiC-(steel, Mo)	Ferro-TiC	Sintercast (Chromalloy)
1960	TiC-(Ni, Mo)	...	Ford Motor Company
1970	Ti(C, N)-(Ni, Mo)	Experimental alloys	Technical University Vienna
1974	(Ti, Mo) (C, N)-(Ni, Mo)	Spinodal Alloy	Teledyne Firth Sterling
1975	TiC-TiN-WC-Mo ₂ C-VC-(Ni, Co)	KC-3	Kyocera
1977-1980	TiC-Mo ₂ C-(Ni, Mo, Al)	...	Ford Motor Company, Mitsubishi
1980-1983	(Ti, Mo, W) (C, N)-(Ni, Mo, Al)	...	Mitsubishi
1988	(Ti, Ta, Nb, V, Mo, W) (C, N)-(Ni, Co)-Ti ₂ AlN	TTI, TTI 15	Krupp-Widia

Source: Ref 4 and Kennametal, Inc.

بطور کلی سرامت ها برای کاربردهایی نظیر ابزار برش استفاده می شدند. در حدود ۴۵ سال پیش، آنها در کاربردهای دیگری نیز به ایفای نقش پرداختند همانند سیستم های پیشرانس (فشار به سوی جلو) از این مواد انتظار می رود که خواص سرامیک مانند رفتار دیرگدازی، مقاومت و پایداری در مقابل خوردگی، بطور مفیدی با بخش پایه ی فلزی که خواصی مانند شکل پذیری بالا، و هدایت حرارتی دارد همکاری نماید و دیگر اینکه بعضی از مواد عالی جدید برای کاربردهای با دماهای بسیار زیاد تولید شوند. متأسفانه با وجود تلاش های بسیار در ایالات متحده و اروپا در طول دهه ی ۱۹۵۰ این اهداف حاصل نشدند. میزان چکش خواری و سختی حاصل از بخش چسباننده ی فلزی برای بسیاری از کاربردهای حیاتی نظیر موتور توربو جت (هواپیمای جت توربین دار) و پره های جت ایستگاه گازی یا تیغه های نازل ها، ناکافی باقی ماند. هر چند که در موارد دیگر، سرامت ها، مواردی را برای مواد مورد استفاده در مهندسی بهبود بخشیدند، به خصوص در ابزارهای که بر پایه ی کاربید

تیتانیوم (TiC) یا کربونیتراید تیتانیوم (TiC,N) هستند، و نیز در بعضی از انواع عناصر سوخت هسته‌ای سرمت های بر پایه ی دی اکسید اورانیوم، به همان خوبی آنهایی که بر پایه ی کاربید اورانیوم (UC) هستند، امکان تبدیل شدن به سوخت هسته ای را دارند. سرمت های بر پایه ی بورید زیرکونیوم (ZrB₂) یا بورید سیلیکون (SiC) و بقیه که شامل اکسید آلومینیوم (Al₂O₃)، دی اکسید سیلیکون کاربید بور (B₄C) یا ترکیبات دیرگداز همراه با الماس هستند، خواص یکسانی دارند. بعضی ها بطور اقتصادی در طیف وسیعی از کاربردها که شامل ابزارهای ماشین کاری گرم، شفت ها و بدنه در پوش لوله های فلزی، اجزاء شیر فلکه و بخش های پوشاننده، لوله ها و فازل ها در معرض دماهای بسیار بالا، اجزاء موتور موشک، گیره های کوره و عناصر اصلی آن، چرخ های ساینده و سرمت های شامل الماس و دندانه های اره، می شود. بکار می روند.

یکی از کاربردهای مهم سرمت ها شامل مواد ابزار برش می باشد که از TiC,N یا TiC به عنوان فاز به شدت دیرگداز استفاده می کند. همچنین کاربید مولیبدن (MO₂C) و دیگر کاربیدها بر اساس فرمول بندی این سرمت ها ساخته می شوند. مقاومت به خوردگی و سایش لبه و دیواره مواد ابزار ساخته شده از سرمت TiC,N و TiC بهتر از همین خواص متعلق به ابزارهای کاربیده‌ای سماته شده معمول (که کبالت مخلوط با کاربید تنگستن است) می باشد. در مقایسه با ابزارهای برش سرامیکی، این سرمت ها اجازه ی برش سنگین را دارند که در سرعت بالا، نتیجه ی آن میزان بیشتری از فلز حذف شده در سطوح قابل مقایسه با عمر ابزار است. به روشنی سرمت ها دارای ویژگی های مواد ابزار برش هستند که قادر است فاصله بین کاربیده‌ای سماته شده معمولی و سرامیک ها را پر سازد.

یکی از کاربردهای صنعتی سرمت احیاگری مکانیکی است. یکی از نتایج حاصل از بازرسی های CM و خصوصاً آنالیز روغن وجود درصد بالای فلز در روغن آنالیز شده و نشان از وجود خوردگی فلزی است که در سطوح درگیر رخ می دهد.

سرمت که ماده ی ترکیبی از سرامیک و فلز است طبق تکنولوژی نوینی که در چند کشور جهان به ثبت رسیده است ساخته شده که به محلهای خوردگی همراه روانکار (روغن یا گریس) تزریق می شود. در صورتی که محیط انرژی لازم یعنی دما و فشار مناسب را جهت واکنش ها داشته باشد، سرمت باعث می شود ذرات فلز موجود در ماده روانکار به سطوح خورده شده باز گشته و به مرور زمان خوردگی ترمیم شده و علاوه بر آن سطحی بسیار صیقلی حاصل می شود.

در این روش نیازی به توقف تجهیز نبوده و تعمیر در حین کار و بهره برداری عادی تجهیز صورت می پذیرد.

اصطلاح "Revitalization" از واژه لاتین (vita) به معنی زندگی گرفته شده و به معنای احیای مجدد است. کشف پدیده احیا گری مبتنی بر فرایندهای فیزیکی و شیمیایی انحصاری است که تحت شرایط ویژه ای در ناحیه ی دارای اصطکاک رخ می دهد.

سرمت که ترکیبی از دو نام سرامیک و فلز است و حاوی یک نوع ماده اولیه و یک کاتالیزور است، انرژی اضافی حاصل از اصطکاک گرما و فشار را صرف تشکیل سطحی جدید بر روی قطعات می کند. فرایند احیا گری به محض آنکه شکل هندسی قطعه (یا قطعات دستگاه) ترمیم شده و به شکل اولیه بازگردد، پایان می یابد. با انجام عملیات احیا گری قطعاتی که در تماس با یکدیگر هستند با هم کاملاً انطباق می یابد. پس از احیا گری سطوح قطعات به مانند شیشه صیقلی می گردد. ضخامت این لایه های باز سازی شده بر روی قطعات فرسوده پمپها چند میکرون، در مورد موتور خودروها تا دهها میکرون و بر روی چرخ دنده ها تا صدها میکرون می رسد.

۱-۲- طبقه بندی:

سرمت ها می توانند بر طبق اجزاء دیرگدازشان طبقه بندی شوند. در این سیستم، رده های اصلی سرمت ها با حضور شش جزء مشخص می شود.

کاربیدها، کربونیتريدها، نیتريدها، اکسیدها، بوریدها و انواع مواد کربن دار.

فاز چسباننده ی فلزی می تواند از عناصر گوناگونی تشکیل شود، به صورت تنها و یا بصورت ترکیبی، مانند نیکل، کبالت، آهن، کروم، مولیبدن و تنگستن؛ همچنین می تواند شامل دیگر فلزات نیز مانند فولاد زنگ نزن، سوپر آلیاژها، تیتانیم، زیرکونیوم یا بعضی از آلیاژهای با نقطه ذوب پائین مس یا آلومینیوم نیز باشد. حجم کل فاز چسباننده تماماً به خواص مورد نظر و استفاده نهایی مورد نظر از ماده بستگی دارد. این حجم می تواند از ۱۵ تا ۸۵ درصد باشد، اما برای کاربردهای ابزار برش، بطور کلی، کمتر از نصف از مقدار کل نگهداشته می شود (برای مثال ۱۰ تا ۱۵ درصد از درصد وزنی) اتصال (پیوند) فلزی برای هر سرمت به منظور رسیدن به ساختار و خواص مورد نظر برای کاربردی خاص، انتخاب می شود. گروه فلزات آهنی و آلیاژهای آنها در طبقه ی فلزات سخت کاربرد تنگستن سمانته شده غالب هستند؛ نیکل و به میزان کمتر کبالت و آهن ترکیبات مطلوب را برای سختی بالا و چکش خواری خوب دارا می باشند.

با تمام این احوال، ماده چسباننده برای یک سرمت می تواند از گروهی از فلزات واکنش پذیر انتخاب شود مانند تیتانیم یا زیرکونیوم و یا می تواند از یک سری از فلزات دیرگداز که شامل کروم، نیوبیوم، مولیبدن و تنگستن می باشد، انتخاب شود. فلزات و آلیاژهای کمتر ذوب شونده و در

درجه اول آنهایی که بر پایه ی مس و آلومینیوم می باشند. از لیست چسباننده ها و از انتهای مقیاس حرارتی آن خارج هستند. با این وجود اغلب آلومینیوم در کامپوزیت های با زمینه فلزی وجود دارد.

۱-۲-۱- سرمت های با پایه ی کاربید:

سرمت ها با پایه ی کاربید بزرگترین دسته از سرمت ها هستند، حتی اگر لغت سرمت بسیار سخت گیرانه بکار رود و گستره ی وسیعی از کاربیدهای سماتنه شده بکار رفته در ابزار برش و بخش های پوشاننده بر پایه ی کاربید تنگستن (WC) را در نظر نگیرد. از زمان تکنولوژی سرمت، مفهوم برجسته به این صورت بوده است که این مواد بر پایه ی **TiC** به عنوان بخش سخت اصلی و نیز بخش دیر گداز هستند که با اتصال به یکدیگر، هر نوع از فلزات یا آلیاژهای شکل پذیر دیرگداز را تشکیل می دهند (بیشتر از آنچه برای کاربیدهای سماتنه شده تنگستن استفاده شده است).

سرمت های **TiC** کاربردهایی در ابزار و پوشش های مقاوم، همچنین در سیستم هایی که برای دماهای بالا و فشارهای زیاد بکار می روند همچنین در محیطهای خورنده استفاده می شوند. سرمت های با پایه ی **SiC** و **B₄C** که عموماً به عنوان کامپوزیت زمینه فلزی طبقه بندی می شوند اهمیت ویژه ای در صنایع به خصوص در پوشش ها و قسمت های ضد سایش و ضد خوردگی بدست آورده اند؛ همچنین این مواد در کاربردهای راکتور هسته ای نیز استفاده شده اند؛ موادی با پایه ی کاربید کروم (**Cr₃C₂**) برای انواع مختلفی از کاربردهای مقاوم به خوردگی و نیز به عنوان بلوک های مدرج و شاخص استفاده شده اند؛ با این حال به نظر می رسد که آنها بسیاری از استفاده های صنعتی خود را از دست داده اند.

۱-۲-۲- سرمت های با پایه ی کربونیتريد:

سرمت های با پایه ی کربونیتريد می توانند همراه با انواع مختلف کاربیدها یا بدون آنها تولید شوند (که **MO₂C** مهمترین است)؛ آنها با چسباننده های عادی کاربید سماتنه شده به هم چسبیده اند. در حال حاضر این مواد جزء اولین سرمت ها برای به کار برده شدن در ابزارها می باشند. مقاومت افزایش یافته ی آنها، که این مواد را برای ابزارهای برش با سرعت بالا مناسب می سازد، به دلیل بهبود چسبندگی بین دانه های سخت کاربید و فلز چسباننده است. بهبود چسبندگی نتیجه ای است از بهم آمیختن و اختلاط (بدون آنکه خواص آن تغییر کند) در سیستم های چهار گانه ی **TiC**، **MON**، **MOC**، **TiN** که سبب جابجایی بازگشتی در دو فاز هم ساختار می شود که بطور اساسی قابلیت مرطوب شدن چسب را بهتر می کند.

۱-۲-۳- سرمت های با پایه ی نیتريد:

سرمت های با پایه ی نیتريد یک طبقه ی خاص از مواد سازنده ی ابزار را تشکیل می دهند. نیتريد تیتانيم و به خصوص نیتريد بور مکعبی (CBN) در صورتی که با یک ماده ی چسباننده ی سخت ترکیب شوند، ابزارهای برش بسیار عالی را تولید می کنند. نیتريد تیتانيم و نیتريد زیرکونیوم (ZrN) که خود را به عناصر سخت فلزی متصل کرده اند، برای مقاصد، مقاوم به فرسایش و نیز مقاوم به گرمای خاص تولید می شوند.

۱-۲-۴- سرمت های با پایه ی اکسید:

سرمت های با پایه ی اکسید دسته ای را تشکیل می دهند که UO_2 و یا دی اکسید توریوم (ThO_2) را شامل می شود که برای اجزاء شکاف هسته ای در عناصر سوخت آن به کار می روند؛ Al_2O_3 یا دیگر اکسیدهای بسیار دیرگداز برای سازندگان و کسانی که با فلزات بصورت مایع سرو کار دارند (برای مثال مجرای جریان فلز مذاب) و نیز بخش های دیگر کوره استفاده می شود؛ و SiO_2 که برای عناصر اصطکاکی مناسب است. مخلوط Al_2O_3 با TiC برای ابزار ماشین کاری به روش گرم مناسب است.

۱-۲-۵- سرمت های با پایه ی بوراید:

سرمت های با پایه ی بوراید، فاز غالبشان بوراید یکی از فازهای انتقالی است. این سرمت ها مقاومت در مقابل سایش و دماهای بالایی را برای کار به همراه فلزات فعالی مانند آلومینیوم در حالت ذوب شده یا بخار ایجاد می کنند. ترکیبی از ZrB_2 و SiC در مقابل فرسایش ناشی از گازهای شیمیایی پیشران موشک ها مقاوم است.

۱-۲-۶- سرمت های محتوی کربن:

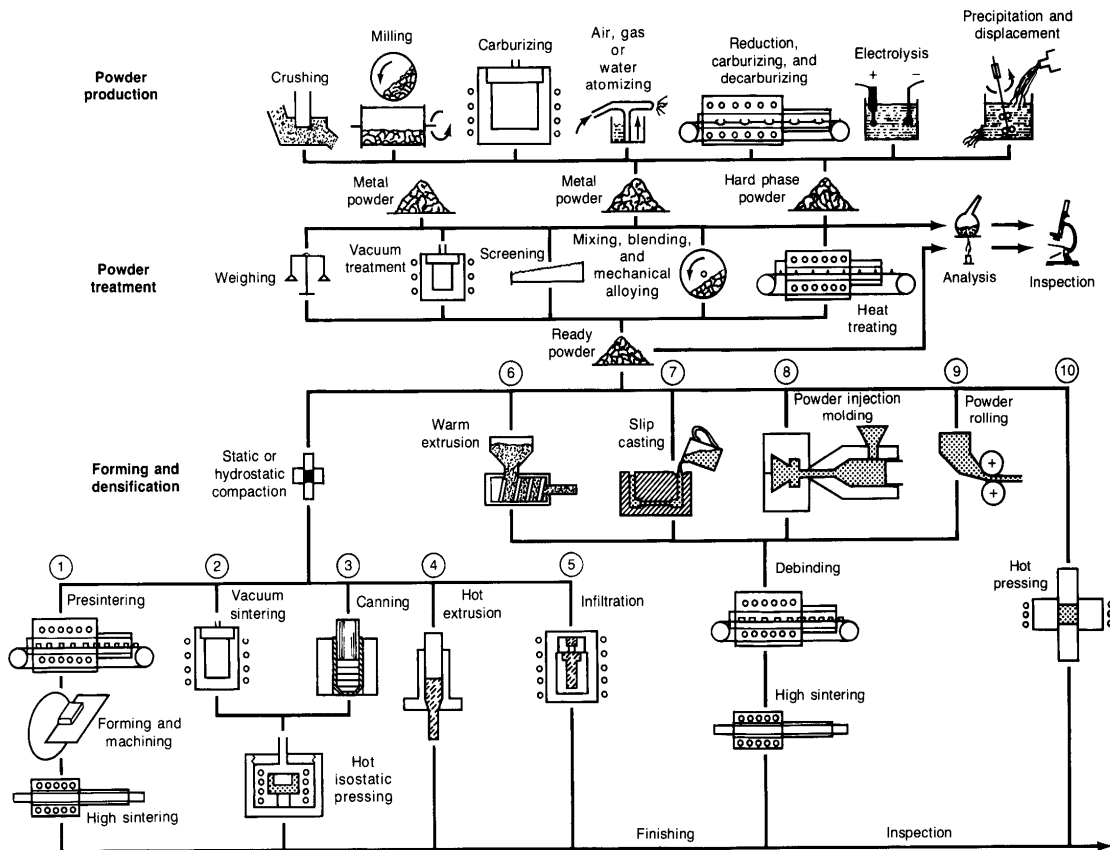
سرمت های محتوی کربن، موادی هستند که شامل گرافیت به نسبت های مختلفی می باشند. این مواد برای رنگ ها و اتصالات الکتریکی یا به عنوان بخش تشکیل دهنده ی کوچکی که روانکاری را در عناصر سایشی ایجاد می کنند استفاده می شوند. همچنین در این رده قطعات الماس درون زمینه فلزی وجود دارد که برای ابزار خاص استفاده می شود.

فصل دوم : تکنیک های ساخت و تولید سرمت

۲-۱- مقدمه

روش های استفاده شده برای آماده سازی پودر، شکل دادن، حرارت دادن یا زیتترینگ و عملیات شکل دهی سرمت ها بسیار شبیه به سرامیک و فرایندهای متالورژی پودر (P/M)^۱ است. شکل ۱، یک نمودار از روش های متالورژی پودر (P/M) قابل استفاده مختلف برای سرمت ها است. جدول ۲ ویژگی های نسبی روش های تشکیل دهنده اصلی را که در تولید پایه ی کاربرد و بیشتر دیگر انواع سرمت ها بکار می رود، خلاصه کرده است. فرایندهای اصلی شکل دهی سرد (آهنگری سرد) و زیتترینگ، زیتترینگ فشاری و تراوش (در متالورژی به کشیده شدن فلز مایع به داخل خلل و فرج فلز دیگر توسط نیروهای پیوستگی گفته می شود) می باشند. فرایند فشار کاری سرد شامل فشردن سازی به روش تمام محوره ی هم فشار و نیز فشار تک محوره می شود. ترکیبات پودری در فشار ۳۵ تا ۱۰۰ مگاپاسکال (14/5 ksi تا 5) فشردن می شوند. روش اصلی شامل فشار دادن پودری است که با واکس روغن کاری شده (البته به روش خشک) در قالب های فلزی محکم با دو صفحه ی پرس کننده ی رو به روی هم، برای میله های دراز یا لوله ها با سطح مقطع یکسان، این قالب ها توسط روش اکستروژن که ذرات پودر در چسب یا واکس آلی مناسب قرار داده شده اند، استفاده می شوند. برای ساخت شکل های پیچیده بزرگ، پودر خشک در قالب قابل انعطاف قرار داده می شود و از همه ی جهات با فشار هیدرواستاتیک ناشی از یک سیلندر فولادی تقویت شده و محکم بسته شده، فشردن می شود.

^۱ Powder Metallurgy



Production method	Products	Production method	Products
1. Presintering	Cemented-carbide parts and cermet	6. Warm extrusion	Cemented-carbide rods or other slender cermet parts
2. Vacuum sintering	Steel-bonded carbides (standard pieces) and cermet	7. Slip casting	Cermet with high proportions of hard phase
3. Canning	Steel-bonded carbides (special pieces)	8. Powder injection molding	A wide variety of cermet compositions
4. Hot extrusion	Aluminum cermet with moderate amounts of hard-phase additions	9. Powder rolling	Aluminum, copper, and other nonferrous metals with moderate additions of hard-phase components
5. Infiltration	TiC parts with nickel- or cobalt-base infiltrants and other cermet with about 55-85 vol% hard phase	10. Hot pressing	A wide variety of cermet compositions

شکل ۱: روشهای متالورژی پودر تولید سرمت و کاربیدهای سماته

جدول ۲: روشهای شکل دادن سرمت

Technique	Size capability	Shape capability	Mold or die requirements	Production	
				Rate	Labor
Static cold pressing	Limited by press capacity	Prismatic shapes without undercuts	Hardened steel or carbide dies	High	Low to moderate
Hydrostatic cold pressing	Limited by capacity of pressure vessel	Simple or complex shapes	Rubber molds	Low	High
Powder rolling	Limited width, long length	Flat and thin	...	High	Low
Warm extrusion	Limited by equipment size	Long pieces with uniform cross section	Hardened steel or carbide dies	High	Low
Powder injection molding	Small pieces	Complex shapes with undercuts	Hardened steel or carbide dies	High	Low
Static hot pressing	Limited by press capacity	Prismatic shapes without undercuts	Graphite or ceramic molds	Low	High
Hot isostatic pressing	Limited by capacity of pressure vessel	Simple or complex shapes	...	Medium	Low to high
Hot extrusion	Depending on press capacity	Long pieces with uniform cross sections	Alloy steel dies	High	Low
Infiltration	Depending on equipment	Intricate shapes feasible	Graphite and ceramic molds	Low	High

۲-۲- آماده سازی پودر:

اولین گام در فرایند تولید سرمت، مخلوط کردن و آسیاب کردن پودرهای تشکیل دهنده است. این مخلوط تشکیل شده از ماده ی که فاز سخت را تشکیل می دهد در حالت پودر و فلز یا فلزات خاص به نسبت های مناسب و لازم برای ترکیب چسب آلیاژ که در آسیاب گلوله ای، آسیاب می شوند.

گلوله ها از کاربرد تنگستن یا بهتر از آن از یک سرمت بسیار زینتر شده ساخته می شوند. آسیاب می تواند با همان نوع از مواد سرمت برای کاهش امکان ترکیب شدن با آلودگی ها، همجنس باشد. علاوه بر آسیاب های گلوله ای مرسوم، آسیاب های گلوله ای سوزان پر انرژی و آسیاب های ساینده نیز استفاده می شوند. با انواع جدیدتر آسیاب ها، مواردی مانند زمان آسیاب کردن مواد، انرژی و فضای اشغال شده می تواند کاهش یابد. در طول فرایند آسیاب کفی، ذرات فاز سخت خرد شده و کاملاً با فلز چسباننده پوشانده می شوند. از مایعات آلی مانند هگزان در این فرایند استفاده می شود تا سرعت افزایش دما را تقلیل دهد و از اکسید شدن مواد جلوگیری نماید. پس از اینکه پودرها تا اندازه ی ۳۲۵ مش بندی و یا کمتر از آن آسیاب شدند، مخلوط پیش از هر فرایند و استفاده ی دیگری خشک می شود. سپس یک ماده ی روانکار اضافه شده و مخلوطهای پودری برای فشردن شدن در دستگاه پرس خودکار به منظور تشکیل ذرات بزرگتر (**agglomerate**) آماده می شوند تا بتوانند به راحتی از دهانه ی محفظه ی خوراک دستگاه جاری شود.

۲-۳- زینترینگ:

همه ی سرمت ها به زینترینگ فاز مایع نیاز ندارند، اما تقریباً اکثر آنها برای تبدیل قطعه ی جدید به جامد، محکم و یک محصول قوی از این فرایند استفاده می کنند. به هنگام زینتر کردن قطعات فشرده شده از مخلوط پودرها بسته به پارامترهایی نظیر ترکیب شیمیایی دقیق مخلوط پودر، دمای زینتر یا حتی نرخ گرم کردن تا آن دما، شرایط برای برقراری مکانیزم های آلیاژ سنگین، زینتر به همراه فاز مذاب یا حتی زینتر در حالت جامد فراهم می شود. قطعات فشرده شده از مخلوط پودرهای آهن - مس، حاوی مقدار مسی کمتر از حد حلالیت آن در آستنیت، را می توان در دمای زینتری بیش از نقطه ذوب مس زینتر کرد بدون آنکه فاز مذاب به وجود آید مثلاً آلیاژی از **Fe%93**، **Cu%7** را می توان خیلی آهسته تا دمای زینتر ۱۱۵۰ درجه سانتیگراد گرم کرد به طوریکه بدون تشکیل فاز مذاب محلول جامدی از مس در آهن به وجود آید، به ویژه اگر اندازه ذرات پودر ریز باشد یعنی فاصله دیفیوژن خیلی کوچک باشد این را میتوان زینتر در حالت جامد بر اثر دیفیوژن

داخلی به حساب آورد. اگر قطعات فشرده شده خیلی سریع گرم شوند، شرایط زینتر به همراه فاز مذاب گذرا بر قرار خواهد شد، یعنی مادامی که قطعه فشرده شده تا دمای زینتر گرم می شود مذاب به وجود می آید ولی در عین زینتر به سبب دیفیوژن داخلی نا پدید می شود. آلیاژهای آهن-مس حاوی مقدار مس بیشتر از حد حلالیت مس در آستنیت در دمای زینتر (تقریباً $Cu\%7/5$ در ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد) به عنوان مثال های کلاسیک برای فرایند زینتر به همراه فاز مذاب انتخاب شده اند، که طی فرایند زینتر، فاز مذاب پایدار است قطعات در فاصله انجماد سیستم آلیاژی زینتر می شوند و در طی تمامی مرحله زینتر نا همگن هستند. دماهای زینترینگ تماماً به سیستم سرامیک- فلز مربوط هستند و به انتخاب بین فاز جامد و مایع در زینترینگ ارتباط دارند. دماهای نمونه برداری محصولاتی که زمینه ی آنها شامل برنز، نقره یا مس است از ۸۵۰ تا ۱۰۵۰ درجه ی سانتیگراد (۱۵۶۰ تا ۱۹۲۰ درجه ی فاز نهایت)، برای کاربردهای سماتنه شده ۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه ی سانتیگراد (۲۳۷۰ تا ۲۷۳۰ درجه ی فاز نهایت) است برای کاربردهایی که به ماشینکاری ریز یا دانه بندی نیاز دارند مانند بسیاری از ابزارها و قطعات کاربرد سماتنه شده، پیش زینتر کردن در دمای ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه ی سانتیگراد (۱۸۳۰ تا ۲۰۱۰ درجه ی فاز نهایت) نیاز است تا نقاط تماس فلزی بتواند اتصال یابد و مقاومت کافی در بدنه ایجاد شود تا جسم بتواند ماشینکاری زبر و خشن را تحمل کند. این کار برای مواد منقبض شونده که در طول مدت پس از زینترینگ انقباض در آنها روی می دهد انجام می شود. بسته به چگالی جسم تازه، قطعات سرمت می توانند در هنگام زینترینگ فاز مایع تا ۱۸ الی ۲۵ درصد به صورت خطی (۴۵ تا ۶۰ درصد) صورت حجمی، منقبض و کوچک شوند. در سیستم های با توانایی زینترینگ عالی، واقعاً تمام تخلخل از بین می رود.

در طول هر فرایند زینترینگ، به ویژه در هنگام فرایند فاز مایع، بسیاری از پدیده های متالورژیکی پیچیده روی می دهند که به دما، جو درون کوره (هیدروژن، گاز خشی یا خلأ) و دینامیک سیستم فلز- سرامیک خاص بستگی دارند. پدیده ای که در طول مدت زینترینگ سیستم WC-CO مشاهده شده برای مدت بسیار طولانی ای طول می کشد. به هنگام گرم کردن قطعه فشرده شده ی حاصل از مخلوط پودرهای کاربرد تنگستن در کبالت یک فاز مذاب در اثر واکنش بین آنها به وجود می آید. بنابراین، زینتر کردن کاربردهای سماتنه مثالی از زینتر به همراه فاز مذاب است. مقاله های علمی معتبر در مورد سیستم پایه و بسیاری از آلیاژهای مختلف آن موجود است.

۲-۳-۱- مکانیزم زیتترینگ به همراه فاز مایع:

برای معرفی مهمترین مشخصه های زیتتر کردن به همراه فاز مذاب که در آن مکانیزم آلیاژ سنگین برقرار است باید به مقاله مربوط به زیتتر کردن آلیاژ های سنگین تنگستن، نیکل، مس مراجعه کرد که در زمینه سرمت ها قابل کاربرد است این فرایند زیتترینگ به همراه فاز مایع شامل مشخصه هایی به شرح زیر است:

- ترکیب شیمیایی طوری انتخاب می شود که ماده ای که در طی زیتتر کردن درحالت جامد باقی می ماند، در فاز مذاب، محلول باشد.

- دمای زیتتر کردن باید تا حد ممکن زیاد باشد تا مقدار قابل ملاحظه ای فاز مذاب به وجود آید در دمای بیش از آن، چگالی قطعه به سرعت افزایش می یابد.

- اندازه ذرات پودری که به عنوان فاز جامد عمل می کند، مهم است. چگالی پودری با ذرات ریز سریع تر و کامل تر افزایش می یابد.

- چگالی نهایی مستقل از فشار تراکم است. برای رسیدن به چگالی تئوری، قطعات تحت فشار کم بیشتر از هنگامیکه تحت فشار زیاد هستند متراکم می شوند.

- ریز ساختار، رشد دانه ها را هنگامیکه با اندازه ی ذرات پودر فاز سخت اصلی مقایسه می شوند نشان می دهد. این رشد دانه می تواند ارزیابی شود و خود مستقل از زمان و دمای زیتترینگ است.

هنگامیکه ذرات فاز سخت اصلی گوشه دار هستند (برای مثال کاربید تیتانیم)، می توانند در مدت فرایند زیتترینگ گرد شوند. هر چند که این مورد همیشه وجود ندارد زیرا بعضی از مواد سخت گوشه دار (برای مثال کاربید تنگستن) به نظر می رسد که حافظه شکلی داشته باشند یعنی شکل خود را بعداً به دست می آورند. در طول رسوب گذاری دوباره ی عناصر حل شده در فاز مایع در مدت سرد شدن، قطعات گوشه دار کج و معوج به شکل ذرات فاز سخت این مواد در می آیند. در آنالیز مکانیزم زیتترینگ به همراه فاز مایع برای افزایش چگالی و رشد ذرات جامد سه مرحله منظور می شود:

۱- مرحله جریان مذاب یا آرایش مجدد،

در این مرحله پس از پیدایش مذاب و به دنبال فرو پاشی پلهای مذاب بین ذرات و آرایش مجدد ذرات جامد، که به مفهوم لغزش آنها بر روی یکدیگر است، بر اثر فشار ناشی از خاصیت موئینگی چگالی افزایش می یابد.

۲- مرحله حل سازی_ رسوب مجدد یا مرحله ی تطابق،

در این مرحله چگالی هرچه بیشتر افزایش می یابد، ذرات فاز جامد بر اثر حل سازی و رسوب مجدد و فرآیند تلفیق^۱ رشد می کنند.

۳- مرحله زینتر کردن در حالت جامد،

تنها در این مرحله، افزایش آرام و هر چه بیشتر چگالی امکانپذیر است.

۲-۳-۲- کوره ها:

کوره های زینتر در سه بخش عرضه شده اند. کوره های مداوم برای زینتر کردن قطعات ساختمانی ، یاتاقانهای خودروغنکار به تعداد انبوه و گاهی کاربیدهای سماتنه در اتمسفرهای محافظ. کوره های غیر مداوم برای زینتر کردن قطعات فشرده شدن از پودرهای فلزات دیرگداز و آلیاژ های آنها، قطعات فشرده شده از کاربید سماتنه در اتمسفرهای محافظ به سایر پودرهای فلزی که زینتر کردن آنها در کوره های مداوم غیر عملی یا غیر اقتصادی است. کوره های زینتر خلأ ، شامل انواع مداوم و غیر مداوم است که برای زینتر کردن قطعات ساختمانی، کاربیدهای سماتنه ، فلزات دیرگداز و مغناطیس های آلنیکو استفاده می شود. کوره های زینترینگ پیوسته با دمای بالا سالیان بسیاری در صنایع کاربید سماتنه شده و فلزات دیرگداز استفاده شده اند. آنها با جوی از هیدروژن یا اتمسفر حفاظتی با نقطه ی شبنم (دمایی که در آن بخار آب میعان می یابد) پایین، برای کم کردن اکسیژن موجود در قطعات و جلوگیری از اکسید شدن آنها مجهز شده اند تقریباً موفقیت آمیز بوده اند و برای زینترینگ قطعات کوچک و به تعداد زیاد استفاده می شوند. کوره های غیر مداوم خلأ نیز در ۳۰ تا ۴۰ سال اخیر بسیار محبوب و فراگیر شده اند. هنگامی که بین کوره های نوع فشارنده ی پیوسته و کوره های نوع غیر مداوم قابلیت انتخاب وجود دارد، تجهیزات و هزینه های عملیاتی، نوع آن را تعیین می کند. یکی از دلایل اساسی برای جالب توجه بودن زینتر در خلأ این است که انرژی مورد نیاز برای فراهم کردن اتمسفر محافظ واقعاً زیاد است و ممکن است بیش از نصف انرژی کل لازم برای زینتر کردن باشد. زینتر کردن در خلأ به طور قابل ملاحظه ای کل انرژی مصرفی فرایند کاهش می دهد.

سطح بهینه ی خلأ در طول زینترینگ فاز مایع فرق می کند و به مقدار زیادی به سیستم چسباننده ی فاز سخت که اعمال شده بستگی دارد. در طراحی بعضی از کوره های پیشرفته برای عملیات اولیه از یک جو هیدروژن استفاده می شود که قادر است برای عبور به مرحله ی بعد در

^۱ Coalescence Process

چرخه ی زیترینگ به خلأ تغییر یابد. بعضی دیگر یک چرخه ی فشار متناوب از هیدروژن و به دنبال آن خلأ ایجاد می کنند.

۲-۴- پرس کاری سرد بصورت ایستا^۱:

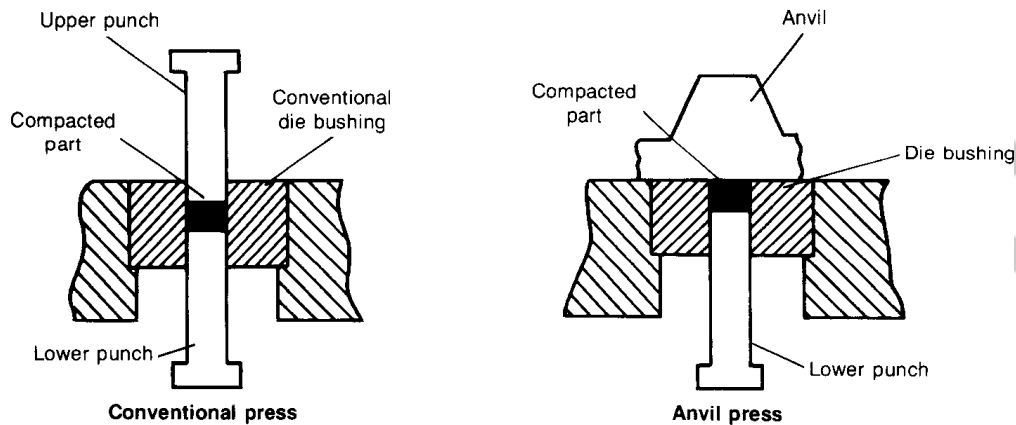
روش های پرس کاری سرد برای مخلوط های پودری سرمت عموماً همان روش های فشرده سازی پودر شناخته شده مورد استفاده در متالورژی پودر مرسوم می باشند. قسمت های کوچک سرمت مورد نیاز به خاطر مقدار زیادشان در قالب های سخت فلزی مخصوص توسط دستگاه های پرس خودکار با فک های متحرک مقابل هم فشرده می شوند (شکل ۲). بسته به حالت جامد یا دانه دانه بودن، قالب ها در محفظه های فولادی قوی، سخت و مورد عملیات حرارتی قرار گرفته منقبض می شوند.

چرخه فشرده سازی خودکار شامل پر کردن قالب ها از پودر، فشار به پودر، خروج جسم فشرده و جدا کردن آن است. دو روش برای خارج کردن جسم فشرده از قالب استفاده می شود. در اولین روش، فک پائینی به سمت بالا حرکت می کند و انتهای قطعه تحت فشار را به سطح قالب در بالای آن هل می دهد. در دومین روش، قالب به سمت پائین کشیده می شود تا حدی که فک پائینی در کنار لبه ی بالایی قالب قرار گیرد (شکل ۳).

روش دوم مورد علاقه ی بسیاری از متخصصان است زیرا این روش به ساختمان دستگاه اجازه می دهد که کوچکتر و با ابزارهای ارزانتر باشد و نیز به دلیل اینکه در طول عمل خارج کردن قطعه فشرده ی شکننده، احتیاط بیشتری از قطعه صورت می گیرد.

نوع دیگری که مورد توجه قرار گرفته، به ویژه برای فشرده سازی سرمت های شکننده، روشی به نام فشرده سازی با فک ثابت نامیده شده است (شکل b-۲). در این روش، پودر بر روی فک ثابت با حرکت رو به بالای فک متحرک پائینی فشرده می شود. سپس فک ثابت برداشته می شود تا قطعه فشرده شده با دامه ی حرکت رو به بالای فک زیرین خارج شود. به خاطر اینکه این روش پرس کاری سرد یک روش پرس کاری تک حرکتی است، حرکت تنها یک فک پرس تنها برای قطعات نسبتاً باریک مورد قبول است. هنوز هم در بعضی جاها، پرس با یک فک هزینه های دستگاه را کاهش می دهد علاوه بر آن مسیر خروج قطعه را به حداقل ممکن کم کرده که یک عامل مهم برای سرمت های شکننده است.

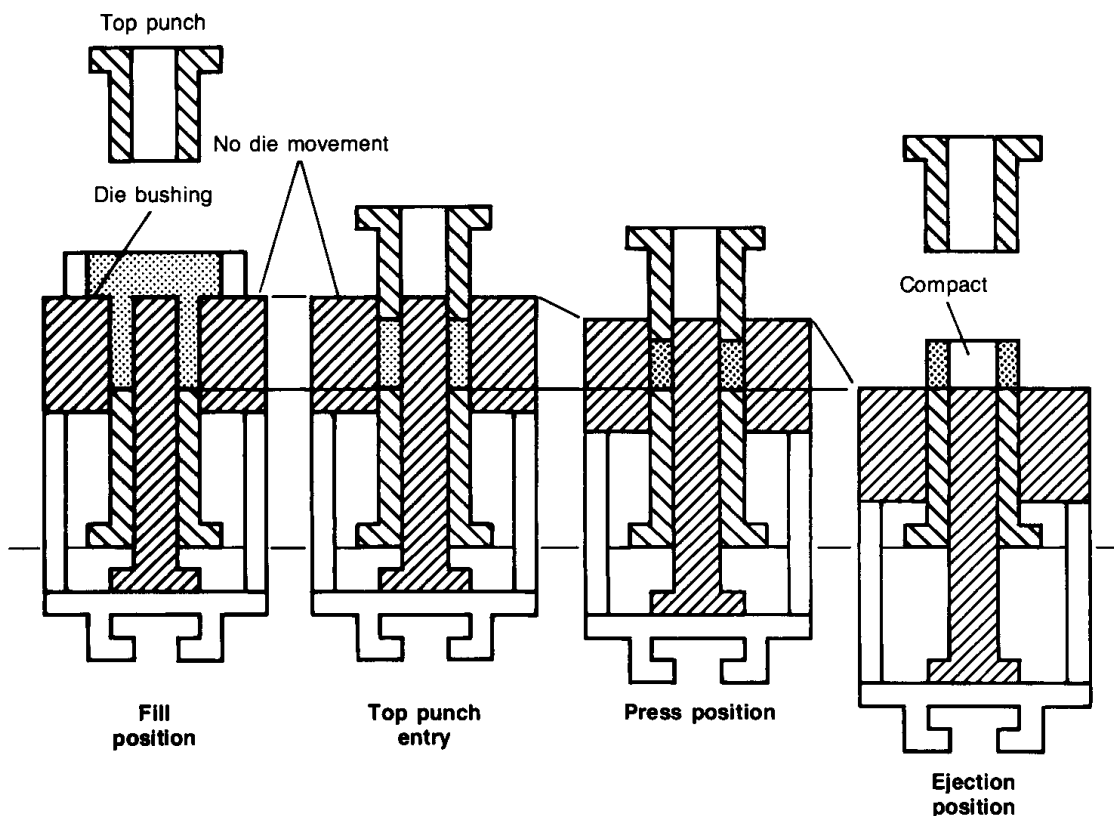
^۱ Static Cold Pressing



(a)

(b)

شکل ۲: پرسکاری سرد بصورت ایستا با (a) پرس معمولی از دو طرف (b) پرس با فک ثابت. در پرس با فک ثابت پانچ بالای وجود ندارد، بنابراین نامیزانی، شکستگی و مسئله سایش همراه با آن پانچ ها حذف می گردد.



شکل ۳: بازگیری سیکل پرس با کنترل کردن حرکت قالب (با لا و پایین فشار)

قطعات مستطیلی متوسط تا بزرگ با دستگاه های پرس هیدرولیک و درون قالب ها تمام مقطع و در کنار هم بوسیله قالب های فولادی قدرتمند نگاه داشته می شوند. این قالب ها قادرند نسبت به

نیروهای بزرگ درونی که به توده ی پودر اعمال می شود واکنش نشان داده و آنرا به صورت شعاعی به مقاطع قالب انتقال دهند. اغلب، پس از تکمیل چرخه، قالب ها برای خارج کردن با احتیاط سرمت های فشرده شکننده، باز می شوند. برای قطعات گرد، ترجیح داده می شود که از پرس های دو طرفه ی هیدرولیک با عملکرد خارج سازی درونی استفاده شود.

این پرس ها می توانند. یکی از هر دو روش خارج سازی بکار روند:

• در صورتی که قالب بر روی یک صفحه شناور فعال هیدرولیکی نصب است، یک عملکرد پرس تکی اثر یک پرس دو طرفه را به راحتی فراهم خواهد کرد. در این مورد عمل خارج سازی با روش فشار دهی انجام می شود.

• هنگامی که یک پرس دو گانه ی (با دو فک متحرک) قدرتمند موجود است (به طور واضح باید این ماشین سنگین تر و گرانتر از پرس تک فکی باشد)، قالب می تواند بر روی صفحه ای ایستگاهی نصب گردد. قطعه فشرده با بالا آمدن فک پائینی تا سطح لبه ی قالب در هنگام کامل شدن سیکل فشار، خارج می گردد.

فشرده سازی سرد سرمت با شکل های ساده، عموماً در هنگام استفاده از مخلوط های پودری روغنی مناسب، ابزارهای به خوبی طراحی شده و فشارهای یکنواخت، نتایج خوبی بدست می دهد. حتی هنگامی که قطعات فشرده شده شکننده می باشند، باید محکم بوده، مقاومت ماسه ای تر کافی باشد و لبه ها به خوبی شکل گرفته باشند و تورم ریختگی (لایه نازک غیر فلزی در جسم ریختگی) یا دیگر عیب های درونی را نداشته باشد. در ارتباط با ترکیب سرمت، مشکلات عمل فشرده سازی می تواند در هنگام نیاز به ویرایش در تجهیزات یا فرایندها بروز کند. بطور کلی، بخش بزرگ تر از فاز سخت بیشترین مشکلات را در طول عمل فشرده سازی ایجاد می کند؛ این مشکلات تا بعد از زیتترینگ آشکار نمی شود. همچنین می توان انتظار ایجاد مشکلات بیشتری را با سرمت های با پایه ی آهن، نیکل یا کبالت نسبت به انواع نرم تر مانند بیشتر ترکیبات چکش خوار با پایه ی آلومینیوم، داشت. قطعات بزرگتر، چه از نظر قطر و چه از نظر ارتفاع، مشکلات موجود در ساخت را شدیدتر می کند. حفره های هوایی، پل بستن (منجمد شدن بار در قسمتی از قالب قبل از منجمد شدن فلز زیر آن)، تورم ریختگی، فضاهای خالی پشت سر هم و چگالی متغیر در طول قطعه ی فشرده، فقط تعداد اندکی از مشکلات هستند که در فشرده سازی سرمت ها به روش سرد با آنها مراجعه می شویم.

بعضی از این مسایل را می توان با اضافه کردن مقدار بیشتری روانساز به ترکیب، با افزودن به قسمت بالای قالب فشرده سازی یا با کم کردن سرعت فرایند فشرده سازی، حل کرد. روغن کاری دیواره ای قالب بین قطعات پرس شونده اغلب به حذف مشکلات خارج کردن قطعه فشرده یاری می

رساند بارگیری اولیه مناسب قالب و پوشاندن قالب در جهت فشرده شدن، دیگر روش هایی هستند که به حل مشکلات یاری می رسانند. حتی برای ساده ترین شکل ها، مانند استوانه ای یا چهارگوش با یک سطح خالی، تمام مشکلات پیش رو را نمی توان با روش پرس سرد فشاری معمول حل کرد. این یکی از دلایلی است که چرا متخصصان متالورژی پودر (P/M) بیشتر از بقیه فرایندهای شکل دهی پیچیده تر را برای ساختن محصولات گوناگون به کار می برند.

۲-۵- عمل فشارش هیدرواستاتیک (همه جانبه) سرد^۱:

قطعات فشرده سرمت با کیفیت بالا به تراکم یکسانی در تمام نقاط خود نیاز دارد. در این روش فشار بطور همزمان و هم شکل از همه ی جهات به مرکز گرانی توده ی پودر وارد می شود در حالی که تمام اصطکاک پودرها با دیواره ی قالب بطور کامل حذف شده اند. به منظور فشرده کردن شکل های ساده و یا حتی نسبتاً پیچیده با این روش، پودرهای خشک درون یک قالب انعطاف پذیر ریخته شده و آنرا پر می کند. پودرها خرد می نشینند و هوا به طریقه ی لرزاندن خارج می شود سپس قالب کاملاً بسته شده و درون ظرفی استوانه ای از جنس فولاد تقویت شده که با یک سیال پر شده است قرار داده می شود. پس از بسته شدن ظرف، فشار هیدرولیک افزایش می یابد، که به موجب آن پودر داخل قالب فشرده می شود. دو روش فشارش هیدرواستاتیک برای فشردن سرمت ها استفاده می شود که عبارتند از روش کیسه مرطوب و روش کیسه خشک. در روش کیسه مرطوب یک یا تعداد بیشتری از قالب های پر شده از پودر درون یک ظرف فشار هیدرواستاتیک قرار می گیرد (شکل 4). قالب پر شده از پودر انعطاف پذیر است و درون یک محفظه ی سوراخ دار به منظور نگهداری آن جای می گیرد. درون ظرف، قالب محتوی پودر کاملاً با سیال هیدرولیک احاطه شده است. بسته به اندازه ی ظرف و خود قالب، اغلب تعدادی از قالب ها می توانند درون ظرف قرار داده شده و همزمان فشرده شوند.

کل فرایند، بارگیری ظرف با یک یا چندین قالب، زیاد کردن و نگه داشتن فشار و باز کردن ظرف و تخلیه ی آن، نسبتاً آهسته صورت می گیرد. علاوه بر این که، پر کردن قالب، جمع و جور کردن قالب و بار کردن قالب ها درون ظرف فشار، و بار برداری و خارج کردن قطعات تحت فشار قرار گرفته پس از کامل شدن فرایند آهسته هستند، فرایندهای دستی مورد نیاز باید دقیق و همراه با جزئیات انجام شوند.

^۱ Cold Hydrostatic Pressing

روش فشارش کیسه ی خشک از یک قالب انعطاف پذیر که کاملاً در یک ظرف فشار بسته و مهر و موم شده است استفاده می کند(شکل ۵). پس از اینکه محفظه ی قالب با تعداد کنترل شده ای از پودر پر شد، صفحه ی در پوش بسته شده و فشار هیدرولیکی اعمال می شود. پس از، از بین رفتن فشار قطعه خارج شده و یک چرخه ی جدید دوباره آغاز می شود. روش فشارش با کیسه ی خشک فرایند تولیدی بسیار سریعتری نسبت به روش فشارش کیسه مرطوب دارد و نیز این امکان را دارد که خودکار شود. بیشتر این تکنولوژی برای تولید قطعات سرامیکی یا شکل نزدیک به شبکه ایجاد شده. برای مثال، بدنه ی شمع اتومبیل. نصب هر قالب خشک به مهندسی و بررسی خاص نیاز دارد.

۲-۵-۱- امتیازها و معایب:

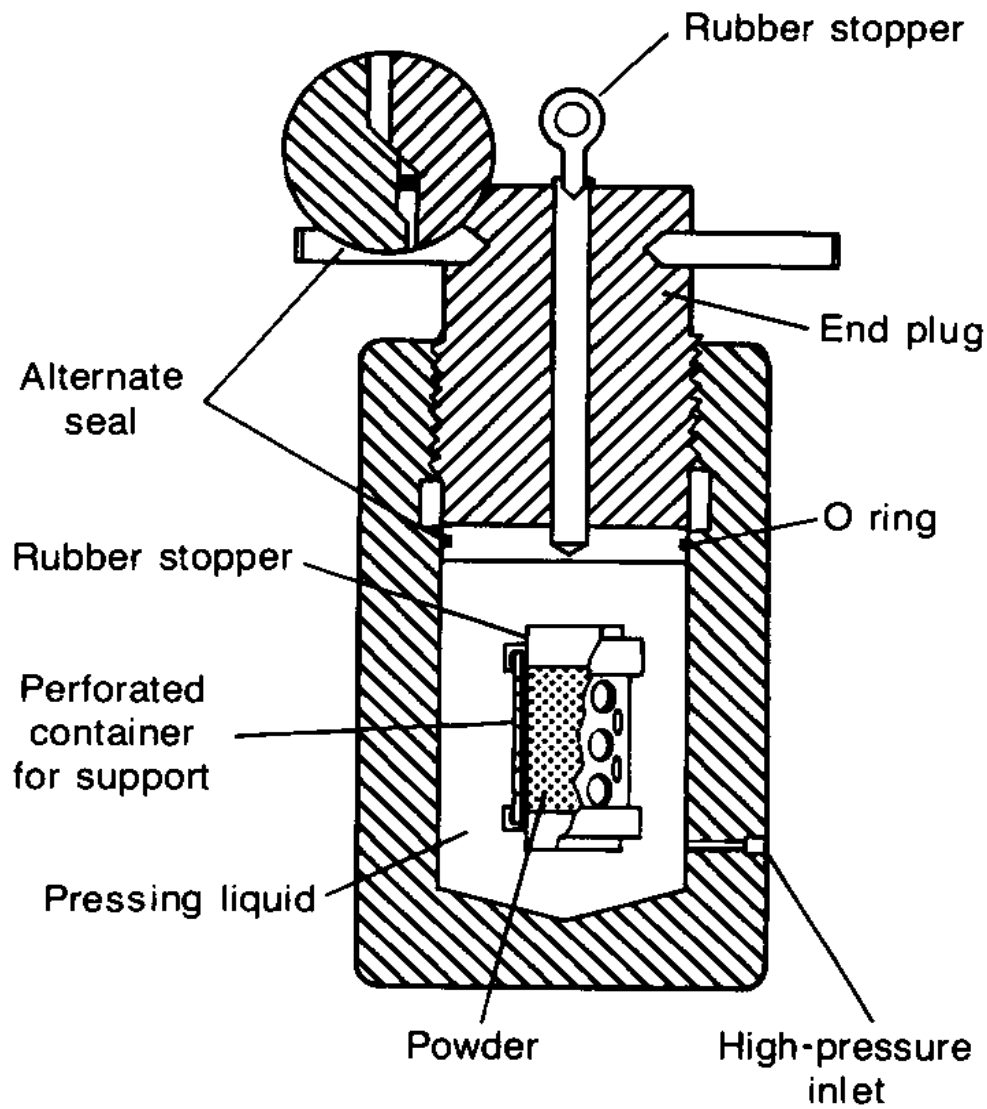
فشار هیدرواستاتیک این امتیازها را به ارمغان می آورد:

- قطعات فشرده شده ی سرمت بدون توجه به اندازه و شکل، چگالی یکسانی دارند.
- روش کیسه مرطوب به خوبی برای قطعات بزرگ قابل کاربرد است و اغلب تنها روش عملی برای فشرده کردن چنین قطعاتی می باشد.
- قطعات باریک با نسبت های زیاد طول به مقطع با این روش قابل کار هستند.
- قیمت قالب در مقایسه با قالب های فشارش صلب پایین است. بنابراین مقادیر کم تولید می تواند بطور اقتصادی تولید شوند، مخصوصاً با روش کیسه ی مرطوب.
- روانکاری مورد نیاز نمی باشد و یا کمی نیاز است.
- فرایند به خوبی برای تحقیقات و توسعه کار مناسب است.

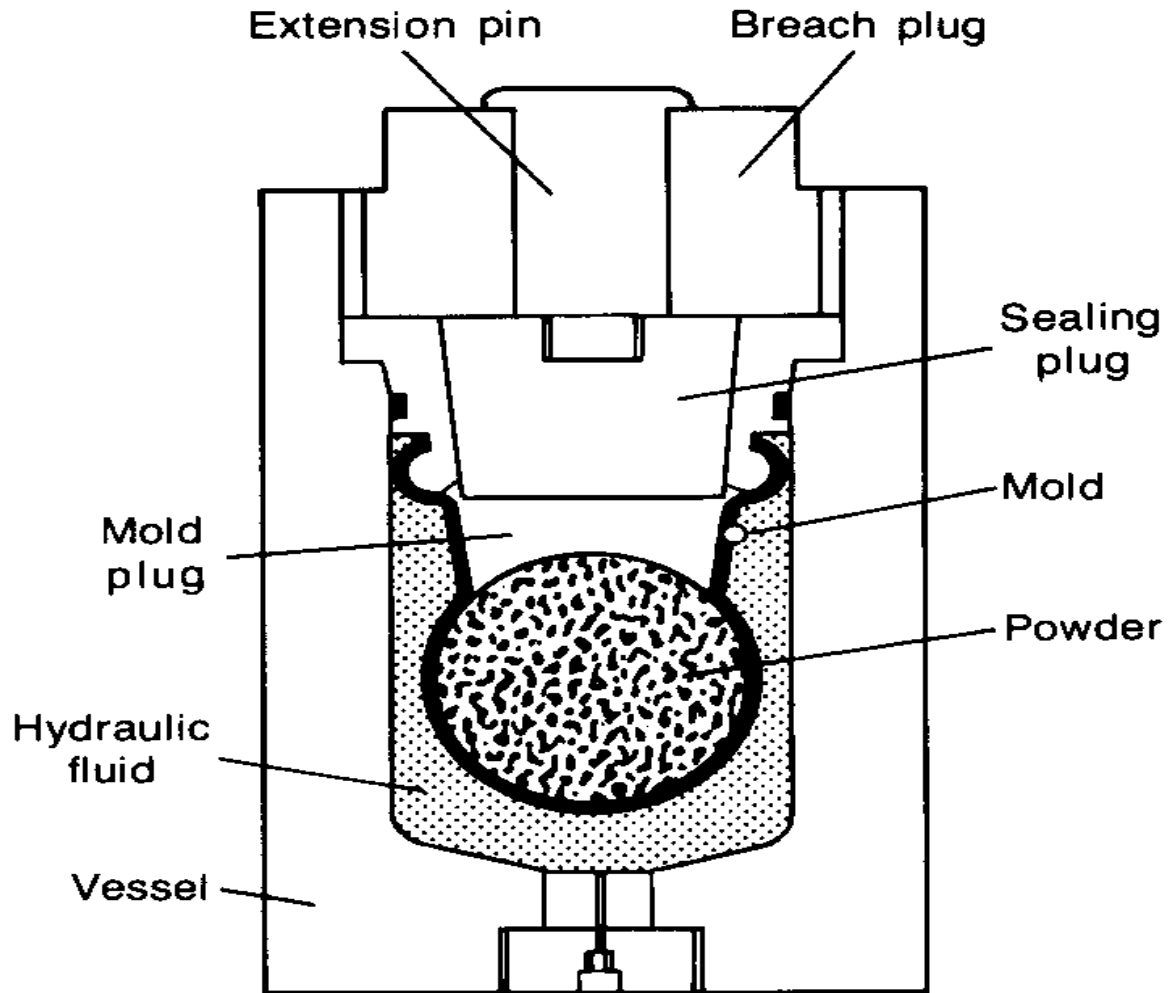
- معایب فشارش هیدرواستاتیکی به این قرارند:

- کنترل ابعاد مورد فشارش محدود است. طرح قالب باید مطابق با انقباض محوری و شعاعی باشد زیرا فشار هیدرواستاتیک به گونه ای عمل می کند که انقباض بعد از زینترینگ رخ می دهد.
- سطوح تحت فشار کمتر از این سطوح در روش قطعات پرش شده ی قالبی مسطح هستند.
- یک فاز بسیار زیاد مایع در مرحله ی زینترینگ یا روپوش گذاری مورد نیاز است قبل از اینکه قطعات سرمتی تحت فشار هیدرواستاتیکی پرس شده بتوانند به طریقه ی پرسکاری ایزواستاتیک گرم شوند.
- هزینه تجهیزات بالاست و استفاده از تجهیزات می تواند اندک باشد.
- هزینه کار نسبتاً بالاست.

- عموماً نرخ تولید در پرس کردن ایزواستاتیک بطور محسوسی کمتر است.
 - سطوح قطعات پرس شده به روش ایزواستاتیک چندان صاف و هموار نیست.
 - عمر قالب های کشسان مصرفی در پرس کردن ایزواستاتیک نسبت به قالب های محکم فولادی یا کاربید های سمانته کمتر است.
- برای ساختارهای سرمتی که بار زیادی از فاز سخت و یا فلز نسبتاً سخت و چسباننده های آلیاژی دارند و برای پرس مشکل می باشند، اغلب فشارش هیدرواستاتیک سرد یک روش تولیدی راحت و در دسترس می باشد و بعضی اوقات تنها روش قابل اعتماد برای کار با ترکیبات خاص است.



شکل ۴: شمایی از مخزن پرس هیدرواستاتیک سرد با یک قالب پودر در روش کیسه ی مرطوب

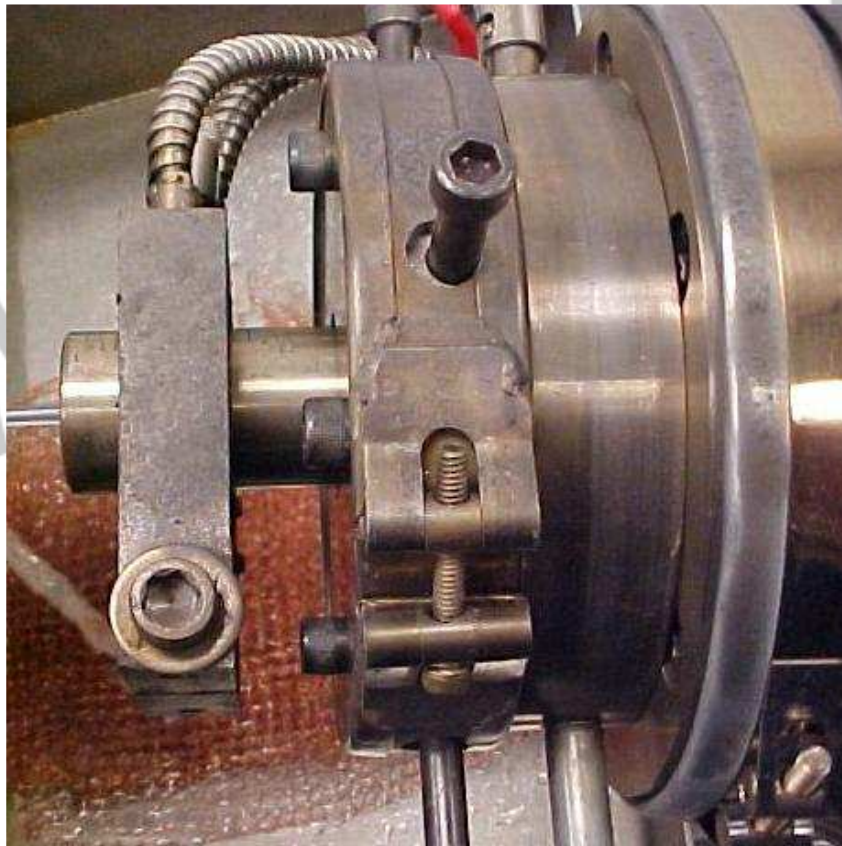


شکل ۵: شمایی از تجهیزات پرس هیدرواستاتیک روش کیسه ی خشک

۲-۶- روش اکستروژن گرم برای مخلوط های پودری سرمت^۱:

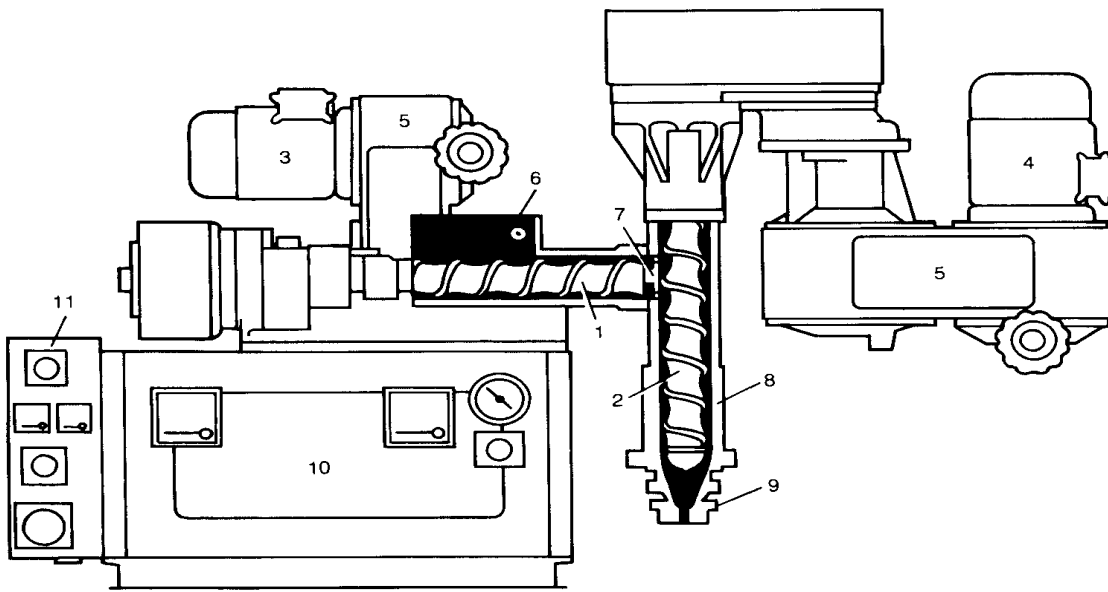
فرایند اکستروژن کردن گرم پودر کاربید بسیار ریز سماتته شده با ترکیبی از نرم کننده سالیان زیادی شناخته شده بود. این روش با موفقیت برای سرمت ها برای ساختن شکل های منشوری ساده که نسبت طول به سطح مقطع زیادی دارند، استفاده شده است. شکل های استوانه ای و چهار گوشه ای و دیگر مقاطع را می توان به راحتی با این روش ساخت حتی ساخت لوله ها نیز امکان پذیر است.

بسته به نرم کننده ی استفاده شده (برای مثال پلی استیرن با اضافه کردن دی متیل و دی فنیل اتر)، فرایند اکستروژن به دمای بین ۱۶۰ تا ۱۷۵ درجه ی سانتیگراد (۳۲۰ تا ۳۵۰ درجه ی فارنهایت) نیاز دارد. فرایند چسبیدن کامل و آهسته تحت خلأ پیش از زیتترینگ کامل برای اجتناب از کشیدگی (از معایب اجسام ریختگی، از شکل افتادگی)، شکستن و یا تخلخل های بسیار ریز ضروری و بلکه حیاتی است. پیچش در اجسام تولید شده توسط اکستروژن مشابه آنچه در صنایع پلاستیکی روی می دهد برای این فرایند قابل قبول است (شکل ۶) برای تولید محصول با کیفیت بالا، فشارش هم، فشار به صورت داغ لازم است.



(a)

^۱ Warm Extrusion of Cermet Powder Mix



(b)

شکل ۶: ماشین آلات اکستروژن گرم برای مخلوط های پودری سرمت. (a) دهانه اکستروژن. (b) پرس فشار کاری تحت خلأ. (۱) تغذیه حلزونی (۲) لوله حلزونی فشار (۳) دنده حلزونی تغذیه (۴) دنده حلزونی فشاری (۵) دنده تسمه متغیر (۶) ناودان تغذیه (۷) صفحه سوراخ شده (۸) سیلندر فشاری خنک کننده (۹) پایه قالب (۱۰) دستگاه خلأ

۲-۷- نورد پودر^۱:

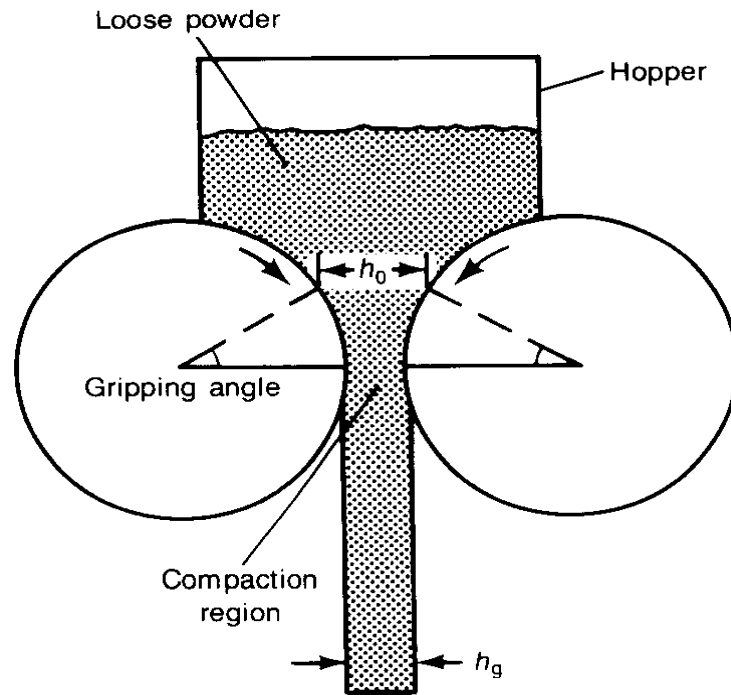
نورد پودر یک فرایند تولید متداول و به خوبی شناخته شده در متالورژی پودر است که می تواند کاربردهایی در تولید سرمت نیز پیدا کند. در این فرایند، مخلوط های پودری سرمت از قیف به فضای بین غلتک ها هدایت و بصورت تسمه ی فشرده شده خارج می شود. طریقه ی قرارگرفتن غلتک های نورد ممکن است شبیه نوردکردن متداول بر بالای هم باشد که در این حالت پودر برطبق شکل ۷، از یک قیف واز میان دریچه های قابل تنظیم هدایت واز طریق کانالی به طرف پایین سرازیر می شود. غلتک ها عمده تاً به صورت افقی قرار می گیرند. در این نوع طراحی، پودر مستقیماً از قیف وارد فضای بین غلتک ها میشود. این نوع تغذیه به «تغذیه اشباع شده» معروف است که تنظیم آن به میزان پودر واقع در بالای فضای بین غلتک ها وابسته است. در مقام مقایسه با شروع ماده در تبدیل به شمش شدن در بین غلتک ها، پودر شل استفاده شده در این فرایند، هیچ مقاومتی قبل از ورود به غلتک ها ندارد و باید آزادانه خودش جریان یابد و یا با فشار به این فاصله وارد شود. در طول فرایند فشرده سازی با غلتک ها، چگالی و خواص فیزیکی مخلوط پودر

^۱ Powder Rolling

تغییر می یابد. برای ترکیب های پودر سرمت، امکان شکل پذیری یک نوار با چگالی و مقاومت کافی به تعدادی از عوامل بستگی دارد که البته به آنها محدود نیست و این عوامل شامل قطر و سرعت غلتک، درجه ی بارگیری مخلوط سرمت با مواد فاز سخت، چکش خواری فاز فلزی و میزان نرم کننده ی اضافه شده به مخلوط می باشند. وجود اجزاء سخت برای اصطکاک پودرها در طول غلتک و نیز اصطکاک داخلی مخلوط پودر مرحله ی فشرده شدن لازم است. این برای پودرهای سرمت که با نورد شکل می گیرند یک ویژگی مطلوب است که البته در کنار آن تا حدی بطور ذاتی مقاومت قطعه ی ریختگی را چه به شکل ورق و چه به شکل نوار کم می کند.

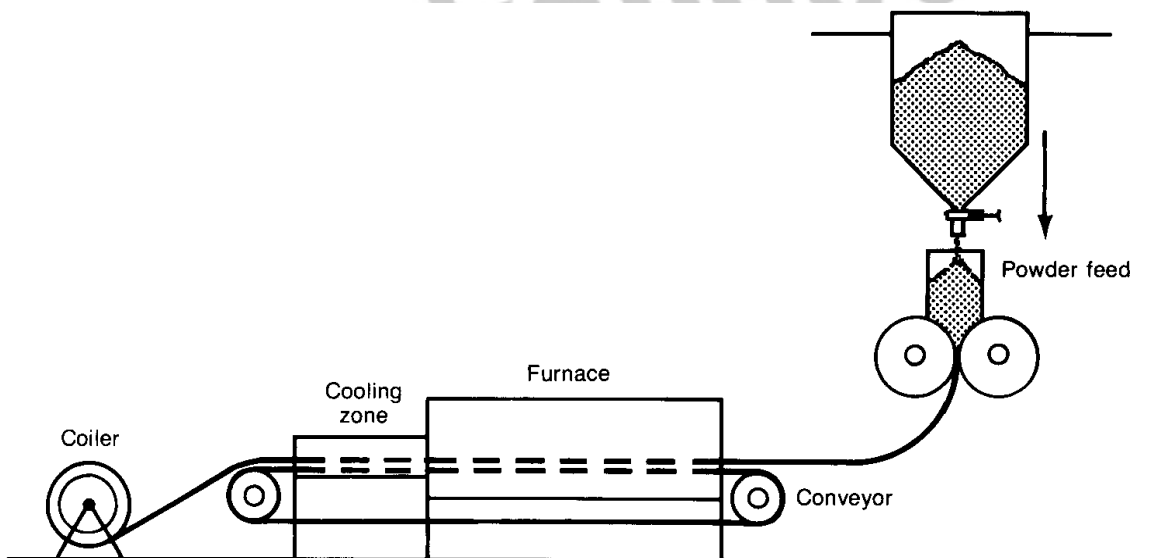
ضخامت ورقی که می تواند با یک قطر نورد داده شده، فشرده شود، کاملاً محدود است. نسبت قطر نورد به ضخامت نوار ۶۰۰ به ۱ و ۱۰۰ به ۱ است که به نظر می رسد طیفی برای پودرهای فلزی گوناگون باشد و قابل قبول است که فرض کنیم که اندازه های متوسط تا کمتر برای سرمت ها به کار می رود. دستگاه های خاصی برای جلوگیری از جریان یافتن پودر به خارج از فاصله ی غلتک های نورد نیاز است یک جریان همسان از پودرها در تمام عرض نوار برای بدست آوردن چگالی یکسان در نوارهای نورد شده ضروری است. ممکن است لبه بشکنند. این مطلب، بخصوص در مورد نوارهای سنگین تر صادق است. یک ضخامت نوار بهینه باید از طریق آزمایش حاصل شود. نوارهای ضخیم تر برای کلاف شدن بسیار سخت می باشند و نوارهای نازکتر نیز بسیار شکننده می باشند. سرعت نورد کردن متغیر دیگری است که فقط در خلال آزمایش کردن با یک ترکیب پودر سرمت داده شده بدست می آید. پودرهای فلزی خالص بدون فاز سخت در سرعت نورد ۳۰ متر در ساعت (۱۰۰ فوت بر ساعت) فشرده می شوند. و این مطلب در هر خروجی نزدیک به این بزرگی سرعت می تواند دیده شود که سرمت ها حاصل می شوند.

یک خط تولید پیوسته نورد پودر کامل شامل واحد کوره های چسب زنی و زینترینگ، پایه های نورد دوباره، و در صورت نیاز یک یا تعداد بیشتری کوره ی آنیل کردن است. تجهیزات کلاف پیچی در انتهای خط تولید نیز مورد نیاز است. این تجهیزات همچنین شامل مواد قالبگیری با سرمایه زیاد می شود که در اثر تضمین تقاضا برای محصول ایجاد شده است. هر چند که هزینه های کاری برای چنین عملیاتی اندک است ولی این موضوع ممکن است هنگامی باشد که هنوز این روش تولید کاربردی در سرمت ها نیافته بود. یک ترکیب ساده (شکل ۸) در صورتی شدنی است که پس از مرحله ی چسباندن (نشان داده نشده) و جو پیوسته زینترینگ، یک محصول مقاومت و شکل پذیری کافی داشته باشد تا بتواند به کلاف تبدیل شود. ترتیب فشرده سازی با نورد برای تولید یک نوار به شکل ساندویچ که متشکل از دو نوار با دو ساخت مختلف است ایجاد شده است.



شکل ۷: شمایی از نورد پودر با تغذیه به روش اشباع شده. غلتک ها افقی قرار گرفته اند. نسبت

تراکم، h_0/h_g



شکل ۸: فرایند نورد پودر با کشیدن قرقره در میان غلطک های مخصوص پس از اولین عملیات زینترینگ.

۲-۸- ریخته گری دوغابی (تعلیقی)^۱:

ریخته گری دوغابی روشی برای شکل دادن به پودرهای فلزی است که فرایندی را در بر دارد که برای تولید سرامیک ها برای مدت طولانی استفاده می شده است. این روش از یک محلول آبی از پودرهای سرمت (دوغاب) استفاده می کند که درون یک قالب گچی یا پلاستیکی متخلخل ریخته می شود.

مایع آن توسط قالب جذب می شود یک جداره مماس با سطح قالب تشکیل می شود و در مورد شکل های توخالی پس از رسیدن به ضخامت مناسب، مابقی دوغاب از قالب خارج شده. ، و پس از آن قطعه شکل گرفته از جداره داخلی قالب جدا می شود؛ برای بخش های جامد، دوغاب با آنقدر بماند تا به آهستگی خشک شود. دوغاب مورد نظر برای ریخته گری شامل سوسپانسیون پودر فلز در آب است. گرانروی دوغاب باید کم باشد به طوری که به آسانی ریخته شود، در تمام مدت پایدار و نرخ نشست یا رسوب آن کم باشد، قطعه ای که به این روش تهیه شده باشد باید به سهولت از قالب جدا شود و در حین خشک شدن مقدار جمع شدگی آن کم و پس از خشک شدن دارای استحکام زیاد باشد. مخلوط سازی پودرهای سرمت می تواند مشکل واقعاً حادی باشد، به ویژه آن پودرهایی که دارای اختلاف وزن مخصوصی بین فاز سخت و فلز چسباننده می باشند، این مسئله می تواند منجر به ایجاد ترکیب و خواص مختلف در دو انتهای یک سرمت شود. اختلاف در ترکیب می تواند خود سبب ترک خوردن نمونه در هنگام خشک کردن یا زینترینگ پس از آن شود. به منظور کنترل ویسکوزیته دوغاب در یک سطح بهینه، معمولاً نیاز است که از یک باز دارنده ی پیوستگی ذرات استفاده شود و نیز PH آن کنترل شود.

یک قالب ریخته گری تعلیقی که دارای فرم معکوس برای ریخته گری است در شکل ۹ نشان داده شده است. پس از خشک شدن به آهستگی، بخش ریخته گری شده توسط دوغاب نیاز به یک مرحله چسبیدن دارد که توسط زینترینگ با شدت بالا انجام می گیرد. قطعه ی حاصله چگالی بیشتری نسبت به چگالی مخلوط پودر اصلی خودش دارد. پودرهای ریزی که متناوباً برای سهولت عمل ریخته گری دوغابی استفاده می شوند می توانند منجر به خواص بهتری در قطعه ی زینترینگ شده شوند. مزایا و معایب ریخته گری دوغابی عبارتند از:

۱ - قطعاتی را با شکل و اندازه های بزرگ می توان ساخت که تولید آنها به روش پرس کردن ناممکن است.

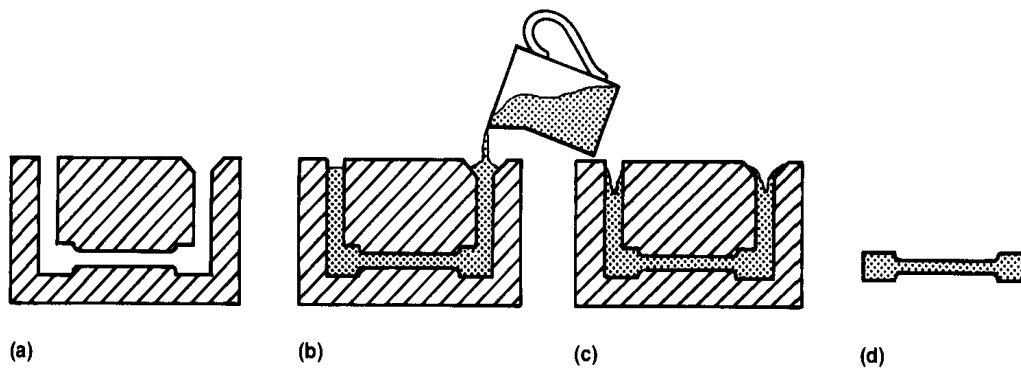
۲ - به تجهیزات گران نیازی نیست.

^۱ Slip Casting

۳- بهترین نتایج از ریزترین پودرها حاصل می شود که در عین حال برای زیتتر کردن هم مناسبترین اند.

۴- در نتیجه، قطعات نهایی دارای خواص فیزیکی عالی هستند.
عیب اصلی این روش در این است که فرآیند به مهارت صنعتگر وابسته است و در نتیجه کند و پرهزینه است

ریخته گری تعلیقی پارامترهایی نظیر ویسکوزیته دوغاب و پایداری محلول، عوامل ترکنده و پراکنده سازها و واکنش دوغاب قالب و رهایی قالب نیاز دارند. در وضعیت حال حاضر تکنولوژی قطعات سرمت با پیچیدگی خاص بهتر است که با روش تزریق درون قالب فلزی تولید شوند تا با ریخته گری دوغابی فرایند تولید روش فوق الذکر نیازمند سرمایه گذاری بیشتری است ولی برای تولید قطعات با حجم متوسط تا بزرگ بهتر عمل می کند.



شکل ۹: شمایی از ریخته گری دوغابی پودر فلزی. (a) مجموعه قالب. (b) پرکردن قالب. (c) جذب آب از محلول حاوی ذرات پودر. (d) قطعه نهایی پس از خروج از قالب و پلیسه گری.

۲-۹- فرایند قالبگیری تزریقی (MIM):

این فرایند توجیحات بسیاری را از هنگام اولین توسعه اش در دهه ی ۱۹۷۰ جلب کرد. تجاری کردن این روش آهسته بود، بیشتر به دلیل اینکه چرخه ی مورد نیاز برای رساندن قطعات مورد قبول مشتری با حمل و نقل دریایی بسیار طولانی بود. تحقیقات بسیار زیاد و کاربردهای مهندسی این روش در بسیاری از آزمایشگاه ها. ادامه یافت و بسیار سریعتر از آنچه گمان می رفت، رشد کرد. در یک آزمایشگاه قطعات سرمت با این روند ساخته می شوند و تجاری شدن این روش به ویژه ی در زمینه کاربرد های سمائته شده در راه است. با همه ی این احوال، تمام حجم آزمایشات MIM در جریان، در مناطق سازنده ی قطعات آهنی و غیر آهنی تمرکز یافته است. فرایند تزریق پودر به قالب برای سرمت ها (شکل ۱۰) شامل مخلوط کردن و به هم چسباندن اجزاء فلزی و پودر های فاز سخت به وسیله ی یک چسب پلیمری مناسب و پس از آن دانه ای کردن مخلوط است. محصول دانه ای شده حرارت می بیند و به قالب با فشار تزریق می گردد. خواص پلیمری که به مخلوط اضافه می شود، گران روی آن را کم می کند تا به شکل دهی آن، پر کردن قالب و پر شدن یکنواخت آن کمک کند. پس از خروج از قالب، چسب حذف شده و باقی ساختار سرمت با عمل زینترینگ و شاید هم با تراکم هم فشار داغ متراکم می شود. ترکیب چسب و روش های چسب زنی در بین فرایندهای MIM گوناگون، فرق می کند. یک چسب کلی برای همه وجود ندارد اولین چیزی که از چسب انتظار می رود این است که اجازه ی جریان یافتن و پر کردن محفظه ی قالب را بدهد. همچنین باید پودر را مرطوب سازد و باید برای به حداقل رساندن زمان گیرش و عیب های آن طراحی شود. یک ماده ی چسباننده ی همه کاره که از نظر شیمیایی انحلال پذیر نیست به پیشبرد خارج سازی چسب به این صورت یاری می رساند:

هنگامی که یک جزء حذف شد و منافذ نسبتاً آزاد شدند، بقیه ی چسب ذرات را درون خودشان نگاه می دارد و شکل قطعه ی فشرده را حفظ می کند. سپس بقیه از منافذ باز بخار می شود بدون آنکه فشار بخار درونی ایجاد کند که ممکن است سبب از بین رفتن قطعه شود. واکس ها به همراه مواد افزودنی بیشترین استفاده را به عنوان چسباننده دارند، فازهای عملیات قالبگیری به این صورت و ترتیب می باشند:

- محکم کردن و پر کردن قالب
- نگاه داشتن فشار تا زمانی که قطعه جامد شود.
- برگشت دادن مکانیزم پر کننده
- باز کردن قالب و خارج کردن قطعه

پر شدن قالب به ویسکوزیته جریان از محفظه ی اصلی به محفظه ی قالب بستگی دارد. خود ویسکوزیته به دما، نرخ برش، شیمی ماده ی چسباننده، شیمی واسط پودر و نوع بارگیری بستگی دارد. اتصال حرارتی پر استفاده ترین روش می باشد، اما فتیله گذاری مویی و استخراج انحلالی نیز می تواند به عنوان روش های دیگری نیز داشته شوند. اتصال کامل پیش از آغاز چرخه ی زینترینگ الزامی است. بیشتر سرمت ها به یک چرخه ی زینترینگ با فاز مایع نیاز دارند تا به تراکم کامل قطعه برسند. یک کوره ی مدرن که چسب را با بقیه ترکیب می کند، در خلأ بالا زینترینگ می کند و چرخه ی زینترینگ فشار نهایی دارد که می تواند تمام این مراحل را به صورت اقتصادی انجام دهد.

۲-۹-۱- کاربردها و مزایای فرایند MIM برای سرمت ها:

در سال های اخیر، پیشرفت های مهمی در استفاده از فرایند MIM برای تولید اجزای سازنده ی موتورهای حرارتی، سخت افزارهای نظامی، کامپیوترها و فضاپیماها و اجزاء ماشین ایجاد شده است فرایند تزریق پودر به قالب فرصت جدیدی را برای ساخت مواد پیشرفته ارائه داده است. و نیز این فرصت را برای استفاده از امتیازات این روش برای تکنولوژی سازندگان سرمت فراهم آورده است. جنبه های کلی کاربرد فرایند MIM در ساخت سرمت به این صورت می باشند:

- در اصل، فرایند MIM برای سرمت های که نیاز به ماشینکاری ندارند مناسب هستند زیرا تolerانس های ابعادی در آن بسیار کم و ناچیز است. (شکل ۱۱)
- تولید شکل های پیچیده با اندازه های کوچک تا متوسط فرایند MIM امکان پذیر است. به شرطی که هندسه ی شکل ها اجازه ی خروج از قالب را بدهد. پس از برآورده شدن این نیاز، سطوح چندگانه، زوایای درونی و برش ها می توانند مورد قبول باشند.
- در قطعه های کوچک، تolerانسی که می تواند پس از زینترینگ در بخش های P/M مرسوم با فرایند MIM حاصل شود، $+3\%$ و -3% میکرومتر در هر میلیمتر است (اینچ/اینچ $0/003$) برای سرمت ها تolerانس های بزرگتری مورد نیاز خواهد بود تا برای انقباض در هنگام زینترینگ به همراه فاز مایع برای تراکم نهایی، به سرمت این امکان را بدهد.
- تولیدات کم (به کمی ۲۰۰۰ قطعه) برای بخش های P/M مرسوم شدنی و عملی می باشند. به دلیل سطح قیمت بالاتر سرمت ها و قیمت نسبتاً بالای روش های ساخت با صرفه، تولیدات مشابه و حتی با اندازه ی کوچک تر برای قطعات سرمت تولید شده با فرایند MIM می تواند از نظر اقتصادی جذاب باشد.

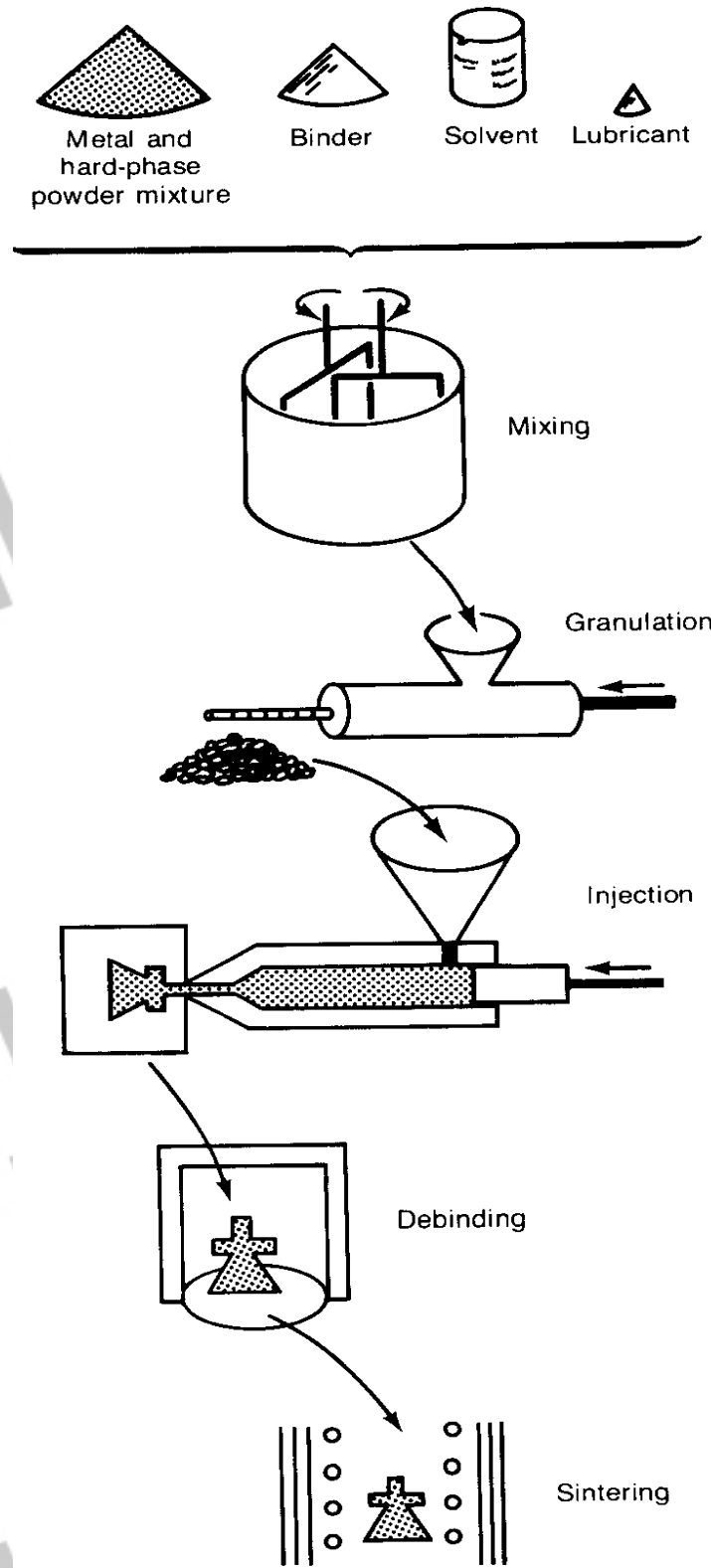
● با روشهای مناسب چسب زنی و چرخه ی زیترینگ بهمراف فاز مایع(که شاید با فشارش داغ نیز ادامه یابد) قطعاتی با کیفیت بالا و ویژگی های فیزیکی خوب را می توان با فرایند MIM تولید کرد.

● پوشش اضافی قالب به خاطر فاز سخت در طول تزریق ترکیبات یک سرمت به قالب اتفاق می افتد، به خصوص در هنگامی که میزان بارگیری زیاد است اما در فرایند MIM این موضوع، مسئله ای چندان جدی به نظر نمی رسد. تجربیات و آزمایشات آتی نشان خواهند داد که آیا مشکل پوشش قالب وجود دارد یا خیر و نیز اینکه تا چه حد این مورد بر اقتصادی بودن استفاده از فرایند MIM برای تولید سرمت ها اثر می گذارد.

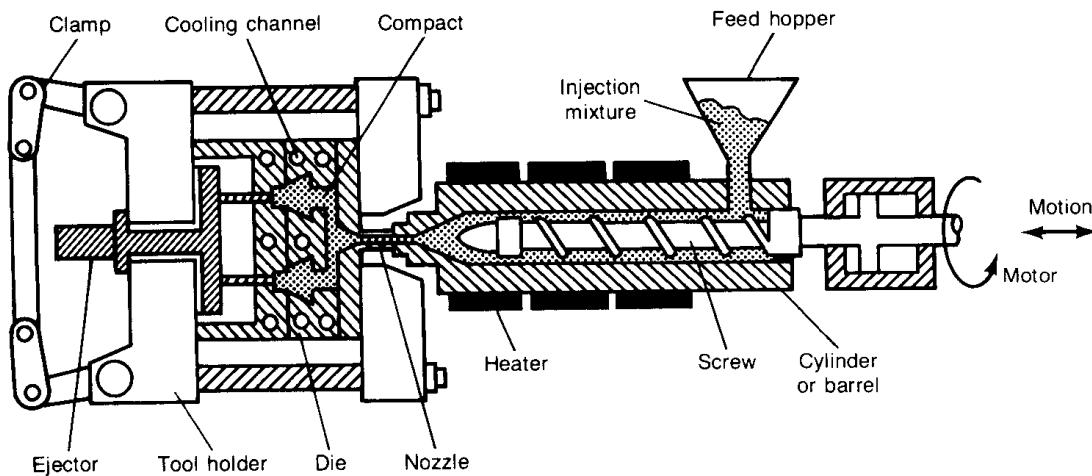
عیوب ریزی که در قالبگیری تزریقی دیده می شوند شامل آخال ها و میکروتخلخل ها بوده که ناشی از آگلومراسیون و توزیع اندازه ذرات نامناسب هستند. اما عیوب بزرگتر ایجاد شده در این روش خود به دو دسته (۱) عیوب ناشی از پر کردن قالب خود شامل ناقص پر شدن، ایجاد حفره و خطوط انفصال می باشند. عیوب انجماد نیز شامل جوانه زنی حفره و ایجاد ریز ترک به دلیل تنش های پسماند است.

پر شدن ناقص عیبی است که به راحتی با مشاهده قطعه قابل تشخیص است و با کنترل بهتر دما و اصلاح طراحی قالب می توان از بروز آن جلوگیری کرد. تخلخل نیز می تواند به دلیل حبس شدن هوا در حین تزریق ایجاد شود. اما خطوط انفصال مناطقی هستند که مواد تزریق شده به صورت مناسب به هم جوش نخورده اند. این خطوط مناطق نا پیوسته و یا ضعیفی را در قطعه به وجود می آورند. این خطوط ظاهری لایه لایه و یا تا شده دارند و پس از عملیات پخت به صورت ترک باقی مانده و به شدت استحکام قطعه را کاهش می دهند.

یکی از راههای برطرف کردن این عیب استفاده از روش شات(تزریق) کوتاه است. این تکنیک به این صورت است که پیش از پر شدن کامل قالب، تزریق متوقف می شود و با انجام مراحل متوالی شدت کوتاه یک تصویر خوب از چگونگی پر شدن قالب برای هر نوع هندسه، به دست خواهد آمد.



شکل ۱۰: شمایی از فرایند MIM برای سرمت ها.



شکل ۱۱: قالب و مکانیزم تزریق برای فرایند MI M

۲-۱۰- فشرده سازی داغ ایستا:

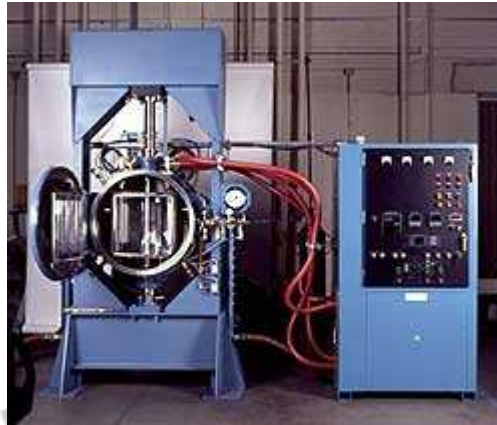
فشرده سازی گرم یک روش تولید سرمت است که در آن فشار و دما همزمان اعمال می شوند، ترکیبات پودری هم مستقماً در تراکم قالب به صورت گرم و هم به صورت پیش تراکم پذیری سرد در قالب، متراکم می گردند و پس از آن به دستگاه های متراکم کننده ی گرم کوره ی زیتترینگ، فشار منتقل می شوند. فشارها به طور قابل توجهی کمتر از روش پرس سرد می باشند. این فشارها می توانند از وزن بار مرده ی دستگاه تا ۳ مگا پاسکال (۵۰۰ پوند بر اینچ) برای فشار زیتترینگ (برای مثال در عناصر اصطکاکی) و یا ۱۰ الی ۳۵ مگا پاسکال (۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ پوند بر اینچ) برای پرس کاری گرم به سیستم های فاز مایع وارد می شود.

دماهای زیتترینگ با المان های گرمایی مقاومتی یا از طریق اعمال مستقیم جریان از قالب توسط مقاومت مستقیم یا گرمادهی القایی گرم می شوند. در مورد قبلی، ماده ی قالب از گرافیک تشکیل یافته بود. این فرایندی عملی تر است زیرا معمولاً دستگاهی برای کنترل جو نیاز ندارد. روش بعدی به قالب های سرامیکی نیاز دارد که به شوک حرارتی حساس می باشند، به راحتی هنگام خروج محصول می شکنند و برای تولید دقیق ابعاد قالب باز شونده هزینه بر است. مزیت حرارت دادن مستقیم قطعه که طی آن وسایل و محیط اطراف می توانند سرد باقی بمانند و می تواند با شیب گرمایی و اثرات تمرکز موضعی در محصول منحرف شود. برای بیشتر سیستم ها با زمینه ی فلزی در حال اکسید شدن یک جو کنترل شده مورد نیاز است. اثر متراکم سازی در روش تراکم گرم استاتیک مرسوم بیشتر از اثری که توسط تراکم سرد و زیتترینگ پس از آن بدست می آید توضیح داده شده

^۱ Static Hot Pressing

است. حرارت دادن سطح مخلوط پودر که در طول فرایند مکانیکی، پاره شدن لایه های اکسید سطح روی می دهد سطوح چسب کاری را تولید می کند. محدودیت های شکل شبیه این مورد برای تراکم استاتیک سرد می باشند. قطعات منشوری تک سطح که هیچ برش یا زاویه ی درونی ندارد ترجیح داده می شوند، هر چند که جزئیات کم عمق در سطوح پانچ قابل قبول هستند. قطعات بزرگ به خوبی با این روش هماهنگ می باشند. یک کوره ی خلأ گرما-القایی گرافیکی (شکل ۱۲) با ابزار گرافیکی قادر است هر دو کار تراکم گرم یا تراکم سازی دوباره ی شمش با قطر ۱۲۵ میلی متر (۵ اینچ) را در فشار تا بالای ۹۰ مگاگرم (۱۰۰ تن) و دماهای بالای تا ۲۳۰۰ درجه سانتیگراد (۴۲۰۰ درجه ی فاز نهایت) در خلأ کامل با اتمسفر کنترل شده را انجام دهد. قطعه ی کاملاً فشرده شده هنگامی که هنوز گرم است به منظور کم کردن زمان سرد شدن، کاهش امکان گیر کردن در قالب و طولانی تر کردن عمر قالب از آن جدا می شود. مواردی که در این نوع از کوره ساخته شده اند شامل قالب های تابیده ی WC-CO و عناصر اصطکاکی، شمش های AL-B₄C، اجزاء تشکیل دهنده ی اکسیدهای پایدار و بعضی از سرمت های با پایه ی براید می باشد.

در میان فرایندهای گوناگون تولید سرمت، تراکم سازی داغ استاتیک در کوره ی به همین نام تنها روش تک مرحله ای قابل اطمینان برای تولید سرمت با تراکم کامل، کیفیت بالا و قطعه ی نزدیک به شکل شبکه ای از پودر می باشد با این وجود، عمر قالب گرافیکی محدود است و ترکیبات سرمتی که با گرافیک واکنش نمی دهد ترجیح داده می شوند. در حقیقت برای جلوگیری از واکنش سرمت-گرافیک می توان از قالب های سرامیکی برای تراکم داغ استفاده کرد هر چند که آنها شکننده تر و گران تر از قالب های سرمت می باشند. نصب پرس گرم کامل (شامل یک سیستم خلأ با سیستم قدرت تولید کننده ی جو، سیستم هیدرولیک، کنترل ها و ماشین آلات) گران است. به علاوه سیستم پرس گرم استاتیک به زحمت زیادی نیاز دارد زیرا محصولات در هر بار فقط یکی یکی پرس (متراکم) می شوند، بنابراین پرسکاری گرم هم فشار، می تواند برای یکپارچه سازی وظایف حساس و با دمای بالا برای قطعات با اندازه های کوچک تا متوسط مناسب باشد. برای قطعات با اندازه های بزرگ و خیلی بزرگ، اغلب پرسکاری گرم در خلأ استفاده می شود زیرا تجهیزات بزرگ موجود می باشند. برای مثال شکل ۱۲ یک پرس گرم خلأ ۲۲۵ مگاگرمی (۲۵۰ تنی) را با کوبه های قالب گیری دو کاره در انتها و صفحه های مربع ۱۰۷۰ میلی متری (۴۲ اینچی) را نشان می دهد. این دستگاه پرس دارای ماکزیمم حرارت کارکرد ۱۳۱۵ درجه ی سانتیگراد (۲۴۰۰ درجه ی فاز نهایت) است.



شکل ۱۲: مقیاس تولید ۲۲۵ Mg (۲۵۰ تنی) پرس داغ خلأ.

۲-۱۱- پرس ایزواستاتیک گرم (HIP):

این روش به عنوان وسیله ای برای تولید سرمت های با پایه ی کاربید و دیگر سرمت ها با چگالی خیلی زیاد و ثابت دارای محبوبیت بیشتری می شود. نقص های درونی و تخلخل های کوچک و بزرگ در نتیجه تولید با این روش از بین می روند. عملیات پرسکاری هم فشار، یک فرایند منقطع است که در ظرف فشاری که با آب سرد می شوند و قدرت تحمل فشار درونی بالا تا ۲۱۰ مگا پاسکال (30 ksi) را دارد انجام می شود. افزایش دما تا ۱۶۰۰ درجه ی سانتیگراد (۳۰۰۰ درجه ی فاز نهایت) با کوره های مقاومتی یا فرکانس بالا که درون ظروف فشار نصب است صورت می گیرد. واسطه ی انتقال فشار یک گاز خنثی است، که معمولاً آرگون می باشد. همچنین واسطه ی انتقال فشار می تواند هلیوم باشد، که در فشار اعمالی (۱۰۰ تا ۱۵۰ مگا پاسکال، یا ۱۵ تا ۲۰ ksi) چگالی نزدیک به چگالی آب دارد. جزئیات و اطلاعات بیشتر در مورد تجهیزات HIP در مقاله متالورژی پودر، جلد ۷ از نهمین شماره ی هندبوک فلزات موجود می باشد.

پرس ایزواستاتیک گرم در اصل برای استفاده در فرایندهای اتصال نشت گاز پر فشار توسعه یافت مانند پوشش گذاری برای عناصر سوخت هسته ای (برای مثال، اکسید اورانیوم) با پوشش آلیاژ زیرکون و با کاربردهایی مانند یکپارچه سازی پودر و متراکم سازی مواد سخت کلوخه شونده و ترکیب سرمت ادامه یافت. پرس ایزواستاتیک گرم موفقیت آمیز ترین روش بکار گرفته شده در صنعت کاربید سماتته شده و در بین سازنده های فولاد دارای کاربید تیتانیوم است. این سرمت هایی که زیترینگ با چگالی زیاد را به راحتی تحمل نمی کنند، اغلب تخلخل محلی اندکی تا ۵۰ میکرومتر دارند؛ زیرا آنها فضاهای خالی در طیف ۰/۲۵ تا ۲/۵ میلی متر (۰/۰۱ تا ۰/۱ اینچ) دارند که به سبب آلودگی های تصادفی یا اتفاقی است. پرس ایزواستاتیک گرم، بهبود یافته ی روش پرسکاری گرم

¹ Hot Isostatic Pressing

ایستا است که نیاز های این روش را برای قالب های گران و زیاد خراب شونده ارضاء نموده است. با وجود این، پیش از آنکه قطعات، تحویل روش پرس ایزواستاتیک گرم شوند، به ساختاری با چگالی کافی نیاز دارند (حتی در پوسته) تا از نشت گاز جلوگیری کنند. قطعات با چگالی کمتر و منافذ داخلی به بعضی از ترکیب های پوشش گذاری لوله های گاز پیش از هر عملی نیاز دارند. سه روش برای لفاف گذاری عمومیت دارند. در این روش، قطعات شکل می گیرند و تا ۹۵ درصد یا بیشتر چگالی تئوری، زیتترینگ می شوند، و طبق نتایج پیوسته ساختار متراکم سطح به عنوان یک پوشش غیر قابل نفوذ در مقابل فشار بالای گاز عمل می کند.

از سوی دیگر چگالی تا سطح مورد نیاز بالا می رود تا آنجا که هیچ تخلخل داخلی در قطعه باقی نماند. این روش در اصل برای قطعات با اندازه ی کوچک و متوسط استفاده شده است. دومین روش شامل یک قوطی است که برای هماهنگی با شکل قطعه ی مورد نظر آماده شده است. قوطی با مخلوط پودر پر شده که با تکان دادن یا پرس شدن کاملاً متراکم شده است (یک قطعه که با روش هیدرواستاتیک یا فشار سرد متراکم شده است می تواند در قوطی فولادی به جای مخلوط پودر پوشش گذاری شود). بعد از بارگیری، قوطی محکم با جوشکاری بسته شده و سپس تخلیه می شود. این روش غالباً برای قطعات با اندازه ی متوسط و بزرگ استفاده شده است و در جاهایی که هزینه ی اضافی قوطی نبود شدنی از نظر اقتصادی قابل چشم پوشی باشد. سومین روش، فرایند "ugine-sejournet" است که لعاب شیشه برای کپسول کردن قطعه استفاده می شود. این روش می تواند اقتصادی تر از روش قوطی فولادی باشد. همه ی روش های جلوگیری از نفوذ گاز پر فشار از قطعه گران قیمت هستند. خوشبختانه، فرایند HIP به اندازه ی کافی انعطاف پذیر است تا اجازه ی پرس ایزواستاتیک گرم تعدادی از قطعات آزاد یا قطعات پوشش گذاری شده را بدهد. هزینه فرایند می تواند بر طبق حجم اشغال شده توسط هر قطعه در فضای موجود کوره تقسیم بندی شود. کاربرد سمانته شده محصولات P/M که دستخوش فرایند HIP شده اند، به سختی کیفیت بالاتری از تولیداتی دارند که توسط دیگر فرایندها تولید شده اند. کیفیت بالاتر نتیجه ای از چگالی های تئوری تولید شده توسط فرایند HIP است. قطعات با چگالی نزدیک به چگالی تئوری، مقاومت سطح بالایی دارند و نیز خواص فیزیکی قابل اعتماد تری دارند. پرسکاری هم فشار گرم یک فرایند منقطع که شدیداً هزینه بر است؛ و هنگامی که روش روپوش گذاری استفاده می شود. به همان اندازه نیاز به زحمت دارد.

۲-۱۲- اکستروژن گرم شمش های سرمت:

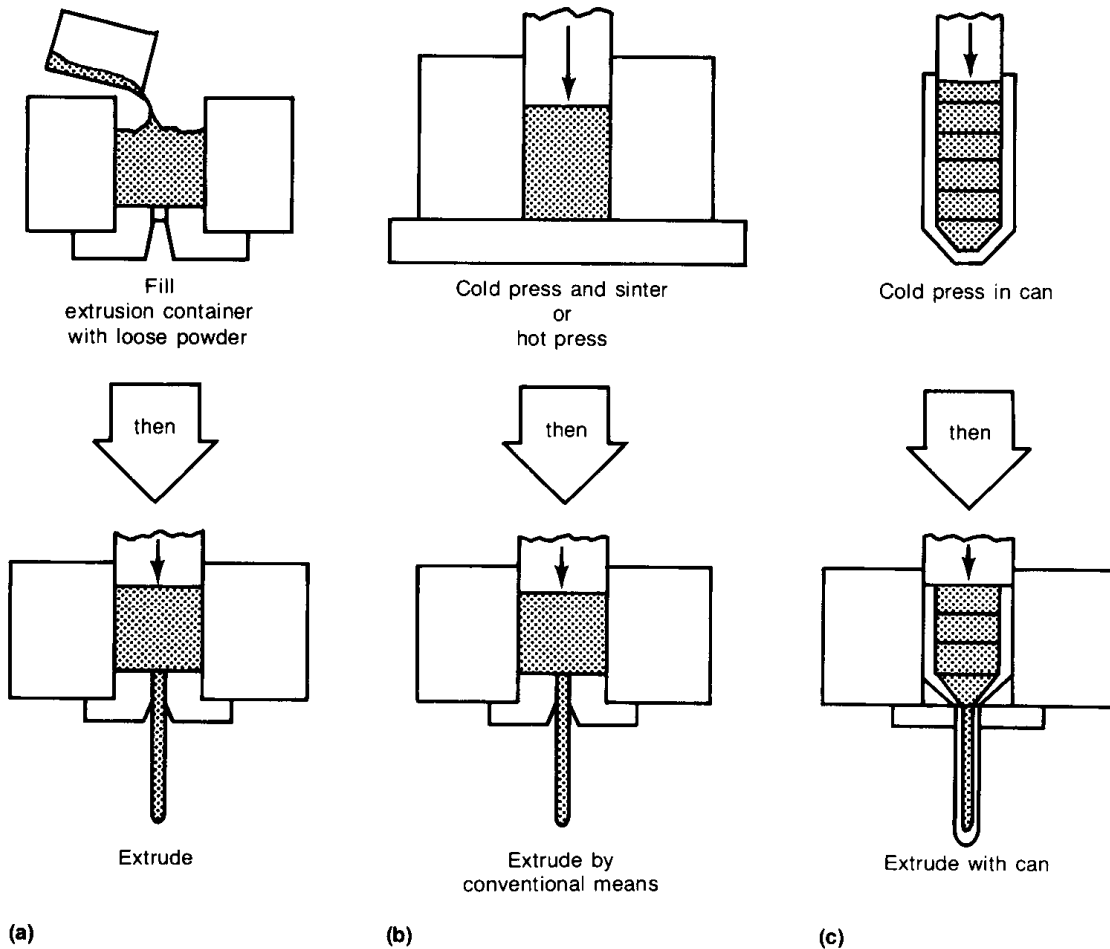
این روش در میان فرایندهای متفاوت سرمت منحصربفرد است زیرا ضرورتاً یک فرایند حالت جامد است. تمام فرایندهای فشرده سازی که پیش از این توضیح داده شد شامل یک فاز مایع بودند. در طول مدت اکستروژن گرم مواد پودر شده، نیروهای فشرده سازی هیدرواستاتیکی بزرگی اتفاق می افتد یکی از اجزاء نیروی تک محوری در ابتدا، ماده ی پودر را تا تراکم کامل فشرده می کند و پس از آن ماده را به درون قالب می راند. بسته به ویژگی های سطح جلویی قالب اکستروژن، یک جزء برشی می تواند تقریباً نیمی از انرژی مورد نیاز برای عملکرد اکستروژن را جذب نماید. میزان تغییر شکل نهایی یک مرحله (نسبت سطح مقطع شمش به سطح مقطع حفره ی قالب) از هر یک از فرایندهای دیگر سرمت به روش گرم، بزرگتر است.

۲-۱۲-۱- روش ها:

سه روش اصلی برای اکستروژن گرم مخلوط های پودر (که بعضی از سرمت ها را هم در بر می گیرد) در شکل ۱۳ نشان داده شده است. اولین روش (شکل a-۱۳) برای پودر زبر و شل منیزیم یا ساچمه ها قابل کاربرد است. مواد درون محفظه ی گرم اکستروژن ریخته می شوند و مستقیماً از میان حدیده اکستروژن می شود در این روش اتمسفر محافظ بکار نمی رود و گرمای محفظه باعث ازدیاد دمای پودر می شود تا شرایط اکستروژن فراهم شود. افزایش دما باید در فاصله بین ۱۵ تا ۳۰ ثانیه صورت گیرد تا پیش از اکستروژن، کوبه بطرف جلو هدایت شود. در روش دوم (شکل b-۱۳) مخلوط های پودری سرمت با پایه ی آلومینیوم با پرسکاری سرد و متراکم سازی گرم هر یک از قطعات به صورت جداگانه، به شکل ساچمه های حدیده کاری شده تغییر شکل می یابند. این ساچمه ها بعد از آن به روش های عادی حدیده کاری می شوند.

سومین روش که بطور وسیعی استفاده می شود (شکل c-۱۳) تشکیل شده است از قوطی های فولادی که با مخلوط های پودری سرد پر شده اند و مخلوط ها را به وسیله نفوذ پانچ در هنگامی که قوطی در یک مجموعه از قالب ها نگذاشته شده است، فشرده می کنند. (مخلوط های از قبل فشرده شده می توانند به جای مخلوط های پودری استفاده شوند در این صورت مرحله ی فشرده سازی حذف می شود). یک بست در انتهای باز قوطی جوش داده می شود و قوطی از هوا تخلیه می گردد. سپس قوطی حرارت داده خواهد شد و تغییر شکل (اکستروژن) می شود. از طرف دیگر یک پانچ نفوذی می تواند به قوطی باز و مخلوط پودر در طول قالب اکستروژن نیرو وارد کند. از هر دو راه

این روش، محصول اکستروژن شده با لایه ی ضخیمی از موادی که برای بسته بندی مصرف شده است پوشش داده می شود. این لایه باید بوسیله اچ کردن یا لایه بردار مکانیکی برداشته شود.



شکل ۱۳: سه روش برای اکستروژن گرم مخلوط های پودر. (a) روش پودرشل. (b) روش شمشال. (c) روش قوطی فولادی.

۲-۱۲-۲- کاربرد:

اکستروژن گرم یک روش شکل دهی و فرایند متراکم سازی جذاب برای سرمت ها است. متأسفانه کاربردهای این روش در این زمینه ی وسیع محدودیت های جدی دارد که به دلیل بار مواد غیر فلزی، انتخاب اجزاء فلزی، و درجه ی فعالیت درونی بین دو ماده ایجاد می شود. محدودیت های قطعی میزان حجم مواد غیر فلزی مشکلی به وجود نمی آورد. بلکه هنگامی که این مواد از ۱۸ الی ۲۵ درصد حجم بیشتر می شوند ماده ترکیبی از خود کوتاه شدگی گرمایی نشان می دهد تا اندازه ای که مشکلاتی نظیر شکستگی لبه، تورق درونی و کشیدگی قطعه ی اکستروژن شده تحمل نا پذیر می شود.

هنگامی که فاز غیر فلزی به شکل پودرهای بسیار ریز دانه وجود دارد، شکل کوتاه شدگی گرمایی بدتر می شود؛ و نیز در هنگامی که ماده ی غیر فلزی با جزء فلزی در دمای اکستروژن برای ایجاد فازها یا یو تکتوئید جدید ترکیب می شوند، تشدید می یابد. چگونگی این مشکلات پیچیده برای هر جفت خاص از اجزاء سرمت در میدان و گستره ی عمل این مقاله است. یک مطالعه ی دقیق در نمودار ساختار چسباننده ی فلزی و فاز سخت پیش از انجام هر عمل جدی توصیه می شود. همانند ساچمه های آلیاژ فلزی، ساچمه های سرمتی هنگامی که آلومینیوم یا آلیاژهای آلومینیوم برای اجزاء فلزی استفاده شده است، برای عمل اکستروود کردن راحت تر هستند. متراکم سازی و اکستروژن ساچمه در دما و فشار پایین تری روی می دهد. فرایند قوطی گذاری و برداشتن قوطی ها که گران است می تواند به راحتی حذف شود، همچنین می توان از یک جو(اتمسفِر) حفاظتی استفاده کرد. علاوه بر این، صافکاری و پرداخت نهایی محصول اکستروود شده اغلب می تواند در دمای اتاق انجام گیرد. عیوب کوتاه شدگی گرمایی در محصولات با پایه ی آلومینیوم که اکستروود شده اند فقط در سطوح بالایی از بارگذاری با مواد سخت روی می دهد. در مقایسه با سرمت های حاوی آلومینیوم یا آلیاژهای آلومینیوم، سرمت های دارای آهن، نیکل، کبالت یا آلیاژهای این فلزات همانند فاز فلزی از نظر فنی وابستگی بیشتری دارند و برای اکستروود کردن گران تر تمام می شوند. برای مثال گرما دادن ساچمه و فشردن سازی گرم، به جوی کنترل شده نیاز دارد، قوطی گذاری ساچمه ها غیر قابل اجتناب است و یک فرایند شیشه ای برای روانسازی و کاهش پوشش قالب مورد نیاز است عملیات تکمیلی بعد از اکستروژن کردن مانند خارج کردن مواد از قوطی، صافکاری، نورد نهایی و مانند اینها نیز به فرایندهای گران قیمت نیاز دارند. می توان انتظار داشت که محصول سرمت اکستروود شده سخت تر، سست تر، چکش خواری کم و دارای شکنندگی بیشتری نسبت به جزء فلزی چسباننده باشد. زیرا دمای بالای اکستروژن، واکنش متالورژیکی بین آلیاژ یا فلز زمینه و جزء فاز سخت سرمت را سبب می شود، به ویژه اگر محصول تولیدی یک ترکیب غیر فلزی از گروه کاربید یا بوراید باشد. اجزاء فاز سخت با پایه ی اکسید به نظر می رسد که کمتر با جزء فلزی واکنش دهند. واکنش ناخواسته ی بین ماده ی سخت و جزء فلزی سرمت راحت تر با فرایند اکستروژن حالت جامد قابل کنترل است تا با هر فرایند متراکم سازی دیگر که شامل یک فاز مایع می باشد. همچنین با وجود محدودیت ها و مشکلات مذکور، اکستروژن گرم به جلب توجه مهندسان توسعه ی محصول به عنوان یک روش تولیدی ممکن برای سرمت های خاص به ویژه آنهایی که با پایه ی آلومینیوم می باشند، ادامه می دهد. این روش این قابلیت را دارد تا از نظر هزینه کاری کم قیمت باشد ولی هنوز هم سرمایه ی زیادی برای فرایند تولید محصول برای مواد لوله یا میله با تکنولوژی بالا نیاز دارد.

۲-۱۲-۳- ترکیب زیتترینگ- فشرده سازی

ترکیب چسب زنی، زیتترینگ و فشارش به صورت یکپارچه در کوره ها، در تلاش برای ساده کردن فرایندهای ساخت سرمت ها و محصولات مشابه، انجام گرفت. همان طور که قبلاً نیز توضیح داده شد، یک مرحله ی چسب زنی پیش از زیتترینگ، محصول تازه که حاوی ترکیبات روان کننده، چسب های عالی یا نرم کننده ها می باشد، ضروری است. این افزودنی ها باید دارای خواص مختلفی برای فشارش سرد استاتیک، اکستروژن گرم، فشارش با نورد پودر، قالبگیری دوغابی و تزریق سرمت با قالب دوغابی، باشند. پس از چسب زنی و در طول زیتترینگ به همراه فاز مایع، محصولات تازه تا نزدیکی های چگالی کامل منقبض می شوند. پس از آنکه متراکم سازی تا نقطه ای پیش رفت که گاز تحت فشار دیگر نتوانست به قطعه نفوذ کند، تراکم هم فشار گرم روی می دهد. گاز سرمت چگالی شده ای را که حالا زیتترینگ شده است تحت فشار و دمایی نزدیک به تشکیل فاز مایع فشرده می کند که سبب بهبود کیفیت محصول با از بین بردن تخلخل های قطعه، ترک های داخلی و نیز نقص های آن، می شود.

آزمایشات اخیر با قطعات **Wc-Co** نشان داده اند که استفاده از فشار ایزواستاتیک کمتر فقط تا حد ۲/۷ مگاپیکسل می تواند قطعه ها را با مقاومت و تراکمی تقریباً برابر با قطعه های تولید شده با فرایند **HIP** پر فشار، تولید کند (جدول ۳). بر اساس این یافته ها، کوره های فشار در دمایی بین ۱۴۵۰ تا ۲۲۰۰ درجه ی سانتیگراد (۲۶۴۰ و ۳۳۹۰ درجه ی فاز نهایت) کار می کند. این کوره ی جدید که ترکیبی از سه عملیات را در یک چرخه، انجام می دهد امتیازات عملیات های زیتترینگ و تراکم هم فشار گرم را اینگونه عرضه می کند:

- چسب زنی، زیتترینگ و متراکم سازی تحت فشار در یک چرخه و در یک ظرف انجام می گیرد.

- در طول مراحل مختلف فرایندها، قطعات در معرض هوا قرار نمی گیرند.

- کنترل کل چرخه با یک ریز تراشه الکترونیکی، عملکرد خودکار دارد و نیز درجه ی بالایی

از برنامه های تولیدی را دارد (شکل ۱۴)

- از انتقال قطعات از یک مرحله فرایند به دیگری جلوگیری می شود، که خود سبب کمتر

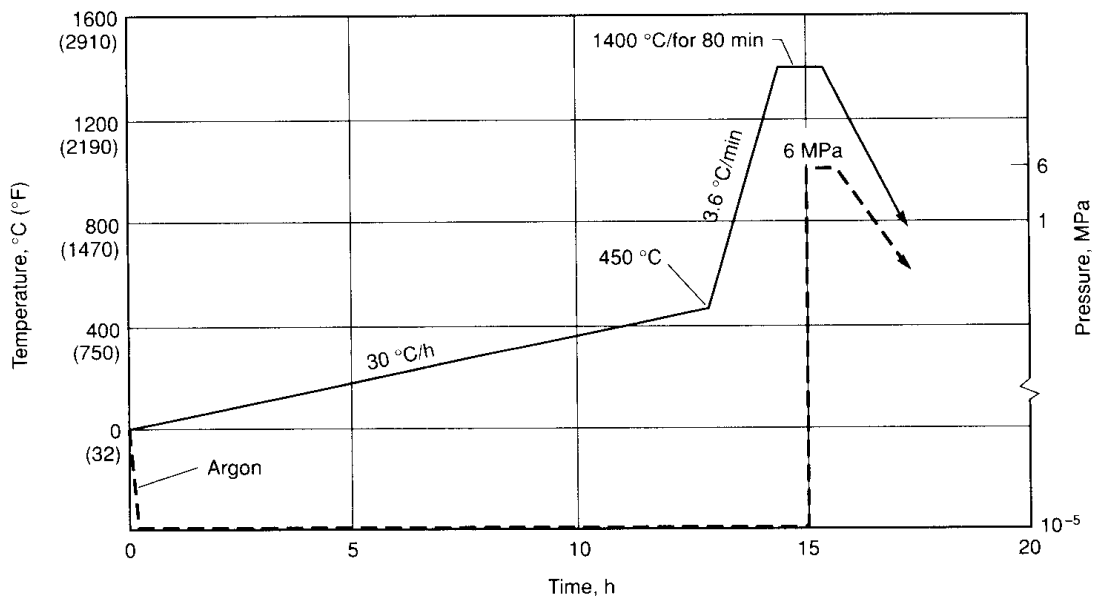
شدن هزینه کاری و زمان فرایند می شود.

- متمرکز کردن فرایندها سبب صرفه جویی در انرژی می شود.

جدول ۳: مقایسه ای از استحکام گسیختگی عرضی برای کاربردهای سمانته شده بعد از پرس ایزواستاتیک گرم و زینترینگ فشاری.

Processing method	Density		Hardness, HRA	Transverse rupture strength	
	g/cm ³	lb/in. ³		MPa	ksi
6% cobalt					
Vacuum sintering	14.87	0.537	91.6	2180	316
Vacuum sintering and HIP	14.90	0.538	91.9	2645	384
Pressure sintering	14.89	0.538	92.0	2480	360
9% cobalt					
Vacuum sintering	14.59	0.527	91.2	2170	315
Vacuum sintering and HIP	14.58	0.527	91.2	2380	345
Pressure sintering	14.63	0.529	91.2	2843	412
12% cobalt					
Vacuum sintering	14.09	0.509	89.9	2140	310
Vacuum sintering and HIP	14.07	0.508	90.0	2515	365
Pressure sintering	14.11	0.510	90.8	2565	372

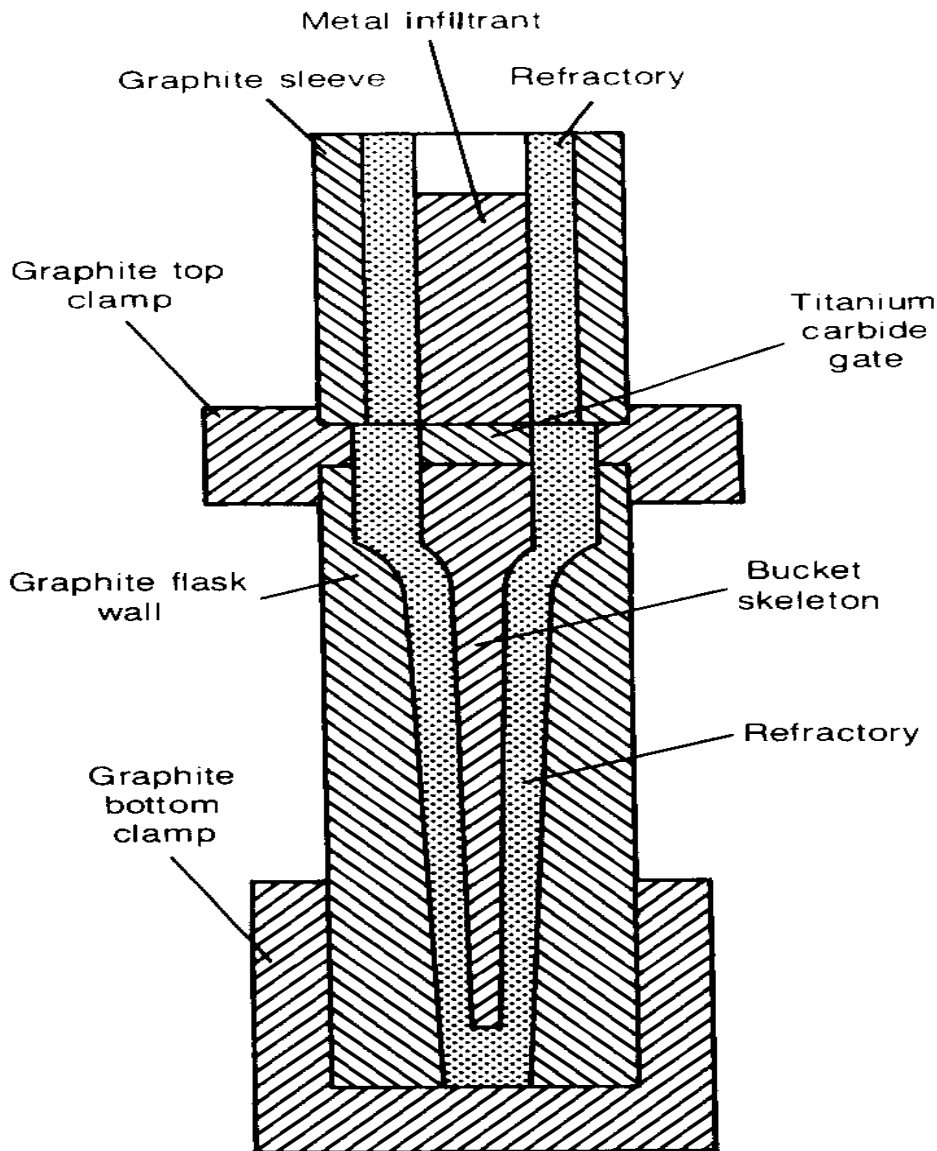
Source: Ref 16



شکل ۱۴: شمایی از سیکل نمودار برای موم گذاری با فشار پایین وزینترینگ با فشار بالا.

۲-۱۳- تراوش (کشیدن شدن فلز مایع به داخل خلل و فرج فلز دیگر توسط نیروهای موینگی)

تراوش، فرایندی است مشابه زینتر کردن به همراه فاز مایع، به جز اینکه در اینجا ابتدا فاز جامد در یک بدنه ی قالب دار متخلخل شکل می گیرد، و فاز جامد فلزی در مدت زینترینگ از بیرون تشکیل می شود و اجازه دارد تا در سیستم منفذ دار نفوذ کند. از انقباض اضافی به کمک زینترینگ فاز مایع می توان جلوگیری کرد، که پایداری ابعاد محصول را نتیجه می دهد به جز یک درصد رشد که به خاطر یک لایه ی نازک سطحی است که از فلز مایع بر روی قطعه شکل می گیرد. این روش برای سیستم هایی استفاده می شود که دارای دو یا تعداد بیشتری جزء ترکیبی باشند و دمای ذوب آنها با هم بسیار فرق می کنند. با کنار گذاشتن روش تراکم گرم، تراوش تنها روش پردازش پودر است که می تواند چگالی کامل نزدیک به شکل شبکه را ایجاد کند. تمام دیگر فرایندها ی متراکم سازی نیاز به انقباض ماده دارند و بنابراین شکل و ابعاد صحیح را تخریب می کنند. با ماشین کاری، تراکم هم فشار یا تزریق پودر به قالب، اسکلت بندی زودتر از تراوش شکل می گیرد، پیچیدگی در طرح بخش ها مانند برش ها، زوایای درونی و سطوح چند گانه که می توانند تا اندازه ی آزاد شوند، در بخش های با چگالی بالا که توسط روش اکستروژن یا پرسکاری گرم تولید می شوند، ممکن نیستند. ویژگی منحصر بفرد دیگر تراوش این است که تحت موقعیت های مناسب برای زوایای قطعه و انحلال پذیری محدود بین سیستم های فازهای کم ذوب شده و زیاد ذوب شده، شبکه های پیوسته ی کاملاً در هم پیچیده می توانند حاصل شوند. این مورد، موضوع مهمی برای ساخت محصولاتی است که باید ترکیبی از هدایت گرمایی و الکتریکی بالا را با میزان قابل قبولی از استحکام و مقاومت در برابر فرسایش داشته باشند. روند استفاده شده برای سرمت های **TiC** شامل ۲ مرحله است. اول تقریباً ۶۰ درصد از چگالی بدنه ی اسکلت کاربردی با شکل نزدیک به (5000 psi) در می آید، شمش در دمای در حدود ۱۳۰۰ درجه ی سانتیگراد (۲۳۷۰ درجه ی فاز نهایت) در خلأ زینتر شده و سپس شکل خارجی آن ماشین کاری می شود (برای مثال یک پره ی توربین). دومین مرحله شامل قرار دادن شکل اسکلت در یک قالب بسته شده است که دارای یک قیف محتوی فلز در بالاست که به طریقه ی وزنی و مایع اسکلت را برای سطوح مورد نیاز آن تغذیه کند. یک ترتیب تراوش از این نوع در شکل ۱۵ نشان داده شده است.

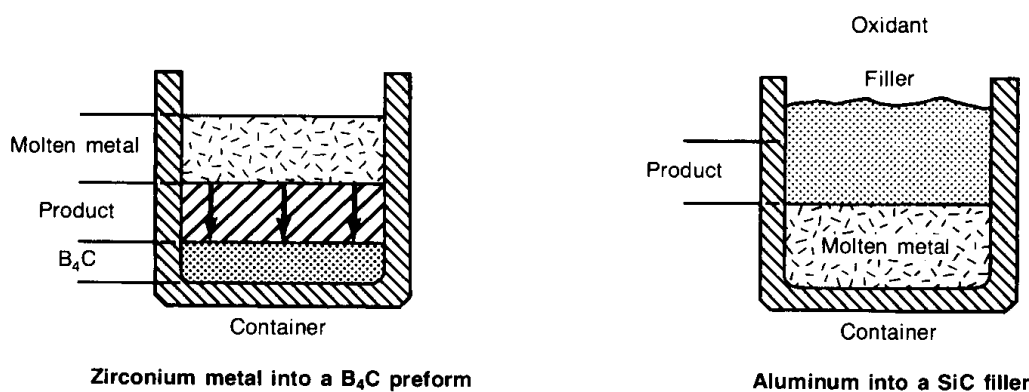


شکل ۱۵: مجموعه قالب تراوش پره توربین از نوع سرمت.

قالب از گرافیت ساخته شده و محفظه ی آن با سرامیک دیرگداز به حالت پودر به حالت پوشانده شده تا با اسکلت TiC به صورت واسطه عمل کند. پوشش سرامیکی به این خاطر انتخاب شده تا با کاربید تیتانیم تا دمای بالای تراوش واکنش ندهد و نیز به این دلیل که این پودر با نرخ کنترل شده ای منقبض می شود که به فاصله ها اجازه ی شکل گیری یکسان در تمام جهات را می دهد. قالب بسته شده در یک کوره ی خلأ تا 1400 الی 1500 درجه ی سانتیگراد (2250 الی 2730 درجه ی فارنهایت) حرارت می بیند؛ که این حرارت بالاتر از دمای ذوب آلیاژهای تراوش مانند $70Co-24Cr-6Mo$, $80 Ni-20 Cr$ است. در طول عمل تراوش، فلز مایع در ابتدا فاصله ی بین

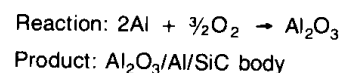
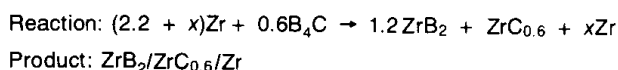
پوشش و سطح خارجی اسکلت را با نیروهای موینگی پر می کند و سپس به داخل منافذ بخش TiC نفوذ می کند. پس از سرد شدن کوره، محصول تماماً تراوش شده می تواند به راحتی با شکستن پوشش سرامیکی خارج شود بدون اینکه بر قالب گرافیکی صدمه ای وارد آید و این قالب می تواند دوباره استفاده شود. قطعات سرمتی با درجه بندی، می توانند با چگالی های مختلف اسکلت TiC و با استفاده از قالب پر شده ی مخصوص و پرسکاری کافی ساخته شوند. برای مثال یک تیغه ی توربین می تواند به گونه ای ساخته شود که توزیع بالایی از کاربید تیتانیم داشته باشد و بنابراین دارای مقاومت بالایی در مرکز ورقه و در محل انتقال در ریشه خودش باشد. همچنین پره ی توربین یک پوشش با ترکیب تقریباً فلزی به دو ورقه و به خصوص در لبه های پره که از نظر مکانیکی به ضربه حساس اند داشته باشد. همچنین در محل ریشه که دندانهای برای اتصال تیغه به چرخ توربین نیاز است. فرایند تراوش با موفقیت برای سیستم های دیگر سرمت ها نیز بکار رفته است؛ مخصوصاً هنگام استفاده با واکنش های واسطه ی بسیار موفقیت آمیز بوده است. یک مثال از چنین کاربردی تولید سرامیک های پیچیده است که با دانه هایی از ترکیب دیگر محکم شده و با نوع سومی نیز چسبیده است. سرامیک از پیش شکل گرفته یک کاربید شبه فلزی است، چسب یک فلز فعال با دمای ذوب نسبتاً بالا بوده و دانه ها محصولات واکنش کاربید و چسب می باشند. ترکیب منحصربفردی ریز ساختار چنین سرامیک که با صفحه کوچکی محکم شده، با تراوش جاذبه ای فلز ذوب شده به منافذ از پیش شکل گرفته و یا بسته کاربیدی، حاصل می شود. در مورد سرامیک B_4C و تراوش فلز زیرکونیوم به آن، اکسیداسیون کنترل شده ی سطوح تماس یک فاز جدید ایجاد می کند، ZrB_2 که به فراوانی به شکل دانه رسوب می کند و سبب محکم شدن سرامیک می گردد (شکل ۱۶-a). نتیجه ی مشابهی با پر کننده ها یا از پیش شکل گرفته هایق SiC که با فلز آلومینیوم ذوب شده و تحت شرایط اکسیداسیون مورد تراوش قرار می گیرد حاصل می شود؛ محصول واکنش در این مورد Al_2O_3 (شکل ۱۶-b) است. محفظه یا قالب استفاده شده در فرایند هماهنگ باشد؛ فرایند در جوی از آرگون انجام می گیرد. دمای واکنش و تراوش به نقطه ی ذوب و مایع بودن فلز بستگی دارد. این دما می تواند در سیستمی که شامل زیرکونیوم است تا ۲۰۰۰ درجه ی سانتیگراد (۳۶۳۰ درجه ی فارنهایت) نیز بالا باشد. زمان کامل شدن تراوش و واکنش در فاصله ی ۱ تا ۲ ساعت است و محصول نهایی ۵ تا ۱۵ درصد نیز چسب فلزی مانده دارد. سیستم سرامیک تراوش یافته ی محکم شده به یک سطح کوچک از نوع $ZrB_2 / ZrC_x / Zr$ ترکیب خوبی از مقاومت بالا، سختی و شکستگی بالا و هدایت گرمایی بالا را عرضه می دارد. این ترکیب گزینه ی جالبی برای مواد مورد استفاده در موتور موشک و قطعات پوششی است. بقیه ی سیستم ها نیز که با موفقیت با روش

تراوش تولید شده اند و یا با این روش قابل کار می باشند ترکیبات سرامیک های TiB_2 و نیکل، TiC با فولاد، WC با کبالت، ALN با آلومینیوم و AL_2O_3 با آلومینیوم را به عنوان فاز دوم خود دارند. فرایند تراوش کاربرد بور و سرمت های فلز فعال- بوراید بطور موفقیت آمیزی برای ساخت محصولات با مقاومت بالا، سخت و کم وزن که می تواند ترکیبی خوب از سختی با هدایت گرمایی و الکتریکی بالا عرضه کنند، استفاده شده است. فرایند شامل تراوش فلزات فعال ذوب شده، به ویژه آلومینیوم به داخل کاربرد بور که از نظر شیمیایی آماده شده است می باشد و یا می تواند از فلز- بوراید به عنوان اجزایی برای شروع استفاده کند مانند پودرها و یا رشته های با نسبت اندک، که در قسمت اسفنجی تخلخل سرامیک جمع می شوند. این فرایند راهی است برای تراوش آلومینیوم مذاب به درون فضای اسفنجی که به صورت حرارتی آماده شده است. از شیمی معمولی یا شیمی ذرات معلق برای کنترل واکنش شیمیایی ریخته گری و روندهای تراوش استفاده می شود. همچنین امکان یکپارچه کردن قطعات اسفنجی با قالبگیری تزریقی در فرایندهای تک مرحله ای وجود دارد. کلید کلیدی فرایند در کنترل شیمیایی سطح، تشکیل دهنده های ابتدایی واکنش می باشد. در فرایند دو مرحله ای، اولین گام تولید ویژگی های هندسی دقیقی است که بتواند با استفاده از چسب های از پیش آماده شده نیز قالبگیری شود. در گام دوم اتصال از جسم تولید شده فرار می کند و اسکلتی آماده برای تراوش بر جای می گذارد.



Zirconium metal into a B_4C preform

Aluminum into a SiC filler



شکل ۱۶: شمایی از تشکیل سرمت ها که با صفحه کوچکی محکم شده و در اثر تراوش حاصل

می گردد. (a) تراوش زیرکونیم. (b) تراوش آلومینیوم

۲-۱۴- اتصال و ریز ساختار

جنبه های مختلف فیزیکی، شیمیایی اتصال در بین فازها نا مشابه، و اندازه ی دانه های
سرامیکی قرار داده شده در زمینه فلزی بطور بسیار حیاتی برای خواص و ویژگی های سرامت ها مهم
می باشند مرجع ۲۸ شامل مباحث اساسی مکانیزم اتصال به ویژه در سیستم فلز- TiC می باشد.

۲-۱۴-۱- اتصال:

بطور کلی به دلیل اختلاف اساسی در طبیعت سرامیک و اجزای فلزی سرامت، هیچ کدام از
اتصال های حالت جامد به کار نمی روند. به جای آن ترکیبات به صورت اتصال های یونی، اتصال
های هم ظرفیت و اتصال های فلزی تشکیل شده اند. اولین نوعی که به فراوانی در سرامت استفاده
می شود سرامیک های با پایه ی اکسید می باشد، که نیروی کمی و چسبندگی ساده ای برای نگه
داشتن به فاز فلزی دارد. دومین نوع اتصال که به صورت وسیعی برای سیستم های شامل سیلیکون و
کربن استفاده می شود، گرافیت، الماس و SiC می باشد. مقاومت این اتصال نیز محدود است. سرامت
هنگامی همبستگی مکانیکی محکمی تشکیل می دهد که اتصال فلزی در ترکیب با اتصال هم ظرفیت
باشد. سیستم های فلز- کربید و فلز- بوراید مثال هایی از انواعی از سرامت هایی می باشند که این
ترکیب در آنها روی می دهد.

۲-۱۴-۲- انحلال پذیری:

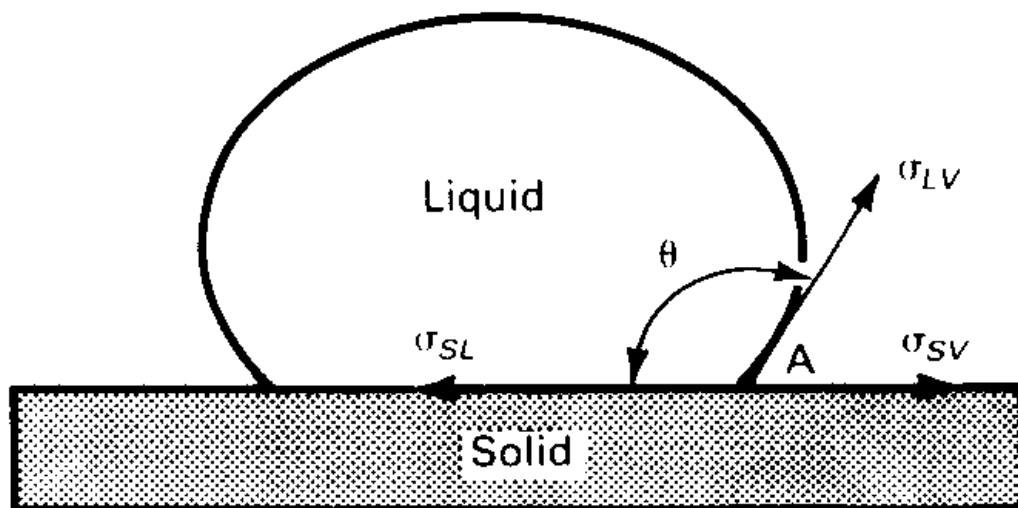
مقاومت چسبندگی بالا بین فلزو سرامیک در کاربردهای سمانته شده و بوراید با انحلال
اشتراکی یا بخشی بسیار بیشتر است. در طول عمل زیتترینگ، ذرات فعال سطح کربید یا بوراید در
فاز مایع محلول هستند، و کربن، بور و اتم های فلز انتقالی در ذرات جامد در هنگام سرد شدن دوباره
حل می شوند. بسته به سیستم، این عناصر در فاز اتصال با سطوح مقادیر کم که تا چندین درصد
هستند حل نشده باقی می مانند. حتی در بقیه ی انواع سرامت، این مکانیزم انحلال بخشی، یک مزیت
است زیرا یک سطح از فلز قلیایی تولید می کنند. فلزاتی که به عنوان اتصال شناخته می شوند برای
اکسید شدن آماده تر از شبه فلزات مانند بوراید و سیلیسیدها هستند. برای مثال در سیستم
 $Cr-Al_2O_3$ ، یک لایه ی سطحی از اکسید کروم (Cr_2O_3) بر روی ذرات کروم، در طول عمل
زیتترینگ با کنترل بسته و اتمسفری که به آرامی عمل اکسید شدن را انجام می دهد، انحلال جامدی
را تشکیل می دهند که طی آن Al_2O_3 به وجود می آید. نتیجه بالا رفتن بسیار زیاد چسبندگی است.

مشابه اتصال فلز- اکسید فلز قلیایی انتقالی، افزایش چسبندگی می تواند با یک لایه ی میانی از اکسید مس (CuO) در سیستم Cu-AL₂O₃ حاصل شود، و یا با یک لایه از نیتريد تیتانيم (TiN) در سیستم نیکل- اکسید منیزیم (Ni-MgO).
۲- ۱۴- ۳- رطوبت:

جنبه ی مهم دیگر در مکانیزم اتصال، قابلیت مرطوب شدن فاز جامد با جزء فلز مایع می باشد. که این قابلیت از سوی انرژی های سطحی سیستم در طول عمل زینترینگ فاز مایع کنترل می شود. در شکل ۱۷ قابلیت مرطوب شدن با زاویه ی تماس (θ) نشان داده شده که از یک قطره مایع بر روی زیر بنای جامد تشکیل یافته است. ارتباط میان بردارهای نیروی سطح با این معادله داده شده است:

$$\sigma_{sv} - \sigma_{sl} = \sigma_{lv} \cos\theta$$

که در این فرمول، σ_{sv} ، σ_{sl} و σ_{lv} به ترتیب انرژی های سطحی حد فاصل بخار- جامد، حد فاصل جامد- مایع و حد فاصل بخار- مایع می باشند. زاویه ی تماس پارامتری است که می تواند به دقت اندازه گیری شود. در سیستم های فلز- سرامیک اکسیدی، انرژی سطح حد فاصل بخار- مایع در فلز، بزرگتر از انرژی سطح حد فاصل بخار- جامد در اکسید است و زاویه ی تماس بزرگتر از ۹۰ درجه باقی می باشد نتیجتاً در طول زینترینگ فاز مایع یا تراوش در اتمسفر خنثی، فلز مایع در منافذ جامد باقی نخواهد ماند، اما به تعریق تمایل دارد. اگر زاویه ی تماس کوچکتر از ۹۰ درجه باشد، فاز فلز مایع در سیستم منافذ سرامیک باقی می ماند، و هنگامی که زاویه ی تماس به ۰ (صفر) برسد، اتصال محکمتر می شود. این موردی است که کاربردهای سمانته شده با اتصال کبالت، دارند.



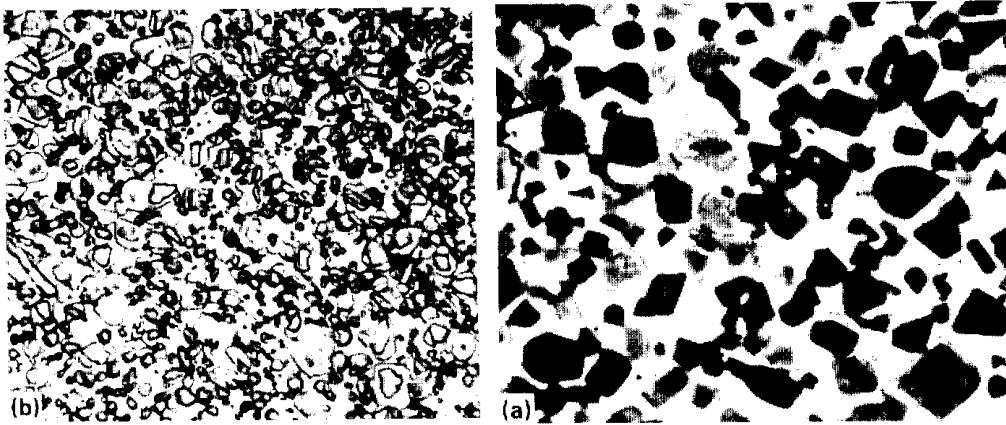
شکل ۱۷: نیروهای عامل سطح در یک نقطه از فصل مشترک از مایع ساکن روی جامد.

۲-۱۴-۴- ریز ساختار:

طبیعت اتصال در سرمت ها به شدت به ریز ساختار آن ارتباط دارد. این مطلب مخصوصاً برای سرمت های کاربردی اهمیت دارد زیرا در این مواد، خواص به شدت با متغیرهایی مانند شکل، اندازه و پراکندگی دانه های کاربرد، میزان دانه های کاربرد در زمینه فلزی، موقعیت و ساختار زمینه و البته درجه ی چسبندگی دو فاز، تأثیر می پذیرد. با وجود اینکه این متغیرها با یکدیگر پیوسته هستند. آنها می توانند برای اثرات خاصی انتخاب شوند. یک دانه ی بسیار ریز کاربرد تمایل دارد تا مقاومت و سختی را افزایش دهد، اما یک دانه با اندازه ی درشت تر تا حدود ۲/۲ میکرومتر می تواند سختی کاربردهای سمانته شده را افزایش دهد. گوشه های تیز که در دانه های WC رایج است سبب می شود که فقط اندکی، مقاومت کاربرد سمانته شده ی با چسب کم، کاهش یابد؛ در سرمت های با محتوای بالاتر فلز، این دانه ها تنش های موضعی را در زمینه فلزی شکننده افزایش می دهند. پراکندگی خوب دانه های کاربرد در زمینه فلزی، سبب جدایش دانه ها از یکدیگر می شود که تمایل به ایجاد شکست را که از یک دانه آغاز شده و به سمت بقیه که با دانه ی اول در تماس اند پخش می شود را محدود می کند. همین دلیل برای هر فاز سخت دومی که ممکن است در طول زینترینگ و پل بستن دانه های اصلی ایجاد شود. کاربرد کروم و آلومینید نیکل (Ni_3Al) مثال هایی از محصولات واکنش در زمینه هستند که می توانند به شکل دانه های کاربرد در سرمت های TiC انجام نمی گیرد. بطور کلی بسته به میزان کاربرد، مقاومت و سختی افزایش یافته و ضریب انبساط گرمایی کاهش می یابد در صورتی که زمینه میکروساختار به صورت یک فاز پیوسته باشد و به اندازه ای حجم داشته باشد که از حالت تنش های سه محوره جلوگیری شود، شکل پذیری نیز بهبود می یابد. وضعیت زمینه از چندین جهت مهم است. شکل پذیری بالا و دوام داری برای کم اثر کردن تنش های ناشی از فاز سخت و ایجاد ایمنی کم برای جلوگیری از بروز شکستگی فاجعه آمیز در حین کار، ضروری می باشند. انتخاب آلیاژ باید مستلزم توجه به زمینه باشد، زیرا زمینه منبعی در دسترس برای محصولات واکنش دهنده است که می تواند با دانه های کربن جوش بخورد و یک فاز سخت پیوسته را به وجود آورد. موقعیت زمینه فلزی همچنین بر خواص نظیر مقاومت در مقابل خوردگی و اکسید شدن، ماشینکاری و قابلیت جوشکاری تأثیر می گذارد. اتصالی خوب بین کاربرد و فاز فلزی ضروری است زیرا اتصال باید تنش ها را از یک فاز به دیگری انتقال دهد.

بنابراین هر فاصله بین سطح ذره ی کاربرد و زمینه زیان آور است. اهمیت این چسب ها با مثالی از اتصال خوب در Ni-TiC با اضافه کردن مولیبدن، تأکید می گردد. زاویه ی تماس نیکل مایع در ترکیب TiC در هیدروژن ۱۷ درجه است، اما این زاویه با اضافه شدن مولیبدن تقریباً به صفر

می‌رسد. همانگونه که از شکل های دو ترکیب (شکل ۱۸) قابل مشاهده است، نسخه ی بدون مولیبدن از رشد دانه های کاربید اضافی رنج می برد و در همان حال $Ni-MO-TiC$ ذرات ریز فاز کاربید که به خوبی و بطور پیوسته در زمینه ی فلزی پخش شده اند را نمایش می دهد. سرمت های از این نوع حاوی مولیبدن و نیکل به عنوان محلول جامد در آلیاژ چسباننده می باشند. $(Ti, MO)_{c1-x}$ در طول عمل زینتر کردن، مولیبدن با ذرات TiC واکنش می دهد تا موردی از $(Ti, MO)_{c1-x}$ را تشکیل دهد که هسته ی هر ذره ی TiC را احاطه می کند. این مکانیزم به بالا بردن رطوبت پذیری فاز کاربید با اتصال تمایل دارد. نتیجه ی اینکار افزایش مقاومت است ولی اساس شکنندگی به ویژه حساسیت براده شدن و شکاف داری کم نمی شود.



شکل ۱۸: ریزساختار از سرمت های کاربید تیتانیم زینتر شده در خلأ به مدت یکساعت و دمای ۱۴۰۰ درجه ی سانتیگراد ($2550^{\circ}F$) در گرافیت. (a) ۵۰ درصد وزنی TiC (wt %) و ۵۰ درصد وزنی Ni در بزرگنمایی ۱۰۰۰. (b) ۵۰ درصد وزنی TiC ، ۳۷٫۵ درصد وزنی نیکل و ۱۲٫۵ درصد وزنی Mo . در بزرگنمایی ۱۰۰۰.

۲-۱۴-۵- آرایش موقعیت های سرمت برای بهبود مقاومت در مقابل تغییر شکل و تافش شکست :
بهبود عمده ی مقاومت در مقابل تغییر شکل در سرمت های TiC و همزمان با کاهش شکنندگی با تغییر آرایش آلیاژ چسباننده یا فاز کاربید یا هر دو ممکن است آرایش آلیاژ چسباننده شامل افزودن آلومینیوم است که می تواند در صورتی اجرای درست، مقاومت محلول جامد را افزایش دهد (یک نمونه یک ترکیب چسباننده بهینه به این صورت است که ۲۲/۵ درصد نیکل، ۱۰ درصد مولیبدن و تقریباً ۷ درصد آلومینیوم ($Al+Ti$)) بهبود مقاومت تسلیم فشاری فاز کاربید با تشکیل یک محلول جامد از TiC با ۱۰ درصد وزنی Vc حاصل می شود افزودن تقریباً ۱۰ درصد وزنی TiM به مقدار بسیار زیادی مقاومت در برابر تغییر شکل سرمت را بالا می برد گمان می رود که این افزایش در نهایت نتیجه دو عامل اثر تصفیه ی دوباره ی دانه ها و سخت شدن فاز کاربید در محلول جامد

(محللول جامد حالتی است که دو عنصر می توانند به جای یکدیگر در یک ترکیب بنشینند و خواص آن ترکیب تغییری نکند) می باشد.

در صورتی که نسبت نیتريد تیتانیم به کاربید تیتانیم افزایش یابد کربو نیتريد در ساختار خود دستخوش تغییراتی می شود که تحت شرایط کنترل شده می تواند به شدت مقاومت و تافش شکست سرمت را بهبود بخشد در اوایل دهده ی ۱۹۷۰ این موضوع کشف شد که در سیستمهای چهارگانه ی **Ti-MO-C-N** و **Ti-W-C-N** یک فاصله قابل اختلاط در محللول های جامد کامل در میان **MON, MOC, TiN, TiC** وجود دارد تحت شرایط فرایند کنترل شده ، تک فاز همگن محللول جامد **(Ti, Mo)(C, N)** به طور خود به خود یا فوری به دو فاز مشابه (α, α') شکسته می شود که پارامترهای شبکه ای نزدیک به هم دارند ولی دارای ترکیب های شیمیایی مختلفی می باشند. α ضرورتاً کربونیتريد تیتانیم است که واقعاً همه ی نیتروژن مخلوط اصلی را در بر دارد. فاز α' فقط میزان کمی از نیتروژن را دارد اما تقریباً همه ی مولیبدن با تنگستن را با خود دارد ریز ساختار سرمت های در خلأ زینترینگ شده ، حاوی کربونیتريد با چسب نیکل- مولیبدن به عنوان ذرات سخت است؛ و نیز هسته ی کربونیتريد α غنی از تیتانیم- نیتروژن دارد که با حاشیه ی از α' مولیبدن- α' رطوبت پذیری بهتری را با فاز چسباننده در طول زینترینگ فاز مایع تحت خلأ از خود نشان می دهد و سرمتی با مقاومت بسیار بالا تولید می کند افزایش بهبودی در مقاومت در مقابل تغییر شکل و تافش شکست با آرایش بیشتر وضعیت های سرمت، بدون تغییر در جنبه های ساختاری ضروری، بدست می آید در حال حاضر بهینه سازی به در برداشتن اجزاء سختی به خوبی چسب تمایل دارد در گذشته، محللول جامد کربونیتريد تیتانیم با **MO₂C, NbC, TiC, VC, WC** به تنهایی و یا بصورت ترکیب تا حدود چهل درصد وزنی، رقیق می شد چسب محللول جامد نیکل و کبالت است که به نسبت های مختلف و به ویژه ۱۰ تا ۱۵ درصد وزنی از کل ترکیب سرمت مصرف می شود آلیاژ توسط مولیبدن و تیتانیم جذب شده که توسط ذرات سخت طول عمل زینترینگ فاز مایع انتشار می یابند، مقاومت می یابد. آلومینیوم اضافه شده در ابتدا (برای مثال نیکلی که با ذرات آلومینیوم پوشیده شده است) در افزایش دادن مقاومت شرکت می کند، به ویژه در دماهایی که ابزار عملیات برش با آن مواجهند. همچنین ممکن است سرمت هایی باشند که ریزساختارهای به کلی متفاوتی از خود نشان دهند. صفحات هگزاگونال (شش وجهی) با اندازه های در حد میکرومتر می توانند درون دانه های کروی یا دیگر شکل های هم محور پخش باشند و هر دو جزء سخت با فلز نرمتر در هم متصل باشند. این موارد ریزساختاری هم نتیجه ی آغاز واکنش شیمیایی مستقیم مواد تشکیل دهنده در مدت زینترینگ می باشند و هم نتیجه ی واکنش شیمیایی با یک عنصر بیگانه. سیستم کاربید بور و زیرکونیوم مثالی از

فرایند این نوع شکل گیری است؛ که واکنش، نتیجه ی اختلاط صفحات ZrB_2 با دانه های گرد شده ی ZrC_x می باشد که دانه های ZrC_x در زمینه ی زیر کونیوم آلیاژ نشده پراکنده هستند. در واکنشی که حاوی اکسیژن به شکل گازی یا جامد و نیز آرایش های مختلف از ترکیبات سخت است، می تواند هندسه های مختلفی از ذرات در زمینه های اتصال ایجاد شود. سیستم های از این دست $SiO-Al, ZrN-Zr, TiN-Ti, AlN-Al$ می باشند. اکسیژن می تواند خود مستقیماً و یا از یک منبع مجاور مانند سطوح تماس $BaTiO_3$ یا Al_2O_3 وارد سیستم شود.

فصل سوم: انواع سرامت ها و کاربردهای آن:

۳-۱- سرامت های اکسیدی

۳-۱-۱- مقدمه

این طبقه از موادی حاوی سرامیک اکسیدی و اجزاء فلزی در یک مقیاس میکروسکوپی می باشد. از این رو به خوبی در معنای کلمه ی سرامت جای می گیرد. بیشتر از اکثر مخلوط های مکانیکی با ترکیب اجزای درون شبکه ای و فازهای فلزی، سرامت های اکسیدی، بطور منفی با مقاومت ضعیف در مقابل شوک حرارتی و تافنس شکست نا کافی که مفید بودن این ماده را در بسیاری از جاهای دارای دماهای بالا و تنش های دینامیکی محدود می کند، تأثیر می پذیرند. با این وجود، بعضی از این مواد دارای مقاومت خوبی در مقابل اکسید شدن یا خوردگی در دماهای بالا می باشند، و بقیه نیز خواص فیزیکی بی نظیری همانند شکافت هسته ای از خود نشان می دهند. بطور کلی سرامت های اکسیدی می توانند برای تحمل تنش های ناشی از دمای بالا حتی بیشتر از آنچه توسط سرامیک های اکسیدی غیر فلزی تحمل می شود، تولید شوند. در حدود نیم دو جین از سرامت های فلز- سرامیک اکسیدی تولید شده است که بعضی از آنها در صنعت استفاده شده اند. بطور کلی، این سرامت ها، با آلیاژهایی که با پراکندگی اکسید مقاوم شده اند و یک جزء سرامیکی دارند که از نظر اهمیت، زبرتر است، فرق دارند. همچنین در بیشتر این سرامت ها بخش اکسیدی بطور قابل توجهی بیشتر از مواد مقاوم شده توسط پراکندگی اکسید می باشند.

۳-۱-۲- سرامت های اکسید- سیلیکون:

ترکیب کلاسیکی از سرامیک و فلز می تواند در مواد فلزی اصطکاکی یافت شود که در این مواد سرامیک فاز سخت را تشکیل می دهد. گیره های ماشین صنعتی و ترمزهای با عمر طولانی که هر دو در هواپیماها نیز یافت می شوند بزرگترین زمینه ی کاربرد این مواد می باشند. فاز سرامیک دانه های نسبتاً زبر SiO_2 (برای مثال ۲۰۰ مش) می باشند که بعضی وقتها به آنها Al_2O_3 نیز اضافه می شود؛ و میزان آنها ۲ تا ۷ درصد از حجم ماده است. زمینه ی فلزی از برنج یا برنز تشکیل شده و معمولاً می تواند حاوی آهن و سرب نیز باشد. همه ی مواد مقداری گرافیت دارند که مقداری روانکاری انجام می دهد. تکنیک های P/M مرسوم، مانند زینتر کردن فشاری، برای ساخت مواد اصطکاکی بکار می روند که این مواد به شکل دیسک هایی می باشند که در فنجان ها یا صفحات اتصالی خاصی جای می گیرند و یا به شکل نوارهایی که مستقیماً به ساختمان فولاد محافظ می چسبند.

۳-۱-۳ - سرمت های اکسید آلومینیوم:

در این نوع از سرمت، سرامیک فاز غالب است و فلز فقط به عنوان چسباننده عمل می کند. سرمت های اکسید آلومینیوم در سرمت های برشکاری برای عملیات ماشینکاری بسیار سریع با براده برداری سبک استفاده می شوند. اکسید تا حد بسیار ریز آسیاب می شود (معمولاً فقط ۱ تا ۳ میکرومتر) و سپس با پودر نیکل مخلوط شده و با هم آسیاب می شوند. به دلیل اینکه فاز چسب ندرتاً از ۵ تا ۱۰ درصد تجاوز می کند، سرمت پس از پرسکاری و زینترینگ بسیار شکننده است، و روانکاری فشاری و چسب های آلی برای سهولت عملیات مورد نیاز می باشد زینترینگ در هیدروژن خشک، در نیتروژن خشک و یا ترجیحاً در خلأ و در دمای حدوداً ۱۴۵۰ تا ۱۵۵۰ درجه ی سانتیگراد (۲۶۴۰ تا ۲۸۲۰ درجه ی فاز نهایت) انجام می گیرد. خاتمه ی عملیات، ظریف است. نوع دیگری از سرمت اکسید آلومینیوم در گذشته برای دمای بالا و کاربردهای مقاوم در برابر حرارت مانند اجزاء کوره، نگهدارنده های شعله ی جت، دهانه ی ظروف ذوب، میله ها و بست های محافظ آتش استفاده شده است. این کاربردها فقط با موفقیت تجاری محدود در طول سالیان مواجه شدند. این موارد از آرایش های پیچیده با درصد کمی از TiO_2 به شکل فاز سرامیک و با جایگزینی حدود یک پنجم فلز کروم با مولیبدن به عنوان زمینه ی چسباننده ساخته شده اند. با این همه یک آرایش مشابه ولی کمتر پیچیده برای تولید لوله های حفاظتی ترموکوپل استفاده شده است که از یک جامد منبسط شونده تشکیل می شود. لوله ها از سرمت دوگانه ۷۷ درصد کروم و ۲۳ درصد Al_2O_3 ساخته می شوند. محصول استاندارد لوله ای باید قطر خارجی ۲۲ میلی متر (۸۷۶ اینچ) و قطر داخلی ۱۶ میلیمتر (۰,۶۲۵ اینچ) داشته باشد؛ که از یک انتها با طول ۹۱۰ میلیمتر (۳۶ اینچ) بسته می باشد. دیگر لوله های تولیدی تا ۷۵ میلیمتر قطر (۳ اینچ) و ۶۰۰ میلیمتر طول (۲۴ اینچ) در همه جا موجودند. در ساخت این لوله ها، مخلوط پودر تا اندازه ی ذرات در حدود ۱۰ میکرومتر ساییده می شود. بصورت یک جا قالبگیری دوغابی، فشارش سرد با فشارش هیدرواستاتیک که در دمای بالای زینترینگ در ۱۵۶۰ تا ۱۷۰۰ درجه سانتیگراد (۲۸۴۰ تا ۳۰۹۰ درجه ی فاز نهایت) صورت می گیرد انجام می شوند. جو کوره هیدروژن بسیار خالص است که شامل مقادیری کنترل شده از بخار آب برای اکسید شدن سطحی ذرات کروم می باشد. انتشار اکسید کروم در آلومینا یک محلول جامد در مناطق تماس تشکیل می دهد که نتیجه ی آن ایجاد تماس قوی بین دانه هاست. بعضی از خواص، این نوع از سرمت در جدول ۴ آورده شده است. شکل ۱۹ اثر دما را بر مقاومت گسیختگی عرض، استحکام کششی و مقاومت گسیختگی - فشاری در سرمت های اکسید آلومینیوم نشان می دهد.

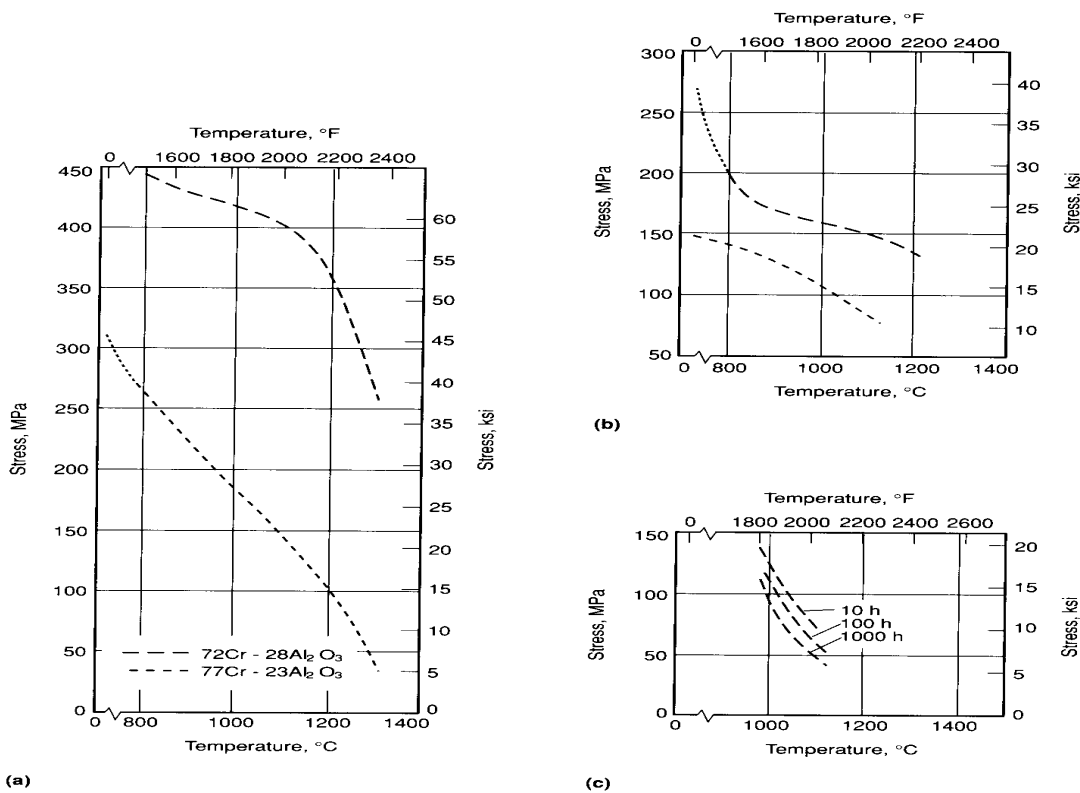
میزان کروم تاثیر زیاد و مهمی در مقاومت در برابر خزش این سرمت ها در دمای ۱۳۸۰ تا ۱۵۳۰ درجه ی سانتیگراد (۲۵۱۵ تا ۲۷۸۵ درجه ی سانتیگراد فاز نهایت) می شود. با حجم بالاتر از ۲۵ درصد کروم، Al_2O_3 یک زمینه عالی تشکیل می دهد و کروم عمدتاً توزیع فاز آن بصورت منظم و از روی آمار می باشد. برای غلظت های بالاتر کروم، شبکه ای از فلز شکل می گیرد که در حجم ۵۰ درصد کاملاً پیوسته است بنابراین برتری مقاومت خزشی Al_2O_3 با تشکیل و تکمیل شبکه ی فلزی از بین می رود.

بسیاری از فلزات در آزمایش ها با Al_2O_3 جفت شدند، با این هدف که مواد سرمتی که در دماهای بالا توان کار کردن داشته باشد و خواص مهندسی قابل قبولی ارائه دهد ایجاد شود. فلزاتی که در این تحقیق استفاده شده اند شامل نیکل، کبالت، آهن، مولیبدن، تنگستن، مس و نقره می باشند؛ کوشش اصلی مستقیماً برای فهم بهتر مکانیزم اتصال بود. با این وجود هیچ کدام از این ترکیبات به تحقیق تجاری دست نیافتند. نهایتاً مواد قابل توجهی در زمینه ی آلومینیوم به عنوان فلز زمینه برای Al_2O_3 و بعضی از روش های ساخت ایجاد شد؛ مانند اتصال حالت جامد و واکنش تراوشی که برای تولید مشخصات پیچیده و همگن در ساختارهای ورقه ای شکل استفاده شده است. به دلیل اینکه آلومینیوم فاز غالب است و Al_2O_3 به عنوان بخش تقویت کننده بکار می رود، این مواد باید به عنوان مواد مرکب زمینه- فلز طبقه بندی شوند.

جدول ۴: مقایسه و خصوصیات از سرمت های اکسید آلومینیوم.

Property	Cermet	
	Cr- Al_2O_3	Cr- Al_2O_3
Composition, wt%		
Chromium	72	77
Al_2O_3	28	23
Density, g/cm ³ (lb/in. ³)	5.9 (0.21)	5.9 (0.21)
Electrical resistivity at 25 °C (75 °F), $\mu\Omega \cdot cm$		87
Mean coefficient of thermal expansion, $\mu m/m \cdot ^\circ C$ ($\mu in./in. \cdot ^\circ F$)		
At 25–800 °C (75–1470 °F)	8.64 (4.80)	...
At 25–1000 °C (75–1830 °F)		8.93 (4.96)
At 25–1315 °C (75–2400 °F)	10.35 (5.75)	...
Thermal conductivity at 260 °C (500 °F) avg, W/m · K		
(Btu · in./ft ² · h · °F)		50.2 (348)
Specific heat, J/kg · K (Btu/lb · °F)		669 (0.16)
Hardness, HV		365
Modulus of elasticity, GPa (10 ⁶ psi)		
At 25 °C (75 °F)	324 (47.0)	259 (37.5)
At 1000 °C (1830 °F)		225 (32.6)
Transverse rupture strength at 25 °C (75 °F), MPa (ksi)	550 (80)	310 (45)
Tensile strength at 25 °C (75 °F), MPa (ksi)	270 (39)	145 (21)
Compressive strength at 25 °C (75 °F), MPa (ksi)		760 (110)
Shear modulus at 25 °C (75 °F), GPa (10 ⁶ psi)		117 (17)
Shear strength at 25 °C (75 °F), MPa (ksi)		276 (40)
Poisson's ratio in flexure at 25 °C (75 °F)		0.20–0.22
Microcharpy unnotched impact resistance at 25 °C (75 °F), J (in. · lb)	1.35 (<12)	...
Thermal shock resistance, max temp °C (°F)	1040 (1900)	...
Long-time oxidation resistance, max temp °C (°F)	1200 (2200)	1200 (2200)

Source: Ref 35, 36



شکل ۱۹: تاثیر دما روی خصوصیات استحکام از سرمت های اکسید آلومینیوم - کروم. (a) استحکام گسیختگی عرضی. (b) استحکام کششی. (c) استحکام پارگی.

۳-۱-۴- سرمت های اکسید منیزیم:

کروم به عنوان فاز فلزی در سرمت های با پایه ی منیزیم استفاده می شده است. نتایج آزمایشات با نسبت های مختلف فلز- سرامیک در مقاله های علمی گزارش شده است، که در آنها میزان اکسید منیزیم (MgO) از ۵۰ درصد حجم تا ۶ درصد حجم متغیر بوده است. هیچ کدام از این آرایش ها خواصی به مطلوبی سرمت Al₂O₃ از خود نشان نداده اند. هر چند که در سیستم MgO-Cr یک محصول میان مرحله ای واکنش (یک اسپینل (بلور معدنی بسیار سخت) MgO·Cr₂O₃) بین فازهای فلزی و سرامیکی مشاهده شد. ماده ای حاوی ۶ درصد MgO قابل اکستروود شدن است و الانگیشن به اندازه ۱۰ درصد یا بیشتر در دمای اتاق و پس از عمل زینترینگ مخلوط پودر اکستروود شده دارد. استحکام های تسلیم و کششی در حدود ۲۰۰ و ۳۵۰ مگاپاسکال (30, 50ksi) در دماهای تا ۶۰۰ درجه ی سانتیگراد (۱۱۰۰ درجه ی فاز نهایت) می باشند، ولی در دماهای بالاتر این استحکام ها کاهش می یابند. این خواص مقاومتی می توانند در مقادیر بالاتری از دما مثلاً در حدود ۱۰۰۰ درجه ی سانتیگراد (۱۸۰۰ درجه ی فاز نهایت) باقی بمانند در صورتیکه کروم با میزان کمی (برای مثال ۱ درصد) از نیوبیوم آلیاژ شود. هر چند که این عمل شکل پذیری و

چکش خواری را کاهش می دهد مقدار الانگیشن قابل اندازه گیری در دمای اتاق در حجم ۳۰ درصد از کروم یافت شد که بر اثر فشرده سازی هیدرواستاتیک مخلوط پودر درشت و زیتترینگ در دمای ۱۶۰۰ درجه ی سانتیگراد (۲۹۰۰ درجه ی فاز نهایت) ایجاد می شود.

متأسفانه در صورتی که این ماده که به شدت دیرگداز است در هوا تحت حرارت بالای ۱۱۰۰ الی ۱۲۰۰ درجه ی سانتیگراد (۲۰۰۰ تا ۲۲۰۰ درجه ی فاز نهایت) قرار گیرد، تشکیل نیتريد می دهد؛ و همین عامل سبب می شود که این سرمت به سرعت شکل پذیری خود را از دست بدهد.

نیکل، آهن، کبالت و آلیاژهای این فلزات با کروم برای استفاده در سرمت های با پایه ی **MgO** مصرف می شوند. به ویژه سرمت های **MgO-CO** خواص الکتریکی و مکانیکی خوبی در گستره ی وسیعی از آرایش ها ارائه می دهند. برای مثال مقاومت گسیختگی فشاری در ۸۵۰ درجه ی سانتیگراد (۱۵۶۰ درجه ی فاز نهایت) برای مدت ۱۰۰ ساعت و برای سرمتی با ۵۰ درصد وزنی کبالت، می تواند به حداکثر میزان ۷۷ مگاپاسکال برسد. با وجود فاز فلزی پیوسته ی این ماده (تقریباً ۳۰ درصد حجم) این سرمت یک عایق است. هیچ تغییر ناگهانی در مقاومت همانند کم و زیاد شدن مقاومت الکتریکی در ماده رخ نمی دهد.

۳-۱-۵- سرمت های اکسید بریلیوم:

بر طبق نظر "**Ryshkewitch**" سرمت های بریلیومی که دارای اتصال تنگستن می باشند دارای مقاومت در مقابل شوک حرارتی بهتر هستند و در دماهای بالاتر از مواد کروم-آلومینا نرمتر می باشند. این مواد با موفقیت به عنوان بوته های ریخته گری استفاده شدند و نیز برای گلولی ورودی نازل (افشانه) موشک نیز به کار رفته اند. همچنین "**Ryshkewitch**" برای ترکیبی از بریلیا با ۵۰ درصد حجمی فلز بریلیوم، استفاده برای عایق های حرارتی دمای بالا و مخروط های جلو برنده برای دستگاه های برنده را در نظر گرفت، با وجود اینکه این مواد شکننده و سمی می باشند.

۳-۱-۶- سرمت های اکسید زیرکونیوم:

زیرکونیا سرامیک دیگری است که می تواند برای بدست آوردن دیرگدازهای مفید به فلز متصل شود. حتی هنگامی که با مقادیر کمی از فلز مانند ۵ تا ۱۵ درصد تیتانیم، می تواند مواد مقاوم در برابر شوک حرارتی و محکم تولید کند. این مواد برای کاربردهایی نظیر بوته های ریخته گری برای ذوب فلزات کمیاب و واکنش دهنده مناسب می باشند. در صورتی که این اکسید مولیبدن ترکیب شود، سرمت حاصله دارای مقاومت در برابر پوسیدگی عالی در برابر فولاد ذوب شده،

مقاومت در برابر حرارت های بالای عالی و حساسیت اندک به شوک حرارتی می باشد؛ به ویژه هنگامی که میزان فلز تقریباً ۵۰ درصد حجم باشد. کاربردهای آن شامل پوشش های ترموکوپل برای اندازه گیری فلزات ذوب شده و قالب های اکستروژن مورد استفاده در شکل دهی فلزات غیر آهنی نیز می شود. سرمت های اکسید زیرکونیوم با مقدار کمی بیشتر سرامیک، مانند ۶۰ درصد حجم، برای استفاده در بخش های مقاوم در مقابل سائیدگی مناسب می باشد.

۳-۱-۷- سرمت های اکسید توریوم:

"Cronin" مواد سرامیک-فلزی را توضیح داده است که میزان بسیار اندک توریا (اکسید بسیار پایدار توریوم با ضریب انبساط حرارتی زیاد و قابلیت هدایت حرارتی کم) با مولیبدن یا تنگستن ترکیب شده تا تعدادی از محصولات مورد استفاده در صنایع الکترونیکی را ایجاد کنند. عملیات P/M اصلی که بر روی پودرهای فلزی و اکسید انجام می گیرد شامل سرنده کردن از میان سرنده ۳۲۵ مش، توزین، مخلوط سازی خشک، فشرده سازی، زیتترینگ در اتمسفر کاهش داده شده (در ۲۰۰۰ درجه ی سانتیگراد، ۳۶۳۰ درجه ی فاز نهایت برای مولیبدن، و در دمای تقریباً بالاتری برای تنگستن) و ماشینکاری نهایی برای مشخص کردن اندازه ها و اختلافات، می باشد. این محصولات حالت استوانه ها و پوشش های دستگاه مگنترون ضربه ای پر قدرت را که می تواند چندین میلیون وات تحویل دهد را به خود می گیرند. آنها به شکل، دیسک های ساده برای استفاده در لوله های بسته ی تخلیه الکترونی (کلیسترون: لامپ الکترونی تخلیه شده در دستگاه های مایکروویو و نوسان ساز)، لوله های برگشت موج و تفنگ های با هدف خاص ساخته می شوند. در بعضی از کاربردهای با ولتاژ بالا، کاتدهای انتشار ترمیونیک (انتشار الکترون ها تحت تأثیر گرما) در گستره ی وسیعی از دما (۱۰۰۰ تا ۱۷۰۰ درجه ی سانتیگراد یا ۱۸۳۰ تا ۳۱۰۰ درجه ی فاز نهایت) عمل می کنند، ولی این گسترده برای کاتدهای لوله های معمولی کمتر است (تقریباً ۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه ی سانتیگراد یا ۲۳۷۰ تا ۲۷۳۰ درجه ی فاز نهایت). به دلیل اینکه ThO_2 در فلز دیرگداز به صورت پراکنده و به شکل فاز اندک ذرات ریز که به ندرت از ۴ تا ۵ درصد حجم تجاوز می کند حضور دارد، مواد درون سرمت معمولاً به صورت آلیاژ نوع پراکنده وجود دارند.

۳-۱-۸- سرمت های اکسید اورانیوم:

این سرمت ها در عناصر سوخت هسته ای در هسته راکتور استفاده مس شوند. این مواد متشکل از UO_2 قابل شکافت به صورت پراکنده در زمینه ی آلومینیوم، فولاد ضد زنگ یا تنگستن

زیتتر شده می باشند. در بیانی ساده از سوخت اکسیدی، این سرمت ها گیرش بهتری به محصولات شکافت و قابلیت هدایت گرمایی بالایی دارند، که از ذوب شدن در دماهای بالای کار جلوگیری می کند، معمولاً برای اطمینان از اینکه زمینه ی فلزی مناسب پیوسته است و نیز برای محدود کردن قطرات از حجم نگه داشته می شوند. سرمت درون ساختارهای از جنس فولاد ضد زنگ مانند غلاف ها یا قالب ها نگهداری می شوند. جزئیات تولید سرمت های اکسید اورانیوم به روش متالوژی پودر در مرجع ۵۱ آورده شده است ممکن است که UO_2 از نظر خلوص متفاوت باشد، که به فرایند تولید آن بستگی دارد و نیز باید در آرایش استوکیومتری باشد. ذرات سرامیک نسبتاً درشت هستند و باید آنقدر قوی باشند تا بتوانند تاب تحمل کارهای بعدی را بدون گسیختن داشته باشند. اندازه ی ذره برای کریستال های دوتایی حداقل ۴۴ میکرومتر (۳۲۵+ مش)، برای کریستال های تکی ۳۵ تا ۴۴ میکرومتر و ۴۰ تا ۵۰ میکرومتر برای قطر دانه های بسیار ریز (۱/۱ تا ۱ میکرومتر) کریستال های بی قاعده می باشد. این پودرهای UO_2 در دمای ۱۶۰۰ تا ۱۷۰۰ درجه ی سانتیگراد (۲۹۰۰ تا ۳۱۰۰ درجه ی فاز نهایت) در هیدروژن حرارت داده می شوند تا اندازه ی ذره، مقاومت و چگالی (در مورد بخش قلوهای شده) افزایش یابد. افزودن اندکی TiO_2 سرعت زیتترینگ را افزایش می دهد. روندهایی که به طور مرسوم برای مخلوط کردن پودر فلز و اکسید استفاده می شوند باید بازبینی شوند، و از اتمام عملکردهای کنترل نقاط باید استفاده شود زیرا پرتوزایی UO_2 بسیار قوی است. هنگامی که اختلاف زیادی بین چگالی های فلز و سرامیک موجود است، درهم آمیختن برای جلوگیری از تمرکز موضعی کافی نیست و باید از آسیاب گلوله ای استفاده کرد. جدول ۵ لیستی از چگالی و بعضی از خواص فیزیکی و هسته ای UO_2 و نیز فلزات زمینه گوناگون در سوخت های سرمتی را آورده است. روش های استاندارد برای فرایند مخلوط کردن پودر سرامیک- فلز در سوخت سرمت به صورت یک جا استفاده می شود. با پرسکاری سرد چگالی های بالا نیز هنگامی که روانکاری فشاری نیز استفاده می شود قابل دسترسی هستند. به دلیل اینکه زیتترینگ با دمای بالا معمولاً برای رسیدن به چگالی بالا و مشخصات ابعادی عنصر سوخت کافی نمی باشد، ماشین کاری برای اندازه کردن و کار کردن نیاز است. بعضی از ذرات گسیخته شده ی اکسیدی و باطله در این موارد غیر قابل اجتناب اند. بعضی از روش های یکپارچه ای که چگالی را زیادتر و گسیختگی را کم می کند ولی در عین حال هزینه ی تولید را افزایش می دهد، شامل پرسکاری داغ و فرایندهای انجام داغ مانند اکستروژن، قالب ریزی کردن، نورد و کشیدن می باشد. سرمت های محتوی ۵۰ درصد از هر کدام از UO_2 و تنگستن برای عناصر سوخت، برای هسته های راکتور گاز سرد استفاده می شوند که دمای سرمایش برابر ۱۵۰۰ درجه ی سانتیگراد (۲۷۳۰ درجه ی فاز نهایت) و بیشتر دارند. این

تولید با روش های نظیر تراکم پر انرژی، تراکم داغ خلأ یا هم فشار، نورد پودر و اکستروژن انجام می گیرد.

جدول ۵: خصوصیات دی اکسید اورانیوم وزمینه دلخواه فلزات در سرت های سوخت راکتور هسته ای.

Material	Thermal absorption cross section, barns/atom	Density		Melting point	
		g/cm ³	lb/in. ³	°C	°F
Uranium dioxide (0.53 uranium volume ratio)	0.002	10.96	0.397	2500	4530
Beryllium	0.01	1.848	0.067	1277	2330
Magnesium	0.06	1.738	0.063	650	1202
Zirconium	0.18	6.489	0.235	1852	3366
Aluminum	0.23	2.699	0.098	660	1220
Niobium	1.1	8.57	0.31	2468	4474
Molybdenum	2.4	10.22	0.37	2610	4730
Iron	2.4	7.87	0.285	1537	2799
Stainless steel, type 304	2.9	~7.90	~0.286	~1400	~2550
Chromium	3.1	7.19	0.26	1875	3407
Nickel	4.5	8.90	0.322	1453	2647

Source: Ref 51

۳-۱-۹- سرت های محتوی دیگر اکسیدها:

توسعه ی تکنولوژی جدید، تقاضا را برای مواد جدید با خواص سازگار با کاربردهای خاص افزایش داده است. یک نمونه از این مواد مورد نیاز برای مجموعه های الکترونیکی با قیمت به صرفه به عنوان اجزای نیمه هادی یا شبکه های انتقال حرارت است. این گونه مواد به ترکیبی بی همتا از هدایت های گرمایی و الکتریکی، مقاومت کافی را برای کاربرد و ضریب انبساط حرارتی کنترل شده نیاز دارند که امکان جفت شدن (امتزاج) با سیلیکون یا هر ماده ی نیمه هادی دیگر را می دهد. مواد ترکیبی یا سرت های خاص می توانند این نیازها را برای سیستمی به خصوص به بهترین نحو برآورده سازند زیرا اینگونه مواد قابلیت تغییر خواص ترکیبهای فلزی و سرامیکی را به راحتی ارائه می دهند.

برای مثال ماده ای مرکب شامل آهن و کرومیت ($Al_2O_3 - 2MgO - 5SiO_2$) برای دستیابی به میزان ضریب حرارتی خاص و کنترل شده ای تولید شد. هنگامی که پودرها در یک قالب تحت فشار سرد استاتیک قرار گرفتند و پس از آن با کمک اضافه کردن ۰/۲ درصد حجمی از E، زینتر شدند، یک سرت با چگالی کامل حاصل می شود که چسبندگی سطحی خوبی را ارائه می دهد. با ترکیب تا ۴۰ درصد حجمی از کرومیت، فاز سرامیک در زمینه ی آهنی پراکنده می شود که سبب کنترل ضریب انبساط گرمایی خواهد شد.

۳- ۱- ۱۰- سوپر هادی دمای بالا با زمینه فلزی:

سرمت با محتوی اکسید دیگری نیز برای قطعات سوپر هادی در دمای بالا تولید شده است. در این سرمت یک مخلوط اکسید مس- سرامیک با فلزی که به راحتی شکل می گیرد ترکیب شده تا کامپوزیت تولیدی حاصل شود. مس انتخاب خوبی برای فاز فلزی است زیرا مقاومت، چکش خواری و خواص سخت شدن در حین کار خوبی دارد که با هدایت الکتریکی و گرمایی قابل توجه آن با هم در هم آمیخته اند. این ویژگی، مس را به عنوان یک محصول برجسته برای زمینه سوپرهای سرامیکی یا روپوش حفاظتی، یا هر دو مناسب می سازند به منظور کم کردن نیروی لازم برای شکل دهی و ساخت سیم، اتصال قسمت حد فاصل بین سرامیک و فلز به صورت درونی ضروری است. یک روش برای رسیدن به این هدف آسیاب کردن $YBa_2Cu_3O_x$ و مش تا حد پودرهای بسیار ریز، به خوبی مخلوط کردن آنها با هم، و سپس قرار دادن پودر در معرض امواج ضربه ای به صورت یک جا درون لوله ی مسی است.

۳- ۲- سرمت های کاربید و کربونیتريد

۳- ۲- ۱- مقدمه

مواد فلزی متصل به کاربید یا کربونیتريد احتمالاً مهمترین گروه از سرمت ها در عصر حاضر می باشند. از نظر منطقی، همه ی مواد فلزی متصل به کاربید تنگستن و کاربید تیتانیم در دسته ی سرمت ها جا می گیرند. با این وجود در صنعت معمول است که همه ی ترکیب های کاربید تنگستن متصل به کبالت را به عنوان کاربیدهای سمانته شده بشناسند این رده ی مهم از سرمت ها در مقاله ی «کاربیدهای سمانته شده» در این شماره مورد بحث قرار گرفته اند. این بخش بر دسته های دیگری از مواد کاربیدی یا کربونیتريدی متصل به فلز تمرکز دارد، مانند:

- سرمت های کاربید تیتانیم متصل به نیکل با فولاد
- سرمت های کربونیتريد تیتانیم
- سرمت های کاربید تنگستن متصل به فولاد
- سرمت های کاربید کروم
- سرمت های با پایه ی فلزات قلیایی

۳- ۲- ۲- سرمت های کاربید تیتانیم متصل به نیکل:

این رده از سرمت ها در سال های اخیر توجهات فراوانی را به خود جلب کرده است. توسعه‌ی موتورهای توربوجت سرعت بالا برای هواپیمای نظامی و کمی پس از آن وقوع حمل و نقل تجاری با جت، نیاز برای مواد بهتر برای مکان های حیاتی خاص به ویژه قطعات متحرک در بخش تأمین نیروی اینگونه هواپیما ها را بروز داد. تلاش های عمده ای برای توسعه ی سرمت های **TiC** برای استفاده در این کاربردها صورت گرفته است انگیزه های مهمی برای تلاش در زمینه ی این هدف در ایالات متحده و اروپا در طول دهه ی ۱۹۵۰ پیش آمد که از بین آنها، ترکیبی دلخواه در مقیاس ریز، مقاومت بالا، مقاومت تقریباً خوب در مقابل اکسید شدن در دماهای بالا و وزن مخصوص کم سرامیک با فاز آلیاژ فلزی که بتواند مقاومت خوبی در مقابل شوک حرارتی و مکانیکی به ماده بدهد را می توان نام برد. در این سرمت های **TiC**، فاز فلزی در گستره ی وسیعی قابل تغییر است که از ۳۰ تا ۷۲ درصد وزنی تغییر می کند. آلیاژهای اصلی **Ni - Cr, Ni - Mo - Al, Ni - Mo** و انواع **Ni - Co - Cr** می باشند.

بعضی از آلیاژهای پیچیده تر نیز مانند سوپر آلیاژهای تجاری برای اتصال با **TiC** مورد استفاده قرار گرفته اند. در جایی که مقاومت فلز چسباننده در برابر اکسید شدن در دمای بالا کافی نبود، مانند **Ni - Mo**، این ویژگی در سرمت با افزودن فازهای سرامیکی که به میزان کمی کربن و نیوبوم، تانتالیوم یا تیتانیم موجود در محلول جامد **(Nb, Ta, Ti) c** با **TiC**، آنها از پیش آلیاژ شده بود، افزایش داده شد. پودر کاربید تیتانیم به صورت صنعتی از واکنش بین **TiO₂** و پودرهای کربنی به عنوان مواد شروع کار تولید می شود. کربوره کردن در حضور فاز گازی (دی اکسید کربن) و در دمای واکنش ۱۶۰۰ تا ۱۷۰۰ درجه ی سانتیگراد (۲۹۰۰ تا ۳۱۰۰ درجه ی فاز نهایت) روی می دهد. واکنش تنها هنگامی متوقف می شود که میزان کربن محصول به زیر ۰/۸ درصد برسد. پودر با کیفیت بالا، ۰،۱ تا ۰،۲ درصد کربن آزاد و حداقل ۸۰،۰ درصد تیتانیم دارد.

فقط دو طریقه برای ساخت این نوع از سرمت ها استفاده می شود، روش تولید کاربید سمانته شده به طریقه ی مرسوم و تراوش. روش اول که هنوز هم امروزه استفاده می شود، از تراکم مخلوط های پودری فلز - سرامیک به صورت هم فشار یا تک محوری، پیش زینترینگ، تولید شکل با عملیات ماشینکاری، زینترینگ در خلأ با فشار بالا و عملیات تکمیلی، استفاده می کند. با انجام دقیق این روش به خصوص در طول فرایندهای اولیه، شکل های بسیار پیچیده را با دقت بالایی در ابعادشان می توان با این روش تولید کرد. تیغه های هواپر با پیچش های مختلف، و حتی بخش های گردنده ی توربین به طور کامل به همراه تیغه های تکی که روپوش آنها تراش های عمیقی دارد با این روش کاربید سمانته شده تولید می شوند. در صورتی که هدف به دست آوردن مقاومت فشاری،

گسیختگی بالا و مقاومت خزشی پائین در دمای عملکرد ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه ی سانتیگراد باشد (۱۸۳۰ تا ۲۰۰۰ درجه ی فاز نهایت) تنها از فاز **TiC** باشد، میزان چسب باید کم باشد) در مقایسه با کاربیدهای سمانته شده) با این همه سرمت های **TiC** با میزان کم چسباننده، سختی کافی ندارند. افزایش میزان فلز فقط اندکی سختی را بهبود می بخشد و خواص مقاومتی ماده را کاهش می دهد. طبیعت شکننده ی سرمت های **TiC** سمانته شده بر عملکرد آنها به عنوان پره های توربین تأثیر می گذارد. در آزمایش های موتور که در مرجع شماره ی ۵۷ آورده شده است، در پایه ی دندانه ای ریشه ی پره بر اثر ناکافی بودن سختی برشی؛ در نوک لبه ی برنده ی هوا به دلیل مقاومت کم لبه ی برنده ی هوا در مقابل ضربه به خاطر دانه های سخت آن؛ در طول لبه ی برنده ی هوا به خاطر ناکافی بودن ظرفیت تطبیق با تنش های دینامیکی به دلیل بیرون زدگی یا کمانی شدن پوشش به خاطر تغییر شکل پلاستیک آن، شگستگی روی داده است، مقاومت کم در برابر خستگی در نزدیکی پره های حلزونی عمقی از نقطه ضعف های دیگر این ماده است.

پیشرفت قابل ملاحظه ای برای تولید یک سرمت **TiC** قابل قبولی برای این عملکرد بحرانی موتور توربوجت با افزودن میزان مواد سرمت و به طور همزمان مقاوم کردن ماده چسباننده با آلیاژ کردن آن بدست آمده است. آرایش ها برای تطبیق با نیازهای مقاومتی و شکل پذیری بخش های مختلف پره ها متفاوت بودند؛ که در نهایت استفاده از فرایند تراوش برای ساختن محصولات عایق پذیرفته شده در ریشه و لبه ها و نوک تیغه ی برنده ی هوا تجمع آلیاژ را به وجود می آورد.

هدف توسعه ی اجزاء موتور قابل سرویس که با سرمت های کاربیدی و به روش تراوش تولید می شوند همزمان با توسعه ی صنایع متالورژی در خلأ اندکی متوقف شد، زیرا این صنایع می توانستند سوپر آلیاژهای محکمی به روش رسوب گذاری تولید کنند که این سوپر آلیاژها قادرند به راحتی و برای دوره های طولانی در دماهای بسیار بالاتری از گاز کار کنند. با این وجود سرمت های کاربید تیتانیم چگالی کمی دارند و مقاومتشان در برابر اکسیداسیون در دمای بالا بهتر از کاربید تنگستن سمانته شده با کبالت است؛ بنابراین هنوز هم در کاربردهای گوناگون با حساسیت کمتر نیز استفاده می شوند، به خصوص برای کاربردهایی که این ویژگی ها در آن کاربردها مزیت محسوب می شود. مثال هایی در این مورد شامل بست ها و یا تاقان ها که در دمای بالایی کار می کنند، اتصالات صفحه ای در خصوص بخش های مقاوم در برابر سایش می باشد یک کاربید تیتانیم متصل به نیکل برای کاربرد در رینگ های آب بندی (محکم کاری) دارای ۲۵ درصد وزنی نیکل، ۸ درصد وزنی مولیبدن، ۶ درصد وزنی **NbC**، ۳ درصد وزنی **WC** و بقیه تیتانیم است. ویژگی های فیزیکی و مکانیکی این ماده در جدول زیر آورده شده است.

Property	Amount
Density, g/cm ³ (lb/in. ³).....	6.1 (0.221)
Thermal conductivity, W/m · K (Btu · in./ft ² · h · °F)	17.99 (124.8)
Mean coefficient of thermal expansion, μm/m · °C (μin./in. · °F)	8.4 (4.67)
Hardness, HRA.....	89.0
Transverse rupture strength, GPa (ksi) ...	1.7 (247)
Ultimate compressive strength, GPa (ksi)	4.2 (610)
Compressive yield strength, GPa (ksi)....	3.8 (550)
Compressive modulus of elasticity, GPa (10 ⁶ psi)	394 (57.2)
Shear modulus, GPa (10 ⁶ psi).....	156 (22.6)
Poisson's ratio	0.264
Fracture toughness (K _{IC}), MPa · √m (ksi · √in.).....	10.6 (9.64)

Source: Kennametal, Inc.

۳-۲-۳- سرمت های کاربید تیتانیم متصل به فولاد:

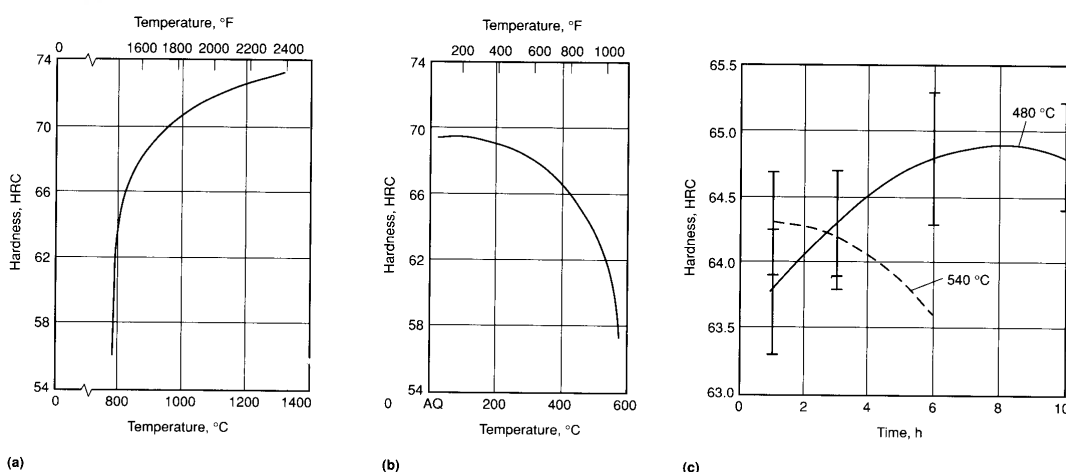
سرمت های کاربید تیتانیم با اتصال فولاد، پیامد توسعه ی سریع سرمت های TiC تراوشی با چسباننده های آلیاژی نیکل - کروم و کبالت- مولیبدن می باشد. این توسعه در دهه ی ۱۹۵۰ بر حل مشکلات شدید موادی که در انتهای داغ موتورهای جت و توربین های گازی با آن مواجه بودند تمرکز یافت. تلاش برای ایجاد سرمت با پایه ی TiC جدید بر زمینه ی وسیع ابزار و پوشش ها متمرکز است یک سرمت جدید باید نیاز عمده برای رقابت مؤثر با دسته های دیگر مواد در زمینه ی اجزاء مقاوم در برابر سایش و ابزارهای با دوام داشته باشد، از سرمت های جدید انتظار می رود که:

- در شرایط آنیل شده با دستگاه های برش مرسوم و متداول قابل ماشین کاری باشند.
- با تجهیزات معمول قابل سخت شدن باشد، بدون آنکه کربن زدایی شود و نیز بدون اینکه تغییری در اندازه اش روی دهد.
- پس از سخت شدن برای کاربردهای دشوار ساییده نشوند، و عملکردی معادل یا بهتر از کاربید تنگستن سماتنه شده ی معمولی داشته باشد.

با ترکیبی با گستره ی حدود ۲۵ تا ۵۰ درصد حجمی TiC، یک کاربید متصل به فولاد می تواند هر سه مورد این نیازها را برآورده سازد. به طور کلی اضافه کردن کاربید به روش های P/M،

خواص یک فولاد داده شده را در جهتی تغییر می دهد که سختی، مقاومت سایشی و مدول الاستیسیته بیشتر شوند، با این وجود این افزایش برای ویژگی های کشیدگی، ضربه ای و خستگی زیان آور است. بیشترین حد برای اضافه کردن TiC هنگامی فرا می رسد که سرمت دیگر قابل ماشینکاری یا سخت شدن بدون ایجاد ترک در آن نیست. کمترین حد، به این خوبی قابل بیان نیست. زیترینگ به همراه فاز مایع هنگامی بخش بخش می شود که یک قطعه با میزان کاربرد کم شکل خودش را در فرایند از دست بدهد. شکل ۲۰ سختی را به عنوان تابعی از دمای عملیات حرارتی در سرمت های TiC با سختی کم شده و نیز به عنوان تابعی از زمان سپری شده در سرمت های TiC که با رسوب گذاری سخت شده اند نشان می دهد.

بسته به انتخاب اتصال فولادی، بعضی از انواع کاربرد متصل به فولاد، خواص مقاومت در برابر اکسید شدن، مقاومت در مقابل فرسایش و مقاومت در مقابل گرمای خوبی دارند قسمت فاز سخت در آلیاژ، تغییرات خواص متالورژیکی و فیزیکی را تحت تأثیر قرار می دهد که بر طبق قانون مخلوط ها است.



شکل ۲۰: سختی دمای اتاق سرمت های کاربرد عملیات حرارتی شده با اتصال های فلز آهن

دار. (a) تأثیر دمای آستنیت سازی روی مواد قابل سخت کاری. (b) تأثیر دمای تمبر روی مواد سخت کاری

شده. (c) تأثیر پیرسازی دما و زمان روی دو مواد پیرسختی شده در دماهای مختلف.

۲-۳-۴ - مقایسه ی کاربردهای متصل به فولاد که قابلیت عملیات حرارتی دارند با کاربرد تنگستن

متصل با کبالت:

در زمینه ی کلی کاربردهای سمانته شده، گروه های کاربرد تنگستن متصل به کبالت، دسته ای می باشد که در طول سه دهه ی گذشته بیشترین توسعه را پشت سر گذاشته است. آرایش ها، خواص فیزیکی، روش های ساخت و کاربرد این دسته از مواد در مقاله ی «کاربردهای سمانته شده» در همین

شماره مرور شده اند. در بسیاری از کاربردها، کاربید تنگستن متصل به کبالت، معایب خاصی دارد. خواص کاربید تیتانیم متصل به فولاد می تواند با همین مواد برای کاربید تنگستن متصل به کبالت به این صورت مقایسه شوند:

• کاربیدهای تیتانیم متصل به فولاد به عملیات حرارتی جواب می دهند و هنگامی که اتصال در شرایط آنیل شده باشد، با دستگاه های مرسوم قابل ماشینکاری است. از سوی دیگر، کاربید تنگستن متصل به کبالت به عملیات حرارتی جواب نمی دهد و با دستگاه های معمولی به راحتی قابل ماشینکاری نیست.

• کاربید متصل به فولادی که کاملاً سخت شده است می تواند در دماهای مختلفی حرارت داده شود، از این رو شکل پذیری بیشتری نسبت به کاربید تنگستن متصل به کبالت بدست می آورد. با این وجود، بدست آوردن این شکل پذیری با از دست دادن مقداری از سختی همراه است.

• کاربید تنگستن های سماتته شده موادی با مدول های بالا می باشند. کاربیدهای متصل به فولاد مدول هایی دارند که بیشتر از مدول های فولاد نیست.

• ضریب انبساط گرمایی کاربیدهای متصل به فولاد به فولاد نزدیکتر است تا به کاربیدهای تنگستن سماتته شده

• هر دو مورد محصولات کاربید تنگستن و کاربید می توانند لحیم کاری شوند. مورد دیگر قابل توجه اینکه: لحیم باید نقطه ذوبی بیشتر از دمای آستنیت شده داشته باشد. سخت شدن بعد از عملیات لحیم کاری انجام می گیرد.

• کاربیدهای متصل به فولاد که محتوی ۴۵ درصد حجمی TiC می باشند تقریباً نصف چگالی کاربیدهای تنگستن را دارند. این امر مورد مهمی است که باید در طراحی اجزاء مقاوم در برابر سایش برای وسایل هوا نوردی و فضانوردی و یا برای تجهیزاتی که با سرعت بالا می چرخند، در نظر گرفته شود.

• آرایش های کاربید متصل به فولاد کبالت ندارند. این یک امتیاز محسوب می شود زیرا کبالت نیمه عمر کوتاهی دارد و مواد محتوی کبالت پس از در معرض قرار گرفتن تشعشع هسته ای، پرتوزا باقی می مانند. پس از پرتو زده شدن، این مواد برای کاربرد در دوره های طولانی زمانی متشکل می باشند.

• بیشتر کاربیدهای تیتانیم متصل به فولاد و همه ی کاربیدهای تنگستن متصل به فولاد، خاصیت آهنربایی دارند. در نتیجه مواد متصل به فولاد که درصد بیشتری چسب دارند فرومغناطیس

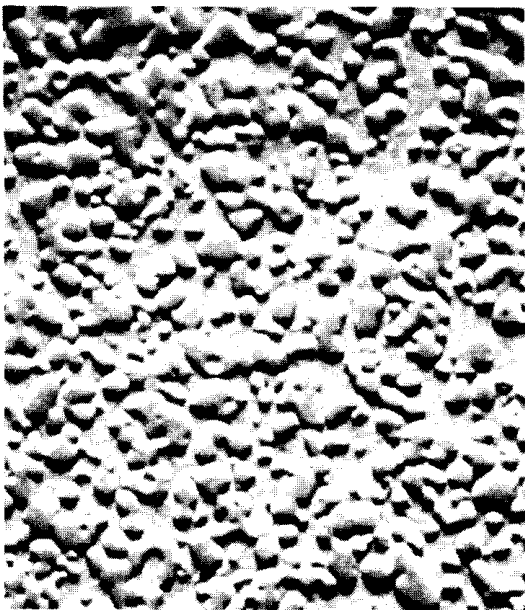
می باشند بنابراین مواد متصل به فولاد این توانایی دارند که در گیره های مغناطیسی برای عملیات سایش سطح نگهداری شوند.

• مواد خام برای کاربید تیتانیم، متصل به فولاد در ایالات متحده فراوان و ارزان می باشد از سوی دیگر کبالت، تنگستن در لیست مواد استراتژیک جزء موارد نسبتاً بالا می باشند.

• برخلاف شکل زاویه دار کاربید تنگستن، شکل ذرات کاربید تیتانیم، هنگامی که در زمینه فولادی زیتترینگ می شوند گرد شده است (شکل ۲۱) هنگامی که این ذرات کاربید تیتانیم بسیار سخت و گرد شده در معرض سطح قرار بگیرند، جوشکاری سرد را بهبود می بخشد و روانی عالی و ضریب اصطکاکی اندکی را ایجاد می نمایند.

• بعضی از آرایش های خاص کاربید تنگستن نتایج بهتری در عملکردهای مهم که درگیر ضربه و سایش اصطکاکی شدید می باشند مانند سرمت های زغال کنی، ابزار حفاری چاه نفت و قالب ریزی سرد، به دست داده اند.

کاربید تنگستن متصل به کبالت، به اضافه ی مقدار بسیار کمی از کاربیدهای تیتانیم، تانتالیوم و نیوبیوم، بر زمینه ی وسیعی از ابزارهای برشی تسلط دارد.



(a)



(b)

شکل ۲۱: تصویر شفاف شده ذره کاربید در سرمت با اتصال فولادی. (a) بزرگنمایی ۷۵۰×
(b) بزرگنمایی ۱۰۰۰×

۳-۲-۵- مقایسه ی سرمت های کاربید متصل به فولاد با دیگر مواد مقاوم در برابر سایش:

مقاومت سایشی کاربردهای متصل به فولاد بسیار بزرگتر از فولادهای قابل ماشینکاری مقاوم در برابر سایش می باشد. در کاربردهایی که در آنها ابزار فولاد توخالی و ابزار شکل دهی فولادی با ابزار کاربیدی متصل به فولاد جایگزین شده اند، عملکرد ۱۰ الی ۲۰ برابر بهتر مشاهده شده است. در هنگام مقایسه با مواد کبالتی ریخته گری مقاوم در برابر سایش، کاربردهای متصل به فولاد امتیازاتی مانند قابلیت ماشینکاری و قابلیت سخت شدن را به همان خوبی مقاومت در برابر سایش دارا می باشند.

۳-۲-۶- سرمت های کاربرد با آرایش های مختلف اتصال فولادی:

ویژگی های رطوبت پذیری و قابلیت انحلال کاربرد، این ماده را با تعداد زیادی از آلیاژ های فولادی برای ساخت سرمت های کاربرد متصل به فولاد (SBC) سازگار می کند. از میان بسیاری از آرایش های ممکن، تعداد اندکی از پر اهمیت ترین آنها برای ساخت سرمت واقعی توسعه یافته اند. جدول ۶، آرایش ها، خواص و عملیات های حرارتی تعدادی از دسته های SBC سخت شونده با آبدیده کردن و سخت شونده با رسوب گذاری، ارائه کرده است.

رده ی C، یک سرمت همه منظوره با کروم کم، فولاد با کمی چسب مولیبدن و ۴۵ درصد حجمی TiC است. این سرمت نسبتاً شکل پذیر و در تحت شرایط آنیل شده برای ماشین کاری آماده می باشد و سطح کف سختی آن ۷۰ HRC می باشد. این سرمت برای کاربردها و ابزار سایشی و دماهای کاربردی که از ۱۹۰ درجه ی سانیتگراد (۲۷۵ درجه ی فاز نهایت) بیشتر نمی شود مناسب می باشد. بیشتر از این دما، اتصال آلیاژ فولادی حرارت دیده می شود که نتیجه ی آن از دست رفتن سختی و مقاومت سایشی است. رده ی CM دارای کروم زیاد، آرایش اتصال فولاد مولیبدنی کم و ۴۵ درصد حجمی TiC می باشد. این سرمت در مقایسه با رده ی C، در مقابل گرما مقاومتر است و اندکی شکل پذیری کمتری دارد، قابلیت ماشینکاری خوب و در دمای ۱۰۸۰ درجه ی سانیتگراد (۱۹۷۵ درجه ی فاز نهایت) آمادگی برای سخت شدن از دیگر ویژگی های این رده می باشد. این سرمت می تواند حداکثر دمای کاری ۵۲۵ درجه ی سانیتگراد (۹۷۵ درجه ی فاز نهایت) را تحمل کند. رده ی دیگر SBC است که محتوی TiC کمتر دارد که شکل پذیری و مقاومت در برابر شوک حرارتی آن را بالا می برد بعضی از رده ها با خواص پیرسختی عملکرد در دماهای بالاتر و مقاومت بیشتر در مقابل اکسید شدن و خوردگی را ایجاد می کنند. جدول ۷ لیستی از کاربردهای اثبات شده برای سرمت های TiC را نشان می دهد.

جدول ۶: خصوصیات سرمت های کاربید با اتصال فولادی.

Grade	Carbide content, vol%	Matrix alloy type	Heat-treating cycle, °C (°F)/h	Tempering cycle, °C (°F)/h	Hardness, HRC		Relative machinability(a)	Maximum working temperature		Density	
					Annealed	Hardened		°C	°F	g/cm ³	lb/in. ³
C	45	Medium-alloy tool steel.....	955 (1750)/1	190 (375)/1	44	70	1	190	375	6.60	0.239
CM	45	High-chromium tool steel.....	1080 (1975)/1	525 (975)/1 + 510 (950)/1	48	69	2	525	975	6.45	0.233
CM-25	25	High-chromium tool steel.....	1080 (1975)/1	485 (900)/1 + 470 (875)/1	32	66	2	540	1000	7.00	0.253
CHW-45	45	Tool steel.....	1040 (1900)/1	540 (1000)/1 + 540 (1000)/1	45	64	2	540	1000	6.45	0.233
CHW-25	25	Tool steel.....	985 (1800)/1	540 (1000)/1 + 525 (975)/1	30	61	2	540	1000	7.00	0.253
SK	35	Impact-resistant tool steel.....	1025 (1875)/1	425 (800)/1 + 425 (800)/1	38	62	1	540	1000	6.80	0.246
CS-40	45	Martensitic stainless steel.....	1060 (1940)/1	150 (300)/1	50	68	3	370	700	6.45	0.233
PK	42	Maraging steel.....	485 (900)/3	...	50	61	3	450	840	6.60	0.239
MS-5A	41	Age-hardening martensitic stainless steel.....	485 (900)/10	...	48	61	1	450	840	6.55	0.237
HT-6A	40	Age-hardening nickel-base steel.....	870 (1600)/8 + 760 (1400)/4	...	46	52	4	985	1800	6.80	0.246
HT-2A	40	Age-hardening nickel-iron.....	790 (1450)/8	...	46	53	4	760	1400	6.60	0.239

Grade	Carbide content, %	Matrix alloy type	Expansion test range, from 20 °C (70 °F) to:		Expansion coefficient		Transverse rupture strength		Compressive strength		Impact strength(b) J/cm ² in. · lb/in. ²	Thermal shock, number of cycles(c)	Linear size change through heat treatment, %	
			°C	°F	μm/m · °C	μin./in. · °F	MPa	ksi	MPa	ksi				
C	45	Medium-alloy tool steel.....	190	375	3.53	1.96	1490	216	3585	520	5.66	323	5	+0.048
CM	45	High-chromium tool steel.....	525	975	5.54	3.08	1275	185	3323	482	3.69	211	2	-0.011
CM-25	25	High-chromium tool steel.....	540	1000	10.13	5.63	1744	253	3226	468	6.58	376	103	+0.058
CHW-45	45	Tool steel.....	540	1000	5.72	3.18	1165	169	2206	320	3.14	179	6	+0.019
CHW-25	25	Tool steel.....	540	1000	6.71	3.73	1979	287	2813	408	6.27	358	106(d)	+0.039
SK	35	Impact-resistant tool steel.....	540	1000	9.47	5.26	1551	225	2627	381	7.39	422	100	+0.034
CS-40	45	Martensitic stainless steel.....	370	700	4.41	2.45	1027	149	3123	453	2.59	148	1	+0.016
PK	42	Maraging steel.....	450	840	3.80	2.11	1379	200	2875	417	7.37	421	84	-0.029
MS-5A	41	Age-hardening martensitic stainless steel.....	450	840	3.55	1.97	1765	256	2861	415	6.00	343	9	-0.009
HT-6A	40	Age-hardening nickel-base steel.....	985	1800	8.87	4.93	1317	191	1965	285	5.36	306	11	-0.014
HT-2A	40	Age-hardening nickel-iron.....	760	1400	13.99	7.77	1241	180	2206	320	5.95	340	18	-0.037

(a) A rating of 1 indicates the greatest ease of machining. (b) Unnotched specimen. (c) Tested by heating the specimen to 1000 °C (1830 °F) and oil quenching; the cycle is repeated until a crack appears. (d) Specimen did not fail. Source: Alloy Technology International

جدول ۷: کاربردهای از سرمت های کاربید با اتصال فولادی.

Application

Wear-resistant parts in valves, metal-stamping and metal-punching equipment

Hone guides

Gages

Core rods

Forming dies

Draw dies

Wiping dies

Guide rolls

Extrusion barrel liners

Molds for plastic injection molding

Paper punches

Screw segments

Tablet dies

Forming dies and mandrels

Pelletizer knives

Pelletizer die faces

Cold- and hot-heading dies

Textile fiber rolls

Fiber venturis

Sizing dies

Furnace furniture and rails

Filament mandrels

Cryogenic pistons

Bed knives

Mixing cups and pintles

Aerospace material

Source: Alloy Technology International Inc.

۳-۲-۷ - ساختن سرمت های کاربید تیتا نیم متصل به فولاد:

دو فرایند عمده برای تولید سرمت های استاندارد یا سرمت های با اتصال فولادی که به طور مخصوص آنیل شده استفاده می شود. اولین فرایند که در شکل ۱ نشان داده شده است شامل این مراحل می باشد:

- آماده سازی مخلوط های پودری کاربید تیتانیم، آهن، کربن و آلیاژهای عنصرهای فلزی به شکل پودر به نسبت های لازم در آسیاب گلوله ای برای بدست آوردن اتصال فولاد آلیاژی خاص.
- فشارش سرد استاتیک یا هیدرواستاتیک (همه جانبه)
- زینترینگ زیاد در حضور فاز مایع تحت خلأ
- دوباره متراکم کردن به صورت گرم و آنیل کردن

دومین فرایند که به ویژه برای قطعات بزرگ یا شکل های خاص استفاده می شود شامل این

مراحل است:

• فشارش سرد استاتیک یا هیدرواستاتیک

• کپسوله کردن در یک قوطی (غلاف) فولادی

• پرس ایزواستاتیک گرم و آنیل کردن

• خارج کردن از قوطی

این فرایند محصولی تولید می کند که به کلی عاری از تخلخل، ترک ها یا دیگر نقایص داخلی است. فرایند آخری همچنین برای قطعات سرمت متصل به یک پایه فولادی یا فولاد اضافی استفاده می شوند.

۲- ۸- سخت کردن سرمت ها با اتصال فولاد:

همانند آنچه در جدول ۶ آورده شده است، سخت کردن سرمت های با چسب فولاد، با فرایندهای مختلفی انجام می گیرد که معمولاً با مطابقت با فراهم بودن تجهیزات در محوطه ساخت انتخاب می شوند.

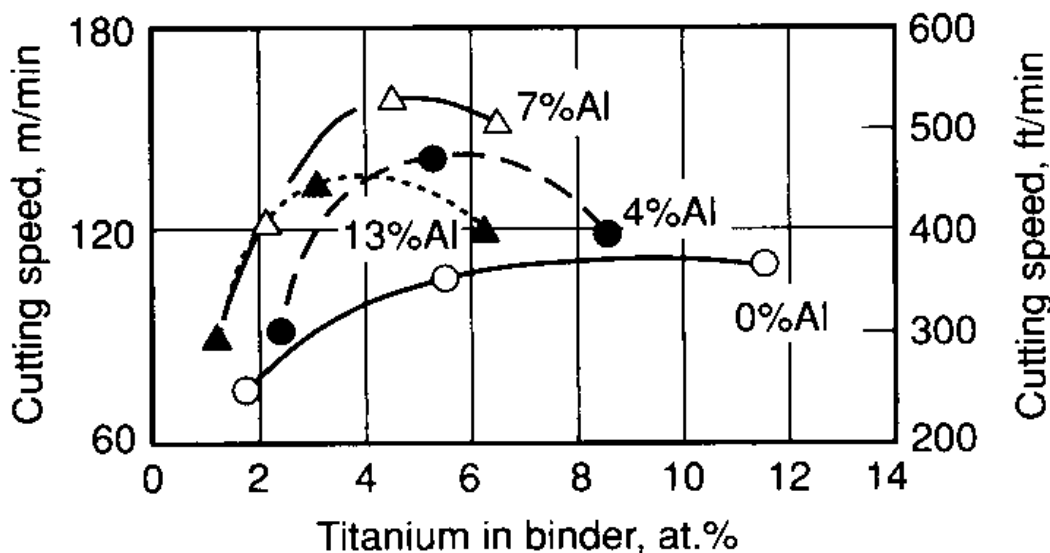
از اکسید شدن و کربن زدایی باید جلوگیری نمود. شکستگی، پیچش و تغییر شکل کم می باشند زیرا فقط نیمی از جرم به حالت مارتنزیت تغییر می یابد و کاربید تیتانیم به طور ثابتی سخت است و در این فرایند شرکت نمی کند. اغلب می توان از سایش نهایی بعد از سخت شدن اجتناب کرد زیرا میزان تغییر اندازه اندک است.

۳- ۲- ۸- ماشینکاری و سایش:

با خرید فلزات خام کار نشده، آنیل شده، که استاندارد و مناسب می باشند. یک کارگاه ماشینکاری می تواند ابزار پیشرفته یا بخش های مقاوم در برابر سایش تولید کند بدون اینکه از روش های ماشینکاری معمولی مانند ماشینکاری به روش تخلیه الکتریکی استفاده نماید. در شرایط آنیل شده، سرمت های TiC متصل به فولاد، همانند آن هایی که در جدول ۶ درج شده اند. می توانند با روش های عادی نیز ماشینکاری شوند. اکثر عملیات ماشینکاری به روش خشک بهتر از روغن کاری شده کار می کنند. شیرها، حتی هنگامی که نو می باشند باید قبل از استفاده از گریس پاک شوند. سایش سرمت در شرایط آنیل شده ی آن، با عملیات رنده کاری و سریع به سطح صاف نهایی آن منتهی می شود. برای قطعات بسیار دقیق یا اجزاء ابزارها، معمولاً سایش نهایی با چرخ های اکسید آلومینیوم که با نرخ بالایی از سرمت بالا و بدون سرد کننده عمل می کنند انجام می شود. ابزار سایشی سنگین نتیجه ی خوبی بدست می دهند برای تولید شکل های پیچیده در بخش های قالبی با قسمت شکل دهی، شکل دهی سایشی با چرخ های مخصوص این کار در شرایط آنیل شده و در صورت نیاز سایش مجدد با فرایندی کم هزینه و پس از سخت شدن انجام می گیرند.

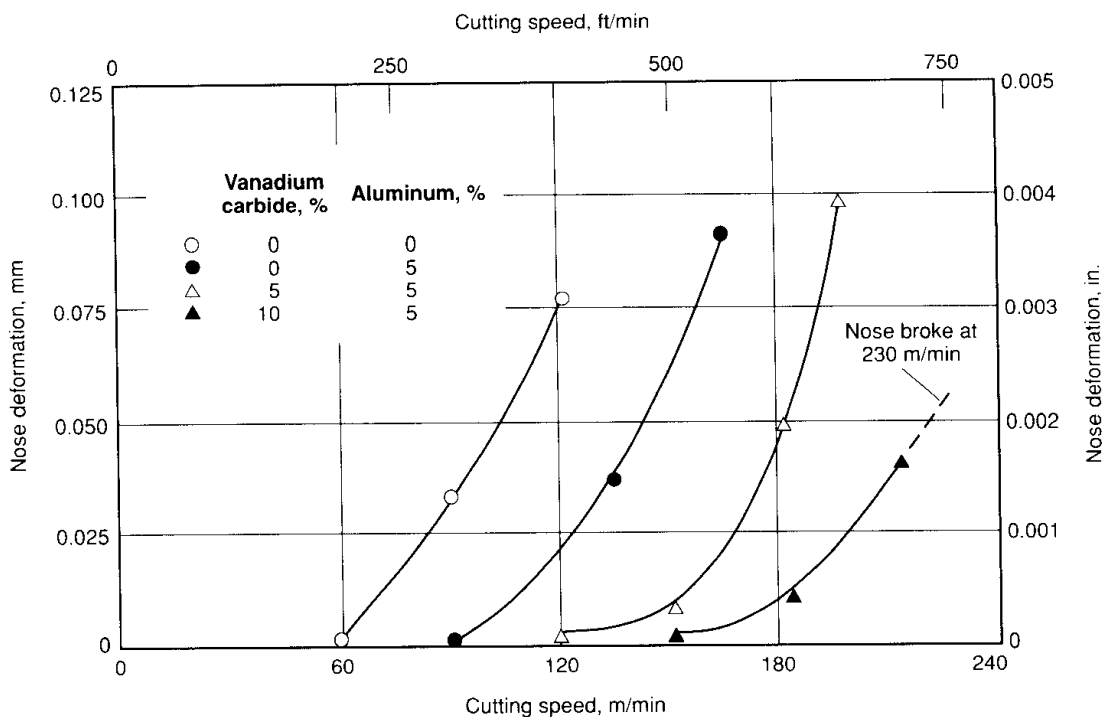
۳-۲-۹- سرمت های کربونیتريد تیتانیم:

سرمت های کربونیتريد تیتانیم که به طور گسترده ای به عنوان ابزار برش استفاده می شود. در نتیجه ی توسعه ی ابزارهای برش با جنس کاربید- تیتانیم در دهه ی ۱۹۵۰ تکامل یافت. مواد ابزار برشی سرمت اولیه، دارای ۷۰ درصد TiC، ۱۲ درصد نیکل و ۱۸ درصد Mo_2C بودند. این مواد زیتتر شده دارای چگالی ۶,۰۸ گرم بر سانتیمتر بوده، سختی دیواره ی آن ۹۲ در مقیاس HRA و مقاومت گسیختگی مقطع آن ۸۶۰ مگاپاسکال (125 ksi) می باشد. به دلیل اینکه این مواد دارای سختی بالا، مقاومت خوب و میزان هدایت گرمایی کم می باشند، برای کاربردهای ماشینکاری با برش سبک و پر سرعت مناسب می باشند. در کشورهای پیشرفته، متعاقب این امور، ابزار برش سرمتی پیچیده ای بر پایه ی کاربید تیتانیم و ماده ی سرمت نیکل- مولیبدن، ساخته شد. سرمت های کاربید تیتانیم با اتصال های نیکل - مولیبدن به عنوان موادی برای ابزار پر سرعت معرفی شدند، اما آنها در زمینه های مانند شکل پذیری و مقاومت در برابر شوک حرارتی، ناکافی بودند. این مسئله، تحقیقاتی را برای بهبود عملیات برش توسط دو شاخه ی مقاوم کردن فاز اتصال و بهبود دادن فاز کاربید، برانگیخت. به نظر می رسید که آلومینیوم بهترین عنصر آلیاژی فلزی اتصال برای این ساختار باشد. با استفاده از تغییر شکل حداکثر ۰,۰۷۵ میلیمتر (۰,۰۰۳ اینچ) به عنوان معیاری از سایش ابزار، با اضافه کردن حدود ۷ درصد آلومینیوم، سرعت بهینه برش به اندازه ی زمینه برسد (شکل ۲۲).



شکل ۲۲: سرعت های برش برای ۰,۰۷۵ میلیمتر (۰,۰۰۳ in) تغییر شکل دماغه در مقابل درصد اتمی از اتصال تیتانیم برای موادهای شامل چهار سطوح مختلف از آلومینیوم.

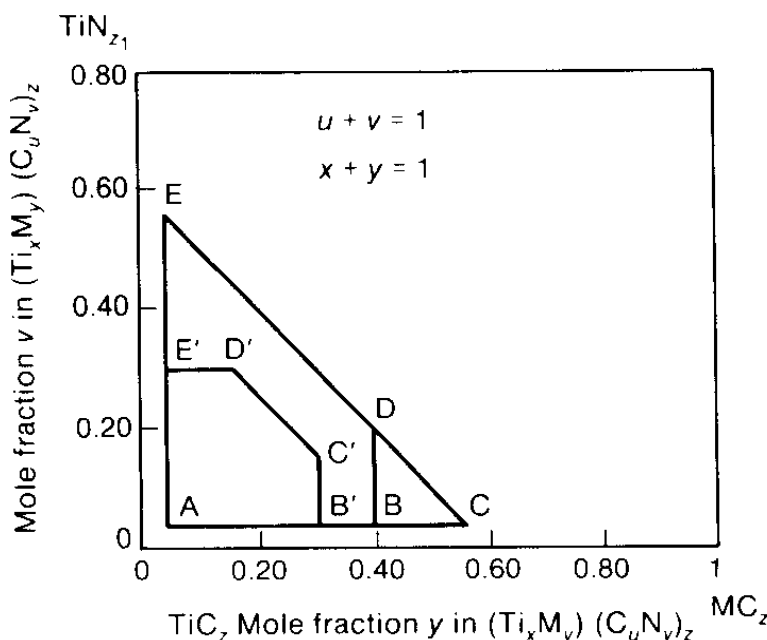
به نظر می رسد که حداکثر مقاومت آلیاژ با میزان حدود ۷ درصد (آلومینیوم + تیتانیم) به ماکزیمم خود می رسد. پس از دست یافتن به مقاومت بهینه ی زمینه با استفاده از رویکردهای تجربی در مسئله، محققان کوشش کردند که از همان رویکرد در دست یافتن به راهی برای مقاوم کردن فاز کاربید برسند. مقاومت در مقابل تغییر شکل در ابزار، با اضافه شدن کاربید وانادیوم (VC) به محلول جامد با فاز سخت **TiC**، تغییر واضحی را نشان می دهد. در سطح ۵ درصد VC، سرعت برای تغییر شکل های معادل، بیشتر از ماده ای بدون این افزودنی است. اضافه کردن VC بیشتر اثری عکس دارد (شکل ۲۳) با این وجود، بهبود بیشتری در مقاومت در مقابل تغییر شکل با افزودن میزان **TiN** حاصل می شود که احتمالاً به دلیل اثر سخت شدن محلول جامد و یکسان شدن اندازه ی دانه ها در ماده است.



شکل ۲۳: مقاومت در مقابل تغییر شکل ابزار محتوی کاربید وانادیم از موادهای ابزار برش شامل ۰ یا ۵ درصد آلومینیوم. مواد برش فولاد ۴۳۴۰ با سختی HB ۳۰۰.

اضافه کردن نیتريد تیتانیم به یک سرمت آلیاژی محتوی آلومینیوم و کاربید وانادیوم، بهبود بیشتری در مقاومت در مقابل تغییر شکل، ارائه می دهد که بیشتر از هنگامی است که هر جزء ترکیبی به صورت تکی اضافه می شود. همان طور که مقاومت در مقابل تغییر شکل افزایش یافته، **TiN** آلیاژهای برشی را به گونه ای تغییر می دهد که مقاومت بیشتری در مقابل شکستگی گرمایی از خود نشان می دهند که عامل مهمی برای کاربردهای درگیر در برش ها گسیختگی مانند آنهایی که در

عملیات آسیاب کردن رخ می دهد، می باشد. جالب توجه است که در تحلیل های نهایی، برای بهبودهای حاصل از اضافه کردن عناصر مقاوم کننده به آرایش **TiC-N-Mo** آلومینیوم دیگر نیاز نبود. در ترکیبات شامل **TiC-VC-TiN-Ni-MO** با تنظیم میزان هر جزء، خواص مورد نیاز برای عملیات ماشینکاری خاص، بهینه می شود. با این سرمت های پیچیده، قطعه کارهای سخت تری می توانند در سرمت های بالاتر برش، ماشین کاری شوند، حتی در کاربردهایی با برش های متناوب مانند آسیاب کردن. تا اندازه ای رویکردهای تئوری مسئله ی بهبود سرمت های برشکاری **TiC-Ni-MO** برای پیشرفت آرایش های سرمت های کربونیتريد تیتانیم استفاده شدند. این مواد در سال ۱۹۷۶ به ثبت رسیدند. بر طبق چکیده ی متن ثبت شده، « آلیاژهای کربونیتريد بر پایه ی سیستم آرایش های انتخابی با گستره ی بازگشتی می باشند که در آنها تیتانیم و فلزات **M** گروه **VI** به عنوان فلزات پایه و مقداری ناخالصی که در منطقه ی **ABDE** شکل ۲۴ قرار دارند، وجود دارد. اتصال از فلزات گروه آهن و نیز از فلزات دیرگداز انتقالی گروه **VI** انتخاب می شود و شامل ۵ الی ۴۵ درصد از وزن در ساختار می باشد. شکل ۲۴، ارتباط پیچیده بین مقادیر **CN, TiN** را که برای تطبیق با آلیاژهای مورد نیاز با خواص برشی عالی لازم است و نیز محدوده های موقعیتی آنها را نشان می دهد. بر طبق چکیده ی به ثبت رسیده « این شکل ساختار ناخالصی محلول جامد کربونیتريد $(Ti_xMg)_b$ $(CuN_v)_z$ استفاده شده در مواد ورودی برای ساخت آلیاژ را نشان می دهد.»



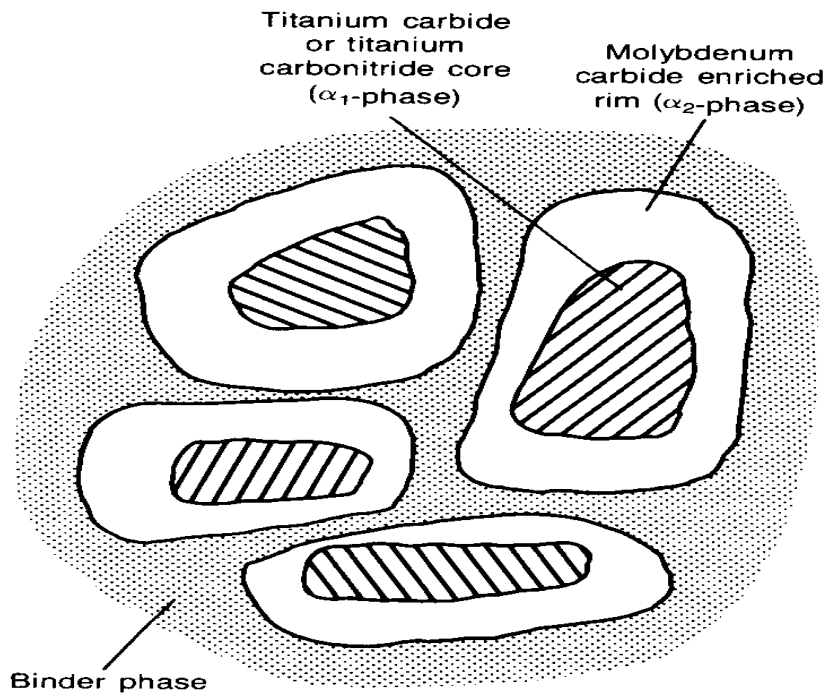
شکل ۲۴: ترکیب مرجح از سرمت های کربونیتريد تیتانیم. **M**، مولبدن و/یا تنگستن؛ **Z**، شماره مول های تقسیم شده کربن و نیتروژن بوسیله شماره مول های تیتانیم و **M**؛ **Z** بین ۰,۰۸ و ۱,۰۷ متغیر است.

۳- ۲- ۹- ۱- ویژگی ها:

ریزساختار نمونه ی کربونیتیرید تیتانیم در بزرگنمایی ۱۵۰۰ برابر (شکل ۲۵)، کاربیدهای گوشه دار مجزا از کاربیدهای احاطه کننده با اندازه بزرگ تر را نشان می دهد، که آنها کم و بیش به صورت آزاد در تمام زمینه پخش شده اند هر کاربید بزرگ تر از کاربید با اندازه ی مشابه بعدی با فاصله ای در حدود یک تا سه برابر اندازه خودش جدا شده است. شکل ۲۶ بصورت طرح، فاز هسته ای α_1 سرمت، متشکل از کربن نیتیرید تیتانیم و فاز حاشیه ی α_2 متشکل از α_1 غنی از کاربید مولیبدن را نشان می دهد.



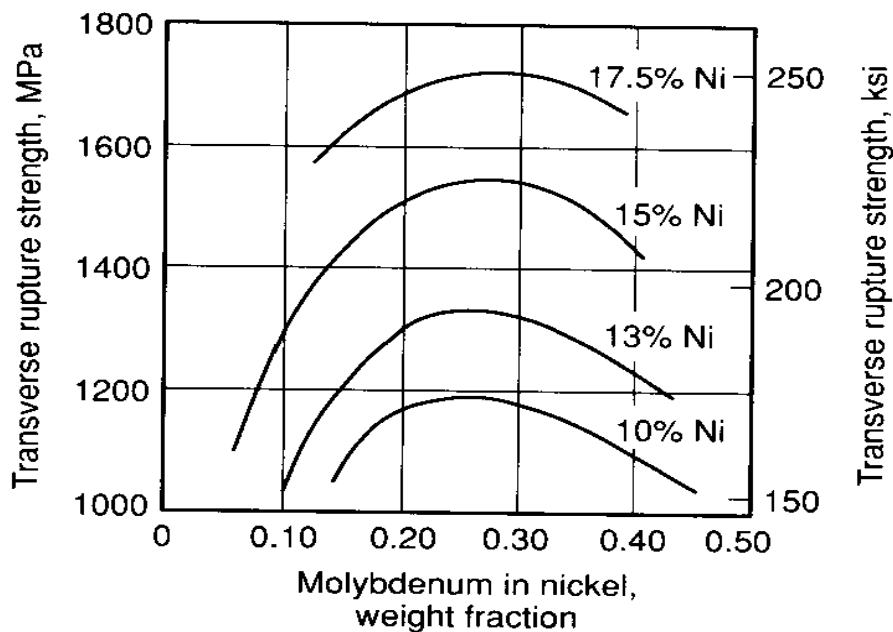
شکل ۲۵: میکروساختار یک نمونه اسپینودال سرمت کربونیتیرید تیتانیم. فرآیند ساخت، به حداقل رساندن اندازه دانه و بطور موافق تولید کردن ماده بدون تخلخل، تجزیه اسپینودال نامیده می شود.



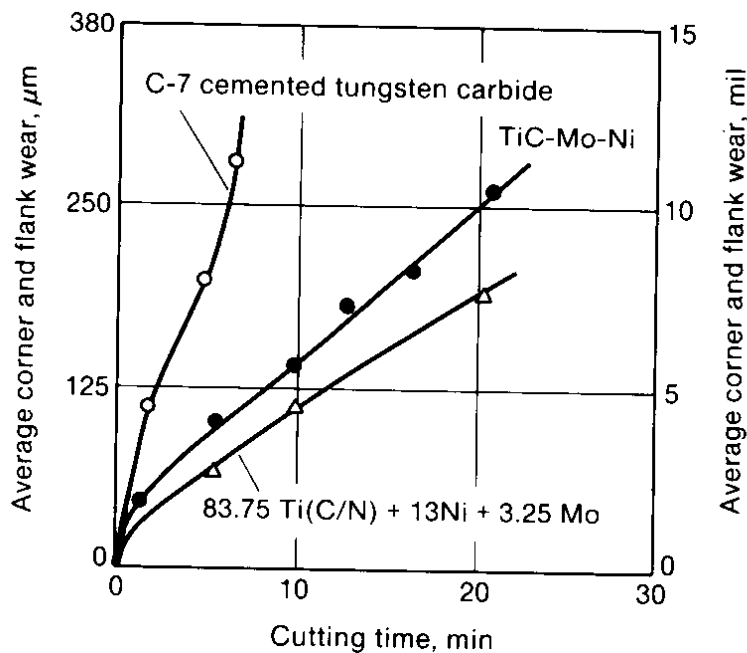
شکل ۲۶: شمایی از ریزساختار سرمت کربونیتريد تیتانیم.

پس از آن، فاز انتقالی است که مسئول مقاومت سرمت است. یک ترکیب هادی، سختی ۹۳ در مقیاس HRA، چگالی ۶,۰۲ گرم بر سانتی متر مکعب و مقاومت گسیختگی مقطع حدود ۱۵۵۰ مگاپاسکال (225 ksi) دارد. ترکیبی مشابه و یک درجه شکل پذیرتر تولید شده توسط (Telejyne-Firth-Sterling) دارای سختی ۸,۹۱ در مقیاس HRA، چگالی ۶,۳ گرم بر سانتی متر مکعب و مقاومت گسیختگی مقطع برابر با ۲۰۷۰ مگاپاسکال (300 ksi) می باشد. بر اساس تجربیات کلی با کاربردهای سممانته شده، انتظار می رود که مقاومت گسیختگی مقطع سرمت کربونیتريد تیتانیم با بخش اتصال فلزی در ترکیب کلی متفاوت باشد. شکل ۲۷ این ارتباط را در گستره ی ۱۰ تا ۱۷,۵ درصد نیکل و به صورت وابستگی این خاصیت به کسر وزنی مولیدن در نیکل نشان می دهد. سختی این مواد در دماهای بالا و نیز در دمای اتاق، قابل مقایسه با کاربردهای سممانته شده معمولی است. البته هنوز هم مقاومت و شکل پذیری ترکیب کربونیتريد تیتانیم، کمتر از کاربردهای سممانته شده عادی است؛ که این عامل نرخ تغذیه برش را در کاربردهای درشت و سنگین محدود می کند. از طرف دیگر شکل ۲۸ سایش جانبی کم را در ابزار کربونیتريد تیتانیم، در مقایسه با سرمت ساده ی TiC-MO-Ni و کاربرد تنگستن سممانته شده، هنگام تبدیل به فولاد ۴۳۴۰ در سرمت های گوناگون را نشان می دهد. مقاومت رد مقابل سایش در لبه ی برنده به دمای برش بستگی دارد، جوش فشاری در نتیجه ی گرم شدن لبه در دماهای پایین است. در حالی که فرایندهای نشت و اکسیداسیون شدن

در اثر دماهای بالای برش روی می دهند و آنتالپی تشکیل حالت آزاد کربونیتريد تیتانیم که بالاست، مقاومت در برابر تشکیل لبه ی انباشته (رسوب شدگی؛ تشکیل رسوب اضافی ماده ی آبکاری در سطوحی از قطعه کار)، تشکیل گودال و نیز تشکیل پوسته بالا می برد. میزان سایش جانبی مطلوب هنگام برش یک فولاد شکل پذیر در سرعت برش نسبتاً بالا، خاصیتی از این سرمت است که آن را قادر می سازد تا عمر ابزار را طولانی تر کند و براده برداری را با ابزارهای تغییر دهنده ی شکل افزایش دهد.



شکل ۲۷: تاثیر ترکیب اتصال فلز در استحکام گسیختگی عرضی از سرمت کربونیتريد تیتانیم.



شکل ۲۸: مقایسه دامنه خوردگی انواع سرمت و کاربیدهای سمانته شده هنگام تراشکاری فولاد ۴۳۴۰.

۲-۹-۲-۳- کاربردها:

ابزار برش ساخته شده از سرمت کربونیتريد تیتانيم برای آسیاب کردن یا سرعت بالا، شکل دادن و عملیات نیمه تکمیلی فولاد کربن دار و فولاد ضد زنگ استفاده می شوند. مقاومت در برابر ایجاد حفره و سایش جانبی که از این ماده حاصل می شود به حفظ لبه های برش تمایل دارد؛ در نتیجه، سطوح نهایی عالی و تلرانس های بسته با کار بیشتر بر روی محصول و حتی سوپر آلیاژها و دیگر موادی که به سختی ماشینکاری می شوند حاصل می شود. جزئیات بیشتر در مورد مواد ابزارهای کربونیتريد تیتانيمی در مقاله ی «سرمت ها در ماشین کاری» در شماره ی ۱۶ از نهمین ویرایش هند بوک فلزات آورده شده است.

۲-۳-۱۰- سرمت های کاربید تنگستن متصل به فولاد:

در تلاشی برای بهبود شکل پذیری سرمت های TiC متصل به فولاد، در تحقیق محققان متالورژی چینی، توجه آنها به کاربید تنگستن به عنوان یک فاز سخت جلب شده در نتیجه ابزار سرمتی کاربید تنگستن متصل به فولاد در گروه مواد قابل ماشینکاری و قابل سخت شدن داشته باشند. شکل پذیری بیشتر سرمت با پایه ی WC، خاصیتی از « زاویه کوچک رطوبت با فولاد تحت دمای بالا، حتی وقتی که در هیدروژن عادی زیتتر شده و نیز چگالی قطعه و این مورد که انحلال پذیری WC در عناصر گروه آهن بسیار بیشتر از انحلال پذیری ذره ی TiC در ساختار فولاد است. در نظر گرفته شد. خواص فیزیکی این آلیاژ جدید در جدول ۸ داده شده است. مقدار مقاومت فشاری برابر با

۷,۳۵ ژول بر سانتیمتر مربع (۳۵ فوت پوند بر اینچ مربع) به تنها به خاطر کاربیدهای سمانته شده با چسب فولادی بالاست بلکه هر ماده ی کاربید سمانته شده نیز در این امر دخیل است.
این سرمت برای کاربردهای فشاری سنگین نظیر پرچ کاری سرد یا اکستروژن، پرسکاری سنگین، شکل دادن سرد، آهنگری سرد وکله زنی گلوله ای استفاده می شود. برای مثال، در ابزار کله زنی گلوله ای، عملکرد سرمت ها متصل به فولاد WC، ۱۰ الی ۱۰۰ بار بهتر از قالب پرچ هایی است که قبلاً استفاده می شدند

جدول ۸: خصوصیات کاربید تنگستن با اتصال فولادی.

Property	Amount
Density, g/cm ³ (lb/in. ³)	~ 10.2 (~0.37)
Hardness, HRC	
Annealed	33-40
Hardened and tempered	67-68
Transverse rupture strength, MPa (ksi)	2315 (336)
Impact toughness, J/cm ² (ft · lbf/in. ²)	7.35 (35)
Modulus of elasticity, GPa (psi × 10 ⁶)	295 (43)

Source: National Machining Carbide, Inc.

۳- ۲- ۱۱ - سرمت های کاربید کروم

سرمت هایی که شامل کاربید کروم به عنوان عنصر سازنده ی اصلی می باشند دارای ویژگی های منحصر به فردی هستند که آنها را برای کاربردهای معینی در ابزار و صنایع شیمیایی مفید کرده است. این رده از مواد اساساً، یک کاربید کروم سمانته شده(سخت شده) از اصطلاح(تغییر ترکیب شیمیایی) Cr₃C₂ است که با نیکل یا یک آلیاژی از نیکل و تنگستن چسبیده شده است. پودر Cr₃C₂ توسط واکنش Cr₃C₂ با کربن در یک دمای حدوداً ۱۶۰۰، تولید می شود. مواد کمک ذوب کاربیدهای دارای کروم پائین تر برای کنترل تعادل کربن و حفظ کربن آزاد در میزان پائین، اضافه می شوند. عملیات ساختن کاربید برای تولید این سرمتها به کار می رود. بعضی از ویژگیهای جالب و کاربردهای خاص این سرمتهای Cr₃C₂ به ترتیب زیر است؛

- چگالی بسیار پائین، که باعث می شود ماده در کاربردهایی نظیر تولید گلوله های سوپاپ (دریچه شیر) در سوپابهای چاه نفت، مفید واقع شود.
- ضریب نسبتاً بالای انبساط حرارتی، که امکان لحیم کاری مستقیم به فولاد را فراهم می آورد، در صورتیکه از روانسازهای شامل بور استفاده می شود..
- سطوح براق و با دوام که انعکاس بالایی دارند و امکان پرداخت برای صافی و تختی ظاهری را به وجود می آورند، توام با ویژگی های انبساط گرمایی، باعث می شوند که ماده، برای سنجه مکعب مستطیلی، نوک (افشانک های) میکرومتر و دیگر ابزار اندازه گیری، مناسب واقع شوند.
- طبیعت غیر مغناطیسی که کار اندازه گیری را علی رغم چسباننده نیکل، راحت کرده است.
- پوشش عالی و مقاومت در برابر خوردگی و زنگ زدگی، به عنوان مثال در برابر هجوم آبهای نمکی در دمای بالا تا ۸۵ درجه ی سانتیگراد ، که باعث می شود سرمت به عنوان یک یاتاقان (تکیه گاه) و ماده ی درزگیر یا حلقه های سیم، مناسب باشند.
- مقاومت در برابر سایش که بسیار بالاتر از هر آلیاژ نرمال مقاوم در برابر زنگ زدگی و خوردگی است

- مقاومت در برابر فرسایش در دمای بالا تا حداقل ۱۰۰۰ درجه ی سانتیگراد

۳-۲-۱۱-۲-کاربردها و ویژگیها:

کاربردهای سرمتهای کاربید کروم شامل یاتاقانهایی با دمای بالا و درزگیرها می باشد؛ اجزای تشکیل دهنده ی سوپاپها، افشانکها یا شیپوره ها^۱ و راهنماها یا هادیهایی که در دماهای افزایش یافته عمل می کنند؛ و یک تعداد اجزای ابزار سنجش و اندازه گیری.

ویژگی های شیمیایی، مکانیکی و فیزیکی معمولی سرمتهای کاربید کروم در جدول شماره ی ۹ آمده است. تصویر ۲۹، تأثیر دما را بر رسانایی گرمایی، ضریب انبساط و قدرت پارگی یا گسستگی مورب در سرمتهای کاربید کروم، نشان می دهد.

گرچه به کاربرد متوسط در تعدادی از مواد استعمالی یاد شده در بالا، پی برده شده، اما کاربرد کروم اخیراً مورد بی توجهی قرار گرفته و دیگر به عنوان یک درجه استاندارد توسط صنعت کاربرد سمانته شده پیشنهاد نمی شود، با این وجود، باید توجه داشت که کاربرد کروم دارای توان بالقوه در زمینه ی جدیدی از کاربرد سرمتها در ناحیه ی پوششی می باشد. به عنوان مثال، یک پوشش پیشرفته برای ژورنالهای یاتاقان گازی، کاربرد کروم را برای پوشش و آلیاژ نیکل را برای چسباندن، نقره را

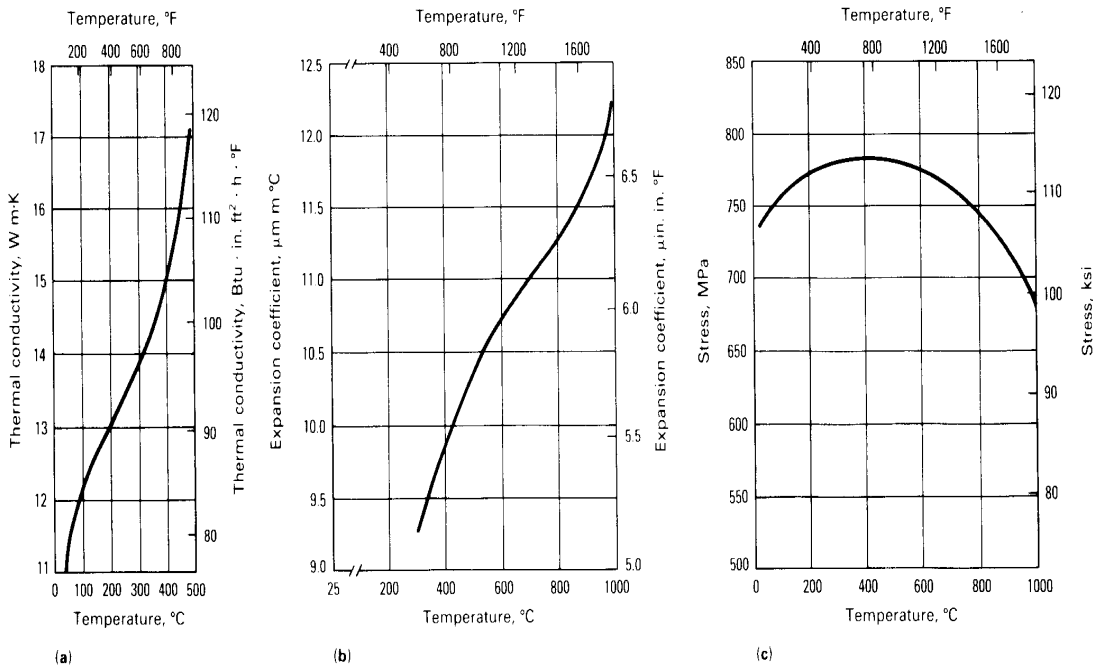
^۱ Nozzles

برای روغن کاری تا دمای ۵۰۰ تا ۹۰۰، مخلوط می کند. پوشش های سرمت، پلاسما می باشند که از مخلوطهای پودری و اسپری می شوند و توسط الماس خرد شده پرداخته می گردند. یک ترکیب معمولی از چنین مخلوطی، شامل آلیاژ نیکل ۳۲٪ و ۱۰٪ Ag و ۱۰٪ BaF_2CaF_2 یوتکتیک، با توازن Cr_3C_2 می باشد.

جدول ۹: خصوصیات سرمت های کاربرد کروم.

Property	Type A	Type B
Composition, wt%		
Cr_3C_2	83	88
Nickel	15	12
Tungsten	2	...
Density, g/cm^3 ($lb/in.^3$)	7.0 (0.253)	6.9 (0.250)
Electrical resistivity at 25 °C (75 °F), $\mu\Omega \cdot cm$	84	70
Electrical conductivity,		
Mhos(cm), at 25 °C (75 °F)	0.012	...
%IACS	2.1	...
Thermal conductivity, at 50 °C (120 °F), $W/m \cdot K$ ($Btu \cdot in./ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F$)	10.88 (75.5)	12.55 (87.1)
Mean coefficient of thermal expansion at 25–595 °C (75–1100 °F), $\mu m/m \cdot ^\circ C$ ($\mu in./in. \cdot ^\circ F$)	10.71 (5.95)	11.10 (6.17)
Hardness at 25 °C (75 °F), HRA	88.3	...
Hardness, HV		
At 25 °C (75 °F) .....	...	1300
At 800 °C (1470 °F) .....	...	900
Modulus of elasticity in compression at 25 °C (75 °F), GPa (10^6 psi)	345 (50)	333 (48)
Elastic limit in compression at 25 °C (75 °F), MPa (ksi)	900 (130)	...
Compressive strength at 25 °C (75 °F), MPa (ksi)	3450 (500)	3725 (540)
Transverse rupture strength at 25 °C (75 °F), MPa (ksi)	780 (113)	735 (107)
Ductility in compression at 25 °C (75 °F), %	1.1	...
Poisson's ratio	0.28	...
Izod unnotched impact resistance at 25 °C (75 °F), J ($in. \cdot lbf$)	0.158 (1.4)	...
Resistance to oxidation, max temp. °C (°F)		
Short time	1100 (2000)	...
Long time	1000 (1830)	...
Resistance to corrosion, 10–24 h immersion, wt loss, $g/m^2/day$		
50% H_2SO_4	3.1	...
35% HNO_3	1.9	...
50% $NaOH$	0.1	...
5% lactic acid	0.15	...
1N solution H_2SO_4 .....	...	5
1N solution HNO_3 .....	...	>10

Source: Ref 66, 67



شکل ۲۹: تاثیر دما روی خواص حرارتی واستحکام سرمتهای های کاربید کروم. (a) قابلیت هدایت حرارتی محیطی از $Cr_3C_2 - 15Ni - 2W$ (b) متوسط ضریب انبساط حرارتی از روی دمای محیط برای $Cr_3C_2 - 15Ni - 2W$ (c) استحکام گسیختگی عرضی از $Cr_3C_2 - 12Ni$.

۳-۲-۱۲- دیگر سرمتهای بر پایه ی کاربید:

کاربیدهای دیگر فلزات نسوز و دیرگداز، نظیر کاربید زیرکونیوم (ZrC)، کاربید هافنیوم (HfC)، کاربید تانتالیوم (TaC) و کاربید نیوبیوم (NbC) به صورت آزمایشی تولید شده و برای کاربردهایی در دمایی در دمای بالا مورد بررسی قرار گرفته اند. آنها دارای بالاترین نقاط ذوب در حمام ترکیبات شناخته شده می باشند. کاربید هافنیوم در دمای ۳۸۹۰ درجه ی سانتیگراد ذوب می شود و کاربید نانتالیوم در دمای ۳۸۰۰ درجه ی سانتیگراد و کاربید زیرکونیوم در دمای ۳۵۳۰ درجه ی سانتیگراد و کاربید نیوبیوم در دمای ۳۵۰۰ درجه ی سانتیگراد ذوب می شوند. تمام این کاربیدها، مقاومت در برابر اکسیداسیون ضعیفی در دماهای بالا دارند و به شدت ترد و شکننده می شوند. سماتته کردن این کاربیدها با فلزات چسباننده انعطاف پذیر، باعث پیشرفت این ویژگی ها برای کافی شدن جهت قابل رقابت کردن سرمتهای حاصل با کاربیدهای صنعتی آماده برای کاربردهای ابزاری و ساختاری در دماهای بالا نمی گردد. استفاده از مقادیر کم کاربیدهای نیوبیوم و تانتالیوم به عنوان کمک ذوب به کاربیدهای تیتانیوم برای تولید سرمتهای دارای مقاومت در برابر اکسیداسیون در دماهای بالا، قبلاً ذکر گردید.

از سرمتهای کاربید اورانیوم در تکنولوژی راکتور هسته ای استفاده ی قابل توجهی می شود. چون کربن دارای یک مقطع عرضی نوترون می باشد، کاربید اورانیوم به عنوان یک عنصر سوخت برای تجارت نوترون، مناسب است. این ترکیب دارای رسانایی گرمایی از دی اکسید اورانیوم است؛ علاوه بر این، دارای یک نقطه ذوب 2300°C یا 4170°C ، و مقاومت خزشی تا 1000°C (1830°C) می باشد. معایب اصلی اورانیوم، شامل تردی و شکنندگی آن، مقاومت ضعیف در برابر شوک گرمایی و تخریب (خوردگی و زنگ زدگی) در محیط های آبی در دماهای بالا می باشد. فلزات ماتریس چسبنده (زمینه چسبندگی) که برای مقطع عرضی با جذب گرمایی پایین انتخاب می شوند، نظیر بریلیوم، زیرکونیوم، نیوبیوم و مولیبدن یا آهن، باعث کم شدن معایب فاز سرامیک UC نمی شوند. بنابراین این نوع از سرمتها به عنوان کاربردهای صنعتی در وراء تکنولوژی راکتور آزمایشی در ایالات متحده آمریکا و کشورهای خارج از آن، شناخته شده اند.

کاربیدهای سیلیسیوم و شبه فلز بور، SiC ، B_4C ، دارای اهمیت صنعتی قابل ملاحظه ای می باشند و استعمالهای مختلفی نظیر ابزار بسیار سخت و عناصر گرمایی رئوستای الکتریکی دارند. این ترکیبات اغلب بدون فازهای چسباننده فلزی به کار می روند که منتهی به یک محصول می شوند که در خارج از رده بندی مواد در مورد سرمت ها می شود. اما یک استثنا در این مورد، سرمت هایی هستند که در آنها کاربید شبه فلزی با یک فاز زمینه فلزی که سهم اصلی را تشکیل می دهد، ترکیب می شوند. بعضی از آنها دارای اهمیت زیادی در تکنولوژی راکتور هسته ای و هوافضایی هستند؛ بعضی دیگر (بقیه) اخیراً در ساخت موتورهای خودکار و الکترونیک هوا برد به کار می روند. این مواد به طور معمول به صورت ترکیبات فلز- زمینه سرامیک تقویت شده طبقه بندی می شوند، اما آنهایی که شامل کسری از حجم نسبتاً بالای کاربید شبه فلز ذره ای هستند و دارای زمینه آلومینیوم غیرمدوم می باشند، مربوط به این مقوله بوده و در زیر توضیح داده می شوند.

۳-۲-۱۳- سرمت های کاربید سیلیسیم - آلومینیوم

فرایند شناخته شده ی **Lanxide**، اخیراً که از آن طریق ترکیبات تقویت شده ی زمینه آلومینیوم از راه یک فرایند تصفیه مویسانی کنترل شده تولید می شوند، اطلاعات جالبی را فراهم کرده است. برای یک سرمتی که در حدود 45% حجمی از ذرات SiC که اندازه ی آنها در حدود ۸ تا $25\ \mu\text{m}$ است، تقویت شده است، اطلاعات تقریبی زیر به دست آمده است. (جدول زیر)

Bending strength, MPa (ksi)	475 (70)
Tensile strength, MPa (ksi)	350 (50)
Modulus of elasticity in tension, GPa (10^6 psi)	180 (26)
Fracture toughness (K_{IC}), $MPa\sqrt{m}$ ($ksi\sqrt{in.}$)	13 (11.8)
Thermal expansion coefficient, $\mu m/m \cdot ^\circ C$ ($\mu in./in. \cdot ^\circ F$)	14 (7.8)

همانطور که میزان کاربید سیلیسیوم نسبت به میزان آلومینیوم به صورت کم یا زیاد در کسر حجم زمینه- فلز فرق می کند، مقدار ویژگی های مربوط به آن نیز فرق می کند. اعتقاد بر این است که این ماده ارزش خاصی در ساختارهای مربوط به سایش ناشی از سر خوردگی و دیگر شرایط سائیدگی دارا می باشد.

۳-۲-۱۴- سرمت های کاربید آلومینیوم - بور؛

بور طبیعی دارای 8.18% از یک ایزوتوپ B-10 می باشد که خود دارای مقطع عرضی نوترونی بالایی است. (یعنی ظرفیت بالایی برای جذب نوترونها دارد.) بنابراین بور و آلیاژهای دارای بور یا ترکیبات بین فلزی برای کنترل یک راکتور هسته ای بسیار مفید می باشند. این ویژگی باعث شده که کاربید بور (B_4C) به عنوان یک جذب کننده ی نوترونی مطلوب و مناسب به خاطر وجود اقتصادی آن به صورت پودری، و نیز خالص بودن بالای آن، و نیز کیفیت دائمی آن، در نظر گرفته شود. چگالی پائین و ثبات شیمیایی بالا از خصوصیات مطلوب این پودر می باشد. کاربید بور در اغلب سرمت های آلومینیوم مورد استفاده برای عناصر جذب نوترون در راکتورهای هسته ای، به کار می رود. در بعضی موارد، اکسیدهای اروپیم، دیسپروزیوم و ساماریوم نیز مطلوب در نظر گرفته می شوند. (جدول ۱۰)

جدول ۱۰: خصوصیات از موادهای انتخاب شده جاذب نوترون.

Material	Melting temperature		Density		Neutron absorption cross-section, Barns
	°C	°F	g/cm ³	lb/in. ³	
Boron-10	2000	3630	2.3	0.083	4 000
Boron	2000	3630	2.3	0.083	715
Cadmium	321	610	8.6	0.31	2 500
Dysprosium	1425	2595	8.6	0.31	1 200
Europium	900	1650	5.2	0.19	6 000
Gadolinium	1300	2370	7.9	0.285	40 000
Hafnium	2130	3865	13.4	0.484	115
Samarium	1070	1958	6.9	0.25	8 900

Source: Ref 15

ترکیبات سرمت در ترکیب $Al-B_4C$ کاربردهای متنوعی در قسمتهای معینی از صنعت هسته‌ای دارد. به ویژه برای راکتورهای با آب سرد شده که در دامنه دماهای مناسب و مفید از آلومینیوم عمل می‌کنند. بعضی از اجزاء معمول به صورت صفحات تخت با ابعاد $1370 \times 20 \times 2,5$ میلیمتری باشند. دیگر اجزاء با اشکال پیچیده تر شامل مفتولها کنترل راکتور با یک قطر بیرونی 43 میلیمتر و یک ضخامتی از دیواره به اندازه $0.5mm$ می‌باشد. فرایندهای خاص متالورژی پودر برای تولید اجزاء این نوع، مطابق با تحمل و دوام سخت ابعادی و یک درجه بالایی از مقاومت شیمیایی بحرانی بهم پیوسته ای لازم می‌باشد.

فرایندهای موفق برای ساخت سرمتهای $Al-B_4C$ شامل مراحل زیر است: (شکل ۱)

- از طریق مخلوط کردن پودرهای عامل (جزء ترکیب)
 - تراکم (فشرده‌گی) سرد پودرها به صورت شمش
 - زینتر کردن
 - ادغام و یکپارچه کردن داغ شمشها
 - اکستروژن گرم
 - نورد سرد
- تکنیکهای مخصوص مخلوط کردن با مراحل چندگانه، در هنگام تولید مخلوطهایی با غلظت بسیار پائین از جاذب نوترون (یعنی کمتر از 1%) مورد نیاز است. مخلوطهای پودری یکنواخت، میله های کنترل را به طور تغییر ناپذیر به بار می‌آورند که همراه با توزیع بسیار یکنواخت از جاذبهای نوترونی در کل طول آنهاست.

فرایند متالورژی پودر، سطوح بالاتری از دقت ترکیبی بهم پیوسته ای را تضمین می کند که با تحلیل شیمیایی ثابت می شوند. برای جلوگیری از آلودگی نامطلوب، تمیز کاری شدیدی، در هنگام انتقال تجهیزات مخلوط شدن، از یک ترکیب تا ترکیب دیگر مورد نیاز است.

چگال سازی داغ شمش قبل از اکستروژن، یک مرحله ی لازم و اساسی می باشد. این مرحله ممکن است شامل مرحله ی پر هزینه ای از پوشینه دار کردن باشد. (فشار کاری با یک پوشینه) هنگامیکه فاز سخت در یک سرمت از ۱۵ به ۲۰٪ تجاوز می کند، ترکیب دیگر قابل ارتجاع(چکش خوار) نیست و فشار کاری یا اکستروژن داغ مشکلتر می شود.

فشرده سازی با غلظت به طور مستقیم در مخلوط های $Al-B_4C$ در دمای اتاق نتایج قابل قبولی را حاصل نمی آورد. اما باید توجه داشت که گروههای دیگر در تولید میله های کنترل هسته ای توسط تکنیک نورد سازی پودری، موفقیت آمیز بوده است. به عنوان مثال کاربرد بور مس از طریق فرایند نورد سازی پودری مستقیم و مداوم بدست می آید. این ترکیبات شامل $20\text{ wt}\%$ (در حدود 50% حجمی) کاربرد بور می باشند. نوار از پیش فشرده سازی شده، زینتر شده و با یک توالی از عملیات لعاب دادن و نورد کاری دوباره، به چگالی کامل می رسند.

مرحله ساخت و ویژگی های ریز ساختاری سرمتهای $Al-B_4C$ ، و مونتاژ آنها درون عناصر ساختاری مختلفی، توسط **Halverson** و همکارانش توضیح و ترسیم شده است.

۳-۳ - سرمتهای بورید

۳-۳-۱ - مقدمه

به دلیل اینکه بوریدهای فلزی به طور کلی نسوزتر از کاربرد تیتانیوم می باشند، سرمت هایی که بر اساس بورید می باشند، از اهمیت ویژه ای برای کاربردهایی که ملزم به ماده ی دارای مقاومت در برابر خوردگی و مقاومت در برابر گرما می باشند، برخوردارند؛ نظیر موادی که در تماس با گازهای داغ واکنشی یا فلزات مذاب می باشند. دیبوریدهای فلزات واسطه ی هافنیوم، تانتالیوم، زیرکونیوم و تیتانیوم دارای نقاط ذوب بسیار بالایی هستند که به ترتیب از 3250°C تا 2800°C پائین می آیند. بورید مولیبدنیوم (MoB) و بورید کروم (CrB) در دماهای بسیار پائین تر، ذوب می شوند. (1550°C و 2180°C)، مقاومت در برابر اکسیداسیون در بوریدهای فلزات واسطه در دمای بالای 1100°C (2000°F)، بهتر از همین مقاومت در مورد TiC می باشد و تقریباً ترتیب نزولی نقطه ذوب را دنبال می کند. مقاومت در برابر اکسیداسیون و ویژگی های قدرتی در دماهای بالا را می توان با واکنش دادن کریستالهای با مقادیر کمی از دیگر ترکیبات دارای ثبات گرمایی، نظیر SiC ، یا دیسیلسید مولیبدن ($MoSiO_2$)، قبل از فرایند عملیات پودر به درون اجسام جامد، افزایش داد.

به دلیل اینکه این بوریدهای فلزی دارای رسانایی گرمایی نسبتاً بالا و نیز ثبات گرمایی در حد بالا می باشد، وابسته به یک زمینه چسباننده ی فلزی تکیه گاه جهت مقاومت در برابر شوک گرمایی و استحکام مانند آلیاژهای نیکل- کروم در سرمتهای **TiC** نمی باشند. فازهای بورید به تنهایی در حالت تصفیه شده شان در حد بالا، به شدت سخت و صیقلی و ساینده می شوند؛ اما اجسام سفت شده ی آنها، مشکلاتی را در مونتاژ آنها در محصولات کارآمد و مفید و همینطور در خدمات مربوط به آنها به ویژه در محیطهای شامل گاز دینامیک یا جریان سیال فلز، بوجود می آورد. این نقص را می توان در بعضی از موارد با یک فاز چسباننده ی فلزی کاهش داد. این فاز چسباننده به دلیل بعضی دلایل ترمودینامیک محدود به ۲ تا ۵ درصد اتمسفر تا یک ماکسیمم از **at 10%** می شود.

فلزهای اصلی و مناسب برای سماتته کردن دانه های بورید، آهن، نیکل، کبالت، کروم، مولیبدن، تنگستن و بور یا بعضی از آلیاژهای این فلزات می باشند.

یوتکتیک هایی که نقطه ذوب پائینی در سیستم های بور- آهن (**1161°C** **2122°F**)، و بور- کبالت (**1102°C** تا **2015°F**) و به ویژه بور- نیکل (**990°C** یا **1814°F**) دارند، مقدار فلزات چسباننده ی مربوط را تا حدود کمی محدود می کنند. مؤثر بودن آهن و کبالت به ویژه به عنوان چسباننده های دیبورید تیتانیم (**TiB₂**) و دیبورید زیرکونیوم (**ZrB₂**)، بعداً با تشکیل ترکیبات بین فلزی بسیار ترد و شکننده، کاهش می یابد، در حالیکه، کروم و بور، به تنهایی یا در حالت ترکیب یافته، با همدیگر یوتکتیک هایی با نقطه ذوب بالا با این بوریدها تولید می کنند. مواد کمک ذوب تا **5wt %** و **Mo 10wt %** یا **W** می توانند به طور موفقیت آمیز، به عنوان یک چسباننده ی (از **ZrB₂** به عنوان مثال) بدون تشکیل فازهایی با نقطه ذوب پایین، به کار می روند.

بوریدهای فلزی واسطه به عنوان کریستالهای محض از طریق چنین فرایندهایی مانند واکنش حالت جامد فلز بور، و واکنش فلز یا اکسید آن با کاربید بور، کاهش بورو اکسیدهای فلز با کربن یا فلزات واکنشی و یا الکترولیز نمک-گداخته، تولید می شوند.

مخلوطهای این بوریدها و پودر فلز چسباننده به صورت محصولات سرمت عمل می کنند که این فرایندها از طریق تکنیک های متالورژی پودر یا سرامیک، نظیر فرایند هیدرواستاتیک یا ریخته گری دوغابی به دنبال عملیات زینترینگ در خلأ می باشند و یا از طریق فشار کاری ایزواستاتیک یا بدون محوری انجام می گیرند. هزینه های بالای تولید بوریدها و کار با محصولات شکننده با دقت لازم، کاربردهای این موارد را که در آنها ویژگیهای غیر عادی این مواد لازم و ضروریست، محدود کرده است. علاوه بر هزینه های بالا، این مواد به طور کامل، دارای ویژگی های مکانیکی ضعیفی می باشند و بنابراین سرمتهای بسیار کمی با پایه و اساس بورید، قادر به ادامه دادن

برای کاربردهای عملی در صنعت می باشند. جدول شماره ۱۱، ویژگی های مکانیکی و فیزیکی بوریدهای فلزی و سرمتهایی با پایه ی بوریدی، لیست کرده است.

جدول ۱۱: خصوصیات از بوریدهای فلز و سمرت های با پایه بوراید.

Property	Cermets grades						
	TiB ₂ (a)	ZrB ₂ (b)	ZrB ₂ -B(c)	CrB(d)	CrB-Ni(e)	CrB-Cr-Mo(f)	Mo ₂ NiB ₂ (g)
Melting point or range, °C (°F).....	2980 (5400)	3040 (5500)	2955-3010 (5350-5450)	2050 (3720)	1650-1760 (3000-3200)	1930-1980 (3500-3600)	1430 (2600)
Density, g/cm ³ (lb/in. ³).....	4.5 (0.163)	6.1 (0.221)	4.97-5.27 (0.180-0.191)	6.15 (0.222)	6.16-6.27 (0.223-0.225)	6.77-7.27 (0.245-0.263)	8.40 (0.305)
Electrical resistivity at 25 °C (75 °F), μΩ · cm.....	15.3	16	17-23	20	38-58	37-54	66-71
Mean coefficient of thermal expansion, μm/m · °C (μin./in. · °F).....	6.39 (3.55)(h)	7.50 (4.17)(h)	5.76 (3.20)(i)	...	9.81 (5.45)(j)	9.90 (5.50)(j)	...
Thermal conductivity at 200 °C (500 °F), W/m · K (Btu · in./ft ² · h · °F).....	25.9 (180)	23.0 (160)	...	...	...	...	...
Hardness							
HK.....	3370	2300	...	2140	...	...	...
HRA.....	...	...	88-90	...	75-86	77-88	88-90
Modulus of elasticity, GPa (10 ⁶ psi).....	365 (53)	441 (64)	...	...	...	...	...
Transverse-rupture strength, MPa (ksi)							
At 20 °C (70 °F).....	130 (19)	200 (29)	...	...	813 (118)	...	≤690 (≤100)
At 980 °C (1800 °F).....	...	...	434 (63)	...	550-950 (80-138)	620-965 (90-140)	...
Tensile strength, MPa (ksi).....	127 (18.4)	196 (28.5)	...	...	...	...	...
Stress-to-rupture strength at 980 °C (1800 °F), MPa (ksi)(k).....	...	...	128 (18.5)	...	83-137 (12-20)	96-103 (14-15)	≤82 (≤12)

(a) 100 wt% TiB₂. (b) 100 wt% ZrB₂. (c) 95 wt% ZrB₂, 5 wt% B. (d) 100 wt% CrB. (e) 85 wt% CrB, 15 wt% Ni. (f) 80 wt% CrB, 16 wt% Cr, 4 wt% Mo. (g) 100 wt% Mo₂NiB₂. (h) At 20-760 °C (70-1400 °F). (i) At 20-1205 °C (70-2200 °F). (j) At 20-980 °C (70-1800 °F). (k) 100 h. Source: Ref 79-81

۳-۲- سمرت های بورید زیرکونیوم:

مطالعات جامعی از ویژگی های این بورید واسطه، در حدود ۲۵ سال پیش، صورت گرفته است و ویژگی های خوب مکانیکی آن در دمای بالا و نقطه ذوب بسیار بالای آن، و نیز کاهش قابل توجه آن از لحاظ تردی و شکنندگی با دمای در حال افزایش، باعث شده که آن را یکی از بوریدهای نادری بدانند که توجه محققان را به خود جلب کرده است. اضافه کردن (مواد کمکی) در حدود ۲ تا ۵ wt% چسباننده ی B به ZrB₂، ماده را برای کاربردهایی با دماهای بسیار بالا، که شامل سوختگرهایی با عملکرد بالا، راکت و سیستم های واکنشی جت است، مناسب می کند. مقاومت در برابر اکسیداسیون در بورید زیرکونیوم را بعد می توان با واکنش دادن آن با SiC به میزان 15% بالا برد و بدنه های سمرت چگال شده با موفقیت در برابر محیطهای اکسیده (در دمای ۱۹۰۰ تا ۲۵۰۰ °C) مقاومت می کنند. این مواد، هدف بررسیهای جامع جهت کاربرد آنها به عنوان دریچه افشانک برای ورود مایعات پیشران در راکتها بوده اند.

احتمالاً مهمترین ویژگی بورد زیرکونیوم مقاومت آن در دماهای بالا در برابر زنگ زدگی و خوردگی و نیز ویژگی خیس نشدگی آن هنگام تماس با آلومینیوم مذاب و برنج و روی و سرب مذاب است. در نتیجه، کاربرد این سرمت، در سیستم ها، کار با فلزات مذاب را آغاز کرده است. مثالهای عملی در این مورد، شامل پروانه ها و یاتاقانهای پمپ ها در آلیاژها ریخته گری فشاری یا حدیده ای (در قالب فلزی) مایع، افشانک ها یا شیپوره های اسپری برای تجزیه کردن پودرهای فلزی و قسمتهای کوره است که در تماس با فلزات واکنشی یا بخارها(گازها) می باشند.

۳-۳-۳ - سرمتهای بورد تیتانیم

ویژگی های مکانیکی و فیزیکی در دماهای پایین و بالا در مورد بورد تیتانیم زیاد با ویژگی های بورد زیرکونیوم تفاوت ندارد. بورد تیتانیم به عنوان یک بورد مجزا یا در محلول جامد با بورد کروم (CrB_2) تا حدی در بین بوریدهای فلز فلزات واسطه، امیدوارکننده ترین آنها در نظر گرفته شده است. کاربردهای موفقیت آمیز آنها شامل انشعابهای تبخیر برای فلزات واکنشی، الکترودهای تصفیه آلومینیوم و در کل، اجزایی که در معرض برنج و روی مذاب قرار دارند. اضافه کردن TiB_2 به TiC در یک ساختار ترکیبی به صورت موفقیت آمیزی برای ابزار برش به کار می رود و سرمتهای پیچیده TiC-TiB_2 با یک چسباننده آلیاژ Co-Si ، یا یک TiB-MoSi با یک چسباننده ی گرافیک برای استفاده به عنوان نازل یا سرلوله (سر شیلنگ) مورد بررسی و آزمایش قرار گرفتند.

اخیراً یک سرمت نوع شیب دار از بورد تیتانیم و مس به شکل لایه های فلزی سرامیکی که TiB_2 را به مس خالص می چسباند، تولید می شود. این ترکیب، محصول یک ستر خود-انتشار در دمای بالاست. تعیین دقیق میزان مخلوط مربوطه(خاص) بورد و سرمتهای بورد کروم- به طور کلی از بین مواد بورد مقاوم در برابر اکسیداسیون و خوردگی و زنگ زدگی در حد بالا و عالی، بورد کروم یکی از اولین مواد است که به خاطر ظرفیت دمای بالای آن مورد بررسی قرار گرفته است. این ترکیب را می توان به طور موفق با کبالت، نیکل - کروم و نیکل - مس چسباند. یک ترکیب شامل $15\text{wt}\%$ نیکل را می توان بدون ترشح فاز مایع زیاد، پرس کاری داغ کرد. این سرمت تا 950°C در برابر اکسیداسیون مقاوم است و دارای سختی و مقاومت داغ بوده و دارای نیروی پارگی به صورت متقاطع در حدود 890 Mpa (130 ksi) می باشد. این ویژگی ها را می توان با استفاده از کریستالهای Cr_2B و سماتنه کردن آنها با $10\text{ wt}\%$ از یک آلیاژ $80\text{ Cr}-20\text{ Mo}$ بالا برد. این سرمتهای دارای ویژگی های خوب و مقاومت در برابر پارگی و نیز مقاومت در برابر شوک مکانیکی می باشند که در یک زمان به عنوان مواد مورد نظر و مناسب برای تیغه های توربین گاز و بخار و سوپاپ و مغزیها در موتورهای سوخت داخلی و سرلوله آگزوز و لوله های موتورهای جت در نظر گرفته می شوند.

گرچه ترکیبات بسیار بالاتر در نیکل (به عنوان مثال، سرمتهای دارای ترکیب Cr_2NiB_4) دارای نقص یوتکتیک های نقطه ذوب پایین می باشند، اما همین مورد برای پوششهای مقاوم در برابر فرسایش و سخت روکشی، به عنوان مزیت در نظر گرفته می شوند.

۳-۳-۴- سرمتهای بورید مولیبدن

بوریدهای مولیبدن Mo_2B , MoB دارای ثبات گرمایی کمتری از بوریدهای فلز قبلی هستند که در مورد آنها توضیح داده شد، اما ویژگی های الکتریکی آنها، سخت بودن و مقاومت سایشی آنها بسیار خوبست. هنگامیکه با نیکل، سممانته می شوند، این سرمتهای دارای مقاومت بالایی در برابر خوردگی و زنگ زدگی و تخریب دارند و به عنوان مثال می توانند اسید سولفوریک را ضعیف نمایند. بورید مولیبدن با چسب نیکل، رفتار جالبی در دو ناحیه از خود نشان می دهد؛ اول اینکه؛ در صورتیکه این ترکیب همراه با ترکیب بورید نیکل - مولیبدن (Mo_2NiB_2) باشد، و نیز در صورتیکه سرمت شامل Mo_2B علاوه بر Mo_2NiB_2 باشد و یا در صورتیکه یک چسب چسباننده بین فلزی شامل بورید کروم و نیکل به کار رفته باشد، مواد ابزار برش را می توان از ترکیبی که قابل مقایسه با ابزار WC تجاری برای استفاده در ماشینکاری برنج، آلومینیوم و چدن می باشند، تولید کرد.

دوم؛ ترکیب نوع Mo_2NiB_2 دارای ویژگیهای انبساطی گرمایی باشد که مربوط به ویژگی های فلزهای نسوز و دیر گداز و یک دمای ذوب مناسب می باشد این ویژگی ها، این ترکیب را برای استفاده به عنوان یک لحیم کاری با دمای بالا برای مولیبدن و تنگستن، بدون تهدید رشد و زیاد شدن دانه های اضافی یا شکنندگی ساختار اولیه فلز، ایده آل کرده است. هنگامیکه آنها به شکل مفتول (میله) با قوس یا کمان غلاف شده در تجهیزات جوشکاری به کار می روند، این سرمت برای لحیم کاری ترکیبات الکترونیک در کاربردهایی نظیر لامپهای خلأ و مگنترون^۱ها مناسب می باشند.

اخیراً یک سرمت بورید مولیبدن با یک فاز چسب آهنی آلیاژ شده با نیکل و کروم به عنوان یک ماده ی ابزار برش امیدوار کننده در نظر گرفته شده است. این سرمت دارای ویژگی های مکانیکی خوبیست که همراه با مقاومت عالی در برابر سایش و زنگ زدگی در حد بالا می باشد. در کاربردهای ابزاری خاص نظیر قالبهای اکستروژن برای مس داغ و ابزار لازم برای پوشینه سازی، این سرمت بورید بهتر از کاربردهای سممانته شده عمل می کند. نقش نیکل در Mo_2FeB_2 و تأثیر تغییر محتوی آن تا 10wt % در ترکیب Fe-5B-44.4 Mo نیز، اساساً به عنوان بخشی از یک تحقیق درباره پتانسیل مقاومت خوردگی و زنگ زدگی مواد، مورد بررسی قرار گرفته است. نیکل تنها وارد فاز چسباننده آهنی می شود که با افزایش محتوای نیکل از مزیتی به مارتنزیت به آستنیتی، تغییر میکند. فاز چسباننده

^۱ Magnetrons

مارتنزیتی در ۲,۵% نیکل، به سرمت، مقاومت پارگی عرضی تا **Gpa 2.24 (325 ksi)** و یک اندازه سختی تا **HRA 86.9** می دهد.

۳-۳-۵ - دیگر سرمتهای نسوز(دیگرگاز):

نیتريدها ، کربونیتريدها و سیلیسیدهای فلزات واسطه خاص ، دارای اهمیت زیادی در استفاده های خاص در عملیاتی که در دماهای بالا انجام می گیرند، می باشند با اینحال، شکل اصلی کاربرد آنها، به صورت روکش است نظیر **TiN** , **TiC-TiN** به مقادیر مختلف برای ابزار برشکاری با سرعت بالا یا **MoSi₂** برای حفاظت سطح از مولیدن در برابر اکسیداسیون دماهای بالا. در تعداد بسیار کمی از موارد، این ترکیبات به صورت جامدات، در حالت خالص یا سمانته شده با یک فاز فلزی با نقطه ذوب پایین ، به کار می روند.

۳-۳-۷-۱ - سرمتهای نیتريدی و کربونیتريدی

نیتريدهای تیتانیم و کربونیتريدهای تیتانیم برای استفاده به شکل سخت برای مواد لازم در ابزار، مناسب شناخته شده اند. بهترین چسباننده ، آلیاژی از **70Ni-30Mo** می باشد و سختی مطلوب و بهینه ، در دامنه ی **1000 Hv** تا **2000** با چسباننده **10wt %** به دست می آید. این سختی به صورت افزایشی با ترکیب **TiC** در محلول جامد، زیادتر می شود. همین حالت در مورد سختی یک سرمت دارای **14 wt %** چسباننده نیز حاصل می شود؛ این ارزشها و مقادیر سختی از حدود **1400 Hv** تا به **1900 Hv** در مورد ترکیب سمانته شده ی **TiC** افزایش می یابد. نیروی پارگی عرضی هیچ گرایسی را دنبال نمی کند؛ یعنی بهترین ارقام به حدود **1300 Mpa (188 ksi)** در مورد یک ترکیب چسباننده ی **10 wt %** با یک میزان ۱۸ تا ۷۲ **TiN-TiC** و یک **14wt%** از ماده ی چسباننده با یک میزان ۱۷ تا ۶۹ از **TiN-TiC** ، می رسند. این ارقام با **۱۰۷۰** و **۱۲۷۵ Mpa** به ترتیب در مورد سرمتهای مستقیم **TiC** با **۱۰** تا **14wt%** از چسباننده مقایسه می شوند. سختی نیتريد تیتانیم به تنهایی با **10%** از آلیاژ **70Ni-30Mo** سمانته شده است، دارای سطح سختی به اندازه **1050Hv** و یک نیروی پارگی عرضی در حدود **785 Mpa (115 ksi)** می باشد. سرمتهای کربونیتريد برای استفاده در ابزار با جزئیات بیشتر در بخش « سرمتهای کربونیتريدی تیتانیم» در این مقاله توضیح داده شده است. ترکیبات نیتريدها و بوریدها با چسباننده فلزی یا بدون آن، نیز می توان درون ابزار مونتاژ کرد. مخلوطی از **60wt%** نیتريد تانتالیوم (**TaN**) و **ZrB₂ 40wt%** به صورت داغ به درون تیغه های ابزاری پرسکاری شده است که در سرعتهای بالایی برشکاری بسیار خوب عمل کرده است.

محصولات نیتريدی بر اساس سيليكون و شبه فلز بور مانند ديگر اجزاء کاريبيدی آنها، دارای استفاده های مهمی از لحاظ تجاری از زمان توسعه آنها به ترتيب در دهه ی 1950 s و 1970s می باشند.

شبکه کريستالی شش ضلعی نرمال نیتريد بور (BN) را می توان به شکل کريستالی مکعبی، از طريق واکنش پودر بور با نیتروژن در یک مينييم دما از 1650°C (3000°F) تبديل کرد در حالیکه همزمان با آن عمل فشار در افزودن از 7000Mpa (1000ksi) با کمک ابزارهای مخصوص فشار که از ساخت الماس مصنوعی به دست می آیند، به کار می رود. محصول به دست آمده به شدت محکم و سخت است و یکی از بهترین عايقهای شناخته شده الکتریکي به ویژه در دماهای بالا تا حدود $2/3$ نقطه ذوب آن یعنی نزدیک به 2730°C (4950°F) به حساب می آید. سرمتهایی که عملکرد برش کاری بسیار خوبی از خود نشان می دهند، از طريق چسباندن ذرات ترکیب شده ی نیتريد بور مکعبی فوق سخت با کبالت یا چسباننده های فلزی مشابه آن به دست می آیند. پرسکاری داغ، متد برتر در محکم سازی پودری می باشد و نوک ابزار ساخته شده در این حالت از نوک های کاريبيد تنگستن، توسط یک عامل دو به یک، بهتر عمل می کند.

نیتريد سيليكون و ترکیب آن با اکسيدهای مختلف، به خصوص Al_2O_3 (معروف به (Siatons)) مانند سرامیک مختلف سيليكون بر اساس کريد سيليكون، متعلق به رده جديد و مهمی از مواد نسوز و ديرگداز معروف به سرامیکهای ساختاری، تعلق دارد. افزاینده های این سرامیک ها، غير فلزی هستند و اساساً برای کنترل مکانيسم هم جوشي (گداختن و زینتر کردن) به کار می روند. آنها در محکم کاری (تقویت) ساختار ذره ای سخت به مفهوم یک چسباننده فلزی شرکت ندارند. در حقیقت، آنها دليل ضعف شبکه لایه ای-دانه در دمای بالای بسیاری از سيستم ها می باشند. بنابراین، این سرامیکهای سيليكونی بیرون از رده مواد برای سرمتهای در نظر گرفته می شوند.

سرمتهای سيليسيم؛ سيليسيم های فلزی دارای کاربرد تجاری تنها در موارد مجزا می باشند این امر، اساساً مربوط به شکنندگی شدید این ترکیبات و مسائل ضميمه ای است که آنها در هنگام مونتاژ شدن به درون اشیاء جامد با آن مواجه می شوند. دیسيليسيد موليدن (MoSi_2) به دليل مقاومت بالای آن در برابر اکسيدهای در دماهای بالا و نیز ضرایب مطلوب آن از انبساط گرمایی و نیز مقاومت الکتریکي، یک ماده مهم و اساسی برای گرم کردن (حرارت دادن) عناصر می باشد. مقاومت ضعیف آن در برابر شوک گرمایی و مکانیکی، نقص اصلی دیسيليسيدهای موليدن است که کاربردهای این ماده را برای اشکال مستطیل شکل یا استوانه ای مشکل ساخته است. مواد کمک ذوب عناصر فلزی برای علاج این مشکل، تنها در حد کمی موفق بوده است و سرمتهای MoSi_2 با

چسب های فلزی نیکل ، کبالت و پلاتینوم، با این وجود زیادی برای مونتاژ به درون اشکال پیچیده ،
ترد و آسیب پذیرند.

یاتاقانهای دمای بالا به طور آزمایشی توسط صاف کردن نقره به درون ماتریسهای سخت کاری
 $MoSi_2$ و تنگستن دیسیلیسید (Wsi_2) ، یا دیسیلیسید وانادیوم (Vsi_2) ، ساخته می شوند. این
یاتاقانها رفتار ضد اصطکاکی در برابر فولادها در دماهای بالا رفته دارند.

سرمت های دارای الماس و گرافیت - موادی که دارای ترکیبی از کربن به شکل گرافیت یا
الماس با فلزات می باشند یک ناحیه مرزی را برای سرمتها تشکیل می دهند. اما، چون کربن و
ترکیبات متالیک اغلب کاملاً مخلوط بوده و به طور یکنواخت در ریزساختارها توزیع و انتشار می
یابند، مربوط به این بحث می شوند. ترکیبات فلز- گرافیت در مورد کاربردهای مربوط به تماس
الکتریکی اساساً به دو نوع مواد تقسیم می شوند. برای فرچه های متالیک به کار رفته در موتورها و
ژنراتورها، فاز متالیک شامل مس یا برنز است؛ در مورد برخوردهای لغزشی که شامل سرعت های پایینی
از عمل سایش (سرخوردگی ، مالش) و فشار تماس کم می باشند، نقره ، فاز متالیک می باشد. در
برس ها(فرچه ها) محتوای ذرات گرافیک، ممکن است در دامنه ای وسیعتر، از ۵ تا 70wt%
گسترش یابند.

یک ترکیب دوتایی معمولی شامل $Cu\ 70\%$ و 30% گرافیت می باشد. برای پیشرفت و بهتر
کردن ویژگی های یاتاقان و سایدگی، بسیاری از برس ها(فرچه ها) نیز شامل $10\% Sn$ و Pb و تا
 $12\% Zn$ می باشند. محتوای گرافیت در ترکیب مجاورتی(تماس) نقره به طور کلی بین ۲ و 50wt
% می باشد.

مواد اصطکاکی فلزی شامل گرافیت برای لنت ترمز و کلاچ، دارای یک ماتریس متالیک می
باشد تا از یک رسانایی گرمایی بالایی استفاده شده باشد. این ویژگی ، باعث جذب سریع انرژی می
شود که این نوع از مواد را برای کارایی تحت یک سایش شدیدتر و محیط دما مناسب تر از موادی
که برای عناصر فرسایشی آزمونهای (پنبه های نسوز) با چسب رزین و ارگانیک ممکن می باشند،
احتمالاً ، یک ظرفیت انرژی افزایش یافته بدون وزن اضافی استفاده از یک واحد بزرگتر بوده است.
ضریب اصطکاک این سرمت ها ، مرتبط با تجهیزات ویژه کاربردی ، به خصوص با تغییر میزان
یک سرامیک تولید کننده ی اصطکاک با گرافیت است که به عنوان یک روانساز جامد عمل می کند .
فاز ماتریس متالیک ، اساساً یک آلیاژ یاتاقان است که شامل ۶۰ تا 75wt% Cu و ۵ تا 10% از
هر قلع ، سرب ، روی و یا آهن می باشد . محتوای گرافیت بین ۵ تا 10% قرار دارد و سرامیک ،
اساساً SiO_2 با احتمال بعضی از کمک ذوبها ف به مقدار ۲ تا 7% می باشد.

سرمت‌های تشکیل شده با الماس که از لحاظ اندازه با تراشه‌های ضمخت تا غبار کوچک درون یک ماتریس فلزی فرق می‌کند، برای ابزار خرد کن، صیقل دهنده و سایشی، اره کاری، برش، اندود کاری و ... به کار می‌روند. اندازه الماس از لحاظ تأثیر و کارایی ابزار مهم است؛ گرچه عمل پرداخت با کوچکتر شدن اندازه‌ی ماسه یا شن، بهتر می‌شود، اما سرعت برش کاری کمتر می‌شود. در مورد ابزار اندود کاری، ۵ تا ۳۵ تراشه الماس در واحد قیراط با اندازه تقریبی ۱ تا ۲.۵ میلی‌متر به کار می‌روند. در سمباده‌ی ضخیم، اندازه ماسه سنگ از ۰.۱۵ تا ۰.۵ میلی‌متر می‌باشد؛ و برای پولیش ظریف، این اندازه‌ی بین ۰.۰۵ و ۰.۱۵ میلی‌متر حتی پودر الماس ظریفتر، در ترکیب با کاربید تنگستن برای کاربردهای ویژه نظیر سطوح پوشش ابزار فلزی سخت یا پرداخت و لعابکاری نوردها برای آسیابهای نوع سند زیمیر^۱، به کار می‌رود. ترکیبات معمول این ابزار شامل ۱۲ تا ۱۶wt % گرد الماس به کار رفته در یک ماتریس کاربید تنگستن سماتته شده با ۱۳% کبالت (Co) می‌باشد. دیگر مواد چسبنده فلزی بر اساس مس، آهن، نیکل، مولیبدن یا تنگستن می‌باشند. مثالهای برای ماتریسهای مس، برنزهایی با ۱۰ تا ۲۰% Sn یا ۲ تا ۴% Be، می‌باشند که می‌توانند با سخت کاری رسوبی، و یک آلیاژی از ۴۷Cu-۴۷Ag-۶Co محکمتر شوند. فلزهای چسباننده مناسب برای کار در دماهای بالاتر شامل آلیاژهای آهن-نیکل، آهن-نیکل-کروم و آهن-قلع-آنتیموان-سرب می‌باشند. و نیز شامل آمیزه آهن و نیکل، و آلیاژهای نیکل شامل ۲ تا ۸% Be می‌باشند. ماتریسهای بر پایه‌ی فلزی نسوز (دیرگداز)، آلیاژهای مولیبدن-مس، کبالت-مولیبدن یا انواع مس-نیکل-تنگستن و آلیاژهای سنگین آهن-نیکل-تنگستن می‌باشند. در کل مواد چسبنده را باید با ملاحظه پایین‌ترین دماهای ممکن در فرایندها (مراحل ساخت) انتخاب کرد تا از تبدیل و دگرگونی ممکن الماس به گرافیت جلوگیری شود.

¹ Sendzimir

فصل چهارم: روش تحقیق

۴-۱- مقدمه

در این پروژه به بررسی تولید سرمت های کاربید تیتانیوم زمینه فولادی و همچنین سرمت های کاربید سیلیسیم- آلومینیوم پرداخته شد. هدف این پروژه از تولید سرمت های کاربید تیتانیوم زمینه فولادی افزایش مقاومت به سختی در حرارت بالا بود و از تولید سرمت های کاربید سیلیسیم- آلومینیوم مقاومت به سایش آن مدنظر بود.

۴-۲- تولید سرمت های کاربید تیتانیوم زمینه فولاد ریل

در این روش ابتدا ذرات ریزی از کاربید تیتانیوم را با مش ۱۴۰ و فولاد ریل را با مش ۴۵ تهیه کرده و آنها را با نسبت ۴۵% حجمی TiC و ۵۵% حجمی فولاد ریل با هم مخلوط کرده و آن را داخل قالب متالورژی پودر استوانه ای (به قطر ۲ سانتی متر که شامل شافتی به قطر ۱.۹۰ سانتی متر و ارتفاع قالب ۱۰ سانتی متر و ارتفاع شافت مورد استفاده ۱۵ سانتی متر) ریخته و آنرا با فشار اولیه 75 N/Cm^2 توسط دستگاه پرس یکطرفه پرس کرده سپس قالب را همراه با مخلوط به داخل کوره عملیات حرارتی انتقال داده و به محض رسیدن به دمای کوره به ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد قرص مورد نظر را به آرامی خارج کرده و آنرا مجدداً تحت پرس با فشار 100 N/Cm^2 قرار می دهیم سپس قرص را قالب خارج می کنیم. مشاهده شد که استحکام قرص زیاد نبود برای افزایش سختی قرص آنرا به مدت یک ساعت در دمای ۸۰۰ درجه سانتی گراد نگه داشته و سپس آنرا در روغن کوئینچ می کنیم. مشاهده شد که در نهایت قرص کوئینچ شده از استحکام و سختی نسبتاً مناسبی برخوردار است اما ترد و شکننده بود که قابل سختی سنجی نبود و نتیجه مورد نظر ما را بدست نیاورد که عمده ترین دلایل آن عبارتند از:

- ۱- عدم وجود دستگاه پرس مناسب (پرس دو طرفه و همزمان بودن پرس و دما)
- ۲- دسترسی نداشتن به دمای بالا (۱۸۰۰ درجه سانتی گراد) و عدم تشکیل فاز مایع در هنگام

زیترینگ

۴-۳- تولید سرمت های کاربید سیلیسیم- آلومینیوم

در این روش ابتدا ذرات ریزی از کاربید سیلیسیم ربا مش ۱۲۰ و آلومینیوم خالص را با مش ۱۲۰ تهیه کرده و آنها را با نسبت ۴۵% حجمی SiC و ۵۵% حجمی آلومینیوم خالص و با هم مخلوط کرده و آنرا در داخل قالب متالورژی پودر استوانه ای ریخته و آنرا با فشار اولیه 75 N/Cm^2 توسط دستگاه پرس یکطرفه پرس کرده سپس شافت را بیرون آورده (به علت اینکه در اثر حرارت و پرس ثانویه شافت تاب بر ندارد) و قالب را همراه با قرص فشرده شده داخل کوره عملیات حرارتی

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

قرار می دهیم و به محض رسیدن دمای کوره به ۵۰۰ درجه سانتی گراد قالب را از کوره خارج کرده و مجدداً تحت پرس با فشار 100 N/Cm^2 قرار می دهیم سپس قرص را از قالب خارج می کنیم. مشاهده شد که ظاهر استحکام قرص تولید شده نسبتاً خوب بود. قرص مورد نظر را همراه با نمونه آلومینیوم خالص و نمونه Al-Si تحت تست سایش قرار دادیم و به بررسی مقاومت به سایش نمونه های مورد نظر پرداخته شد و درصد کاهش وزن نمونه ها را طی زمان ۳۰ دقیقه بدست آورده شد.

فصل پنجم: نتایج و بحث

۵-۱- مقایسه مقاومت به سایش نمونه سرمتی با نمونه AL-Si و Al خالص

وزن نمونه سرمت قبل از سایش	۱۱/۸۸ gr	درصد کاهش وزن	$= \frac{11/88 - 11/84}{11/88} \times 100 = 0/33\%$
وزن نمونه سرمت بعد از سایش	۱۱/۸۴ gr		
وزن نمونه AL-Si قبل از سایش	۳۴/۲۷ gr	درصد کاهش وزن	$= \frac{34/27 - 34/11}{34/27} \times 100 = 0/46\%$
وزن نمونه AL-Si بعد از سایش	۳۴/۱۱ gr		
وزن نمونه AL قبل از سایش	۹۶/۷۴ gr	درصد کاهش وزن	$= \frac{96/74 - 96/21}{96/74} \times 100 = 0/54\%$
وزن نمونه AL بعد از سایش	۹۶/۲۱ gr		

همانطور که مشاهده می گردد و انتظار می رود مقاومت به سایش نمونه سرمت کاربرد

سیلیسیم - آلومینیوم از دو نمونه دیگر بیشتر است.



نمودار شماتیک تغییرات Δw بر حسب زمان ۳۰ دقیقه

۵-۲- مقایسه خواص مکانیکی AL خالص با سرمت کاربید سیلیسیم - آلومینیوم

خواص مکانیکی سرمت کاربید سیلیسیم - آلومینیوم

مقدار		خصوصیات
۴۷۵ (۷۰)	Mpa(KSi)	مقاومت خمشی
۳۵۰ (۵۰)	Mpa(KSi)	استحکام کششی
۱۳ (۱۱/۸)	$(K_{IC}), MPa\sqrt{M}$	تافنس شکست
۱۴ (۷/۸)	$\mu M/M^{\circ}$	ضریب انبساط حرارتی

خواص مکانیکی آلومینیوم خالص (O - ۱۱۰۰)

مقدار		خصوصیات
۲۳		سختی برینل
۱۳	۱۰۰۰ PSi(kg/mm ²)	استحکام کششی
۵	۱۰۰۰ PSi(kg/mm ²)	استحکام تسلیم
۱۳/۱	$\mu M/M^{\circ}$	ضریب انبساط حرارتی

خواص مکانیکی AL-Si (Si ۵/۰)

مقدار		خصوصیات
۴۰	Mpa(KSi)	سختی برینل
۱۹ (۱۳,۳)	۱۰۰۰ PSi(kg/mm ²)	استحکام کششی
۸ (۵,۶)	۱۰۰۰ PSi(kg/mm ²)	استحکام تسلیم
۱۳,۹	$\mu M/M^{\circ}$	ضریب انبساط حرارتی

همانطور مشاهده می گردد مشاهده می گردد استحکام کششی سرمت کاربید سیلیسیم-آلومینیوم از دو نمونه ی دیگر بیشتر است. این نوع سرمت ارزش خاصی در ساختارهای مربوط به سایش دارا می باشد.

منابع و مأخذ:

- ۱- عبادزاده . تورج ، کاربیدها ، موسسه دانش پویان جوان ، سال ۱۳۸۵ ، صفحات ۱۶۵-۸۹،
- ۲- فریتس وی لنل ، متالورژی پودر ، مترجم دکتر پروین عباچی ، موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف ، ۱۳۸۱ ، ۴۷۱-۱۳۷.

- 3- *ASTM Committee C-21, "Report of Task Group B on Cermets," American Society for Testing and Materials, 1955.*
- 4- *J.R. Tinklepaugh and W.B. Crandal Chapter 1 in Cermets, Reinhold, 196.*
- 5- *E.C. Van Schoick, Ed., Ceram Glossary, The Ceramic Society, 1963.*
- 6- *P. Etmayer and W. Lengauer, The Story of Cermets, Powder Metall. Int vol 21 (No. 2), 1989, p 37-38.*
- 7- *R. Kieffer and F. Benesovsky, Har metalle, Springer- Verlag, 1965, p 43-489.*
- 8- *E. Rudy, Boundary Phase Stabilit and Critical Phenomena in Higher Oder Solid Solution Systems, J. Lest Common Met., Vol 33, 1973, p 43-70.*
- 9- *F. V. Lenel, Powder Metallurgy, Prit ciples and Applications, Metal Powde Industry Federation, 1980.*
- 10- *P. Popper, Isostatic Pressing, Britis Ceramic Research Association, Her den & Sons Ltd., 1976.*
- 11- *R. Kieffer and P. Schwarzkopf, Har stoffe and Hartmetalle, Springer- Verlag, 1953.*
- 12- *C. G. Goetzel, Infiltration Process, in Cermets, Reinhold, 1960, p 73-81.*
- 13- *T.D. Claar, W.B. Johnson, C.A. Anderson, and G.H. Schiroky, Microstructure and Properties of Platelet Reinforced Ceramics Formed by the Directed Reaction of Zirconium with Boron Carbide, Ceram. Eng. Sci. Proc., Vol 10(No. 7/8), 1989.*
- 14- *C. G. Goetzel and L.P. Skolnick, Some Properties of a Recently Developed Hard Metal Produced by Infiltration, in*

Sintered High- Temperature and Corrosion- Resistant Materials, F. Benesovsky, Ed., Pergamon Press, 1956, p 92-98.

15- *M. Humenik, Jr. and T.J. Whalen, Physiochemical Aspects of Cermets, in Cermets, Reinhold, 1960, p 6-46.*

16- *C. G. Goetzel, Titanium Carbide- Metal Infiltrated Cermets, in Cermets, Reinhold, 1960, p 130-146.*

17- *L.J. Cronin, Refractory Cermets, Am. Ceram. Soc. Bull., Vol 30, 1951, p 234-238.*

18- *L.J. Cronin, Electronic Refractory Cermets, in Cermets, Reinhold, 1960, p 158-166.*

19- *A.N. Holden, Dispersion Fuel Elements, Gordon & Breach, 1967, p 80-91, 152-167.*

20- *P. Loewenstein, P.D. Corzine, and J. Wong, Nuclear Reactor Fuel Elements, Interscience, 1962, p 393-394, 396-398.*

21- *L.E. Murr, A.W. Hare, and N.G. Eror, Metal-Matrix High-Temperature Superconductor, Adv. Mater. Process. Vol 132(No. 4), Oct 1987, p 36-44.*

22- *J. Wambold, Properties of Titanium Carbide- Metal Compositions, in Cermets, Reinhold, 1960, p 122-129.*

23- *G.C. Deutsch, The Use of Cermets as Gas-Turbine Blading, in High-Temperature Materials, John Wiley, 1959, p 190-204.*

24- *H.W. Lavendal and C.G. Goetzel, Recent Advances in Infiltrated Titanium Carbides, in High Temperature Materials, John Wiley, 1959, p 140-154.*

25- *M. Epner and E. Gregory, Titanium Carbide-Steel Cermets, in Cermets, Reinhold, 1960, p 146-149.*

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoocn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۵۱۱ تماس حاصل نمایید

Filename: Document1
Directory:
Template: C:\Documents and Settings\hadi tahaghoghi\Application
Data\Microsoft\Templates\Normal.dotm
Title: مقدمه
Subject:
Author: mohammad
Keywords:
Comments:
Creation Date: 4/15/2012 11:32:00 AM
Change Number: 1
Last Saved On:
Last Saved By: hadi tahaghoghi
Total Editing Time: 0 Minutes
Last Printed On: 4/15/2012 11:32:00 AM
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 107
Number of Words: 22,954 (approx.)
Number of Characters: 130,839 (approx.)