بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

مواد پیشرفته

جلسه نهم

(سرمت)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

معرفی مواد سرمت

سرمت (Cermet)، مخلوطی از فلز و سرامیک است. سرمت ها از حدود سال 1930 به اشکال مختلف مورد استفاده قرار گرفتند، ولی تا سال های 1970 کار عملی جدی روی آنها انجام نشده بود.

در سرمت ها نوعی پیوند مولکولی مابین فلزات مختلفی مانند آهن، کبالت، نیکل و کروم و سرامیک‌هایی نظیر اکسید، کربور، نیترور، بورور و سیلیکات تشکیل می شود. پیوند مولکولی تشکیل شده این فلزات و سرامیک ها بسیار محکم بوده و این مواد دارای خواص ویژه ای هستند.

معرفی مواد سرمت

بسته به نوع فلز و سرامیک ترکیبی، سرمت های متفاوت با خواص متمایز جهت کاربردهای خاص می تواند تشکیل شوند، ولی تقریباً کلیه سرمت ها در خواص زیر مشترک هستند:

- سختی بسیار بالا
- مقاومت در مقابل خوردگی شیمیایی
- رفتار مکانیکی مابین فلز و سرامیک
- مقاومت حرارتی بالا
- مقاومت خوب در برابر خزش

معرفی مواد سرمت

واژه سرمت نشاندهنده یک ماده کامپوزیتی است که حداقل از یک فاز سرامیکی و یک فاز فلزی تشکیل شده است. این تعریف در واقع تعریفی کلی است.

اگر بخواهیم دقیق تر صحبت کنیم باید بگوییم که در این مواد از اکسیدها (همچون آلومینا، اکسید کروم، اکسید زیرکونیوم و اکسید اورانیوم)، کاربیدها (همچون کاربید تنگستن، کاربید تیتانیوم، کاربید تانتالیوم و کاربید کروم)، نیتریدها (همچون نیترید تیتانیوم)، بورایدها (همچون بورایدتیتانیم و بورایدکروم) و ... استفاده می شود. ذرات سرامیکی در این کامپوزیت ها دارای اندازه ذره ای بین 0/1 تا 100 میکرون می باشند و کسر حجمی این مواد در سرمت ها کمتر از 15 % است.

معرفی مواد سرمت

در مقام مقایسه با لایه های کامپوزیت، ترکیب فلز و غیرفلز در سرمت ها در مقیاس بسیار ریز اتفاق می افتد.

فاز غیرفلزی معمولاً غیر رشته ای است و از تعدادی دانه های ریز غیرهم محور تشکیل یافته که به خوبی پراکنده شده و به زمینه فلزی چسبیده اند.

در صورتی که جزء فلزی یا سرامیکی غالباً به صورت رشته‌ای باشند، ماده باید به عنوان یک ماده کامپوزیتی در نظر گرفته می شود.

معرفی مواد سرمت

اتصال بین فاز غیرفلزی و زمینه فلزی اثرات مهمی را در بین سرمت ها ایجاد می‌کند. این موضوع بشدت بر ارتباطات فازی، انحلال پذیری و ویژگی های مرطوب شدن که در ارتباط با اجزای سرامیکی و فلزی هستند، تاثیر می گذارد. تفاوت در بین اندازه جزء سرامیکی به سیستم و کاربرد آن مربوط است. این می‌تواند 50 تا 100 میکرومتر 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.

تاریخچه مواد سرمت

سرمت برای اولین بار در سال 1914 به وسیله جرمن لوهمن ساخته شد که 95-80 درصد از ترکیبات دیرگداز را با پودر فلزی مخلوط و سپس سینتر نمود. ماده WC-CO که به عنوان کاربید سمانته مطرح است در سال 1923 توسط جرمن اشرودتر با کیفیت بالا ساخته شد. فقدان منابع تنگستن و کبالت موجب شد که سرمت های بر پایه غیر تنگستن مورد توجه قرار بگیرند.

در طول دهه گذشته سرمت های بر پایه بوراید به دلیل سختی بالا، نقطه ذوب بالا، رسانایی بالا و مقاومت به خوردگی مناسب موجب شده است سرامیک های بر پایه بوراید بیشتر مورد توجه قرار گیرند.

تاریخچه مواد سرمت

تاریخچه ای از توسعه تولیدات سرمت

Year	Composition	Trademark	Manufacturer
1930–1931	WC-Co	G1	Krupp-Widia
1930	TiC-Mo_2C-(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_2C-VC-(Ni, Co)	KC-3	Kyocera
1977–1980	TiC-Mo_2C-(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_2AlN	TTI, TTI 15	Krupp-Widia

انواع مواد سرمت

سرمت ها می توانند براساس اجزای دیرگدازشان طبقه بندی شوند. در این سیستم، رده های اصلی سرمت ها با حضور شش جزء زیر مشخص می شوند:

- کاربیدها
- کربونیتریدها
- نیتریدها
- اکسیدها
- بورایدها
- انواع مواد کربن دار

انواع مواد سرمت

جزء فلزی سرمت

فاز چسباننده فلزی می تواند از عناصر گوناگونی تشکیل شود، به صورت تنها و یا به صورت ترکیبی، مانند نیکل، کبالت، آهن، کروم، مولیبدن و تنگستن. همچنین می‌تواند شامل دیگر فلزات و آلیاژهای آنها مانند فولاد زنگ نزن، سوپرآلیاژها، تیتانیم، زیرکونیم یا بعضی از آلیاژهای با نقطه ذوب پایین (مس یا آلومینیوم) نیز باشد. حجم کل فاز چسباننده تماما به خواص مورد نظر و استفاده نهایی مورد نظر از ماده بستگی دارد. این حجم می تواند 85 - 15 درصد باشد. اتصال (پیوند) فلزی برای هر سرمت به منظور رسیدن به ساختار و خواص مورد نظر برای کاربردی خاص، انتخاب می شود.

انواع مواد سرمت

جزء فلزی سرمت

آلیاژهای آهن، نیکل و به میزان کمتر کبالت، ترکیبات مطلوبی برای سختی بالا و چکش خواری خوب هستند.

با تمام این احوال، ماده چسباننده برای یک سرمت می تواند از گروهی از فلزات واکنش پذیر انتخاب شود مانند تیتانیم یا زیرکونیم و یا می تواند از یک سری از فلزات دیرگداز که شامل کروم، نیوبیوم، مولیبدن و تنگستن هستند، انتخاب شود.

انواع مواد سرمت

سرمت های بر پایه کاربید

سرمت ها با پایه کاربید بزرگترین دسته از سرمت ها هستند.

از زمان دست یابی به تکنولوژی سرمت، یکی از انواع سرمت های اصلی، سرمت های بر پایه TiC به عنوان بخش سخت اصلی و نیز بخش دیرگداز بوده است که در کنار انواع فلزات یا آلیاژهای شکل پذیر، خواص ویژه ای را ارائه می دهند.

انواع مواد سرمت

سرمت های بر پایه کربونیترید

سرمت های با پایه ی کربونیترید می توانند همراه با انواع مختلف کاربیدها یا بدون آنها تولید شوند که MO_2C مهمترین آنهاست. در حال حاضر این مواد جزء اولین سرمت ها برای بکار گیری در ابزارها می باشند.

مقاومت افزایش یافته آنها، که این مواد را برای ابزارهای برش با سرعت بالا مناسب می سازد، به دلیل بهبود چسبندگی بین دانه‌های سخت کاربید و فلز چسباننده است.

انواع مواد سرمت

سرمت های با پایه ی نیترید

سرمت های با پایه ی نیترید یک طبقه ی خاص از مواد سازنده ی ابزار را تشکیل می دهند. نیترید تیتانیم و بخصوص نیترید بور مکعبی (CBN) در صورتی که با ماده چسباننده ی سخت ترکیب شوند، ابزارهای برش بسیار عالی را تولید می کنند.

نیترید تیتانیم و نیترید زیرکونیم که به عناصر سخت فلزی متصل شده اند نیز برای مقاصد مقاوم به فرسایش و نیز مقاوم به گرمای خاص تولید می‌شوند.

انواع مواد سرمت

سرمت های با پایه اکسید

سرمت های با پایه اکسید دسته ای را تشکیل می دهند که UO_2 و یا دی اکسید توریم (ThO_2) را شامل می شود و برای شکاف هسته ای بکار می روند.

آلومینا یا دیگر اکسیدهای بسیار دیرگداز برای سازندگان و کسانی که با فلزات بصورت مایع سر و کار دارند (برای مثال مجرای جریان فلز مذاب) و نیز بخش های دیگر کوره استفاده می شود. سیلیکا برای عناصر اصطکاکی مناسب است. مخلوط Al_2O_3 با TiC نیز برای ابزار ماشین کاری به روش گرم مناسب است.

انواع مواد سرمت

سرمت های با پایه بوراید

فاز غالب در سرمت های با پایه بوراید، بوراید یکی از فازهای انتقالی است. این سرمت ها مقاومت در مقابل سایش و دماهای بالایی را برای کار به همراه فلزات فعالی مانند آلومینیم 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.

انواع مواد سرمت

سرمت های حاوی کربن

سرمت های حاوی کربن موادی شامل گرافیت با نسبت های مختلفی هستند. این مواد برای رنگ ها و اتصالات الکتریکی یا به عنوان بخش تشکیل دهنده کوچکی که روانکاری را در عناصر سایشی ایجاد می کنند، استفاده می شوند.

همچنین در این رده، قطعات الماس درون زمینه فلزی وجود دارند که برای ابزار خاص استفاده می شوند.

روش ساخت مواد سرمت

روش های استفاده شده برای آماده سازی پودر، شکل دادن، حرارت دادن یا سینترینگ و عملیا ت شکل دهی سرمت ها بسیار شبیه به سرامیک ها و فرآیند متالورژی پودر است.

فرآیندهای اصلی شکل دادن سرمت ها شامل شکل دهی سرد (آهنگری سرد) و سینترینگ (سینترینگ فاز مایع)، سینترینگ فشاری و تراوش (در متالورژی به کشیده شدن فلز مایع به داخل خلل و فرج فلز دیگر توسط نیروهای موئینگی گفته می شود) هستند.

فرآیند فشارکاری سرد شامل فشرده سازی به روش تمام محوری هم فشار و نیز فشار تک محوره است.

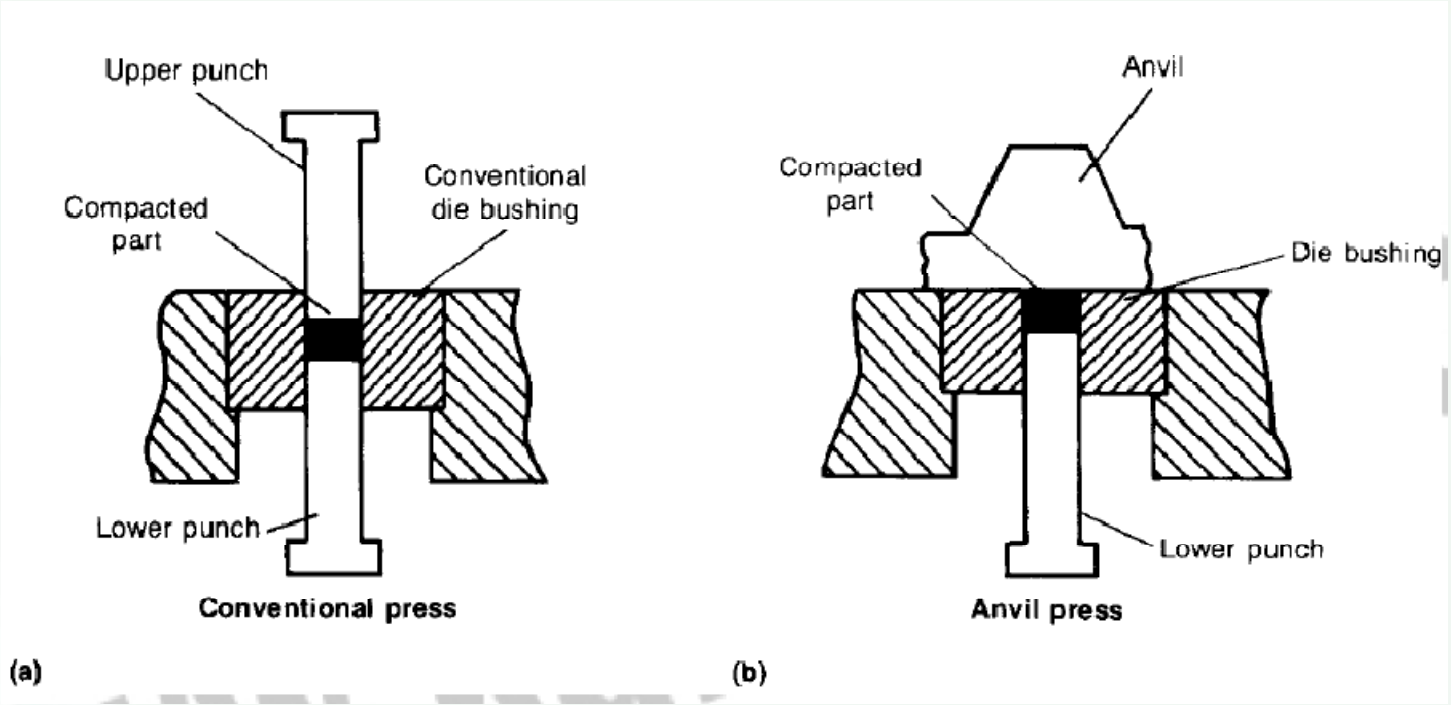
روش ساخت مواد سرمت

پرس کاری سرد به صورت استاتیک

روش 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. چرخه فشرده سازی شامل پر کردن قالب ها از پودر، فشار به پودر و خروج جسم فشرده است .

روشی دیگر که برای فشرده سازی سرمت های شکننده مورد توجه قرار گرفته است، فشرده سازی با فک ثابت است . در این روش پودر بر روی فک ثابت با حرکت رو به بالای فک متحرک پایینی فشرده می شود. سپس فک ثابت برداشته می شود تا قطعه فشرده شده با حرکت رو به بالای فک زیرین خارج شود.

روش ساخت مواد سرمت



پرسکاری سرد به صورت ایستا، a) پرس معمولی از دو طرف، b) پرس با فک ثابت

در پرس با فک ثابت پانچ بالایی وجود ندارد بنابراین شکستگی و سایش همراه با پانچ تا حد زیادی حذف می شود.

روش ساخت مواد سرمت

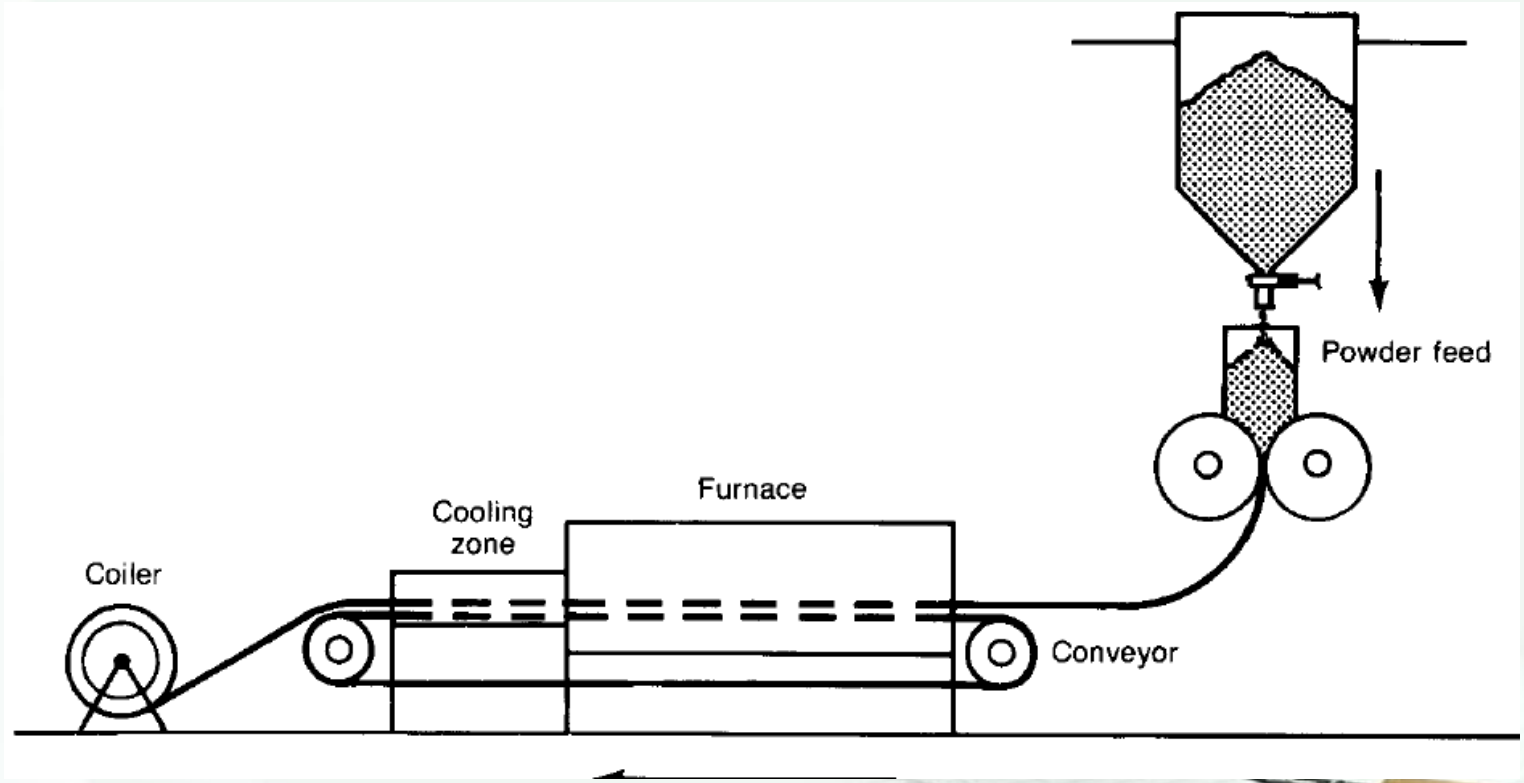
نورد پودر

نورد پودر یک فرآیند تولید متداول و بخوبی شناخته شده در روش متالورژی پودر است که می تواند کاربردهایی در تولید سرمت نیز پیدا کند.

در این فرآیند، مخلوط پودری سرمت مستقیماً از قیف به فضای بین غلطک ها هدایت شده و به صورت تسمه فشرده شده خارج می شود. غلطک ها عمدتاً به صورت افقی قرار می گیرند. یک خط تولید پیوسته نورد پودر کامل شامل واحدهای چسب زنی و سینترینگ و در صورت نیاز یک یا تعداد بیشتری کوره آنیل کردن است.

روش ساخت مواد سرمت

نورد پودر



شمایی از فرآیند نورد پودر

محصول برای تبدیل به کلاف باید مقاومت و شکل پذیری کافی داشته باشد

روش ساخت مواد سرمت

ریخته گری دوغابی

ریخته گری دوغابی روشی برای شکل دادن پودرهای فلزی است. این فرآیند برای تولید سرامیک ها نیز برای مدت طولانی استفاده می‌شده 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. دوغاب مورد نظر برای ریخته گری شامل سوسپانسیون پودر فلز در آب است.

گرانروی دوغاب باید کم باشد بطوری که به آسانی ریخته شود. قطعه ای که به این روش ساخته می شود، باید به آسانی از قالب جدا شده و در حین خشک شدن مقدار جمع شدگی آن کم و پس از خشک شدن زیاد باشد .

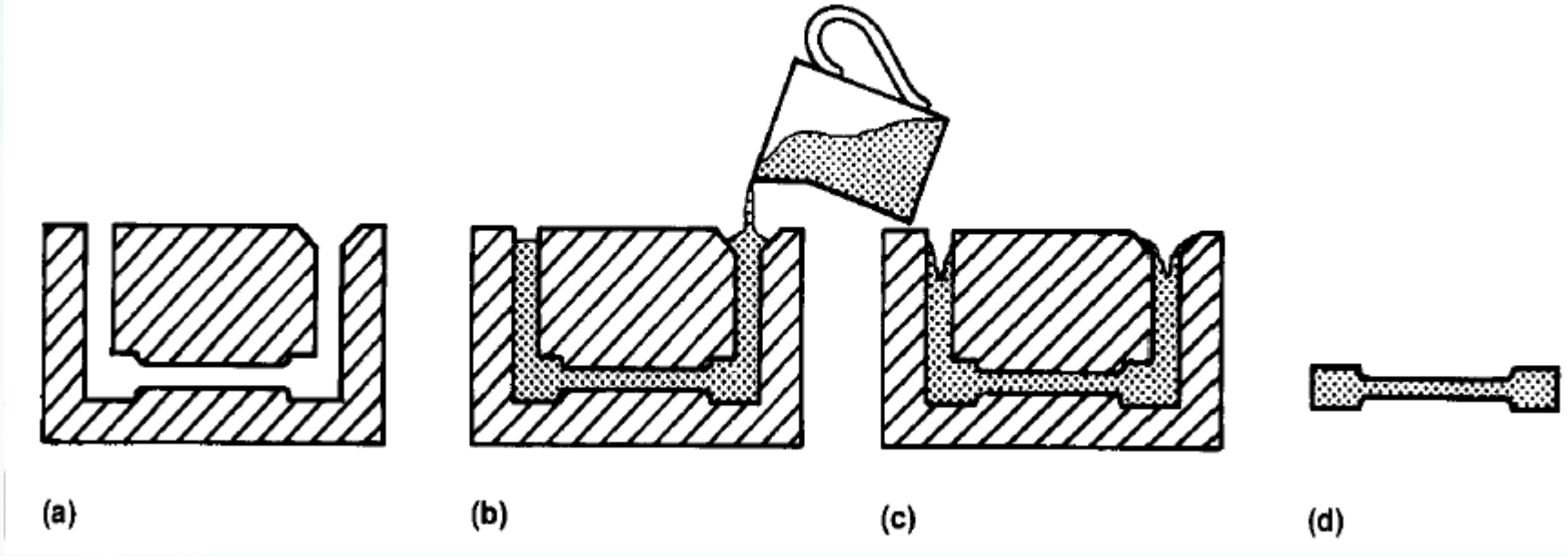
روش ساخت مواد سرمت

ریخته گری دوغابی

مخلوط سازی پودرهای سرمت می تواند مشکل حادی باشد، بویژه برای آن پودرهایی که دارای اختلاف وزن مخصوص بین فاز سخت و فلز چسباننده هستند. این مساله می‌تواند منجر به تغییر در ترکیب و ایجاد خواص مختلف در دو انتهای سرمت شود. اختلاف در ترکیب می تواند سبب ترک خوردن نمونه در هنگام خشک شدن و یا سینترینگ پس از آن شود.

به منظور کنترل ویسکوزیته دوغاب از بازدارنده پیوستگی ذرات استفاده می شود.

روش ساخت مواد سرمت



فرآیند ریخته گری دوغابی، a) قالب، b) پر کردن قالب، c) جذب آب از محلول حاوی ذرات پودر، d) قطعه نهایی پس از خروج از قالب و پلیسه گیری

روش ساخت مواد سرمت

مزایای روش ریخته گری دوغابی

- قطعاتی را می توان با این روش تولید کرد که تولید آنها با روش پرس کردن ممکن نباشد.
- ارزان بودن تجهیزات
- از آنجا که بهترین نتایج از ریزترین پودرها حاصل می شود قطعه نهایی دارای خواص فیزیکی عالی است.

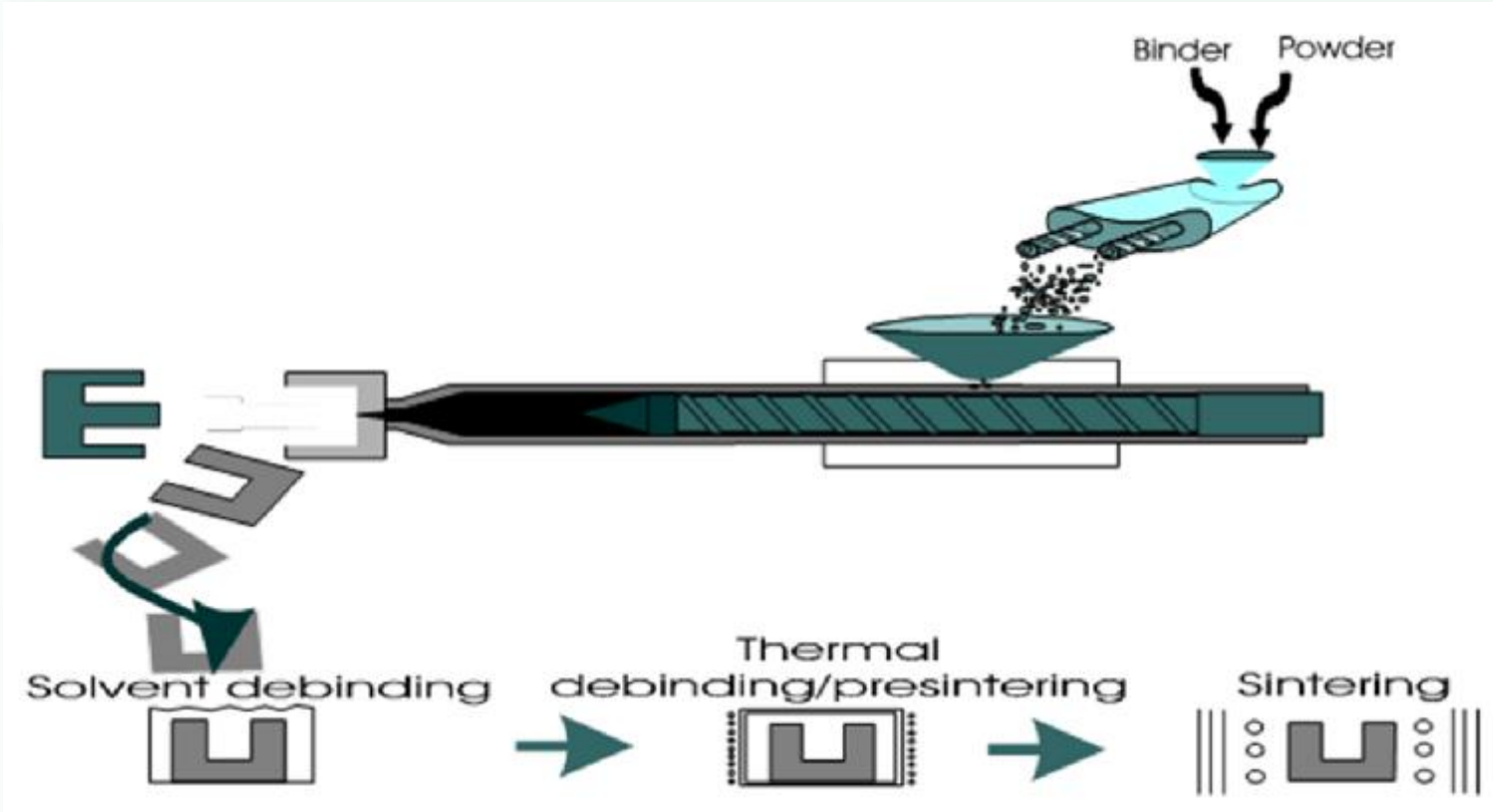
عیب اصلی این روش وابستگی به مهارت کارگر است که در نتیجه سبب کندی فرآیند می شود.

روش ساخت مواد سرمت

فرآیند قالب گیری تزریقی فلزی

این فرآیند توجهات زیادی را از هنگام اولین توسعه اش در دهه 1970 جلب کرد. فرآیند تزریق پودر به قالب شامل مخلوط کردن و به هم چسباندن اجزای فلزی و پودرهای فاز سخت به وسیله 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 شود. مواد 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 قطعه با عمل سینترینگ متراکم می شود.

روش ساخت مواد سرمت



شماتیکی از فرآیند تزریق پودر

روش ساخت مواد سرمت

مزایای فرآیند تزریق پودر

- تلرانس ابعادی در آن بسیار کم و ناچیز است .
- تولید شکل های پیچیده با اندازه کوچک تا متوسط امکان پذیر است.
- با این روش می توان قطعات با کیفیت بالا و ویژگی های فیزیکی خوب تولید کرد.

برای قطعات سرمت با پیچیدگی خاص بهتر است از روش قالب گیری تزریقی بجای ریخته گری دوغابی استفاده شود. فرآیند ریخته گری دوغابی نیازمند سرمایه گذاری بیشتر است، اما برای تولید قطعات با حجم متوسط و بزرگ بهتر عمل می کند.

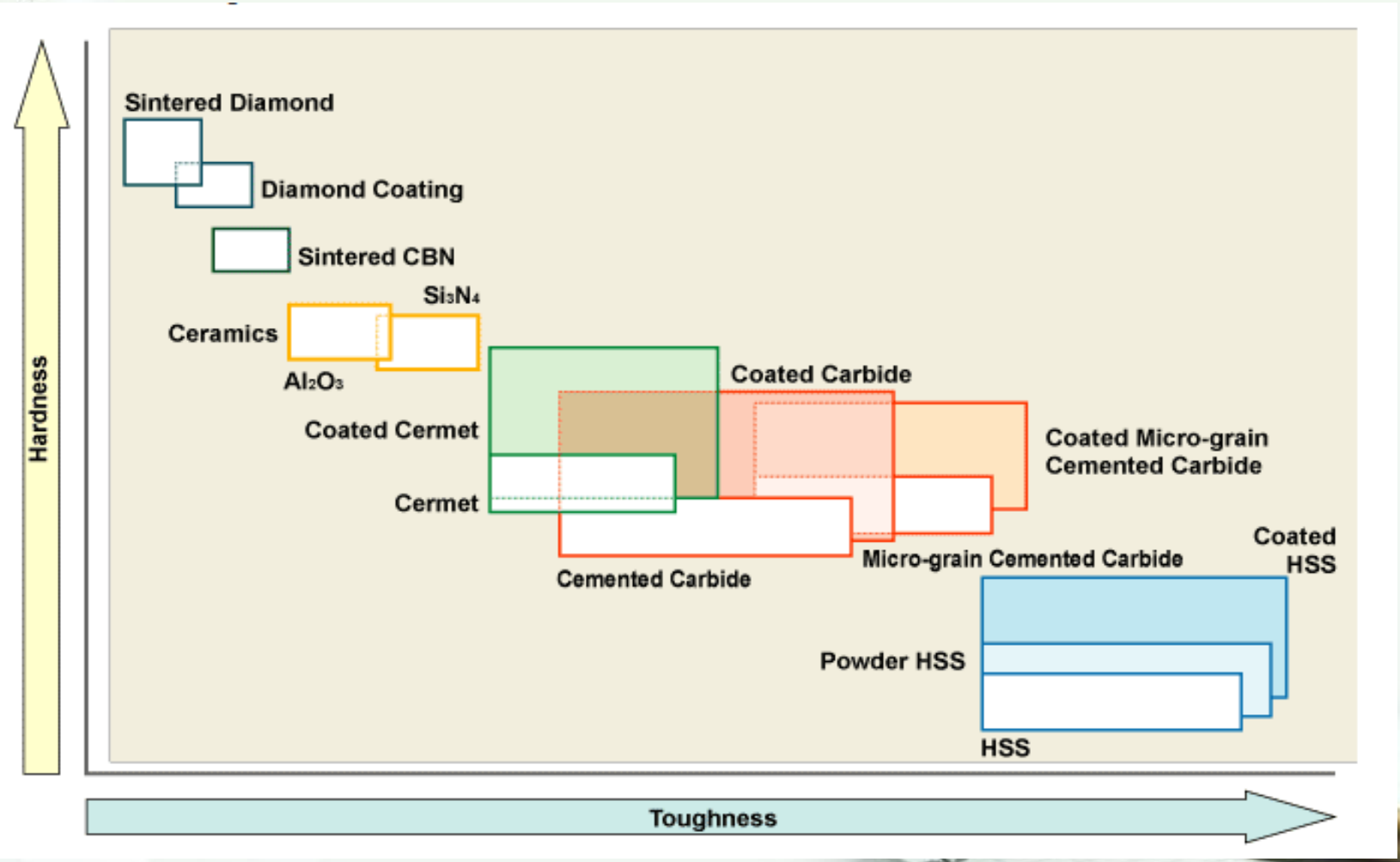
خواص مواد سرمت

- سرمت ها برای کاهش تردی و شکنندگی سرامیک ها و بهبود عملکرد آنها ابداع شده اند.
- از بارزترین خصوصیت سرمت ها حفظ سختی در دمای بالا ومقاومت بالا در مقابل سایش است.
- جزء فلزی در سرمت ها مقاومت در مقابل ضربه یا تافنس و مقاومت در برابر شوک های حرارتی را تضمین می نماید.
- سرمت ها مقاومت به سایش بالاتری نسبت به کاربیدهای سمانته دارند در کنار این که در سرعت های برش خیلی بالاتری نیز کار می کنند، اما از طرف دیگر استحکام آنها 25 - 15 درصد کمتر از استحکام کاربیدهای سمانته است.

خواص مواد سرمت

- چقرمگی سرمت ها در مقایسه با کاربیدهای سمانته کمتر است .
- به دلیل مقاومت به اکسایش در دمای بالا، با وجود احتمال شکست ترد، سرمت ها بهترین گزینه برای استفاده در دماهای بالا و تنش های شدید است .
- سرمت ها جایگاه نسبتاً خوبی در کاربردهای دینامیکی وکاربردهایی که نیاز به تحمل در برابر شوک حرارتی و نیروی مکانیکی دارند، دارا هستند.

خواص مواد سرمت



رابطه بین سختی و چقرمگی در مواد مهندسی مختلف

ü در سرمت ها توازن بین سختی و چقرمگی مشاهده می شود.

خواص مواد سرمت

یکی از نکات مهم در عملکرد سرمت ها پیوند بین فلز و سرامیک است. قابلیت سینترینگ ماده و خواص قطعه سینتر شده بطور وسیعی وابسته به پیوند بین فاز سخت (سرامیک) و فاز چسبی (فلز) است. زاویه تماس (ترشوندگی) بین سرامیک و فلز مایع به عنوان معیار ترشوندگی در نظر گرفته می شود. اگر زاویه بیش از 90 درجه باشد، ترشوندگی صورت نگرفته است، اما اگر زاویه تماس صفر درجه باشد ترشوندگی کامل اتفاق می افتد.

چسبندگی خوب بین فلز و سرامیک هنگامی رخ می دهد که فاز سخت سرامیکی هنگام تف جوشی فاز مایع حلالیت ناچیزی در فاز فلزی داشته باشد.

خواص مواد سرمت

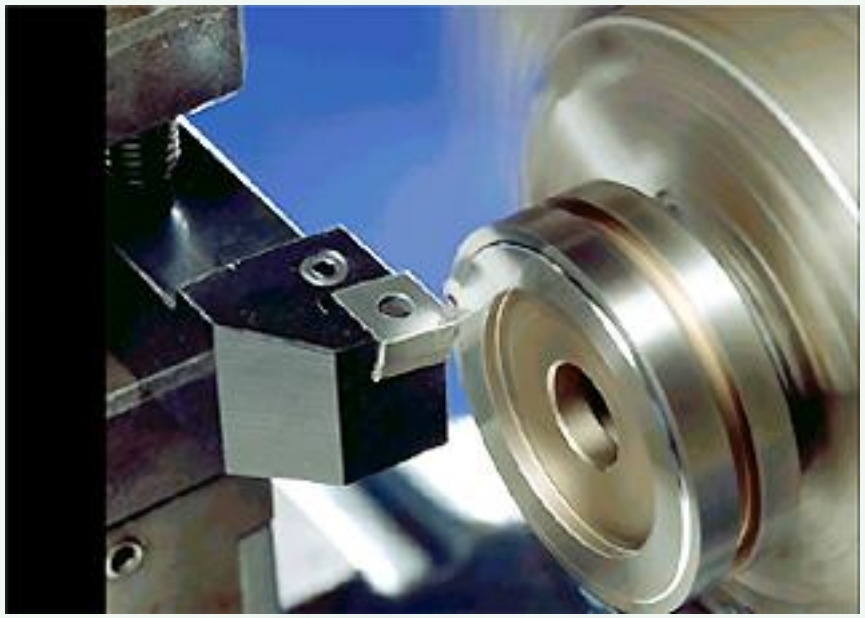
- مکانیزم افزایش چقرمگی در سرمت های سرامیک- فلز پل زدگی ترک بوسیله تغییر فرم پلاستیکی و برش خوردن فاز فلزی چکش خوار بوسیله ترک بوده که بواسطه استهلاک انرژی می تواند سبب مهار شدن رشد ترک شود. البته شرط رخ دادن چنین مکانیزمی بالاتر بودن استحکام پیوند بین فلز و سرامیک از استحکام تسلیم فلز می باشد. هر چه اندازه دانه های فاز فلزی ریزتر باشد، عدم تطابق حرارتی بین فاز فلزی و سرامیک کمتر بوده و احتمال شکل گیری ریزترک ها در فصل مشترک کمتر خواهد بود .
- اگر فاز ثانویه فلزی به صورت شبکه پیوسته ای از ذرات باشد، به دلیل ارائه چقرمگی و رسانایی بالاتر برای سرمت قابلیت کاربردی آن در دماهای بالا افزایش یافته، اما در هر صورت درجه عایقی سرمت کاهش می یابد.

کاربرد مواد سرمت

یکی از کاربردهای مهم سرمت ها شامل مواد ابزار برش می باشد که از TiC یا TiC,N به عنوان فاز بشدت دیرگداز استفاده می شود. همچنین کاربید مولیبدن (MO_2C) و دیگر کاربیدها براساس فرمول بندی این سرمت ها ساخته می شوند. مقاومت به خوردگی و سایش لبه و دیواره مواد ابزار ساخته شده از سرمت TiC و TiC,N بهتر از همین خواص متعلق به ابزارهای کاربیدهای سمانته شده معمول (شامل کبالت مخلوط با کاربید تنگستن) است.

در مقایسه با ابزارهای برش سرامیکی، این سرمت ها امکان برش سنگین را دارند که در سرعت بالا، نتیجه آن میزان بیشتری از فلز حذف شده در سطح است. به روشنی سرمت ها دارای ویژگی های مواد ابزار برش هستند که قادر است فاصله بین کاربیدهای سمانته شده معمولی و سرامیک ها را پر سازد.

کاربرد مواد سرمت

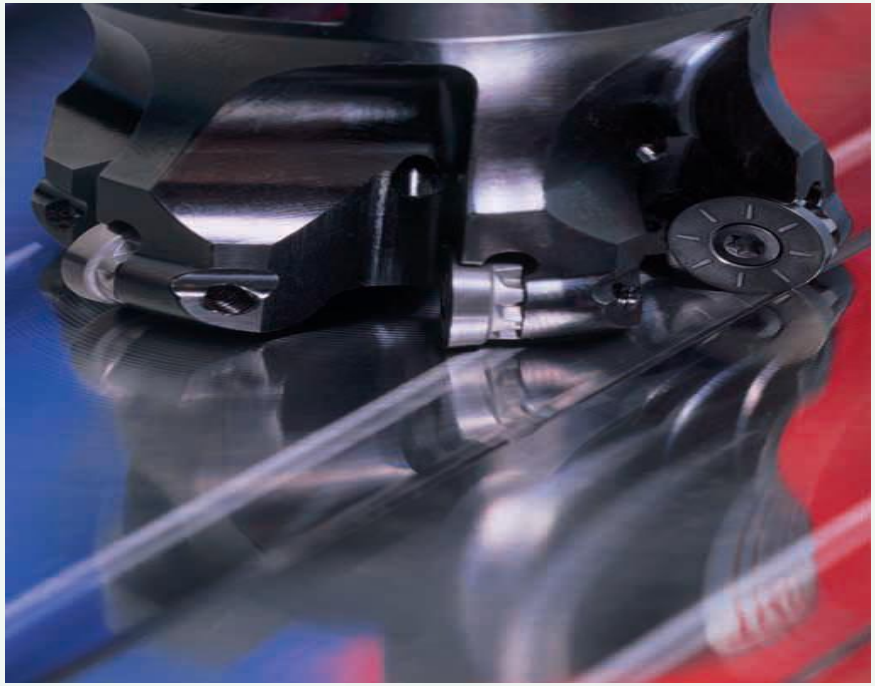


ابزار تراشکاری

کاربرد مواد سرمت

قلاویزهای مورد استفاده در تراشکاری

کاربرد مواد سرمت



تیغه دستگاه فرز

کاربرد مواد سرمت

یکی از کاربردهای صنعتی سرمت احیاگری مکانیکی است. یکی از نتایج حاصل از بازرسی‌های مختلف و خصوصا آنالیز روغن، وجود درصد بالای فلز در روغن آنالیز شده و وجود خوردگی فلزی است که در سطوح درگیر رخ می دهد.

سرمت به محل های خوردگی همراه روانکار(روغن یا گریس) تزریق می شود. در صورتی که محیط شرایط لازم (دما و فشار مناسب) را جهت واکنش ها داشته باشد، سرمت باعث می شود ذرات فلز موجود در ماده روانکار به سطوح خورده شده بازگشته وبه مرور زمان خوردگی ترمیم شده و علاوه بر آن سطحی بسیار صیقلی حاصل شود.

کاربرد مواد سرمت

- از جمله موارد کاربرد سرمت ها می توان به قطعات سازه ای در موتورهای جت و سیستم های هوا و فضا، مبدل های حرارتی، مشعل ها، عایق ها و سپرهای حرارتی، بیومواد، ابزارهای برشی، قالب های کشش سیم و لایه های سطحی مقاوم به سایش و یا مقاوم به حرارت بر روی فولادها وآلیاژهای دیگر، اشاره کرد.

- در بعضی از موارد، سرمت ها کاربرد خاصی در زمینه های الکتریکی، مغناطیسی، مهندسی پزشکی و حرارتی دارند که از جمله می‌توان به مواردی چون نیمه هادی‌ها، انواع الکترودها در فرآیندهای الکترولیز، پیل های سوختی و انواع باطری های ویژه و حس گرها اشاره کرد.