اساس و کاربرد سوپر آلیاژها

.

سوپرآلياژها در واقع آلياژهايي مقاوم در برابر حرارت، خوردگي و اکسيداسيون ميباشند که به لحاظ ترکيب شيميايي شامل سه گروه پايه نيکل، نيکل-آهن و پايه کبالت ميباشند. اولين استفاده از سوپرآلياژها در ساخت توربينهاي گازي، طرحهاي تبديل ذغال سنگ، صنايع شيميايي و صنايعي که نياز به مقاومت حرارتي و خوردگي داشته اند بوده است. امروزه تناژ وسيعي از قطعات مصرفي در توربينهاي گازي از جنس سوپرآلياژها ميباشند. در ذيل به بعضي از مصارف اين قطعات اشاره شده است:

- توربينهاي گازي هواپيما
- توربينهاي بخار نيروگاه‌هاي توليد برق
- ساخت قالب‌هاي ريخته گري و ابزارهاي گرمکار
- مصارف پزشکي و دندانپزشکي
- فضاپيماها
- تجهيزات عمليات حرارتي
- سيستمهاي نوتروني و هسته اي
- سيستمهاي شيميايي و پتروشيمي
- تجهيزات کنترل آلودگي
- تجهيزات و کوره هاي نورد فلزات
- مبدلهاي حرارتي تبديل ذغال سنگ

به منظور انتخاب سوپرآلياژها جهت مصرف در کاربردهاي فوق لازم است خواص فني نظير شکل پذيري، استحکام، مقاومت خزشي، استحکام خستگي و پايداري سطحي در نظر گرفته شوند.

تقسيم بندي سوپرآلياژها برحسب روش توليد با توجه به نحوه توليد ميتوان سوپرآلياژها را به چهار گروه کلي تقسيم بندي نمود که عبارتنداز:

۱) سوپرآلياژهاي کارپذير

سوپرآلياژهاي کارپذير در حقيقت گروهي از سوپر آلياژها هستند که قابليت کار مکانيکي دارند و از روشهاي مکانيکي ميتوان به آنها شکل داد. به منظور توليد مقاطع معيني از سوپرآلياژهاي کارپذير، اولين گام آن است که شمشهاي سوپرآلياژها به دليل حضور عناصر فعال(عناصري که سريع در مجاورت هوا اکسيد ميشوند) در شرايط خاصي تهيه شوند. فرايندهاي ذوب در خلاء در مورد تهيه سوپرآلياژهاي پايه نيکل و پايه آهن جزء ضروريات مي

باشد. اما در مورد سوپرآلياژهاي پايه كبالت امكان ذوب در هوا وجود دارد. اين فرايند به طور خلاصه شامل ذوب القائي تحت خلاء (VIM)، ذوب مجدد قوس الكتريكي در خلاء (VAR) و ذوب مجدد با سرباره (ESR)، فرايندهاي ترمومكانيكي و متالورژي پودر ميباشند. پس از تهيه شمش آلياژهاي كارپذير به يكي از روش‌هاي فوق عمليات شكلدهي صورت ميگيرد. عمليات شكلدهي سوپرآلياژها نيز ميتواند توسط عمليات متداول كليه آلياژهاي فلزي انجام پذيرد. سوپرآلياژهاي پايه آهن، كبالت و نيكل را ميتوان به صورت مفتول، صفحه، ورق، نوار، سيم و اشكال ديگر توسط فرايندهاي نورد، اكستروژن و آهنگري توليد نمود. معمولاً عمليات شكل دهي در دماي بالا صورت ميگيرد و تعداد كمي از سوپرآلياژها را ميتوان به صورت سرد شكل دهي نمود. ساختارهاي يكنواخت و ريزدانهاي كه از شكل دهي سرد حاصل ميشود نسبت به ساختارهاي شكل دادن گرم ارجحيت دارند. عمليات ترموديناميكي بر روي سوپرآلياژها معمولاً در حدود ۱۰۰۰-۹۵۰ درجه سانتيگراد انجام ميشود كه به اين ترتيب در حين شكل دادن عمليات حرارتي نيز صورت ميگيرد.

۲) سوپرآلياژهاي متالورژي پودر

بسياري از انواع آلياژهاي كارپذير از طريق فرايندهاي متالورژي پودر توليد ميگردند. امروزه قطعات متالورژي پودر از جنس سوپرآلياژ با دانسيته كامل از طريق روش‌هاي اكستروژن يا پرسكاري ايزواستاتيك گرم (HIP) توليد ميگردند. مهمترين اين قطعات قيچيها و سوزنهاي جراحي ميباشند.

فرايندهاي متالورژي پودر به دليل داشتن مزاياي زير بر فرايندهاي ريخته گري ترجيح داده ميشوند هر چند كه معايبي را نيز به همراه خواهند داشت:

- يكنواختي در تركيب شيميايي و ساختار كريستالي
- ريز بودن اندازه دانه هاي كريستالي
- كاهش جدايشها
- راندمان بالاتر از نظر مصرف مواد

اما مشكلاتي نظير حضور گاز باقيمانده، آلودگي كربني و آخال‌هاي سراميكي باعث ميگردد كه در برخي موارد نيز فرايندهاي شمش‌ريزي و ترمومكانيكي متداول صورت پذيرند.

۳) سوپرآلياژهاي پلي‌كريستال ريخته گي

وجود محدوديت‌هاي تكنولوژيكي سبب محدود شدن رشد صنعت سوپرآلياژ مي‌گردد و بنابراين با پيدايش فرايندهاي جديد توليد، اين صنعت نيز روز به روز توسعه مييابد. تعداد زيادي از فرايندها را ميتوان در توليد قطعات سوپرآلياژ با اندازه نزديك به قطعه نهايي مورد استفاده قرار داد اما اساساً اين قطعات توسط فرايند ريخته گري دقيق توليد ميگردند. محدوده تركيب شيميايي سوپرآلياژهاي ريخته گي بسيار گسترده تر از سوپرآلياژهاي كارپذير بوده و بنابراين خواص متنوعتري نيز از اين طريق قابل حصول خواهند بود هر چند كه انعطاف پذيري و مقاومت

به خستگي در فرآيندهاي كار مكانيكي بهتر از ريخته گري خواهد بود، اما امروزه با توسعه فرآيندهاي جديد ريخته گري و انجام عمليات حرارتي متعاقب، خواص سوپرآلياژهاي ريختگي نيز افزايش يافته است.

٤) سوپرآلياژهاي تك كريستالي انجماد جهتدار

به منظور توسعه توربينهاي گازي مصرفي در هواپيماها و افزايش دماهاي كاري و كارآيي موتورها، به‌طور مداوم روشهاي توليد سوپرآلياژها در حال بهبود است. قسمت‌هاي بحراني توربينها معمولاً شامل پره هاي تحت فشار بالا، هواكشها و ديسكها ميباشند. در طول ١٥ سال گذشته تحقيقات بسياري در زمينه افزايش راندمان توربينها صورت گرفته است و عمده اين تحقيقات بر امكان افزايش دماي ورودي، فشاركاري و كاهش هزينه هاي توليد استوار بوده است. توسعه فرايند انجماد جهتدار به‌منظور توليد تك كريستالي‌هاي ريختگي سبب شده تا بتوان از اين طريق پره هاي توربين را با دانه هاي جهت دار در راستاي اعمال تنش توليد نمود و به اين ترتيب علاوه بر خواص پايدار حرارتي، استحكام خستگي، استحكام خزشي و انعطاف پذيري نيز افزايش يابند. با توسعه اين تكنولوژي، امروزه در توربينهاي مصرفي در نيروگاه‌هاي برق نيز از قطعات تك كريستال از جنس سوپرآلياژها استفاده به‌عمل مي آيد. در سالهاي اخير شركت هواپيمايي PWA يكي از پيشگامان توليد سوپرآلياژها مي‌باشد و توليد آلياژهاي PWA 1480 به صورت تك كريستال توسط اين شركت، سبب افزايش عمركاري هواپيماي جنگي F-100 گرديده است.

تقسيم‌بندي سوپرآلياژها برحسب تركيب شيميايي

به طور كلي اين آلياژها شامل سه گروه پايه نيكل، پايه آهن و پايه كبالت ميباشند كه بسته به درجه حرارت كاربردي مورد استفاده قرار ميگيرند

١) سوپرآلياژهاي پايه نيكل

امروزه آلياژهاي نيكل در حالت‌هاي "تك‌فازي"، "رسوب سختي شده" و "مستحكم شده توسط رسوبات اسيدي و كامپوزيتها" در مصارف صنعتي مختلف مورد استفاده قرار ميگيرند. سوپرآلياژهاي پايه نيكل پيچيده ترين تركيباتي ميباشند كه در قطعات دماي بالا به كار ميروند. در حال حاضر ٥٠ درصد وزن موتورهاي هواپيماهاي پيشرفته از جنس اين آلياژها ميباشد. خصوصيات اصلي آلياژهاي نيكل، پايداري حرارتي و قابليت مستحكم شدن ميباشد. بسياري از اين آلياژها حاوي ١٠ الي ٢٠ درصد كرم، حداكثر ٨ درصد آلومينيم و تيتانيم، ٥ تا ١٥ درصد كبالت و مقادير كمي مولبدن، نيوبيم و تنگستن ميباشند. دو گروه اصلي از آلياژهاي آهن-نيكل كه ميزان نيكل آنها بيشتر از مقدار آهن است عبارت از گروهIncoloy 706 و Inconel 718 ميباشند. اين آلياژها معمولاً حاوي ٣ تا ٥ درصد نيوبيم ميباشند و در رديف آلياژهاي پايه نيكل

قرار ميگيرند. آلياژهاي پايه نيكل معمولاً تا دماي ٦٥٠ درجه سانتيگراد استحكام خود را حفظ ميكنند. اما در دماهاي بالاتر به سرعت استحكام خود را از دست ميدهند.

٢) سوپرآلياژهاي پايه آهن

سوپرآلياژهاي پايه آهن نشات گرفته از فولادهاي زنگ نزن آستينتي ميباشند كه داراي زمينهاي از محلول جامد آهن و نيكل بوده و براي پايداري زمينه نياز به حداقل ٢٥ درصد نيكل است.

- گروههاي متعددي از اين آلياژها تاكنون مشخص گرديده اند كه هر يك با مكانيزم هاي خاصي مستحكم ميشوند. برخي از اين آلياژها نظير V-٥٧ و A-٢٨٦ حاوي ٢٥ تا ٣٥ درصد وزني نيكل ميباشند و استحكامشان به دليل حضور آلومينيم و تيتانيم مي‌باشد.
- گروه دوم آلياژهاي پايه آهن كه آلياژهايX750 و Incoloy901 نمونههاي آن ميباشند، حداقل ٤٠ درصد وزني نيكل داشته و همانند گروههاي با نيكل بالاتر استحكام بخشي توسط سختي رسوبي صورت ميگيرد.
- گروه ديگر اين آلياژها بر پايه آهن- نيكل- كبالت ميباشند و استحكام اين گروه در محدوده ٦٥٠ درجه سانتيگراد مناسب بوده و ضريب انبساط حرارتي آنها پايين ميباشد. اين آلياژها شامل Incoloy با شمارههاي ٩٠٣، ٩٠٧، ٩٠٩، ١-١- PyrometCTX و PyrometCTX-٣ و غيره ميباشند.

٣) سوپرآلياژهاي پايه كبالت

سوپرآلياژهاي كارپذير پايه كبالت برخلاف ساير سوپرآلياژها مكانيزم استحكام بخشي متفاوتي دارند و خواص حرارتي خوبي در دماي حدود ١٠٠٠ درجه سانتيگراد خواهند داشت. سوپرآلياژهاي پايه كبالت حاوي كرم، مقاومت به خوردگي و اكسيداسيون خوبي داشته و هم چنين قابليت جوشكاري و مقاومت به خستگي حرارتي آنها نسبت به آلياژهاي پايه نيكل بالاتر ميباشد. از طرف ديگر امكان ذوب و ريختهگري اين آلياژ، در هوا با اتمسفر آرگون مزيت ديگري نسبت به ساير سوپرآلياژها كه نياز به خلاء دارند ميباشد.

سه گروه اصلي آلياژهاي پايه كبالت را ميتوان به صورت ذيل در نظر گرفت:

- آلياژهايي كه در دماهاي بالا در محدوده ٦٥٠ تا ١١٥٠ درجه سانتيگراد مورد استفاده قرار ميگيرند كه شامل آلياژهايS-816، 25HAYNES، 188 25HAYNES، 55625HAYNES، 50UMCO ميباشند.
- آلياژهايي كه تا حدود ٦٥٠ درجه سانتيگراد به كار ميروند نظيرTN3MP، 159 MP
- آلياژ مقاوم به سايش B 6 Stellite

آلياژ HAYNES٢٥٢٥ بيشترين كاربرد را در ميان آلياژهاي كارپذير پايه كبالت داشته اشت و در ساخت قطعات گرمكار نظير توربينهاي گازي، اجزاء راكتورهاي هسته اي، ايمپلنت‌هاي جراحي و غيره مورد استفاده قرار گرفتهاند. آلياژهاي گروه پايه كبالت كه شامل كرم- تنگستن- كربن

میباشند معروف به آلیاژهاي Satellite بوده که به شدت مقاوم به سایش میباشند. این گروه معمولاً در مواردي که مقاومت سایشي در درجه حرارت‌هاي بالا مورد نیاز باشد به کار میروند. در واقع سختي این مواد در دماي بالا حفظ شده و در مواقعي که نمیتوان در حین کار روغنکاري انجام داد به خوبي مورد استفاده قرار میگیرند.

بازار سوپرآلیاژها

شاید بتوان گسترش بازار سوپرآلیاژها را در دنیا مربوط به صنایع هوا _ فضا در نظر گرفت که با توجه به رشد روزافزون این صنعت و قطعات یدکي آن در سطح جهان پیش بیني میگردد که تنها بازار قطعات یدکي هواپیماها بالغ بر ٤،٥ میلیارد دلار باشد، بررسیها حاکي از آنست که تا سال ٢٠١٥ تعداد ١٦٠٠٠ فروند هواپیماي جدید با موتورهاي توربین گازي وارد بازار میشوند که نیمي از وزن این موتورها از جنس سوپر آلیاژ خواهد بود. بر اساس آمارهاي تخمیني موجود در ایران، سوپرآلیاژها سالانه به میزان ٨٠ میلیون دلار در سه وزارتخانه نفت، نیرو و دفاع مورد استفاده قرار میگیرند.