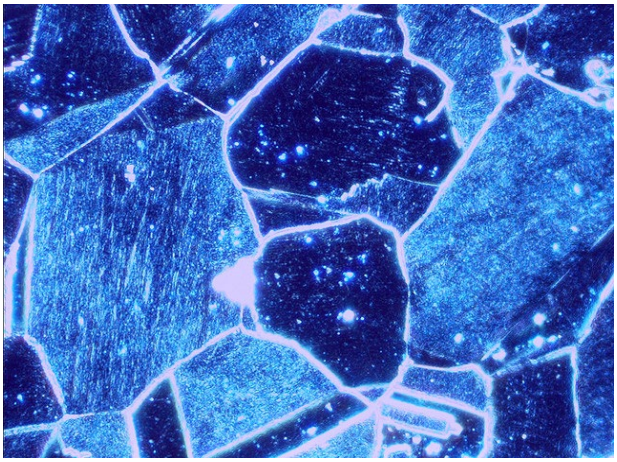
سوپر آلیاژها

سوپرآلیاژها

سوپرآلیاژها گروهی از آلیاژهای توسعه یافته جهت کار در دماهای بالا می باشند. این آلیاژها عمدتا در ساخت موتورهای توربینی هواپیما و توربوسوپرشارژرها مورد استفاده قرار می گیرند. سوپرآلیاژها با عمل‌کرد بالا، دارای استحکام مکانیکی و مقاومت به خزش عالی در دمای بالا، عمر خستگی بالا، پایداری فازی، پایداری سطحی و مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون خوب می باشند و عموما در دماهای بالای $540^{\circ}C$ ($1000^{\circ}F$) مورد استفاده قرار می گیرند.



ریز ساختار اینکونل ۷۱۸

این آلیاژها عموما دارای زمینه ی آستنیتی ساختار مکعب با صفحات مرکزدار (FCC) می باشند. همچنین آلیاژهای این گروه بر پایه عناصر گروه VIIIB جدول تناوبی بوده و معمولا شامل ترکیبات متنوعی از آهن، نیکل، کبالت و کروم و مقادیر کمتری از تنگستن، مولیبدن، تانتالیوم، نیوبیوم، تیتانیوم و آلومینیوم می باشند که بر اساس ترکیب شیمیایی به سه دسته آلیاژهای پایه نیکل، پایه کبالت و پایه آهن تقسیم بندی می شوند.

سوپرآلیاژهای پایه نیکل:

استحکام دهی سوپرآلیاژهای پایه نیکل بصورت محلول جامد و یا بصورت رسوب سختی است. آلیاژهایی که توسط فرایند محلول جامد سخت شده اند نظیر HastelloyX، در کاربردهایی که استحکام نسبتا کمی مد نظر است، و آلیاژهای رسوب سخت شونده در کاربردهایی نظیر مقاطع گرم موتورهای توربین گازی مورد استفاده قرار می گیرند. بیشتر سوپرآلیاژهای پایه نیکل شامل ۱۰-۲۰٪ کروم، بیش از ۸٪ آلومینیوم و تیتانیوم، ۵-۱۰ درصد کبالت و مقادیر کمی بر، زیرکونیوم و کربن هستند. از دیگر افزودنی های متداول به این سوپرآلیاژ عبارتند از مولیبدن، تنگستن، تانتالیوم، هافنیوم و نیوبیوم. عناصر اصلی در سوپرآلیاژهای پایه نیکل بصورت زیر طبقه بندی می شوند:

۱. عناصر تشکیل دهنده فاز گاما (γ) (عناصری که تمایل به تشکیل رسوب با زمینه γ دارند.)
۲. عناصر تشکیل دهنده فاز گاما (γ') (عناصری که با رسوب گاماپریم جدا می شوند.)
۳. عناصر تشکیل دهنده کاربیدها
۴. عناصری که در مرز دانه ها جدایش می یابند.

عناصر تشکیل دهنده فاز گاما عناصر گروه V، VI و VII جدول تناوبی از قبیل کبالت، کروم، مولیبدن، تنگستن و آهن می باشند. قطر اتمی این عناصر ۳ تا ۱۳٪ با عنصر نیکل تفاوت دارد. عناصر تشکیل دهنده فاز گاماپریم (γ') عناصر گروه

III، IV و V از قبیل آلومینیوم، تیتانیوم، نیوبیوم، تانتالیوم و هافنیوم می باشند. قطر اتمی این عناصر ۶ تا ۱۸ درصد با عنصر نیکل تفاوت دارد.

عناصر اصلی تشکیل دهنده کاربیدها عبارتند از کروم، مولیبدن، تنگستن، نیوبیوم، تانتالیوم و تیتانیوم. عناصر اصلی متمایل به جدایش مرزدانه ای عبارتند از بر، کربن و زیرکونیوم که قطر اتمی آنها ۲۱ تا ۲۷ درصد با عنصر نیکل تفاوت دارد.

فازهای عمده موجود در سوپرآلیاژهای پایه نیکل به شرح ذیل می باشند:

- فاز گاما (γ): زمینه پیوسته که گاما نامیده می شود فاز آستنیتی پایه نیکل مکعب با وجوه مرکزدار (FCC) است که معمولا شامل درصد زیادی از عناصرآلیاژی محلول جامد از قبیل کبالت، کروم، مو لیبدن و تنگستن است.
- فاز گاماپریم (γ'): فاز اصلی استحکام دهنده در سوپرآلیاژهای پایه نیکل $Ni3(Al,Ti)$ است که (γ') نامیده می شود، که یک فاز رسوبی کوهرینت (صفحات کریستالی رسوب مطابق صفحات کریستالی زمینه گاما می باشند) با ساختار کریستالی FCC است. پارامتر تطابق شبکه میان رسوب و زمینه بین صفر تا یک درصد و نیز تطابق ترکیب شیمیایی سبب رسوب یکنواخت فاز گاماپریم در سراسر زمینه و پایداری آن در زمینه می شود. فاز گاماپریم کاملا انعطاف پذیر می باشد لذا سبب افزایش استحکام زمینه بدون کاهش تافنس شکست آلیاژ می شود. آلومینیوم و تیتانیوم از عناصر اصلی تشکیل دهنده این فاز هستند. در بیشتر آلیاژهای مدرن جز حجمی رسوب γ' حدود ۷۰ درصد است. عوامل زیادی از قبیل انرژی نقص در شبکه، استحکام، کرنش کوهرینسی، جز حجمی و اندازه رسوب گاماپریم بر میزان استحکام دهی این رسوب موثر است.
- کاربیدها: کربن که در حد ۰/۰۵ تا ۰/۲ درصد حضور دارد با عناصر فعال و دیرگداز از قبیل تیتانیوم، تانتالیوم و هافنیوم واکنش داده و کاربیدهایی از قبیل TiC، TaC، HfC را تشکیل می دهد. در حین عملیات حرارتی و سرویس دهی این کاربیدها تجزیه شده و به کاربیدهای پایین تر از قبیل $M_{23}C_6$ و M_6C تبدیل می شوند که این کاربیدها عمدتا تمایل به تشکیل در مرزدانه ها را دارند. نتایج متفاوتی در مورد مفید و یا مضر بودن کاربیدها در سوپرآلیاژها وجود دارد. اما عمده نظرات بر آنست که در سوپرآلیاژها با مرزدانه، کاربیدها بدلیل افزایش استحکام شکست در دمای بالا مفید هستند.
- فازهای TCPs عموما فازهای ترد و نامطلوبی هستند که ممکن است در حین عملیات حرارتی و یا سرویس دهی ایجاد شوند. این فازها عمدتا بصورت صفحات سوزنی شکل هستند. این ساختار اثر منفی بر روی خواص مکانیکی از قبیل انعطاف پذیری و شکست خزشی دارد.

سوپرآلیاژهای پایه کبالت:

سوپرآلیاژهای پایه کبالت حاوی ۱ تا ۳ درصد وزنی کربن می باشند و توسط محلول جامد و رسوب کاربیدها استحکام دهی می شوند. که بسته به ترکیب آلیاژ و نوع عملیات حرارتی، کاربیدهای M_6C، $M_{23}C_6$ و MC تشکیل می شوند. که حضور آنها همچنین سبب افزایش مقاومت به سایش آلیاژ می شود. مقدار کروم بالا در ترکیب شیمیایی این آلیاژها سبب افزایش مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون در دمای بالا می شود. این آلیاژها به دو دسته کارشده و ریختگی تقسیم می شوند. آلیاژ X-40 از جمله آلیاژهای ریختگی و آلیاژ L605 از جمله آلیاژهای کارشده می باشند.

سوپرآلیاژهای پایه آهن:

سوپرآلیاژهای پایه آهن از فولادهای زنگ نزن آستنیتی نشات می گیرند که دارای زمینه ای با ساختار کریستالی FCC می باشند و استحکام دهی آنها براساس محلول جامد و رسوب دهی انجام می گیرد. زمینه آستنیتی دارای عناصر پایه نیکل و آهن با مقدار حداقل ۲۵٪ نیکل به منظور پایدارسازی فاز FCC است. عناصر دیگر نظیر کروم جهت تشکیل محلول جامد افزوده می گردند. همچنین تشکیل رسوباتی از قبیل (γ') Ni_3Al، (γ) Ni_3Ti و (γ'') Ni_3Nb سبب ایجاد رسوب سختی و افزایش استحکام این آلیاژها می شود. رسوب عناصری همچون بر و زیرکونیوم در مرزدانه ها سبب افزایش قابل ملاحظه ای در عمر گسیختگی خزشی آلیاژ می شوند. اینکونل X750 و اینکلوی ۹۰۱ شامل حداقل ۴۰ درصد وزنی نیکل و عناصر استحکام دهنده به صورت محلول جامد و رسوب سختی از جمله این آلیاژها می باشند. همچنین اینکونل ۷۱۸ که از مستحکم ترین و پرکاربردترین سوپرآلیاژها در دمای پایین است در این گروه قرار می گیرد. این آلیاژ در محدوده دمایی ۶۵۰ تا ۸۱۵ درجه سانتی گراد استحکام خود را از دست می دهد، که این مسئله احتمالا بدلیل رسوب γ'' و عدم انطباق شبکه بالای آن با زمینه آستنیتی است. A286 و V-57 از دیگر آلیاژهای این گروه هستند که شامل ۲۵ تا ۳۵ درصد نیکل بوده که توسط رسوب γ' استحکام دهی می شوند. فاز γ' غنی از تیتانیوم می باشد و بایستی از نسبت بالای تیتانیوم به آلومینیوم جلوگیری نمود زیرا سبب تبدیل ساختار FCC رسوبات γ' به ساختار HCP و رسوبات با ترکیب γ می شوند که استحکام دهی را کاهش می دهند.

کاربردها :

سوپرآلیاژها به دلیل عملکردهای بسیار خوب در شرایط تنش و دماهای بالا در صنایع مختلف مورد استفاده قرار میگیرند . برخی از این صنایع به شرح زیر میباشند :

- توربین های گازی
- توربین های بخار
- تجهیزات سرچاهی نفت
- قالب های ریخته گری و ابزارهای گرمکار
- فضاپیماها
- تجهیزات و کوره های نورد
- مبدل های حرارتی
- تجهیزات عملیات حرارتی

- محفظه ها و سیستم های احتراق
- تجهیزات شیمیایی و پتروشیمی

فرایند ساخت

کارگرم و فورجینگ: بسیاری از سوپرآلیاژهای پایه نیکل با قابلیت پیرسختی می توانند تحت عملیات کارگرم و یا فورجینگ قرار گیرند. محدوده بالایی دمای فورجینگ توسط دمای ذوب، اندازه دانه و غیره و محدوده پایینی این دما توسط انعطاف پذیری و استیفنس ماده تعیین می شود.

عملیات حرارتی: اکثر تجهیزات و فیکسچرهای متداول در عملیات حرارتی آلیاژهای نیکل و فولادهای زنگ نزن آستنیتی برای سوپرآلیاژهای پایه نیکل نیز مناسب می باشند. آلیاژهای پایه نیکل حساسیت بیشتری به سرب و گوگرد نسبت به آلیاژهای پایه آهن دارند. لذا همه مواد از قبیل گریس، روغن، روانکارهای برش، مارک های نوشته شده با رنگ بر روی قطعه بایستی قبل از شروع عملیات حرارتی توسط یک حلال مناسب یا روش های دیگر از روی قطعات زدوده شوند.

قطعاتی که از ورق و یا تسمه های نازک از جنس آلیاژهای پیرسخت شونده از قبیل اینکونل X750 تولید می شوند بایستی در حین ساخت و یا بعد از آن مورد عملیات آنیل قرار گیرند لذا به منظور حفظ عناصر آلیاژی در سطح بهتر است که از اتمسفر محافظ آرگون و یا هیدروژن خشک استفاده نمود. معمولا پس از شکل دهی های شدید و عملیات جوشکاری و قبل از عملیات پیرسازی آلیاژهای پایه نیکل، عملیات تنش زدایی در دمای بالای ۸۹۹ درجه سانتی گراد انجام می گیرد. از آنجاییکه محدوده دمای پیرسازی ۶۴۹ تا ۷۶۰ درجه سانتی گراد است (محدوده دمایی که در آن انعطاف پذیری کم است) سرعت گرم کردن از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا بایستی قبل از آنکه پیرسازی قابل ملاحظه ای اتفاق افتد، تنش زدایی انجام گیرد. که این عمل با وارد کردن قطعه به درون کوره ای با دمای بالاتر و یا در دمای آنیل انجام می گیرد. در مورد ساختارهای جوشکاری شده بزرگ قرار دادن آنها در یک کوره سرد منجر به سرعت گرم شدن غیریکنواخت و آهسته تر آنها نسبت به کوره گرم می شود.

کار سرد: همه آلیاژهای پایه نیکل کارشده موجود بصورت ورق را می توان بصورت شکل های بسیار پیچیده با قابلیت تغییرفرم پلاستیک زیاد شکل دهی نمود. استحکام پایین آلیاژ اینکونل ۶۰۰ و نایمونیک ۷۵ سبب بروز مشکلاتی در شکل دهی آنها می شود. آلیاژها با استحکام بالا و در شرایط آنیل قابلیت تغییرفرم و کارسرد بالایی را دارند.

ماشینکاری: کلیه آلیاژها از محکم ترین تا سخت ترین مواد دارای قابلیت ماشینکاری می باشند. به منظور انجام یک ماشینکاری خوب بایستی کلیه توصیه های تولیدکنندگان، با توجه به شرایط عملیات حرارتی، نوع ابزار، سرعت ماشینکاری و تغذیه، روانکار و غیره مد نظر قرار گیرد.

آلیاژهای کارشده با سختی بالا از قبیل اینکونل ۷۰۰ و آدمیت ۵۰۰، را می توان با فولادهای تندبر از قبیل کبالت تنگستن، کاربید سمانتیت و کبالت تنگستن تانتالوم تحت عملیات ماشینکاری قرار داد. همچنین از فرایند الکتروسایش می توان در مورد سوپرآلیاژهای پیرسخت شده استفاده نمود.

جوشکاری: آلیاژهای اینکونل ۶۰۰، نایمونیک ۷۵ و دیگر آلیاژهای پایه نیکل که توسط محلول جامد استحکام دهی شده

اند را می توان بدون بروز هر گونه مشکل خاصی تحت عملیات جوشـــکاری قرار داد. کلیه فرایندهای جوشـــکاری مقاومتی و ذوبی (بجز جوشـــکاری زیرپودری) را می توان در مورد این آلیاژها مورد اســتفاده قرار داد. در جوشـکاری ســوپرآلیاژهای پیرسخت شده با فاز گاماپریم ($Ni_3(Al,Ti)$) رعایت اصولی از قبیل جوشـکاری ماده در شـرایط آنیل به منظور جلوگیری از ایجاد ترک در ناحیه جوش یا فلز پایه ضروری است. اگر اجزا و قطعات به شـــدت تحت فرایند تغییرفرم قرار گرفته اند بهتر اســـت که قبل از جوشـــکاری، تحت عملیات تنش زدایی قرار گیرند.

ترکیبات اسمی آلیاژهای نیکل و پایه نیکل مقاوم به خوردگی

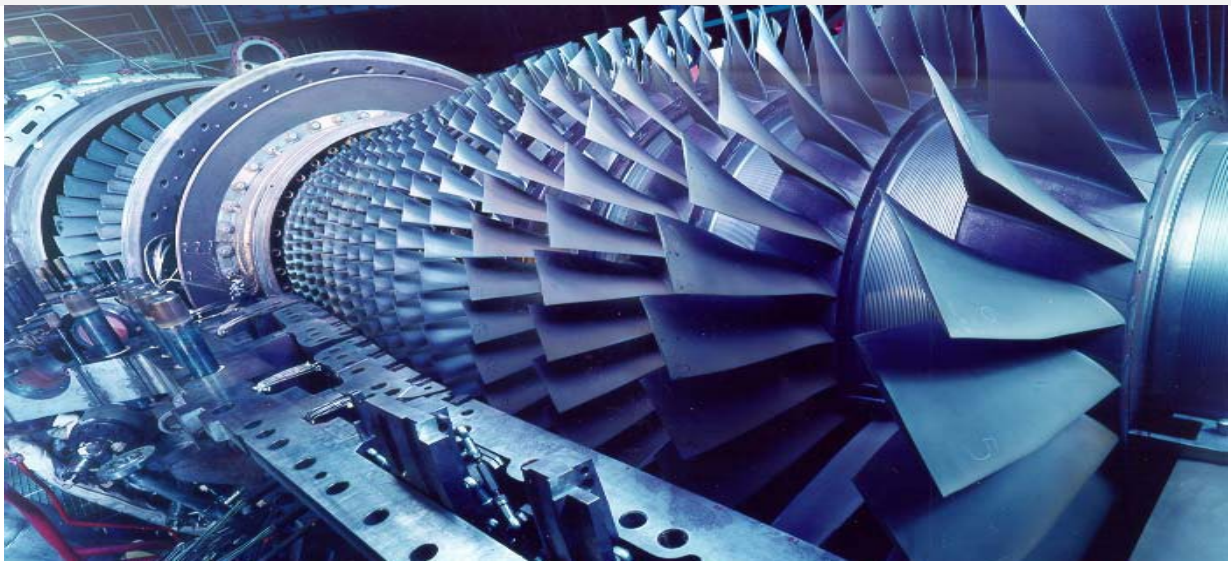
Alloy	UNS No.	Nominal Composition (wt%)							
		Ni	Cu	Fe	Mn	C	Si	S	Other
Commercially pure nickels									
Nickel 200	N02200	99.0(min)	0.25	0.4	0.35	0.15	0.35	0.01	
Nickel 201	N02201	99.0(min)	0.25	0.4	0.35	0.02	0.35	0.01	
Nickel 205	N02205	99.0(min)	0.15	0.2	0.35	0.15	0.15	0.008	0.01–0.08 Mg. 0.01–0.05 Ti
Nickel 212		97.0(min)	0.2	0.25	1.5–2.5	0.1	0.2		0.20 Mg
Nickel 220	N02220	99.0(min)	0.1	0.1	0.2	0.15	0.01–0.05	0.008	0.01–0.08 Mg
Nickel 225	N02225	99.0(min)	0.1	0.1	0.2	0.15	0.15–0.25	0.008	0.01–0.08 Mg. 0.01–0.05 Ti
Nickel 230	N02230	99.0(min)	0.1	0.1	0.15	0.15	0.01–.035	0.008	0.04–0.08 Mg. 0.005 Ti
Nickel 270	N02270	99.97 (min)	0.001	0.005	0.02	0.02	0.001	0.001	0.001 Co. 0.001 Cr. 0.001 Ti
Low-alloy nickels									
Nickel 211	N02211	93.7(min)	0.25	0.75	4.25–5.25	0.2	0.15	0.015	
Duranickel 301	N03301	93.00 (min)	0.25	0.6	0.5	0.3	1	0.01	4.00–4.75 Al. 0.25–1.00 Ti
Alloy 360	N03360	bal							1.85–2.05 Be. 0.4–0.6Ti

ترکیبات اسمی سوپرآلیاژهای پایه نیکل ریختگی

Alloy designation	Nominal composition (wt%)												
	C	Ni	Cr	Co	Mo	Fe	Al	B	Ti	Ta	W	Zr	Other
B-1900	0.1	64	8	10	6		6	0.015	1	4[a]		0.1	
CMSX-2	.	66.2	8	4.6	0.6		56		1	6	8	6	
Hastelloy X	0.1	50	21	1	9	18					1		
Inconel 100	0.18	60.5	10	15	3		5.5	0.01	5			0.06	1V
Inconel 713C	0.12	74	12.5		4.2		6	0.012	0.8	1.75		0.1	0.9Nb
Inconel 713LC	0.05	75	12		4.5		6	0.01	0.6	4		0.1	
Inconel 738	0.17	61.5	16	8.5	1.75		3.4	0.01	3.4		2.6	0.1	2Nb
Inconel 792	0.2	60	13	9	2		3.2	0.02	4.2		4	0.1	2Nb
Inconel 718	0.04	53	19		3	18	0.5		0.9				0.1Cu. 5Nb
X-750	0.04	73	15			7	0.7		2.5				0.25 Cu. 0.9Nb
M-252	0.15	56	20	10	10		1	0.005	2.6				
MAR-M 200	0.15	59	9	10		1	5	0.015	2		12.5	0.05	1Nb[b]
MAR-M 246	0.15	60	9	10	2.5		5.5	0.015	1.5	1.5	10	0.05	
MAR-M 247	0.15	59	8.25	10	0.7	0.5	5.5	0.015	1	3	10	0.05	1.5Hf
PWA 1480	.	bal	10	5			5		1.5	12	4		

René 41	0.09	55	19	11	10		1.5	0.01	3.1				
René 77	0.07	58	15	15	4.2		4.3	0.015	3.3			0.04	
René 80	0.17	60	14	9.5	4		3	0.015	5		4	0.03	
René 80 Hf	0.08	60	14	9.5	4		3	0.015	4.8		4	0.02	0.75 Hf
René 100	0.18	61	9.5	15	3		5.5	0.015	4.2			0.06	1V
René N4	0.06	62	9.8	7.5	1.5		4.2	0.004	3.5	4.8	6		0.5Nb. 0.15 Hf
Udimet 500	0.1	53	18	17	4	2	3		3				
Udimet 700	0.1	53.5	15	18.5	5.25		4.25	0.03	3.5				
Udimet 710	0.13	55	18	15	3		2.5		5		1.5	0.08	
Waspaloy	0.07	57.5	19.5	13.5	4.2	1	1.2	0.005	3			0.09	
WAX-20 (DS)	0.2	72					6.5				20	1.5	

a B-1900 + Hf also contains 1.5% Hf b MAR-M 200 + Hf also contains 1.5% Hf



ترکیب شیمیایی آلیاژهای با درصد نیکل بالا

Designation	UNS	Composition (Wt%)													
		Ni	Cr	Fe	Co	Mo	W	Nb	Ti	Al	C	Mn	Si	B	Others
Nickel-molybdenum alloys															
Hastelloy B	N10001	bal	1.0	6.0	2.5	26-33					0.12	1.0	1.0		0.60 V
Hastelloy B-2	N10665	bal	1.0	2.0	1.0	26-33					0.02	1.0	0.1		
Hastelloy B-3	N10675	65.0	1-3	1- 3	3.0	27-32	3	0.2	0.2	0.5	0.01	3.0	0.1		0.20 Ta
Nicrofer 6629 (B-4)	N10629	bal	0.5 1.5	1-6	2.5	26-30				0.1 0.5	0.01	1.5	0.05		
Nickel-chromium-iron alloys															
Inconel 600	N06600	72min(b)	14-17	6-10							0.15	1.0	0.5		0.5Cu
Inconel 601	N06601	58-63	21-25	bal						1-1.7	0.1	1.0	0.5		1.0Cu
Inconel 690	N06690	58(min)	27-31	7-11							0.05	0.5	0.5		0.50 Cu
Haynes 214	N07214	bal	15.0 17.0	2.0 4.0	2.0	0.5	0.5		0.5	4.0 5.0	0.05	0.5	0.2	0.01	0.05 Zr. 0.002-0.040 Y
Iron-nickel-chromium alloys															
Incoloy 800	N08800	30.0 35.0	19.0 23.0	39.5 (min)					0.15 0.60	0.15 0.60	0.1	1.5	1.0		
Incoloy 800HT	N08811	30.0 35.0	19.0 23.0	39.5 (min)					0.15 0.60	0.15 0.60	0.06 0.10	1.5	1.0		0.895 1.20 Al + Ti
Incoloy 801	N08801	30.0 34.0	19.0 22.0	bal					0.75 1.5		0.1	1.5	1.0		0.5Cu
Incoloy 803	S35045	32.0 37.0	25.0 29.0	37.0 (min)					0.15 0.60	0.15 0.60	0.06 0.10	1.5	1.0		0.75 Cu
Nickel-chromium-molybdenum alloys															
Hastelloy C	N10002	bal	14.5 16.5	4.0 7.0	2.5	15- 17	3.0 4.5				0.08	1.0	1.0		0.35 V
Hastelloy C-4	N06455	bal	14-18	3.0	2.0	14-17			0.7		0.02	1.0	0.1		
Hastelloy C-22	N06022	bal	20.0 22.5	2.0 6.0	2.5	12.5 14.5	2.5 3.5				0.02	0.5	0.08		0.35 V
Hastelloy C-276	N10276	bal	14.5 16.5	4.0 7.0	2.5	15.0 17.0	3.0 4.5				0.02	1.0	0.1		0.35 V
HastelloyC2000	N06200	bal	22-24	3.0	2.0	15-17				0.5	0.01	0.5	0.08		1.3 1.9Cu
Nicrofer 5923 (Alloy 59)	N06059	bal	22.0 24.0	1.5	0.3	15.0 16.5				0.1 0.4	0.01	0.5	0.1		
Inconel 617	N06617	44.5 (min)	20.0 24.0	3.0	10.0 15.0	8.0 10.0			0.6	0.8 1.5	0.05 0.15	1.0	1.0	0.01	0.5Cu
Inconel 625	N06625	58.0 (min)	20.0 23.0	5.0	1.0	8.0 10.0		3.15 4.15	0.4	0.4	0.1	0.5	0.5		
Inconel 686	N06686	bal	19.0 23.0	5.0		15.0 17.0	3.0 4.4		0.02 0.25		0.01	0.75	0.08		
Hastelloy S	N06635	bal	14.5 17.0	3.0	2.0	14.0 16.5	1			0.1 0.50	0.02	0.3 1.0	0.20 0.75	0.02	0.35 Cu. 0.01 0.10 La
Allcorr	N06110	bal	27-33		12.0	8-12	4.0	2.0	1.5	1.5	0.15				
Nickel-chromium-iron-molybdenum alloys															

Incoloy 825	N08825	38-46	19.5 23.5	bal		2.5-3.5			0.6 1.2	0.2	0.05	1.0	0.5		
Hastelloy G	N06007	bal	21.0 23.5	18.0 21.0	2.5	5.5-7.5	1	1.75 2.5			0.05	1.0 2.0	1.0		
Hastelloy G-2	N06975	47.0 52.0	23.0 26.0	bal		5.0-7.0			0.7 1.5		0.03	1.0	1.0		0.7 1.20 Cu
Hastelloy G-3	N06985	bal	21.0 23.5	18.0 21.0	5.0	6.0-8.0	1.5				0.02	1.0	1.0		1.5 2.5Cu. 0.50 Nb + Ta
Hastelloy G-30	N06030	bal	28.0 31.5	13.0 17.0	5.0	4.0-6.0	1.5 4.0	0.3 1.5			0.03	1.5	0.8		1.0 2.4Cu
Hastelloy G-50	N06950	50 min	19-21	15-20	2.5	8-10	1	0.5			0.02	1.0	1.0		0.5Cu
Hastelloy D-205	.	65.0	20.0	6.0		2.5					0.03	.	5		2.0Cu
Hastelloy N	N10003	bal	6-8	5.0	0.2	15-18	0.5				0.01	1.0	1.0	0.01	0.50 V. 0.35 Cu
Hastelloy X	N06002	bal	20.5 23.0	17.0 20.0	0.5 2.5	8.0 10.0	0.20 1.0				0.05 0.15	1.0	1.0		
Nickel-chromium-tungsten, nickel-iron-chromium and nickel-cobalt-chromium-silicon alloys															
Haynes 230	N06230	bal	20.0 24.0	3.0		1-3	13.0 15.0			0.20 0.50	0.05 0.15	0.3 1.0	0.25 0.75	0.02	0.005 0.05 La
Haynes HR-120	N08120	35-39	23-27	bal	3.0	2.5	2.5	0.4 0.9	0.2	0.4	0.02 0.1	1.5	1.0	0.01	0.5Cu
Haynes HR-160	N12160	bal	26.0 30.0	3.5	27.0 33.0	1.0	1.0		0.20 0.80		0.15	1.5	2.4 3.0		
Precipitation-hardening alloys															
Alloy 625 Plus	N07716	57.0 63.0	19.0 22.0	bal		7.0 9.50		2.75 4.0	1.0 1.60	0.35	0.03	0.2	0.2		
Inconel 718	N07718	50.0 55.0	17.0 21.0	bal	1.0	2.80 3.30		4.75 5.50	0.35	0.20 0.80	0.08	0.4	0.4	0.06	0.3Cu
Inconel 725	N07725	55.0 59.0	19.0 22.5	bal		7.0 9.50		2.75 4.0	1.0 1.70	0.35	0.03	0.35	0.5		
Inconel 925	N09925	38.0 46.0	19.5 23.5	22.0 (min)		2.50 3.50		0.5	1.9 2.40	0.10 0.50	0.03	1.0	0.5		1.5 3.0Cu

(a) Single values are maximum unless otherwise indicated (b) Nickel plus cobalt content bal: balance

پره ثابت توربین گازی تولید شده از جنس سوپرآلیاژ به روش ریخته گری دقیق

ترکیبات اسمی سوپرآلیاژهای پایه نیکل و پایه آهن- نیکل کارشده

Designation	UNS	Nominal composition (Wt%)										
		Cr	Ni	Co	Mo	W	Nb	Ti	Al	Fe	C	Other
Solid-solution alloys Iron-nickel-based												
Alloy N-155	R30155	21.0	20.0	20.0	3.0	2.5	1.0			32.2	0.15	0.15 N. 0.2La. 0.02 Zr
Haynes 556	R30556	22.0	21.0	20.0	3.0	2.5	0.1		0.3	29.0	0.1	0.50 Ta. 0.02 La. 0.002 Zr
19-9 DL	S63198	19.0	9.0		1.25	1.25	0.4	0.3		66.8	0.3	1.10 Mn. 0.60 Si

Incoloy 800	N08800	21.0	32.5					0.38	0.38	45.7	0.05	
Incoloy 800H	N08810	21.0	33.0							45.8	0.08	
Incoloy 800HT	N08811	21.0	32.5					0.4	0.4	46.0	0.08	0.8Mn. 0.5Si. 0.4Cu
Incoloy 801	N08801	20.5	32.0					1.13		46.3	0.05	
Incoloy 802		21.0	32.5					0.75	0.58	44.8	0.35	
Nickel-based												
Haynes 214		16.0	76.5						4.5	3.0	0.03	
Haynes 230	N06230	22.0	55.0	5.0max	2.0	14			0.35	3max	0.1	0.015 (max) B. 0.02 La
Inconel 600	N06600	15.5	76.0							8.0	0.08	0.25 Cu
Inconel 601	N06601	23.0	60.5						1.35	14.1	0.05	0.5Cu
Inconel 617	N06617	22.0	55.0	12.5	9.0				1.0		0.07	
Inconel 625	N06625	21.5	61.0		9.0		3.6	0.2	0.2	2.5	0.05	
Hastelloy B	N01001	1max	63.0	2.5max	28.0					5.0	0.05max	0.03 V
Hastelloy N	N01003	7.0	72.0		16.0			0.5max		5.max	0.06	
Hastelloy S	N06635	15.5	67.0		15.5				0.2	1.0	0.02max	0.02 La
Hastelloy W	N10004	5.0	61.0	2.5max	24.5					5.5	0.12max	0.6V
Hastelloy X	N06002	22.0	49.0	1.5max	9.0	0.6			2	15.8	0.15	
Hastelloy C-276	N10276	15.5	59.0		16.0	3.7				5.0	0.02max	
Haynes HR-120	N08120	25.0	37.0	3.0	2.5	2.5	0.7		0.1	33.0	0.05	0.7Mn. 0.6Si. 0.2N. 0.004 B
Haynes HR-160	N12160	28.0	37.0	29.0						2.0	0.05	2.75 Si. 0.5Mn
Nimonic 75	N06075	19.5	75.0					0.4	0.15	2.5	0.12	0.25 (max) Cu
Nimonic 86	.	25.0	65.0		10.0						0.05	0.03 Ce. 0.015 Mg
Precipitation-hardening alloys	**Iron-nickel-based**											
A-286	S66286	15.0	26.0		1.25			2.0	0.2	55.2	0.04	0.005 B. 0.3V
Discaloy	S66220	14.0	26.0		3.0			1.7	0.25	55.0	0.06	
Incoloy 903	N19903	0.1max	38.0	15.0	0.1		3.0	1.4	0.7	41.0	0.04	
Incoloy 907	N19907		38.4	13.0			4.7	1.5	0.03	42.0	0.01	0.15 Si
Incoloy 909	N19909		38.0	13.0			4.7	1.5	0.03	42.0	0.01	0.4Si
Incoloy 925	N09925	20.5	44.0		2.8			2.1	0.2	29.0	0.01	1.8Cu
V-57		14.8	27.0		1.3			3	0.25	48.6	0.08max	0.01 B. 0.5(max) V
W-545	S66545	13.5	26.0		1.5			2.85	0.2	55.8	0.08max	0.05 B
Nickel-based												
Haynes 242		8.0	62.5	2.5max	25.0				0.5max	2max	0.10max	0.006 (max) B
Haynes 263	N07263	20.0	52.0		6.0			2.4	0.6	0.7	0.06	0.6Mn. 0.4Si. 0.2Cu
Haynes R-41	N07041	19.0	52.0	11.0	10.0			3.1	1.5	5.0	0.09	0.5Si. 0.1Mn. 0.006 B
Inconel 100	N13100	10.0	60.0	15.0	3.0			4.7	5.5	<0.6	0.15	1.0V. 0.06 Zr. 0.015 B
Inconel 102	N06102	15.0	67.0		2.9	3	2.9	0.5	0.5	7.0	0.06	0.005 B. 0.02 Mg. 0.03 Zr
Incoloy 901	N09901	12.5	42.5		6.0			2.7		36.2	0.1max	
Inconel 702	N07702	15.5	79.5					0.6	3.2	1.0	0.05	0.5Mn. 0.2Cu. 0.4Si
Inconel 706	N09706	16.0	41.5					1.75	0.2	37.5	0.03	2.9 (Nb + Ta). 0.15(max)Cu
Inconel 718	N07718	19.0	52.5		3.0		5.1	0.9	0.5	18.5	0.08max	0.15 (max) Cu
Inconel 721	N07721	16.0	71.0					3.0		6.5	0.04	2.2Mn. 0.1Cu
Inconel 722	N07722	15.5	75.0					2.4	0.7	7.0	0.04	0.5Mn. 0.2Cu. 0.4Si
Inconel 725	N07725	21.0	57.0		8.0		3.5	1.5	0.35max	9.0	.03max	
Inconel 751	N07751	15.5	72.5				1.0	2.3	1.2	7.0	0.05	0.25 (max) Cu
Inconel X-750	N07750	15.5	73.0				1.0	2.5	0.7	7.0	0.04	0.25 (max) Cu
M-252	N07252	19.0	56.5	10.0	10.0			2.6	1	<0.75	0.15	0.005 B
Nimonic 80A	N07080	19.5	73.0	1.0				2.25	1.4	1.5	0.05	0.10 (max) Cu
Nimonic 90	N07090	19.5	55.5	18.0				2.4	1.4	1.5	0.06	
Nimonic 95		19.5	53.5	18.0				2.9	2.0	5max	0.15max	+B. +Zr
Nimonic 100		11.0	56.0	20.0	5.0			1.5	5	2max	0.3max	+B. +Zr
Nimonic 105		15.0	54.0	20.0	5.0			1.2	4.7		0.08	0.005 B
Nimonic 115		15.0	55.0	15.0	4.0			4	5	1.0	0.2	0.04 Zr
C-263	N07263	20.0	51.0	20.0	5.9			2.1	0.45	0.7	0.0	
Pyromet 860		13.0	44.0	4.0	6.0			3	1	28.9	0.05	0.01 B
Pyromet 31	N07031	22.7	55.5		2.0		1.1	2.5	1.5	14.5	0.04	0.005 B
Refractaloy 26		18.0	38.0	20.0	3.2			2.6	0.2	16.0	0.03	0.015 B
René 41	N07041	19.0	55.0	11.0	10			3.1	1.5	<0.3	0.09	0.01 B
René 95		14.0	61.0	8.0	3.5	3.5	3.5	2.5	3.5	<0.3	0.16	0.01 B. 0.05 Zr
René 100		9.5	61.0	15.0	3.0			4.2	5.5	1max	0.16	0.015 B. 0.06 Zr. 1.0V
Udimet 500	N07500	19.0	48.0	19.0	4.0			3	3	4max	0.08	0.005 B
Udimet 520		19.0	57.0	12.0	6.0	1.0		3.0	2.0		0.08	0.005 B
Udimet 630		17.0	50.0		3.0	3	6.5	1	0.7	18.0	0.04	0.004 B
Udimet 700		15.0	53.0	18.5	5.0			3.4	4.3	<1.0	0.07	0.03 B
Udimet 710		18.0	55.0	14.8	3.0	1.5		5	2.5		0.07	0.01 B
Unitemp AF2-1DA	N07012	12.0	59.0	10.0	3.0	6.0		3.0	4.6	<0.5	0.35	1.5Ta. 0.015 B. 0.1Zr
Waspaloy	N07001	19.5	57.0	13.5	4.3			3	1.4	2max	0.07	0.006 B. 0.09 Zr

اثر دما بر روی استحکام کشش نهایی سوپرآلیاژهای پایه نیکل کارشده

Alloy	Form	Ultimate tensile strength (MPa) at					Condition of test material [a]
		21 °C	540 °C	650 °C	760°C	870°C	
Nickel-based							
Astroloy	Bar	1415	1240	1310	1160	775	1095°C/4 h/OQ+870°C/8 h/AC+980°C/4 h/AC+650°C/24 h/AC+760°C/8 h/AC
Cabot 214	.	915	715	675	560	440	1120°C
D-979	Bar	1410	1295	1105	720	345	1040°C/1 h/OQ + 845°C/6 h/AC + 705°C/16 h/AC
Hastelloy C-22	Sheet	800	625	585	525		1120°C/RQ
Hastelloy G-30	Sheet	690	490				1175°C/RAC-WQ
Hastelloy S	Bar	845	775	720	575	340	1065°C/AC
Hastelloy X	Sheet	785	650	570	435	255	1175°C/RAC
Haynes230	.	870	720	675	575	385	1230°C/AC
Inconel 587b	Bar	1180	1035	1005	830	525	
Inconel 597b	Bar	1220	1140	1060	930		
Inconel 600	Bar	660	560	450	260	140	1120°C/2 h/AC

Inconel 601	Sheet	740	725	525	290	160	1150°C/2 h/AC
Inconel 617	Bar	740	580	565	440	275	1175°C/AC
Inconel 617	Sheet	770	590	590	470	310	1175°C/0,2h/AC
Inconel 625	Bar	965	910	835	550	275	1150°C/1 h/WQ
Inconel 706	Bar	1310	1145	1035	725		980°C/1 h/AC+845°C/3 h/AC+720°C/8 h/FC+620°C/8 h/AC
Inconel 718	Bar	1435	1275	1228	950	340	980°C/1 h/AC+720°C/8 h/FC+620°C/18 h/AC
Inconel 718 Direct Age	Bar	1530	1350	1235			735 °C/8 h/SC+620°C/8 h/AC
Inconel 718 Super	Bar	1530	1200	1130			925°C/1 h/AC+735°C/8 h/SC+620°C/8 h/AC
Inconel X750	Bar	1200	1050	940			1150°C/2 h/AC+845°C/24 h/AC+705°C/20 h/AC
M-252	Bar	1240	1230	1160	945	510	1040°C/4 h/AC+760°C/16 h/AC
Nimonic 75	Bar	745	675	540	310	150	1050°C/1 h/AC
Nimonic 80A	Bar	1000	875	795	600	310	1080°C/8 h/AC+705°C/16 h/AC
Nimonic 90	Bar	1235	1075	940	655	330	1080°C/8 h/AC+705°C/16 h/AC
Nimonic 105	Bar	1180	1130	1095	930	660	1150°C/4 h/AC+1060°C/16 h/AC+850°C/16 h/AC
Nimonic 115	Bar	1240	1090	1125	1085	830	1190°C/1.5h/AC+1100°C/6 h/AC
Nimonic 263	Sheet	970	800	770	650	280	1150°C/0.2h/WQ+800°C/8 h/AC
Nimonic 942	Bar	1405	1300	1240	900		
Nimonic PE.11	Bar	1080	1000	940	760		
Nimonic PE.16	Bar	885	740	660	510	215	1040°C/4 h/AC+800°C/2 h/AC+1100-1115°C/0.25 h/AC+ 850°C/4 h/AC
Nimonic PK.33	Sheet	1180	1000	1000	885	510	1100-1115°C/0.25 h/AC+ 850°C /4 h/AC
Pyromet 860	Bar	1295	1255	1110	910		1095 °C/2 h/WQ + 830 °C/2 h/AC + 760 °C /24 h/AC
Rene 41	Bar	1420	1400	1340	1105	620	1065 °C /4 h/AC + 760 °C /16 h/AC
Rene 95	Bar	1620	1550	1460	1170		900 °C/24 h + 1105 °C/1 h/OQ + 730 °C/64 h/AC
Udimet 400	Bar	1310	1185				
Udimet 500	Bar	1310	1240	1215	1040	640	1080 °C/4 h/AC + 845 °C/24 h/AC + 760 °C/16 h/AC
Udimet 520	Bar	1310	1240	1175	725	515	1105 °C/4 h/AC + 845 °C/24 h/AC+ 760 °C/16 h/AC
Udimet 630	Bar	1520	1380	1275	965		
Udimet 700	Bar	1410	1275	1240	1035	690	1175°C/4 h/AC+1080°C/4 h/AC+845°C/24 h/AC+760°C/16 h/AC
Udimet 710	Bar	1185	1150	1290	1020	705	1175°C/4 h/AC+1080°C/4 h/AC+845°C/24 h/AC+760°C/16 h/AC
Udimet 720	Bar	1570		1455	1455	1150	1115°C/2 h/AC+1080°C/4 h/OQ+650°C/24 h/AC+760°C/8 h/AC
Unitemp AF2-1DA6	Bar	1560	1480	1400	1290		1150°C/4 h/AC+760°C/16 h/AC
Waspaloy		1275	1170	1115	650	275	1080°C/4 h/AC+845°C/24 h/AC+760°C/16 h/AC
Iron- based							
A-286	Bar	1005	905	720	440		980°C/1 h/OQ+720°C/16 h/AC
Alloy 901	Bar	1205	1030	960	725		1095°C/2 h/WQ+790°C/2 h/AC+720°C/24 h/AC
Discaloy	Bar	1000	865	720	485		1010°C/2 h/OQ +730°C/20 h/AC+650°C/20 h/AC
Haynes 556	Sheet	815	645	590	470	330	1175°C/AC
Incoloy 800	Bar	595	510	405	235		

[a] OQ, oil quench; AC, air cool; RQ, rapid quench; RAC-WQ, rapid air cool-water quench; FC, furnace cool; SC, slow cool; CW, cold worked
[d] Annealed
[e] Precipitation hardened
[h] Work strengthened and aged
i At 700 °C(1290 °F)
j At 900 °C (1650 °F)

اثر دما بر روی خواص مکانیکی سوپرآلیاژهای پایه نیکل کارشده

Alloy	Form	Yield strength at 0,2% offset at (MPa)					Tensile elongation (%) at				
		21 °C	540 °C	650 °C	760 °C	870 °C	20 °C	540 °C	650 °C	760 °C	870 °C
Nickel-based											
Astroloy	Bar	1050	965	965	910	690	16	16	18	21	25
Cabot 214		560	510	505	495	310	38	19	14	9	11
D-979	Bar	1005	925	980	655	305	15	15	21	17	18
Hastelloy C-22	sheet	405	275	250	240		57	61	65	63	
Hastelloy G-30	sheet	315	170				64	75			
Hastelloy S	Bar	455	340	320	310	220	49	50	56	70	47
Hastelloy X	sheet	360	290	275	260	180	43	45	37	37	50
Haynes 230	Bar	390	275	270	285	225	48	56	55	46	59
Inconel 587	Bar	705	620	615	605	400	28	22	21	20	16
Inconel 597	Bar	760	720	675	665		15	15	15	16	
Inconel 600	Bar	285	220	205	180	40	45	41	49	70	80
Inconel 601	sheet	455	350	310	220	55	40	34	33	78	128
Inconel 617	Bar	295	200	170	180	195	70	68	75	84	118
Inconel 617	Sheet	345	230	220	230	205	55	62	61	59	73
Inconel 625	Bar	490	415	420	415	275	50	50	34	45	125
Inconel 706	Bar	1005	910	860	660		20	19	24	32	

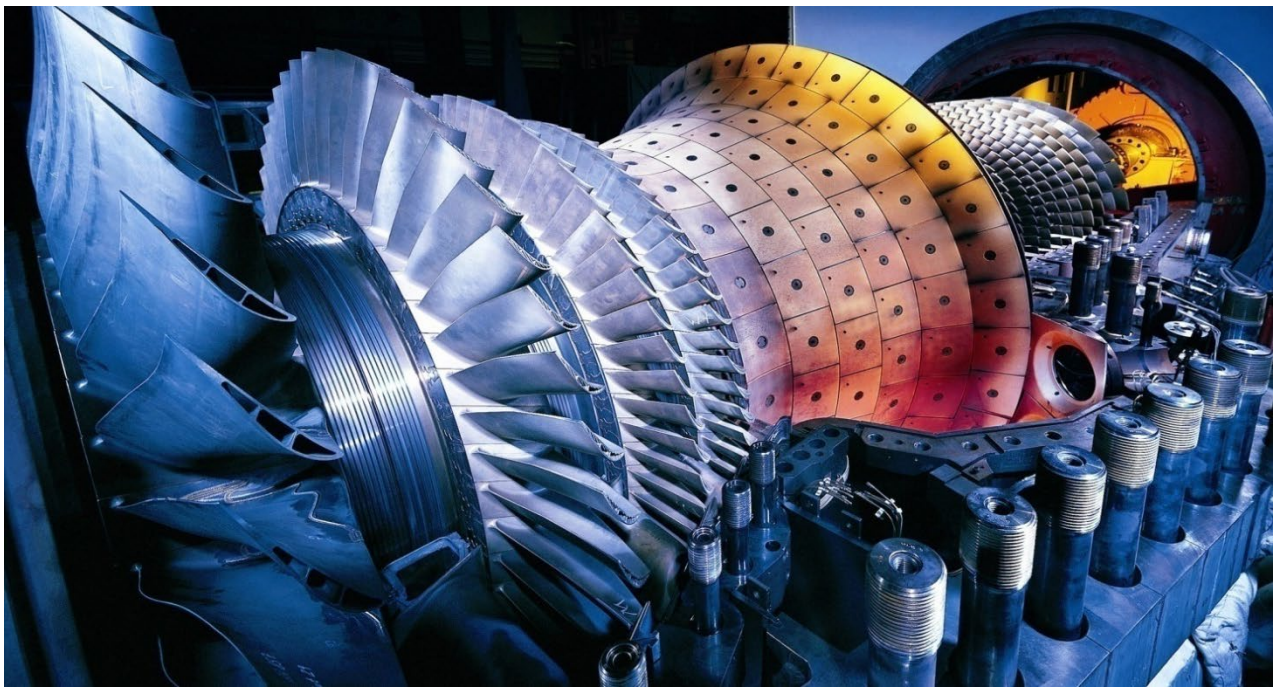
Inconel 718	Bar	1185	1065	1020	740	330	21	18	19	25	88
Inconel 718 Direct Age	Bar	1365	1180	1090			16	15	23		
Inconel 718 Super	Bar	1105	1020	960			16	18	14		
Inconel X750	Bar	815	725	710			27	26	10		
M-252	Bar	840	765	745	720	485	16	15	11	10	18
Nimonic 75	Bar	285	200	200	160	90	40	40	46	67	68
Nimonic 80A	Bar	620	530	550	505	260	39	37	21	17	30
Nimonic 90	Bar	810	725	685	540	260	33	28	14	12	23
Nimonic 105	Bar	830	775	765	740	490	16	22	24	25	27
Nimonic 115	Bar	865	795	815	800	550	27	18	23	24	16
Nimonic 263	heet	580	485	485	460	180	39	42	27	21	25
Nimonic 942	Bar	1060	970	1000	860						
Nimonic PE.11	Bar	720	690	670	560						
Nimonic PE.16	Bar	530	485	485	370	140	37	26	30	42	80
Nimonic 860	heet	780	725	725	670	420	30	30	26	18	24
Pyromet 860	Bar	835	840	850	835		22	15	17	18	
René 41	Bar	1060	1020	1000	940	550	14	14	14	11	19
René 95	Bar	1310	1255	1220	1100		15	12	14	15	
Udimet 400	Bar	930	830				30	26			
Udimet 500	Bar	840	795	760	730	495	32	28	28	39	20
Udimet 520	Bar	860	825	795	725	520	21	20	17	15	20
Udimet 630	Bar	1310	1170	1105	860		15	15	7	5	
Udimet 700	Bar	965	895	855	825	635	17	16	16	20	27
Udimet 710	Bar	910	850	860	815	635	7	10	15	25	29
Udimet 720	Bar	1195		1130	1050		13		17	9	
Unitemp AF2-1DA6	Bar	1015	1040	1020	995		20	19	18	16	
Waspaloy	Bar	795	725	690	675	520	25	23	34	28	35
Iron-Based											
A-286	Bar	725	605	605	430		25	19	13	19	
Alloy 901	Bar	895	780	760	635		14	14	13	19	
Discaloy	Bar	730	650	630	430		19	16	19		
Haynes 556	Sheet	410	240	225	220	195	48	54	52	49	53
Incoloy 800	Bar	250	180	180	150		44	38	51	83	
Incoloy 801	Bar	385	310	305	290		30	28	26	55	
Incoloy 802	Bar	290	195	200	200	150	44	39	25	15	38
Incoloy 807	Bar	380	255	240	225	185	48	40	35	34	71
Incoloy 825		310	≈234	≈220	180	≈105	45	≈44	≈35	≈86	≈100
Incoloy 903	Bar	1105		895			14				
Incoloy 907		≈1110	≈960	≈895	≈565		≈12	≈11	≈10	≈20	
Incoloy 909	Bar	1020	945	870	540		16	14	24	34	
N-155	Bar	400	340	295	250	175	40	33	32	32	33
V-57	Bar	830	760	745	485		26	19	22	34	
19-9 DL		570	395	360			43	30	30		
16-25-6		770		517	345	255	23		12	11	9

[a] Cold-rolled and solution-annealed sheet, 1,2 to1,6 mm thick

ترکیب شیمیایی سوپرآلیاژهای پایه کبالت

Alloy	UNS No	Nominal composition (wt%)									
		Co	Cr	W	Mo	C	Fe	Ni	Si	Mn	Others
Cast, P/M and weld overlay wear-resistant alloys											
Stellite 1	R30001	bal	30	13	0.5	2.5	3	1.5	1.3	0.5	
Stellite 3(P/M)	R30103	bal	30.5	12.5		2.4	5(Max)	3.5(Max)	2(Max)	2(Max)	1 B (Max)
Stellite 4	R30404	bal	30	14	1(Max)	0.57	3(Max)	3(Max)	2(Max)	1(Max)	
Stellite 6	R30006	bal	29	4.5	1.5 (Max)	1.2	3(Max)	3(Max)	1.5(Max)	1(Max)	
Stellite 6(P/M)	R30106	bal	28.5	4.5	1.5(Max)	1	5(Max)	3(Max)	2(Max)	2(Max)	1 B (Max)
Stellite 12	R30012	bal	30	8.3		1.4	3(Min)	1.5	0.7	2.5	
Stellite 21	R30021	bal	27		5.5	0.25	3(Max)	2.75	1(Max)	1(Max)	0.007 B (Max)
Stellite 98M2 (P/M)		bal	30	18.5	0.8(Max)	2	5(Max)	3.5	1(Max)	1(Max)	4.2 V, 1 B(Max)
Stellite 703		bal	32		12	2.4	3(Max)	3(Max)	1.5(Max)	1.5(Max)	
Stellite 706		bal	29		5	1.2	3(Max)	3(Max)	1.5(Max)	1.5(Max)	
Stellite 712		bal	29		8.5	2	3(Max)	3(Max)	1.5(Max)	1.5(Max)	
Stellite 720		bal	33		18	2.5	3(Max)	3(Max)	1.5(Max)	1.5(Max)	0.3 B
Stellite F	R30002	bal	25	12.3	1(Max)	1.75	3(Max)	22	2(Max)	1(Max)	
Stellite Star J (P/M)	R30102	bal	32.5	17.5		2.5	3(Max)	2.5(Max)	2(Max)	2(Max)	1B (Max)
Stellite Star J	R31001	bal	32.5	17.5		2.5	3(Max)	2.5(Max)	2(Max)	2(Max)	
Tantung G		bal	29.5	16.5		3	3.5	7(Max)		2(Max)	4.5 Ta/Nb
Tantung 144		bal	27.5	18.5		3	3.5	7(Max)			5.5 Ta/Nb
Laves-phase wear-resistant alloys											
Tribaloy T_400	R30400	bal	9		29				2.5		
Tribaloy T_800		bal	18		29				3.5		
Wrought wear-resistant alloys											
Stellite 6B	R30016	bal	30	4	1.5(Max)	1	3(Max)	2.5	0.7	1.4	

Stellite 6K	_	bal	30	4.5	1.5(Max)	1.6	3(Max)	3(Max)	2(Max)	2(Max)	
Haynes 25 (L605)	R30605	bal	20	15		0.1	3(Max)	10	0.4(Max)	1.5	
Haynes 188	R30188	bal	22	14		0.1	3(Max)	22	0.35	1.25	0.03 La
Inconel 783	R30783	bal	3			0.03(max)	25.5	28	0.5(max)	0.5(max)	5.5Al,3 Nb,3.4 Ti(max)
UMCo_50	_	bal	28			0.0(max)	21	_	0.75	0.75	_
S-816	R30816	40(min)	20	4	4	0.37	5 (max)	20	1 (max)	1.5	4 Nb
Corrosion-resistant alloys											
Ultimet(1233)	R31233	bal	26	2	5	0.06	3	9	0.3	0.8	0.08 N
MP 159	R30159	bal	19		7		9	25.5			3 Ti,0.6Nb,0.2 Al
MP35N	R30035	35	20		10			35			
Duratherm 600	R30600	41.5	12	3.9	4	0.05(max)	8.7	bal	0.4	0.75	2 Ti,0.7Al,0.05 Be
Elgiloy	R30003	40	20		7	0.15(max)	bal	15.5		2	1 Be(max)
Havar	R30004	42.5	20	2.8	8	0.15(max)	bal	16.5		3	2 Be(max)



ترکیب شیمیایی آلیاژهای پایه کبالت مقاوم حرارتی

Alloy	Nominal composition (wt%)												
	C	Ni	Cr	Co	Mo	Fe	Al	B	Ti	Ta	W	Zr	Other
AiResist 13	0.45		21	62			3.4			2	11		0.1Y
AiResist 213	0.2	0.5	20	64		0.5	3.5			6.5	4.5	0.1	0.1Y
AiResist 215	0.35	0.5	19	63		0.5	4.3			7.5	4.5	0.1	0.1Y
FSX_414	0.25	10	29	52.5		1		0.01			7.5		
Haynes 25 (L-605)	0.1	10	20	54		1					15		
J_1650	0.2	27	19	36				0.02	3.8	2	12		
MAR_M 302	0.85		21.5	58		0.5		0.005		9	10	0.2	
MAR_M 322	1		21.5	60.5		0.5			0.75	4.5	9	2	
MAR_M 509	0.6		21.5	54.5					0.2	3.5	7.5	0.5	
NASA (Co_W_Re)	0.4		3	67.5					1		25	1	2Re
S_816	0.4	20	20	42		4					4		4 Mo,4 Nb,1.2Mn,0.4 Si
V_36	0.27	20	25	42		3					2		4 Mo,2 Nb,1Mn,0.4 Si
WI_52	0.45		21	63.5		2					11		2Nb+Ta
Stellite 23	0.4	2	24	65.5		1					5		0.3Mn,0.6Si
Stellite 27	0.4	32	25	35	5.5	1							0.3Mn,0.6Si
Stellite 30	0.45	15	26	50.5	6	1					_		0.6Mn,0.6Si
Stellite 31 (X-40)	0.5	10	22	57.5		1.5					7.5		0.5Mn,0.5Si

آلیاژهای پایه کبالت مقاوم به خوردگی

Alloy trade name	UNS No.	Nominal Composition (wt%)									
		Co	Cr	W	Mo	C	Fe	Ni	Si	Mn	Others
Ultimet (1233)	R31233	bal	26	2	5	0.06	3	9	0.3	0.8	0.08 N
MP 159	R30159	bal	19		7		9	25.5			3Ti, 0.6Nb, 0.2Al
MP35N	R30035	35	20		10			35			
Duratherm 600	R30600	41.5	12	3.9	4	0.05 (max)	8.7	bal	0.4	0.75	2Ti, 0.7Al, 0.05 Be
Elgiloy	R30003	40	20		7	0.15 (max)	bal	15.5		2	1Be(max)
Havar	R30004	42.5	20	2.8	2.4	0.2	bal	13		1.6	0.06 Be (max)

خواص آلیاژهای سختی – سطح پایه کبالت

Property		Stellite 21	Stellite 6	Stellite 12	Stellite 1	Tribaloy T-800
Density, g cm^{-3} (lb in^{-3})		8.3 (0.30)	8.3 (0.30)	8.6 (0.31)	8.6 (0.31)	8.6 (0.31)
Ultimate compressive strength, MPa (ksi)		1295 (188)	1515 (220)	1765 (256)	1930 (280)	1780 (258)
Ultimate tensile strength, MPa (ksi)		710 (103)	834 (121)	827 (120)	620 (90)	690 (100)
Elongation, %		8	1.2	1	1	<1
Coefficient of thermal expansion, $^{\circ}C^{-1}$		14.8×10^{-6}	15.7×10^{-6}	14×10^{-6}	13.1×10^{-6}	12.3×10^{-6}
Hot hardness, HV,at:						
	445 °C	150	300	345	510	659
	540 °C	145	275	325	465	622
	650 °C	135	260	285	390	490
	760 °C	115	185	245	230	308
Unlubricated sliding wear [a],mm^3 ($in3\times10^{-3}$)at:						
	670 N (150 lbf)	5.2 (0.32)	2.6 (0.16)	2.4 (0.15)	0.6 (0.04)	1.7 (0.11)
	1330 N (300 lbf)	14.5 (0.90)	18.8 (1.17)	18.4 (1.14)	0.8 (0.05)	2.1 (0.13)
Abrasive wear [b],mm^3 ($in^3\times10^{-3}$)						
	OAW		29 (1.80)	12 (0.75)	8 (0.50)	
	GTAW	86 (5.33)	64 (3.97)	57 (3.53)	52 (3.22)	24 (1.49)
Unnotched Charpy impact strength, J (ft × lbf)		37 (27)	23 (17)	5(4)	5(4)	1.4 (1)
Corrosion resistance [c]:						
65% nitric acid at 65 °C (150 °F)		U	U	U	U	S
5% sulfuric acid at 65 °C (150 °F)		E	E	E	E	
50% phosphoric acid at 400 °C (750 °F)		E	E	E	E	E

[a] Wear measured from tests conducted on Dow-Corning LFW-1 against 4620 steel ring at 80 rev/min for 2000 rev varying the applied load

[b] Wear measured from dry sand rubber wheel abrasion tests. Tested for 2000 rev at a load of 135N (30 lbf) using a 230mm (9 in) diam rubber wheel and American Foundry men's Society test sand. OAW, oxyacetylene welding; GTAW, gas-tungsten arc welding

[c] E, less than 0.05mm/yr (2 mils/year); S, 0.5 to less than 1.25mm/yr (over 20 to less than 50mils/year); U, more than 1.25 mm/year (50 mils/year)