

HAYNES® 230® 合金

主な特徴

優れた高温強度、熱安定性、および耐環境性

HAYNES® 230® (UNS N06230)合金は、優れた高温強度、2100 °F (1149 °C) 以下の高温に長期間曝される環境下での卓越した耐酸化性、窒化環境に対する最良の耐性、ならびに優れた長期間の熱安定性を併せ持つニッケル-クロム-タングステン-モリブデン合金です。この合金は容易に加工および成形することができ、鋳造することもできます。その他の注目すべき特徴としては、ほとんどの耐熱合金よりも低熱膨張特性で、高温に長時間曝された場合の結晶粒の粗大化に対して著しい耐性があることです。

容易な加工

HAYNES® 230®合金は、優れた成形性と溶接性を有しています。部材全体が 2150 °F (1177 °C) になるのに十分な時間、この温度を保持できるのであれば、鍛造あるいは熱間加工することができます。延性が良好であることから、230®合金は冷間加工で容易に成形することもできます。熱間あるいは冷間加工した部品は全て、特性の最適バランスを復活させるためにアニールし、急冷しなければなりません。この合金は、ガスタングステンアーク溶接(GTAW)、ガスメタルアーク溶接(GMAW)、および抵抗溶接など、様々な方法で溶接することができます。

熱処理

230®鍛造合金は、特に指示がない限り、溶体化処理した状態で提供されます。この合金は、特性を最適化するために 2150~2275 °F (1177~1246 °C) の範囲で溶体化処理され、急冷あるいは水冷されます。

溶体化処理温度よりも低い温度でのアニールは230®合金に若干の炭化物を析出させ、合金の強度と延性にわずかな影響を及ぼす可能性があります。

鋳造

HAYNES® 230®合金は、従来の大気溶解砂型鋳造法あるいは真空溶解インベストメント鋳造法により鋳造することができます。湯流れを良くするために、シリコン含有量を規格範囲の最大値に設定することをお勧めします。鋳物は要求される特性によって、鋳放し、あるいは溶体化処理した状態で使用することができます。

主な特徴(続き)

用途

HAYNES® 230®合金が併せ持つ特性は、この合金を、航空宇宙および発電産業における広く多様な部品用途に適した理想的な合金にしています。この合金は、燃焼器内筒、尾筒、火炎保持器、熱電対の被覆、および他の重要なガスタービン部品に使用されます。化学プロセス産業においては、230®合金はアンモニアバーナにおける格子状触媒支持具、高強度の熱電対保護管、高温熱交換器、ダクト、高温用ベローズ、および様々な他の重要なプロセス内部部品に使用されます。

工業用加熱産業においては、230®合金は炉のレトルト、鎖および固定具、バーナー火炎のシュラウド、再生器の内部部品、ダンパー、窒化炉の内部部品、熱処理用のカゴ、格子、トレー、スパージャー管、熱電対保護管、サイクロン内部部品、およびその他多くの部品に使用されます。

標準化学組成

重量 %

ニッケル:Ni	57 Balance
クロム:Cr	22
タングステン:W	14
モリブデン:Mo	2
鉄:Fe	3 max.
コバルト:Co	5 max.
マンガン:Mn	0.5
ケイ素:Si	0.4
ニオブ:Nb	0.5 max.
アルミニウム:Al	0.3
チタン:Ti	0.1 max.
炭素:C	0.1
ランタン:La	0.02
ホウ素:B	0.015 max.

クリープおよびラプチャー特性

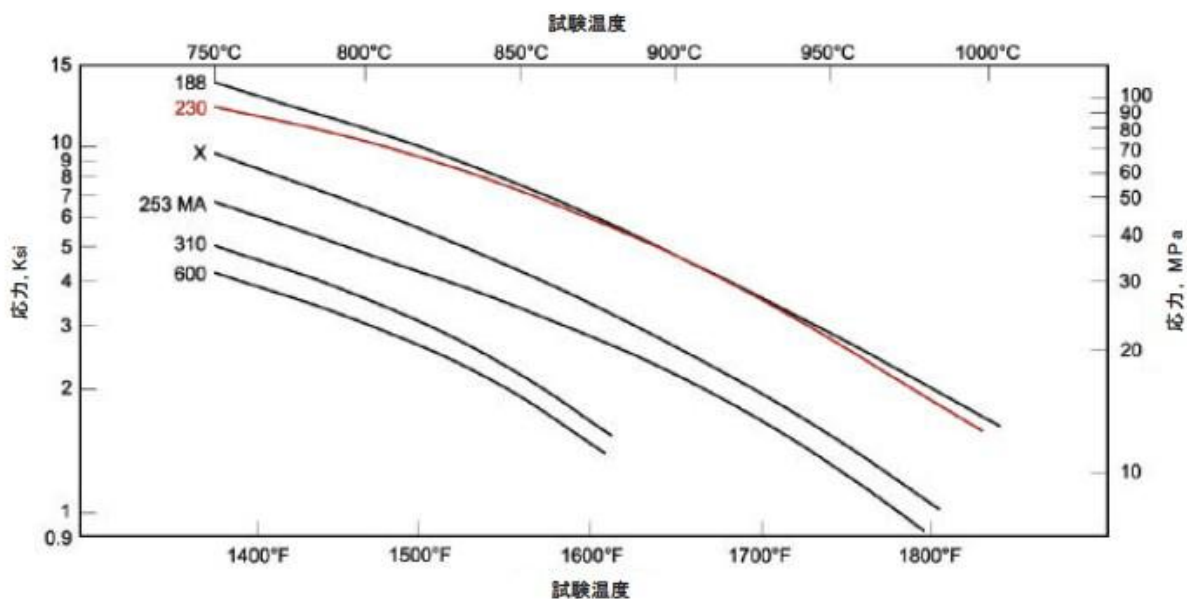
HAYNES® 230®は、優れた高温強度と室温での良好な加工性を併せ持つ固溶強化型の材料です。この合金は、1200 °F (649 °C)あるいはそれ以上の温度で非常に長期間使用される用途に対して特に有効で、温度条件によってはステンレス鋼やニッケル合金の100倍も長持ちします。長持ちさせる代わりに、230®合金のより高い強度により、耐荷重能力を失うことなく、強度に劣る合金よりも75%も薄い厚さで設計することができます。

一定の試験条件における種々の合金のストレスラプチャー寿命(棒および厚板)*

合金	破断するまでの時間(hr)		
	1400 °F (760 °C)	1600 °F (871 °C)	1800 °F (982 °C)
-	15.0 ksi (103 MPa)	4.1 ksi (31 Mpa)	2.0 ksi (14 Mpa)
230®	8,200	65,000	5,000
625	19,000	14,000	2,400
X	900	5,000	2,100
800H	130	1,200	920
INCONEL® 601	50	1,200	1,000
253 MA®	140	900	720
600	15	280	580
316 SS	100	240	130
RA330®	30	230	130
304 SS	10	100	72

*ラーソンミラーパラメータより推定

1000時間で1%のクリープを生じる応力の比較(薄板)



クリープおよびラプチャー特性(続き)

溶体化処理した 230®薄板

試験温度		クリープ	下記時間で所定のクリープを生じるおおよその初期応力:							
			10 Hours		100 Hours		1,000 Hours		10,000 Hours	
°F	°C	%	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa
1200	649	0.5	-	-	31	214	-	-	-	-
		1	-	-	35	241	24*	165*	-	-
		R	-	-	51	352	36	248	28	193
1300†	704	0.5	29	200	21	145	14.5	100	-	-
		1	33	228	23	159	17	114	-	-
		R	47	324	34	234	26	179	20	134
1400	760	0.5	19.2	132	13.7	94	9.6	66	7.3	50
		1	21	145	15.5	107	11.5	79	8.6	59
		R	32	221	24.5	169	18.2	125	13.2*	91*
1500	816	0.5	14.2	98	10.3	71	7.5	52	5.4*	37*
		1	15	103	11.2	77	8.6	59	6.5*	45*
		R	23*	161*	17.5	121	12.5	86	8.4*	58*
1600	871	0.5	11.3	78	8.1	56	5.7	39	4.0	28
		1	11.7	81	9.0	62	6.2	43	4.3	30
		R	17.0	117	12.5	86	8.2	57	5.6*	39*
1700	927	0.5	7.7	53	5.5	38	3.8	26	2.4*	17*
		1	8.8*	61*	6.2	43	4.2	29	2.7*	19*
		R	12.0*	83*	8.0	55	5.1	35	3.2	22
1800	982	0.5	7.0	48	3.6	25	1.8	12	0.85	5.9
		1	8.0	55	4.1	28	2.0	14	1.0	6.9
		R	10.0	69	5.4	37	2.6	18	1.2*	8.3*
1900	1038	0.5	-	-	1.7	12	0.8	5.5	-	-
		1	-	-	2.0	14	0.9	6.2	-	-
		R	-	-	3.0*	21*	1.5	10	-	-
2000	1093	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
		1	-	-	0.9	6.2	-	-	-	-
		R	-	-	-	-	-	-	-	-

*データを著しく外挿して得た値

クリープおよびラプチャー特性(続き)

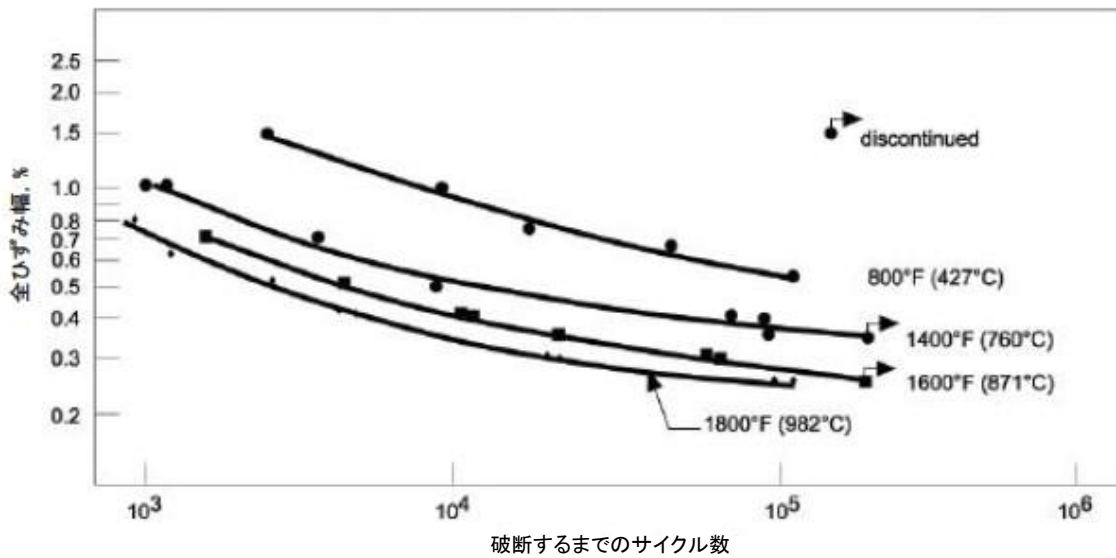
溶体化処理した 230® 厚板

温度		クリープ	下記時間で所定のクリープを生じるおおよその初期応力:							
			10 Hours		100 Hours		1,000 Hours		10,000 Hours	
°F	°C	%	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa
1200	649	0.5	-	-	35	241	23	159	-	-
		1	-	-	39	269	26.5	183	17.5	121
		R	75	517	56	386	41	283	29	200
1300	704	0.5	35	241	21.5	148	14.5	100	-	-
		1	39	269	24.5	169	18	124	12.3*	85*
		R	59	407	42	290	30	207	21	145
1400	760	0.5	19	131	13.5	93	10.0	69	-	-
		1	23	159	15.9	110	11.5	79	9.0*	62*
		R	37	255	27	186	20	138	14.2	98
1500	816	0.5	14.0	97	10.4	72	8.2	57	6.1	42
		1	16.5	114	12.5	86	9.5	66	6.9	48
		R	26	179	20	138	14.0	97	9.8	68
1600	871	0.5	10.3	71	7.6	52	5.6	39	4.0	28
		1	11.7	81	9.0	62	6.2	43	4.3	30
		R	20	138	13.7	94	9.5	66	6.2	43
1700	927	0.5	7.8	54	5.7	39	3.9	27	2.5	17
		1	8.8	61	6.8	47	4.5	31	2.7	19
		R	15.0	103	10.0	69	6.0	41	3.6	25
1800	982	0.5	5.8	40	3.5	24	1.8	12	0.90	6.2
		1	6.3	43	4.0	28	2.1	14	1.1	7.6
		R	9.4	65	6.0	41	3.2	22	1.7	12
1900	1038	0.5	4.0	28	2.0	14	0.90	6.2	-	-
		1	4.4	30	2.2	15	1.0	6.9	0.50*	3.4*
		R	7.0	48	3.7	26	1.8	12	1.0	6.9
2000	1093	0.5	1.9	13	0.80	5.5	0.35	2.4	-	-
		1	2.3	16	1.0	6.9	0.47	3.2	0.20*	1.4*
		R	4.2	29	2.1	14	1.0	6.9	0.55	3.8
2100	1149	0.5	0.80	5.5	0.03*	2.1*	-	-	-	-
		1	1.0	6.9	0.43	3.0	-	-	-	-
		R	2.3	16	1.2	8.3	0.60	4.1	-	-

*データを著しく外挿して得た値

低サイクル疲労

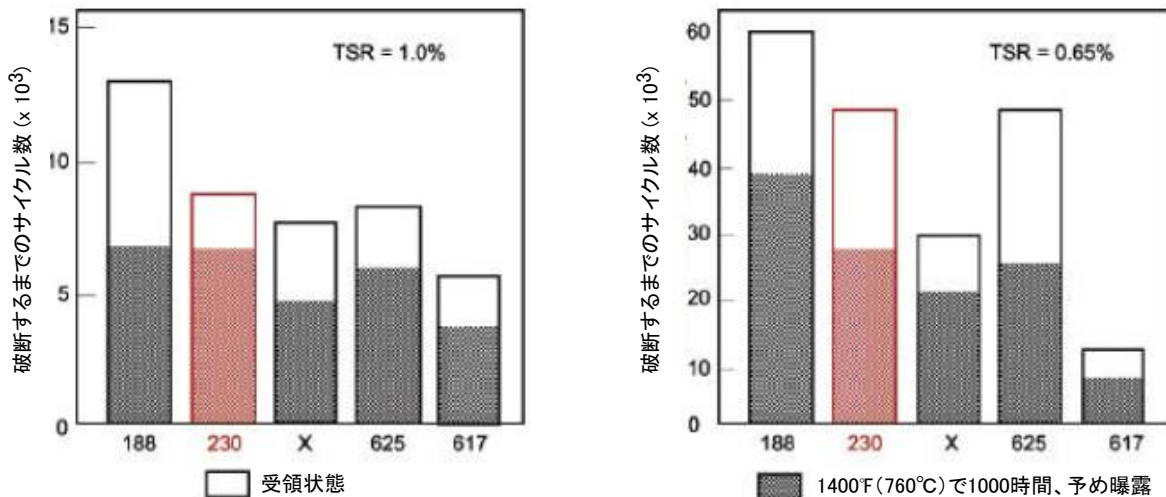
HAYNES® 230®合金は、高温で優れた低サイクル疲労特性を示します。下に示すのは、800 ~ 1800°F (427 ~ 982°C)の温度範囲で行われたひずみ制御試験の結果です。試料は厚板を機械加工したものです。試験は周波数が20 cpm (0.33 Hz)の条件で、完全両振りひずみ(R= -1)で実施しました。



低サイクル疲労特性の比較

下のグラフは、受領状態、および予め 1400 °F(760 °C)で1000時間曝露した状態の合金数種類を、800 °F (427 °C)で試験した場合の低サイクル疲労寿命の比較です。試料は厚板あるいは棒を機械加工したもので、曝露試料は曝露後に機械加工しました。この試験も完全両振りひずみ (R=-1)で、周波数は20 cpm (0.33 Hz)の条件で実施しました。TSR=全ひずみ幅

800 °F (427 °C) における種々の合金の LCF 寿命



軸方向 LCF 試験結果のまとめ (R = -1, f = 0.33 Hz)

温度		全ひずみ範囲: $\Delta\epsilon_{tot}$ %	Ni, き裂発生サイクル数	Nf, 破断サイクル数
°F	°C	-	-	-
800	427	1.50	2,230	2,398
		1.00	8,480	8,742
		0.80	14,918	16,575
		0.65	45,127	46,523
		0.55	103,910	115,456

低サイクル疲労(続き)

軸方向 LCF 試験結果のまとめ (R = -1, f = 0.33 Hz)

温度		全ひずみ範囲: $\Delta\epsilon_{tot}$ %	Ni, き裂発生サイクル数	Nf, 破断サイクル数
°F	°C			
1000	538	-	-	-
		1.50	1,329	1,540
		1.25	1,974	2,368
		1.00	3,330	4,413
		0.80	7,864	8,734
		0.70	8,423	9,876
		0.60	38,696	40,604
		0.56	73,014	74,132
		0.53	--	200,005*
1200	649	1.25	1,022	1,257
		1.00	1,852	2,254
		0.80	3,431	4,248
		0.60	8,962	11,058
		0.50	82,275	85,563
		0.45	--	200,002*
		0.40	--	200,005*
1400	760	0.80	1896	2218
		0.40	20,519	21,564
		0.40	43,915	45,279
		0.30	--	203,327*
1400	760	1.00	870	1,097
		1.00	827	990
		0.70	3,166	3,622
		0.50	8,153	8,490
		0.40	51,285	57,819
		0.40	68,451	75,470
		0.38	95,165	96,844
		0.37	91,879	97,612
		0.35	--	202,920*
		0.30	--	150,000*
1600	871	0.70	1,279	1,504
		0.50	3,939	4,299
		0.50	3,176	3,473
		0.40	9,712	10,837
		0.40	9,296	10,781
		0.35	19,179	20,964
		0.31	61,898	63,253
		0.30	65,691	66,926
		0.25	--	200,770*
1800	982	0.60	818	1,218
		0.50	1,506	2,582
		0.40	3,520	4,223
		0.40	3,070	4,784
		0.30	19,810	21,311
		0.30	13,904	19,200
		0.25	105,140	106,020
		0.25	116,960	119,890

*計測時間オーバー

引張特性

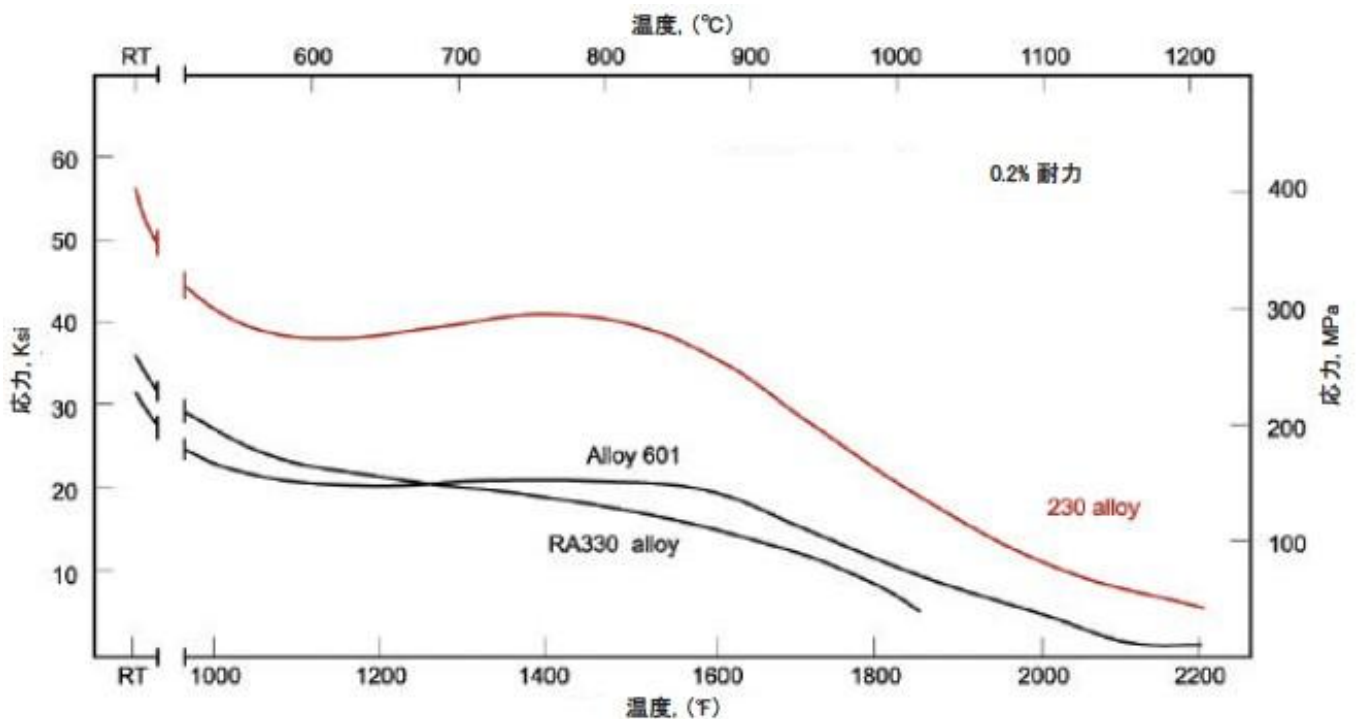
230® 薄板の引張特性

試験温度		試験温度		極限引張強さ		伸び
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%
70	21	60.4	417	121.4	837	47.3
1000	538	42.6	294	100.1	690	51.7
1200	649	42.2	291	96.6	666	56.9
1400	760	45.1	311	78.0	538	59.5
1600	871	34.2	236	44.6	308	74.2
1800	982	17.8	123	24.5	169	54.1
2000	1093	10.0	69	13.1	90	37.0

230® 厚板の引張特性

試験温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%
70	21	55.5	383	123.6	852	46.0
1000	538	38.1	263	102.5	706	53.2
1200	649	38.7	267	98.2	677	53.0
1400	760	37.7	260	77.2	533	68.0
1600	871	33.9	234	45.1	311	94.0
1800	982	16.8	116	24.3	168	91.2
2000	1093	9.1	63	13.2	91	92.1

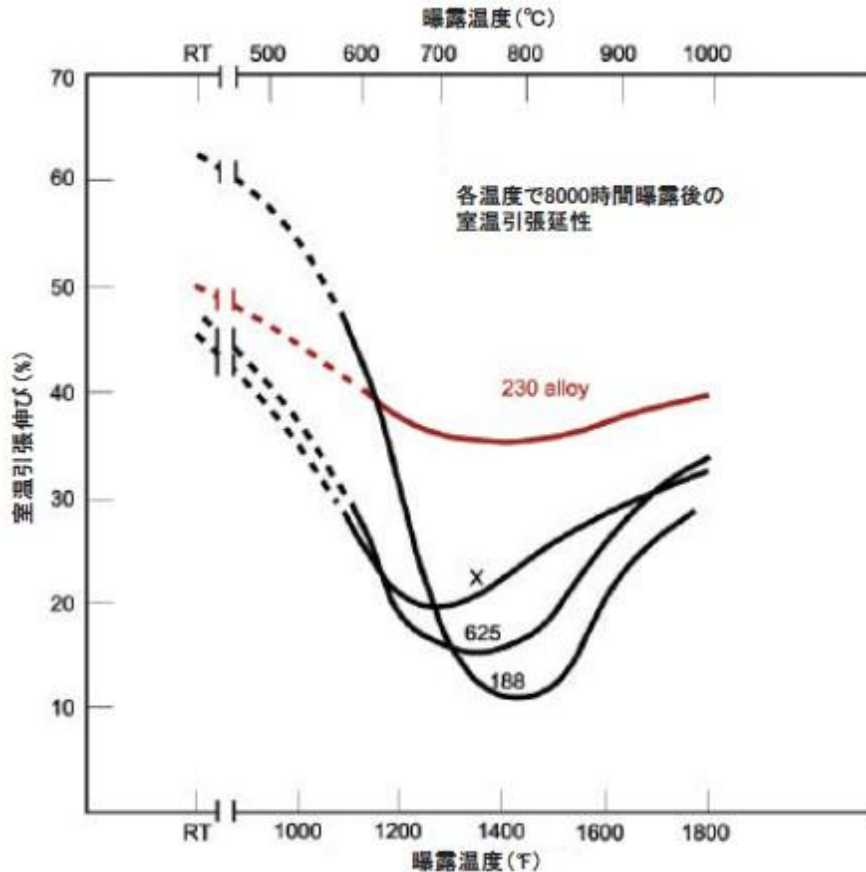
降伏強度の比較(厚板)



熱安定性

HAYNES® 230® 合金は、中間温度で長期間曝露された後でも優れた延性を保持しています。この合金は、1200~1600 °F(649~871°C)の温度に16,000時間曝された後であっても、 σ 相、 μ 相、あるいは他の有害な相を形成しません。固溶体から析出する主要な相は全て炭化物です。

これは、HAYNES® 188合金、HAYNES® 625合金、および HASTELLOY® X合金のような他の多くの固溶強化型合金とは著しく対照的です。これらの合金は全て有害な相を析出し、引張延性と衝撃強度を低下させます。



熱安定性(続き)

熱曝露後の室温特性

条件	0.2% 耐力	極限引張強さ	伸び	絞り	衝撃強さ
	ksi	ksi	%	%	ft-lb
MA	58.4	123.1	50	47.2	54
+ 1200/8,000 hr	57.9	128.0	36.4	39	31.4
+ 1200/20,000 hr	57.6	128.4	34.8	37	28.9
+ 1200/30,000 hr	59.4	129.9	34	38.3	-
+ 1200/50,000 hr	61.2	131.7	33.9	36.9	25.8
+1400/8,000 hr	59.2	129.7	32	34.3	18.7
+1400/20,000 hr	55	126.9	31.2	31.6	18.8
+1400/30,000 hr	54.3	126.9	31.3	33.9	-
+1400/50,000 hr	55.2	127.7	32.2	32.5	20.7
+ 1600/8,000 hr	54.3	122.7	36.2	34.6	21.6
+ 1600/20,000 hr	50.1	121.6	34.4	31.1	19.5
+ 1600/30,000 hr	49.6	120.0	32.1	28.6	-
+ 1600/50,000 hr	50.4	116.7	25.2*	20.2	14.8

*BIGM; AGL 伸び、小さくなる傾向がある;その他は 4D 伸び。

特定温度に8000時間曝露された後の 残留室温延性

曝露温度	230®	188	625	X
	室温引張伸び	室温引張伸び	室温引張伸び	室温引張伸び
°F(°C)	%	%	%	%
1200(649)	36.4	29.1	18	19
1400(760)	32	10.8	13	19
1600(871)	36.2	22.2	26	30

耐結晶粒粗大化特性

HAYNES® 230® 合金は、高温における結晶粒の粗大化に対して優れた耐性を示します。その一次炭化物が非常に安定であることにより、230® 合金は 2200°F (1204°C) の高温に24時間曝しても結晶粒が著しく粗大化することはありません。HAYNES® 188 合金あるいは HASTELLOY® X 合金のような材料は、このような条件下では、ほとんどの鉄基、ニッケル基、あるいはコバルト基合金やステンレス鋼のように、より大きな結晶粒の粗大化を呈示します。

曝露時間	下記温度で様々な時間曝露された合金の結晶粒サイズ* (ASTM 結晶粒度)					
	2150° F(1177° C)			2200° F (1204° C)		
h	230®		188		X	
0	4-4 1/2	4-4 1/2	4-5	4-5	3 1/2	3 1/2
1	4-5	4-4 1/2	2-5	2-4	3 1/2	0-1
4	4-4 1/2	4-4 1/2	3 1/2	3	3 1/2	0-1
24	4	4-4 1/2	0-2	1-3	0-4	0-1 1/2

*厚板製品

物理的特性

物理特性	英国单位		メートル単位	
密度	RT	0.324 lb/in ³	RT	8.97 g/cm ³
溶融温度	2400-2570°F	-	1316-1410°C	-
電気抵抗	RT	49.2 μohm-in	RT	125.0 μohm-m
	200°F	49.5 μohm-in	100°C	125.8 μohm-m
	400°F	49.8 μohm-in	200°C	126.5 μohm-m
	600°F	50.2 μohm-in	300°C	127.3 μohm-m
	800°F	50.7 μohm-in	400°C	128.4 μohm-m
	1000°F	51.5 μohm-in	500°C	130.2 μohm-m
	1200°F	51.6 μohm-in	600°C	131.2 μohm-m
	1400°F	51.1 μohm-in	700°C	130.7 μohm-m
	1600°F	50.3 μohm-in	800°C	129.1 μohm-m
	1800°F	49.3 μohm-in	900°C	127.1 μohm-m
	-	-	1000°C	125.0 μohm-m
温度拡散率	RT	3.8 x 10 ⁻³ in ² /sec	RT	24.2 x 10 ⁻³ cm ² /s
	200°F	4.1 x 10 ⁻³ in ² /sec	100°C	26.8 x 10 ⁻³ cm ² /s
	400°F	4.7 x 10 ⁻³ in ² /sec	200°C	29.9 x 10 ⁻³ cm ² /s
	600°F	5.2 x 10 ⁻³ in ² /sec	300°C	32.9 x 10 ⁻³ cm ² /s
	800°F	5.6 x 10 ⁻³ in ² /sec	400°C	35.7 x 10 ⁻³ cm ² /s
	1000°F	6.1 x 10 ⁻³ in ² /sec	500°C	38.5 x 10 ⁻³ cm ² /s
	1200°F	6.5 x 10 ⁻³ in ² /sec	600°C	41.9 x 10 ⁻³ cm ² /s
	1400°F	6.7 x 10 ⁻³ in ² /sec	700°C	43.0 x 10 ⁻³ cm ² /s
	1600°F	6.7 x 10 ⁻³ in ² /sec	800°C	43.2 x 10 ⁻³ cm ² /s
	1800°F	7.3 x 10 ⁻³ in ² /sec	900°C	44.4 x 10 ⁻³ cm ² /s
	-	-	1000°C	48.2 x 10 ⁻³ cm ² /s
熱伝導率	RT	62 Btu-in/ft ² -hr-°F	RT	8.9 W/m-°C
	200°F	71 Btu-in/ft ² -hr-°F	100°C	10.4 W/m-°C
	400°F	87 Btu-in/ft ² -hr-°F	200°C	12.4 W/m-°C
	600°F	102 Btu-in/ft ² -hr-°F	300°C	14.4 W/m-°C
	800°F	118 Btu-in/ft ² -hr-°F	400°C	16.4 W/m-°C
	1000°F	133 Btu-in/ft ² -hr-°F	500°C	18.4 W/m-°C
	1200°F	148 Btu-in/ft ² -hr-°F	600°C	20.4 W/m-°C
	1400°F	164 Btu-in/ft ² -hr-°F	700°C	22.4 W/m-°C
	1600°F	179 Btu-in/ft ² -hr-°F	800°C	24.4 W/m-°C
	1800°F	95 Btu-in/ft ² -hr-°F	900°C	26.4 W/m-°C
	-	-	1000°C	28.4 W/m-°C

RT= 室温

物理的特性(続き)

物理的特性	英国単位		メートル単位	
比熱	RT	0.095 Btu/lb-°F	RT	397 J/kg·°C
	200°F	0.099 Btu/lb-°F	100°C	419 J/kg·°C
	400°F	0.104 Btu/lb-°F	200°C	435 J/kg·°C
	600°F	0.108 Btu/lb-°F	300°C	448 J/kg·°C
	800°F	0.112 Btu/lb-°F	400°C	465 J/kg·°C
	1000°F	0.112 Btu/lb-°F	500°C	473 J/kg·°C
	1200°F	0.134 Btu/lb-°F	600°C	486 J/kg·°C
	1400°F	0.140 Btu/lb-°F	700°C	574 J/kg·°C
	1600°F	0.145 Btu/lb-°F	800°C	5595 J/kg·°C
	1800°F	0.147 Btu/lb-°F	900°C	609 J/kg·°C
	-	-	1000°C	617 J/kg·°C
平均熱膨張係数	70-200°F	6.5 μin/in -°F	25-100°C	11.8 x 10 ⁻⁶ m/m·°C
	70-400°F	6.9 μin/in -°F	25-200°C	12.4 x 10 ⁻⁶ m/m·°C
	70-600°F	7.2 μin/in -°F	25-300°C	12.8 x 10 ⁻⁶ m/m·°C
	70-800°F	7.4 μin/in -°F	25-400°C	13.2 x 10 ⁻⁶ m/m·°C
	70-1000°F	7.6 μin/in -°F	25-500°C	13.6 x 10 ⁻⁶ m/m·°C
	70-1200°F	8.0 μin/in -°F	25-600°C	14.1 x 10 ⁻⁶ m/m·°C
	70-1400°F	8.3 μin/in -°F	25-700°C	14.7 x 10 ⁻⁶ m/m·°C
	70-1600°F	8.6 μin/in -°F	25-800°C	15.2 x 10 ⁻⁶ m/m·°C
	70-1800°F	8.9 μin/in -°F	25-900°C	15.7 x 10 ⁻⁶ m/m·°C
	-	-	25-1000°C	16.1 x 10 ⁻⁶ m/m·°C
動弾性係数	RT	30.3 x 10 ⁶ psi	RT	209 GPa
	200°F	30.1 x 10 ⁶ psi	100°C	207 GPa
	400°F	29.0 x 10 ⁶ psi	200°C	216 GPa
	600°F	27.8 x 10 ⁶ psi	300°C	193 GPa
	800°F	26.8 x 10 ⁶ psi	400°C	223 GPa
	1000°F	25.9 x 10 ⁶ psi	500°C	179 GPa
	1200°F	24.9 x 10 ⁶ psi	600°C	230 GPa
	1400°F	23.6 x 10 ⁶ psi	700°C	164 GPa
	1600°F	22.2 x 10 ⁶ psi	800°C	236GPa
	1800°F	20.7 x 10 ⁶ psi	900°C	150 GPa
	2000°F	19.1 x 10 ⁶ psi	1000°C	243 GPa

RT= 室温

物理的特性(続き)

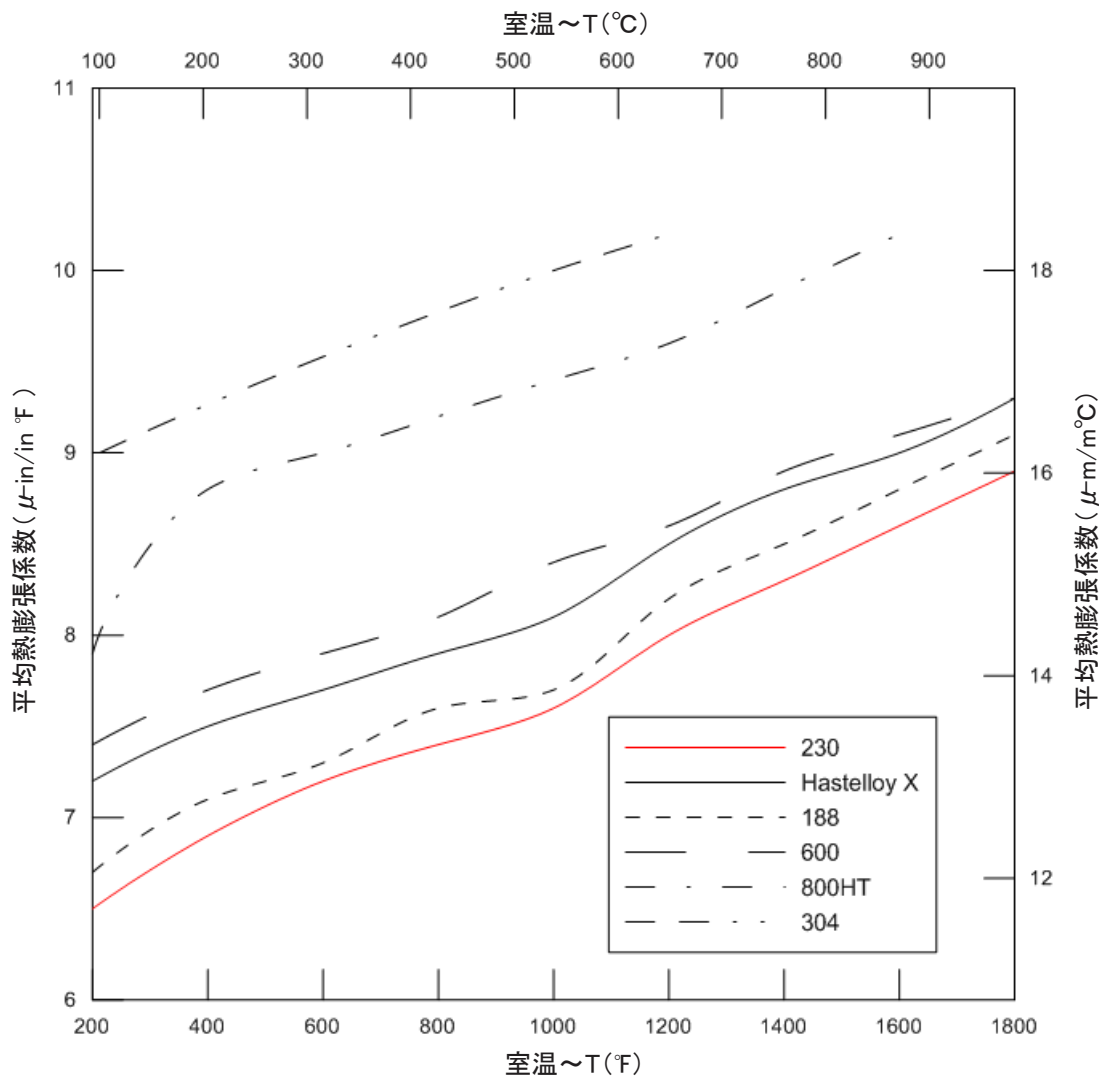
物理的特性	英国単位		メートル単位	
	動せん断弾性係数	RT	11.5 x 10 ⁶ psi	RT
200°F		11.4 x 10 ⁶ psi	100°C	79 GPa
400°F		11.0 x 10 ⁶ psi	200°C	76 GPa
600°F		10.5 x 10 ⁶ psi	300°C	73 GPa
800°F		10.1 x 10 ⁶ psi	400°C	70 GPa
1000°F		9.7 x 10 ⁶ psi	500°C	67 GPa
1200°F		9.3 x 10 ⁶ psi	600°C	64 GPa
1400°F		8.8 x 10 ⁶ psi	700°C	61 GPa
1600°F		8.2 x 10 ⁶ psi	800°C	57 GPa
1800°F		7.6 x 10 ⁶ psi	900°C	52 GPa
2000°F		7.0 x 10 ⁶ psi	1000°C	48 GPa
ポアソン比	RT	0.31	RT	0.31
	200°F	0.31	100°C	0.31
	400°F	0.32	200°C	0.32
	600°F	0.32	300°C	0.32
	800°F	0.33	400°C	0.33
	1000°F	0.33	500°C	0.33
	1200°F	0.34	600°C	0.34
	1400°F	0.34	700°C	0.34
	1600°F	0.35	800°C	0.34
	1800°F	0.36	900°C	0.35

RT= 室温

物理的特性(続き)

熱膨張特性

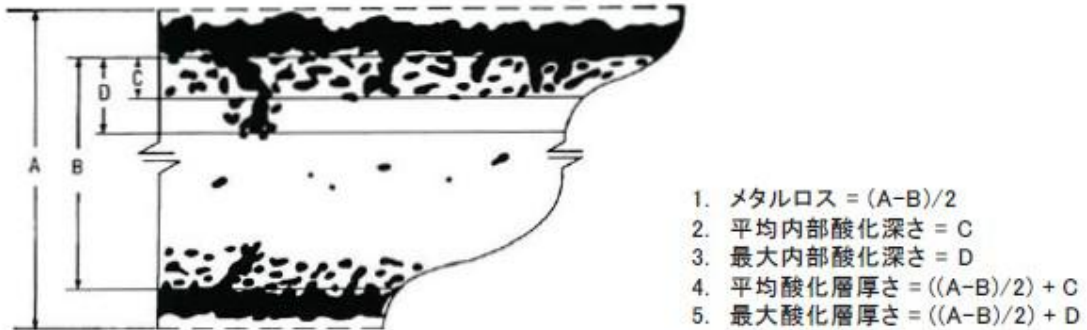
HAYNES® 230® 合金は、ほとんどの高強度超合金、鉄-ニッケル-クロム合金、およびオーステナイト系ステンレス鋼と比べて、比較的低い熱膨張特性を持っています。これにより、重要部品の寸法および隙間を厳密に制御できるだけでなく、複雑な要素を組み立てた部品の運転中の熱応力を軽減できます。



耐酸化性

HAYNES® 230® 合金は、空気および燃焼ガスの酸化雰囲気に対して優れた耐性を示し、2100°F (1149°C)以下の温度に長期間連続的に曝して使用することができます。短時間の曝露であれば、230® 合金は更に高い温度で使用することができます。

酸化試験の評価に使用した金属組織学的手法の模式図



動的酸化試験結果の比較

合金	1600°F (871°C), 2000 h, 30-min cycles				1800°F (982°C), 1000 h, 30-min cycles				2000°F (1093°C), 500 h, 30-min cycles				2100°F (1149°C), 200 h, 30-min cycles			
	メタルロス		平均酸化層厚さ		メタルロス		平均酸化層厚さ		メタルロス		平均酸化層厚さ		メタルロス		平均酸化層厚さ	
	mils	µm	mils	µm	mils	µm	mils	µm	mils	µm	mils	µm	mils	µm	mils	µm
188	1.1	28	2.9	74	1.1	28	3.2	81	10.9	277	13.1	333	8	203	9.7	246
230®	0.9	23	3.9	99	2.8	71	5.6	142	7.1	180	9.9	251	6.4	163	13.1	333
617	2	51	7.8	198	2.4	61	5.7	145	13.3	338	20.9	531	13.8	351	15.3	389
625	1.2	30	2.2	56	3.7	94	6	152	-	-	消滅		-	-	-	-
556®	1.5	38	3.9	99	4.1	104	6.7	170	9.9	251	12.1	307	11.5	292	14	356
X	1.7	43	5.3	135	4.3	109	7.3	185	11.6	295	14	356	13.9	353	15.9	404
HR-120®	-	-	-	-	6.3	160	8.3	211	-	-	-	-	-	-	-	-
RA330	2.5	64	5	127	8.7	221	10.5	267	15.4	391	17.9	455	11.5	292	13	330
HR-160®	-	-	-	-	5.4	137	11.9	302	12.5	318	18.1	460	8.7	221	15.5	394
310SS	6	152	7.9	201	16	406	18.3	465	-	-	-	-	-	-	消滅	
800H	3.9	99	9.4	239	22.9	582	厚みを貫通		-	-	300時間後に消滅		-	-	消滅	

バーナーリグ酸化試験は、3/8” x 2.5” x 特定厚さ (9mm x 64 mm x 特定厚さ)の試料を回転式の保持具に取付け、No.1燃料油:2、No.2燃料油:1の混合燃料を空気と燃料の比率が約50:1の条件で燃焼させたときにできる燃焼ガス中に曝露して実施しました。燃焼ガスの流速は約0.3マッハ数でした。試料は30分毎に自動的にガス流から取り出され、ファンで外気温度近くまで冷却した後、燃焼ガス流中に戻されました。

耐酸化性(続き)

2100°F (1149°C)の空気流中に 1008 時間曝露した時の酸化の比較

下に示すのは、7.0 feet/min (2.1 m/min) の速度で試料を通過する 2100°F (1149°C) の空気流中に1008時間曝した試験片のマイクロ組織です。試験片を熔融塩溶液に浸して陰極チャージすることで試料のスケールを落としました。それぞれの写真上部の黒い領域は、酸化による実際のメタルロスを示しています。データは、HAYNES® 230® 合金が前頁の表に記載された合金のみならず、INCONEL 合金 601 および 合金 800Hの双方よりも優れていることを明白に示しています。



230° 合金
平均酸化層厚さ =
3.4 mils (86 μm)



INCONEL 合金 601
平均酸化層厚さ =
5.3 mils (135 μm)



合金 800H
平均酸化層厚さ =
8.9 mils (226 μm)

耐酸化性(続き)

水蒸気試験

合金	1008 hours @ 1600F(871°C) Cycled 1x/week in air+10%H ₂ O				1008 hours @ 1600F(871°C) Cycled 1x/week in air+20%H ₂ O				6 months @ 1400F(760°C) Cycled 1x/week in air+10%H ₂ O			
	メタルロス		平均酸化層厚さ		メタルロス		平均酸化層厚さ		メタルロス		平均酸化層厚さ	
	mils /片側	mm /片側	mils /片側	mm /片側	mils /片側	mm /片側	mils /片側	mm /片側	mils /片側	mm /片側	mils /片側	mm /片側
230°	0.07	0.002	0.53	0.013	0.03	0.001	0.21	0.005	0.05	0.001	0.35	0.009
625	0.11	0.003	0.5	0.013	0.04	0.001	0.27	0.007	-	-	-	-
X	0.03	0.001	0.5	0.013	0.04	0.001	0.3	0.008	-	-	-	-
253MA	0.66	0.017	1.59	0.04	0.08	0.002	0.68	0.017	-	-	-	-
800HT	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12	0.003	0.82	0.021
347SS	0.86	0.022	1.48	0.038	0.18	0.005	0.18	0.005	0.46	0.012	1.26	0.032

耐熱合金の薄板 (0.060 – 0.125”/1.5 – 3.2mm) を360日間(8,640 h)
空気流中に曝露した時の酸化量

合金	1600F(871°C)				1800F(982°C)				2000F(1093°C)				2100F(1149°C)			
	メタルロス*		平均酸化層厚さ		メタルロス*		平均酸化層厚さ		メタルロス*		平均酸化層厚さ		メタルロス*		平均酸化層厚さ	
	mils	μm	mils	μm	mils	μm	mils	μm	mils	μm	mils	μm	mils	μm	mils	μm
625	0.3	8	1.4	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
230°	0.2	5	1.4	36	0.1	3	2.5	64	3.4	86	11	279	28.5	724	34.4	874
617	0.3	8	1.6	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HR-120°	0.3	8	1.6	41	0.5	13	3.3	84	18.1	460	23.2	589	33.6	853	44	1118
25	0.3	8	1.7	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
188	0.2	5	1.8	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
556°	0.3	8	1.9	48	0.5	13	6.2	157	15	381	24.1	612	-	-	-	-
X	0.3	8	2.2	56	0.2	5	2.8	71	17.1	434	26.2	665	51.5	1308	55.4	1407
800HT	0.4	10	2.9	74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HR-160°	-	-	-	-	1.7	43	13.7	348	7.2	183	30.8	782	12	305	45.6	1158

*メタルロスは最初と最後のメタル厚さから計算; $ML = (OMT - FMT) / 2$

静的酸化の比較

合金	空気流中での耐酸化性比較、1008 Hours*															
	1800F (982°C)				2000F (1093°C)				2100F (1149°C)				2200F (1204°C)			
	メタルロス		平均酸化層厚さ		メタルロス		平均酸化層厚さ		メタルロス		平均酸化層厚さ		メタルロス		平均酸化層厚さ	
	mils	μm	mils	μm	mils	μm	mils	μm	mils	μm	mils	μm	mils	μm	mils	μm
230°	0.2	5	1.5	38	0.5	13	3.3	84	1.2	30	4.4	112	4.7	119	8.3	211
188	0.1	3	1.1	28	0.5	13	3.7	94	8.6	218	10.7	272	5.2	132	48.2	1224
601	0.4	10	1.7	43	1.3	33	3.8	97	2.8	71	6.5	165	4.4	112	7.5	191
617	0.3	8	2	51	0.6	15	3.8	97	1	25	5.2	132	10.7	272	12.6	320
X	0.2	5	1.5	38	1.3	33	4.4	112	3.6	91	6.1	115	-	-	-	-
800HT	0.5	13	4.1	104	7.6	193	11.6	295	12.4	315	15	381	-	-	-	-
446 SS	-	-	-	-	13	330	14.4	366	-	-	>21.5	>546	-	-	-	-
316 SS	12.3	312	14.2	361	-	-	>17.5	>445	-	-	>17.5	>445	-	-	-	-

*メタルロス + 平均内部酸化厚さ

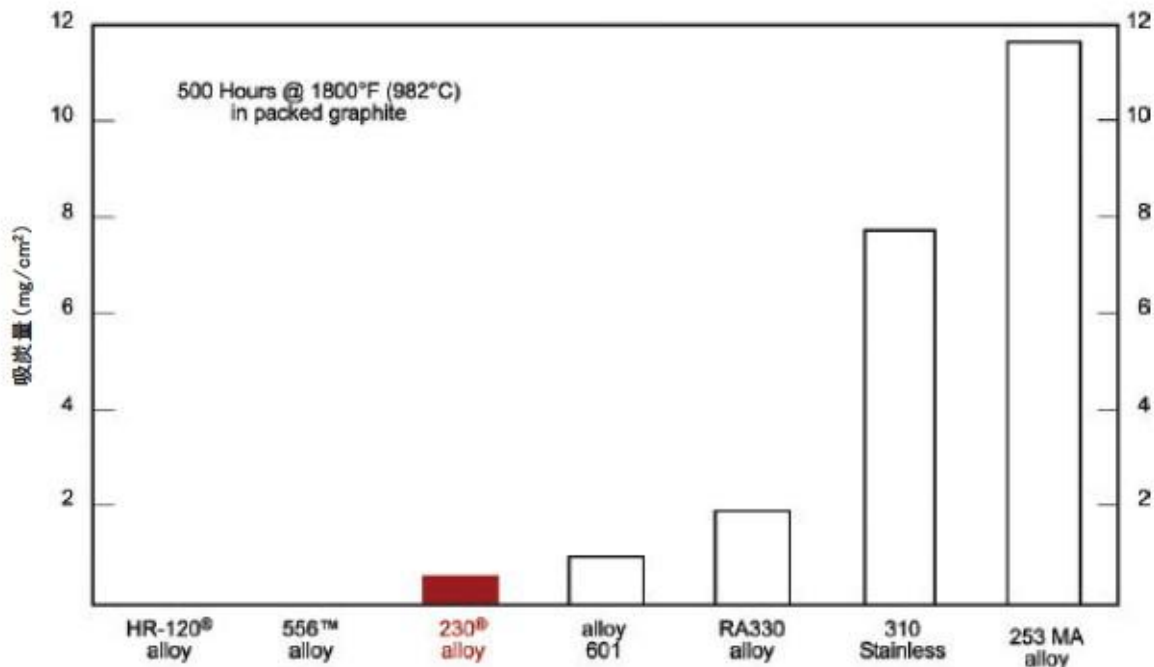
耐窒化性

HAYNES® 230® 合金は、最も耐窒化性がある市販材料のひとつです。試験は、1200°F (649°C)および 1800°F (982°C) のアンモニア流中で 168時間実施されました。吸窒量は、曝露前後の試料の化学分析と試験片の露出面積から決定しました。

合金	吸窒量(mg/cm ²)		
	1200°F (649°C)	1800°F (982°C)	2000°F (1093°C)
230®	0.7	1.4	1.5
600	0.8	0.9	0.3
625	0.8	2.5	3.3
X	1.7	3.2	3.8
RA330®	-	3.9	3.1
800H	4.3	4.0	5.5
316 SS	6.9	6.0	3.3
310 SS	7.4	7.7	9.5
304 SS	9.8	7.3	3.5

耐浸炭性

HAYNES® 230® 合金は、多くの他の工業用合金と比べて良好な浸炭性を示します。試験結果は、黒鉛を閉じ込めた中に1800°F (982°C)で500時間曝露して得ました。吸炭量は、曝露前後の試料の化学分析と試験片の露出面積から決定しました。



耐水素脆性

水素および空気中で実施した切欠き引張試験において、230[®] 合金は水素脆性に対して耐性があることが明らかになりました。試験は、MIL-P-27201B グレードの水素中で、クロスヘッド速度が 0.005 in/min (0.13 mm/min)の条件で実施しました。試料には、応力集中係数:KT値が8.0の切欠きを付けました。

試験温度		水素圧力		切欠き引張強さ比 水素/空気
° F	° C	psig	MPa	
70	21	3000	21	0.92
70	21	5000	34	1.07

耐水溶液腐食性

試験片は、表に示されている温度条件で、様々な酸性液に24時間x4回浸され、全面腐食速度は重量変化の測定値から計算しました。

合金	腐食速度 (mils/year)		
	10% HNO ₃ 沸点温度	10% H ₂ SO ₄ 150°F (66°C)	10% HCl 150°F (66°C)
230 [®]	0.3	0.6	112
625	0.7	0.4	65
600	0.8	41.8	366
316 SS	1	17.8	3408
X	-	<0.1	99

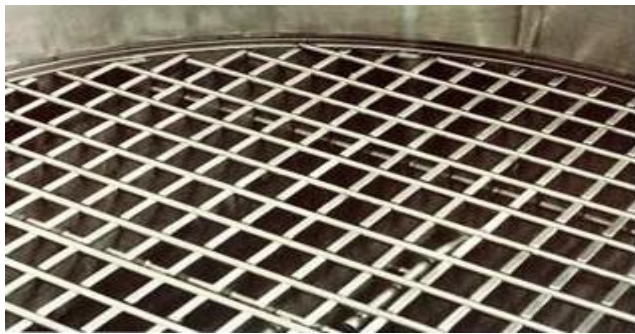
硬度および結晶粒サイズ

溶体化処理後の室温硬度

形態	硬度: HRB	典型的なASTM結晶粒度
薄板	92	4 - 6.5
厚板	92	3 - 5
棒	90	3 - 5

HRB = ロックウェル硬さ “B”

用途



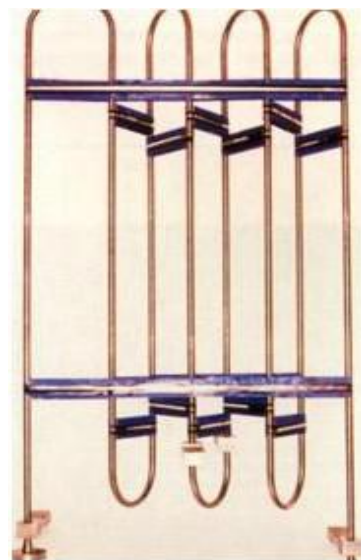
HAYNES® 230® 合金の厚板と棒で製作された硝酸触媒の格子状保持具。1700°F (927°C)におけるこの合金の優れたクリープ強度は、この用途に非常に適しています。



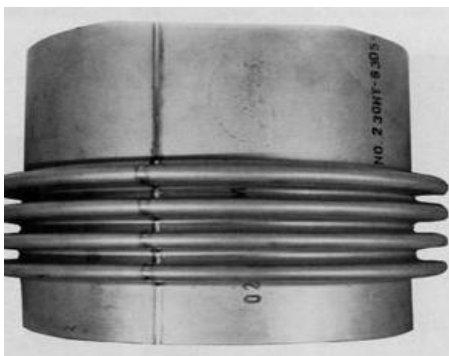
HAYNES® 230® 合金製の
Textron Lycomingのガスタービン用燃焼器



Dresser-Rand DR-990 陸用ガスタービンの
230® 合金製プロトタイプ燃焼器。



ペンシルバニア州応用研究所において抵抗加熱された 230® 合金製過熱チューブ。約1625°F (885°C) の高圧蒸気製造に使用。



0.020in(0.5mm)の薄板で製作した、接触分解装置で使用される230®合金製のプロトタイプ高温伸縮ベローズ。



この水平に取付けた230®合金製電気加熱式レトルトは、1400~2200°F (760~1204°C)の水素雰囲気中では平均で僅か8ヶ月の寿命しかなかった 600 合金製レトルトからの置き換えです。230®合金製のレトルトは、写真に示すように24か月使用後でも未だ素晴らしい状態です。

用途(続き)



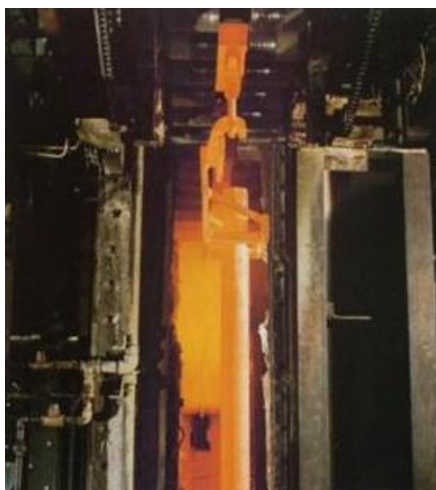
2300°F (1260°C) まで加熱される真空炉用の熱処理カゴ。直径1/2-in(12.7mm)の230[®]合金の丸棒で製作されています。



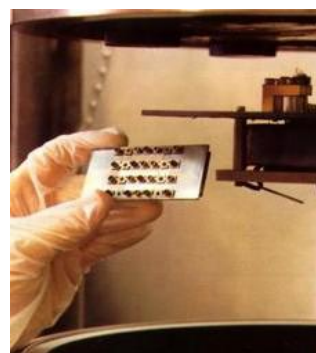
ワイヤ焼鈍用治具を、これまで使用されていた非常に重い炭素鋼製の”スタブ”から230[®]合金製に置き換えることで熱容量が小さくなり、サイクル時間が短くなりました。



ガラス溶解炉の頭部にあるHAYNES[®] 230[®]合金製ダンパーは、短時間 2300°F (1260°C)の温度に耐えて、2000°F (1093°C)の温度で維持されます。



この印象的な写真はHAYNES[®] 230[®]合金製の熱処理治具で、先進的なオフロード自動車用備品プラントで撮影されました。この搬送治具は1550°F (843°C)で運転して水冷された後、1050°F (566°C)で4時間のサイクルが続きます。



半導体製造中に、1650°F(899°C)の温度に耐える230[®]合金製のホルダーとボックス。



コネチカット州ノーガタックにあるEastern社の合金鑄造工場で使用されている 230[®]合金の鑄物の熱処理カゴ。



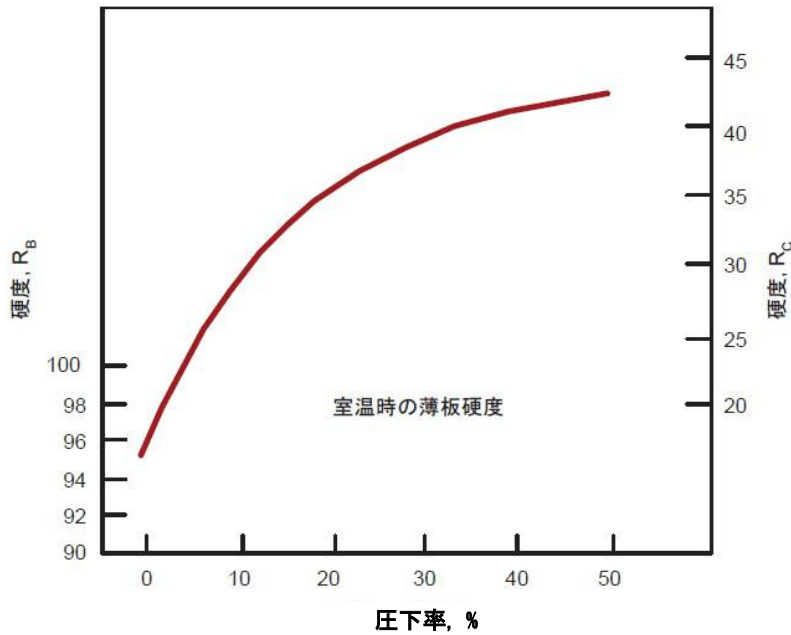
水素(内部)と燃焼生成物(外部)の雰囲気中において、2100°F (1149°C)で運転される 230[®]合金製レトルト。

加工

熱処理

HAYNES® 230®合金は、通常、2250°F (1232°C)で断面の厚さに相応した時間、最終の溶体化処理を施されます。溶体化処理は約2125°F (1163°C)の低い温度で実施することもできますが、材料特性もそれに依りて変わります。加工途中のアニールは更に低い温度で実施できますが、最適な特性と組織を生み出すには、それに引き続いて最終の溶体化処理が必要です。追加の情報が必用な場合は、以下の節の記述と“溶接および加工”のパンフレットを参照してください。

代表的な硬さ特性



室温引張特性に対する冷間圧延の影響*

圧下率	引き続き実施する アニール温度	0.2%耐力		極限引張強さ		伸び
		ksi	MPa	ksi	MPa	
%						%
0	アニール無し	61.8	425	128.2	885	46.6
10		104	715	144.5	995	31.8
20		133.4	920	163.9	1130	16.8
30		160.1	1105	187.5	1295	9.7
40		172.4	1190	201.5	1390	7.5
50		184.6	1275	214.6	1480	6
10	1950°F (1066°C) 5分間	91.9	635	143.5	990	32.9
20		80.8	555	141.9	980	35.6
30		75.9	525	142.1	980	35.7
40		81.2	560	145.5	1005	32.3
50		86.1	595	147.7	1020	34.6

*0.120-in (3.0 mm)の薄板を冷間圧延した結果に基づく。
2回の繰り返し試験。

加工(続き)

圧下率	引き続き実施する アニール温度	0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び
10	2050°F (1121°C) 5分間	80.8	555	139	960	36.5
20		65.4	450	135.7	935	39.2
30		72	495	140	965	37.6
40		76.1	525	142.3	980	35.5
50		80.8	555	143.9	990	36.3
10	2150°F (1177°C) 5分間	55.5	385	129.5	895	43.7
20		64.4	445	134.3	925	40.1
30		70.2	485	138.1	950	38.5
40		73.4	505	139.2	960	38.1
50		71.9	495	137.7	950	39.1

*0.120-in (3.0 mm)の薄板を冷間圧延した結果に基づく。
2回の繰り返し試験。

ミクロ組織

(結晶粒度: ASTM 5) 2250°F (1232°C)でアニール



エッチング

95ml HCl + 5 gm シュウ酸

電圧: 4 ボルト

溶接

HAYNES® 230® 合金は、ガスタングステンアーク溶接(TIG)、ガスマタルアーク溶接(MIG)、シールドメタルアーク溶接(SMAW)、および抵抗溶接により容易に溶接できます。その溶接特性は、HASTELLOY® X 合金の特性と同様です。サブマージアーク溶接(SAW)は、このプロセスが母材金属に対する高入熱および溶接の冷却が遅いという特徴を有しているため、お薦めできません。これらの因子は溶接による拘束を高め、割れの発生を促します。

母材の準備

いかなる溶接作業であっても、溶接面および近接領域は、溶接する前に適切な溶剤により完全に清浄にしなければなりません。全ての潤滑剤、油、切削油、クレヨンの跡、機械加工溶剤、腐食性生成物、塗料、スケール、染色浸透溶液、およびその他の異物は完全に除去しなければなりません。溶接する場合、合金は溶体化処理された状態であることが好ましいですが、必ずしも必要ではありません。

溶加金属の選定

230® 合金をガスタングステンアーク溶接あるいはガスマタルアーク溶接で接合する場合、HAYNES® 230-W® 溶加ワイヤ (AWS A5.14, NiCrWMo-1) をお薦めします。非ASME基準構造物をシールドメタルアーク溶接する場合は、230-W® 合金の被覆アーク溶接棒も使用できます。230® 合金とニッケル基、コバルト基、あるいは鉄基材料との異種金属接合に対しては、それぞれのケースに応じて、230-W® 溶加ワイヤ、HAYNES 556® 合金 (AWS A5.9 ER3556, AMS 5831)、HASTELLOY® S 合金 (AMS 5838)、あるいはHASTELLOY® W 合金 (AMS 5786, 5787)などの溶接製品が候補になります。さらなる情報が必要な場合は、”Welding and Fabrication (溶接および加工)” のパンフレット をご覧になるか、当社ウェブサイトの ”Haynes Welding SmartGuide (溶接スマートガイド)” をご利用ください。

予熱、パス間温度、および溶接後の熱処理

予熱する必要はありません。予熱は一般に、室温(典型的な作業場の環境条件)として指定されます。パス間温度は、200°F(93°C)以下に保たなければなりません。汚染物質が混入することがないのであれば、必要に応じて、溶接パス間で補助冷却手段を使用することができます。通常、230® 合金には溶接後の熱処理は不要です。

標準溶接パラメータ

GTAW、GMAWおよびSMAW溶接に関する詳細を以下に示します。典型的な溶接作業に対する指針として、当社の実験室で使用されている溶接条件に基づいた標準溶接パラメータを提供しています。

横溶接の室温引張結果 - 厚さ 0.205-in / 5.2 mm の厚板のGTAW

0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び	破断位置
ksi	MPa	ksi	MPa		
60.2	415	117.7	812	29.6	溶接金属
58.4	403	113.4	782	28.2	溶接金属

溶接(続き)

横溶接の引張結果 - 厚さ 0.5-in / 12.7 mm の厚板のGTAW

試験温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び	破断位置
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%	
室温		65.5	452	126.8	874	37.3	溶接金属
		63.8	440	120	827	27	溶接金属
1600	871	38.4	265	60.6	418	44.9	母材金属
		34.8	240	61.8	426	28.9	溶接金属

横溶接の室温引張結果 - 厚さ 2.0-in / 50.8 mm の厚板のGMAW

極限引張強さ		破断位置
ksi	MPa	
116	800	溶接金属
117	807	溶接金属
115	793	溶接金属
116	800	溶接金属

横溶接の室温引張結果 - 厚さ 3.0-in / 76.2 mm の厚板のGTAW

サンプル の位置	0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び	絞り	破断位置
	ksi	MPa	ksi	MPa	%	%	
溶接 フェイス	74.1	511	109.5	755	27.2	30.9	溶接金属
	74.6	514	110.7	763	34.8	44.4	溶接金属
溶接 中央	76.5	527	113.3	781	33.1	37.6	溶接金属
	76.8	530	111.2	767	26.7	32.9	溶接金属
溶接 ルート	74.8	516	109.9	758	19.6	24.1	溶接金属
	74	510	115	793	31	41.3	溶接金属

HAYNES® 230-W® 全溶接金属の引張試験結果

試験温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%
RT	RT	75.7	522	112.6	776	27.3
1800	982	21.2	146	22.7	157	24.6

適合規格および基準

規格

HAYNES® 230® 合金 (N06230) HAYNES® 230-W® 合金 (N06231)	
薄板、厚板および帯板	AMS 5878 SB 435/B 435 P= 43
ビレット、ロッドおよび棒	AMS 5891 SB 572/B 572 B 472 P= 43
被覆アーク溶接棒	SFA 5.11 (ENiCrWMo-1) A 5.11 (ENiCrWMo-1) F= 43
裸溶接棒およびワイヤ	SFA 5.14 (ERNiCrWMo-1) A 5.14 (ERNiCrWMo-1) AMS 5839 F= 43
継ぎ目なしパイプおよびチューブ	SB 622/B 622 P= 43
溶接パイプおよびチューブ	SB 619/B 619 SB 626/B 626 P= 43
継手類	SB 366/B 366 P= 43
鍛造材	AMS 5891 SB 564/B 564 P= 43
DIN	17744 No. 2.4733 NiCr22W14Mo
その他	-

基準

HAYNES® 230® 合金 (UNS N06230) HAYNES® 230-W® 合金 (UNS N06231)				
ASME	Section I	1650°F (899°C) ^{1,4}		
	Section III	Class 1	-	
		Class 2	-	
		Class 3	-	
	Section IV	HF-300.2	500°F (260°C) ¹	
	Section VIII	Div. 1	1800°F (982°C) ^{1, 5, 6}	
		Div. 2	-	
	Section XII	650°F (343°C) ¹		
	B16.5	1500°F (816°C) ²		
	B16.34	1500°F (816°C) ^{3,7}		
	B31.1	-		
B31.3	1650°F (899°C) ¹			
MMPDS	6.3.9			

¹承認された材料形態: 厚板、薄板、棒、鍛造材、継手類、溶接パイプ/チューブ、継ぎ目なしパイプ/チューブ

²承認された材料形態: 厚板、棒、鍛造材、継ぎ目なしパイプ/チューブ

³承認された材料形態: 厚板、鍛造材

⁴この値は、給水構造物に対する最高設計温度です。いくつかのASME基準が、追加で使用に関して規定しています。

a) Section I Code Case 2665によれば、1300°F (704°C) が溶融硝酸塩接液構造物に対する設計最高温度です。

b) Section I Code Case 2756によれば、1000°F ~ 1250°F (538-677°C)の設計温度範囲では、自生溶接を使用できます。

c) Section I PG-26 および Code Case 2805で、溶接強度低下係数が規定されています。

⁵Section VIII Division 1 Code Case 2671には、1800°F (982°C)に対する外部圧力が含まれています。

⁶この材料から作られる全てのボルトに適用されます。1650°F (899°C)は最大設計温度です。Section VIII Division 1 Code Case 2775をご覧ください。

⁷B16 Case 5 は、この材料で作られたバルブに対して、より高い圧力-温度レーティングを許容しています。

免責事項:

Haynes International, Inc. は、本パンフレットに記載されているデータの精度・正確性を保証するために妥当な努力を払っておりますが、データの精度、正確性、あるいは信頼性について、いかなる表明も保証もいたしません。すべてのデータは、一般的な情報のみであり、設計上のアドバイスを提供するものではありません。ここに開示されている合金特性は、主に Haynes International, Inc. によって行われた作業に基づいており、場合によっては公開文献の情報によって補足されているため、そのような試験の結果のみを示すものであり、保証最大値または最小値と考えてはなりません。実際の使用条件で特定の合金を試験して特定の目的に対する適合性を判断するのはユーザーの責任です。

特定の製品に含まれる特定の元素濃度とその潜在的な健康への影響については、Haynes International, Inc. が提供する安全データシートを参照してください。特記のない限り、すべての商標は Haynes International, Inc. が所有しています。