

MULTIMET® 合金

主な特徴

MULTIMET® 合金 (UNS R30155、W73155) は、1500°F (816°C) までの高応力と、2000°F (1093°C) までの中程度の応力を伴う用途にお薦めします。この合金には、優れた耐酸化性と良好な延性があり、容易に加工することができます。その高温特性は固有のものであり、時効硬化処理には依存しません。この合金の製造と使用は1940年代後半に遡ります。

この合金は、テールパイプやテールコーン、アフターバーナ部品、排気マニホールド、燃焼器、タービンブレード、バケット(動翼)、およびノズル(静翼)などの多くの航空機用途に使用されています。また、優れた高温用ボルト材料であり、高温強度が重要な熱処理装置用途において経済的な構造材料であることが証明されています。

MULTIMET® 合金は、酸化および還元の両方の条件下で、特定の媒体に対して優れた耐食性があります。MULTIMET® 合金は、溶体化処理すると、硝酸に対してステンレス鋼とほぼ同等の耐性があります。弱塩酸溶液に対しては、ステンレス鋼よりも優れた耐性を有しています。この合金は、室温で全ての硫酸濃度に耐えます。

MULTIMET® 合金は、従来の方法で機械加工、鍛造、冷間成形することができます。この合金は、様々なアーク溶接および抵抗溶接によって溶接することができます。

MULTIMET® 合金は、薄板(シート)、帯板、厚板(プレート)、ワイヤ、被覆アーク溶接棒、ビレット、砂型およびインベストメント鋳物として入手できます。また、化学組成が保証された再溶解材の形態でも入手できます。

MULTIMET® 合金のほとんどの鍛造品は、最適な特性を保証するために溶体化処理して出荷されます。薄板は、断面の厚さに応じた時間 2150°F (1177°C) で保持し、続いて、急速空冷または水冷して溶体化処理されます。棒材および厚板(1/4インチ以上)は、通常、2150°F (1177°C) での加温と水冷により溶体化処理されます。

MULTIMET® 合金は、耐酸化性が並であること、溶接中に熱影響部に割れが発生する傾向があること、および機械特性が比較的広いバンド幅で散らばることに悩まされていました。これらの懸念事項に対処し、改良するために HAYNES® 556® 合金が開発されました。

標準組成

重量 %

鉄:Fe	30 Balance
ニッケル:Ni	20
コバルト:Co	20
クロム:Cr	21
モリブデン:Mo	3
タングステン:W	2.5
炭素:C	0.12
窒素:N	0.15
ニオブ + チタン:Nb + Ti	1
ケイ素:Si	1 max.
マンガン:Mn	1.5

硬度

形態	硬度, HRB	典型的な ASTM 結晶粒度
薄板	90	4.5 - 6.5
厚板	92	3 - 6.5
棒	89	3 - 5

HRB = ロックウェル硬さ “B”

試験に用いた試料は全て溶体化処理済み

引張データ

薄板に対する高温引張試験を、以前の標準であったひずみ速度で実施しました。ここに記載する結果は、降伏に至るまでは 0.005 in/in/min のひずみ速度、降伏から破断に至るまでは、試験片平行部に対するクロスヘッド速度が 0.5 in/min で実施した試験から得られたものです。

現在の標準では、降伏に至るまでは 0.005 in/in/min のひずみ速度、降伏から破断に至るまでは、試験片平行部に対するクロスヘッド速度は 0.05 in/min です。

鍛造材の典型的な短時間引張データ

形態	条件	試験温度		極限引張強さ		0.2% 耐力		伸び
		°F	°C	ksi	MPa	psi	MPa	
0.052 in (1.32 mm) 薄板	2150°F(1177°C)、 RACで熱処理	RT	RT	116.0	800	57	393	43
		1200	649	73.2	505	-	-	35
		1700	927	19.8	137	-	-	39
		1900	1038	10.0	69	-	-	34
0.063 in (1.6 mm) 薄板	2150°F(1177°C)、 RACで熱処理	RT	RT	118.1	814	58	400	49
		800	427	98.0	676	42	292	54
		1000	538	93.9	647	40	274	54
		1200	649	73.5	507	38	259	28
		1400	760	58.4	403	36	247	12
		1600	871	38.8	268	30	207	15
		1800	982	24.7	170	17	117	51
		2000	1093	13.0	90	8	58	38
		2100	1149	6.9	48	4	30	36
		2200	1204	4.8	33	3	21	29
		2300	1260	3.4	23	-	-	19
		2350	1288	2.6	18	-	-	7
1/2 in (12.7 mm) 厚板	2165°F (1185°C)、 WQで熱処理	-108	-78	137.7	949	74	513	63
		-320	-196	190.2	1311	-	-	53
直径 21 in x 厚さ 3 1/4 in 鍛造材	1200°F(649°C)で2時 間、ACで応力除去	RT	RT	117.6	811	72	493	30
		1200	649	83.0	572	49	338	25
1-2 in 厚さの 鍛造棒材	2165°F (1185°C)、 WQで熱処理	RT	RT	111.0	765	56	384	55*
直径 1/2-2 in の 熱間圧延丸棒	2165°F (1185°C)、 WQで熱処理	RT	RT	111.3	767	54	372	57*
熱間圧延した 直径 0.242 in の 丸棒を冷間圧延	2150°F(1177°C)、 RACで熱処理	RT	RT	115.8	798	-	-	50
	圧下率 5%	RT	RT	115.0	793	77	527	40
	圧下率 10%	RT	RT	124.0	855	103	709	35
	圧下率 15%	RT	RT	135.2	932	123	845	24
	圧下率 20%	RT	RT	147.5	1017	136	935	20
	圧下率 25%	RT	RT	153.0	1055	143	986	15
	圧下率 30%	RT	RT	159.5	1100	153	1051	12
	圧下率 35%	RT	RT	174.5	1203	168	1160	10
	圧下率 40%	RT	RT	178.5	1231	176	1214	10

AC- 空冷

RAC- 急速空冷

WQ-水冷

*1 in 当たりの伸び.

RT = 室温

衝撃強度

試験温度		シャルピー衝撃強さ	
°F	°C	ft-lb	J
1500	816	69	94
RT	RT	113	153
-20	-29	105	142
-108	-78	86	117
-216	-138	66	89
-321	-196	56	76

全ての試料は溶体化処理済み。

RT= 室温

クリープおよびストレスラプチャーデータ

溶体化処理した MULTIMET® 薄板

温度		クリープ	下記時間内に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	
°F	°C	%	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa
1200	649	0.5	42	290	33	228	25	172
		1	48	331	37	255	29	200
		R	58	400	48	331	40	276
1300	704	0.5	30	207	23	159	17.5	121
		1	36	248	27.5	190	21	145
		R	46	317	37.5	259	29	200
1400	760	0.5	21.5	148	15.5	107	11	76
		1	26	179	19	131	14	97
		R	36	248	26	179	19	131
1500	816	0.5	15.5	107	11.5	79	8.0	55
		1	18.5	128	13.5	93	9.5	66
		R	26	179	18.5	128	13	90
1600	871	0.5	12.0	83	7.8	54	4.9	34
		1	13.2	91	9.2	63	6.0	41
		R	18.5	128	12	83	7.6	52
1700	927	0.5	7.5	52	4.8	33	2.8	19
		1	9.0	62	5.8	40	3.4	23
		R	12	83	7.8	54	4.7	32
1800	982	0.5	5.0	34	2.5	17	1.3	8.6
		1	5.8	40	3.1	21	1.6	11
		R	8.5	59	4.6	32	2.6	18

熱安定性

1200°F (649°C) / 16,000 hours 曝露後の室温引張特性

合金	形態	極限引張強さ		降伏強さ		伸び
		ksi	MPa	ksi	MPa	
MULTIMET®	0.125 in 薄板	138.2	953	69.0	476	19.4
556®	0.5 in 厚板	129.9	896	64.2	443	29.6

耐酸化性

MULTIMET® は、約1800°F (982°C)まで許容できる耐酸化性を示します。しかしながら、耐酸化性に対する懸念から、MULTIMET® は、通常、同等のクリープラプチャー強度があり、特に1800°F (982°C)以上の温度でより優れた耐酸化性を有する 556® 合金に置き換えられてきました。

短時間静的酸化

空気流中での耐酸化性の比較、1008 Hours

合金	1800°F (982°C)				2000°F (1093°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	
	mils	µm	mils	µm	mils	µm	mils	µm
MULTIMET®	0.4	10	1.3	33	8.9	226	14.3	363
556®	0.4	10	2.3	58	1.5	38	6.9	175

空気流は、流速 7.0 ft/min (213.4 cm/min) で試料を通過します。試料は、1週間に1回のサイクルで室温まで冷却されます。

バーナリグによる動的酸化

合金	1600°F (871°C), 1000 h, 30分サイクル				1600°F (871°C), 2000 h, 30分サイクル			
	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
MULTIMET®	1.3	33	2.2	56	2.7	69	4.9	124
556®	1.4	36	3.1	79	1.5	38	3.9	99

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.2燃料油を、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し、ファンで外気温度近くまで冷却した後、燃焼ガス流中に戻しました。

環境試験の評価に使用した金属組織学的手法



1. メタルロス = $(A-B)/2$
2. 平均内部酸化深さ = C
3. 最大内部酸化深さ = D
4. 平均酸化層厚さ = $((A-B)/2) + C$
5. 最大酸化層厚さ = $((A-B)/2) + D$

耐高温腐食性

バーナリグ高温腐食試験 1650°F (899°C)での耐高温腐食性

合金	塩分 5 ppm, 200 Hours				塩分 50 ppm, 200 Hours				塩分 5 ppm, 1000 Hours			
	メタルロス		平均腐食層厚さ		メタルロス		平均腐食層厚さ		メタルロス		平均腐食層厚さ	
	mils	µm	mils	µm	mils	µm	mils	µm	mils	µm	mils	µm
MULTIMET®	1.8	46	3.7	94	1.8	46	4.2	107	1.8	46	5.4	137
556®	0.9	23	2.7	69	1.1	28	2.6	66	1.6	41	5.9	150

高温腐食試験は、バーナーリグで0.4%の硫黄分を含んだNo.2燃料油を燃焼させ、低流速で実施しました。空気：燃料の比は30：1でした。人工的に作った海水を、表に記載した塩分濃度になるように噴射しました。試験は1000時間実施し、試料は1時間に1回のサイクルでガス流から取り出し、外気温度付近まで冷却しました。ガス流速は 13 ft./sec. (4 m/s) でした。

物理的特性

物理的特性	英国単位		メートル単位	
密度	RT	0.296 lb/in ³	RT	8.20 g/cm ³
溶融温度	2350-2470°F		1288-1354°C	
熱伝導率	400°F	101 Btu-in/ft ² -hr-°F	200°C	14.6 W/m-°C
	600°F	112 Btu-in/ft ² -hr-°F	300°C	15.9 W/m-°C
	800°F	122 Btu-in/ft ² -hr-°F	400°C	17.3 W/m-°C
	1000°F	133 Btu-in/ft ² -hr-°F	500°C	18.6 W/m-°C
	1200°F	143 Btu-in/ft ² -hr-°F	600°C	20.0 W/m-°C
平均熱膨張係数	70-300°F	8.2 µin/in.-°F	20-100°C	14.1 µm/m-°C
	70-400°F	8.5 µin/in.-°F	20-200°C	15.2 µm/m-°C
	70-500°F	8.5 µin/in.-°F	20-300°C	15.3 µm/m-°C
	70-600°F	8.5 µin/in.-°F	20-400°C	15.6 µm/m-°C
	70-800°F	8.7 µin/in.-°F	20-500°C	16.0 µm/m-°C
	70-1000°F	9.1 µin/in.-°F	20-600°C	16.7 µm/m-°C
	70-1200°F	9.4 µin/in.-°F	20-700°C	17.2 µm/m-°C
	70-1400°F	9.8 µin/in.-°F	20-800°C	17.5 µm/m-°C
	70-1600°F	9.9 µin/in.-°F	20-900°C	17.8 µm/m-°C
	70-1800°F	10.1 µin/in.-°F	20-1000°C	18.1 µm/m-°C
	70-2000°F	10.3 µin/in.-°F	20-1100°C	18.4 µm/m-°C
電気抵抗	400°F	40.1 µohm-in	200°C	101.7 µohm-cm
	800°F	43.4 µohm-in	400°C	109.5 µohm-cm
	1000°F	44.6 µohm-in	600°C	115.0 µohm-cm
	1200°F	45.7 µohm-in	700°C	117.0 µohm-cm
	1400°F	46.5 µohm-in	800°C	119.0 µohm-cm
	1600°F	47.4 µohm-in	900°C	121.0 µohm-cm
	1800°F	48.2 µohm-in	1000°C	122.7 µohm-cm
比熱(計算値)	70-212°F	0.104 Btu/lb.-°F	22-100°C	0.104J/kg-°C
ポアソン比	-108°F	0.319	-78°C	0.319
	RT	0.298	RT	0.298
	800°F	0.315	426°C	0.315
	1200°F	0.325	650°C	0.325
	1500°F	0.339	816°C	0.339
放射率(酸化した合金)	2000°F	0.88	1090°C	0.88

成形性

形態	条件	典型的なエリクセンカップ深さ
-	-	mm
0.025-0.050 in.の薄板	2150°F(1177°C)、RACで熱処理	10.0-11.5

RAC = 急速空冷

時効処理および冷間圧延後の硬さデータ

形態	条件	試験温度	典型的な硬さ	
			ロックウェル	ブリネル
熱間圧延した棒材	2165°F(1185°C)で熱処理しWQ	RT	91 HRBW	190
	下記温度で20分間時効処理:	-	-	-
	752°F(400°C)	752°F(400°C)	-	138*
	932°F(500°C)	932°F(500°C)	-	130*
	1112°F(600°C)	1112°F(600°C)	-	130*
	1292°F(700°C)	1292°F(700°C)	-	120*
	1472°F(800°C)	1472°F(800°C)	-	105*
	1652°F(900°C)	1652°F(900°C)	-	60*
	752°F(400°C)	RT	-	190†
	932°F(500°C)	RT	-	192†
	1112°F(600°C)	RT	-	187†
	1292°F(700°C)	RT	-	192†
	1472°F(800°C)	RT	-	192†
	1652°F(900°C)	RT	-	218†
直径 0.242 in.の 熱間圧延した棒材 を冷間圧延	2150°F(1177°C)で熱処理しRAC	RT	92 HRBW	-
	圧下率 5%	RT	92 HRBW	-
	圧下率 10%	RT	19 HRC	-
	圧下率 15%	RT	25 HRC	-
	圧下率 20%	RT	30 HRC	-
	圧下率 25%	RT	34 HRC	-
	圧下率 30%	RT	37 HRC	-
	圧下率 35%	RT	40 HRC	-
	圧下率 40%	RT	40 HRC	-

*2000 kg の荷重および 10mm のタングステンカーバイドボールを用いて実施した高温ブリネル硬さ試験
ボールおよび試験片の両方は、試験前の20分間、試験温度で保持。

†2000 kg の荷重および 10mm のタングステンカーバイドボールを用いて、室温で測定されたブリネル硬さ。

RT=室温

HRBW = タングステン圧子によるロックウェル硬さ“B”

HRC = ロックウェル硬さ“C”

WQ=水冷

溶接

MULTIMET® 合金は、ガスタングステンアーク溶接(GTAW)、ガスマタルアーク溶接(GMAW)、シールドメタルアーク溶接(SMAW)、および抵抗溶接で容易に溶接することができます。サブマージアーク溶接は、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、クレヨンの痕、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。

溶加材の選定

MULTIMET® 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は、MULTIMET® 溶加ワイヤ (AMS 5794) を推奨します。シールドメタルアーク溶接に対しては、MULTIMET® 合金 (AMS 5795) の被覆アーク溶接棒も入手できます。MULTIMET® 合金とニッケル基、コバルト基、あるいは鉄基金属との異種金属の接合には、MULTIMET® 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) の溶接製品すべてが、特定のケースに応じて考えられます。もっと多くの情報が必要な場合は、当社の“溶接および加工”のパンフレットをご覧になるか、当社Webサイトの“Haynes Welding SmartGuide”をご利用下さい。

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)として指定されています。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、MULTIMET® 合金には溶接後の熱処理は不要です。さらなる情報が必要な場合は、“溶接及び加工”のパンフレットを参照願います。

標準溶接パラメータ

GTAW、GMAWおよびSMAW溶接に関する詳細は、“溶接および加工”のパンフレットをご覧ください。典型的な溶接作業に対するガイドラインとして、標準溶接パラメータを提供しています。これらのパラメータは、当社の実験室で使用されている溶接条件に基づいています。

溶接部の引張データ

溶接方法および材料	状態	試験温度		極限引張強さ		降伏強さ		伸び
		°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	
SMAW, 薄板, 0.125 in	溶接し放し	RT	RT	116.0	800	60.9	420	27
SMAW, 厚板, 0.375 in		RT	RT	105.1	725	65.6	452	28
SMAW, 厚板, 0.500 in		RT	RT	102.6	707	49.8	343	44
GTAW, 薄板 0.125 in	溶接し放し	RT	RT	108.2	746	60.5	417	22
GTAW, 厚板, 0.250 in		RT	RT	111.4	768	65.0	448	21
GTAW, 厚板, 0.375 in		RT	RT	105.9	730	60.4	416	19

RT= 室温

熱処理および加工

鍛造

インゴットは、開始最高温度を 2200°F (1204°C) にして熱間鍛造する必要があります。インゴットがこれよりも高い温度に加熱されると表面で破断し、酷く酸化されます。MULTIMET® 合金は、最低温度が 1700°F (927°C) で鍛造しなければなりません。これよりも低い温度での鍛造は、特に、1300°F (704°C) よりも高い温度で 사용되는場合、合金の高温強度に悪影響を及ぼすことがあります。インゴットは、約 2200°F (1204°C) で完全に浸漬する必要がありますが、その後は鍛造を比較的速い速度で行うことができます。MULTIMET® 合金は容易には破断しないため、ほとんどの場合、インゴット組織を破壊するために軽いブローハンマーを使用する必要はありません。再加熱が必要な場合は、適切な温度になるように鍛造物が完全に浸るようにする必要があります。

成形

冷間加工は、スピニング、絞り、型押しのような作業に対して好ましい加工方法です。この合金は、かなりの程度引き延ばされると加工硬化するため、材料を軟化させ、冷間加工作業で失われた延性を回復させるために、様々な成形段階の間に溶体化処理が必要となる場合があります。

熱処理

MULTIMET® 合金の薄板は、断面の厚さに応じた時間 2150°F (1177°C) で保持し、その後に急速空冷または水冷して溶体化処理することにより最適な特性を引き出すことができます。棒材および厚板（厚さが 1/4 in (6.35 mm) 以上）は、通常、2150°F (1177°C) での加熱と水冷により溶体化処理されます。ほとんどの鍛造製品は、溶体化処理した状態で出荷されます。

内部応力を除去するために、熱間加工後に金属を応力緩和することをお勧めします。過大な、または複雑な鍛造は、応力が除去されない限り機械加工中に反るかも知れません。遭遇する最高使用温度に対応する温度で、合金を 2～4 時間加熱して応力緩和することを推奨します。熱処理は、応力を除去すると同時に穏やかな析出硬化をもたらします。

溶体化処理した棒材および鍛造品は、1500°F (816°C) で 4 時間加温した後、空冷して時効処理します。この処理は、ブリネル硬さを 192～241 の範囲まで増加させます。時効処理した状態の棒材は真直ぐにして成形するのが難しいため、棒材は溶体化処理状態で購入し、最終加工後に時効処理することを推奨します。

適合規格

MULTIMET® 合金 (R30155, W73155)	
薄板、厚板及び帯板	AMS 5532
ビレット、ロッド及び棒	AMS 5768
被覆アーク溶接棒	AMS 5795 SFA 5.4/ A 5.4 (E3155)
裸溶接棒及びワイヤ	AMS 5794
継ぎ目なしパイプ及びチューブ	-
溶接パイプ及びチューブ	-
継手類	-
鍛造材	AMS 5768 B 639
DIN	-
その他	-

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。