

HASTELLOY® C-22HS® 合金

主な特徴

オイル&ガス産業向けの高強度Cタイプ合金

HASTELLOY® C-22HS® 合金は、オイル&ガス産業用途向けの、最良のニッケル－クロム－モリブデン耐食材料です。30～65%のレベルで合金を冷間加工すると、高い室温降伏強度が得られます。この合金は、サワーガス環境に対して並はずれた耐性を示し、NACE / ISOで承認されています。

製品形態

C-22HS® 合金は、厚板、薄板、帯板、ビレット、棒、ワイヤ、パイプ、およびチューブの形態で入手できます。直径が10インチ(254mm)までの中実の丸棒製品があり、合金の優れた耐食性を維持しながら高い強度と韌性が得られるように、様々な量の冷間加工が施されています。

オイル&ガス用途

この資料に記載されているデータは、オイル&ガス産業、あるいは、優れた耐食性と”スタンダード”のHASTELLOY® C-22® 合金よりも高い強度レベルの合金を必要とする他の産業に役立つと思われます。オイル&ガスに関して更なる情報が必要な場合は、“Technical Library(テクニカルライブラリー)”にある”HAYNES® C-22HS® Oil & Gas Alloy Brochure (オイル&ガス用途合金パンフレット)(H-3180)”をご参照ください。

主な特徴(続き)

非常に強度が高い3つの状態で入手可能

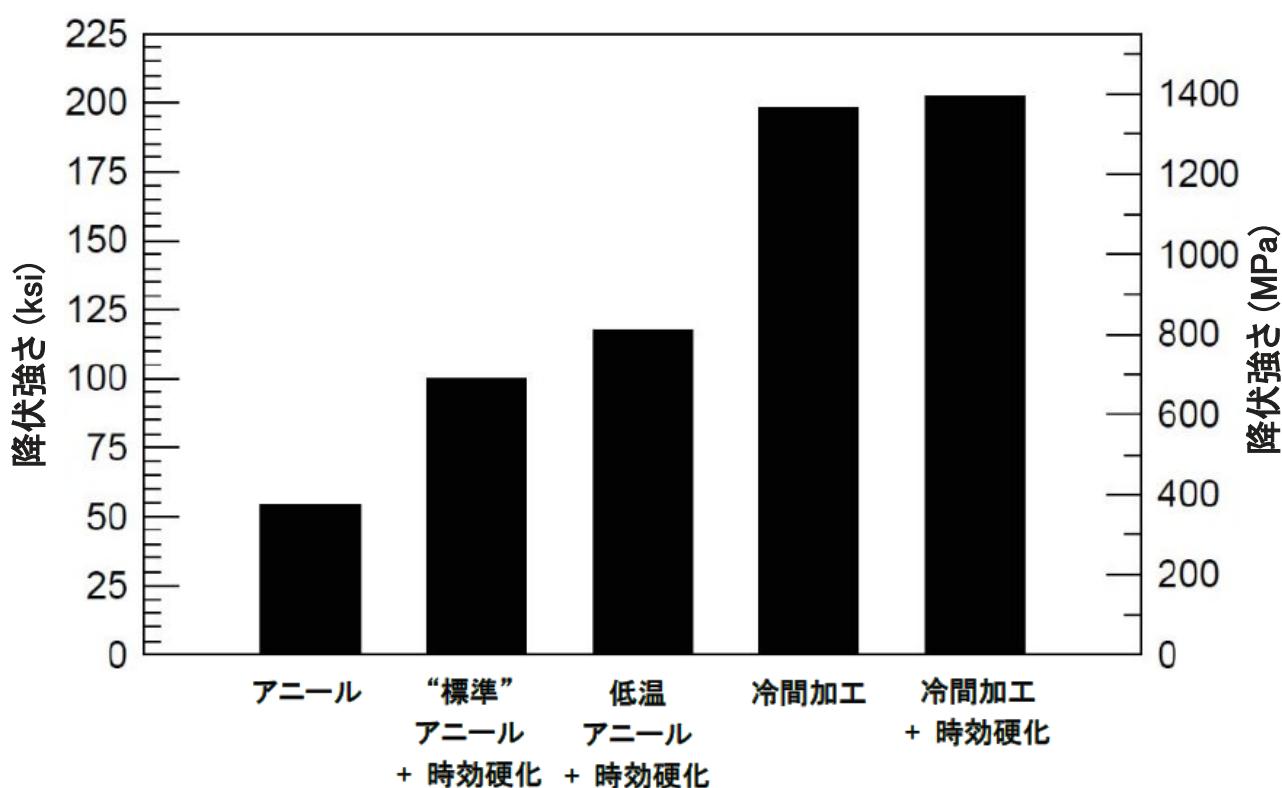
C-22HS® 合金の初期試験は、アニール + 時効硬化処理した状態の材料に焦点を合わせました。この時、材料は 1975°F (1079°C) でアニールされ、1300°F (704°C)/16h/1125°F (607°C)まで炉冷(FC)/32h/空冷(AC) の条件で時効硬化処理されました。この”標準条件”において、C-22HS® 合金は、典型的には約100ksi(690MPa)の強度があります。この強度レベルは、アニールされた状態の”Cタイプ”合金のほぼ2倍ですが、多くのオイル&ガス用途には、さらに高い強度が必要です。このため、C-22HS® 合金に対してかなりの開発努力が払われ、下記の3つの状態で”非常に高い強度”が得られました：

- 1) 冷間加工
- 2) 冷間加工 + 時効硬化処理^A
- 3) 低温 (LT) アニール^B + 時効硬化処理^C

^A1125°F (607°C)/10h/空冷 ^B1850°F (1010°C) ^C1300°F (704°C)/16h/1125°F (607°C)まで

炉冷/32h/空冷

3つの非常に高い強度状態に対する降伏強さの比較を、アニールした”標準”状態の降伏強さと併せて以下に示します。Haynes 社は、高い圧下率で冷間加工され、且つ、時効処理された材料の使用を推奨していません。なぜなら、このような材料では降伏強さの増加が少なく、過酷な油井条件において水素脆化の影響を受けやすくなるためです。



標準組成

重量 %

ニッケル:Ni	61 Balance
コバルト:Co	1 max.
クロム:Cr	21
モリブデン:Mo	17
鉄:Fe	2 max.
タングステン:W	1 max.
マンガン:Mn	0.8 max.
アルミニウム:Al	0.5 max.
ケイ素:Si	0.08 max.
炭素:C	0.01 max.
銅:Cu	0.5 max.

冷間加工材の引張特性

棒材の平均室温引張特性
(圧下率:43-47%)

条件	0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び	絞り
	ksi	MPa	ksi	MPa		
冷間加工した棒材	198	1365	203.5	1403	16.7	64.2

直径と圧下率の関数として見た棒材の室温引張特性

丸棒直径*	圧下率	室温引張特性					
		0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び	
in	mm	%	ksi	MPa	ksi	MPa	%
0.5	12.7	43	191.1	1317	196.5	1355	18.2
0.75	19.1	44	204.7	1411	210	1448	15.5
1	25.4	44	188.3	1298	193.8	1336	17.6
1.25	31.8	46	205.2	1415	210.9	1454	15.4
1.567	39.8	37	184.2	1270	192.7	1329	17.4
2	50.8	47	207.5	1431	212	1462	13
2.375	60.3	54	181.4	1251	190.5	1313	21.2
2.5	63.5	49	180	1241	183.7	1267	18.2
3.62	91.9	42	192.3	1326	197.3	1360	14

*2回の試験に使用したサンプルの平均

冷間加工材の引張特性(続き)

直径0.5 インチ(12.7mm)の冷間加工した丸棒(圧下率:43%)の
室温および高温引張特性

試験温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び	絞り
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%	%
RT	RT	195.1	1345	200.4	1382	18	65.2
400	204	181.8	1254	182.6	1259	14.6	63.1
500	260	181	1248	181.1	1249	14.1	60.8

直径 2.375インチ(60.3mm)の冷間加工した丸棒(圧下率:54%)の
室温および高温引張特性の方向(縦方向および横方向)による違い

試験温度		方向	0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び	絞り
°F	°C	-	ksi	MPa	ksi	MPa	%	%
RT	RT	長手方向	181.4	1251	190.5	1313	21.2	71.1
		横方向	156.6	1080	183	1262	18.8	60.9
350	177	長手方向	160.2	1105	166.6	1149	18.5	72.2
		横方向	138.3	954	160.9	1109	16.1	59.6
450	232	長手方向	156.1	1076	163.1	1125	18.3	72.2
		横方向	139	958	156.7	1080	14.8	59.3

RT= 室温

チューブの平均室温引張特性(圧下率:52–53%)

条件	0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び
	ksi	MPa	ksi	MPa	
冷間加工したチューブ	187.3	1291	195	1345	15.1

冷間加工(圧下率:52–53%)したチューブ(直径:3.5インチ、肉厚:0.43インチ)の
室温および高温引張特性の方向(長手方向および横方向)による違い

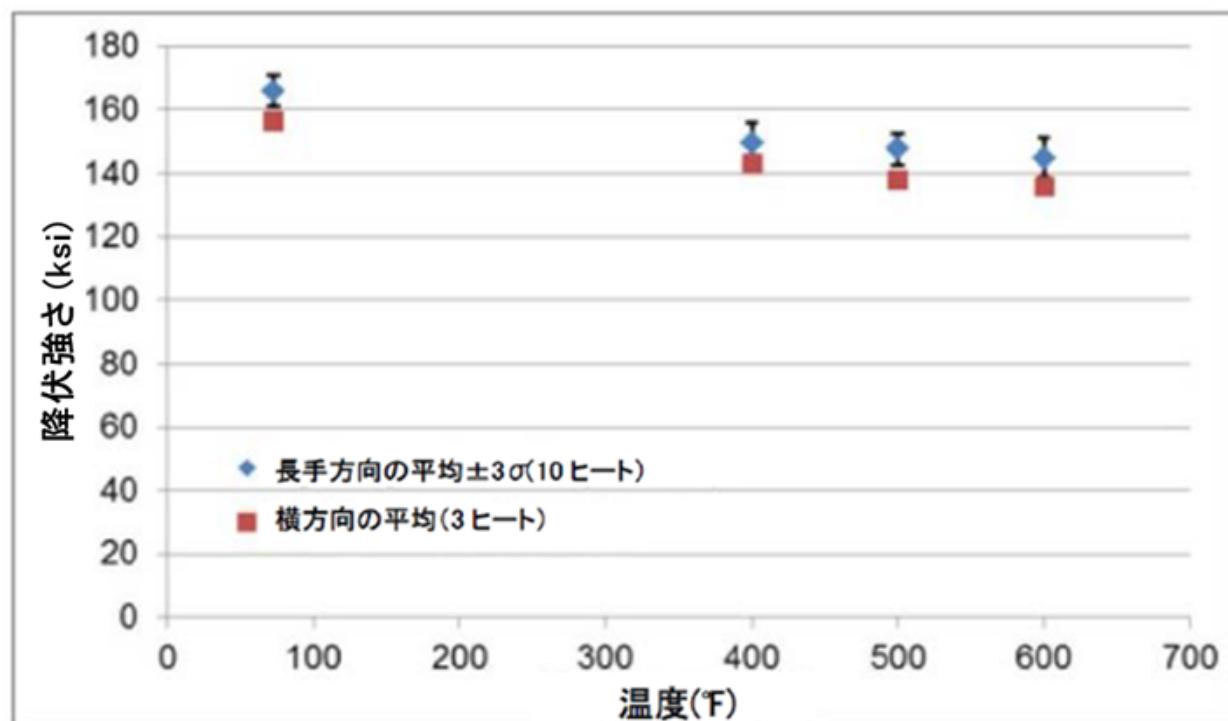
試験温度		方向	0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び	絞り
°F	°C	-	ksi	MPa	ksi	MPa	%	%
RT	RT	長手方向	166	1145	180.4	1244	18.8	69.5
		横方向	156.3	1078	175.8	1212	29.2	63.6
400	204	長手方向	149.3	1029	157.6	1087	16.8	68.7
		横方向	143.2	987	155.1	1069	25.8	64.8
500	260	長手方向	147.6	1018	154.2	1063	16.5	67.1
		横方向	138	951	151.4	1044	24.8	60.9
600	316	長手方向	144.9	999	151.5	1045	16.9	66.4
		横方向	135.7	936	147.5	1017	25.5	62.3

値は10回の試験の平均値

RT= 室温

冷間加工材の引張特性(続き)

冷間加工したC-22HS®チューブの統計による温度ディレーティング



衝撃強さ

C-22HS® 合金の室温シャルピー V-ノッチ 衝撃試験結果

冷間加工	時効温度 (°F/°C)	時効時間 (hr)	衝撃エネルギー (ft-lb)*	
			長手方向	横方向
0	1050/566	10	116	128
	1100/593	1	111	120
		100	118	115
	1150/621	10	112	124
25	1050/566	1	61	65
		100	31	31
	1100/593	10	38	38
		10	36	40
	1150/621	1	38	38
		100	57	63
		100	18	19
	1050/566	10	21	21
50	1100/593	1	30	30
		100	29	33
	1150/621	10	14	15

*3回の試験の平均

破壊靱性

ASTM E1820 室温試験

材料条件	試験片	Jc (lbs/in)	KJC (ksi.in ^{1/2})
冷間加工 (圧下率: 52–53%)	1	921	174
	2	1151	195
	3	897	172

外径4.25 in (108 mm) x 内径2.25 in (57 mm) のチューブに、120度間隔で肉厚の半分まで切欠きを入れたコンパクト(Compact Tension, [C(T)])試験片

硬度

材料条件	硬度, HRC*
冷間加工(圧下率: 43–47%)した丸棒	42
冷間加工(圧下率: 43–47%)したチューブ	42

*平均値

HRC= ロックウェル硬さ "C"

圧縮強さ

直徑 0.75 インチ(19.1 mm) の冷間加工(圧下率: 44%)した丸棒 の室温圧縮強さおよび対応する引張データ

材料条件	圧縮降伏強さ*		圧縮強さ*		引張降伏強さ*		引張強さ*	
	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa
冷間加工(44%)した丸棒	163	1124	219	1510	205	1413	210	1448

*2回の試験の平均値

サワーガス環境に対する耐性

サワーガス試験 – NACE TM0177 Method A 引張試験、試験レベル II および III、
720 時間、適用応力 = 100% YS

材料条件	ヒート	降伏強さ (ksi)	炭素鋼に結合*	炭素鋼に非結合*
冷間加工	ヒート 1	205	合格	合格
	ヒート 2	191	合格	合格
	ヒート 3	204	合格	合格
	ヒート 4	233	合格	合格
	ヒート 5	225	合格	合格
	ヒート 6	223	合格	合格
	ヒート 7	215	合格	合格
	ヒート 8	222	合格	合格

*3回の試験

サワーガス試験 – NACE TM0177 Method C、90日 C-リング試験、
試験レベル VII: 25% NaCl、500 psi (3.5 MPa) H₂S + 500 psi (3.5 MPa) CO₂、
硫黄元素 = 1 g/l および 5 g/l**
試験温度: 401°F (205°C)、適用応力 = 100% YS
材料条件: 冷間加工

ヒート	降伏強さ (ksi)	結果*
ヒート 1	205	1 g/l S: 合格 5 g/l S: 合格
ヒート 2	187	1 g/l S: 合格 5 g/l S: 合格
ヒート 3	188	1 g/l S: 合格 5 g/l S: 合格

*3回の試験

**攪拌有り

サワーガス試験 – NACE TM0177 Method C、90日 C-リング試験、
試験レベル VII-Plus: 25% NaCl、1000 psi (6.9 MPa) H₂S + 1000 psi (6.9 MPa)
試験温度: 550°F (288°C)、適用応力 = 100% YS
材料条件: 冷間加工

3回の合格試験結果	
ヒート	降伏強さ (ksi)
ヒート 1	205
ヒート 2	187
ヒート 3	188
ヒート 4	233
ヒート 5	225
ヒート 6	223
ヒート 8	222

サワーガス環境に対する耐性(続き)

サワーガス試験 - NACE TM0198 低ひずみ速度引張試験、
 試験レベル VII: 25% NaCl、500 psi (3.5 MPa) H₂S + 500 psi (3.5 MPa) CO₂、
 硫黄元素無し (w/o S)
 試験温度: 401°F (205°C)
 材料条件: 冷間加工

試験環境*	破断までの時間 (h)	伸び (%)	絞り (%)	破断までの時間比	伸び比	絞り比	二次クラック
空気	8.9	12.8	63.4	-	-	-	-
レベル VII w/o S	8.4	12.1	63.2	0.95	0.95	1	無し

*空気 - 1回の試験; レベル VII w/o S - 3回の試験

サワーガス試験 - NACE TM0198 低ひずみ速度引張試験、
 試験レベル VII: 25% NaCl、500 psi (3.5 MPa) H₂S + 500 psi (3.5 MPa) CO₂、
 硫黄元素有り
 試験温度: 401°F (205°C)
 材料条件: 冷間加工

試験環境*	破断までの時間 (h)	伸び (%)	絞り (%)	破断までの時間比	伸び比	絞り比	二次クラック
空気	8.9	12.8	63.4	-	-	-	-
レベル VII w/S	8.2	11.7	62.4	0.92	0.91	0.98	無し

*空気 - 1回の試験; レベル VII w/o - 3回の試験

水素脆性に対する耐性

低ひずみ速度引張試験 - 冷間加工材

周囲環境	最大負荷		正規化係数	破壊までの時間
	lb	kg		
空気	3997	1813	-	11.6
空気	4008	1818	-	14.1
3.5% NaCl	4020	1823	1	12.9
3.5% NaCl	3937	1786	0.98	11.1
3.5% NaCl @ -850 mV	3925	1780	0.98	10.9
3.5% NaCl @ -850 mV	4003	1816	1	13.6
3.5% NaCl @ -1000 mV	3956	1794	0.99	13.8
3.5% NaCl @ -1000 mV	3908	1773	0.98	10.9

耐酸性

冷間加工(圧下率:40%)した薄板の
一般的な酸の水溶液中における腐食速度

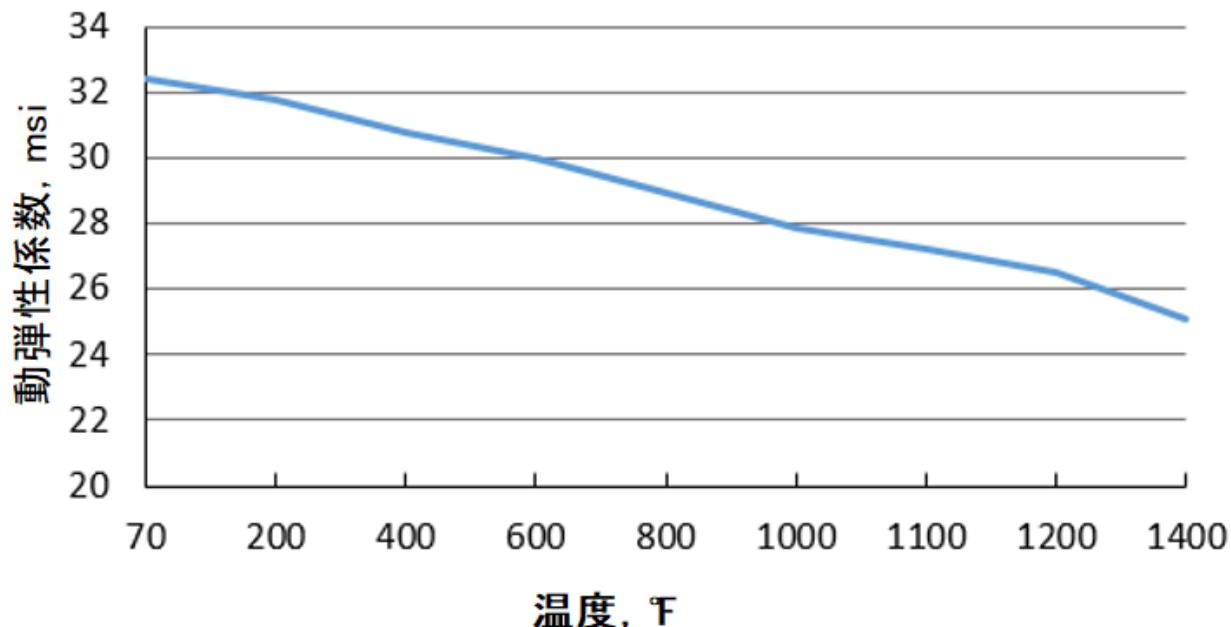
酸	濃度	温度		腐食速度	
	wt%	°F	°C	mpy	mm/y
塩酸	1	沸騰		0.4	0.01
	5	175	79	30	0.76
	10	100	38	<0.1	<0.01
	20	100	38	7.2	0.18
臭化水素酸	5	200	93	1.7	0.04
硝酸	20	沸騰		1.7	0.04
	40	175	79	2.1	0.05
	60	175	79	4.7	0.12
フッ化水素	5	125	52	18.8	0.48
リン酸	60	沸騰		4.7	0.12
クロム酸	10	150	66	5.1	0.13
硫酸	10	200	93	3.8	0.1
	20	200	93	2.8	0.07
	30	200	93	6.8	0.17
	40	175	79	1.1	0.03
	50	175	79	13.1	0.33
	60	150	66	0.3	0.01
	70	150	66	3.1	0.08
	80	150	66	4.8	0.12
	90	150	66	1.3	0.03
ASTM G-28A*	-	沸騰		42.4	1.08
ASTM G-28B**	-	沸騰		9.8	0.25

* ASTM G-28A = 50% H₂SO₄ + 42 g/l Fe₂(SO₄)₃

** ASTM G-28B = 23% H₂SO₄ + 1.2% HCl + 1% Fe₃Cl + 1% CuCl₂

動弾性係数

冷間加工したC-22HS®合金の動弾性係数



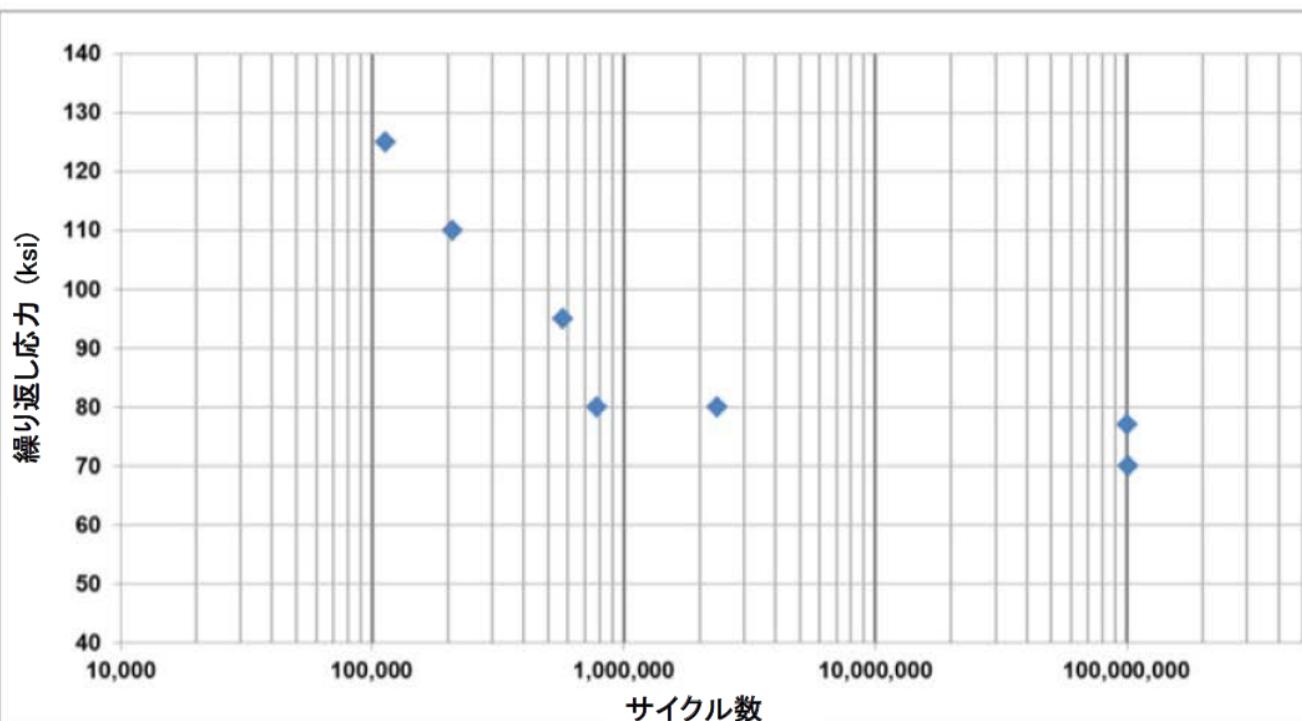
高サイクル疲労

材料: 43%の圧下率で冷間加工した直径: 0.5 in(12.7 mm)の丸棒

(0.2%YS – 191 ksi, UTS – 196 ksi, %EL – 18, %RA – 66)

RR Moore 回転4点曲げ疲労試験

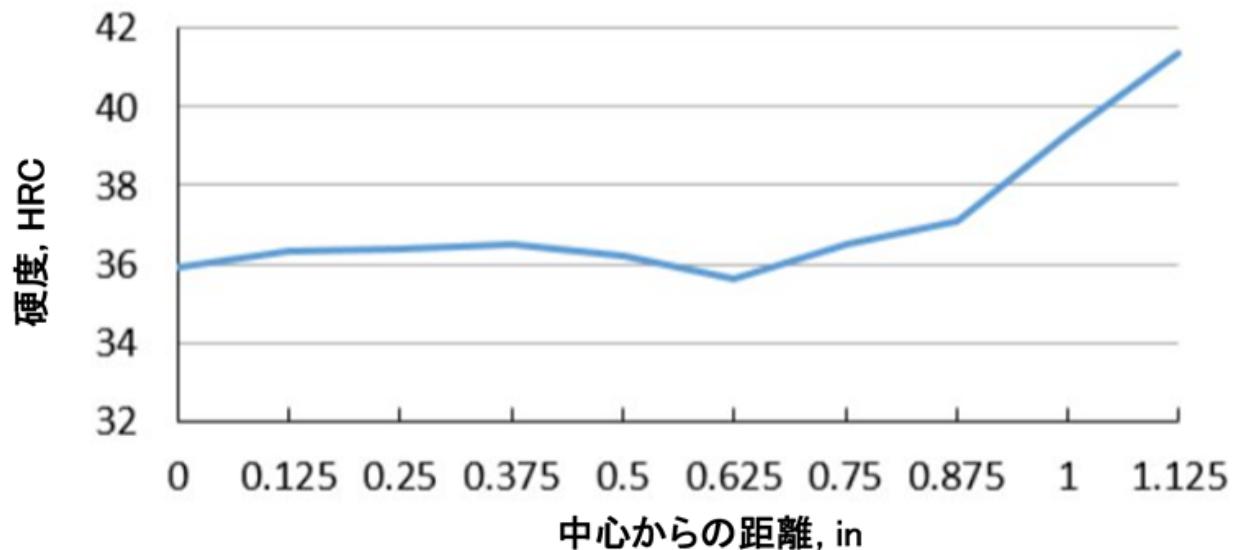
応力比 R = -1.0, 167 Hz, 室温



硬度分布

冷間加工した丸棒の硬度分布

直径: 2.375 in (60.3 mm), 圧下率: 54%



HRC = ロックウェル硬さ "C"

直径(in)	冷間加工の 圧下率(%)	降伏強さ(ksi)		硬さ (HRC)	
		表面下 1"	半径の中間	表面下 1"	半径の中間
7.5	50	185.5	180.3	-	-
8	50	175.4	-	-	-
8.25	40	168.1	166.2	38.6	36.1
10	30	162.3	149.8	40	35

HRC= ロックウェル硬さ "C"

熱安定性

冷間加工(圧下率:43%)した直径:0.5 in (12.7 mm)の丸棒の引張特性に対する熱曝露の影響

材料の初期条件	熱曝露条件	試験温度		0.2% 耐力		極限引張強さ		伸び	絞り
		°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa		
圧下率:43% で冷間加工	-	RT	RT	195.1	1345	200.4	1382	18	65.2
		500	260	181	1248	181.1	1249	14.1	60.8
圧下率:43% で冷間加工	500°F/4000h/AC	RT	RT	205.8	1419	212.6	1466	16	62.6
		500	260	176	1214	178.5	1231	15	61.1
圧下率:43% で冷間加工	500°F/8000h/AC	RT	RT	209.9	1447	209.9	1447	16	60.7
		200	93	192.8	1329	192.8	1329	17	63.8
		500	260	186.6	1287	186.6	1287	13.4	60.7

AC=空冷

RT=室温

冷間加工(圧下率:44%)した直径:1 in (25.4 mm)の丸棒の衝撃強さに対する熱曝露の影響

材料の初期条件	熱曝露条件	シャルピー衝撃エネルギー	
		ft.ibf	J
		RT	-75°F (-59°C)
圧下率:44% で冷間加工	-	146 (198)	153 (207)
圧下率:44% で冷間加工	500°F/4000h/AC	136 (184)	135 (183)

AC= 空冷

RT= 室温

サワーガス環境に対する溶接部の耐性

サワーガス試験 – NACE TM0177 試験レベル II および III, Method A, Solution A,
適用応力 = 100% YS, 材料条件: 全溶接金属, 溶接したままの状態

ヒート	降伏強さ (ksi)	結合条件	結果*
1	62	炭素鋼に結合	合格
		炭素鋼に非結合	合格
2	65	炭素鋼に結合	合格
		炭素鋼に非結合	合格
3	63	炭素鋼に結合	合格
		炭素鋼に非結合	合格

*3回の試験

サワーガス試験 – NACE TM0198 低ひずみ速度引張, レベル VII,
試験環境: 25% NaCl, 500 psi (3.5 MPa) H₂S + 500 psi (3.5 MPa) CO₂, 401°F (205°C),
材料条件: 全溶接金属, 溶接したままの状態

ヒート	試験環境*	破断までの時間 (h)	伸び(%)	絞り(%)	破断までの時間比	伸び比	絞り比	二次クラック
1	空気	33.3	47.9	63.5	-	-	-	-
	レベル VII w/o S	32.1	46.2	61.2	0.96	0.96	0.96	なし
2	空気	28.4	40.9	58.4	-	-	-	-
	レベル VII w/o S	26.5	38.2	55.7	0.93	0.93	0.95	なし
3	空気	28.9	41.6	59.7	-	-	-	-
	レベル VII w/o S	28.5	41.2	61	0.99	0.99	1.02	なし

*空気 – 2回の試験、レベル VII w/o S – 3回の試験

サワーガス試験 – NACE TM0198 低ひずみ速度引張, レベル VII,
試験環境: 25% NaCl, 500 psi (3.5 MPa) H₂S + 500 psi (3.5 MPa) CO₂,
材料条件: 全溶接金属、溶接したままの状態、ヒート 1

試験温度	試験環境*	破断までの時間 (h)	伸び(%)	絞り(%)	破断までの時間比	伸び比	絞り比	二次クラック
350°F (177°C)**	空気	35.2	50.7	64.1	-	-	-	-
	試験環境 + 硫黄	34.2	49.3	63.6	0.97	0.97	0.99	なし
400°F (204°C)***	空気	35.8	51.5	63.1	-	-	-	-
	試験環境 + 硫黄	34.5	49.6	56.1	0.96	0.96	0.89	なし
500°F (260°C)***	空気	33.7	48.5	64.3	-	-	-	-
	試験環境	33.7	48.6	61	1	1	0.95	なし
550°F (288°C)**	空気	34.1	49.1	65.7	-	-	-	-
	試験環境	32.2	46.3	61.7	0.94	0.94	0.94	なし

*空気 – 1回の試験; 試験環境 – **2回の試験、***3回の試験

溶接の機械的特性

C-22HS® 合金の横方向溶接の室温引張試験結果

溶接し放し条件

試験	0.2% 耐力 (ksi)	極限引張強さ (ksi)	伸び(%)	絞り(%)	破断位置
GTAW - 0.125 in (3.2 mm) 薄板、自生溶接 カバーパス有り					
A	66.2	115.3	31.5	-	溶接金属
B	64.6	119.2	41	-	溶接金属
C	65.3	113.3	30.3	-	溶接金属
平均	65.4	115.9	34.3	-	-
GTAW - 0.5 in (12.7 mm) 厚板、直径 0.125 in (3.2 mm) の溶加金属使用					
A	67.9	115.8	45.6	51.3	溶接金属
B	68.3	114.9	44.1	62.6	溶接金属
C	66.4	113.4	42.3	54.8	溶接金属
平均	67.5	114.7	44	56.2	-
GMAW - 0.5 in (12.7 mm) 厚板、直径 0.045 in (1.1 mm) の溶加金属使用					
A	64.3	114.2	46.2	48	溶接金属
B	63.3	113.7	46	43.1	溶接金属
C	64.8	113.8	46.4	47	溶接金属
平均	64.1	113.9	46.2	46	-
GMAW - 1.0 in (25.4 mm) 厚板、直径 0.045 in (1.1 mm) の溶加金属使用					
A	63.3	113.4	40.4	49.8	溶接金属
B	63.3	111.9	38.8	55.9	溶接金属
C	62	114	38.9	53.2	溶接金属
平均	62.9	113.1	39.4	53	-

溶接の機械的特性(続き)

C-22HS® 合金の全溶接金属の室温引張試験結果 溶接し放し条件

ヒート	試料	0.2% 耐力 (ksi)	極限引張強さ (ksi)	伸び(%)	絞り(%)
1	GTAW 長手方向	66.4	102.7	39.2	49.1
	GMAW 長手方向	66.0	105.0	53.1	53.0
2	GMAW 長手方向	64.8	106.1	48.4	59.7
		65.6	106.9	50.7	56.2
	GMAW 横方向	63.1	103.5	46.8	62.7
		62.7	104.6	54.6	63.9
3	GMAW 長手方向	71.2	112.0	49.6	56.3
		62.9	106.7	47.9	53.4
	GMAW 横 方向	65.0	105.2	45.9	58.3
		64.9	105.9	50.5	57.5

C-22HS® 合金の溶接金属のシャルピー V-ノッチ衝撃試験結果 溶接し放し条件

試験温度	衝撃エネルギー (ft-lb)			
	Test 1	Test 2	Test 3	Avg.
GTAW - 0.5 in (12.7 mm) 厚板、直径 0.125 in (3.2 mm) の溶加金属使用				
RT	154.2	166.2*	178.6*	166.3
-320°F (-196°C)	127.4	131.6	120.1	126.3
GMAW - 0.5 in (12.7 mm) 厚板、直径 0.045 in (1.1 mm) の溶加金属使用				
RT	143.7	147	143.9	145.2
-320°F (-196°C)	117.3	109.8	122.2	116.4
GMAW - 1.0 in (25.4 mm) 厚板、直径 0.045 in (1.1 mm) の溶加金属使用				
RT	129.9	163.4*	149.5	147.6
-320°F (-196°C)	118.4	122.8	126.6	122.6

*試験試料は破断せず

適合規格

規格

HASTELLOY® C-22HS® 合金 (N07022)	
薄板、厚板および帯板	-
ビレット、ロッドおよび棒	B 637
被覆アーク溶接棒	-
裸溶接棒およびワイヤ	-
継ぎ目なしパイプおよびチューブ	B 983
溶接パイプおよびチューブ	-
継手類	-
鍛造材	B 637
DIN	-
TÜV	-
その他	NACE MR0175

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。