

軟質磁性材料 **Soft Magnetic**
コバルト鉄合金 **Cobalt-Iron Alloys**

VACOFLEX[®] and VACODUR[®]
(ヴァコフレックスとヴァコドゥア)



注；本紙は参考和訳版となります。万が一内容に齟齬がありました場合には、英文版が正文となります。

作成日；2016年11月1日

作成者；VAC Magnetic Japan 株式会社 濱中秀利

Soft Magnetic 軟磁性

Cobalt-Iron Alloys コバルト鉄合金

Table of Contents 目次

INTRODUCTION 紹介	3
MAGNETIC PROPERTIES 磁気特性	6
DC magnetic properties of strip material 条材の直流磁気特性.....	7
DC magnetic properties of solid material 固形体材料の直流磁気特性.....	9
Specific core losses of strip material 条材のコアロス.....	9
MECHANICAL PROPERTIES 機械特性	11
Mechanical properties of strip material 条材の機械特性.....	12
Mechanical properties of solid material 固形体材料の機械特性.....	12
FURTHER PHYSICAL PROPERTIES その他物理特性	14
CORROSION RESISTANCE (VACOFLUX 9 CR) 耐食性	15
FURTHER PROCESSING その他加工	16
Magnetic final annealing 最終磁気焼鈍.....	16
Adjusting mechanical properties for VACODUR strip material VACODUR 条材 ... の機械特性の調整.....	15
General processing information 一般加工情報.....	19
FORMS OF SUPPLY 供給形状	21

INTRODUCTION 紹介

VACUUMSCHMELZE は磁気と特定の物理特性に焦点をあてた特別な合金の世界でのリーディング製造者の 1 社です。軟質磁性合金に加え VAC 社の製品レンジは永久磁石、インダクティブコンポーネントおよび特殊物理特性をもった他の材料を含みます。

特に磁気に関しての材料の専門知識と経験に強みを持つので、弊社はお客様のビジョンと設計案に沿った革新的な解決法を提案することができます。

弊社は新技術の導入を通して市場における優位を生み出すことができる製品を開発するためのパートナーと共同で働きたいと考えます。

弊社の軟質磁性材料はアモルファスとナノ結晶合金に加えて、ニッケル鉄合金、シリコン鉄合金、コバルト鉄合金を含みます。

2.38 テスラに達する高い磁気飽和のゆえに、コバルト (CoFe) 鉄合金 VACOFLUX® と VACODUR® は一般的に、高磁束密度と最小重量が求められるすべてのアプリケーションに適当です。

Table 1: Composition and material standards 成分と材料規格

Material 材料	Composition in % by weight 重量%	IEC 60404-8-6¹⁾	ASTM A801-09
VACOFLUX 48	49 % Fe, 49 % Co, 2 % V	F11	Alloy Type 1
VACOFLUX 50	49 % Fe, 49 % Co, 2 % V	F11	-
VACODUR 49	49 % Fe, 49 % Co, 2 % V + Nb	F11	Alloy Type 1
VACODUR 50	49 % Fe, 49 % Co, 2 % V + Nb	F1	-
VACODUR S Plus	49 % Fe, 49 % Co, 2 % V + Ta, Zr	F1	-
VACOFLUX 27	Residual Fe, 27 % Co + Nb	F31	Alloy Type 2
VACOFLUX 17	Residual Fe, 17 % Co, 2 % Cr + Mo	-	-
VACOFLUX 18 HR	Residual Fe, 18 % Co, 2.5 % Cr, 2 % V, 1.5 % Mn	-	-
VACOFLUX 9 CR	Residual Fe, 9 % Co, 10 % Cr, 2 % Mo, 1 % Al	-	-

1) equivalent to DIN EN 60404-8-6 and BS EN 60404-8-6

VACUUMSCHMELZE 社のコバルト鉄合金は 3 つのグループに分類されます。

VACOFLEX 48 / 50 ヴァコフックス 48 と 50

VACOFLEX 48 は合金純度が高いことにより、最小保磁力と最高透磁率を示します。特に薄い条厚みでの通常供給形状では VACOFLEX 48 がコバルト鉄から作られる低損失ラミネーションスタックには最適解決法と考えられます。

VACOFLEX 50 は VACOFLEX 48 に似た合金で、とても高い飽和値を持ち低い保磁力と低いコアロスを示します。さまざまな条寸法や固形体として提供が可能です。

VACODUR 49 / 50 / S Plus ヴァコドゥア 49 / 50 / S プラス

Vacodur 合金群は高い飽和を持ちつつ高い強度へのさらなる要求のために開発されました。

条材料は、耐力を、熱処理温度を変える事により広い範囲の中から異なるレベルに設定することができます。

VACODUR 49 耐力は 250~400MPa の範囲でのある範囲に設定することが可能です。これにより特にモータアプリケーションに適當です：ステーターとローターが同じ材料から打ち抜かれ、しかし異なる熱処理を経る事で磁気特性が最適化されたステーターと定義された耐力に設定されたローターをつくることができます。

VACODUR 50 は熱処理をすることにより、390~450Mpa までの範囲で、より高い範囲の耐力にすることができます。

VACODUR S Plus は 800MPa までの耐力を設定することができるので高速ロータに理想的です。そのような高耐力にもかかわらず、材料の鉄損は比較的低いままです。

VACOFLEX 27 / 17 / 18 HR / 9 CR

コバルト含有量を減らした VACOFLEX 27, VACOFLEX 17, 18 HR および 9 のような合金は高パフォーマンスのアクチュエータシステム向けに開発されました。

VACOFLEX 27 は全コバルト鉄合金の中で最も高い飽和値を提供します。さらに優れた延性も示します。この合金は熱間圧延材、鍛造棒、あるいはワイヤーとして提供可能です。電気抵抗値が比較的低いため一般的には直流的なアプリケーションに用いられます。

VACOFLEX 17 は 2.22 テスラという高い飽和値を示し、高圧ディーゼルインジェクションの分野で使用されます。この合金は冷間加工可能です。

VACOFLEX 18 HR はさらに続く開発品で、2.09 テスラという高飽和値を持ち、増加させた電気抵抗値 0.65 $\mu\Omega\text{m}$ をもちます。増加した電気抵抗値によりより早いスイッチング時間を可能にし、追加成分が機械加工性を改善しています。

VACOFLEX 9 CR

はとても高い電気抵抗値を備え、耐食性が大幅に改善されています。鉄クロム合金に比べて高い飽和値 1.8 テスラは、クロム、モリブデンとコバルトの合金の含有量の最適化のおかげです。

Table 2: コバルト鉄合金のアプリケーション例

Material	Application example
VACOFLUX 48	高い出力密度と最低損失を備えたモータならびにジェネレーターや高磁束密度で低損失トランス
VACOFLUX 50	最高トルクを持ったモータならびにジェネレーター、最高の力をもったアクチュエータ、とても高い磁束密度のためのヨーク部品や磁極片、磁気レンズ、ドットマトリックスプリンタ、リレー部品
VACODUR 49	高速のモータならびにジェネレーター、ステーターならびにローターアプリケーション
VACODUR 50	高速のモータならびにジェネレーター、高速心力のため積層ラミネーションロータのためのアプリケーション
VACODUR S Plus	最高速のモータならびにジェネレーター、とても高い遠心力向けの積層ラミネーションローターのためのアプリケーション
VACOFLUX 27	バックアイアン（裏打ち鉄）、磁極子およびその他の磁束ガイド要素、高出力の電磁アクチュエータ、流体ならびに気体システム、直流磁場での多くのアプリケーション
VACOFLUX 17	ディーゼルインジェクションのような高圧駆動の自動車向け部品ならびにアクチュエータ
VACOFLUX 18 HR	一般的に迅速スイッチアクチュエータならびにソレノイドバルブなど、高速スイッチ速度の自動車産業向け部品ならびにアクチュエータ
VACOFLUX 9 CR	ガソリンや有機燃料インジェクション、腐食溶媒のための高速スイッチ時間と高圧で働くソレノイドバルブなどに代表される、耐食性のために特別な要求をもった自動車産業向けの部品ならびにアクチュエータ

MAGNETIC PROPERTIES 磁気特性

お客様への出荷に先立ち、すべての半完成製品は磁気特性に関して試験されます。この試験はリング状、帯状あるいは棒状のサンプルで行われます。サンプルは磁気特性最適化のための熱処理がなされます。測定は IEC 60404-4, IEC 60404-6 and IEC 60404-7 規格に基づいて行われます。高い磁場で測定される測定されたインダクション中のエアフラックス補正はリングのバリステック測定法により実施されます。

合意の顧客仕様によっては、供給される製品から直接とられた測定値となることもあります。しかしながら、この場合は測定される対象物、試験方法および相当する測定箇所が対応する制限値とともに（前もって）合意されていなければなりません。

Table 3: General magnetic properties after magnetic final annealing
Typical values 最終磁気焼鈍後の一般磁気特性の典型値

Material	Curie	Saturation	Saturation	Saturation
	Temperature	magnetostriction	Polarization	magnetization
	キュリー温度	飽和磁歪	飽和分極	飽和磁化
	T_c	λ_s	J_s	B_s
	°C	ppm	T	T
VACOFLUX 48	950	+70	2.30	2.35
VACOFLUX 50	950	+70	2.30	2.35
VACODUR 49	950	+70	2.30	2.35
VACODUR 50	950	+70	2.28	2.33
VACODUR S Plus	950	+70	2.25	2.30
VACOFLUX 27	950	+40	2.38	2.43
VACOFLUX 17	920	+25	2.22	2.27
VACOFLUX 18 HR	920	+25	2.09	2.14
VACOFLUX 9 CR	800	+30	1.80	1.85

DC magnetic properties of strip material 条材の直流磁気特性

**Table 4: DC magnetic properties after magnetic final annealing (strip thickness 0.35 mm)
Typical values**

(条厚 0.35mm) 最終磁気焼鈍後の直流磁気特性の典型値

Material	H_c max.	H_c typ.	μ_{max}	B at 300 A/m	B at 800 A/m	B at 1600 A/m	B at 4000 A/m	B at 8000 A/m	B at 16000 A/m
	A/m	A/m		T	T	T	T	T	T
VACOFLUX 48	≤40	35	18000	2.05	2.18	2.24	2.275	2.29	2.30
VACOFLUX 50	≤80	50	15000	1.90	2.10	2.20	2.255	2.28	2.30
VACODUR 49 ¹⁾	≤80	50	15000	1.90	2.10	2.20	2.255	2.28	2.30
VACODUR 49 ²⁾	≤160	110	8000	1.80	2.05	2.15	2.25	2.27	2.30
VACODUR 50 ¹⁾	≤160	110	8000	1.80	2.05	2.15	2.22	2.26	2.28
VACODUR 50 ²⁾	≤200	160	5000	1.70	2.00	2.11	2.19	2.23	2.26
VACODUR S Plus ¹⁾	≤140	120	6000	1.60	1.92	2.07	2.15	2.19	2.21
VACODUR S Plus ²⁾	≤700	600	1100	-	1.20	1.80	2.03	2.11	2.15
VACOFLUX 17	≤200	100	3500	1.2	1.5	1.6	1.75	1.9	2.05

H_c = coercive field strength 保磁力, μ_{max} = relative maximum permeability 相対最大透磁率, B = induction インダクション

1) annealed for optimum magnetic properties 磁気特性最適化焼鈍

2) annealed for optimum mechanical properties, see section "Adjusting mechanical properties for VACODUR strip material"
機械特性最適化焼鈍、“Adjusting mechanical properties for VACODUR strip material”を参照

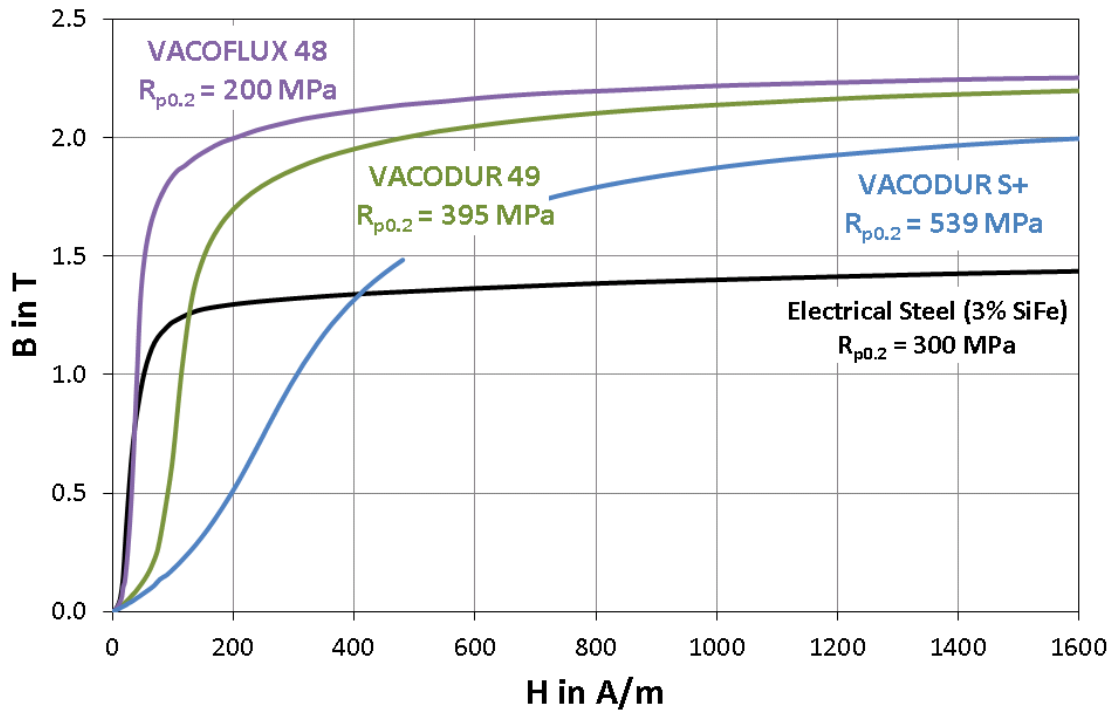


Figure 1: **Normal DC magnetization curves of some 50 % CoFe alloys (strip material) and a reference material (3 % SiFe) with corresponding yield strengths $R_{p0.2}$.**

耐力 $R_{p0.2}$ といくつかの 50% コバルト鉄合金（条材）と参照材料（3% 電磁鋼板）の通常の直流磁化曲線

DC magnetic properties of solid material 固形体材料の直流磁気特性

Table 5: DC magnetic properties after magnetic final annealing (solid material)
Typical values

(固形体材料) 最終磁気焼鈍後の直流磁気特性の典型値

Material	H _c	H _c	μ _{max}	J at	J at	J at	J at
	max.	typ.		10 kA/m	16 kA/m	20 kA/m	40 kA/m
	A/m	A/m		T	T	T	T
VACOFLUX 50 ¹⁾	≤ 240	100	7000	2.27	2.28	2.28	2.29
VACODUR 49 ^{1) 3)}	≤ 240	100	7000	2.27	2.28	2.28	2.29
VACOFLUX 27	≤ 240	150	3000	2,11	2,22	2,27	2,38
VACOFLUX 17 ²⁾	≤ 200	140	3200	1.94	2.04	2.09	2.19
VACOFLUX 18 HR ²⁾	≤ 350	170	2500	1.87	1.96	2.00	2.06
VACOFLUX 9 CR ¹⁾	≤ 200	130	3000	1.70	1.76	1.78	1.80

H_c = coercive field strength 保磁力, μ_{max} = relative maximum permeability 相对最大透磁率, J = polarization 分極

1) hot-rolled 熱間圧延, 2) cold drawn 冷間引抜, 3) only magnetically optimised state 時期的に最適化された状態でのもののみ

Specific core losses of strip material 重量あたりの条材のコアロス

Table 6: Specific core losses of strip material after magnetic final annealing (strip thickness 0.35 mm)
Typical values

(条厚 0.35mm)最終熱焼鈍後の条材の重量あたりのコアロスの典型値

Material	p _{Fe}	p _{Fe}	p _{Fe}	p _{Fe}	p _{Fe}	p _{Fe}
	1.5 T	1.5 T	1.5 T	2.0 T	2.0 T	2.0 T
	50 Hz	400 Hz	1000 Hz	50 Hz	400 Hz	1000 Hz
	W/kg	W/kg	W/kg	W/kg	W/kg	W/kg
VACOFLUX 48	1.5	30	145	2.2	58	335
VACOFLUX 50	1.6	31	147	2.5	60	322
VACODUR 49 ¹⁾	1.6	31	150	2.5	60	333
VACODUR 49 ²⁾	3.0	42	174	5.0	78	365
VACODUR 50 ¹⁾	3.0	42	174	5.0	78	365
VACODUR 50 ²⁾	4.5	53	199	7.7	93	394
VACODUR S Plus ¹⁾	3.0	43	186	5.0	74	352
VACODUR S Plus ²⁾	11,5	109	349	22	208	660
VACOFLUX 17	3.8	54	233	7.0	88	400

p_{Fe} = specific core losses 重量あたりのコアロス;

-
- 1) annealed for optimum magnetic properties 磁気特性最適化焼鈍
 - 2) annealed for optimum mechanical properties, see section "Adjusting mechanical properties for VACODUR strip material"
機械特性最適化焼鈍、“Adjusting mechanical properties for VACODUR strip material”を参照

MECHANICAL PROPERTIES 機械特性

最終焼鈍後の条と固形体材料の典型的な機械特性は下のテーブルに纏めてあります。最終状態が熱処理と冷間加工によって大きく異なるため、本データはあくまで参考とされるべきものです。材料の納入状態によっては特性値の若干の方向依存性があることがあります。

機械特性は DIN EN ISO 6892-1 (金属特性の引張り試験)と DIN EN ISO 6507 (ビッカースとしての硬度試験)規格に従って測定されます。

VACODUR 合金群からの打抜き部品の場合は、低いほうの温度 (“機械特性最適化焼鈍”) で焼鈍することにより高強度が得られます。あるいは、高いほうの温度 (“磁気特性最適化焼鈍”) で焼鈍すると最適な磁気特性部品が得られます。条材料の場合には定義された耐力のみを設定することができます。

Figure 2 は VACODUR 合金の磁気特性と調整可能な耐力範囲概観を示します。VACODUR S Plus では最大耐力が 800 MPa まで設定することができます。

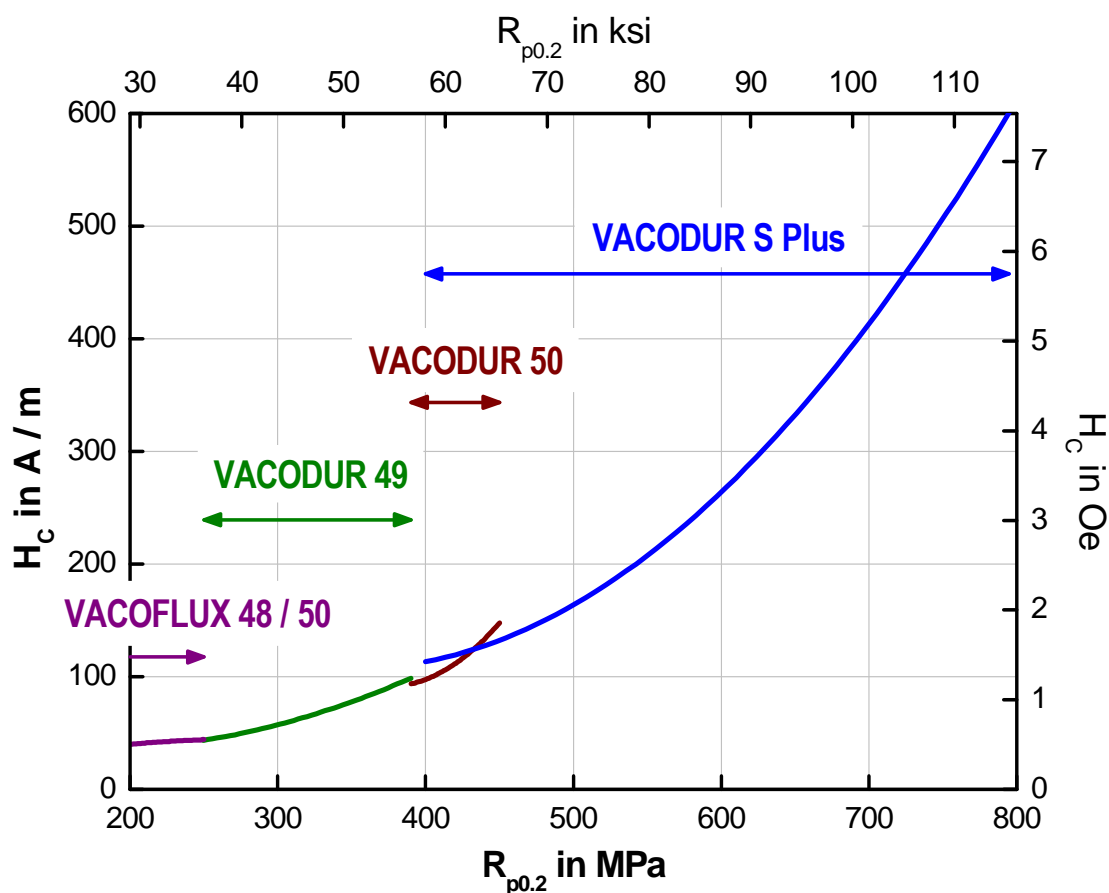


Figure 2: Bandwidth of the ranges adjustable by final annealing for the yield strength $R_{p0.2}$ and coercive field strength H_c for VACOFLUX and VACODUR (strip material 0.35 mm).

VACOFLUX と VACODUR (条材料 0.35mm) の耐力 $R_{p0.2}$ と保磁力 H_c のために最終焼鈍によって調整が可能な帯域

Mechanical properties of strip material 条材料の機械特性

Table 7: Mechanical properties of strip material after final annealing (strip thickness 0.35 mm)
Typical values

最終焼鈍後条材料（条厚み 0.35mm）機械特性典型値

Material	$R_{p0.2}$ MPa	R_m MPa	E GPa	A %	HV10
VACOFLUX 48	190	220	200	2	180
VACOFLUX 50	250	550	210	6	190
VACODUR 49 ¹⁾	210	400	200	4	185
VACODUR 49 ²⁾	390	720	250	8	220
VACODUR 50 ¹⁾	390	720	250	8	210
VACODUR 50 ²⁾	450	820	240	10	240
VACODUR S Plus ¹⁾	400	800	250	6	230
VACODUR S Plus ²⁾	800	1200	250	8	300
VACOFLUX 17	250	450	200	32	140

$R_{p0.2}$ = yield strength 耐力, R_m = tensile strength 引張強度, E = modulus of elasticity 弾性係数, A = elongation at fracture 破断伸び HV10 = Vickers hardness ビッカース硬さ; tensile test sampling parallel to the rolling direction 引張強度試験サンプルは圧延方向に平行

1) annealed for optimum magnetic properties 磁気特性最適化焼鈍

2) annealed for optimum mechanical properties, see section "Adjusting mechanical properties for VACODUR strip material" 機械特性最適化焼鈍、“Adjusting mechanical properties for VACODUR strip material”を参照

Mechanical properties of solid material 固形体材料の機械特性

Table 8: Mechanical properties of solid material after final annealing
Typical values

最終焼鈍後固形体材料機械特性の典型値

Material	$R_{p0.2}$ MPa	R_m MPa	E GPa	A %	HV10
VACOFLUX 50	250	350	215	3	205
VACODUR 49	220	350	205	3	205
VACOFLUX 27	240	550	200	30	170
VACOFLUX 17	250	450	200	32	140
VACOFLUX 18 HR	400	600	210	28	200

VACOFLUX 9 CR	330	490	180	35	170
---------------	-----	-----	-----	----	-----

R_{p0.2} = yield strength 耐力, R_m = tensile strength 引張強度, E = modulus of elasticity 弾性係数, A = elongation at fracture 破断伸び HV10 = Vickers hardness ビッカース硬さ

FURTHER PHYSICAL PROPERTIES 他の物理特性

Table 9: Physical properties after magnetic annealing
Typical values 最終焼鈍後の物理特性の典型値

Material	electrical resistivity	mass density	coefficient of linear expansion	thermal conductivity
	電気抵抗値	比重	線形膨張係数 (20..200 °C)	熱伝導度 at 25°C
	ρ_{el}	ρ	α	λ
	$\mu\Omega\text{m}$	g/cm^3	$10^{-6}/\text{K}$	W/m/K
VACOFLUX 48	0.42	8.12	9.7	33
VACOFLUX 50	0.42	8.12	9.4	30
VACODUR 49	0.42	8.12	8.9	32
VACODUR 50	0.42	8.12	9.0	32
VACODUR S Plus	0.42	8.12	8.8	32
VACOFLUX 27	0.15	7.99	10.8	67
VACOFLUX 17	0.41	7.94	10.7	34
VACOFLUX 18 HR	0.65	7.81	10.5	25
VACOFLUX 9 CR	0.79	7.75	10.9	20

CORROSION RESISTANCE (VACOFLUX 9 CR)

VACOFLUX 9 CR の耐食性

VACOFLUX 9 CR は腐食性溶媒中でのアプリケーション向けに特別に開発されました。これは 13%クロム鋼に比べて、塩水噴霧試験で良好な耐食性を保持しています。

ステンレススチールでも同じですが、最適な耐食性のためには表面が、異金属粒、機械加工や熱処理による酸化膜などによる不純物塩などの不純物を含まないことが必要となります。

腐食に関して技術的な見地からは、穏やかな機械加工の後に表面クリーニングをすることが最適な表面状態を得るために推奨されます。研磨酸洗処理とその後の表面不活性化処理と共に実施されるような時は、特定アプリケーション毎に評価をする必要があります。

熱処理表面、あるいは、そういった処理の結果としての酸化皮膜は機械加工とそれに続く部品洗浄によって取り除かれなければなりません。熱処理後表面の研磨酸洗とそれに続く表面不活性化により耐食性は最適化されます。(17 ページ、forms of supply の項を参照).

Petrol-methanol water ペトロールメタノール水

VACOFLUX 9 CR のサンプルロッドをガソリン-メタノール-水溶液に 130°C で合計 150 時間保管されました。溶液は 84.5%のガソリン、15%のメタノール、0.5%の腐食水(塩化ナトリウム 16.5 mg/L、炭酸水素ナトリウム 13.5 mg/L、蟻酸 14.8 mg/L)から構成されています。サンプルを 40 倍拡大では腐食の兆候はみられませんでした。

Salt spray test 塩水噴霧試験

VACOFLUX 9 CR のサンプルロッドが DIN EN ISO 9227 にしたがって合計 96 時間の塩水噴霧試験の実験材料とされました。元のサンプルは皮むき工程後最終焼鈍され洗浄されたもので、光沢表面でした。腐食の兆候はまったく見られませんでした。

ここでの推奨ならびに考察の概要は初期の概観を与えるだけです。というのは、可能な要求や溶媒や処理方法について幅広い種類があるからです。

FURTHER PROCESSING 次の工程

Magnetic final annealing 最終磁気焼鈍

工程の最後に行われる熱処理（“磁気最終焼鈍”）は磁気特性と機械特性を持たせるためにはなくてはならない工程です。材料中の必要な結晶粒の成長、それに伴って起こる磁気特性の改善は、この最終焼鈍によってのみ実現します。製品データに記載の数値は最終焼鈍を実施した後にのみ得られるものです。

VACOFLEX やVACODUR での可能な熱処理の典型的な温度プロファイルを図4に表示します。

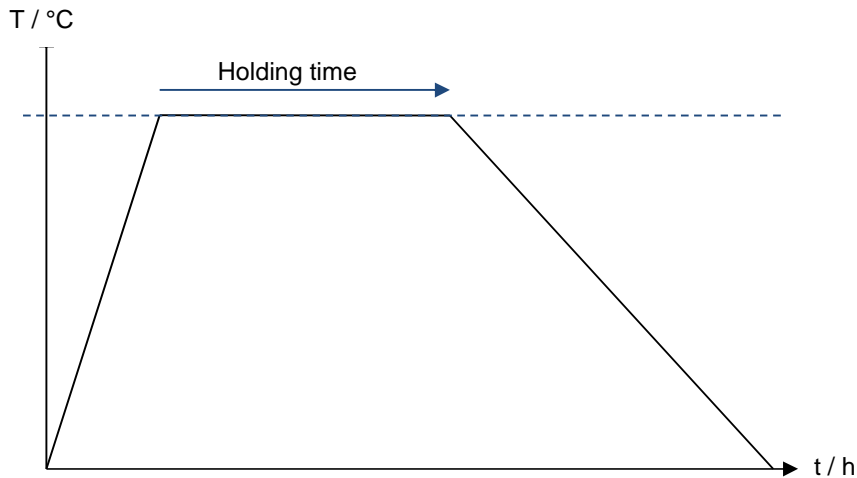


Figure 4: Temperature profile of the final heat treatment of VACOFLEX or VACODUR alloys. VACOFLEX や VACODUR 合金の最終熱処理の温度プロファイル

理想的には焼鈍は乾燥純水素の雰囲気下でTable 10 にリストしている焼鈍温度と保持時間を考慮して行うべきです。真空下または不活性ガスの利用も可能ですが、雰囲気の種類は磁気特性に重大な影響を及ぼします。

水素はそれ自体が強力な還元環境であるという意味で有利で、酸化を防ぐだけでなく、材料の不純物を取り除きます。環境の究極純度を確実なものにするには、水蒸気と酸素の濃度が極小であるべきで、それは、露点温度がマイナス50°C以下であることが必要です。もしも代替としての不活性ガスが使われる場合、有害な不純物を含まないことと低い露点温度であるべきです。

指示された熱処理温度の上限温度を超えてはいけません。そうしなければ、材料内に磁氣的に好ましくない相が形成され、磁気特性の劣化につながるからです。使用する炉の設計構造、製品投入量、部品形状等により、保持時間を変更することが可能です。冷却は不活性ガス雰囲気下で1時間に100~200°Cの冷却速度で150°C以下になるまで連続してなされなければなりません。

VACODUR 合金については冷却速度は1時間に300°Cでもよいかもしれません。

VACOFLEX 9CR は最終焼鈍後に若干変色しますが、これは磁気特性には影響がありません。

Table 10: Recommended parameters for the final heat treatment

最終熱焼鈍の推奨パラメータ

<i>Material</i>	<i>Temperature</i>	<i>Holding time</i>	<i>Holding time</i>	<i>Cooling rate</i>
	°C	strip h	solid material h	
VACOFLUX 48	880	10	-	100 - 200
VACOFLUX 50	820	4	10	
VACODUR 49 ¹⁾	880	6	6	100 - 300
VACODUR 49 ²⁾	750	3	-	
VACODUR 50 ¹⁾	820	4	10	100 - 300
VACODUR 50 ²⁾	750	3	-	
VACODUR S Plus ¹⁾	840	4	-	100 - 300
VACODUR S Plus ²⁾	720	1 - 2	-	
VACOFLUX 27	920	-	10	100 - 200
VACOFLUX 17	850	10	10	
VACOFLUX 18 HR	800	-	10	
VACOFLUX 9 CR	800	-	10	

1) annealed for optimum magnetic properties 磁気特性最適化焼鈍

2) annealed for optimum mechanical properties, see section "Adjusting mechanical properties for VACODUR strip material"
機械特性最適化焼鈍、“Adjusting mechanical properties for VACODUR strip material”を参照

焼鈍中のラミネーションの熱溶接やくっつきを避けるため、条はDL1と名づけられた絶縁薄層が必要となります。最終焼鈍後、この表面処理は典型値で1ミクロン以下の厚みの層として、酸化マグネシウム(MgO)の絶縁皮層に還元されます。

ラミネーション積層でのステータやロータの時のようにさらなる絶縁への要求があるとき、薄い追加的な表面層を形成するために、酸化雰囲気での焼鈍が推奨されます。炉のタイプや必要な酸化層の厚みによっては、350～450℃で30分～3時間熱処理が実施されます。

VACUUMSCHMELZE はお客様にて製造された弊社 VACODUR や VACOFLUX 合金による部品やラミネーションを焼鈍や酸化処理を実施するというオプションも提供しています。

Adjusting mechanical properties for VACODUR strip material

VACODUR 条材料での機械特性の調整

VACODUR 合金群に関しては、特定の耐力値を設定するために熱処理を変えることができます。高めの耐力を得るには低めの焼鈍温度と短い保持時間が選ばれます。特に高耐力では、正確制御温度と時間スペックに合致することが確実にされなければなりません。

VACODUR 49 は焼鈍温度によりとても正確に耐力を設定することが可能です。Figure 3 に示すように焼鈍温度上昇にしたがって、結果としての耐力は線形に減少します。これは製造条件下でもしも定義された強度の信頼ある設定が要求される場合に有利です。

耐力の定義づけられた調整能力は冷間圧延条材にのみ可能です。熱間圧延固形体材料に対しては一般的には磁気特性最適化最終焼鈍が推奨されます。

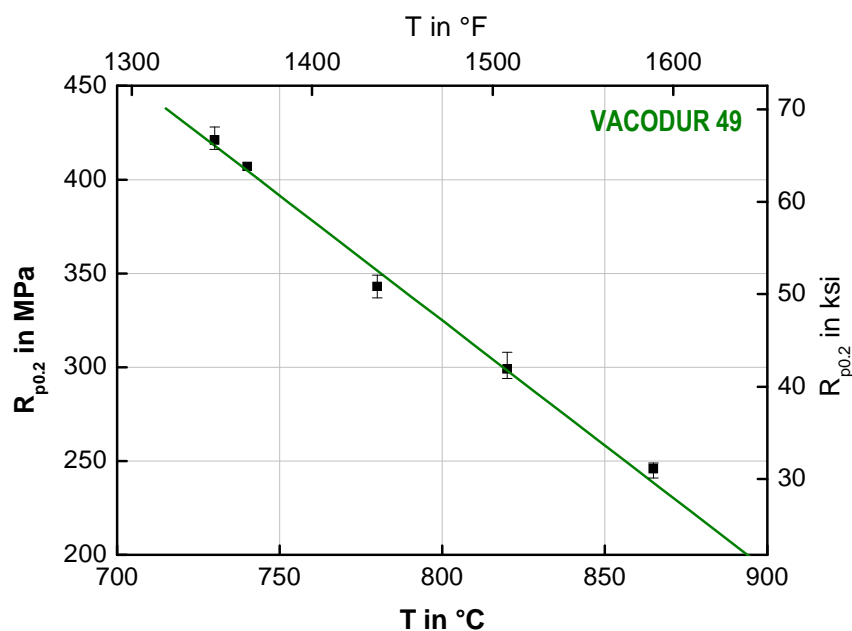


Figure 3: Variation of the yield strength $R_{p0.2}$ of VACODUR 49 strip material with respect to the annealing temperature T . Held at temperature T for 4 h (strip material 0.35 mm).

焼鈍温度 T に関して (条材料 0.35mm) 4 時間保持された VACODUR 49 条材の耐力 $R_{p0.2}$ の変化

0.20 mm 以下の条厚のとても薄い VACODUR 材料については、機械特性最適化状態では、条厚 0.35 mm と同程度の機械特性を得るためには約 10°C 焼鈍温度を下げるのが推奨されます。

同時に起こる軟質磁気特性の劣化は焼鈍温度が低下しているので許容されなければなりません。磁気特性最適化状態のためには、焼鈍条件の変更は必要ありません。

General processing information 一般的な加工の情報

ほぼ 50%のコバルトを含有するコバルト鉄合金の条材料(VACOFLUX 48, VACOFLUX 50, VACODUR 49, VACODUR 50 及び VACODUR S Plus)の熱処理中に最大 0.2%までの恒久で異方性の長さ増加が発生します。条材料からの精密機械加工部品は熱処理後に最終寸法に機械加工すべきです。

50%コバルト含有の合金の加工性は、熱処理によって改善されず、実際には脆化によりさらに困難になることを留意しなければなりません。

最終磁気焼鈍された材料のいかなる機械加工も軟質磁気特性に影響があります。公差が小さな成型部品の製造の時には熱処理後の最後の微調整機械加工は可能な限り優しく実施すべきです。

製品 ブローシャ: “Machining Data of our Soft-magnetic Alloys” (AHT-001) が VACUUMSCHMELZE のウェブサイトからダウンロード可能です。

このブローシャは機械加工の初期スタートポイントを提供します。

コバルト鉄合金に特別に適用した生産工程(VACSTACK® process) によって作る完全ラミネーション積層体の製造を提案可能です。

生産方法を最適化するという事はタイトな寸法公差を満たすのと同時にとても低いコアロスを実現するという意味です。



Figure 5: **Examples of parts made from cobalt-iron materials: Turned components for actuators, stamped lamination assemblies for motors and generators**

コバルト鉄材料から作られた部品例；アクチュエータ向けの旋盤加工部品、モータならびに発電機向けの型
抜きラミネーションアッシー

® registered trademark of VACUUMSCHMELZE GmbH & Co. KG

FORMS OF SUPPLY 供給形状

軟磁性コバルト鉄材料はいろいろな形状と寸法で供給可能です。

条、ロッド及びワイヤーなどの半完成製品供給に加え、VAC社はコアラミネーション、型抜き部品、成型や固形体部品ならびにラミネーション積層アッシーも製造します。

最適化された損失のラミネーション積層の製造は特に、コバルト鉄合金について、VACSTACKという商標で乙波されます。

次の表は弊社の材料のいろんな形状での供給の可能性についての概観です。

Material	Semi-finished product			Finished parts		
	Strip 条	Rods 棒	Wire ワイヤー	Core laminations, stamped parts コアラミネーション型抜き部品	Laminated Assemblies VACSTACK ラミネーションアッシー VACSTACK	Shaped and solid parts
VACOFLEX 48	●	-	-	●	●	-
VACOFLEX 50	●	●	-	●	●	●
VACODUR 49	●	●	-	●	●	●
VACODUR 50	●	●	-	●	●	●
VACODUR S Plus	●	-	-	●	●	-
VACOFLEX 27	-	●	●	-	-	●
VACOFLEX 17 ¹⁾	●	●	●	●	●	●
VACOFLEX 18 HR	-	●	-	-	-	●
VACOFLEX 9 CR ²⁾	-	●	●	-	-	●

● = available 製造可能, - = not available or on request 製造なしあるいはリクエストによる

1) delivery state "soft deep-drawable" possible for strip 納入状態"柔らかく深絞り可能" 条が可能

2) delivery state "magnetically finally annealed" possible 納入状態"最終磁気焼鈍"が可能

コバルトを 50%含有する合金 (VACOFLEX 48, VACOFLEX 50, VACODUR 49, VACODUR 50 及び VACODUR S Plus)は硬い状態、言い換えると冷間圧延状態でのみ供給されます。コバルト含有量が少ない合金 content (VACOFLEX 27, VACOFLEX 17, VACOFLEX 18 HR, VACOFLEX 9 CR)は軟らかい状態での供給も可能です。VACOFLEX 17は“軟らかく深絞り可能”状態での供給も可能です。

VACOFLEX 9 CRは通常は最終磁気所焼鈍された状態、すなわち、半完成製品に最終焼鈍がなされた状態、での提供となります。

部品最終形状やアプリケーションによっては部品への追加的な熱処理は省略もできます。

この状態での供給されるさらなる有利な点は最終焼鈍されたロッドから機械加工された部品は光沢があり、変色していない表面状態であることです。結果として塩水噴霧試験でより改善された耐性となります。(12 ページの耐食性のセクション参照)

0.5mm あるいはそれ以下の厚みの条材料のときはマグネシウムをベースにし DL1 と指定される絶縁コーティングが推奨されます。ラミネーションはコーティングのおかげでお互いにより分離しやすくなり、最終焼鈍時の熱溶接のリスクを減らします。

END

注；本紙は参考和訳版となります。万が一内容に齟齬がありました場合には、英文版が正文となります。

作成日；2016 年 11 月 1 日

作成者；VAC Magnetic Japan 株式会社 濱中秀利