

ベリリウム銅代替としての新しい鉄系合金

Dr. Dieter Nuetzel, VACUUMSCHMELZE GmbH & Co.KG, Hanau, Germany

Dr. Hartmut Weber, VACUUMSCHMELZE GmbH & Co.KG, Hanau, Germany

[参考和訳；濱中秀利 VAC Magnetic Japan K.K. 2009年4月6日]

要旨

鉄ニッケルコバルト系に属する DURACON[®] 合金として、新世代の接点バネ合金が生まれました。DURACON[®] は良好な電気及び熱の伝導度と高い機械強度を兼ね備えているため銅系合金へ有効な代替ができます。この新合金群は引っ張り強度で約 1150 MPa (冷間加工後)、約 1800 MPa (時効硬化処理後) を示し、電気伝導度は、コバルト含有量によって変動するのですが、6-11 m/Ωmm² (冷間加工後) と 7-13 m/Ωmm² (時効硬化処理後) の範囲になります。さらに、DURACON[®] 合金は超高強度であるだけでなく非常に優れた曲げ特性を有し、R/t (曲げ半径/材料厚み) <0.5 であり、これにより更なる接点バネ要素の小型化が可能になりました。DURACON[®] 合金の特性を銅系合金の特性を、特に、ベリリウム銅 CuBe₂ と比較することにより、この新合金が伝統的な銅系の接点バネ合金の置換えに可能性があることが解ります。

1 紹介

車載電装品、エレクトロニクス及びコミュニケーション技術分野向けのコネクター、クランプ、リリースプリングには典型的に銅系合金が使われます。しかし、ある場合には、これらの銅系合金が複数の要求仕様がお互いに連関していることに由来するいくつかの制限のために、独立した仕様要求を最適化して達成することができません。良好な電気伝導度と強度、良好な曲げ性と高温での低い応力緩和は2つの実例です。極めて厳しい利用状態においての最高の信頼性、ならびにさらなる小型化への絶え間ない要求がある中で、高機能単部品の開発をするということに関して、材料選択が非常に重要になってきています。

さらに、技術的な面だけでなく、加工とリサイクルに関する増大する環境への要求が材料選択に影響を及ぼしています。健康や環境に有害な例えばベリリウムのような化学成分を含まない材料への要求によって特徴付けられます。このことにより、ベリリウムフリー銅系合金や他の代替合金で危険材料を置き換える可能性について深く考慮されることにつながっています。

過去数年間の間、上述したような制限や技術的要求により新しいあるいは改良された銅系接点バネ材料の開発へとつながっています。

しかし、これらの開発済みの材料は機械強度 (引っ張り強度) で 1000 MPa を越えることは通常ありません。[1-4].

VAC社での研究プロジェクトから銅系合金以外の合金系でも良好な電気伝導度と高強度が実現できることが明らかになりました。[5]. これが鉄コバルトニッケル系から得られた DURACON[®] で、ベリリウムのような有毒物質は使用していません。非常に優れた機械特性と良好な電気伝導度を持ち合わせていますので DURACON[®] は伝統的なベリリウム銅合金に対する置換が可能な材料なのです。

次の項で鉄コバルトニッケル DURACON[®]-族の特性を銅合金や特にベリリウム銅 CuBe₂ に比較して提示します。

2 接点バネ合金としての鉄コバルトニッケル合金

2.1 鉄コバルトニッケル合金の特性

Figure 1 に三元鉄コバルトニッケルシステムの DURACON[®]-族の成分範囲を示します。コバルト 10-50 wt.%, ニッケル 10-35 wt.%そして残りが鉄の成分構成では規則配列が形成され、結果として顕著な合金の機械強度と電気伝導度の改善が見られます。

コバルト含有量が増加すると電気伝導度が増加し、冷間加工後では 6~11 m/Ωmm² で、時効硬化状態では 7~13 m/Ωmm² で変化します。現状では電気伝導度レベルのはっきり異なる 2 種類の鉄コバルトニッケル-DURACON[®] 合金が提供

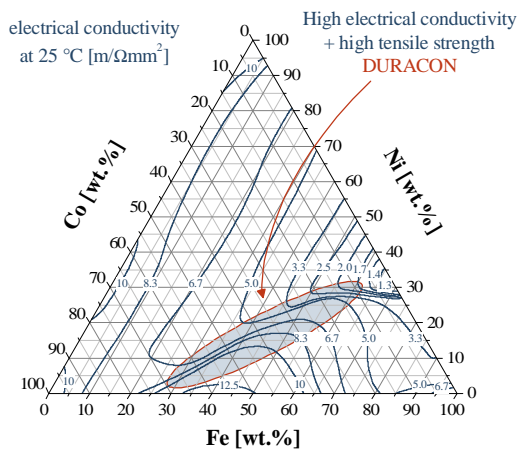


Figure 1. 鉄コバルトニッケル系の DURACON 族の構成成分範囲。等高線が同じ電気伝導度を示す。[6].

可能です。Table 1 に DURACON[®] 17A と 45A それぞれの化学成分と電気伝導度を示します。

	DURACON 17A	DURACON 45A
構成成分		
Iron [wt.%]	Bal.	Bal.
Cobalt [wt.%]	17	45
Nickel [wt.%]	28	18
電気伝導度		
冷間加工状態 [m/Ωmm ²]	6	11
時効硬化状態 state [m/Ωmm ²]	7	13

Table 1. 鉄コバルトニッケル接点バネ材 DURACON 17A と 45A の構成成分と電気伝導度

DURACON[®] 合金の特性は主に室温よりもちょっと低いマルテンサイト変態温度の調整によって達成される準安定なオーステナイト構造に基づきます。ニッケルとコバルトの含有量を決めることにより DURACON[®]-17A と 45A への調整がなされます。

準安定オーステナイトが冷間加工することによりマルテンサイト（応力誘起マルテンサイト）へ変態されます。変形が引き起こした微細構造的な変態の結果としてひずんだマルテンサイト中に励起グレード配列が達成されます。これが引っ張り強度増加と電気伝導度の大幅な改善を促進します。Figure 2 が明示の通り。

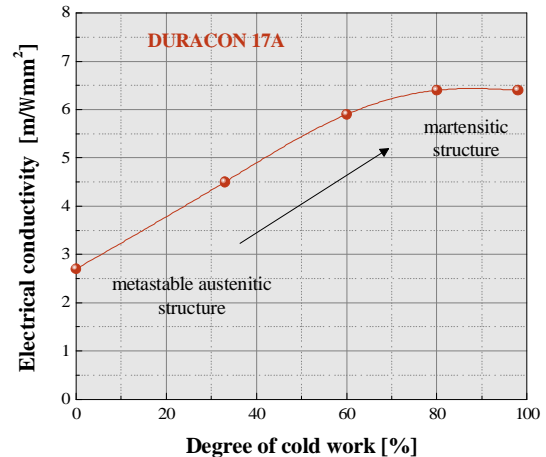


Figure 2. 冷間加工率の関数としての DURACON 17A の電気伝導度

2.2 鉄コバルトニッケル接点バネ合金の機械特性

DURACON[®] は冷間加工状態で銅系合金に比べて極めて高い機械強度を示します。さらに、DURACON[®] 合金は準安定オーステナイト材料の特徴なのですが、冷間加工率の関数として特徴的な硬度の強力な増加を示します。(Figure 3 に DURACON[®] 17A に関して示すとおり。). さらに、DURACON[®] は合金がチタンやアルミのような硬化元素を含んでいない状態でも、時効硬化処理によりさらに硬化されます。この時効硬化処理は冷間加工状態に比べて更なる機械特性の改善へとつながります。加えて電気伝導度がさらに増加します。典型的には 300 ~ 500°C で実施される時効硬化処理の結果として起こる引っ張り強度の増加は、マルテンサイト微細構造が部分的に分解し、微細なオーステナイトとフェライト相になったことによります。

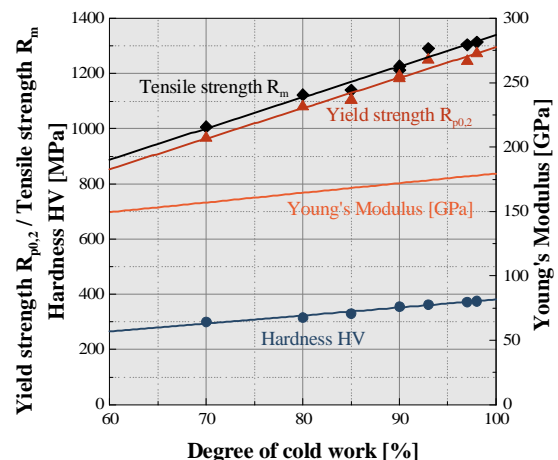


Figure 3. 冷間加工率（冷間加工状態）の関数としての DURACON[®] 17A の機械特性

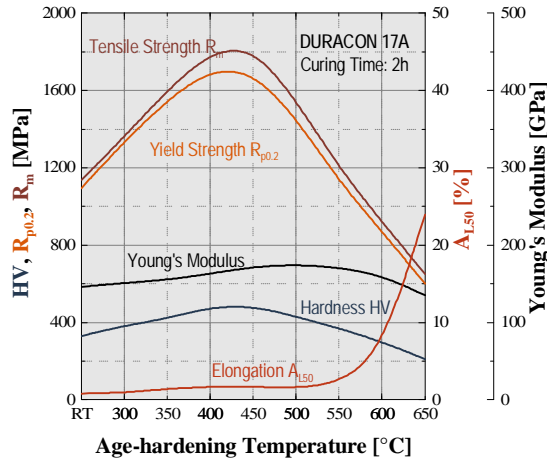


Figure 4. DURACON® 17A の時効硬化温度の関数としての機械特性

Figure 4 に DURACON 17A の異なる時効硬化温度に対して一定の 2 時間の時効を行った場合の振る舞いを示します。時効硬化温度が 450°C の時に機械特性が最も改善されています。Table 2 に冷間加工後と時効硬化状態でのそれぞれの DURACON 17A 機械特性を提示します。

DURACON 17A		
	冷間加工	時効硬化
耐力 $R_{p0.2}$ [MPa]	1100	1650
引っ張り強度 R_m [MPa]	1150	1800
ばね限界値 Spring bending yield limit $R_{p0.1}$ [MPa]	1050	1500
曲げ応力存在下での疲労強度 [MPa] (10^7 load-cycle)	> 600	> 800
硬度 HV	330	480
E-Module [GPa] (Good way)	150	180

Table 2. DURACON 17A の冷間加工と時効硬化状態での機械特性

2.3 鉄コバルトニッケル接点バネ合金の曲げ性

接点バネ材として別の重要な特性は曲げ性ですが、これは数量的に曲げ半径と材料厚みの比で特徴づけられます。エレクトロニクスあるいは電子デバイスの小型化への更なる要求が増大しているため、この特性はますます重要になって

きています。Figure 5 に DURACON® 17A の曲げ半径を機械強度（耐力）の関数として、他の銅系材料との比較として示します。ほとんどの銅合金と異なり DURACON® の極めて良好な曲げ特性が、 $R/t < 0.5$ で特徴づけられ、さらにその値は耐力が最高値の 1100 MPa まで一定です。さらに、冷間加工率で 85~90% までの材料で、この良好な曲げ性がほとんど同様に保たれることは特筆すべき点です。

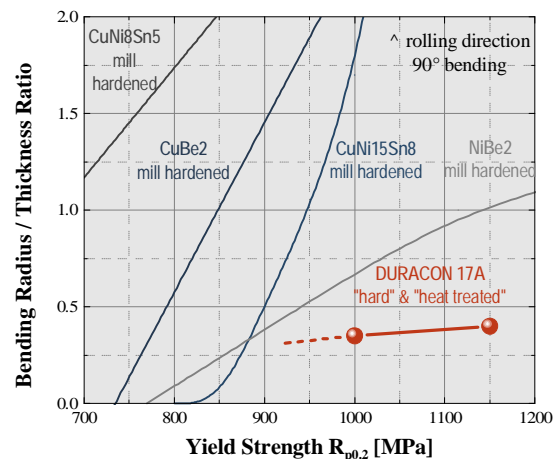


Figure 5. DURACON® 17A と各種銅合金について耐力 $R_{p0.2}$ の関数としての R/t

2.4 鉄コバルトニッケル接点バネ合金の応力緩和特性

冷間加工状態での DURACON はとりわけ 100°C を越える温度でのアプリケーションに対してはほどほどの応力緩和抵抗があるような冷間加工材料に期待されるような振る舞いをします。条材料に行われる熱処理により、DURACON の緩和特性は大幅に改善され、しかしながら、引っ張り強度や延性や曲げ性には影響を及ぼしません。

Figure 6 に DURACON® 17A の時効硬化品、熱処理品、冷間加工品の緩和特性を、時効硬化ベリリウム銅 CuBe2 の 150°C のアプリケーションでの特性と比較します。DURACON® 17A は特に 150°C を越えるアプリケーション温度では、ベリリウム銅に比べ非常に有利です。

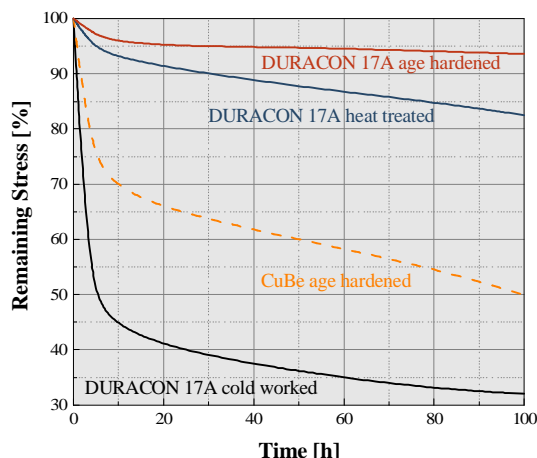


Figure 6. DURACON® 17A の時効硬化品、熱処理品、冷間加工品と、時効硬化ベリリウム銅 CuBe2 のアプリケーション温度 150°Cでの応力緩和比較。初期応力は 500 MPa

合金	最大アプリケーション温度 (計算値) 応力緩和が 20% (初期応力は 500 MPa) [°C]	
	100 h	1000 h
DURACON 17A		
冷間加工	135	120
+ 熱処理	200	175
+ 時効硬化	250	225
DURACON 45A		
冷間加工	120	105
+ 熱処理	205	175
+ 時効硬化	235	220

Table 3. DURACON 17A と 45A での、初期応力 500 MPa で 100 時間と 1000 時間で応力緩和 20% Larson-Miller method による。

『Larson-Miller method』により、最大アプリケーション温度はある応力値減少と与えられた負荷時間によって定義づけることが出来ます。例として、Table 3 に DURACON® 17A と 45A のそれぞれに対して、計算上許されるアプリケーション温度 (100 時間と 1000 時間の負荷時間で応力が 20% 緩和する値) を載せています。

2.5 他の銅系合金と DURACON® の特性による分類

機械強度 (耐力) と電気伝導度という 2 つの性状を用いることにより、どんな接点バネ合金に関しても特性を簡単に直接的に比較分類することが可能です。Figure 7 に DURACON®-族に含まれる合金の特性と銅系材料で、同レベルの電気伝導度クラスに入るものを、図表に総括しています。DURACON® 材料が銅合金の達成していない強度と電気伝導度の両立を達成するのが明確にお解かりいただけたと思います。DURACON® が銅系材料に比べ機械特性が優れていることからくる有利点が明らかです。

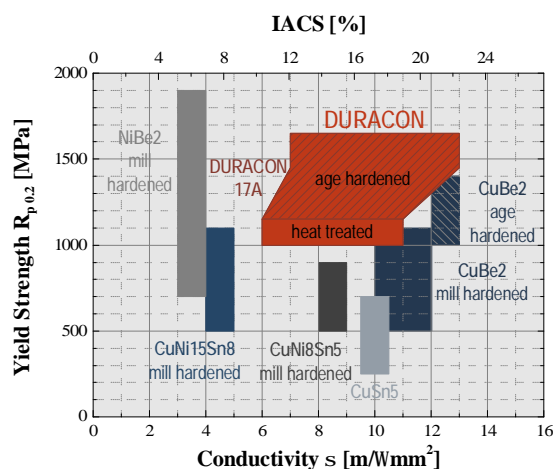


Figure 7. 電気伝導度との関数としての DURACON®-族と銅系材料の 0.2% 耐力 $R_{p,0.2}$

2.6. 鉄コバルトニッケル合金

DURACON® の可能な技術的アプリケーションの実例

Figures 8 と 9 に DURACON® 17A の自動車電子 (Figure 8) とサーモスタットスイッチ (Figure 9) での 2 つの可能なアプリケーションを掲載します。DURACON® はそういうわけでこれら 2 分野での伝統的な銅系ならびにベリリウム銅 CuBe2 接点バネ合金の置換可能材です。



Figure 8. 自動車アプリケーションでの接点バネ要素 (左: CuBe2, 右: DURACON 17A).



Figure 9. サーモスタットスイッチ CuBe2 (左) と DURACON 17A (右)

3 まとめ

三元鉄ニッケルコバルト系に属する DURACON[®] 合金という新族の登場により接点バネの新世代材料が利用可能です。これは非常に優れた機械特性と良好な電氣的熱的伝導度を兼ね備えているため銅系の合金への効果的な置換えとなりえます。DURACON[®] には次のような特徴があります:

- 電気伝導度はコバルト含有量によって異なるのだが、冷間加工と時効硬化状態でそれぞれ $6-11 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$ と $7-13 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$ の範囲である。
- 冷間加工の程度により 1100/1150 MPa までの引っ張り強度が達成可能。(冷間加工状態)。
- 時効硬化処理をすることにより約 1650/1800 MPa の耐力/引っ張り強度まで改善が可能。
- 鉄コバルトニッケル合金は耐力最大値 1100 MPa まで非常に優れた曲げ性 ($R/t < 0.5$) を示す。
- 使用温度の関数として、応力緩和耐性は伝統的なベリリウム銅 CuBe2 合金に比べ同等以上である。

(日本における問合せ先
ヴァック マグネティック ジャパン
濱中秀利 電話 03-5337-8522)

4 参照ならびに引用文献

- [1] Bögel, A.: Neuere Bandwerkstoffe aus Kupferlegierungen für Steckverbinder und Halbleitertträger, Sonderdruck Fachzeitschrift Blech Rohre Profile 39 (1992) 12.
- [2] Ruchel, P.: CuNiSi – Eine Kupferlegierung wird Elektronikwerkstoff, Metall 43. Jahrgang, Heft 11, 1989.
- [3] Keppeler, M.; Theobald S.; Kuhn H.-A.; Bögel, A.: Neue Kupferwerkstoffe für Elektronik und Elektrotechnik, Metall 57. Jahrgang, 7-8/2003.
- [4] Louzon, T.J.: Tensile Property Improvements of Spinodal Cu-15Ni-8Sn by Two-Phase Heat Treatment, J. Eng. Mat. Techn., Vol. 104, July 1982.
- [5] Weber H., Döring W., Schierling M.: Patentschrift DE10307314B3, Elektrischer Kontaktwerkstoff aus einer Kobalt-Nickel-Eisen-Legierung und Verfahren zu deren Herstellung
- [6] Bozorth R.M.: Ferromagnetism, D. Van Nostrand Company, New York, 1951.