



We are Nitinol.™

Eigenschaften und Anwendungen von Shape Memory Steckverbindern

Garretson, Stoeckel

Metall Wissenschaft & Technik
41. Jahrgang, Heft 1, Januar
pp. 22-25

1987

Eigenschaften und Anwendung von Shape-Memory-Steckverbindern¹⁾

Cynthia GARRETSON und Prof. Dr. Dieter STÖCKEL,

Raychem Corporation, Menlo Park, Kalifornien

Wird eine Shape-Memory-Legierung unterhalb einer kritischen Temperatur bleibend verformt, so erinnert sie sich bei Erwärmung über diese Temperatur an ihre ursprüngliche Gestalt. Dieser Effekt beruht auf einer thermoelastischen martensitischen Umwandlung. Mit Hilfe des Shape-Memory-Effektes können Steckverbinder hergestellt werden, die niedrige Einsteckkraft und sehr hohen Kontaktdruck aufweisen. Sie bestehen aus einem CuBe-Kontaktteil und einem Ring aus NiTi, der den Kontaktspace im Anwendungstemperaturbereich schließt. Bei tiefer Temperatur ist der Kontaktspace dagegen geöffnet. Der vorliegende Beitrag beschreibt den Shape-Memory-Effekt, den Aufbau der Steckverbinder und deren Kontaktverhalten.

If a shape memory alloy is mechanically deformed while it is below a specific temperature, it will return to a predetermined shape when the temperature is raised. This shape memory is the result of a change in the crystal structure of the alloy known as thermoelastic martensitic transformation. Using shape memory actuators, connectors can be produced which combine zero insertion and withdrawal force with a high contact pressure. They consist of a contact member (CuBe) and a shape memory driver (NiTi). The paper describes the shape memory effect, the design of the connectors and their contact performance.

1 Einleitung

Die Verwendung von Stecksockeln für die Befestigung elektronischer Bauelemente auf Leiterplatten stellt eine interessante Alternative zum Löten dar. Gegenüber der direkten Verbindung des Bauelementes mit der Leiterplatte durch Weichlöten ergeben sich bei der Verwendung von Stecksockeln einige Vorteile:

- Speicherbausteine, speziell programmierbare Speicher in DIP-Konfiguration (Dual-in-line Package) wie PROMs, UV EPROMs etc., können häufig ausgewechselt werden, um ein bestehendes System zu erweitern.
- für Prototypen und Vorserienbauelemente sind Stecksockel ebenfalls wegen der einfachen Auswechselbarkeit besonders vorteilhaft.
- Leiterplatten mit gedruckten Schaltungen können extrem teuer sein. Das

gilt vor allem für solche, die neben DIPs auch VLSI-Komponenten enthalten. Das Auslöten von Komponenten zur Veränderung des Systems bereitet erhebliche Schwierigkeiten und führt oft zur Beschädigung der Leiterplatten. Abb. 1 zeigt die Wahrscheinlichkeit der Beschädigung als Funktion der Zahl der Auswechselfvorgänge [1].

Trotz dieser unbestreitbaren Vorteile wurden Stecksockel bisher in vielen Fällen als nicht einsetzbar angesehen, da sie nicht die mechanische und elektrische Zuverlässigkeit gelöteter Verbindungen aufwiesen.

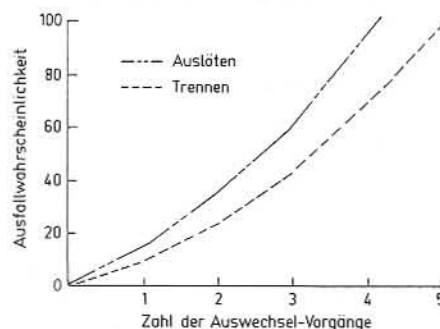


Abb. 1. Wahrscheinlichkeit der Beschädigung von Leiterplatten durch das Auswechseln von Bauelementen.

Das größte Problem bestand darin, daß einerseits eine niedrige Einsteckkraft, andererseits aber eine hohe Abzugskraft verlangt wird. Diese sich offenbar widersprechenden Forderungen können nun durch Verwendung von „Shape-Memory-Kontakten“ erfüllt werden. Bei Verwendung derartiger Kontakte können elektronische Bauelemente mit niedrigster Kraft eingesteckt und wieder entfernt werden, ohne auf hohe Haltekräfte, d.h. hohen Kontaktdruck, verzichten zu müssen [2].

2 Shape-Memory-Effekt (SME)

Wird eine Shape-Memory-Legierung unterhalb einer bestimmten kritischen Temperatur plastisch verformt, so kann sie bei Temperaturerhöhung wieder in ihre Ausgangsgestalt zurückkehren. Dieses Formgedächtnis (Shape Memory) ist das Ergebnis einer Phasenumwandlung, die im allgemeinen als reversible thermoelastische martensitische Umwandlung bezeichnet wird [3]. Die Gestaltsänderung findet bei einer durch die Legierungszusammensetzung vorbestimmten Umwandlungstemperatur statt. Die wichtigsten Shape-Memory-Legierungen sind die Nickel-Titan-Legierungen mit ungefähr stöchiometrischer Zusammensetzung, die auch unter dem Namen Nitinol oder TINI²⁾ bekannt sind [4].

Shape-Memory-Legierungen aus Nickel-Titan können in zwei verschiedenen stabilen Phasen vorliegen. Die Hochtemperaturphase wird als Austenit, die Tieftemperaturphase als Martensit bezeichnet. Die Phasenumwandlung läuft, wie in Abb. 2 schematisch dargestellt, wie folgt ab: Die Hochtemperaturphase (Austenit) hat ein kubisch raumzentriertes Kristallgitter mit Überstruktur. Bei

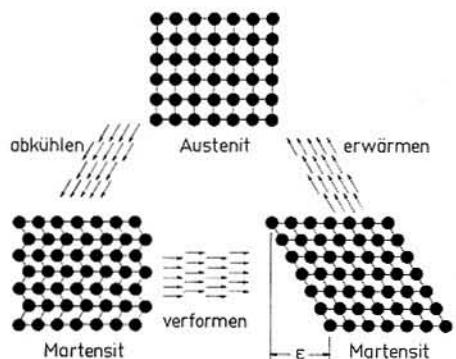


Abb. 2. Shape Memory Effekt.

¹⁾ Auszugsweise vorgetragen auf der 13. Internationalen Kontakttagung, Lausanne, 1986.

²⁾ TINEL ist eingetragenes Warenzeichen der Raychem Corporation.

Abkühlung unter die Umwandlungstemperatur wandelt der Austenit diffusionslos in Martensit um. Dieser Martensit ist stark verzwilligt und kann bereits bei niedrigen Spannungen plastisch verformt werden.

Solange der Werkstoff auf einer Temperatur unterhalb der Umwandlungstemperatur gehalten wird, bleibt diese Verformung, die bis zu 8% betragen kann, erhalten. Bei Temperaturerhöhung über die Umwandlungstemperatur wird die Verformung vollständig rückgängig gemacht, indem der Martensit in Austenit umwandelt. Während dieser Rückumwandlung kann das Material erhebliche Kräfte entwickeln und Arbeit verrichten. Dies ist auf den großen Festigkeitsunterschied zwischen Martensit und Austenit zurückzuführen. Abb. 3 zeigt schematisch die Spannungs-Dehnungs-Diagramme einer Nickel-Titan-Legierung im austenitischen und martensitischen Zustand. Dehnungen bis ϵ_t können durch Erwärmung rückgängig gemacht werden.

In einer dreidimensionalen Darstellung Spannung-Dehnung-Temperatur kann die Wirkungsweise eines Shape-Memory-Elementes am Beispiel eines Schrumpfringes anschaulich erläutert werden (Abb. 4). Ein Ring aus Nickel-Titan wird in der Hochtemperaturphase (Austenit) z.B. durch Stanzen hergestellt. Der Innendurchmesser des Ringes ist kleiner als der Durchmesser der Welle, auf die der Ring aufgebracht werden soll (A). Anschließend wird der Ring unter die Umwandlungstemperatur abgekühlt. Es entsteht Martensit ohne Gestaltsänderung (B). Bei tiefer Temperatur wird der nun martensitische Ring aufgeweitet (verformt) bis der Innendurchmesser größer ist als der Durchmesser der Welle (C). Der Ring bleibt in dieser Gestalt auch nach Wegnahme der verformenden Kraft, solange die Temperatur unterhalb der Umwandlungstemperatur bleibt (D). Wird die Temperatur erhöht, kehrt der Ring bei Überschreiten der Umwandlungstemperatur in die ursprüngliche Gestalt zurück (E, A).

Wird der aufgeweitete Ring jedoch vor der Erwärmung über die Welle geschoben, so wird bei Erreichen der Umwandlungstemperatur ein Teil der Rückformänderung unterdrückt (E'). Nach Kontakt mit der Welle baut der Ring stattdessen eine Spannung auf. Diese Spannung versucht die Welle zu verformen

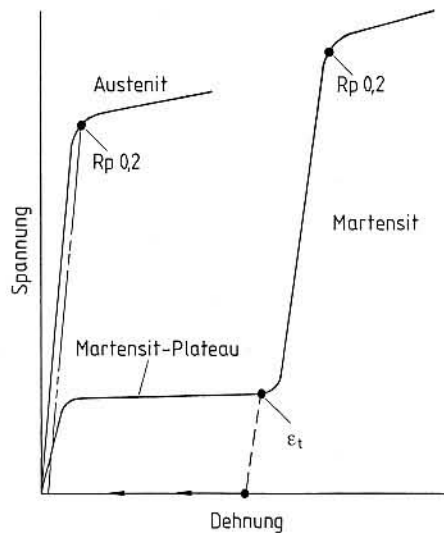


Abb. 3. Verfestigung von NiTi-Shape Memory Legierungen in austenitischem und martensitischem Zustand.

(F). Es entsteht ein Spannungsgleichgewicht in Ring und Welle. Der Ring ist „quasi-permanent“ mit der Welle verbunden.

3 Shape-Memory-Steckverbinder

Der Shape-Memory-Steckverbinder besteht aus zwei wesentlichen Kompo-

nenten, dem eigentlichen Kontakt aus einem Federwerkstoff (CuBe) und dem Shape-Memory-Element, das den Kontakt umschließt. Bei Raumtemperatur befindet sich das Shape-Memory-Element im hochfesten Zustand und kann somit den Kontaktspace schließen [5]. Wird diese Anordnung unter die Umwandlungstemperatur des Nickel-Titan-Elementes ($< -65^\circ\text{C}$) abgekühlt, übersteigt die Federkraft des Kontaktes die des Shape-Memory-Elementes, das nun im niedrigsten Zustand vorliegt. Der Kontakt öffnet somit. Dieser Sachverhalt ist in Abb. 5 in einem schematischen Spannungs/Temperatur-Diagramm dargestellt.

Der erste ZIF-Steckverbinder (zero insertion force), bei dem dieses Prinzip angewandt wurde, war der Raychem Cryocon³⁾-Steckverbinder. Dieser Steckverbinder besteht aus einem Dreiteil aus CuBe, das als Gabelkontakt mit leicht nach außen gebogenen Zinken ausgebildet ist. Der NiTi-Ring, der über die Zinken geschoben wird, ist bei Raumtemperatur in der Lage, den Kontakt zu schließen. Bei Abkühlung

³⁾ Croyocon und Cryotact sind eingetragene Warenzeichen der Raychem Corporation.

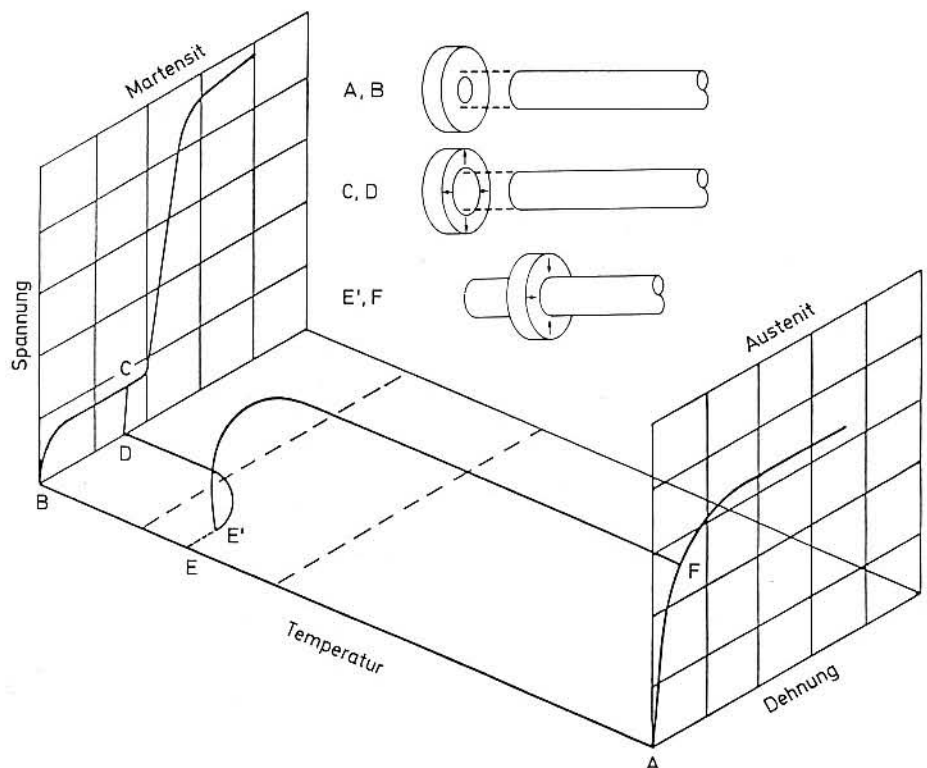


Abb. 4. Herstellung einer Schrumpfverbindung, dargestellt im Spannungs-Dehnung-Temperatur-Diagramm.

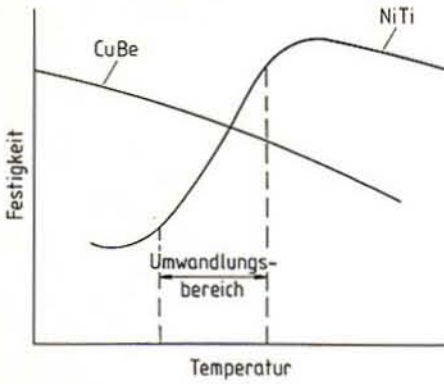


Abb. 5. Temperaturabhängigkeit der Festigkeit von CuBe-Kontakt und NiTi-Ring.

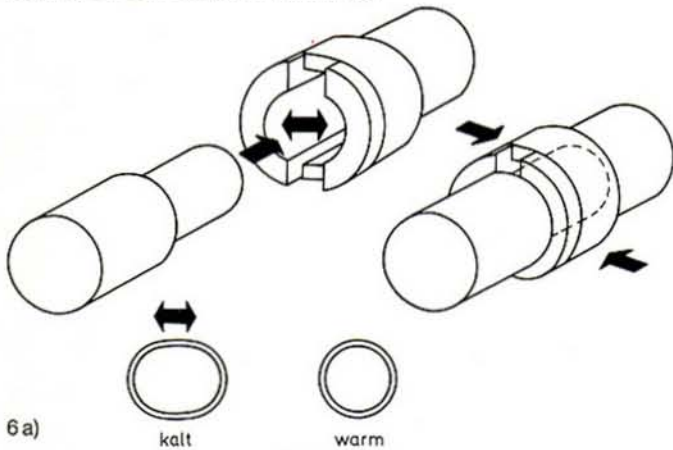


Abb. 6 a-b. Cryocon-Steckverbinder.

unter -65°C verliert der Ring seine Festigkeit. Die Federkraft des CuBe-Kontaktes kann nun den Ring zu einem Oval verformen. Abb. 6 a zeigt die Wirkungsweise schematisch, Abb. 6 b eine Fotografie des Steckverbinders. Der Cryocon-Steckverbinder hat sich millionenfach im Bereich der Luft- und Raumfahrttechnik bewährt [6].

Eine neuere Version dieses Steckverbinders ist der Cryotact-Steckverbinder, bei dem sowohl Kontakt als auch Shape-Memory-Elemente als Stanzteile ausgebildet sind. Diese Kontakte finden in Stecksockeln für DIPs, Bubble Memories etc. Verwendung. Durch die spezielle Gestaltung des Kontaktes können

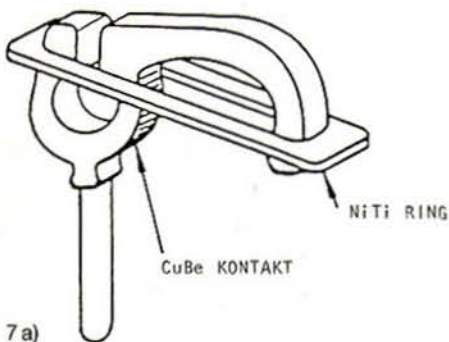
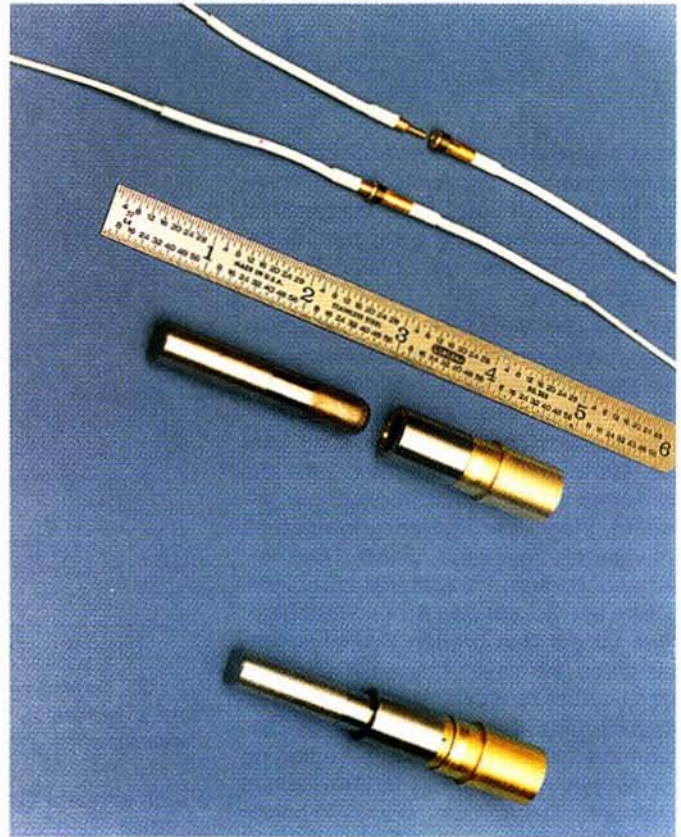


Abb. 7 a-b. Cryotact-Steckverbinder.

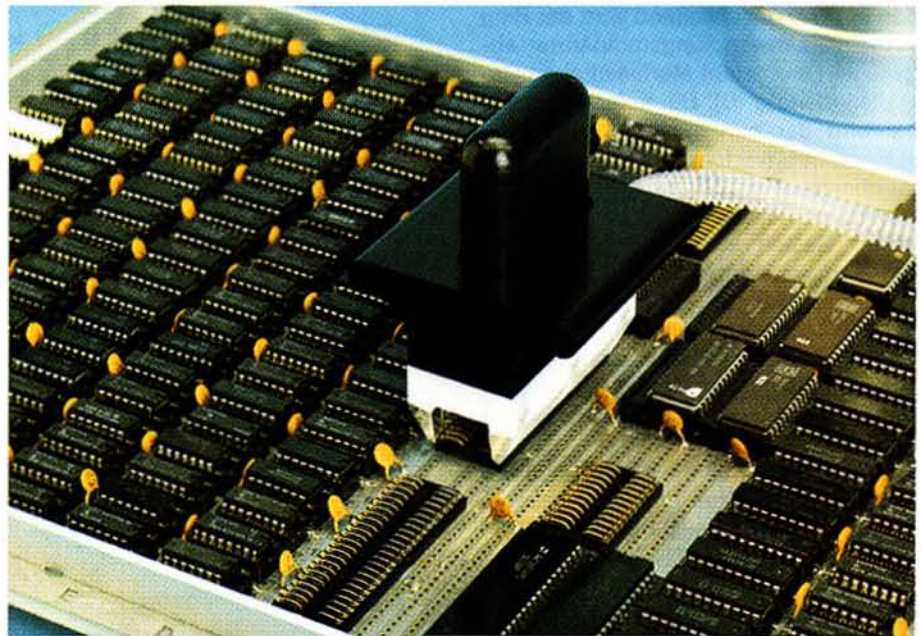


6 b)

auch größere Toleranzen des Durchmesser der IC-Beinchen ausgeglichen werden. Abb. 7 a zeigt eine schematische Darstellung dieses Kontaktes, Abb. 7 b eine Leiterplatte mit DIP-Sokkeln und einem speziellen Montagegerät.

4 Kontaktverhalten des Cryotact-Steckverbinders

Da die zu steckenden elektronischen Bauelemente sowohl mit vergoldeten als auch mit verzinneten Beinchen verwendet werden, wird der CuBe-Kontakt



7 b)

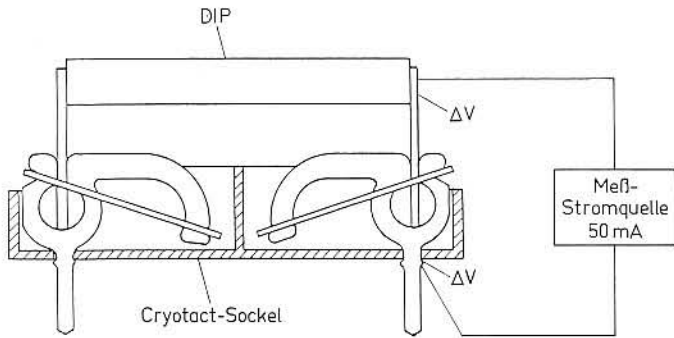


Abb. 8. Anordnung zur Messung des Übergangswiderstandes.

Tab. 1: Temperaturabhängigkeit des Übergangswiderstandes und der Haltekraft von Cryotact-Steckverbindern.

Temperatur [°C]	Übergangswiderstand [mΩ]	Haltekraft*) [N]
- 55	4,3	107
23	5,5	214
125	6,7	320

*) pro Package.

des Cryotact-Steckverbinders sowohl mit Gold- als auch mit Zinnaufgabe hergestellt.

Für die Beschreibung des Kontaktverhaltens wurde der Übergangswiderstand gewählt. Dieser wird definiert als der zusätzliche Widerstand, der durch Verwendung eines Stecksockels in den Schaltkreis eingeführt wird. Abb. 8 zeigt den Meßaufbau schematisch.

Da der Cryotact-Steckverbinder durch Abkühlen geöffnet und durch Erwärmung geschlossen wird, ist die Kenntnis der Temperaturabhängigkeit des Übergangswiderstandes und der Haltekraft (oder Ausziehungskraft) von ausschlaggebender Bedeutung. Übergangswiderstand und Haltekraft wurden daher bei Raumtemperatur und bei den als Grenzen des Anwendungsbereiches angesehenen Temperaturen gemessen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Sie gelten sowohl für Gold- als auch Zinn-beschichtete Kontakte. Die Zunahme des Übergangswiderstandes ist auf die Temperaturkoeffizienten des elektrischen Widerstandes des Kovar (IC-Beinchen) und des CuBe zurückzuführen.

Tab. 2: Übergangswiderstand von Cryotact-Steckverbindern nach Auslagerung.

Test	Übergangswiderstand mΩ			
	vor	Au nach	vor	Sn nach
Salzsprühstest ¹⁾	4,2	4,2	4,4	5,1
Industrielatmosphäre ²⁾	4,8	4,7	4,7	5,2
Auslagerung ³⁾	5,2	4,7	4,9	5,2
Temperaturwechsel ⁴⁾	4,2	4,7	5,3	5,9
Feuchtigkeit ⁵⁾	5,5	4,7	4,7	5,2

Au: 20 µm Ni/10 µm Au
Sn: 20 µm Ni/70 µm Sn

¹⁾ MIL-STD 202/101, 96 h; ²⁾ 100 h; ³⁾ MIL-STD 202/108, 100 h, 150°C; ⁴⁾ MIL-STD 202/107, 500 Zyklen, 125°C/-55°C; ⁵⁾ MIL-STD 102/103, 1000 h, 50°C.

Wegen des sehr hohen Kontaktdruckes im Anwendungstemperaturbereich (-55°C bis +125°C) ist der Übergangswiderstand des Sockels mit eingestecktem DIP unabhängig vom Kontaktwerkstoff (Gold oder Zinn). Dies ist selbst nach Auslagerung in verschiedenen Testklimaten der Fall. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Prüfung des Übergangswiderstandes vor und nach Durchführung verschiedener Tests zusammengefaßt.

Literatur

1. Geschwind, G.; Snyder, D.: Connection Tech., April (1986), 24.
2. Flot, R.; McCullough, J.; McGaffigan, T.: El. Comp. Conf., New Orleans (1984).
3. Tautzenberger, P.; Stöckel, D.: Zwf 78 (1983), 486.
4. Firmenschrift „TINEL“, Raychem Corp., Menlo Park, USA (1982).
5. Tautzenberger, P.; Stöckel, D.: METALL 39 (1985), 34.
6. Tautzenberger, P.; Stöckel, D.: DGM Berichtsband.