

## DIN EN ISO 17279-1



ICS 25.160.01

**Schweißen –  
Mikrofügen von Hochtemperatursupraleitern der zweiten Generation –  
Teil 1: Allgemeine Anforderungen an das Verfahren (ISO 17279-1:2018);  
Deutsche Fassung EN ISO 17279-1:2018**

Welding –

Micro joining of 2nd generation high temperature superconductors –

Part 1: General requirements for the procedure (ISO 17279-1:2018);

German version EN ISO 17279-1:2018

Soudage –

Micro-assemblage des supraconducteurs à haute température de deuxième génération –

Partie 1: Exigences générales pour la procédure (ISO 17279-1:2018);

Version allemande EN ISO 17279-1:2018

Gesamtumfang 53 Seiten

DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS)

## Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 17279-1:2018) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 44 „Welding and allied processes“, Unterkomitee SC 10 „Quality management in the field of welding“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 121 „Schweißen und verwandte Verfahren“, Unterkomitee SC 4 „Qualitätsmanagement für das Schweißen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 092-00-04 AA „Qualitätssicherung beim Schweißen (DVS AG Q 2)“ im DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS).

DIN EN ISO 17279 besteht unter dem allgemeinen Titel *Schweißen — Mikrofügen von Hochtemperatur-supraleitern der zweiten Generation* aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Allgemeine Anforderungen an das Verfahren
- Teil 2: Qualifizierung für Schweiß- und Prüfpersonal
- Teil 3: Prüfverfahren von Fügeverbindungen\*

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

|                |       |                              |
|----------------|-------|------------------------------|
| ISO 2553       | siehe | DIN EN ISO 2553              |
| ISO 15607:2003 | siehe | DIN EN ISO 15607:2004-03     |
| ISO 17279-2    | siehe | DIN EN ISO 17279-2           |
| ISO 17279-3    | siehe | E DIN EN ISO 17279-3**       |
| ISO 17637      | siehe | DIN EN ISO 17637             |
| ISO/TR 25901   | siehe | DIN-Fachbericht ISO/TR 25901 |

---

\* In Vorbereitung.

\*\* In Vorbereitung.

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

DIN EN ISO 2553, *Schweißen und verwandte Prozesse — Symbolische Darstellung in Zeichnungen — Schweißverbindungen*

DIN EN ISO 15607:2004-03, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Allgemeine Regeln (ISO 15607:2003); Deutsche Fassung EN ISO 15607:2003*

DIN EN ISO 17279-2, *Schweißen — Mikrofügen von Hochtemperatursuperleitern der zweiten Generation — Teil 2: Qualifizierung für Schweiß- und Prüfpersonal*

E DIN EN ISO 17279-3, *Schweißen — Mikrofügen von Hochtemperatursuperleitern der zweiten Generation — Teil 3: Prüfverfahren von Fügeverbindungen* \*\*\*

DIN EN ISO 17637, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Sichtprüfung von Schmelzschweißverbindungen*

DIN-Fachbericht ISO/TR 25901, *Schweißen und verwandte Verfahren — Terminologie*

---

\*\*\* In Vorbereitung.

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Schweißen —  
Mikrofügen von Hochtemperatursupraleitern  
der zweiten Generation —  
Teil 1: Allgemeine Anforderungen an das Verfahren  
(ISO 17279-1:2018)

Welding —  
Micro joining of 2nd generation high temperature  
superconductors —  
Part 1: General requirements for the procedure  
(ISO 17279-1:2018)

Soudage —  
Micro-assemblage des supraconducteurs à haute  
température de deuxième génération —  
Partie 1: Exigences générales pour la procédure  
(ISO 17279-1:2018)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 30. September 2018 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

# Inhalt

|                                                                                                                                                                | Seite |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Europäisches Vorwort .....                                                                                                                                     | 3     |
| Vorwort .....                                                                                                                                                  | 4     |
| Einleitung .....                                                                                                                                               | 5     |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                                                                                                      | 8     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                                                                                                 | 8     |
| 3 Begriffe .....                                                                                                                                               | 8     |
| 4 Symbole und Abkürzungen .....                                                                                                                                | 9     |
| 5 Anforderungen .....                                                                                                                                          | 9     |
| 5.1 Verbindungsausführung .....                                                                                                                                | 9     |
| 5.1.1 Allgemeines .....                                                                                                                                        | 9     |
| 5.1.2 Überlappstoß .....                                                                                                                                       | 10    |
| 5.1.3 Brückenstoß .....                                                                                                                                        | 10    |
| 5.2 Ausrüstung .....                                                                                                                                           | 11    |
| 5.3 Qualifizierung des Schweißverfahrens .....                                                                                                                 | 12    |
| 5.4 Verfahren des Mikrofügens und Oxidationsglühens .....                                                                                                      | 12    |
| 5.4.1 Allgemeines .....                                                                                                                                        | 12    |
| 5.4.2 Technischer Inhalt einer pWPS und WPS .....                                                                                                              | 15    |
| 5.5 Qualifizierung basierend auf Standardprobe für Verbindung .....                                                                                            | 16    |
| 5.5.1 Allgemeines .....                                                                                                                                        | 16    |
| 5.5.2 Probekörper .....                                                                                                                                        | 16    |
| 5.5.3 Verfahren zum Mikrofügen und Oxidationsglühen der Proben .....                                                                                           | 17    |
| 5.5.4 Prüfung der Proben .....                                                                                                                                 | 20    |
| 5.5.5 Nachprüfung .....                                                                                                                                        | 24    |
| 5.5.6 Prüfprotokoll .....                                                                                                                                      | 24    |
| 5.6 Geltungsbereich .....                                                                                                                                      | 24    |
| 5.6.1 Allgemeines .....                                                                                                                                        | 24    |
| 5.6.2 Bezüglich des Herstellers .....                                                                                                                          | 24    |
| 5.6.3 Wesentliche Einflussgrößen .....                                                                                                                         | 24    |
| 5.6.4 Andere Variablen .....                                                                                                                                   | 25    |
| 5.7 Spezifikation und Qualifizierungsbericht der Verfahren zum Mikrofügen und<br>Oxidationsglühen .....                                                        | 26    |
| 5.8 Endbehandlung von Fertigungsverbindungen .....                                                                                                             | 26    |
| 5.9 Annahmekriterien .....                                                                                                                                     | 26    |
| 5.10 Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit .....                                                                                                                | 28    |
| 6 Prüfung durch Dritte .....                                                                                                                                   | 28    |
| Anhang A (informativ) Verfahren des Mikrofügens und Oxidationsglühens .....                                                                                    | 29    |
| Anhang B (informativ) Vorläufige Schweißanweisung (pWPS) .....                                                                                                 | 33    |
| Anhang C (informativ) Verfahrensqualifizierung des Mikrofügens und Oxidationsglühens und<br>Bericht über die Qualifizierung des Schweißverfahrens (WPQR) ..... | 37    |
| Anhang D (informativ) Schweißanweisung (WPS) .....                                                                                                             | 43    |
| Anhang E (informativ) Checkliste für die Verfahrensqualifizierung des Mikrofügens und<br>Oxidationsglühens .....                                               | 46    |
| Literaturhinweise .....                                                                                                                                        | 49    |

## **Europäisches Vorwort**

Dieses Dokument (EN ISO 17279-1:2018) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 44 „Welding and allied processes“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 121 „Schweißen und verwandte Verfahren“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Mai 2019, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Mai 2019 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

### **Anerkennungsnotiz**

Der Text von ISO 17279-1:2018 wurde von CEN als EN ISO 17279-1:2018 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

## Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe [www.iso.org/patents](http://www.iso.org/patents)).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, siehe [www.iso.org/iso/foreword.html](http://www.iso.org/iso/foreword.html).

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 44, *Welding and allied processes*, Unterkomitee SC 10, *Quality management in the field of welding*, erarbeitet.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter [www.iso.org/members.html](http://www.iso.org/members.html) zu finden.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 17279 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

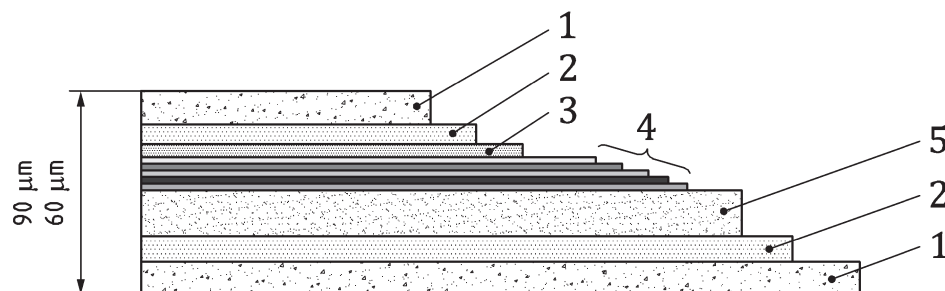
## Einleitung

Die zunehmende Verwendung von Hochtemperatursupraleitern der zweiten Generation (2G HTS) und die Erfindung widerstandsloser Verbindungen bei 2G HTS führten zur Notwendigkeit dieses Dokuments, mit deren Hilfe sichergestellt werden soll, dass die Verbindung effektiv durchgeführt wird und geeignete Kontrollen aller Aspekte des Vorgangs angewandt werden. ISO-Normen für Mikrofüge- und Verbindungsbeurteilungs-Verfahren sind dementsprechend wichtig, um die beste und einheitliche Qualität von 2G HTS-Verbindungen zu erzielen.

Das in diesem Dokument aufgeführte Verfahren des widerstandslosen Mikrofügens ist ein eingetragenes Patent und wurde unter [patent.statements@iso.org](mailto:patent.statements@iso.org) im Formblatt „Patent Statement and Licensing Declaration Form“ angegeben.

Bei einem Supraleiter handelt es sich um ein Material, welches Strom widerstandslos leitet und welches unter der kritischen Temperatur,  $T_c$ , dem kritischen Magnetfeld,  $B_c$ , und der kritischen Stromdichte,  $J_c$ , diamagnetisch ist. Einmal in Bewegung fließt der elektrische Strom unaufhörlich in einer geschlossenen Schleife aus supraleitendem Material unter Diamagnetismus.

Ein 2G HTS besteht aus mehreren Schichten, wobei die Gesamtdicke zwischen 60  $\mu\text{m}$  und 100  $\mu\text{m}$  mit oder ohne umgebenden Cu-Stabilisator beträgt. Die supraleitende Schicht aus  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  (ReBCO, Kurzform von  $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ) ist in Abhängigkeit der Herstellerspezifikation nur zwischen 1  $\mu\text{m}$  und 2  $\mu\text{m}$  dick. „Re“ steht für Seltene Erden (en: rare earth materials), wovon Gadolinium, Yttrium und Samarium für Hochtemperatur-Supraleiter der zweiten Generation genutzt werden. Bild 1 zeigt eine schematische Darstellung typischer Mehrfachschichten mit umgebendem Cu-Stabilisator sowie die Bestandteile und Dicken jeder Schicht des 2G HTS. Die zwei Schichten der Nr. 1 in Bild 1 sind im 2G HTS ohne Stabilisator nicht vorhanden.



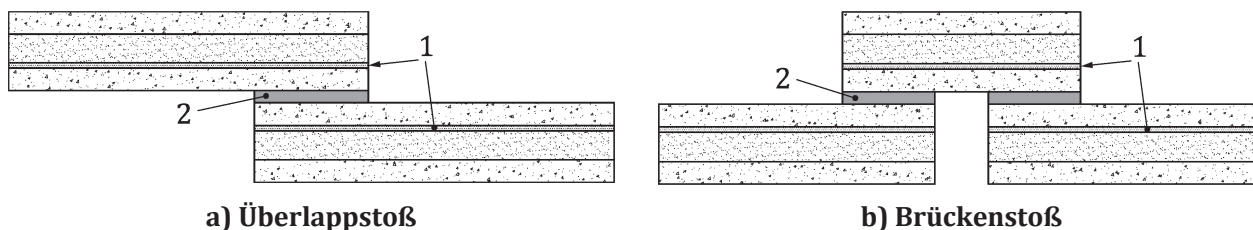
### Legende

- 1 20  $\mu\text{m}$  Cu-Stabilisator
- 2 2  $\mu\text{m}$  Ag-Deckschicht
- 3 zwischen 1  $\mu\text{m}$  und 2  $\mu\text{m}$  supraleitende ReBCO-Schicht
- 4 5 Pufferschichten (160 nm gesamt)
- 5 50  $\mu\text{m}$  Hastelloy-Substrat

ANMERKUNG Nicht maßstabsgerecht.

**Bild 1 — Typische Mehrfachschichten eines 2G HTS sowie die Bestandteile und Dicken jeder Schicht**

Weichlöten, Hartlöten oder beliebige Zusätze werden derzeit in der Supraleiter-Industrie wie in Bild 2 gezeigt angewandt, was zu einem hohen elektrischen Widerstand an der Verbindungsstelle und zu Fehlern im Supraleiter führt.

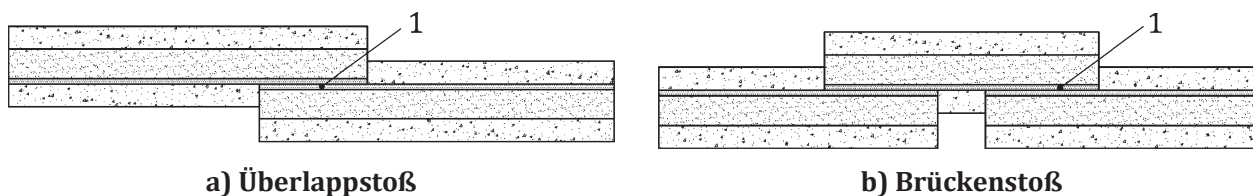


#### Legende

- 1 supraleitende Schicht
- 2 Lot

**Bild 2 — Weichlöten zur Verbindung von 2G HTS**

Dieses Dokument legt das Augenmerk jedoch auf die direkte autogene Verbindung von supraleitenden 2G HTS Schichten mit einer Dicke zwischen 1  $\mu\text{m}$  und 2  $\mu\text{m}$  nach Bild 3 ohne die Verwendung von Schweißzusatzwerkstoffen und mit Rückgewinnung von Supraleitereigenschaften durch Oxidationsglühverfahren, was dazu führt, dass an den Schweißstößen nahezu kein elektrischer Widerstand auftritt.



#### Legende

- 1 supraleitende Schicht

**Bild 3 — Direktes autogenes Fügen von zwei supraleitenden Schichten von 2G HTS für eine supraleitende Verbindung**

Die Internationale Organisation für Normung (ISO) weist darauf hin, dass der Anspruch erhoben wird, dass zur Herstellung von Konformität mit diesem Dokument die Verwendung von Patenten zum widerstandsfreien Fügen von 2G HTS notwendig sein kann. ISO bezieht keine Stellung hinsichtlich der Beweisführung, Richtigkeit und Anwendbarkeit dieses Patentrechts. Die Inhaber dieser Patentrechte haben ISO versichert, dass sie dazu bereit sind, die Lizenzvergabe an Antragsteller in der ganzen Welt unter vernünftigen und fairen Bedingungen zu verhandeln. In dieser Hinsicht ist die Aussage der Patentinhaber bei ISO vermerkt. Weitere Informationen können bezogen werden von:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| KJoins, Inc.<br>913C, H-1, KIST Venture Town<br>Korea Institute of Science and Technology<br>14-1 Hwarang ro, Seongbuk gu<br>Seoul, 136 – 791<br>REPUBLIK KOREA<br>Telefon: +82 2 921 6966<br>Kontaktperson: Dr HeeSung ANN<br>E-Mail: andy@kjoins.com<br>Kontaktperson: Dr YoungKun OH<br>E-Mail: ykoh@kjoins.com<br>Kontaktperson: Dr MyungWhon LEE<br>E-Mail: mwlee@kjoins.com | Dae-A International IP & Law Firm<br>3F Hanyang B/D,<br>830-71 Yeoksam dong, Gangnam gu,<br>Seoul, 135-936<br>REPUBLIK KOREA<br>Telefon: +82 2 565 2500<br>Fax: +82 2 565 2511<br>Kontaktperson: Patent Attorney Mr. BoHyun KIM<br>E-Mail: bohkim@ipdraju.com |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments andere Patentrechte, als die oben angeführten, berühren könnten. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle solcher Patentrechte zu identifizieren.

## 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument enthält Konzepte, Spezifikationen und Qualifizierungen für das Verfahren zur Fügung von 2G HTS. Eine Schweißanweisung (en: welding procedure specification, WPS) wird als Basis für die Planung von Fügeprozessen und zur Qualitätskontrolle während des Fügens benötigt. Das Fügen wird als spezieller Prozess im Rahmen der Terminologie von Normen für Qualitätssysteme erachtet. Normen für Qualitätssysteme erfordern üblicherweise die Ausführung von speziellen Prozessen in Übereinstimmung mit den schriftlichen Verfahrensspezifikationen. Dies führte zur Aufstellung eines Regelwerks zur Qualifizierung von Fügeverfahren vor der Herausgabe einer WPS in die tatsächliche Produktion. Dieses Dokument legt diese Regeln fest.

Dieses Dokument deckt nicht die Verfahren zum Weichlöten, Hartlöten oder Füllen ab, die momentan in der Industrie verfügbar sind. Es kann auf das Fügen aller Arten von 2G HTS angewandt werden.

Dieses Dokument betrifft nicht das Fügen von Hochtemperatur-Supraleitern der ersten Generation (Bismut-Strontium-Calcium-Kupferoxid oder 1G BSCCO), sowie Tieftemperatur-Supraleitern (LTS).

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 15607:2003, *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — General rules*

ISO 17279-2, *Welding — Micro-joining of 2nd generation high temperature superconductors — Part 2: Qualification for welding and testing personnel*

ISO/TR 25901 (all parts), *Welding and related processes — Vocabulary*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO/TR 25901 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

### 3.1 Hochtemperatur-Supraleiter HTS

supraleitendes Material mit einer kritischen Temperatur über dem Siedepunkt von Flüssigstickstoff

### 3.2 Tieftemperatur-Supraleiter LTS

supraleitendes Material mit einer kritischen Temperatur unter dem Siedepunkt von Flüssigstickstoff

### 3.3

#### **Hochtemperatur-Supraleiter der 2. Generation**

##### **2G HTS**

supraleitendes Material mit kritischen Temperaturen über dem Siedepunkt von Flüssigstickstoff hergestellt aus Metallen der Seltenen Erden und anderen Elementen, wie Barium, Kupfer und ihren Oxiden

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Hochtemperatur-Supraleiter der 1. Generation (1G HTS) besteht aus supraleitendem Material mit kritischen Temperaturen über dem Siedepunkt von Flüssigstickstoff, das aus Bismut-Strontium-Calcium-Kupferoxiden hergestellt ist.

### 3.4

#### **partielle mikroschmelzende Diffusion unter Druck**

partielles Mikroschmelzen der zwei Fugenflächen einer 1 µm bis 3 µm dicken supraleitenden Schicht und Diffusion der Atome in einem partiellen Mikroschweißbad und dem festen Zustand der supraleitenden Schichten durch eine Druckkraft

### 3.5

#### **Oxidationsglühen**

Prozess zur Wiederherstellung der Sauerstoff-Stöchiometrie in einer sauerstoffreichen Umgebung und zur Wiederherstellung der supraleitenden Eigenschaften

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Struktur und die supraleitenden Eigenschaften eines 2G HTS werden stark von der Sauerstoff-Stöchiometrie beeinflusst. Das Fügen von 2G HTS bei hohen Temperaturen sorgt für die Diffusion von Sauerstoff und führt so zu einer Phasenänderung von der supraleitenden orthorhombischen Phase zur nicht-supraleitenden tetragonalen Phase.

### 3.6

#### **Festkörperdiffusion unter Druck**

Diffusion von Atomen in festem Zustand in den zwei Stoßflächen der 1 µm bis 3 µm dicken supraleitenden Schichten durch eine Druckkraft

### 3.7

#### **Brückenstoß**

Verbindung mit einem dritten überlappenden 2G HTS als Brücke über den zwei 2G HTS-Teilen

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 3 und Bild 5.

## **4 Symbole und Abkürzungen**

Es gelten die in ISO 15607:2003, Tabelle 1, aufgeführten Abkürzungen, die für das Fügeverfahren von 2G HTS relevant sind.

## **5 Anforderungen**

### **5.1 Verbindungsausführung**

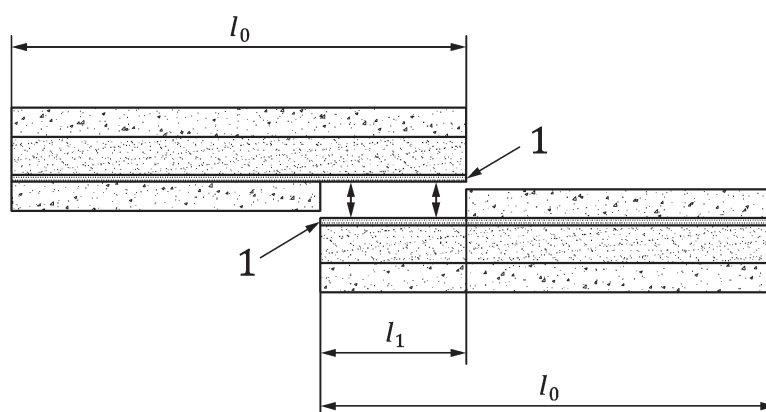
#### **5.1.1 Allgemeines**

Die Verbindung muss in Übereinstimmung mit den Anforderungen der Endanwendung des jeweiligen Produktes ausgeführt werden. Die Dokumentation muss die essentiellen Informationen zu der jeweiligen Verbindung und alle Sonderanforderungen, z. B. die kritischen Anforderungen hinsichtlich Bruchbildung, Haltbarkeit, Betriebsfähigkeit oder Sicherheit, welche über die allgemeinen Anforderungen hinausgehen, klar definieren. Es müssen verbindliche Prozesskontrollen definiert werden, welche belegen, dass alle Ausführungsanforderungen durch die Verbindungen erfüllt werden können, die in Übereinstimmung mit der Schweißanweisung (WPS) und den Prüfungs- sowie Inspektionsanforderungen hergestellt werden.

Die Verbindungsauführung muss die notwendigen Werkstoffeigenschaften berücksichtigen. Es bestehen grundsätzlich zwei Arten von Verbindungsauslegungen (Überlappstoß und Brückenstoß) und die geeignete Auslegung kann nach dem Ermessen des Anwenders ausgewählt werden. Die zwei Arten der Verbindungsauslegung zum Fügen von 2G HTS werden im Bild 3 dargestellt.

### 5.1.2 Überlappstoß

Bild 4 zeigt eine schematische Darstellung des Überlappstoßes zur Qualifizierung von Schweißverfahren, wie in 5.3 beschrieben. Alle Längen,  $l_0$ , und  $l_1$  sollten im Bericht über die Qualifizierung des Verfahrens (en: procedure qualification report, PQR) angegeben werden. Wenn die Verbindungslänge,  $l_1$ , erhöht wird, erhöht sich auch die effektive Kontaktfläche zwischen den zwei supraleitenden Schichten. Dies führt zur Erhöhung der Wahrscheinlichkeit der Diffusion von Atomen zwischen den zu fügenden Schichten und dementsprechend erhöht sich auch die Verbindungsfestigkeit (Zugfestigkeit und Biegefestigkeit). Die Cu-Stabilisatoren und Ag-Deckschichten auf der supraleitenden Ebene müssen vollständig entfernt werden, um den direkten Kontakt zwischen den zwei supraleitenden Schichten und das Mikrofügen sicherzustellen. Dieses Verfahren dient dazu, die Kontaminierung der supraleitenden Schichten während des Mikrofügens zu verhindern.



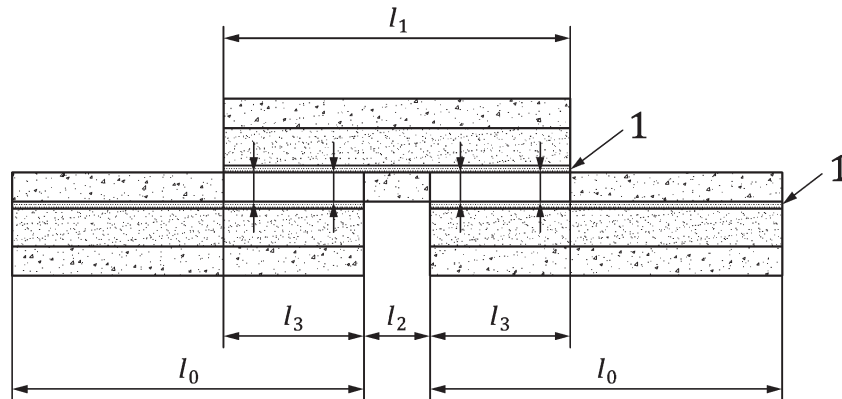
#### Legende

- 1 supraleitende Schicht
- $l_0$  60 mm; Länge der zwei Teile
- $l_1$  40 mm; Überlappung (Stoßlänge)

**Bild 4 — Überlappstoß**

### 5.1.3 Brückenstoß

Bild 5 zeigt die Verbindungsauführung zur Qualifizierung von Schweißverfahren, wie in 5.3 beschrieben. Der Abstand,  $l_2$ , zwischen zwei 2G HTS-Teilen im Bild 5 darf in Abhängigkeit der Verbindungsauführung von „0“ bis zu über 10 cm reichen. Die Längen von  $l_0$  im Bild 5 sollten gleich sein. Alle Längen,  $l_0$ ,  $l_1$ ,  $l_2$ , und  $l_3$ , sollten im Bericht über die Qualifizierung des Verfahrens (en: procedure qualification report, PQR) angegeben werden. Wenn die Verbindungslänge,  $l_3$ , erhöht wird, erhöht sich auch die effektive Kontaktfläche zwischen den zwei supraleitenden Schichten. Dies führt zur Erhöhung der Wahrscheinlichkeit der Diffusion von Atomen zwischen den zu fügenden Schichten und dementsprechend erhöht sich auch die Verbindungsfestigkeit (Zugfestigkeit und Biegefestigkeit). Die Cu-Stabilisatoren, wenn enthalten, und Ag-Deckschichten auf der supraleitenden Ebene müssen vollständig entfernt werden, um den direkten Kontakt zwischen den zwei supraleitenden Schichten und das Fügen sicherzustellen. Dieses Verfahren dient dazu, die Kontaminierung der supraleitenden Schichten während des Fügens zu vermeiden.



### Legende

- 1 supraleitende Schicht
- $l_0$  50 mm; Länge der zwei untersten Teile
- $l_1$  40 mm bis 50 mm; Länge des Brückenteils
- $l_2$  0 mm bis 10 mm; Abstand zwischen den zu fügenden Teilen
- $l_3$  20 mm; Überlappung (Stoßlänge)

**Bild 5 — Brückenstoß**

## 5.2 Ausrüstung

Die Ausrüstung muss für die jeweilige Anwendung adäquat sein. Das Fügwerkzeug muss in der Lage sein, Verbindungen herzustellen, welche die Abnahmekriterien aus 5.9 erfüllen. Das Fügwerkzeug muss in gutem Zustand erhalten werden und muss repariert oder angepasst werden, wenn ein Bediener, Prüfer oder ein Koordinator für den Schweißbetrieb Zweifel an der Fähigkeit des Werkzeugs hat, zufriedenstellende Ergebnisse abzuliefern.

Nach der Installation neuer oder aufbereiteter Ausrüstung oder der Entwicklung neuer Ausrüstung, müssen entsprechende Prüfungen vorgenommen werden. Diese Prüfungen müssen bestätigen, dass die Ausrüstung ordnungsgemäß funktioniert.

Prüfungen der Reproduzierbarkeit müssen ausgeführt werden, um zu beweisen, dass das Fügwerkzeug in der Lage ist, mehrfach Verbindungen herzustellen, welche den Abnahmekriterien aus 5.9 genügen. Diese Prüfungen der Reproduzierbarkeit müssen in Übereinstimmung mit einer WPS durchgeführt werden, die auch in der Fertigung für diese Maschine verwendet wird. Ein Minimum an drei Prüfverbindungen muss ausgeführt und für zufriedenstellend befunden werden. Die Prüfungen auf Reproduzierbarkeit müssen ausgeführt werden, wenn eines der folgenden Ereignisse eintritt:

- eine kritische Komponente oder mehrere kritische Komponenten der Ausrüstung wurden beschädigt, repariert oder ausgetauscht;
- die Ausrüstung wurde entfernt oder auf eine Art und Weise bewegt, für welche diese nicht ausgelegt ist;
- ortsfeste Einrichtungen wurden von einem zum anderen Ort bewegt.

Der Hersteller muss über einen dokumentierten Plan zur Wartung der Ausrüstung verfügen. Dieser Plan muss sicherstellen, dass Wartungskontrollen an der Ausrüstung ausgeführt werden, um die Kontrollvariablen der relevanten WPS abzudecken. Der Wartungsplan darf auf solche Posten beschränkt werden, die essentiell für die Ausführung von Verbindungen zur Erfüllung der Qualitätsanforderungen dieses Dokuments sind.

Die in der Fertigung verwendeten Fügwerkzeuge müssen, falls vorhanden, vor der Benutzung zu Identifikationszwecken permanent markiert werden. Vor jeder Verbindungsausführung müssen die Fügwerkzeuge, falls vorhanden, sauber und frei von jeglichen Fremdstoffen (z. B. Öl, Fett oder Schmutz) sein, welche einen negativen Einfluss auf die Verbindungsqualität haben können. Die korrekte Werkzeuggeometrie ist von kritischer Wichtigkeit, um eine qualitativ hochwertige Verbindung herzustellen. Weil das Fügwerkzeug sich mit fortschreitender Verwendung abnutzt, muss dieses in regelmäßigen Abständen und in Übereinstimmung mit einem schriftlichen Verfahren auf Verschleiß geprüft werden. Vor dem Fügen müssen Teile und Stücke, die mit dem Fügeteil in Kontakt kommen, sauber und ausreichend frei von möglichen Fremdstoffen (z. B. Öl, Fett und Schmutz) sein, die einen negativen Einfluss auf die Verbindung haben können.

Defekte Ausrüstungen dürfen nicht verwendet werden.

**ANMERKUNG** Geeignete Maschinen für das Fügen und Oxidationsglühen sind nur selten kommerziell verfügbar. Es liegt in der Verantwortlichkeit des jeweiligen Unternehmens oder der Organisation, welche die Fügeprozesse durchführt, solche Maschinen zu entwickeln, wenn keine geeigneten handelsüblichen Maschinen verfügbar sind.

### **5.3 Qualifizierung des Schweißverfahrens**

Der Hersteller ist vollständig verantwortlich für die Spezifizierung und Leistungsfähigkeit der Verfahren des Mikrofügens und Oxidationsglühens zur Wiederherstellung der Supraleitfähigkeit nach Maßgabe durch den Hersteller. Geeignete Aufzeichnungen hinsichtlich der Verfahren zum Mikrofügen und Oxidationsglühen müssen vor, während und nach Ausführung des Verfahrens gemacht werden.

Die folgenden Informationen sind für jede Verbindung in der WPS anzuführen:

- a) Produktspezifikation des Lieferanten für den 2G HTS;
- b) Materialspezifikation für die supraleitende Schicht;
- c) Oberflächenvorbereitung vor dem Fügen, einschließlich vollständiger Entfernung des Cu-Stabilisators, falls vorhanden, sowie der Ag-Deckschicht;
- d) die Art der Verbindung (Überlappung, Brückenstoß oder anderer Stoß, wenn verwendet);
- e) Abmessungen des Prüfkörpers, einschließlich Stoßlänge ( $l_0, l_1, l_2, l_3$  nach Bild 4 oder Bild 5);
- f) abschließende Endbearbeitung und Konfiguration der Verbindung (jegliche Verstärkungsmaßnahmen zur Erhöhung der Verbindungsfestigkeit);
- g) Stoßabmessungen; die Abmessungen des Stoßes in der Schweißanweisung (WPS) müssen den endgültigen Abmessungen entsprechen.

Ein Formular für die WPS wird im Anhang D gezeigt.

### **5.4 Verfahren des Mikrofügens und Oxidationsglühens**

#### **5.4.1 Allgemeines**

Die Anforderungen an die Spezifikation des Verfahrens zum Mikrofügen und des Oxidationsglühens werden für 2G HTS bestimmt. Die Qualifizierung der Verfahren zum Mikrofügen und des Oxidationsglühens müssen vor dem Fügen in der Fertigung durchgeführt werden. Der Hersteller muss einen Bericht über die Qualifizierung des Schweißverfahrens (WPQR) und eine Schweißanweisung (WPS) anfertigen und muss anhand von Erfahrungen aus früheren Fertigungsaufträgen und den allgemeinen Kenntnissen im Bereich der Fügetechnik sicherstellen, dass diese für die Fertigung umsetzbar sind.