

DIN EN ISO 17279-1



ICS 25.160.01

Einsprüche bis 2016-06-08

Entwurf

**Schweißen –
Mikrofügen von Hochtemperatursupraleitern der 2. Generation –
Teil 1: Allgemeine Anforderungen an das Verfahren
(ISO/DIS 17279-1:2016);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 17279-1:2016**

Welding –

Micro joining of 2nd generation high temperature superconductors –
Part 1: General requirements for the procedure (ISO/DIS 17279-1:2016);
German and English version prEN ISO 17279-1:2016

Soudage –

Assemblage par micro des supraconducteurs à haute température critique de deuxième
génération –
Partie 1: Exigences générales de performance pur la procédure (ISO/DIS 17279-1:2016);
Version allemande et anglaise prEN ISO 17279-1:2016

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-04-08 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nas@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS), 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 104 Seiten

DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 17279-1:2016) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 44 „Welding and allied processes“, Unterkomitee SC 10 „Quality management in the field of welding“ (Sekretariat: DIN, Deutschland) in Zusammenarbeit mit CEN/TC 121 „Schweißen und verwandte Verfahren“, Unterkomitee SC 4 „Qualitätsmanagement für das Schweißen“ (Sekretariat: DIN, Deutschland) erarbeitet.

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

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der prEN ISO 17279-1 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

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	E 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

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*

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

E DIN EN ISO 17279-3, *Schweißen — Mikrofügen von Hochtemperatursuperleitern der 2. 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*

Schweißen — Mikrofügen von Hochtemperatursupraleitern der zweiten Generation — Teil 1: Allgemeine Anforderungen an das Verfahren (ISO/DIS 17279-1:2016)

Soudage — Assemblage par micro des supraconducteurs à haute température critique de deuxième génération — Partie 1 : Exigences générales de performance pour la procédure (ISO/DIS 17279-1:2016)

Welding — Micro-joining of 2nd generation high temperature superconductors — Part 1: General requirements for the procedure (ISO/DIS 17279-1:2016)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

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 Brückenträgerstoß	10
5.2 Geräte und Werkzeug	11
5.3 Qualifizierung des Schweißverfahrens	12
5.4 Verfahren des Mikrofügens und Sauerstoffglühens	13
5.4.1 Allgemeines	13
5.4.2 Technischer Inhalt einer pWPS und WPS	15
5.5 Qualifizierung basierend auf Standardprobe für Verbindung	17
5.5.1 Allgemeines	17
5.5.2 Probekörper	17
5.5.3 Verfahren zum Mikrofügen und Sauerstoffglühen der Proben	17
5.5.4 Prüfung der Proben	22
5.5.5 Nachprüfung	26
5.5.6 Prüfprotokoll	26
5.6 Geltungsbereich	26
5.6.1 Allgemeines	26
5.6.2 Bezüglich des Herstellers	26
5.6.3 Wesentliche Einflussgrößen	27
5.6.4 Andere Variablen	28
5.7 Spezifikation und Qualifizierungsbericht der Verfahren zum Mikrofügen und Sauerstoffglühen	28
5.8 Endbehandlung der Fertigungsverbindung	28
5.9 Annahmekriterien	29
5.10 Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit	31
6 Prüfung durch Dritte	31
Anhang A (informativ) Verfahren des Mikrofügens und Sauerstoffglühens	32
Anhang B (informativ) Vorläufige Schweißanweisung (pWPS)	36
Anhang C (informativ) Verfahrensqualifizierung des Mikrofügens und Sauerstoffglühens und Bericht über die Qualifizierung des Schweißverfahrens	39
Anhang D (informativ) Schweißanweisungen (WPS)	46
Anhang E (informativ) Checkliste für die Verfahrensqualifizierung des Mikrofügens und Sauerstoffglühens	49

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 17279-1:2016) 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 vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 17279-1:2016 wurde vom CEN als prEN ISO 17279-1:2016 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees 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 Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen 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. Im Besonderen sollten die für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten notwendigen Annahmekriterien beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe 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 empfangenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO-spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der WTO-Grundsätze zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: Foreword - Supplementary information.

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/TC 44/SC 10 *Quality management in the field of welding*.

Diese zweite/dritte/... Ausgabe ersetzt die erste/zweite/... Ausgabe [], [Abschnitt(e) / Unterabschnitt(e) / Tabelle(n) / Bilde(r) / Anhang/Anhänge] von denen [wurde / wurden] technisch überarbeitet.

ISO 17279 besteht aus folgenden Teilen unter dem allgemeinen Titel *Welding — Micro-joining of 2nd generation high temperature superconductors*:

- *Part 1: General requirements for the procedure*
- *Part 2: Qualification for welding and testing personnel*
- *Part 3: Test methods for joints*

Anfragen zu offiziellen Interpretationen von technischen Aspekten dieser Internationalen Norm sollten an das Sekretariat der ISO/TC 44/SC 10 über Ihre nationale Normenorganisation gerichtet werden. Eine Auflistung dieser Organisationen steht auf www.iso.org zur Verfügung.

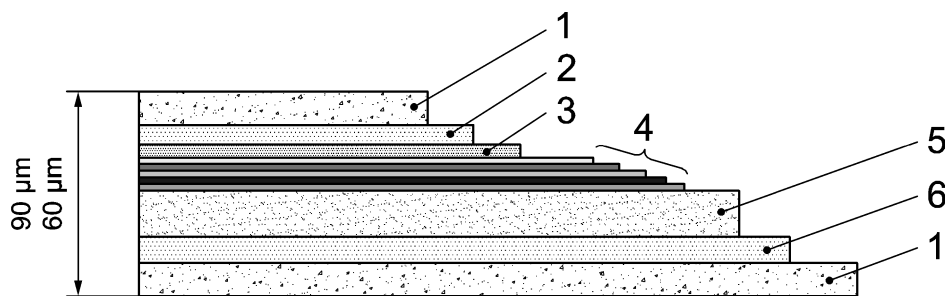
Einleitung

Die zunehmende Verwendung von Hochtemperatur-Supraleitern der zweiten Generation (2G HTSL) und die Erfindung des widerstandsfreien Fügens von 2G HTSL haben diese internationale Norm nötig gemacht, um sicherzustellen, dass Fügeverfahren so effektiv wie möglich umgesetzt werden und dass geeignete Kontrollen in allen Aspekten des Betriebs ausgeübt werden. ISO-Normen zum Mikrofügen und zur Bewertung von Verbindungen sind daher essentiell, um die bestmögliche und gleichbleibende Qualität von 2G HTSL-Verbindungen sicherzustellen.

Ein Supraleiter ist ein Material, welches Elektrizität ohne Widerstand leitet und einen Diamagnetismus unterhalb der kritischen Temperatur (T_c), dem kritischen Magnetfeld (B_c) und der kritischen Stromdichte (J_c) aufweist. Einmal in Bewegung gesetzt, fließt der elektrische Strom für immer in einer geschlossenen Schleife aus supraleitendem Material unter dem Effekt des Diamagnetismus.

2G HTSL besteht aus mehreren Schichten mit einer Gesamtdicke von ungefähr $60\text{ }\mu\text{m}$ ~ $90\text{ }\mu\text{m}$ während die aus $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ bestehende supraleitende Schicht in Abhängigkeit der Herstellerangaben nur $1\text{ }\mu\text{m}$ ~ $3\text{ }\mu\text{m}$ dick ist. Bild 1 zeigt eine schematische Darstellung von mehreren typischen Schichten, sowie die Bestandteile und Dicken jeder dieser Schichten des 2G HTSL.

Nicht maßstabsgetreu

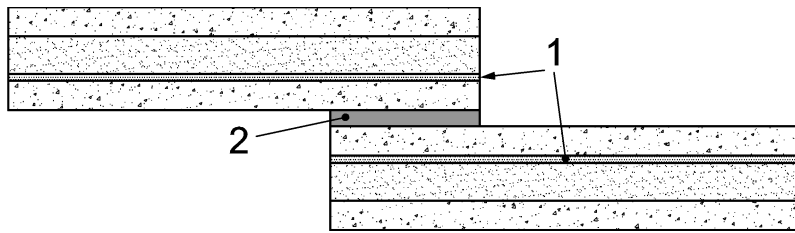


Legende

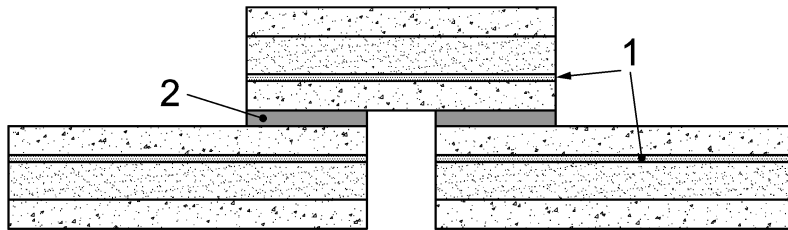
- | | |
|---|--|
| 1 20 μm Cu-Stabilisator | 4 5 Pufferschicht (160 μm) |
| 2 2 μm Ag-Überschicht | 5 50 μm Hastelloy-Substrat |
| 3 1 μm ~ 3 μm ReBCO supraleitende Schicht | 6 1,8 μm Ag-Überschicht |

Bild 1 — Typischer 2G HTSL mit mehreren Schichten, sowie die Bestandteile und Dicken jeder Schicht

Momentan werden Weich-, Hardlöt- und Füllverfahren bei Supraleitern wie im Bild 2 dargestellt ausgeführt, wobei so ein hoher elektrischer Widerstand an der Verbindung auftritt und so zu einem fatalen Mangel im Supraleiter führt.



Überlappstoß



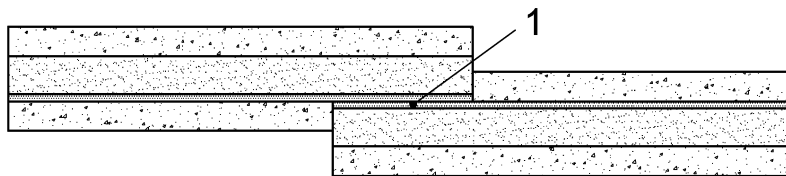
Brückenträgerstoß

Legende

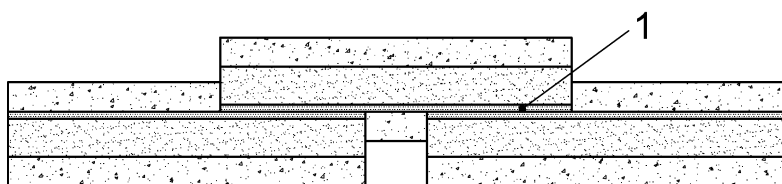
- 1 supraleitende Schicht
- 2 Lot

Bild 2 — Verbinden von 2G HTSL durch Löten

Diese Norm konzentriert sich jedoch auf das direkte autogene Fügen von 1 μm ~ 3 μm dicken supraleitenden Schichten von 2G HTSL, wie im Bild 3 gezeigt ohne die Verwendung von Lot und die Wiederherstellung von supraleitenden Eigenschaften durch ein Sauerstoffglühverfahren, was fast keinen elektrischen Widerstand an der Verbindung bewirkt.



Überlappstoß



Brückenträgerstoß

Legende

- 1 supraleitende Schicht

Bild 3 — Direktes autogenes Fügen von 1 μm bis 3 μm dicken supraleitenden Schichten von 2G HTSL für eine supraleitende Verbindung

Die Teile dieser internationalen Norm werden im Vorwort angeführt.

ISO 17279-1 bestimmt Anforderungen zur Qualifizierung eines Fügeverfahrens für 2G HTSL. Die Verbindungen von 2G HTSL sollten die notwendigen elektrischen, magnetischen und mechanischen Eigenschaften aufweisen, sowie frei von jeglichen ernststen Mängeln während der Produktion und im Betrieb sein. Um dieses Ziel zu erreichen ist die Umsetzung von Kontrollmaßnahmen während der Entwicklung und Fertigung notwendig.

ISO 17279-2 bestimmt Anforderungen für die Qualifizierung von Personal, welches die Schweiß- und Prüfarbeiten durchführt.

ISO 17279-3 bestimmt Prüfverfahren zur Bestimmung der Fähigkeit von Verbindungen, der für die Fertigung verlangten Qualität zu entsprechen. Sie definiert bestimmte Prüfanforderungen, weist diese Anforderungen aber nicht einer bestimmten Produktgruppe zu.

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

Diese Internationale Norm definiert Begriffe, Spezifikationen und Qualifizierungen für das Verfahren zur Fügung von 2G HTSL. Eine Schweißanweisung (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. Dieser Teil der ISO 17279 definiert diese Regeln.

Diese Norm deckt nicht die Verfahren zum Weichlöten, Hartlöten oder Füllen ab, die momentan in der Industrie verfügbar sind. Diese Internationale Norm kann auf das Fügen aller Arten von 2G HTSL angewandt werden. Diese Norm betrifft nicht das Fügen von Hochtemperatur-Supraleitern der ersten Generation (Bismut-Strontium-Calcium-Kupferoxid oder 1G BSCCO), sowie Tieftemperatur-Supraleiter (TTSL).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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/TR 25901, *Welding and related processes — Vocabulary*

ISO 2553, *Welding and allied processes — Symbolic representation on drawings — Welded joints*

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 17279-3, *Welding — Micro-joining of 2nd generation high temperature superconductors — Part 3: Test methods for joints*

ISO 17637, *Non-destructive testing of welds — Visual testing of fusion-welded joints*

3 Begriffe

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

3.1

Hochtemperatur-Supraleiter (HTSL)

supraleitendes Material mit einer kritischen Temperatur über dem Siedepunkt von Flüssigstickstoff

3.2

Tieftemperatur-Supraleiter (TTSL)

supraleitendes Material mit einer kritischen Temperatur unter dem Siedepunkt von Flüssigstickstoff

3.3

Hochtemperatur-Supraleiter der ersten Generation (1G HTSL)

supraleitendes Material mit kritischen Temperaturen über dem Siedepunkt von Flüssigstickstoff hergestellt aus Bismut-Strontium-Calcium-Kupferoxiden

3.4

Hochtemperatur-Supraleiter der zweiten Generation (2G HTSL)

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

3.5

partielle mikroschmelzende Diffusion

partiell Mikroschmelzen der zwei Fugenflächen einer 1 µm bis 3 µm dicken supraleitenden Schicht und Diffusion der Atome in einem partiellen Mikroschweißbad und den festen Zustand der supraleitenden Schichten

3.6

partielle mikroschmelzende Diffusion unter Druck

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

3.7

Sauerstoffglühen

die Struktur und die supraleitenden Eigenschaften eines 2G HTSL werden stark von der Sauerstoff-Stöchiometrie beeinflusst. Das Fügen von 2G HTSL 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. Sauerstoffglühen ist der Prozess zur Wiederherstellung der Sauerstoff-Stöchiometrie in einer sauerstoffreichen Umgebung und zur Wiederherstellung der supraleitenden Eigenschaften

3.8

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

3.9

Überlappstoß

Verbindung durch Überlappen von zwei 2G HTSL Teilen

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 2 und Bild 3.

3.10

Brückenträgerstoß

Verbindung mit einem dritten 2G HTSL als Brücke über den zwei 2G HTSL Teilen

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 2 und Bild 3.

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Zwecke dieses Dokuments können die Abkürzungen der ISO 15607:2003, Tabelle 1 angewandt werden, wenn die Abkürzungen für die Fügeverfahren von 2G HTSL von Relevanz 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

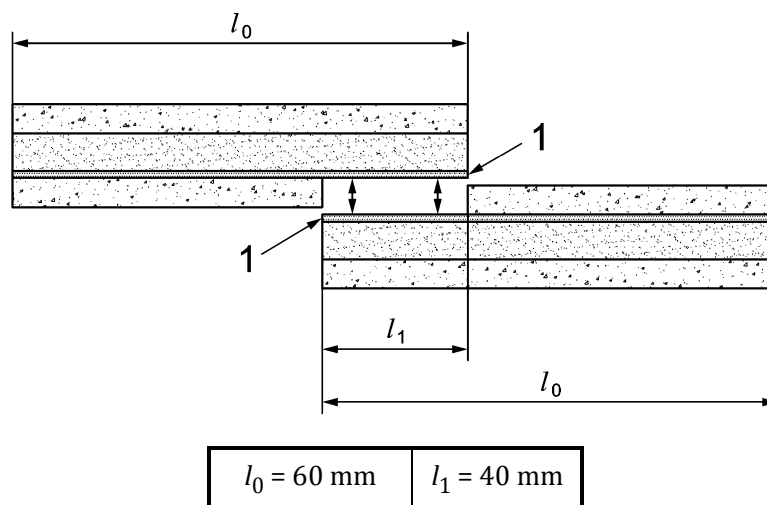
Verbindung und alle Sonderanforderungen, z. B. die kritischen Anforderungen hinsichtlich Bruchbildung, Haltbarkeit, Betriebsfähigkeit oder Sicherheit, welche über die allgemeinen Anforderungen hinausgehen, klar definieren. Es müssen verbindliche Prozesskontrollen definiert werden, welche belegen, dass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

Die Symbole der ISO 2553 können angewandt werden.

Die Verbindungsauführung muss die notwendigen Werkstoffeigenschaften berücksichtigen. Es bestehen grundsätzlich zwei Arten von Verbindungsauslegungen (Überlappstoß und Brückenträgerstoß) und die geeignete Auslegung kann nach dem Ermessen des Anwenders ausgewählt werden. Die zwei Arten der Verbindungsauslegung zum Fügen von 2G HTSL 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 Verfahrensqualifizierungsbericht (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-Überschichten 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

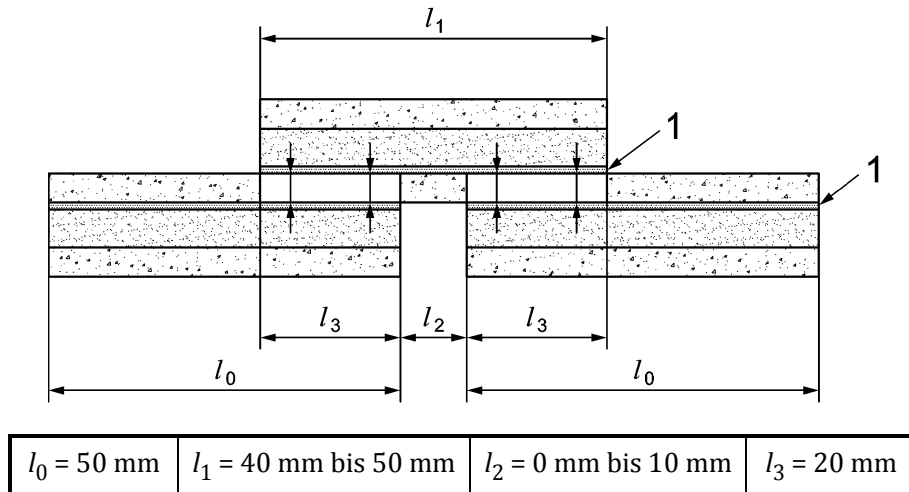
- l_0 Länge der zwei Teile
- l_1 Überlappen (Stoßlänge)
- 1 supraleitende Schicht

Bild 4 — Überlappstoß

5.1.3 Brückenträgerstoß

Bild 5 zeigt die Verbindungsauführung zur Qualifizierung von Schweißverfahren, wie in 5.3 beschrieben. Der Abstand (l_2) zwischen zwei 2G HTSL Teilen im Bild 5 kann in Abhängigkeit der Verbindungsauführung von „0“ bis zu über 10 cm reichen. Die Länge von l_0 im Bild 5 sollte gleich sein. Alle Längen (l_0 , l_1 , l_2 und l_3) sollten im Verfahrensqualifizierungsbericht (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 und Ag-Überschichten 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 supra-leitenden Schichten während des Fügens zu verhindern.



Legende

- l_0 Länge der zwei untersten Teile
 l_1 Länge des Brückenteils
 l_2 Abstand zwischen zu fügenden Teilen
 l_3 Überlappung (Stoßlänge)

Bild 5 — Brückenträgerstoß

5.2 Geräte und Werkzeug

Die Geräte und Werkzeuge müssen für die jeweilige Anwendung adäquat sein. Das Fügewerkzeug muss in der Lage sein, Verbindungen herzustellen, welche die Abnahmekriterien des Abschnitts 5.9 erfüllen. Das Fügewerkzeug 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 Geräte oder Werkzeuge oder der Entwicklung neuer Werkzeuge, müssen entsprechende Prüfungen vorgenommen werden. Diese Prüfungen müssen bestätigen, dass die Werkzeuge und Geräte ordnungsgemäß funktionieren.

Prüfungen der Reproduzierbarkeit müssen ausgeführt werden, um zu beweisen, dass das Fügewerkzeug in der Lage ist, mehrfach Verbindungen herzustellen, welche den Abnahmekriterien des Abschnitts 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 Geräte und Werkzeuge wurden beschädigt, repariert oder ausgetauscht;
- Geräte oder Werkzeuge wurden entfernt oder auf eine Art und Weise bewegt, für welche diese nicht ausgelegt sind;
- Ortsfeste Einrichtungen wurden von einem zum anderen Ort bewegt.

Der Hersteller muss über einen dokumentierten Plan zur Wartung von Geräten und Werkzeugen verfügen. Dieser Plan muss sicherstellen, dass Wartungskontrollen an der Einrichtung ausgeführt werden, um die Kontrollvariablen der relevanten WPS abzudecken. Der Wartungsplan kann auf solche Posten beschränkt werden, die essentiell für die Ausführung von Verbindungen zur Erfüllung der Qualitätsanforderungen dieser Norm sind.

Die in der Fertigung verwendeten Fügewerkzeuge müssen, falls zutreffend, vor der Benutzung zu Identifikationszwecken permanent markiert werden. Vor jeder Verbindungsausführung müssen die Fügewerkzeuge sauber und frei von jeglichen Fremdstoffen (z. B. Öl, Fett oder Dreck) sein, welche einen negativen Einfluss auf die Verbindungsqualität haben könnten. Die korrekte Werkzeuggeometrie ist von kritischer Wichtigkeit, um eine qualitativ hochwertige Verbindung herzustellen. Weil das Fügewerkzeug 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 Dreck) sein, die einen negativen Einfluss auf die Verbindung haben könnten.

Defekte Geräte und Werkzeuge dürfen nicht verwendet werden.

ANMERKUNG Geeignete Maschinen für das Fügen und Sauerstoffglühen sind nur selten kommerziell verfügbar. Es liegt vollständig in der Verantwortlichkeit des jeweiligen Unternehmens oder der Organisation, welche die Fügeprozesse durchführen, solche Maschinen zu entwickeln.

5.3 Qualifizierung des Schweißverfahrens

Der Hersteller ist vollständig verantwortlich für die Spezifizierung und Leistungsfähigkeit der Verfahren des Mikrofügens und Sauerstoffglühens zur Wiederherstellung der Supraleitfähigkeit nach Maßgabe durch den Hersteller. Geeignete Aufzeichnungen hinsichtlich der Verfahren zum Mikrofügen und Sauerstoffglühen 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 HTSL;
- b) Materialspezifikation für die supraleitende Schicht;
- c) Oberflächenvorbereitung für dem Fügen, einschließlich vollständiger Entfernung des Cu-Stabilisators, falls vorhanden, sowie der Ag-Überschicht;
- d) Die Art der Verbindung (Überlappung, Brückenträgerstoß oder anderer Stoß);
- 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 Schweißstoßes in der Schweißanweisung (WPS) muss den endgültigen Abmessungen entsprechen.

Eine Art der WPS wird im Anhang D gezeigt.

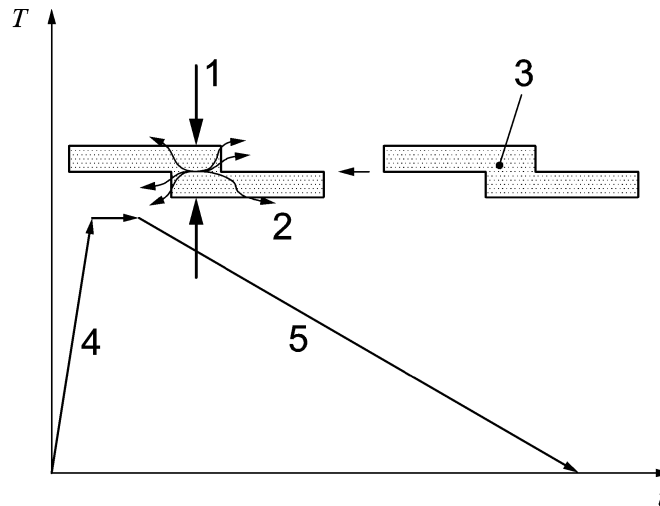
5.4 Verfahren des Mikrofügens und Sauerstoffglühens

5.4.1 Allgemeines

Die Anforderungen an die Spezifikation des Verfahrens zum Mikrofügen und des Sauerstoffglühens werden für 2G HTSL bestimmt. Die Qualifizierung der Verfahren zum Mikrofügen und des Sauerstoffglühens müssen vor dem Fügen in der Fertigung durchgeführt werden. Der Hersteller muss einen Qualifizierungsbericht zum Schweißverfahren (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.

Die supraleitende Schicht besteht aus ReBCO ($\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$) wobei das Molverhältnis von Re:Ba:Cu einer Verteilung von 1:2:3 entspricht und der Molenbruch ($7-x$) des Sauerstoffs (O) üblicherweise in einem Bereich von 6,4 bis 7 liegt. Bei Vorliegen von Sauerstoff in der Umgebungsluft unter Partialdruckverhältnissen (≈ 160 Torr), erhält man nur selten einer supraleitenden Verbindung ohne die Ag-Überschicht zu schmelzen, welche die supraleitende Schicht schützt, weil der Schmelzpunkt von ReBCO höher liegt als der von Ag. Jedoch kann eine supraleitende Verbindung ohne Deformation der ReBCO-Schicht erfolgreich hergestellt werden, indem man den Sauerstoffpartialdruck reduziert und so den Schmelzpunkt von ReBCO heruntersetzt. Daher ist es notwendig, unter Vakuumbedingungen zu fügen. Andererseits können beim Fügen im Vakuum, welches durch die Diffusion des Sauerstoffs kontrolliert wird, die supraleitenden Eigenschaften des Materials verschlechtert werden. Die Struktur und die supraleitenden Eigenschaften der ReBCO-Schicht werden stark von der Sauerstoff-Stöchiometrie beeinflusst, daher führt ein Sauerstoffmangel zu einer Phasenänderung von der orthorhombischen Phase zur nicht-supraleitenden tetragonalen Phase. Dieser Phasenübergang ist abhängig von der Temperatur und dem Sauerstoffpartialdruck. Darüber hinaus ist ein solcher Phasenübergang in einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre durch Änderungen der Temperatur reversibel. Jedoch ist unter Vakuumbedingung dieser Übergang nicht reversibel, was bedeutet, dass die tetragonale Phase selbst nach einer Wärmebehandlung auf hohen Temperaturen stabil bleibt. Daher ist die Entwicklung eines Verfahrens zum Sauerstoffglühen bei erhöhten Temperaturen etwas unterhalb der Übergangstemperatur zwischen der supraleitenden orthorhombischen Phase in eine nicht-supraleitende tetragonale Phase innerhalb einer sauerstoffreichen Umgebung wichtig, um die Sauerstoff-Stöchiometrie und daher die supraleitenden Eigenschaften der Verbindung wiederherzustellen.

Bild 6 und Bild 7 zeigen jeweils einen Prozess des Mikrofügens, sowie einen Prozess des Sauerstoffglühens. Das Mikrofügen findet in direktem Kontakt mit zwei supraleitenden Schichten innerhalb extrem kurzer Zeitspannen (Sekunden bis wenige Minuten) statt, der Prozess des Sauerstoffglühens benötigt jedoch Stunden, oder sogar Tage abhängig von der Kapazität des Ofens (Wärmekammer), der Sauerstoffumgebung, dem Reinheitsgrad, der Konzentration, der Art der Verbindung und der Qualität. Das Mikrofügen und Sauerstoffglühen kann in verschiedenen Einrichtungen durchgeführt werden. Bei der separaten Auslagerung des Sauerstoffglühens besteht der Vorteil, dass man viele Prüfkörper gleichzeitig in Abhängigkeit der Größe der Wärmekammer behandeln kann. Bild 8 zeigt die Prozesse des Mikrofügens und des Sauerstoffglühens in derselben Wärmekammer und bei Dauerbetrieb.

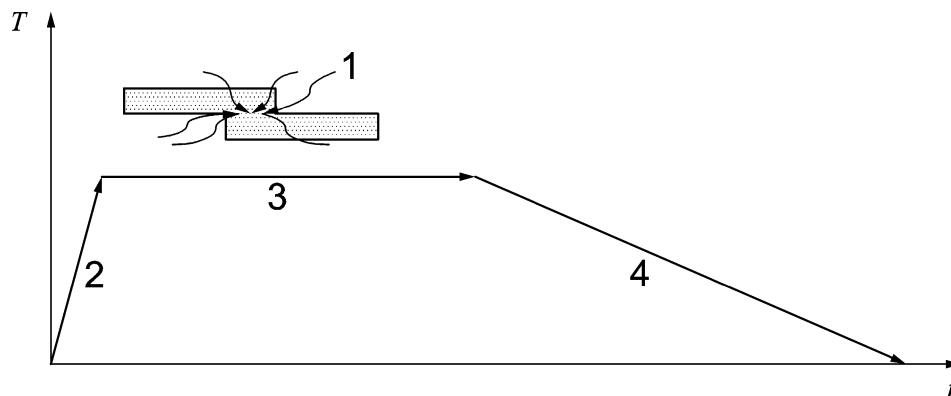


ANMERKUNG Wärme und Druck unter Vakuumverhältnissen während des Fügeprozesses.

Legende

- | | | | |
|---|---|---|-------------------------------|
| 1 | Wärmedruck | 4 | Schnellste Erhitzung |
| 2 | Sauerstoffdiffusion (heraus) | 5 | Schnelle bis mittlere Kühlung |
| 3 | Abzug von Stabilisatoren und/oder Übersichten | | |

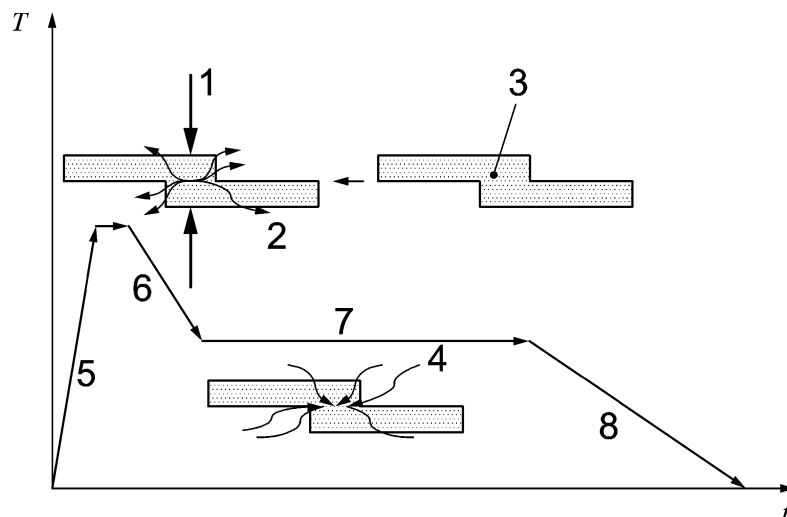
Bild 6 — Prozess des Mikrofügens in einer Fügekammer



Legende

- | | | | |
|---|------------------------------|---|--------------------|
| 1 | Sauerstoffdiffusion (hinein) | 3 | Sauerstoffglühen |
| 2 | mittlere Erhitzung | 4 | langsamste Kühlung |

Bild 7 — Prozess des Sauerstoffglühens in Sauerstoffglühkammer



ANMERKUNG Wärme und Druck unter Vakuumverhältnissen während des Fügeprozesses.

Legende

- | | |
|---|---------------------------------|
| 1 Wärme und Druck | 5 schnellste Erhitzung |
| 2 Sauerstoffdiffusion (heraus) | 6 schnelle bis mittlere Kühlung |
| 3 Abzug von Stabilisatoren und/oder Überschichten | 7 Sauerstoffglühung |
| 4 Sauerstoffdiffusion (hinein) | 8 langsamste Kühlung |

Bild 8 — Prozesse des Mikrofügens und Sauerstoffglühens in derselben Wärmekammer und bei Dauerbetrieb

Eine vorläufige Schweißanweisung (pWPS) muss als Grundlage für die Erstellung einer Prüfung über die Qualifizierung des Schweißverfahrens (WPQT) und einen Bericht über die Qualifizierung des Schweißverfahrens (WPQR) verwendet werden. Die pWPS muss in Übereinstimmung mit den Methoden in ISO 17279-3 geprüft werden. ISO 17279-3 muss verwendet werden, wenn ein Fertigungsteil oder die Fugengeometrie akkurat durch eine genormte Probe oder einen Prüfkörper vertreten wird, außer bei der Prüfung des Feldzerfalls. Der Feldzerfallstest benötigt längere HTSL zur Herstellung eines geschlossenen Kreislafs. Reichweiten, Grenzabmaße und die Erfahrungen des Herstellers müssen, sofern angemessen und notwendig, ebenfalls angegeben werden. Wird die WPQT auf Basis der pWPS akzeptiert, wird ein formeller WPQR und eine WPS ausgegeben.

Beispiele für das Verfahren des Mikrofügens und des Sauerstoffglühens, ein pWPS-Formular, ein WPQR und eine WPS werden jeweils in den Anhängen A, B, C und D gezeigt.

5.4.2 Technischer Inhalt einer pWPS und WPS

Die folgenden Informationen müssen mindestens in einer pWPS und WPS enthalten sein:

- a) Herstellerinformationen:
 - 1) Herstelleridentifikation
 - 2) Identifikation der pWPS und WPS
- b) Materialart des 2G HTSL (YBCO, GdBCO, SmBCO, usw.);

- c) Abmessungen des 2G HTSL-Werkstoffs:
 - 1) Gesamtdicke der SG HTSL-Bestandteile
 - 2) Dicke der supraleitenden Schicht mitsamt Verbindung
 - 3) Breite der 2G HTSL-Bestandteile
- d) Identifikation der Einrichtung:
 - 1) Modell
 - 2) Seriennummer
 - 3) Hersteller
- e) Verbindungsausführung:
 - 1) Skizze der Verbindungsausführung und Abmessungen
 - 2) Konfiguration der Verbindung
- f) Vorbereitung der Verbindung und Reinigungsmethoden;
 - 1) Entfernung des Cu-Stabilisators und/oder der Ag-Überschicht
 - 2) Materialien (chemische Ätzmittel, usw.) zur Entfernung des Cu-Stabilisators und/oder der Ag-Überschicht
 - 3) Alle bestimmten
- g) Detailinformationen zum Fügeprozess:
 - 1) Vakuumniveau innerhalb der Kammer
 - 2) Skizze des Wärmebehandlungszyklus
 - 3) Heizrate bis zur Spitztemperatur
 - 4) Auf den Prüfkörper aufgebracht Druck
 - 5) Spitztemperatur
 - 6) Verweilzeit auf Spitztemperatur
 - 7) Abkühlrate von der Spitztemperatur zur Raumtemperatur
 - 8) Detailinformationen bezüglich jeglicher Änderungen und/oder bestimmter Sachverhalte
- h) Detailinformationen zum Sauerstoffglühen:
 - 1) Skizze des Wärmebehandlungszyklus
 - 2) Sauerstoffdurchfluss
 - 3) Innendruck in der Kammer

- 4) Heizrate
 - 5) Spitzentemperatur
 - 6) Verweilzeit auf Sauerstoffglühtemperatur
 - 7) Abkühlrate von der Sauerstoffglühtemperatur zur Raumtemperatur
 - 8) Bezeichnung (falls zutreffend), Hersteller, Name und Reinheitsgrad des Sauerstoffes
 - 9) Detailinformationen bezüglich jeglicher Änderungen und/oder bestimmter Sachverhalte
- i) Detailinformationen zur Fugenbewehrung
- 1) Methoden und Werkstoffe
 - 2) Dicke, falls gemessen

5.5 Qualifizierung basierend auf Standardprobe für Verbindung

5.5.1 Allgemeines

Die Vorbereitung und das Mikrofügen von Proben sollten in Übereinstimmung mit 5.4.2 erfolgen. Die Erfüllung der Anforderungen von ISO 17279-2 kann zur Qualifizierung von Schweißpersonal dienen. Die Prüfung der Proben muss in Übereinstimmung mit ISO 17279-3 erfolgen.

5.5.2 Probekörper

Die Länge und Anzahl der Proben muss ausreichend sein, damit alle erforderlichen Prüfungen durchgeführt werden können. Prüfkörper müssen den Abmessungen in Bild 4 oder Bild 5 entsprechen und mindestens 3 Prüfkörper werden jeweils für die Prüfung benötigt.

Die vollständige Entfernung des Cu-Stabilisators und/oder der Ag-Überschicht sind von entscheidender Wichtigkeit, um die supraleitenden Schichten während des Mikrofügens nicht zu kontaminieren. Ein Verfahren zur Entfernung dieser Werkstoffe muss erstellt werden und sowohl Cu-Stabilisator als auch Ag-Überschicht müssen vollständig durch das eingeführte Verfahren entfernt werden, bevor mit dem Mikrofügen begonnen wird. Die fabrikneuen 2G ReBCO HTSL und die Stoßflächen müssen ausreichend frei von Oberflächenoxiden, Oberflächenbehandlungen, Klebstoffen, Ölen, Fetten und jeglichen anderen Fremdstoffen sein, die einen negativen Einfluss auf die Verbindungsqualität haben könnten.

Die Identifikation der Prüfkörper muss vor Ausführung der Prüfung auf den Proben markiert werden.

5.5.3 Verfahren zum Mikrofügen und Sauerstoffglühen der Proben

5.5.3.1 Allgemeines

Die in dieser Norm beschriebenen Verfahren dienen als Beispiele und werden empfohlen. Die Hersteller und Dienstleister müssen Verfahren in Abhängigkeit der Ausgestaltung ihrer Einrichtungen und Geräte, sowie in Übereinstimmung mit deren Betriebsanleitungen erstellen.

Die Proben müssen durch Schweißpersonal, das nach ISO 17279-2 und in Übereinstimmung mit der WPS qualifiziert ist, dem Mikrofügen und dem Sauerstoffglühen ausgesetzt werden. Das Mikrofügen und Sauerstoffglühen der Proben muss durch einen Prüfer oder eine andere bestimmte Person bezeugt werden. Die empfohlenen Verfahren zum Mikrofügen und Sauerstoffglühen der Proben werden jeweils in 5.4, 5.5.3.2 und 5.5.3.3 dargelegt. Anhang A enthält die Checklisten für die Verfahren.

5.5.3.2 Verfahren des Mikrofügens

- a) Zwei freigelegte supraleitende Schichten liegen einander wie in Bild 4 und Bild 5 gezeigt gegenüber.
- b) Richten Sie den a) Prüfkörper an dem Halter der Fügekammer aus.
- c) Stellen Sie das Vakuumniveau der Kammer, die Zeit bis zur Spitzentemperatur (Heizrate), die Spitzentemperatur (maximale Fügetemperatur), den Druck zur Beaufschlagung des b) Halters und die Verweilzeit auf der Spitzentemperatur (Fügezeit) ein.
- d) Das Mikrofügen beginnt, wenn der Halter (der zu fügende Bereich) mit dem voreingestellten Druck beaufschlagt wird, der voreingestellte Spitzentemperaturwert innerhalb der voreingestellten Zeit erreicht wird und das voreingestellte Vakuumniveau vorliegt.
 - Die Heizrate sollte so hoch wie möglich sein, um eine Diffusion des Sauerstoffs aus den supraleitenden Schichten der 2G HTSL zu vermeiden.
 - Die Spitzentemperatur (maximale Fügetemperatur) sollte so niedrig wie möglich sein, um eine Diffusion des Sauerstoffs aus den supraleitenden Schichten der 2G HTSL, sowie die Bildung von $\text{Re}_2\text{BaCuO}_5$, BaCuO_2 und CuO zu vermeiden, welche aufgrund der Reaktion $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x} \rightarrow 1/2[\text{Re}_2\text{BaCuO}_5 + (3\text{BaCuO}_2 + 2\text{CuO}) + \text{O}_2]$ einen negativen Einfluss auf die Supraleitfähigkeit haben.
- e) Das Mikrofügen ist beendet, wenn die voreingestellte Verweilzeit auf der Spitzentemperatur abgelaufen ist. Der Halterdruck wird wieder auf „0“ gesetzt.
- f) Führen Sie Sauerstoff ein, sodass die Vakuumkammer wieder atmosphärischen Druck erreicht und führen Sie weiterhin Sauerstoff ein, bis die Kammer und der gefügte Supraleiter wieder auf Raumtemperatur sind. Eine mittlere bis schnelle Abkühlrate ist notwendig, um eine Diffusion des Sauerstoffs zu vermeiden.
- g) Nehmen Sie den gefügten Prüfkörper auf und transportieren Sie diesen zur Sauerstoffglühkammer.

ANMERKUNG 1 Die Heizrate und Abkühlrate werden automatisch bestimmt, sobald die Temperatur und Zeit eingestellt wurden, wenn die Einrichtung für eine automatische Steuerung ausgelegt ist.

ANMERKUNG 2 In der Fügekammer können in Abhängigkeit der Auslegung der Fügekammer die folgenden Steuergeräte und Messuhren vorhanden sein:

- Vakuumsteuerung und Messuhr;
- Zeitsteuerung und Messuhr;
- Temperatursteuerung und Messuhr;
- Strommesser;
- Spannungsmesser;
- Drucksteuerung und Messuhr;

- PID¹⁾-Regler oder anderes Steuergerät;
- TPR²⁾ oder anderes Steuergerät.

5.5.3.3 Verfahren des Sauerstoffglühens

- a) Führen Sie so viele gefügte 2G HTSL, die aus dem Verfahren von 5.5.3.2 entstanden sind, in die Sauerstoffglühkammer ein, wie durch die Auslegung der Kammer möglich ist. Stellen Sie die Zeit zum Erreichen der Sauerstoffglühtemperatur ausgehend von der Raumtemperatur (Heizrate), die Sauerstoffglühtemperatur, den Sauerstoffdurchfluss im Sauerstofftank, die Verweilzeit auf der Sauerstoffglühtemperatur (Sauerstoffglühzeit) und die Zeit zum Abkühlen auf die Raumtemperatur ein.
- b) Heizen Sie den Supraleiter von der Raumtemperatur auf die Sauerstoffglühtemperatur mit der voreingestellten mittleren Heizrate auf.
- c) Führen Sie das Sauerstoffglühen auf der voreingestellten Temperatur mittels der Sauerstoffversorgung durch. Stunden oder gar Tage des Sauerstoffglühens sind in Abhängigkeit der Kapazität der Wärmekammer, der Sauerstoffumgebung, dem Reinheitsgrad, der Konzentration, den Arten der Verbindungen und anderen Faktoren notwendig.
- d) Sorgen Sie für einen gleichmäßigen Einfluss von Sauerstoff in die Kammer und setzen Sie den Sauerstoff gleichmäßig während des Sauerstoffglühprozesses in die Atmosphäre frei. Ein Auslöseknopf für die Sauerstofffreisetzung ist in der Kammer zur Steuerung der Sauerstofffreisetzung montiert. Steuern Sie die Freisetzung des Sauerstoffs durch Regulierung des Zufuhrdruckes für den Sauerstoff und des Innendrucks innerhalb der Kammer.
- e) Prüfen Sie ständig den Innendruck der Kammer während des gesamten Sauerstoffglühprozesses. Der Innendruck der Kammer stellt den Unterschied zwischen dem Zufuhrdruck des Sauerstoffs und dessen Freisetzungsdruck dar.
- f) Das Sauerstoffglühen ist nach Ablauf der vorgegebenen Zeit beendet.
- g) Kühlen Sie dann die Kammer mit der voreingestellten Abkühlrate auf die Raumtemperatur ab. Eine langsame Abkühlrate ist nötig, damit sich die Atome neu anordnen können.

ANMERKUNG 3 In der Sauerstoffglühkammer können in Abhängigkeit der Auslegung der Sauerstoffglühkammer die folgenden Steuergeräte und Messuhren vorhanden sein:

- Zeitsteuerung und Messuhr;
- Temperatursteuerung und Messuhr;
- Strommesser;
- Spannungsmesser;

-
- 1) PID-Regler („Proportional-Integral-Derivative“): sobald eine Zeit und Temperatur eingestellt sind (Heizrate und Abkühlrate), prüft der Messfühler des Thermoelements, der am PID-Regler angeschlossen ist, die Temperatur des Halters und der PID-Regler schickt daraufhin ein Signal an den TPR (Thyristor-Leistungsregler) um die Stromstärke anzupassen.
 - 2) TPR (Thyristor-Leistungsregler): der TPR erhält das Signal vom PID-Regler und passt die Stromstärke so an, dass die nötige Wärmeeinbringung erreicht wird. Der TPR sendet ebenso die Stromstärke an das Heizgerät und erhält den Wert für die notwendige Temperatur.

- Druckmessgerät;
- PID-Regler oder anderes Steuergerät;
- TPR oder anderes Steuergerät.

ANMERKUNG 4 Steuergeräte und Messuhren im Sauerstofftank:

- Sauerstoffregler.

5.5.3.4 Verfahren des Mikrofügens und Sauerstoffglühens in derselben Wärmekammer und bei Dauerbetrieb

- a) Zwei freigelegte supraleitende Schichten liegen einander wie in Bild 4 und Bild 5 gezeigt gegenüber.
 - b) Richten Sie den a) Prüfkörper mit dem Halter der Fügekammer aus.
 - c) Stellen Sie das Vakuumniveau der Kammer, die Zeit bis zur Spitzentemperatur (Heizrate), die Spitzentemperatur (maximale Fügetemperatur), den Druck zur Beaufschlagung des b) Halters und die Verweilzeit auf der Spitzentemperatur (Fügezeit) ein.
 - d) Das Mikrofügen beginnt, wenn der Halter (der zu fügende Bereich) mit dem voreingestellten Druck beaufschlagt wird, der voreingestellte Spitzentemperaturwert innerhalb der voreingestellten Zeit erreicht wird und das voreingestellte Vakuumniveau vorliegt.
- Die Heizrate sollte so hoch wie möglich sein, um eine Diffusion des Sauerstoffs aus den supraleitenden Schichten der 2G HTSL zu vermeiden.
 - Die Spitzentemperatur (maximale Fügetemperatur) sollte so niedrig wie möglich sein, um eine Diffusion des Sauerstoffs aus den supraleitenden Schichten der 2G HTSL, sowie die Bildung von $\text{Re}_2\text{BaCuO}_5$, BaCuO_2 und CuO zu vermeiden, welche aufgrund der Reaktion $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x} \rightarrow 1/2[\text{Re}_2\text{BaCuO}_5 + (3\text{BaCuO}_2 + 2\text{CuO}) + \text{O}_2]$ einen negativen Einfluss auf die Supraleitfähigkeit haben.
 - e) Das Mikrofügen ist beendet, wenn die voreingestellte Verweilzeit auf der Spitzentemperatur abgelaufen ist. Der Halterdruck wird wieder auf „0“ gesetzt.
 - f) Führen Sie Sauerstoff ein, sodass die Vakuumkammer wieder atmosphärischen Druck erreicht und führen Sie weiterhin Sauerstoff ein, bis die Kammer und der gefügte Supraleiter wieder auf Sauerstoffglühentemperatur sind. Eine mittlere bis schnelle Abkühlrate ist notwendig, um eine Diffusion des Sauerstoffs zu vermeiden.

ANMERKUNG 5 Die Heizrate und Abkühlrate werden automatisch bestimmt, sobald die Temperatur und Zeit eingestellt wurden, wenn die Einrichtung für eine automatische Steuerung ausgelegt ist.

ANMERKUNG 6 In der Fügekammer können in Abhängigkeit der Auslegung der Fügekammer die folgenden Steuergeräte und Messuhren vorhanden sein:

- Vakuumsteuerung und Messuhr;
- Zeitsteuerung und Messuhr;
- Temperatursteuerung und Messuhr;
- Strommesser;

- Spannungsmesser;
 - Drucksteuerung und Messuhr;
 - PID³⁾ Regler oder anderes Steuergerät;
 - TPR⁴⁾ oder anderes Steuergerät.
- g) Glühen bei voreingestellter Temperatur mit Sauerstoffzuführung über mehrere Stunden oder Tage in Abhängigkeit der Kapazität der Wärmekammer, der Sauerstoffumgebung, dem Reinheitsgrad, der Konzentration, den Arten der Verbindungen und so weiter.
- h) Sorgen Sie für einen gleichmäßigen Einfluss von Sauerstoff in die Kammer und setzen Sie den Sauerstoff gleichmäßig während des Sauerstoffglühprozesses in die Atmosphäre frei. Ein Auslöseknopf für die Sauerstofffreisetzung ist in der Kammer zur Steuerung der Sauerstofffreisetzung montiert. Steuern Sie die Freisetzung des Sauerstoffs durch Regulierung des Zufuhrdruckes für den Sauerstoff und des Innendrucks innerhalb der Kammer.
- i) Prüfen Sie ständig den Innendruck der Kammer während des gesamten Sauerstoffglühprozesses. Der Innendruck der Kammer stellt den Unterschied zwischen dem Zufuhrdruck des Sauerstoffs und dessen Freisetzungsdruck dar.
- j) Das Sauerstoffglühen ist nach Ablauf der vorgegebenen Zeit beendet.
- k) Kühlen Sie die Kammer auf Raumtemperatur ab. Eine langsame Abkühlrate ist nötig, damit sich die Atome neu anordnen können.
- l) Entfernen Sie den gefügten und sauerstoffgeglühten Prüfkörper.

ANMERKUNG 7 In der Sauerstoffglühkammer können in Abhängigkeit der Auslegung der Sauerstoffglühkammer die folgenden Steuergeräte und Messuhren vorhanden sein:

- Zeitsteuerung und Messuhr;
- Temperatursteuerung und Messuhr;
- Strommesser;

-
- 3) PID-Regler („Proportional-Integral-Derivative“): sobald eine Zeit und Temperatur eingestellt sind (Heizrate und Abkühlrate), prüft der Messfühler des Thermoelements, der am PID-Regler angeschlossen ist, die Temperatur des Halters und der PID-Regler schickt daraufhin ein Signal an den TPR (Thyristor-Leistungsregler) um die Stromstärke anzupassen.
- 4) TPR (Thyristor-Leistungsregler): der TPR erhält das Signal vom PID-Regler und passt die Stromstärke so an, dass die nötige Wärmeeinbringung erreicht wird. Der TPR sendet ebenso die Stromstärke an das Heizgerät und erhält den Wert für die notwendige Temperatur.

- Spannungsmesser;
- Druckmessgerät;
- PID-Regler oder anderes Steuergerät;
- TPR oder anderes Steuergerät.

ANMERKUNG 8 Steuergeräte und Messuhren im Sauerstofftank:

- Sauerstoffregler.

5.5.4 Prüfung der Proben

5.5.4.1 Allgemeines

Die gefügten und sauerstoffgeglühten Prüfkörper müssen in Übereinstimmung mit ISO 17279-3 durch Prüfpersonal, das in Übereinstimmung mit ISO 17279-2 qualifiziert ist, geprüft werden. Die Abnahmekriterien werden in 5.9 festgelegt. Der Prüfumfang und die Prüfverfahren werden in 5.5.4.2 bis 5.5.4.8 beschrieben. 5.5.4.9 beschreibt die mögliche Erfordernis von Nachprüfungen. Die Prüfung der Proben muss durch einen Prüfer oder eine andere bestimmte Person bezeugt werden.

5.5.4.2 Prüfumfang

Die Tabelle 1 zeigt die Prüfungsanforderungen für das Mikrofügen und Sauerstoffglühen. Bestimmte Betriebs- oder Fertigungsbedingungen können umfangreichere Prüfungen erfordern, um zusätzliche Prüfungsdaten zu erhalten.

Tabelle 1 — Prüfungsanforderungen zur Verfahrensqualifizierung des Mikrofügens und Sauerstoffglühens

Art der Prüfung	Prüfumfang	Bestätigung der Prüfung	Prüfungsanforderungen Verfahrensqualifizierung
Sichtprüfung	3 gefügte Prüfkörper	um zu bestätigen, dass die Verbindung frei von Unregelmäßigkeiten, Enthaltungen, usw. ist und das Erscheinungsbild und die Ausrichtungen, usw. zu prüfen.	Ja
Prüfung durch Vier-Punkt-Messung	3 gefügte Prüfkörper (3 Prüfkörper für I_c , J_c und den n-Wert)	um zu bestätigen, dass die kritische Stromstärke an der Verbindung (I_c) 80 % oder mehr der fabrikneuen 2G HTSL beträgt	Ja
		um zu bestätigen, dass die kritische Stromdichte an der Verbindung (J_c) 40 % oder mehr der fabrikneuen 2G HTSL beträgt ANMERKUNG Der Querschnittsbereich der supraleitenden Schicht ist zweimal so groß wie der des fabrikneuen Materials.	Nr. ^a
		um zu bestätigen, dass der n-Wert an der Verbindung 80 % oder mehr der fabrikneuen 2G HTSL beträgt	Nr. ^a
	In Übereinstimmung mit den Herstelleranforderungen	zur Sicherstellung der zyklischen Temperaturschokeigenschaften (mindestens 5-mal oder mehr als 5-mal, falls vom Hersteller erfordert)	Nr. ^a
Prüfung des Feldzerfalls	1 gefügter Prüfkörper aus den qualifizierten und gefügten I_c Prüfkörpern	zur Bestätigung des elektrischen Widerstands an der Verbindung und der Schwankung der magnetischen Feldstärke im Laufe der Zeit	Nr. ^a
Feldprüfung	1 gefügter Prüfkörper aus den qualifizierten und gefügten I_c Prüfkörpern	zur Bestätigung der Schwankungen der I_c oder J_c Werte an der Verbindung bei unterschiedlichen kryogenen Bedingungen (20 K, 30 K, 50 K und 77 K) und verschiedenen externen Magnetfeldern (0 T, 0,35 T, 0,7 T, 1,0 T, 2,0 T und 3,0 T, wobei T die Einheit der magnetischen Flussdichte in Tesla ist)	Nr. ^a

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Art der Prüfung		Prüfumfang	Bestätigung der Prüfung	Prüfungsanforderungen Verfahrensqualifizierung
Zugversuch	Ohne Bewehrung	3 gefügte Prüfkörper aus den qualifizierten und gefügten I_c Prüfkörpern	zur Messung der Zugfestigkeit der Verbindung und der I_c Profile während der Zugbelastung zu Referenzzwecken	Nr. ^a
	Mit Bewehrung	3 gefügte Prüfkörper aus den qualifizierten und gefügten I_c Prüfkörpern	zur Bestätigung, dass die Zugfestigkeit der Verbindung und I_c den Werten der fabrikneuen 2G HTSL entsprechen	Ja
Biegeprüfung	Ohne Bewehrung	3 gefügte Prüfkörper aus den qualifizierten und gefügten I_c Prüfkörpern	zur Messung des Biegedurchmessers der Verbindung und der I_c Profile während der Biegebelastung zu Referenzzwecken	Nr. ^a
	Mit Bewehrung	1 gefügter Prüfkörper aus den qualifizierten und gefügten I_c Prüfkörpern	zur Bestätigung, dass der Biegedurchmesser denselben I_c Wert wie der fabrikneuen 2G HTSL aufweist	Nr. ^a
Prüfung des kritischen Magnetfelds		1 gefügter Prüfkörper aus den qualifizierten und gefügten I_c Prüfkörpern	zur Bestätigung des kritischen Magnetfelds an der Verbindung (B_c)	Nr. ^a
Prüfung der Dichteverteilung der kritischen Stromdichte	Magneto-optisches Verfahren oder Scannerabtastung über Hallsensor	1 gefügter Prüfkörper aus den qualifizierten und gefügten I_c Prüfkörpern	zur Bestätigung der Verteilungsprofile und Eigenschaften der kritischen Stromdichte an der Verbindung	Nr. ^a
Mikroskopieren oder Röntgendiffraktometrie	OM, SEM, TEM, XRD	1 gefügter Prüfkörper aus den qualifizierten und gefügten I_c Prüfkörpern pro Prüfung	zur Bestätigung der Eigenschaften des Verbindungsmaterials	Nr. ^a
^a Ja, falls vom Hersteller gefordert.				

5.5.4.3 Sichtprüfung

Die Verbindungen der Prüfkörper müssen nach dem Mikrofügen und Sauerstoffglühen einer Sichtprüfung unterzogen werden. Die Verbindung muss insbesondere auf das Erscheinungsbild, jegliche Unregelmäßigkeiten, die Ausrichtung, Enthaltungen, usw. geprüft werden. Teile der ISO 17637 dürfen, falls notwendig, angewandt werden.

5.5.4.4 Prüfung durch Vier-Punkt-Messung

Die Werte für die feldkritische Stromstärke (I_c) der Verbindung der 2G HTSL müssen in einem Bad aus flüssigem Stickstoff (LN2) oder anderem Medium mittels 1 µV/cm-Kriterium anhand einer Spannungs-/Strom-Kennlinie und Vier-Punkt-Messung bestimmt werden. Der Wert für die kritische Stromstärke (I_c) der

Verbindung ist von enormer Wichtigkeit, um die Integrität der Verbindung zu bestätigen. Aus dieser Prüfung können auch die kritische Stromdichte (J_c), der n-Wert und die zyklischen Temperaturschockeigenschaften bestimmt werden.

J_c bestimmt den maximalen Fluss der elektrischen Stromstärke pro Querschnittsbereich, welcher ein Supraleiter ohne Widerstand erhalten kann und wird als I_c geteilt durch die gefügte Querschnittsfläche ausgedrückt. Der n-Wert bestimmt die Schärfe des Widerstandsübergangs der V-I-Kennlinie bei der I_c -Messung. Je höher der n-Wert, desto geringer der Widerstand und desto besser die Supraleitfähigkeit. Der zyklische Temperaturschock dient dazu, die I_c -Schwankungen und Profile der Verbindung in Umgebungen mit starken Temperaturwechseln zu bestimmen, was durch mindestens 5 Messungen oder mehr als 5 Messungen, falls vom Hersteller erfordert, in einem Bad aus Flüssigstickstoff herzuleiten ist.

5.5.4.5 Feldzerfallsprüfung

Um den Widerstand einer geschlossenen 2G HTSL-Schleife mit einer 2G HTSL-Verbindung auf einem Niveau unterhalb von $10^{-12} \Omega$ und die Schwankung der magnetischen Feldstärke im Laufe der Zeit zu prüfen, wird eine Feldzerfallsmethode angewandt.

5.5.4.6 Feldprüfung

I_c oder J_c können bei kryogenen Bedingungen von 20 K, 30 K, 50 K und 77 K unter externen Magnetfeldern von 0 T, 0,35 T, 0,7 T, 1,0 T, 2,0 T und 3,0 T bei senkrechten, parallelen oder anderen Winkeln zum Magnetfeld in Übereinstimmung mit den Anforderungen des Herstellers geprüft werden. Andere kryogene Bedingungen unter anderen externen Magnetfeldern können in Abhängigkeit der Anforderungen des Herstellers angewandt werden.

5.5.4.7 Zugversuch

Jeder gefügte Prüfkörper mit oder ohne Bewehrung kann einem Zugversuch bei Raumtemperatur, sowie unter kryogenen Bedingungen 77 K (-196°C) oder anderen erforderlichen Temperaturen unterzogen werden. Die Prüfungen unter kryogenen Bedingungen können die kritischen Zugfestigkeitswerte für I_c bestimmen. Die Verbindung muss rund um den Schweißstoß herum fest durch eine Epoxidbeschichtung oder durch andere Mittel, falls notwendig, bewehrt werden.

5.5.4.8 Biegeprüfung

Der gefügte Prüfkörper mit oder ohne Bewehrung kann in Übereinstimmung mit den Anforderungen des Herstellers einer Biegeprüfung unterzogen werden. Jeder gefügte Prüfkörper kann einer Biegeprüfung bei Raumtemperatur, sowie unter kryogenen Bedingungen 77 K (-196°C) oder anderen erforderlichen Temperaturen unterzogen werden. Die Prüfungen unter kryogenen Bedingungen können die kritischen Biegedurchmesser sowohl für Zugfestigkeit als auch Komprimierung für I_c bestimmen. Die Verbindung muss rund um den Schweißstoß herum fest durch eine Epoxidbeschichtung oder durch andere Mittel, falls notwendig, bewehrt werden.

5.5.4.9 Prüfung des kritischen Magnetfelds

Das kritische Magnetfeld (B_c) kann bei kryogenen Bedingungen von 20 K, 30 K, 50 K und 77 K bei senkrechten, parallelen oder anderen Winkeln zum Magnetfeld geprüft werden. Andere kryogene Bedingungen unter anderen externen Magnetfeldern können in Abhängigkeit der Anforderungen des Herstellers angewandt werden.

5.5.4.10 Prüfung der Dichteverteilung der kritischen Stromdichte

Zur zerstörungsfreien Prüfung der Verteilung der kritischen Stromdichte (J_c) wird die Verteilung des magnetischen Feldes, welches durch die J_c -Verteilung an der Verbindung erzeugt wird, gemessen. Das aus der J_c -Verteilung entstehende magnetische Feld kann durch eine magneto-optische Methode oder durch Abtastung mit einem Hallsensor gemessen werden.

5.5.4.11 Mikroskopieren und Röntgendiffraktometrie

Die Verbindung kann durch ein Lichtmikroskop (OM), Rasterelektronenmikroskop (SEM), Transmissions-elektronenmikroskop (TEM) oder Röntgendiffraktometrie (XRD) zur Bestimmung des Verbindungsmaterials untersucht werden.

Das Lichtmikroskop untersucht die Oberflächeneigenschaften und Merkmale, Maserungen und Grenzflächen der Verbindung. Das Rasterelektronenmikroskop erkennt die Zusammensetzung der unbekannten Werkstoffe der Verbindung und die Topographie der Oberfläche der Verbindung während das Transmissionselektronenmikroskop die Struktur der Werkstoffe mittels eines energiereichen Elektronenstrahls, der durch eine sehr dünne Probe strahlt (< 50 nm), bestimmt.

Die Röntgendiffraktometrie misst den durchschnittlichen Abstand zwischen den Schichten oder den Reihen der Atome, bestimmt die Orientierung eines einzelnen Kristalls oder Kornes, und misst die Größe, Form, sowie die Eigenspannung der kleinflächigen, kristallinen Bereiche innerhalb der Verbindung.

5.5.5 Nachprüfung

Wenn einer der drei Prüfkörper die Abnahmekriterien nach 5.8 nicht erfüllt, gilt die Prüfung als fehlgeschlagen. Zwei weitere Proben müssen der Mikrofügung und dem Sauerstoffglühen mittels derselben Verfahren ausgesetzt und anschließend geprüft werden. Wenn einer dieser beiden zusätzlichen Prüfkörper die Anforderungen ebenfalls nicht erfüllt, werden zwei zusätzliche Verfahrensqualifizierungsprüfungen für das Mikrofügen und Sauerstoffglühen nötig. Wenn zwei der drei oder sogar alle drei Prüfkörper die Abnahmekriterien von 5.8 nicht erreichen, muss das Verfahren als solches nach 5.5 neu qualifiziert werden.

5.5.6 Prüfprotokoll

Die Ergebnisse aller Prüfungen nach Tabelle 1 des Abschnitts 5.5.4.2 und die vom Hersteller benötigten Prüfungen müssen dokumentiert werden. Das Format der Dokumentation muss vom Hersteller bestimmt werden. Ein empfohlenes Prüfprotokoll wird im Anhang C gezeigt. Die Dokumentation kann auf Papier oder mittels eines elektronischen Mediums erfolgen.

5.6 Geltungsbereich

5.6.1 Allgemeines

Alle Bedingungen in 5.4 und 5.5 müssen erfüllt werden. Ergänzungen, Löschungen oder Änderungen außerhalb der Bestimmung und Optimierung des Verfahrens bedürfen einer erneuten Qualifizierungsprüfung für die Verfahren des Mikrofügens und Sauerstoffglühens.

5.6.2 Bezüglich des Herstellers

Verfahrensqualifizierungsprüfungen für das Mikrofügen und Sauerstoffglühen, die von einem Hersteller in einer Werkstatt, Arbeitsstätte oder in Laboratorien unter technischer und qualitativer Überwachung durch den Hersteller durchgeführt werden, werden für gültig befunden. Verfahrensqualifizierungsprüfungen für das Mikrofügen und Sauerstoffglühen, die von einer anderen professionellen Prüforganisation in einer Werkstatt, Arbeitsstätte oder in Laboratorien unter denselben technischen und qualitativen Überwachungsmaßnahmen durchgeführt werden, werden ebenso für gültig befunden.

5.6.3 Wesentliche Einflussgrößen

Die Qualifizierung der WPS hängt von wesentlichen Einflussparametern ab. Für jeden dieser wesentlichen Einflussparameter werden optimierte Bedingungen definiert. Wird ein Verfahren des Mikrofügens und Sauerstoffglühens außerhalb des Geltungsbereichs gefordert, dann ist eine neue Qualifizierungsprüfung nötig. Die erfolgreiche Qualifizierungsprüfung einer Verbindung, die durch eine bestimmte Methode erreicht wurde, qualifiziert lediglich dieses Verfahren zum Mikrofügen und Sauerstoffglühen. Die Gesamtdicke der Verbindung für supraleitende Werkstoffe der 2G HTSL ist nur 2 µm ~ 6 µm in Abhängigkeit des Druckes während des Fügeprozesses. Die Verfahren des Mikrofügens von supraleitenden Schichten umfasst a) die partielle mikroschmelzende Diffusion unter Druck oder b) die Festkörperdiffusion unter Druck oder beide. Die Einrichtungen für das Mikrofügen und Sauerstoffglühen umfassen mechanisierte und halbautomatische Fügeeinrichtungen, sind aber nicht exklusiv auf diese beschränkt.

Die wesentlichen Einflussgrößen beim Mikrofügen unter Vakuumbedingungen und dem Sauerstoffglühen in einer druckbeaufschlagten Sauerstoffumgebung sind extrem wichtig für die Verbindungsqualifizierung. Diese Einflussgrößen umfassen die Verbindungsauführung, die Breite der Verbindung, die Werkstoffe der Verbindung, die Einrichtungen zum Mikrofügen und Sauerstoffglühen, das Vakuumniveau in der Kammer, die Heizrate, die Spitzentemperatur beim Fügen, den Druck auf die Verbindung, die Verweilzeit auf Spitzentemperatur, die Abkühlrate bis zur Raumtemperatur oder Sauerstoffglühtemperatur, die Heizrate bis zur Sauerstoffglühtemperatur, die Sauerstoffglühtemperatur selbst, die Verweilzeit auf Sauerstoffglühtemperatur, der Sauerstoffdurchfluss während des Sauerstoffglühens, der Sauerstoffdruck an der Verbindung und die Abkühlrate auf Raumtemperatur. Jegliche Änderungen an wesentlichen Einflussgrößen bedürfen einer erneuten Qualifizierung.

Tabelle 2 zeigt die wesentlichen Einflussgrößen der Verbindungsauführung, der Verbindungsbreiten, der supraleitenden Werkstoffe und der verwendeten Einrichtungen. Tabelle 3 zeigt die wesentlichen Einflussparameter des Mikrofügens und des Sauerstoffglühens. Diese Parameter haben einen Einfluss auf die endgültige Verbindungsqualität.

Tabelle 2 — Wesentliche Einflussgrößen, die zur Optimierung der Verbindung, Werkstoffe und Einrichtungen nötig sind

Verbindungsauführung		Breite der Verbindung (mm)	Supraleitende Werkstoffe	Kammern zum Mikrofügen und Sauerstoffglühen (Öfen)
Überlappstoß	Brückenträgerstoß	3 mm, 4 mm, 6 mm, 12 mm in Abhängigkeit der Spezifikationen	YBCO, GdBCO, SmBCO oder andere	Ausführungsdetails und Funktionen jedes Steuergeräts

Tabelle 3 — Wesentliche Einflussgrößen zur Optimierung der Parameter zum Mikrofügen und Sauerstoffglühen

Parameter des Mikrofügens	Parameter des Sauerstoffglühens
Entfernung des Cu-Stabilisators und/oder der Ag-Überschicht	Heizrate
Vakuumniveau innerhalb der Kammer	Glühtemperatur
Heizrate	Verweilzeit
Spitzentemperatur zum Fügen	Sauerstoffdurchfluss
Druck an der Verbindung	Innendruck in der Kammer
Verweilzeit auf Spitzentemperatur zum Fügen	Abkühlrate auf Raumtemperatur
Abkühlrate auf Raumtemperatur oder Sauerstoffglühtemperatur	

5.6.4 Andere Variablen

Der Geltungsbereich für andere Variablen (z. B. Oberflächenrauigkeit der supraleitenden Schicht) kann in der WPS bestimmt werden.

5.7 Spezifikation und Qualifizierungsbericht der Verfahren zum Mikrofügen und Sauerstoffglühen

Der Bericht über die Qualifizierung des Schweißverfahrens (WPQR) enthält Informationen über die Ergebnisse der Beurteilung aller gefügten Proben, einschließlich aller Nachprüfungen. Die relevanten Teile der WPS müssen darin enthalten sein, zusammen mit allen Details zu Eigenschaften, die in Übereinstimmung mit den Anforderungen der ISO 17279-3 geprüft und in Übereinstimmung mit 5.8 bewertet werden würden. Wenn die Prüfungsergebnisse akzeptabel sind, wird die WPQR qualifiziert und ist von einem Prüfer oder einer anderen benannten Person abzuzeichnen, zu datieren und auszustellen. Die Schweißanweisung (WPS) wird qualifiziert und ist auszustellen, wenn die WPQT qualifiziert und die WPQR ausgestellt wurde.

Beispiele für eine Checklist für das Mikrofügen und Sauerstoffglühen, eine pWPS für die Verfahrensqualifizierungsprüfung, ein WPQR-Formular und eine WPS werden in den Anhängen A, B, C und D dargelegt.

5.8 Endbehandlung der Fertigungsverbindung

Alle Verbindungen, die durch qualifizierte und zertifizierte Verfahren in Übereinstimmung mit der WPS im Rahmen eines Fertigungsablaufs hergestellt werden, müssen rund um die Verbindung herum bewehrt werden, um gegen eine Enthftung zu schützen und Kerben und verbundene Kerbwirkungen an den Verbindungen gegenüber externen Kräften und Belastungen während der Behandlung oder des Betriebs zu beseitigen. Die Bewehrung muss nach der Fertigstellung des Gesamtverfahrens, einschließlich des Sauerstoffglühens, durchgeführt werden und kann nach einer Vier-Punkt-Messung zur Bestätigung der kritischen Stromstärke (I_c) folgen.

Zur Verfahrensprüfung werden Proben mit und ohne Bewehrung in Übereinstimmung mit den Anforderungen des Herstellers und der ISO 17279-3 bestimmt.

5.9 Annahmekriterien

Die Proben und die Verbindungen aus Fertigungsabläufen müssen den zugehörigen Abnahmekriterien der Tabellen 4 bis 9 entsprechen.

Tabelle 4 — Sichtprüfung

Prüfgegenstände	Annahmekriterien
Erscheinungsbild, Unregelmäßigkeiten, Ausrichtungen, usw.	Akzeptieren, wenn Herstelleranforderungen erfüllt sind.
Enthaftung	Ablehnen
Leichte Verspannung in Längenrichtung durch Ziehen der gefügten 2G HTSL mit zwei Fingern beider Hände	Ablehnen, falls Trennung erfolgt

Tabelle 5 — Prüfung durch Vier-Punkt-Messung

Prüfgegenstände	Annahmekriterien
Wert der kritischen Stromstärke (I_c)	80 % der fabrikneuen 2G ReBCO HTSL oder Herstellerangaben Der selbe Wert der I_c wie bei den fabrikneuen 2G HTSL für NMR- oder MRI-Magnetherstellung
Wert der kritischen Stromdichte (J_c)	40 % der fabrikneuen 2G ReBCO HTSL oder Herstellerangaben
n-Wert	80 % der fabrikneuen 2G ReBCO HTSL oder Herstellerangaben
Profile der kritischen Stromstärke (I_c) durch zyklischen Temperaturschock	80 % der fabrikneuen 2G ReBCO HTSL oder Herstellerangaben Der selbe Wert der I_c wie bei den fabrikneuen 2G HTSL für NMR- oder MRI-Magnetherstellung

Tabelle 6 — Feldzerfallsprüfung

Prüfgegenstände	Annahmekriterien
Verbindungswiderstand	$10^{-15} \Omega$
Induziertes Magnetfeld zu bestimmten Zeiten (30 Tage, 60 Tage, 90 Tage, 120 Tage, 180 Tage, 240 Tage, 365 Tage, ---)	Herstellerangaben oder $B(t) / B(t_0) > 0,98$ bei 120 Tagen Wobei $B(t)$ = induziertes Magnetfeld (Tesla) zum Zeitpunkt „t“ und $B(t_0)$ = anfängliches Magnetfeld (Tesla) zum Zeitpunkt „0“

Tabelle 7 — Feldprüfung

Prüfgegenstände	Annahmekriterien
Wert der kritischen Stromstärke (I_c)	Herstellerangaben

Tabelle 8 — Zugfestigkeitsprüfung

Temperatur	Prüfgegenstände	Annahmekriterien
Raumtemperatur	Gefügter Prüfkörper	Herstellerangaben oder 20 % der fabrikneuen Probe
	Gefügter und bewehrter Prüfkörper	Herstellerangaben oder 100 % der fabrikneuen Probe
77 K (kryogen)	Gefügter Prüfkörper	Herstellerangaben oder 20 % der fabrikneuen Probe
	Gefügter und bewehrter Prüfkörper	Herstellerangaben oder 100 % der fabrikneuen Probe (kritischer Zugfestigkeitswert)
Andere Temperatur	Gefügter Prüfkörper	Herstellerangaben
	Gefügter und bewehrter Prüfkörper	Herstellerangaben