

Ersatz für Ausgabe November 2001

Das Merkblatt ist als Hilfe für den Verarbeiter hochlegierter Stabelektroden gedacht. Es soll den aktuellen Wissensstand bei der schweißtechnischen Verarbeitung dieser Zusatzwerkstoffgruppe in kurzgefasster Form vermitteln. Es berücksichtigt insbesondere das seit Veröffentlichung seiner Vorgängerausgabe erschienene internationale und europäische Regelwerk.

**Inhalt:**

- 1 Einleitung
- 2 Umhüllungstypen
- 3 Reines Schweißgut
- 3.1 Chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften
- 3.2 Heißrissbeständigkeit
- 3.3 Korrosionsbeständigkeit
- 4 Artgleiche und artähnliche Schweißverbindungen
- 4.1 Auswahl der Elektroden
- 5 Artverschiedene Schweißverbindungen und Plattierungen
- 5.1 Auswahl der Elektroden
- 5.2 Legierungstypen 1 und 2
- 5.3 Legierungstyp 3
- 5.4 Legierungstyp 4
- 5.5 Legierungstyp 5
- 5.6 Legierungstyp 6
- 6 Verarbeitungshinweise
- 6.1 Nahtvorbereitung
- 6.2 Rücktrocknung der Elektroden
- 6.3 Schweißparameter
- 6.4 Wärmeführung und Wärmenachbehandlung
- 7 Oberflächenbehandlung
- 7.1 Grundlagen
- 7.2 Mechanische Verfahren
- 7.3 Chemische Verfahren
- 8 Zerstörungsfreie Prüfverfahren
- 8.1 Allgemeines
- 8.2 Eindringprüfung (PT)
- 8.3 Durchstrahlungsprüfung (RT)
- 8.4 Ultraschallprüfung (UT)
- 9 Arbeitsschutz beim Schweißen
- 10 Mitgeltende Normen und Richtlinien
- 11 Schrifttum

Bei artverschiedenen Verbindungen hängt die Anforderung an die Korrosionsbeständigkeit der Naht von der jeweiligen konstruktiven Gestaltung des Bauteiles ab. Im Allgemeinen ist es dabei nicht erforderlich, dass die Schweißnaht die gleiche Korrosionsbeständigkeit erreicht wie der überlegierte Partner der Grundwerkstoffe. Es ist allerdings zu beachten, dass in einigen Sonderfällen auch die Schweißnaht von artverschiedenen Verbindungen bereits der vollen korrosiven Beanspruchung unterliegen können.

Neben artgleich und artähnlich legierten Kernstäben lassen sich zur Herstellung hochlegierter Stabelektroden auch un- und niedriglegierte Stäbe einsetzen. Die Naht wird in diesem Fall überwiegend über die Hülle aus dem Legierungspulver, die in der Umhüllung erhalten sind, gelegt. Diese hüllenlegierten Elektroden sind in der Regel dick umhüllt. Als dick umhüllt werden gemeinhin Elektroden bezeichnet, bei denen das Verhältnis von Hüllendicke zu Kernstabdurchmesser  $\geq 1,6$  ist. Wegen ihres relativ hohen Metallpulveranteiles in der Umhüllung haben hüllenlegierte Elektroden naturgemäß ein höheres Schweißgutausbringen, das im Allgemeinen über 125 % liegt. Bei artgleich kernstablegierten Stabelektroden dienen die Legierungsanteile in der Hülle lediglich zur Analysenkorrektur, um den Abbrand von Legierungselementen auszugleichen. Der Anteil an Legierungsstoffen in der Umhüllung ist somit gering. Dagegen können bei Elektroden, die einen artähnlich legierten Kernstab besitzen, bestimmte Legierungsanteile partiell oder komplett über die Hülle zulegiert werden, während die Hauptlegierungsbestandteile bereits im Kernstab enthalten sind. Tabelle 1 stellt diese Zusammenhänge im Überblick dar.

**Tabelle 1. Bezeichnung hochlegierter Stabelektroden in Abhängigkeit vom Legierungstyp des Kernstabes.**

Kernstab	Umhüllung	Bezeichnung der Elektrode
un- und niedriglegiert	enthält alle Legierungsbestandteile	vollsynthetisch oder hüllenlegiert
artähnlich legiert	enthält einen Teil der Legierungsbestandteile	halb-synthetisch oder teillegiert
artgleich legiert	enthält keine oder nur geringe Mengen an Legierungsbestandteilen	kernstablegiert

Bei hochlegierten Stabelektroden ist eindeutig die Tendenz zu den kernstablegierten Ausführungen erkennbar. Diese werden oftmals aus korrosionstechnischen Gesichtspunkten hüllenlegierten Elektroden vorgezogen. Durch Beschädigungen oder Abplatzungen der Umhüllung während des Schweißens kann es bei hüllenlegierten Stabelektroden zu einer Änderung der chemischen Zusammensetzung des Schweißgutes kommen, infolge der ein lokal begrenzter Bereich für einen möglichen Korrosionsangriff entsteht.

**1 Einleitung**

Dieses Merkblatt erläutert die Eigenschaften der hochlegierten Stabelektroden und gibt Empfehlungen für deren Auswahl und Verarbeitung.

Stabelektroden zum Lichtbogenhandschweißen von nichtrostenden und hitzebeständigen Stählen sind in DIN EN 1600 genormt. Diese Norm enthält außerdem Angaben über die chemische Zusammensetzung und mechanischen Güterwerte des Schweißgutes. Hinweise über die technischen Lieferbedingungen und die Kennzeichnung der Elektroden. Hochlegierte Stabelektroden eignen sich sowohl für das Verbindungs-schweißen artgleicher oder artähnlicher sowie verschieden legierter Stähle (Schwarz-Weiß-Verbindungen) als auch für nichtrostende korrosions- und hochkorrosionsbeständige Schweißplattierungen. Sie werden überall dort eingesetzt, wo die Anwendung mechanisierter Schweißprozesse sich nicht lohnen oder nicht zweckmäßig ist.

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

DVS, Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe „Lichtbogenschweißen“

Nachdruck und Kopie, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers

## 2 Umhüllungstypen

Die Art und die Zusammensetzung der Umhüllung bestimmen maßgebend das Schweißverhalten einer Stabelektrode und die Eigenschaften des Schweißgutes. Der jeweilige Umhüllungstyp ergibt sich dabei aus dem Anteil der schlackebildenden Umhüllungsstoffe.

In DIN EN 1600 sind für die hochlegierten Stabelektroden nur zwei unterschiedliche Hüllentypen genormt, die rutilhaltigen und die basischen, obwohl es innerhalb dieser beiden Grundtypen eine Vielzahl von Varianten gibt. Als Kurzzeichen für den jeweiligen Umhüllungstyp werden folgende Kennbuchstaben verwendet:

- R ..... rutilumhüllt
- B ..... basischumhüllt

Wegen der einfacheren Handhabung und der universelleren Einsatzmöglichkeiten werden in der Praxis insgesamt wesentlich mehr rutil- als basisch umhüllte Stabelektroden verschweißt. In einigen Anwendungsbereichen, z. B. im chemischen Apparate- und Anlagenbau, im Kraftwerksbau und in der Gießereitechnik, kann dennoch die Anwendung der basischen Elektroden überwiegen.

Der Rutiltyp (R-Typ) enthält neben dem Hauptbestandteil Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ), meistens in Form von Rutil – daher auch der Name –, veränderliche Anteile von Silikaten und Karbonaten. Die Menge und das Verhältnis dieser Komponenten zueinander bestimmen den Schweiß- und Schlackencharakter der Elektrode. Rutil Elektroden eignen sich sowohl für das Schweißen mit Gleich- als auch mit Wechselstrom. Das Zünden und Wiederzünden des Lichtbogens bei diesem Umhüllungstyp ist ausgesprochen gut. Der Lichtbogen zündet spontan und brennt sehr stabil. Die Oberfläche der Schweißraupen ist für gewöhnlich glatt und feinschuppig. Die Schlackenablösung ist gut und erfolgt mitunter von selbst. Hochlegierte rutilumhüllte Stabelektroden können mit Einschränkungen in allen Schweißpositionen eingesetzt werden.

Für die universelle Anwendung haben sich im Laufe der Zeit zwei Modifikationen dieses Umhüllungstyps durchgesetzt: Der eine mit einem höheren Silikatanteil, der andere mit größeren Beimengungen basischer Komponenten (Karbonate und Fluoride). Charakteristisch für die zuerst genannte Variante ist die höhere Arbeitsspannung beim Schweißen (etwa 28 bis 32 V). Diese rutil-sauerumhüllte bezeichneten Elektroden ergeben bei der Kehnahtschweißung in Horizontal-Vertikalposition (PB) sehr glatte, etwas konkave Nähte. Eine solche „rutil-saure“ Umhüllung besitzen die meisten hochlegierten Stabelektroden. Im Unterschied hierzu haben „rutil-basische“ Umhüllungen eine deutlich niedrigere Arbeitsspannung (etwa 23 bis 27 V). Die Schweißnähte sind flach bis leicht konvex (überwölbt). Diese Nahtausführung ist insofern vorteilhaft, als sie beim Schweißen von austenitischen Chrom-Nickel-Stählen die Vermeidung von Hotcracks begünstigt. Grundsätzlich sind bei diesem Umhüllungstyp die Heißrissicherheit und die Schweißgutzähigkeit etwas höher als bei den rutil-sauerumhüllten Typen. Der Abschmelzquotient, eine Kenngröße für die Wirtschaftlichkeit einer Elektrode (früher: Abschmelzleistung), ist allerdings geringer. Üblicherweise werden rutil-basische Elektroden wegen der niedrigeren Arbeitsspannung mit höheren Stromstärken verschweißt. Dabei kann es u. U. durch die Widerstandserwärmung des Kernstabes zu einer Schädigung der Umhüllung kommen. Diese Überzugsempfindlichkeit lässt sich daran erkennen, daß die Elektrode zum Einspannen hin rotglühend werden und der Lichtbogen abfällt. Aus diesem Grund werden hierfür gegebenenfalls kürzere Kernstablängen verwendet als bei anderen Rutiltypen üblich.

Eine Besonderheit rutil-basischer hochlegierter Stabelektroden ist deren Eignung für das Schweißen von Wurzellagen. Dabei ist es in der Regel erforderlich, wenn die Elektrode bei Verwendung von Gleichstrom an den Pluspol gelegt wird.

Der basische Umhüllungstyp (B-Typ) wird immer dort bevorzugt eingesetzt, wo es gilt, zähere Schweißverbindungen herzustellen. Basische Elektroden eignen sich besonders für schwer schweißgeeignete Grundwerkstoffe (z. B. Gusswerkstoffe) sowie

für Konstruktionen, an die höchste Anforderungen hinsichtlich der mechanisch-technologischen Eigenschaften der Schweißnähte gestellt werden. Die Umhüllung besteht überwiegend aus basisch wirkenden Bestandteilen, wie Karbonate und Fluoride. Hochlegierte Stabelektroden mit einer basischen Umhüllung eignen sich grundsätzlich nicht für das Schweißen mit Wechselstrom. Sie werden normalerweise nur mit Gleichstrom verschweißt, wobei der Pluspol an der Elektrode liegt. Das Zünden des Lichtbogens ist schwierig und erfordert ebenso wie die Verarbeitung der Elektroden mehr Handfertigkeit des Schweißers. Um das Zünden zu erleichtern, sind basische Elektroden häufig mit einer metallischen Zündhilfe versehen. Ein Wiederzünden über die Hülle, wie bei den Rutiltypen, ist hier nicht möglich. Gegebenenfalls empfiehlt es sich, außerdem das Schweißnaht auf einem argtgleichen Blech zu zünden. Die Nahtoberflächen sind für gewöhnlich mittel- bis grobschuppig. Die Schlackenentfernbarkeit ist im Vergleich mit rutilumhüllten Stabelektroden deutlich schlechter. Basischumhüllte Stabelektroden eignen sich außer in der Fallposition (PG) für das Schweißen in allen Positionen. Aufgrund ihres hohen metallurgischen Wirkungsgrades besitzen basischumhüllte Stabelektroden im Vergleich zu allen anderen Umhüllungstypen zwei herausragende Eigenschaften: Die Zähigkeit des Schweißgutes ist deutlich höher und die Rissicherheit wesentlich größer.

Der älteste und bekannteste Vertreter bei den basischen Elektroden ist der sogenannte „kalkbasische“ Typ. Die Hauptbestandteile der Umhüllung sind Kalziumspat ( $\text{CaCO}_3$ ) und Flussspat ( $\text{CaF}_2$ ). Charakteristisch für Elektroden mit einer derartigen Umhüllung ist ihre relativ niedrige Arbeitsspannung von 21 bis 25 V. Der Kalziumspat wird im Lichtbogen thermisch in Kalziumoxid ( $\text{CaO}$ ) und Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) aufgespalten und wirkt somit als Schlacken- und Schutzgasbildner. Beim Schweißen von niedriggekohlten, austenitischen Chrom-Nickel-Stählen (< 0,04% C) kann es, insbesondere bei dünneren Elektrodendurchmessern, durch das aus der Karbonatzerersetzung entstandene Kohlendioxid zu einer – wenn auch geringfügigen – Aufkohlung des Schweißgutes kommen.

Aus diesem Grund wurden Elektroden entwickelt, bei denen ein Teil der Karbonate durch Kryolith ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) ersetzt worden ist. Zur Unterscheidung von den zuvor beschriebenen kalkbasischen Elektroden werden diese im allgemeinen Sprachgebrauch als „kryolithbasische“ Typen bezeichnet. Sie erfordern eine höhere Arbeitsspannung (ca. 23 bis 27 V) und zeichnen sich durch einen vergleichsweise ruhigen, gerichteten Lichtbogen aus. Mittels leicht pendelnder Elektrodenführung lässt sich hiermit im Gegensatz zu den kalkbasischen Ausführungen ein gleichmäßigeres Nahtbild erzielen. Auch die Schlackenablösung ist tendenziell etwas einfacher. Da sich diese Elektroden auch bei niedrigen Stromstärken noch einwandfrei verarbeiten (sicher beherrschen) lassen, eignet sich dieser Hüllentyp besonders gut zum Schweißen in Steigposition (PF).

Einen Vergleich unterschiedlicher Grundtypen von Umhüllungen im Hinblick auf deren Auswahl und Einsatzmöglichkeit enthält Tabelle 2.

Die zuvor beschriebenen Grundtypen werden durch eine Vielzahl von Mischhüllen, vor allem bei den rutilhaltigen Elektroden, ergänzt. Dabei spielt der Hüllendurchmesser eine wichtige Rolle. Mit zunehmender Umhüllungsdicke wird der Werkstoffübergang feintropfiger. Gleichzeitig nimmt die Eignung der Elektroden zum Schweißen in Zwangslage sowie die Spaltüberbrückbarkeit ab. So lässt sich einerseits durch Variieren des Hüllendurchmessers die Handhabung von Elektroden für bestimmte Schweißposition oder spezielle Anwendungen, z. B. für das Schweißen in Fallposition (PG) bzw. von Wurzellagen, optimieren. Andererseits ändert sich dabei meistens auch das Schweißverhalten in den übrigen Positionen, so dass es sich hierbei stets um Sonderelektroden handelt. Des Weiteren lässt sich, wie bereits erwähnt, durch Hinzufügen von Eisen-, Metall- und/oder Legierungspulver (meistens in Form von Ferrolegierungen) das Schweißgutausbringen steigern. Diese sogenannten Hochleistungselektroden eignen sich jedoch nur für das Schweißen von Stumpf- oder Kehlnähten in Wannens- und Horizontalposition (PA- und PB-Position).