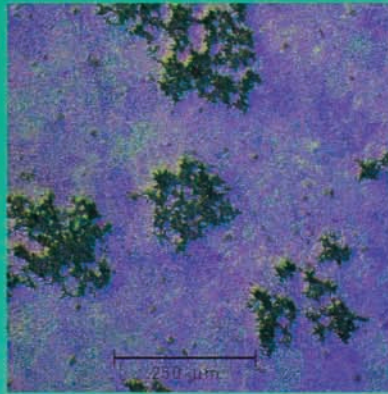


Duktiles Gußeisen

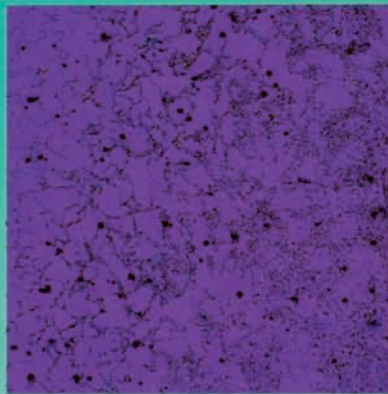
Weißer Temperguß für Schweißkonstruktionen

Die Basis für
hochwertige
Schweißkonstruktionen:

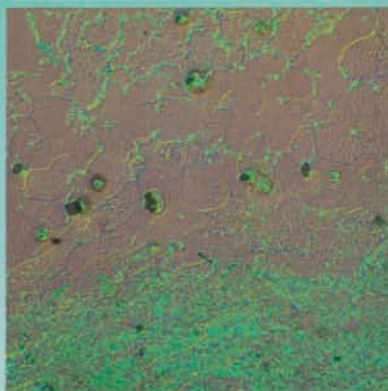


Im Schweißnahtbereich
zähes Gefüge,
keine Aufhärtungen

Kernzone:
Perlit und Temperkohle



Randzone:
Ferrit



Bereich der Schweißnaht
(unten: Schweiße)

Schweißen von Weißem Temperguss

Eine der interessantesten Eigenschaften von Weißem Temperguss ist seine Schweißbarkeit. Dies eröffnet dem Anwender vielfältige Möglichkeiten, seine Konstruktionen unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu optimieren. Denn das Kombinieren von Gießen und Schweißen verbindet die Vorteile beider Fertigungsverfahren und bietet zusätzlich neuartige Möglichkeiten, konstruktive und fertigungstechnische Aufgaben zu lösen. Schwierig geformte Bauteile lassen sich so häufig einfacher und damit wirtschaftlicher herstellen, wenn sie in einzelne Komponenten unterteilt, separat gefertigt und durch Schweißen miteinander verbunden werden. Besonders erfolgreich ist eine solche Arbeitsweise dann, wenn komplizierte Bereiche einer Konstruktion gegossen werden, die anschließend mit einfacheren vorgeformten Blechen, Rohren oder anderem Halbzeug verschweißt werden. Das Verbindungsschweißen zum Verbinden von Bauteilen aus Weißem Temperguss mit anderen Elementen aus Eisen oder Stahl ergänzt so sinnvoll das Fertigungsverfahren Gießen [1].

1 Einleitung

Bei Weißem Temperguss kann die Güte der Schweißverbindung, abgestimmt auf die spätere Betriebsbeanspruchung, durch entsprechende Wahl der Einflussparameter gezielt eingestellt werden [2, 3]. Es werden zwei Güteklassen unterschieden [1]:

- Güteklasse A: Die Schweißverbindung ist in ihren Eigenschaften denen des ungeschweißten Werkstoffs gleichwertig.
- Güteklasse B: Die Eigenschaften sind unterschiedlich, genügen jedoch den Anforderungen eines bestimmten Verwendungszwecks (zweckbedingte Güte).

Beim Konstruieren mit Weißem Temperguss für Guss-Schweiß-Verbundkonstruktionen ist generell darauf zu achten, dass in den Zeichnungen vermerkt wird, an welcher Stelle geschweißt werden soll. Dies ist Voraussetzung, um eine optimale und auch kostengünstige entkohlende Glühbehandlung der Schweißfase sicherzustellen.

2 Wärmebehandlung

Die Wärmebehandlung des Rohgusses, ein entkohlendes Glühen in oxidierender Ofenatmosphäre auch Tempern genannt, ist ein werkstoffspezifischer Fertigungsschritt beim Herstellen von Weißem Temperguss. Damit werden der wandickenabhängige Gefügebau und davon abhängig die mechanisch/technologischen Eigenschaften, mit großer Genauigkeit und hoher Gleichmäßigkeit eingestellt. Abhängig von der Gussteilwanddicke weist

das Gefüge unterschiedliche Anteile von Ferrit, Perlit und Temperkohle auf, die einen voneinander abweichenden Einfluss auf die Schweißseignung haben. Im **Bild 1** ist schematisch die Gefügebildung in einem Tempergussteil gezeigt [2].

Das Wärmebehandeln wird bei etwa 1050 °C vorgenommen und erfolgt in oxidierender Ofenatmosphäre. Dabei reagiert der darin enthaltene Sauerstoff mit dem Kohlenstoff in der Randschicht der Gussteile. Es tritt eine Entkohlung ein. Aufgrund des entstehenden Konzentrationsgefälles diffundiert der Kohlenstoff vom Werkstückinneren nach außen, was zu einem wanddickenabhängigen Gefüge (Gradientengefüge) führt. Dünne Querschnitte sind temperkohlefrei und haben ein ferritisches beziehungsweise ferritisch-perlitisches Grundgefüge, dicke Querschnitte haben eine ferritische Randzone, einen ferritisch-perlitischen Übergangsbereich und

eine perlitische Kernzone, wobei der Anteil an Temperkohle vom Übergangsbereich zur Kernzone zunimmt. Die Länge der Haltezeit auf Glühtemperatur richtet sich nach dem angestrebten Entkohlungsgrad und der maßgebenden Wanddicke der Gussteile.

Wegen dieses Gradientengefüges mit seinen unterschiedlichen Eigenschaften über den Gussquerschnitt müssen die zu schweißenden Stellen genau definiert sein und die Schweißaufgabe entsprechend angepasst werden. Dafür sind die erforderlichen Vorkehrungen zu treffen und bestimmte Vorgaben einzuhalten, auf die nachfolgend eingegangen wird.

Neben den mechanischen Eigenschaften Festigkeit und Dehnung sind vor allem Bearbeitbarkeit und Schweißseignung wichtige Kriterien für die Wahl der bestgeeigneten Tempergussorte [3].



Bild 1: Infolge des entkohlenden Glühens in oxidierender Ofenatmosphäre hat Weißer Temperguss ein von der Wanddicke abhängiges Gefüge mit von außen nach innen zunehmendem Kohlenstoffgehalt.



Bild 2: Bei Wanddicken > 8 mm sind Aussparungen im Schweißbereich vorzusehen.



Bild 3: Ventilgehäuse aus EN-GJMW-360-12, das schweißtechnisch mit einem Stahlrohr vorge-schuhrt wurde.

3 Schweißbeignung

Entscheidend für die Schweißbeignung von Weißem Temperguss ist in erster Linie der Kohlenstoffgehalt im Bereich der Schweißstelle. Für uneingeschränkte Schweißbarkeit ohne die Notwendigkeit besonderer schweißtechnologischer Maßnahmen gilt ein Grenzkohlenstoffgehalt von $\leq 0,3\%$. Dieser ist in erster Linie von der Wanddicke abhängig, das heißt, dünne Wanddicken weisen die bessere Schweißbeignung, dickere eine nur mit Zusatzaufwänden zu erreichende „eingeschränkte“ Schweißbeignung auf, besonders wenn für die Schweißverbindung Güteklasse A gefordert wird. Neben den „normalen“ Weißen Tempergussorten wurde eine auf Schweißbarkeit optimierte „Schweißbare“ Tempergussorte entwickelt. Für diesen „Schweißbaren Temperguss“ der Sorte EN-GJMW-360-12-W gilt Schweißbarkeit ohne Einschränkungen bis zu einer Wanddicke von ≤ 8 mm. Dies wird durch eine besonders intensive Entkohlung erreicht.

Wie bei allen metallischen Werkstoffen nehmen auch bei Weißem Temperguss die statischen Festigkeitseigenschaften

mit fallender Temperatur zu. Von besonderer Bedeutung ist jedoch, dass im Gegensatz zu allen anderen Werkstoffen bei Weißem Temperguss die Zähigkeitseigenschaften nur allmählich abnehmen. Es tritt kein gefährlicher Steilabfall beispielsweise der Kerbschlagarbeit auf. Dabei ist der Steilabfall der Kerbschlagarbeit auch von der Prüfwanddicke abhängig, denn mit zunehmendem Perlitanteil wird der Steilabfall zu höheren Temperaturen verschoben.

3.1 Schweißbeignung von EN-GJMW-360-12

Dieser Werkstoff ist speziell für Konstruktionsschweißungen entwickelt worden. Er wird besonders stark entkohlend gegläht. Im Rohgusszustand hat Weißer Temperguss allgemein einen Kohlenstoffgehalt von etwa 3 %. Um diesen während des oxidierenden Glühens (dem Tempern) in wirtschaftlich vertretbaren Zeiten auf einen Maximalgehalt von 0,3 % in der Schweißzone abzusenken, darf beim EN-GJMW-360-12 der unbearbeitete Schweißquerschnitt eine Wanddicke von 8 mm nicht überschreiten. Dies ist Voraussetzung für ein sicheres Entkohlen. Mit Hilfe konstruktiver Maßnahmen, beispielsweise

se durch Vorsehen einer Schweißfase oder durch Anbringen von Aussparungen im Bereich zu dicker Schweißquerschnitte bei zu dicken Querschnitten (**Bild 2**), kann diese Forderung dank schweißtechnologischer Gussteiloptimierung dann doch noch eingehalten werden.

Mit EN-GJMW-360-12 wird bis zu Wanddicken von ≤ 8 mm ohne zusätzlichen Aufwand (Vorwärmen, Temperatursteuerung der Schweißstelle während und Nachglühen in der ersten und zweiten Glühstufe nach dem Schweißen) mit handelsüblichen unlegierten Schweißzusatzwerkstoffen die Güteklasse A erreicht. Im Schweißquerschnitt in Wanddicken bis 8 mm wird der Kohlenstoffgehalt auf unter 0,3 % abgesenkt, so dass ein Wärmebehandeln nach dem Schweißen nicht erforderlich ist. Die Schweißverbindung ist zäh und die Härte bleibt unter 250 HB₃₀. Bei dem im **Bild 3** gezeigten Ventilgehäuse trat weder im Anschweißstutzen noch in der Schweißnaht beim Verformen ein Riss auf. Nennenswerte Aufhärtungen treten nicht auf. Der Härteverlauf einer Reibschweißverbindung zwischen EN-GJMW-360-12 und dem Stahl C15E ist aus **Bild 4** ersichtlich. Die Schweißverbindungen sind zudem zäh.

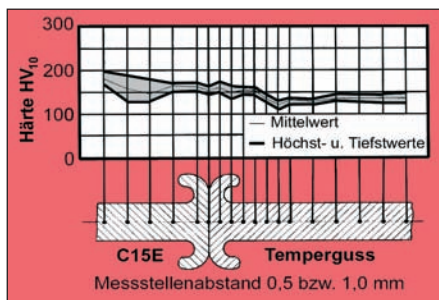


Bild 4: Härteverlauf von Reibschweiß-Verbindungen zwischen Weißem Temperguss EN-GJMW-360-12 und Stahl C15E (nach [2])

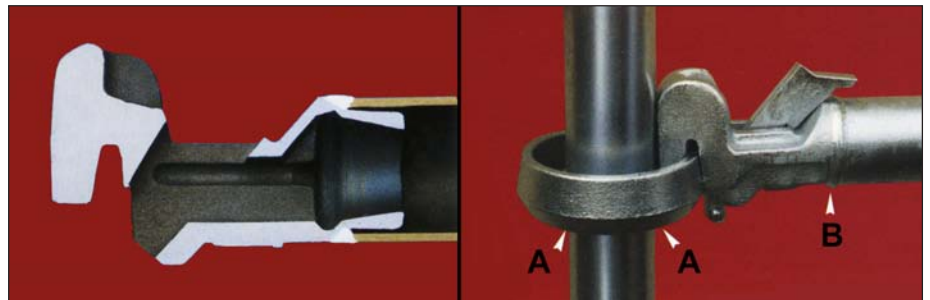


Bild 5: Gerüstklau aus EN-GJMW-360-12 mit einem Stahlrohr verschweißt (links Schnittdarstellung und B) und rechts Gesamtansicht, in der zudem die Traghülse, mit einem Stützrohr verschweißt, zu sehen ist (A).

Diese Sorte ist ohne Einschränkung für alle Schweißverfahren geeignet und wird auch für abnahmepflichtige, druckbeaufschlagte Konstruktionen eingesetzt (**Bild 5**). Deshalb ist sie auch als „der“ schweißbare Temperguss bekannt. Die chemische Zusammensetzung und das stark entkohlende Glühen sind auf eine optimierte Schweißleistung ausgerichtet.

3.2 Die anderen Tempergussorten

Die übrigen Weißen Tempergussorten (EN-GJMW-350-4, EN-GJMW-400-5, EN-GJMW-450-7 und EN-GJMW-550-4) sind aufgrund des höheren Kohlenstoffgehalts vor allem in Wanddicken > 5 bis 5 mm nur bedingt schweißbar. Das heißt, für eine geforderte Güteklasse A ist im Gegensatz zum EN-GJMW-360-12 ein zusätzlicher Aufwand nötig. Sonst wird mit vorzugsweise artfremdem Zusatzwerkstoff nur Güteklasse B erreicht.

Wird Güteklasse A gefordert, so muss bei Kohlenstoffgehalten über 0,3 % in der Schweißzone auf 250 bis 400 °C vorgewärmt werden. Ist der Kohlenstoffgehalt wesentlich höher, so dass sich selbst nach dem Vorwärmen ein Härtingsgefüge (Ledeburit) bildet, ist ein ein- oder zweistufiges Glühen nach dem Schweißen erforderlich. Erfahrungsgemäß führt dies zu Eigenschaften, die nicht ganz denen des ungeschweißten Werkstoffs entsprechen.

Der beim Verschweißen hochnickelhaltiger Zusatzwerkstoffe unvermeidbare schmale Saum von Härtingsgefüge (Ni-Martensit) an der Verbindungszone Temperguss/Schweißzusatz lässt sich auch durch ein Hochtemperaturglühen nicht beseitigen.

Güteklasse A kann ebenfalls mit den mechanisierten und automatisierten Verfahren Abrennstumpfschweißen, Magnetarc-Schweißen und Reibschweißen erreicht werden. Für alle Handlichtbogen-Schweißverfahren mit artgleichen, artähnlichen oder artfremden Elektroden wird grundsätzlich die Verwendung von Elektroden mit kalkbasischer Umhüllung empfohlen. Bei diesen Verfahren und auch beim Metallschutzgasschweißen ist das Erreichen der Güteklasse A vom Kohlenstoff an der Schweißstelle, das heißt von der Wanddicke abhängig. Güteklasse A wird nur dann erreicht, wenn

- die Wanddicke in der Schweißzone nicht größer als 4 mm ist (Die Schweißbarkeit von Fittings kann wegen des auf optimale Zerspanbarkeit ausgerichteten Entkohlungsgrades aber nicht gewährleistet werden),
- eine auf Schweißleistung ausgerichtete Werkstoffüberwachung vorgenommen wird (**Bild 6**).

4 Schweißtechnologie

Werkstoffsorte und Güteklasse bestimmen die erforderliche Schweißtechnologie und den notwendigen Aufwand. Prinzipiell können alle Schweißverfahren angewendet werden, unabhängig davon, ob sie mit oder ohne Zusatzwerkstoff arbeiten.

I. Schweißnahtvorbereitung

Die äußere Randzone von Weißem Temperguss besteht aus einer oxidhaltigen Schicht von etwa 0,1 bis 0,3 mm Dicke, der sogenannten Temperhaut, die das Schweißen beeinträchtigen kann. Sie sollte vor dem Schweißen spanend entfernt werden. Andererseits wird der Einfluss der Temperhaut dadurch vermindert, dass Schweißzusatzwerkstoffe mit ausreichender Desoxidationswirkung verwendet und/oder entsprechende Schweißparameter eingestellt werden. Weitere Möglichkeiten sind die Wahl eines geeigneten Schweißverfahrens (Pressschweißen mit Wulstbildung) sowie eine entsprechende Brenneinstellung beim Gasschweißen.

Die Nahtart kann entsprechend den Erfordernissen des Schweißverfahrens ähnlich wie bei Stahl gewählt werden. Beim Pressschweißen ist für das Bemessen des Stauchwegs zu berücksichtigen, dass Temperguss und Stahl unterschiedliche Schmelzbereiche haben.

II. Wärmeführung und Wärmenachbehandlung

Für EN-GJMW-360-12 gibt es hier nichts zu beachten, bei den anderen Werkstoffen bestimmt die geforderte Güteklasse die Wärmeführung vor, während und nach dem Schweißen beziehungsweise der Wärmenachbehandlung.

III. Schweißart

Weißer Temperguss kann abhängig von der Schweißaufgabe je nach Wanddicke mit arteigenem oder artfremdem Zusatzwerkstoff geschweißt werden.

Artfremdes Schweißen

Mit artfremdem Zusatzwerkstoff wird lediglich Güteklasse B erreicht. Es wird

nicht oder nur geringfügig vorgewärmt. Die Eigenschaften der Schweißverbindung können durch eine ein- oder mehrstufige thermische Nachbehandlung verbessert werden, wobei ein Anlassen häufig ausreichend ist.

Artgleiches Schweißen

Die Gussteile werden je nach Wanddicke und Kompliziertheitsgrad auf 250 bis 400 °C vorgewärmt. Die artgleiche Schweißung erfordert einen gleichen und gleichbehandelten Zusatzwerkstoff. Es wird auch bei Kohlenstoffgehalten von mehr als 0,3 % im Schweißbereich Güteklasse A erreicht. Bei Restkohlenstoffgehalten von weniger als 2 % im Schweißbereich, das heißt unterhalb der Ledeburitgrenze, braucht nicht zusätzlich graphitisierend geglüht zu werden, es genügt ein Anlassen.

IV. Schweißzusatzwerkstoffe

Heute steht eine breite Auswahl an Schweißzusatzwerkstoffen zur Verfügung, so dass die für die spezielle Schweißaufgabe bestens geeigneten ausgewählt werden können. Die entsprechenden Angaben und Parameter werden von den Herstellern bereitgestellt und können der Spezifikation entnommen werden.

Die Wahl des Schweißzusatzwerkstoffes wird neben dem Schweißverfahren entscheidend dadurch mitbestimmt, ob dünnwandige, stark entkohlte oder dickwandige, temperkohlehaltige Bereiche zu schweißen sind. Für stark entkohlte Bereiche kommt entweder das Gasschmelzschweißen bevorzugt mit Stäben G I, GII und GIII oder das Handlichtbogenschweißen vorzugsweise mit kalkbasisch umhüllten Stabelektroden sowie das Metall-Schutzgas-Schweißen mit niedriggekohlten, eventuell auch leicht Mn-legierten Blankdrähten (bevorzugt GG1 bis GG3) zur Anwendung. Für schwach entkohlte, temperkohlehaltige Bereiche kommen bei allen Verfahren umhüllte Stabelektroden sowie nicht umhüllte Stabelektroden und Schweißstäbe zum Einsatz. Die Schweißzusätze für Gusseisenwerkstoffe sind nach **DIN EN ISO 1071**, Ausgabe 2003, genormt.



Bild 6: Fitting aus EN-GJMW-360-12 mit einem Schraub- (links) und einem Schweißanschluss (rechts)



Bild 7: Bremsträger aus schweißbarem EN-GJMW-360-12, der mit eingeschränkten Toleranzen gefertigt wird.

5 Qualitätssicherung

Die anzuwendenden Qualitätssicherungsmaßnahmen müssen sich an den Sicherheitsanforderungen und dem Verwendungszweck der Konstruktion orientieren. Über die Durchführung der jeweils notwendigen Maßnahmen muss fallweise entschieden werden. Sie sind in den einschlägigen Normen und dem Qualitätssicherungshandbuch der Gießereien beschrieben.

Aus verfahrenstechnischer Sicht sind folgende Aspekte zu berücksichtigen [1]:

- Die Schweißzusatzwerkstoffe müssen auf den jeweiligen Grundwerkstoff abgestimmt sein;
- Schweißverfahren und Schweißtechnik müssen auf das Gefüge des Werkstoffs an der Schweißstelle abgestimmt sein;
- Die Schweißer müssen für das Schweißen der betreffenden Werkstoffe ausreichend geschult und befähigt sein;
- Zur einwandfreien Ausführung der Schweißarbeiten gehören die sorgfältige Wahl der Betriebsdaten, Abmessung des Schweißzusatzwerkstoffes, Polung, Stromstärke, Nahtaufbau, Schweißposition und Wärmeführung sowie die Anwendung geeigneter Betriebsmittel, Vorrichtung und Werkzeuge;
- Schweißungen in Gussteilbereichen mit mehr als 8 mm Wanddicke oder einem Kohlenstoffgehalt von mehr als 0,3 % erfordern eine auf den Werkstoff abgestimmte Vorwärmung, Temperaturführung während des Schweißens sowie Wärmenachbehandlung;
- Zum Nachweis einer einwandfreien Ausführung können die Schweißungen mit Hilfe eines geeigneten Prüfverfahrens untersucht werden, zum Beispiel Härteprüfung, Magnetpulverprüfung, stichprobenweise Durchstrahlungsprüfung und/oder metallographische Untersuchung usw.



Bild 8: Gussteil Bremsträger aus der Sorte EN-GJMW-360-12 (Graphik links) und im Endzustand eingeschweißt in das Bremsgehäuse (rechts) (Bild: Knott, Eggstädt)

6 Zusammenfassung

Aus seinen kennzeichnenden Eigenschaften Zähigkeit und Schweißbarkeit leiten sich zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten für Weißen Temperguss ab. So ist dieser Werkstoff beispielsweise für Bauteile, die hohen dynamischen schwingenden oder stoßartigen Beanspruchungen ohne Bruch widerstehen müssen, geeignet. Hierzu zählen unter anderem Fahrwerks- und Lenkungsteile für Kraftfahrzeuge wie auch Stell- und Befestigungselemente für den Schalungsbau (**Bilder 7 und 8**) [3].

Der Bremsträger im **Bild 7** muss hohe Forderungen an Formgenauigkeit, enge Toleranzen, glatte Oberflächen, gute Dauerfestigkeit und Schweißbarkeit bei wirtschaftlicher Fertigung erfüllen, was mit dem gezeigten Tempergussteil auch in der Serienfertigung abgesichert werden konnte.

Wie beanspruchbar und zuverlässig eine Schweißverbindung Weißer Temperguss-/Stahl sein kann, zeigt beispielhaft die Bremsgehäusekonstruktion im **Bild 8**. Es handelt sich bei diesem Anwendungsfall um einen Bremsträger (Bild links), der in ein Bremsgehäuse eingeschweißt

wird (Bild rechts), der wie viele andere Konstruktionen auch aus Sicherheitsgründen eine dokumentationspflichtige Konstruktion ist, denn ein Ausfall der Bremse darf hier nicht auftreten.

Unter Berücksichtigung der oben beschriebenen werkstoffabhängigen Voraussetzungen ist Weißer Temperguss grundsätzlich problemlos schweißbar. Die Verbindungen sind ebenso zuverlässig wie hoch beanspruchbar. Dies ist der Grund für seine Anwendung in Guss-schweißkonstruktionen in vielen Bereichen der Wirtschaft. Dabei werden Tempergussteile sowohl untereinander als auch mit Stahlblech (Werkstoffverbünde) verschweißt.

Schrifttum

- [1] Weißer Temperguss für Schweißkonstruktionen, Sonderdruck, Herausgeber Zentrale für Gussverwendung, Düsseldorf.
- [2] Weißer Temperguss - bewährt, wirtschaftlich und leistungsstark, Sonderdruck, Herausgeber Zentrale für Gussverwendung, Düsseldorf.
- [3] Weißer Temperguss - werkstoffspezifische Eigenschaften. konstruieren + gießen 31 (2006) H. 4, S. 33 - 41.