

Legierungselemente in Baustählen und Feinkornbaustählen

Die Zuordnung eines Schweisszusatzes zu einem Grundwerkstoff kann in der Schweisstechnik nach zweierlei Kriterien erfolgen. Bei unlegierten Baustählen und niedriglegierten Feinkornbaustählen bestimmen in erster Linie die geforderten Festigkeitswerte des Grundwerkstoffes und die Zähigkeitswerte aus den Bauteilanforderungen die Zuordnung eines Schweisszusatzes zum Grundwerkstoff. Bei den nichtrostenden Stählen erfolgt die Zuordnung i.d.R. nach der chemischen Zusammensetzung des Grundwerkstoffes und den Anforderungen an die Beständigkeit der Konstruktion gegenüber der jeweiligen Korrosionsbeanspruchung.

In dem nachfolgenden Beitrag soll an Hand eines Feinkornbaustahles und der dazugehörigen Stabelektrode auf die wichtigsten Legierungselemente eingegangen werden. Die Legierungselemente in nichtrostenden Stählen werden in einem gesonderten Beitrag näher besprochen.

IWeSBO.com / Reinhard Smolin

Die nachfolgende Tabelle zeigt die chemische Zusammensetzung eines vergüteten Feinkornbaustahles S690QL mit einer Mindeststreckgrenze von 690MPa und einer tiefsten Einsatztemperatur bis -40°C . Die Angaben ergeben sich aus der Normeinstufung S690QL und sind in EN 10025-6 (2020) zu finden.

Die zugeordnete Stabelektrode besitzt die gleichen Mindesteigenschaften, was die Festigkeitswerte betrifft. Betreffend Zähigkeitswerte liegt die tiefste Einsatztemperatur bei -60°C . Herauslesen kann man dies aus der Elektrodeneinstufung als E 69 6 Mn2NiCrMo B42 H5

S690QL	C	Si	Mn	P	S
	0,146	0,308	1,28	0,012	0,0005
E 69 6 Mn2NiCrMo B42 H5	C	Si	Mn	P	S
	0,057	0,37	1,6	0,008	0,004

S690QL	Cr	Ni	Mo	Cu
	0,04	0,043	0,112	0,017
E 69 6 Mn2NiCrMo B42 H5	Cr	Ni	Mo	Cu
	0,42	2,31	0,44	0,04

S690QL	N	V	Nb	Ti	Al
	0,0021	0,001	0,024	0,005	0,068
E 69 6 Mn2NiCrMo B42 H5	N	V	Nb	Ti	Al
	-	0,01	<0,01	-	-

Nachfolgend soll in einer vereinfachten, übersichtlichen Weise auf die Legierungselemente und die Unterschiede dieser vom Grundwerkstoff zum Schweisszusatz eingegangen werden.

Kohlenstoff (C)

Kohlenstoff ist das wichtigste und einflussreichste Legierungselement im Stahl. Er bildet mit dem Eisen (Fe) das Karbid Fe_3C , das wesentlich zur Festigkeit des Stahles beiträgt. Daneben führt er beim Schweißen zur Aufhärtung der Wärmeeinflusszone, wenn keine Gegenmassnahmen, wie Vorwärmen, getroffen werden. In unlegierten und normalgeglühten sowie vergüteten Feinkornbaustählen liegt er in Gehalten bis ca. 0,22% vor. Ein Schweisszusatz mit einem derartig hohen Kohlenstoffgehalt würde eine harte und spröde Schweissnaht ergeben. Die Kohlenstoffgehalte von unlegierten und niedriglegierten Schweisszusätzen liegen gewöhnlich im Mittel bei 0,05-0,1%.

Silizium (Si)

Silizium ist eines der wichtigsten Legierungselemente zur Desoxydation des Stahles. Es erhöht als Mischkristallverfestiger ebenfalls die Festigkeitswerte des Metallgitters. In schweisgeeigneten Stählen liegt der Si-Gehalt üblicherweise zwischen 0,2 und 0,4%. Bei Schweisszusätzen würden derartig niedrige Si-Gehalte zur ungenügenden Desoxydation und damit zur Porenbildung und auch zur Spritzerbildung und ungenügendem Anfließverhalten führen. Aus diesem Grunde enthalten z.B. die MAG-Drahtelektroden für unlegierte Baustähle G3Si1 (SG2) und G4Si1 (SG3) Si-Gehalte zwischen ca. 0,6 und 0,9%.

Mangan (Mn)

Auch Mangan wird dem Stahl und dem Schweisszusatz zur Desoxydation zugegeben. In unlegierten Baustählen und Feinkornbaustählen liegen die Mn-Gehalte üblicherweise zwischen 0,5 und 1,8%. In etwa gleichem Bereich liegen die Mn-Gehalte auch bei den Schweisszusätzen. Zu beachten ist, dass bei höherfesten Stählen und Schweisszusätzen der Mangangehalt begrenzt werden muss, da er zu starker Verfestigung, verbunden mit Zähigkeitsverminderung, führen kann, wenn andere Legierungselemente hinzukommen. Mn-Gehalte über 2% vermindern die Zähigkeitswerte stark. Bei unlegierten basischen Stabelektroden z.B. ergeben Mn-Gehalte von ca. 1,45% die besten Zähigkeitswerte.

Phosphor (P)

Phosphor ist ein Stahlschädling aus der Stahlerschmelzung, der bei Erstarrung zur starken Seigerungen führt. Da bei der Erschmelzung eine homogene Verteilung kaum zu erreichen ist, wird er bei hochwertigen Qualitätsstählen auf Gehalte unter 0,05% begrenzt. Bei höherfesten Feinkornstählen für tiefe Betriebstemperaturen werden P-Gehalte unter 0,020% angestrebt.

Legierungselemente in Baustählen und Feinkornbaustählen

Schwefel (S)

Wie Phosphor ist auch Schwefel ein Stahlschädling, der bei der Roheisenherstellung aus dem Erz in den Stahl gelangt und deshalb bei der Stahlraffination auf sehr tiefe Werte reduziert werden muss. Übliche Gehalte bei höherfesten Stählen für tiefe Betriebstemperaturen liegen bei max. 0,010%.

Das waren die Elemente, die üblicherweise bei einer sogenannten 5er-Analyse in einem Zeugnis für einen unlegierten Grundwerkstoff oder Schweisszusatz angegeben werden. Eine ganz besondere Stellung nehmen bei den Grundwerkstoffen und vor allem bei den Schweisszusätzen die Legierungselemente Chrom (Cr), Nickel (Ni) und Molybdän (Mo) ein.

Während der Stahlhersteller seine gewünschten Festigkeitswerte über den Kohlenstoffgehalt erreicht, kann das der Schweisszusatzhersteller nicht, da seine Schweissnähte in dem Fall zu hart werden würden. Der Schweisszusatzhersteller muss seine Festigkeitswerte über Mischkristallbildner und eventuell Feinkornbildner erreichen. Mischkristallbildner sind Elemente, die sich in ihrer Grösse etwas von dem Element Eisen unterscheiden und dadurch das Eisengitter innerlich deformieren und verspannen. Nachfolgend die drei wichtigsten Mischkristallbildner in niedriglegiertem Stahl und Schweissgut.

Chrom (Cr)

Das Element Chrom wird dem Stahl als Mischkristallverfestiger und Karbidbildner zugegeben. Chrom führt aber durch Herabsetzung der für die Martensitbildung kritischen Abkühlgeschwindigkeit zur Martensitbildung, was zur Erhöhung der Aufhärtung führen kann. Der Chromgehalt sollte deshalb sowohl im Stahl als auch im Schweisszusatz nur auf relativ niedrige Gehalte von max. 0,4% beschränkt bleiben.

Nickel (Ni)

Nickel ist ein sehr wichtiges Legierungselement, wenn es um die Zähigkeitswerte sowohl des Stahles als auch des Schweisszusatzes bei tiefen Betriebstemperaturen geht. Die normalgeglühten Feinkornbaustähle können Ni-Gehalte bis 0,85% enthalten. Die höherfesten vergüteten Feinkornbaustähle für Einsatztemperaturen bis -60°C können Ni-Gehalte bis ca. 2% (neu in EN 10025-6 von 2020 sogar bis 4%) enthalten. Während bei den unlegierten Drahtelektroden G3Si1 (SG2) und G4Si1 (SG3) für das reine Schweissgut in der Normeinstufung ausreichende Zähigkeitswerte bis -40°C angegeben werden, kann es in Schweissverbindungen abhängig von Grundwerkstoff und Nahtaufbau dazu kommen, dass die -40°C nicht erreicht werden. In solchen Fällen sollte auf Ni-legierte Schweisszusätze zurückgegriffen werden. Bei Schweisszusätzen mit 1% Ni sind vielfach ausreichende Zähigkeitswerte in der Schweissverbindung bis -60°C erreichbar. Noch tiefere Einsatztemperaturen erreicht man mit Schweisszusätzen mit 2,5% Ni.

Molybdän (Mo)

Molybdän ist wie Chrom ebenfalls ein Element, das zur Mischkristallverfestigung dem Stahl sowie auch dem Schweisszusatz beigegeben wird. Es fördert die Feinkornbildung und dient somit der Erhöhung der Festigkeit und Zähigkeit. Die höherfesten vergüteten Feinkornbaustähle enthalten Mo-Gehalte bis ca. 0,8%. Auch in höherfesten Schweisszusätzen können Mo-Gehalte bis ca. 0,5% vorliegen.

Kupfer (Cu)

In den meisten Grundwerkstoff-Zeugnissen findet man auch eine Angabe für Kupfer. Kupfer ist in erster Linie ein Stahlschädling und wird nur in den wetterfesten Baustählen bewusst zulegiert zur Erhöhung der Beständigkeit gegen witterungsbedingten Einfluss. Da Kupfer aber in geringen Gehalten bei der Stahlerschmelzung über die Schrottzugabe im Stahl landet, wird es in den Zeugnissen angegeben. Die Cu-Angabe im Zeugnis für den Schweisszusatz ist notwendig, da ein gewisser Teil über die Schweissdrahtverkupferung im Gefüge der Schweissnaht zu finden ist.

Nachfolgend noch einige Elemente, die nur in sehr geringen Gehalten dem Stahl bzw. dem Schweisszusatz zugegeben werden.

Aluminium (Al)

Aluminium wird wie Silizium dem Stahl zur Desoxydation und ausserdem zur Denitrierung zugegeben, wodurch es der Neigung der Alterungsverprödung entgegen wirkt. Geringe Zugabe von Al wirkt sich auch begünstigend auf die Feinkornbildung aus. Stähle, die Si-Gehalte $>0,2\%$ und Al-Gehalte $>0,02\%$ enthalten, bezeichnet man als vollberuhigte Stähle.

Vanadium (V), Niob (Nb) und Titan (Ti)

Bei den Elementen Vanadium, Niob und Titan handelt es sich im Wesentlichen um Feinkornbildner. Diese Elemente sind bestens dazu geeignet, im Stahl sowohl die Festigkeitswerte als auch die Zähigkeitswerte zu erhöhen.

Stickstoff (N)

Stickstoff tritt bei den unlegierten Stählen als Stahlschädling auf, in dem er zur Alterungsempfindlichkeit der Stähle beiträgt, weswegen dem Stahl Aluminium zulegiert wird, um den Stickstoff abzubinden.

Den hochlegierten Stählen wird Stickstoff als Legierungselement zugegeben um den Austenit zu stabilisieren und die Korrosionsbeständigkeit zu erhöhen. Mehr Informationen dazu gibt es in einem gesonderten Beitrag zu den Legierungselementen in hochlegierten Stählen.