



## **Vergleich der korrosiven, mechanischen und physikalischen Eigenschaften von gegossenen und geschmiedeten Bauteilen aus rostfreien Stählen**

Qualitätslenkung, Entwicklung und Anwendungstechnik	Dr.-Ing. A. van Bennekom + 49 (0) 271 808 2207 <a href="mailto:bennekom@kep.thyssenkrupp.com">bennekom@kep.thyssenkrupp.com</a> Dr.-Ing. K. Klenke + 49 (0) 271 808 2347 <a href="mailto:klenke@kep.thyssenkrupp.com">klenke@kep.thyssenkrupp.com</a>	Dipl.-Ing. F. Wilke + 49 (0) 271 808 2644 <a href="mailto:wilke@kep.thyssenkrupp.com">wilke@kep.thyssenkrupp.com</a>	Okt. 2002  <b>Bericht 2002-2</b> Guss- und Schmiedeteile
---	--	--	--

### **Einleitung**

Guss- und Schmiedeverfahren werden schon seit vielen Jahrhunderten zur Formgebung metallischer Werkstoffe verwendet, um endabmessungsnah Bauteile herzustellen. Beide Fertigungsverfahren besitzen in Bezug auf das Bauteil Vor- und Nachteile. Bei der Herstellung von gegossenen Formteilen geht es um ein Urformverfahren, mit dem ein nahezu fertiges Bauteil unter Verzicht auf das Umformen gefertigt wird, während das Grundverfahren des Schmiedens zu dem Fertigungsverfahren Umformen zählt. Für die Herstellung gleicher Bauteile kann entweder Gießen oder Schmieden in Betracht kommen, doch hat das Gießen einen eindeutigen Vorteil bei Bauteilen geometrisch komplizierter Gestalt. Um das richtige Fertigungsverfahren für das herzustellende Bauteil zu treffen, wird ein besseres Verständnis für die verschiedenen Fertigungsverfahren gebraucht. Obwohl es unterschiedliche Guss- und Schmiedeverfahren mit den jeweils eigenen Besonderheiten gibt, soll der vorliegende Bericht einen Vergleich zwischen den zwei prinzipiell unterschiedlichen Fertigungsverfahren ermöglichen, unter Berücksichtigung der wichtigsten korrosiven, mechanischen und physikalischen Eigenschaften sowie der wirtschaftlichen Aspekte für die Bauteile aus rostfreien Stählen.

### **Korrosive Eigenschaften**

#### **Allgemeine Korrosionsbeständigkeit**

Die chemische Zusammensetzung von rostfreien Stählen weicht bei den zwei Fertigungsverfahren Gießen und Schmieden leicht voneinander ab. Bei den Schmiedegüten wird die Zusammensetzung sorgfältig kontrolliert, um den Deltaferritanteil zu begrenzen und somit die Warmumformung zu verbessern. Demgegenüber können die Gussgüten wesentlich mehr Deltaferrit enthalten, bis zu 20 % in der Güte CF-8M dem Gussäquivalent zu Werkstoff 1.4401 oder AISI 316. Durch erhöhte Mengen an Deltaferrit können wahrnehmbare Unterschiede in der Korrosionsbeständigkeit zwischen gegossenen und geschmiedeten Bauteilen abhängig von dem Korrosionsmedium bestehen. Dabei sind besonders Lösungen aus Salpetersäure zu erwähnen, bei denen über sehr schnelle Korrosion in der Deltaferritphase berichtet wurde. Eine Tendenz zur Verbesserung der allgemeinen Korrosionsbeständigkeit ergibt sich bei den Schmiedestücken, da ihre Mikrostruktur homogener ausfällt und außerdem weniger Einschlüsse und Seigerungen enthält, als das vergleichbare gegossene Bauteil.

#### **Lochfraßkorrosionsbeständigkeit**

Wie bei der allgemeinen Korrosionsbeständigkeit zeigt sich auch bei der Lochfraßkorrosionsbeständigkeit eine Überlegenheit der geschmiedeten Bauteile gegenüber den Gegossenen. Der Grund hierfür ist bei dem homogeneren Schmiedegefüge zu sehen mit weniger Einschlüssen und Seigerungen. Eine erhöhte Wahrscheinlichkeit der Schlackeneinschlüsse bei den gegossenen Bauteilen ergibt eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Lochfraßkorrosion.



## Interkristalline Korrosion

Die interkristalline Korrosion (IK) ist eine Korrosionsart die ohne Einwirkung mechanischer Beanspruchung bei rostfreien Stählen auftreten kann. Im Temperaturbereich zwischen 500 und 800 °C kann es im gesamten Bauteil je nach Temperatur und Glühdauer sowie nach Kohlenstoffgehalt und Stabilisierungsverhältnis an den Korngrenzen zur Bildung chromreicher Karbide des Typs  $M_{23}C_6$  kommen, Bild 1.

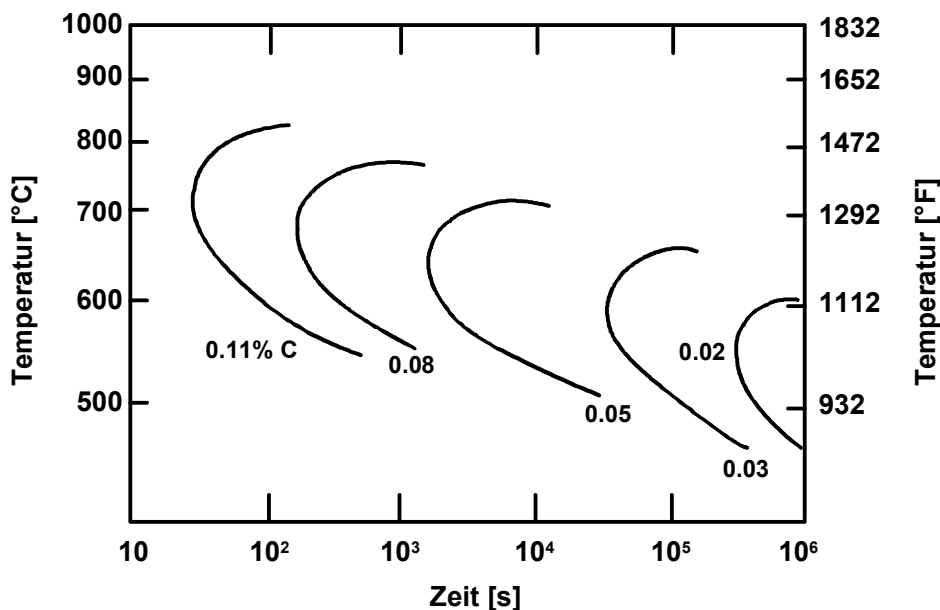


Bild 1: Temperatur-Zeit-Sensibilisierungsschaubild für austenitische rostfreie Stähle mit unterschiedlichen Kohlenstoffgehalten /7/

Die eigentliche Ursache für den verstärkten Korrosionsangriff ist die Chromverarmung der Matrix im Bereich der Korngrenzen und nicht die Ausscheidung von Chromkarbiden selbst. Dadurch haben die korngrenzennahen Bereiche eine geringere Korrosionsbeständigkeit in korrosiven Medien, was zu interkristallinem Angriff führen kann. Das Ausmaß der Chromverarmung an den korngrenzennahen Bereichen und damit der Grad der Sensibilisierung, kann bei einer Wärmeeinwirkung je nach Temperatur-Zeit-Verlauf unterschiedlich sein /1, 2, 3/. Die chemische Zusammensetzung der Gussteile aus rostfreien Stählen weicht häufig von den äquivalenten Schmiedelegerungen ab, daher sollten die möglichen Einflüsse solcher chemischen Unterschiede betrachtet werden. Die Eigenschaften des flüssigen Stahls bei rostfreien Gussteilen, eingestellt z.B. durch höhere Silizium- und Kohlenstoffgehalte, sind ausschlaggebend für die Sicherstellung der problemlosen Füllung in die gewünschten Formen, vorwiegend bei dünnen Gussteilen. Ein erhöhter Kohlenstoffgehalt ist jedoch schädlich, da er die Chromkarbidbildung, und damit die interkristalline Korrosion fördert, Bild 1. Außerdem weisen Gussteile gröbere Körner als Schmiedestücke auf. Feinere Körner verringern die interkristalline Korrosion in den rostfreien Stählen. Als Begründung für diese Beobachtung wird gesehen, dass eine feinere Korngröße zu einer viel größeren Fläche der Kristallgrenzen führt und deshalb die Wahrscheinlichkeit der Bildung eines ununterbrochenen Karbidnetzwerkes viel niedriger ist. Die Anfälligkeit gegen interkristalline Korrosion austenitischer Stähle lässt sich eingrenzen durch eine passende Wärmebehandlung, die Stabilisierung oder durch die Absenkung des Kohlenstoffgehaltes. Die Stabilisierung erfolgt mittels Zugabe der chemischen Legierungselemente Titan oder Niob, welche eine höhere Affinität zum Kohlenstoff besitzen als Chrom und so mit Kohlenstoff stabile Karbide bilden /4, 2, 5/, z.B. Güte 1.4571. Aber auch in stabilisierten CrNi-Stählen kann es nach ungünstigen Glühungen im Sensibilisierungsbereich zur Ausscheidung von Chromkarbiden /6/ kommen. Ein anderer Weg ergibt sich durch deutliche Erniedrigung des Kohlenstoffgehaltes, so-



nannte Low-Carbon- bzw. Extra-Low-Carbon-Stähle mit bis  $\leq 0,03$  % Kohlenstoff, wie z.B. Güte 1.4404.

## **Spannungsrissskorrosion und Wasserstoffversprödung**

Liegen später im Betrieb gleichzeitig Zugspannungen im Material vor und wirkt Korrosion, kann es infolge falscher Wärmebehandlung nach der damit verbundenen Sensibilisierung zu Kornzerfall kommen und damit zur Spannungsrissskorrosion führen. Aus den bereits genannten Gründen sind feinkörnige Stähle beständiger gegen Wasserstoffversprödung und Spannungsrissskorrosion als grobkörnige Stähle. Gegossene Bauteile neigen zur Grobkörnigkeit, daraus ist zu schließen, dass geschmiedete Bauteile gegen diese Korrosionsart wegen ihrer feinkörnigen Struktur beständiger sind.

## **Mechanische Eigenschaften**

### **Festigkeitseigenschaften**

Die Festigkeit eines Stahls ist hauptsächlich von seiner chemischen Zusammensetzung und thermomechanischen Verarbeitungsgeschichte abhängig. Wenn die Eigenschaften gegossener oder geschmiedeter Bauteile aus gleicher Qualität miteinander verglichen werden, kann die chemische Zusammensetzung außer Acht gelassen werden. Ausgewertet werden sollten die Effekte der thermischen und mechanischen Prozesse. Weiterhin muss beachtet werden, dass die meisten Bauteile nur Einsatz finden, wenn die geforderten Korrosions- und mechanischen Eigenschaften über eine passende Wärmebehandlung erreicht werden, z. B. ein Lösungsglühen der austenitischen Stähle oder Härten und Anlassen martensitischer Güten. Insofern sind alle möglichen Unterschiede bezüglich der Festigkeitseigenschaften der Guss- und Schmiedeteile nur von dem Gefüge der Teile abhängig. Schmiedeteile sind feinkörniger als Gussteile und daraus ergeben sich verbesserte Festigkeitseigenschaften. Zusätzlich zur feineren Korngröße ist das Gefüge der geschmiedeten Teile, vor allem wenn das Schmiedeteil aus stranggegossenem Vormaterial (wie z.B. Stabstahl) hergestellt wurde, viel sauberer, homogener und enthält weniger Schlacke und Einschlüsse, als ein äquivalentes gegossenes Bauteil. Da Verunreinigungen in den geschmiedeten Teilen fehlen, ergeben sich auch verbesserte mechanische Eigenschaften.

### **Kerbschlageigenschaften**

Wie bei den Festigkeitseigenschaften sind die Kerbschlageigenschaften in hohem Maße von der Korngröße und vom Reinheitsgrad des Gefüges abhängig. Der Effekt der Korngröße wird durch das Hall-Petch-Verhältnis beschrieben; vereinfacht heißt dies, dass je feiner die Korngrößen sind, je besser ist die Kerbschlageigenschaft. Hieraus ist zu schließen, dass das grobe und richtungsorientierte Gefüge des Gussteils erheblich verringerte Kerbschlageigenschaften im Vergleich zum Schmiedeteil aufweist. Der Effekt der Korngröße in einem rostfreien Duplexstahl wird in Bild 2 dargestellt und zeigt deutlich, dass eine grobe Korngröße verringerte Kerbschlageigenschaften nach sich zieht. Auch der Reinheitsgrad ist in dieser Hinsicht entscheidend und sogar die Anwesenheit von geringen Verunreinigungen, Ausscheidungen (z. B. Chromkarbide) oder Einschlüssen ergeben eine erhebliche Senkung der Kerbschlageigenschaften. Bei Schmiedeteilen, die aus stranggegossenem Vormaterial gefertigt wurden, ergeben sich die besten Kerbschlageigenschaften aufgrund eines sauberen Gefüges.

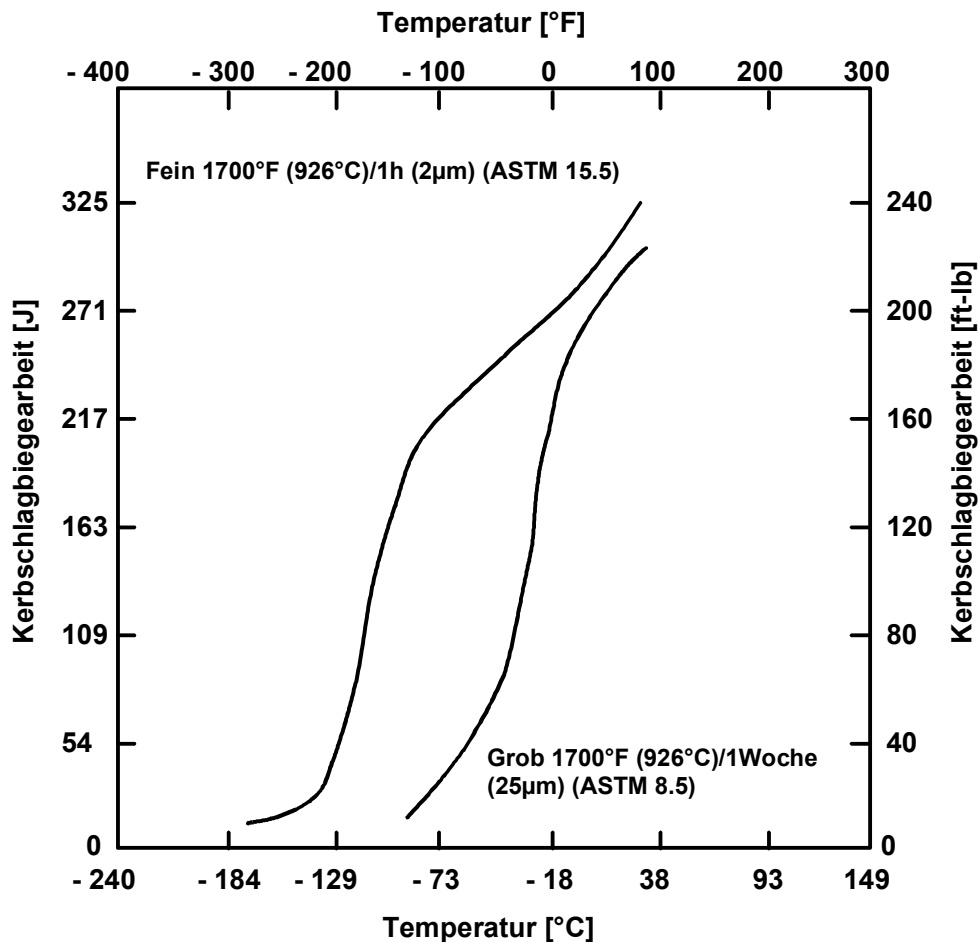


Bild 2: Einfluss der Korngröße auf die Kerbschlagzähigkeitseigenschaften (Übergangstemperatur) von Duplex Stählen /7/

## Dauerschwingfestigkeit

Durch die Guss- und Schmiedeverfahren werden die Bauteile endabmessungsnah hergestellt und anschließend bearbeitet, um die gewünschten Maße und Toleranzen zu erreichen. Demzufolge ist der Ermüdungswiderstand nicht von der Oberflächenausführung des Halbzeugs abhängig, vorausgesetzt die ursprüngliche Oberfläche ist vollständig durch die Fertigung entfernt worden bevor die Teile verwendet werden. Für den folgenden Vergleich wird der Effekt der Oberflächenausführung deshalb nicht näher betrachtet, sondern nur die metallurgischen und gefügekundlichen Faktoren, die den Ermüdungswiderstand von Guss- und Schmiedeteilen beeinflussen können, wie

- Reinheitsgrad,
- Gleichmäßigkeit der Korngröße und Gefüge,
- Anwesenheit von Seigerungen, Schlacke und metallische oder nichtmetallische Einschlüssen.

Wie bereits erwähnt, ist der Reinheitsgrad von Stählen, die über Strangguss hergestellt wurden und im Schmiedeverfahren endabmessungsnah umgeformt werden, viel höher als bei gleichwertigen gegossenen Stählen. Dies bedeutet, dass der Reinheitsgrad von geschmiedeten Bauteilen aus stranggegossenem Vormaterial, wie Stabstahl, von höherer Qualität ist als bei gegossenen Bauteilen. Das gleiche trifft auch für das Vorhandensein von Seigerungen, Schlacke und anderen metallischen oder nichtmetallischen Einschlüssen zu. Die Korngröße bei Schmiedeteilen ist wesentlich feiner als bei Gussteilen, da das gröbere Erstarrungsgefüge durch die Warmumformung zerstört und



dadurch verfeinert wird. Dies ist noch deutlicher sichtbar bei Schmiedestücken, die aus gewalztem Stabstahl hergestellt wurden. Hierbei wird bei der Herstellung des Stabstahles zuerst das ursprüngliche stranggegossene Gefüge während des Warmwalzens verfeinert und danach tritt nochmals eine Gefügeverfeinerung während des Schmiedeprozesses auf. Ein ähnlicher Effekt wird bei Seigerungen beobachtet, indem die aufeinanderfolgenden Verformungsprozesse des Warmwalzens und Schmiedens zu einer Reduzierung und Verteilung der Seigerungen führen. Das ist selbstverständlich nicht bei Gussteilen der Fall, bei denen noch wesentliche Mengen von Seigerungen vorhanden sein können. Die Auswirkung der Korngröße auf die Dauerschwingfestigkeit eines rostfreien Duplexstahls (26,5 % Cr, 6,5 % Ni, 0,2 % Ti) kann aus der folgenden Tabelle ersehen werden:

Korngröße		Dauerschwingfestigkeit
ASTM	[ $\mu\text{m}$ ]	[N/mm <sup>2</sup> ] (10 <sup>7</sup> Zyklen)
12,7	5,7	432,3
11,0	10,3	422,0
8,5	25,0	393,0

Aus dieser Tabelle ist zu entnehmen, dass eine feinere Korngröße eine erhebliche Zunahme der Dauerschwingfestigkeit des rostfreien Stahls ergibt. Aus diesen Ergebnissen und aus den vorhergehenden Ausführungen ist ersichtlich, dass die Ermüdungseigenschaften der Gussteile erheblich schlechter sind, als die der geschmiedeten Bauteile. Die Dauerschwingfestigkeit hängt außerdem in hohem Maße von der Orientierung der Körner im Gefüge ab. Dabei können bedeutende Unterschiede zwischen Guss- und Schmiedeteilen auftreten. Während des Erstarrungsprozesses in den gegossenen Bauteilen orientiert sich das Kornwachstum bevorzugt in Querrichtung, da die Erstarrung an der Oberfläche des Bauteils beginnt und sich dann nach Innen im Wachstum von groben säulenartigen Körnern fortsetzt. Diese Kornorientierung ist vom Ermüdungsgesichtspunkt her besonders schädlich. Schmiedeteile, in denen die Körner nach dem Profil des Schmiedens ausgerichtet sind, besitzen deshalb gegenüber den Gussteilen vorteilhaftere Ermüdungseigenschaften.

## Physikalische und Verarbeitungseigenschaften

### **Wärmebehandlung**

Wenn rostfreie austenitische Stähle geschmiedet werden, ist es möglich, die Temperatur während der verschiedenen Schmiedevorgänge zu steuern, um sicherzugehen, dass der letzte Schmiedegang innerhalb der Temperaturspanne des Lösungsglühens stattfindet. Durch das schnelle Abschrecken des Schmiedestücks in Wasser bildet sich ein ausscheidungsfreies, lösungsgeglühtes Gefüge. In diesem Zustand zeigen die Schmiedestücke aus austenitischen Stählen optimale Korrosionsbeständigkeit und gute mechanische Eigenschaften. Bei gegossenen Bauteilen sieht es jedoch anders aus. Durch die langsamere Abkühlgeschwindigkeit ist die Bildung von Chromkarbidausscheidungen und anderen schädlichen Phasen, wie z.B. Sigmaphase, unvermeidbar. Die einzige Möglichkeit, die Korrosionsbeständigkeit und mechanischen Eigenschaften wieder herzustellen, ist durch ein erneutes Lösungsglühen und schnelles Abschrecken in Wasser die Bildung neuer Ausscheidungen oder Phasen zu verhindern. Sind die Verarbeitungsparameter des Werkstoffs richtig festgelegt, kann die Notwendigkeit einer zusätzlichen Wärmebehandlung von Schmiedeteilen vermieden werden, bei gegossenen Bauteilen ist jedoch eine zusätzliche Wärmebehandlung nicht zu vermeiden.

### **Zerspanbarkeit**



Die Zerspanbarkeit der rostfreien Stähle ergibt sich aus der stofflichen Zusammensetzung des Werkstoffs, seinem Gefügebau im zerspannten Bereich, aus der vorhergehenden Urformung/Umformung und aus der Wärmebehandlung. Die Zerspanbarkeit wird hauptsächlich an folgenden Kriterien gemessen:

- Härte des Werkstoffs,
- Oberflächengüte des Bauteils wie z.B. Verfestigungseigenschaften des Werkstoffs,
- Spanform,
- die Anwesenheit von harten Teilchen im Stahl, welche die Werkzeugstandzeiten verringern bzw. den Werkzeugverschleiß erhöhen.

Im Allgemeinen sollte es sehr kleine Unterschiede zwischen der Härte und den Verfestigungseigenschaften der gegossenen und der geschmiedeten Bauteile aus gleichem Werkstoff geben. Ausschlaggebend für die Standzeiten sowie dem Verschleiß der Werkzeuge ist der Reinheitsgrad des Werkstoffs. Da die gegossenen Bauteile zu mehr Ausscheidungen neigen und Einschlüsse enthalten sowie das Gefüge mehr Seigerungen enthält, ist zu schließen, dass die Zerspanbarkeit der Gussteile schlechter ist als die der Schmiedeteile.

## **Polierfähigkeit**

Die Polierfähigkeit des gegossenen Bauteils ist im Vergleich zu den geschmiedeten Bauteilen minderwertig. Die Polierfähigkeit hängt direkt vom Reinheitsgrad des Werkstoffs ab. Beim Schmiedeteil ist durch das Vorhandensein geringer Ausscheidungen, Einschlüssen oder Verunreinigungen die Wahrscheinlichkeit kleiner, dass diese aus der Matrix herausgerissen und während des Polierens, über die Oberfläche gezogen werden.

## **Oberflächenausführung**

Die ursprüngliche Guss- oder Schmiedeoberfläche ist selten von großem Interesse. Guss- und Schmiedeteile werden zerspannt, um die gewünschte Oberflächenausführung zu erreichen bzw. notwendige Toleranzen einhalten zu können. Durch die spanende Bearbeitung können randnahe Fehler, wie Poren und Einschlüsse freigelegt werden, was zu Ausfall führen kann. Schmiedestücke sind auf Grund der Verformung im wesentlichen frei von Ungängen (Lunker), enthalten weniger Einschlüsse und sind homogener als Gussteile. Die Oberflächenausführung von fertig zerspannten Schmiedestücken ist folglich dem Gussteil überlegen.

## **Zerstörungsfreie Prüfung**

Gussgefüge sind meist relativ grob und dadurch führen Reflexionen an den Korngrenzen zu einem mehr oder weniger störenden Rauschpegel. Dieser Rauschpegel wird stärker, wenn Porositäten vorliegen. Unerwünschte Reflexionen an den Korngrenzen können durch Reduzierung der Prüffrequenzen vermindert werden, was wiederum die Nachweisfähigkeit kleiner Ungängen wie Lunker verschlechtert. Es ist zu betrachten, dass die prüftechnischen Unterschiede zwischen Guss- und Schmiedegefügen mit steigenden Wanddicken der Bauteile größer werden.

## **Nachfolgende Beschichtung**

Eine nachfolgende Beschichtung der Bauteile erfolgt durch epitaktische Schichten aus Metallen. Die Epitaxie ist das gesetzmäßig orientierte Auswachsen einer kristallinen Substanz auf einer anderen. Das auftretende epitaktische Wachstum bedeutet, dass die neuen Kristalle, die sich bilden, die gleichen Gefügelagebestimmungen und Kristallgrenzen aufweisen, wie die zu beschichtende Oberfläche. Die vollständig orientierte Abscheidung und Qualität der Beschichtung ist direkt von der Ober-



flächenbeschaffenheit des Bauteils abhängig. Daraus lässt sich schließen, dass grobe Körner und Oberflächenunvollkommenheiten minderwertige Beschichtungseigenschaften bedeuten und im Extremfall zu Adhäsionsproblemen führen können.

## Zusammenfassung

Die Entscheidung über den Einsatz der Fertigungsverfahren Gießen oder Schmieden der endabmessungsnahen Bauteile hängt letztendlich von folgenden Faktoren ab:

- Quantität, Größe und Komplexität der herzustellenden Bauteile,
- geforderte chemische und mechanische Eigenschaften,
- Kosten zur Herstellung der Bauteile.

Um das richtige Fertigungsverfahren für das herzustellende Bauteil zu treffen, ist es nur möglich die Eigenschaften zu berücksichtigen, die bei beiden Fertigungsverfahren erwartet werden. Vor diesem Hintergrund lässt sich eine Tabelle aufstellen, welche die verschiedenen Eigenschaften, die vorhergehend im Einzelnen erläutert wurden, enthält:

<b>Zusammengefasster Vergleich zwischen den Eigenschaften von gegossenen und geschmiedeten Bauteilen aus rostfreien Stählen</b>		
<b>Eigenschaften</b>	<b>Gegossene Bauteile</b>	<b>Geschmiedete Bauteile</b>
<b>Korrosive Eigenschaften</b>		
Allgemeine Korrosionsbeständigkeit	schlechter	<b>besser</b>
Lochfraßkorrosionsbeständigkeit	schlechter	<b>besser</b>
Interkristalline Korrosion	schlechter	<b>besser</b>
Spannungsrisskorrosion und Wasserstoffversprödung	schlechter	<b>besser</b>
<b>Mechanische Eigenschaften</b>		
Festigkeitseigenschaften	schlechter	<b>besser</b>
Kerbschlagarbeit	schlechter	<b>besser</b>
Dauerschwingfestigkeit	schlechter	<b>besser</b>
<b>Physikalische und Verarbeitungseigenschaften</b>		
Wärmebehandlung	mehr	<b>weniger</b>
Zerspanbarkeit	schlechter	<b>besser</b>
Polierfähigkeit	schlechter	<b>besser</b>
Oberflächenausführung	schlechter	<b>besser</b>
Zerstörungsfreie Prüfung	schlechter	<b>besser</b>
Nachfolgende Beschichtung	schlechter	<b>besser</b>
Reinheitsgrad *	schlechter	<b>besser</b>
Geometrisch komplizierte Bauteile *	<b>besser</b>	schlechter
<b>Wirtschaftliche Aspekte</b>		
Preis pro gefertigtes Teil	<b>niedriger</b>	höher

\* im Text erwähnt  
grau unterlegt: Vorteile





## **Literatur:**

Marshall, P.  
Austenitic Stainless Steels – microstructures and properties.  
Elsevier Applied Science Publishers, 1984.

Peckner and Bernstein  
Handbook of Stainless Steels.  
McGraw-Hill book company, 1977.

R.A. Lula  
Stainless Steel  
American Society for Metals, 1986.

- /1/ Aaltonen, P., Aho-Mantila, I. and H. Hänninen  
Electrochemical methods for testing the intergranular corrosion  
susceptibility of stainless steels.  
Corrosion Science 23 (1983) 4, 431-440.
- /2/ Folkhard, E.  
Metallurgie der Schweißung nichtrostender Stähle.  
Springer-Verlag, Wien, New York, 1984.
- /3/ Bruemmer, S.M.  
Grain Boundary Composition Effects on Environmental Induced  
Cracking of Engineering Materials.  
Corrosion (Houston) 44 (1988) 6, 364-370.
- /4/ Kaesche, H.  
Die Korrosion der Metalle.  
2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1979.
- /5/ Abe, S. and T. Ogawa  
A Modified Type 347 Stainless Steel For Nuclear Power Applications.  
Metal Progress (Sept. 1979), 61-65.
- /6/ Schwaab, P., Schwenk, W. und H. Ternes  
Untersuchung der Anfälligkeit stabilisierter und unstabilsierter austenitischer,  
nichtrostender Chrom-Nickel-Stähle gegen interkristalline Korrosion in  
verschiedenen Prüfmitteln.  
Werkstoffe und Korrosion 16 (1965) 10, 844-852.
- /7/ Peckner, D. and I.M. Bernstein  
Handbook of Stainless Steels  
McGraw-Hill Book Company, ISBN 0-07-049147-X (1977), 4-45