

# Nicht nur leichter als Stahl

## ADI - Gusseisen erschließt neue konstruktive Freiheiten



*Bei der Wahl eines geeigneten Werkstoffs hat der Konstrukteur die Qual der Wahl: entweder hochfest, aber spröde oder zäh aber weniger fest. Eine Optimierung dieser gegenläufigen Eigenschaften schließt sich bei konventionellen Konstruktionswerkstoffen aus. In diesem Spannungsfeld eröffnet die Gruppe der ADI-Gusseisenwerkstoffe völlig neue Horizonte, denn hier gilt: „Strength meets toughness“.*

ADI - Austempered Ductile Iron - bezeichnet einen wärmebehandelten duktilen Sphäroguss, der bei gleicher Bruchdehnung eine doppelt so hohe Festigkeit und Dauerfestigkeit wie konventionelles Gusseisen mit Kugelgraphit, sowie eine signifikant höhere Verschleißfestigkeit besitzt. In den USA hat sich ADI neben Grau- und Sphäroguss als weitere häufig verwendete Gusseisenqualität bereits seit einiger Zeit am Markt etabliert. In Europa sind ADI-Anwendungen dieser

### ■ Gussgerechte Konstruktion ermöglicht Gewichtsreduzierungen und Eigenschaftsverbesserungen ■

hier erst 1997 genormten Werkstoffgruppe bisher eher exemplarische Einzelanwendungen. Dabei bietet ADI viele Vorteile. So lässt sich durch gezielte Variation der Wärmebehandlungsparameter der für den jeweiligen Anwendungsfall optimale Gusseisenwerkstoff designen. Zwischen 800 N/mm<sup>2</sup> mit mind. 8% Dehnung und 1600 N/mm<sup>2</sup> mit ca. 1% Dehnung bei sehr hoher Verschleißfestigkeit ist fast jede Lösung darstellbar.

Das Eigenschaftsprofil macht die zähen ADI-Sorten zu echten Konkurrenzwerkstoffen für Schmiedestähle, wobei sich ADI durch seine geringere Dichte und sein höheres Dämpfungsvermögen auszeichnet. Im Gegensatz zum Schmiedeverfahren bietet das Verfahren des Gießens die größere Freiheit der Formgebung. Es ergeben sich deutlich weniger Restriktionen für das

Bauteildesign, so dass der Phantasie des Konstrukteurs nur noch wenige Grenzen gesetzt sind. Die hochfesten ADI-Sorten eignen sich zudem für Anwendungen, bei denen ein hoher Verschleißwiderstand im Vordergrund steht.

### Herstellungsprozess

ADI wird durch eine mehrstufige Wärmebehandlung aus Sphäroguss hergestellt. Ziel der Wärmebehandlung ist die Einstellung eines Gefüges aus nadeligem Ferrit in einer mit Kohlenstoff übersättigten Austenitmatrix. Durch den hohen Kohlenstoffgehalt wird der Austenit auch bei Raumtemperatur und bei tieferen Temperaturen stabilisiert. Als Bezeichnung für dieses Gefüge hat sich Ausferrit eingebürgert. Dieser Name wird zukünftig auch mit in Kraft tretenden der aktuell in Überarbeitung befindlichen Norm DIN EN 1564 offiziell festgelegt.

Zur Einstellung des Gefüges wird das Gussstück im Schutzgasofen bei 840 bis 950 °C zunächst vollständig austenitisiert. Im zweiten Behandlungsschritt erfolgt eine schnelle Abkühlung - in der Regel im bewegten Salzbad - auf eine Umwandlungstemperatur zwischen 235 und 425 °C. Über die Temperatur des Bades wird die Güte des ADI eingestellt.

Die Wärmebehandlungsparameter müssen so gewählt werden, dass die Bildung von unerwünschten Gefügebestandteilen wie Perlit, Mar-

tensit oder sekundären Karbiden verhindert wird. Da die geeigneten Wärmebehandlungsparameter in gewissen Grenzen auch von der chemischen Zusammensetzung des Gussstücks sowie von seiner Mikrostruktur abhängen, ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Gießerei und Härterei notwendig, um reproduzierbar gute Werkstoffeigenschaften einzustellen.

### Werkstoffeigenschaften

Die durch die Wärmebehandlung eingestellte sehr feine Struktur zeichnet sich durch eine einzigartige Kombination von Festigkeit und Zähigkeit aus. ADI-Werkstoffe zeigen hohe Festigkeiten und Dauerfestigkeiten bei hohen Bruchdehnungswerten. Weiterhin wird die ausferritische Matrix mit ihren Graphiteinlagerungen durch ei-

nen hohen Verschleißwiderstand und ein hohes Dämpfungsvermögen charakterisiert. Diese Eigenschaftskombination gemeinsam mit den Möglichkeiten der Formgebung durch Gießen hat für viele Anwendungen gegenüber anderen Werkstoffen und Verfahren Vorteile (Bild 2, Tabelle).

Das Kerbempfindlichkeitsverhältnis, dass das Verhältnis der Dauerfestigkeit von ungekerbten und gekerbten Proben bezeichnet, liegt für ADI zwischen 1,2 und 1,6, während es für Schmiedestahl zwischen 2,2 und 2,4 liegt. ADI ist also weniger kerbempfindlich. Anders als bei konventionellen Gusseisensorten mit Kugelgraphit verläuft die Dauerfestigkeit von ungekerbten ADI-Proben nicht proportional zur Zugfestigkeit, sondern zeigt ein Maximum bei mittelzähen Sorten wie EN-GJS-100-5.

Besonders interessant ist dieser Aspekt natürlich hinsichtlich der technischen Betriebsfestigkeit realer Bauteile und der Abschätzung ihrer Versagenswahrscheinlichkeit unter Schädigung, d.h. den intrinsischen Widerstand eines Werkstoffs gegen Rissfortschritt. Um die Zähigkeit verschiedener Werkstoffe zu vergleichen, wird gern die jeweilige Kerbschlagarbeit der Werkstoffe genutzt. Diese Werte sind experimentell mit wenig Aufwand zu ermitteln, bieten aber keine Hilfe bei der Auslegung von Bauteilen. Die Kerbschlagarbeit von ge- und ungekerbten

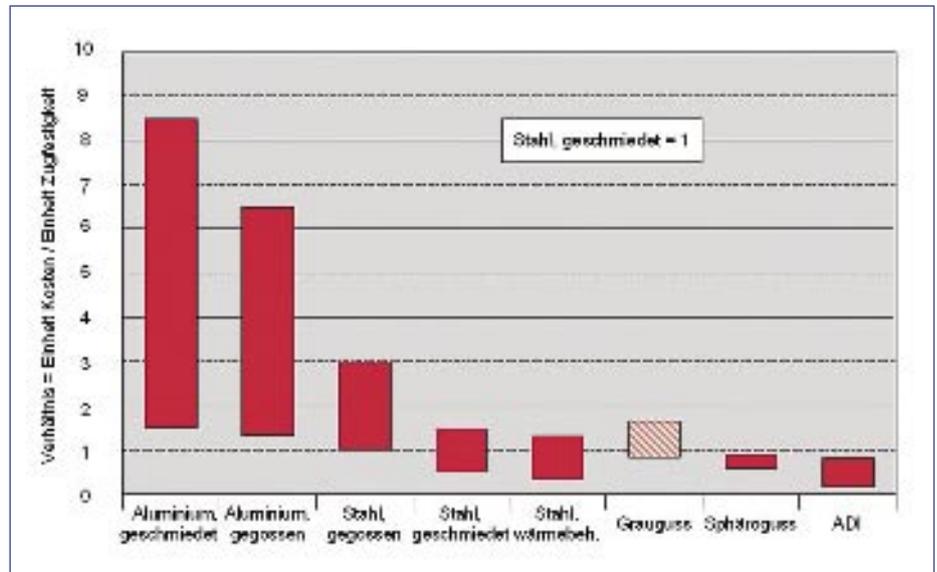


Bild 2: Relative Kosten pro Einheit der Zugfestigkeit verschiedener Konstruktionsmaterialien

Charpy-Proben bei Raumtemperatur und tiefen Temperaturen sind geringer als die von Schmiedestählen, aber dreimal höher als die von konventionellen Gusseisensorten mit Kugelgraphit.

### Anwendungsbeispiel

Ein absolutes Highlight sowohl aus Sicht eines Gießers - als auch vieler Motorfachleute - stellt

eine aktuelle ADI-Anwendung dar. Die Rädercas-sette des VW 10 Zylinder-Diesel-Motors (230 kW / 313 PS) des weltweit leistungsstärksten Pkw-Dieselmotors wird aus zwei ADI-Gussteilen gefertigt (Bild 1). Er ist derzeit u.a. im VW Touareg und im VW Phaeton im Einsatz. Die Rädercas-sette ist das Herzstück des integrierten Steuer- und Nebenaggregateantriebes des Motors. Die Nockenwelle der Pumpe-Düse-Zylinderköpfe und

Werkstoff-Kurzzeichen			EN-GJS-800-8	EN-GJS-1000-5	EN-GJS-1200-2	EN-GJS-1400-1
Werkstoff-Nummer			EN-JS 1100	EN-JS 1110	EN-JS 1120	EN-JS 1130
Zugfestigkeit	$R_m$	N/mm <sup>2</sup>	800	1000	1200	1400
0,2%-Dehngrenze <sup>1,3</sup>	$R_{p0,2}$	N/mm <sup>2</sup>	500	700	850	1100
Bruchdehnung $A_5$	A	%	8	5	2	1
Brinellhärte	HB 30		260 - 320	300 - 360	340 - 440	380 - 480
Elastizitätsmodul	$E_o$	KN/mm <sup>2</sup>	170	168	167	165
Poisson-Zahl	$\mu$		0,27	0,27	0,27	0,27
Schubmodul	G	KN/mm <sup>2</sup>	65	64	63	62
Bruchzähigkeit	$K_{IC}$	MPa m <sup>1/2</sup>	62	58	54	50
Scherfestigkeit	T	N/mm <sup>2</sup>	720	890	1080	1260
Druckfestigkeit		N/mm <sup>2</sup>	1300	1600	1900	2200
Dichte	$\rho$	Kg/dm <sup>3</sup>	7,1	7,1	7,1	7,1
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda$	W/(m·K)	22,1	21,8	21,5	21,2
Thermische Längenausdehnung	$\alpha$	$\mu\text{m}/(\text{m}\cdot\text{K})$	14,6	14,3	14,0	13,8

Tabelle: Werkstoffeigenschaften von ADI

### Marktpotenzial von ADI-Gusseisenwerkstoffen

ADI bietet sich aufgrund seiner hohen Dauerwechselfestigkeit bei hohen Bruchdehnungswerten vor allem für dynamisch hochbeanspruchte Teile an. Hier können Schmiedebauteile durch Gussteile ersetzt bzw. optimiert werden, da sich durch das Verfahren Gießen Geometrien realisieren lassen, die durch Schmieden nicht darstellbar sind.

Die spezifische Festigkeit liegt für ADI-Werkstoffe deutlich oberhalb der meisten Aluminiumlegierungen. So zeigen Beispiele, dass es möglich ist, mit ADI sogar leichtere Bauteile zu realisieren als mit Aluminiumwerkstoffen. Auch als Werkstoff für Anwendungen im Getriebebereich haben sich ADI-Werkstoffe bewährt. Neben ihren guten Verschleißigenschaften ist hier die hohe Laufruhe von Getrieben aus ADI entscheidend für die Werkstoffwahl. Die Selbstschmierung aufgrund des Graphitanteils führt bei diesen Einsätzen zum Teil zu messbar reduzierten Reibungsverlusten. Hier hat ADI in etlichen Anwendungen klassische Vergütungsstähle wie 42CrMo4 abgelöst.

alle Nebenaggregate werden über die in ihr fixierten Stirnradgetriebe angetrieben. Freiräume und Einbaubedingungen sind extrem genau ausgeführt, um den Zahnradverschleiß zu minimieren und gleichzeitig einen geräuscharmen Betrieb zu ermöglichen. Daher ist hier ein Werkstoff nötig, der nicht nur durch eine hohe Festigkeit, sondern auch durch eine hohe Materialdämpfung charakterisiert wird. Das ausferritische Gefüge übertrifft dabei in seinem Dämpfungsvermögen sowohl Stahl als auch Aluminium deutlich.

Gießtechnisch bestehen die Herausforderungen in einer schon für konventionellen Sphäroguss ungewöhnlich eng tolerierten Planizität und in einem mikrolunkerfreien Gefüge des Bauteils. Die beiden Seitenteile der Rädercasette sind großflächige dünnwandige Bauteile; trotzdem ist für das Rohmaterial nur eine kleine Toleranz zulässig. Bei der Wärmebehandlung ergibt sich das zusätzliche Problem, dass Härteverzug auf jeden Fall vermieden werden muss. Durch geeignete Lagerung der Platten während der Wärmebehandlung konnten diese Forderungen erfüllt werden.

Auch die Bearbeitung dieses Bauteils stellt hohe Anforderungen und demonstriert eindrucksvoll, dass für die Bearbeitung von ADI inzwischen entsprechende Konzepte zur Verfügung stehen, die selbst Tieflochbohrungen erlauben. Das Klischee des nicht bearbeitbaren ADI gehört damit sicherlich der Vergangenheit an. Allerdings muss man sich von der Erwartungshaltung lösen, dass ADI mit den gleichen Werkzeugen und Schnittparametern bearbeitet werden kann wie perlitische Sphärogussorten.

CLAAS GUSS