

ADI ermöglicht neue Lösungen für den Automobilbau

Wenn beim Gusseisen mit Kugelgraphit ein Zwischenstufen-Umwandlungsprozess durchgeführt wird, so vollzieht sich im Material eine bemerkenswerte Gefügeveränderung. Es entsteht **Austempered Ductil Iron (ADI)** – ein Guss-eisen ideal für viele gegossene Bauteile im Automobilbereich. Dieses ADI-Gusseisen hat pro Gewichtseinheit eine höhere Festigkeit als Aluminium, ist sehr verschleißbeständig, leichter zu bearbeiten als Stahl und hat das Potenzial für eine Kostenreduktion von bis zu 50 %.

1 Fertigungstechnische Besonderheiten

Es gibt zwei Möglichkeiten um einen ADI-Werkstoff herzustellen, die Zwischenstufenumwandlung und das Vergüten (Abschrecken und Anlassen). Die Zwischenstufenumwandlung ist eine besondere isothermische Wärmebehandlung, welche bei bestimmten Eisengusslegierungen angewendet werden kann, um diesen eine hohe Festigkeit und Zähigkeit zu verleihen. Im **Bild 1** sind schematisch die isothermische Zwischenstufenumwandlung (grüne Linie) und der Vergütungsprozess (rote Linie) dargestellt.

¹⁾ Dr. Arron Rimmer, Technischer Direktor der ADI Treatment Ltd in West Bromwich (UK) einer Tochtergesellschaft der Hulvershorn Eisengießerei GmbH & Co.KG in Bocholt, www.hubo.de

Nachdruck aus Foundry Trade Journal Nr. 3/2004, Originaltitel "ADI solution aid vehicle design"

Deutsche Bearbeitung durch Ulrich Becker, Leiter AGQ-Center, Haunsheim, www.agq.de

Die Zwischenstufenumwandlung erfolgt durch Aufheizen des Materials in den austenitischen Bereich, gefolgt von einem schnellen Abschrecken in einen Temperaturbereich zwischen 260 bis 385 °C. Das Material wandelt sich in diesem Temperaturbereich isotherm um und liegt dann je nach Werkstoff als Zwischenstufengefüge (Ausferrit) bei Gusseisen oder Bainitgefüge bei Stahl vor.

Im Gegensatz zur isothermen Zwischenstufenumwandlung besteht der Vergütungsprozess aus einer Austenitisierung und einem schnellen Abschrecken unterhalb der Martensitlinie. Der jetzt vorliegende Martensit ist sehr hart und spröde. Es bedarf einer oder mehrerer Anlassphasen, um eine gute Festigkeit und Zähigkeit zu erlangen.

Die Bildung eines Zwischenstufen (Ausferrit)- oder Bainitgefüges findet zeitlich differiert bei einer konstanten Temperatur statt. Maßtoleranzen sind daher einfacher einzubehalten und Härterisse werden vermieden.

Beim Vergüten hingegen ist durch die Martensitbildung aufgrund der Wandstärkenunterschiede und daraus resultierender unterschiedlicher Abkühlungsverhältnisse die Gefahr von Rissbildung sowie Maßabweichungen sehr groß und die Gefügeumwandlung ist nicht homogen.

Die Zwischenstufenumwandlung bietet daher, als isothermer Vorgang, Qualitätsvorteile gegenüber dem Vergüten. Aber die Durchführung der isothermen Zwischenstufenumwandlung erfordert große Erfahrung und spezielle Wärmebehandlungsöfen. Einige Firmen haben sich daher auf diese Wärmebehandlungsmethode spezialisiert. Zum Beispiel kann die Firma ADI Treatments Ltd. in West Bromwich (UK), ADI Treatments auf eine lange Zusammenarbeit mit der Europäischen Gießereiindustrie und deren Kunden verweisen. Als Serviceleistung bietet ADI Treatment seinen Kunden Hilfe bei der Konstruktion und Entwicklung von ADI-Komponenten an.

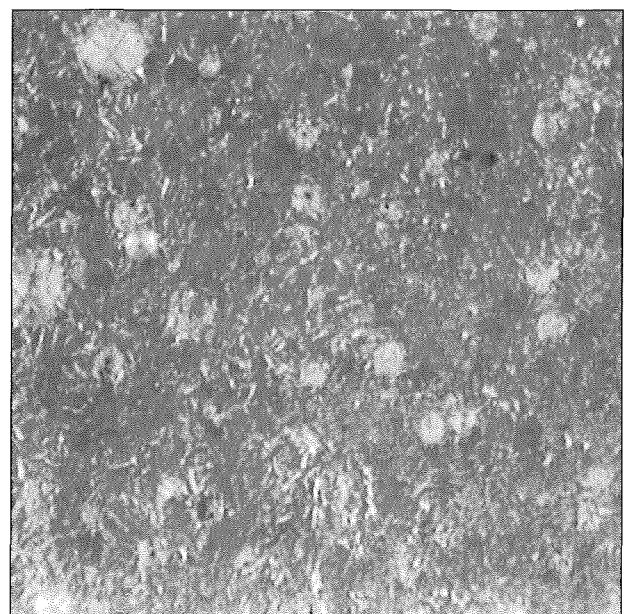
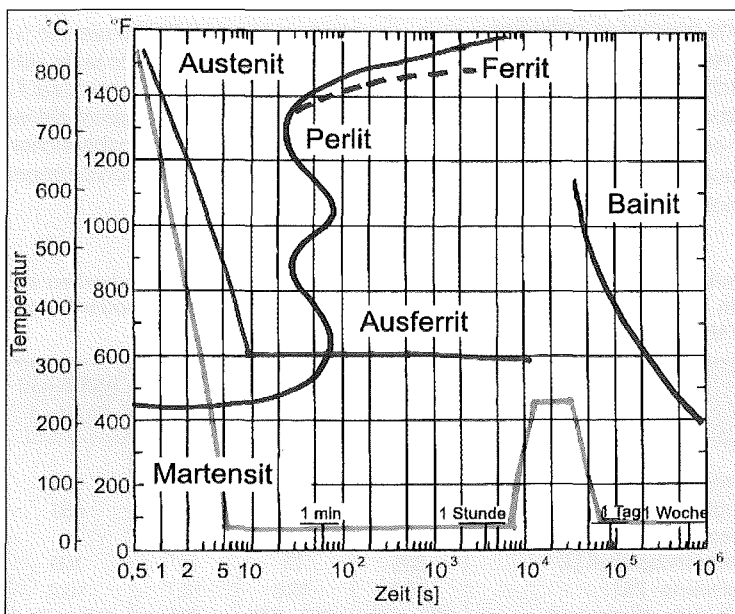


Bild 1: Schematische Darstellung der isothermischen Zwischenstufenumwandlung (grüne Linie) und des Vergütungsprozesses (rote Linie)

Bild 2: Das ADI-Gefüge, eine Mischung aus nadelförmigem Ferrit und Kohlenstoff angereichertem Austenit (Ausferrit)

2 Qualitäten, Eigenschaften und Vorteile

Das ADI-Material ist vielseitig einsetzbar. In der **Tabelle 1** sind die gebräuchlichen ADI-Sorten aufgeführt. Der Konstrukteur kann die Gussqualität und Wärmebehandlung bestimmen, um spezifische Eigenschaften zu erreichen, welche für die Verwendung des Bauteils benötigt werden. Im **Bild 2** ist ein ADI-Gefüge abgebildet, eine Mischung von nadelförmigen Ferrit und mit Kohlenstoff angereicherter stabilisiertem Austenit, welches dem ADI seine besonderen Eigenschaften verleiht und als Ausferrit bezeichnet wird.

Der Preis von ADI-Gusseisen liegt pro Kilogramm niedriger als der von Stahl oder Aluminium. Aber das ist nur ein kleiner Teil der möglichen Vorzüge der ADI-Werkstoffe. Ein bereits für den ADI-Einsatz konstruiertes Bauteil kann in jeder Stufe der Herstellung Kosten einsparen helfen. ADI-Gussteile sind kostengünstiger als ein Stahlschmiedestück und können gegenüber Aluminiumteilen für etwa die Hälfte der Kosten hergestellt werden.

Folgende Faktoren sprechen für das ADI-Gusseisen:

- 1. Ausgezeichnete Gießbarkeit** - Es können selbst komplizierte Formen gegossen werden. Das Material hat ein sehr hohes Ausbringen.
- 2. Niedrigere Bearbeitungskosten** - der Werkstoff ermöglicht ein nahezu maßgenaues Gießen, da weniger Bearbeitungszugabe vorgesehen werden muss und im Gegensatz zum Stahl bereits vor der Zwischenstufenumwandlung bearbeitet werden kann. Bei der Bearbeitung von ADI fallen dichte gebrochene Späne an, welche leicht gehandhabt und wieder verwendet werden können. Hierdurch werden die Kosten pro Kilo zusätzlich gesenkt.
- 3. Niedrigere Wärmebehandlungskosten** - Die Zwischenstufenumwandlung

kostet im allgemeinen weniger als eine Oberflächenaufkohlung oder induktive Härtung. Sie ermöglicht außerdem einen höheren Grad an Gefügehomoogenität und bestimmbarer Maßveränderungen.

- 4. Niedriger Energieverbrauch** - Zum Herstellen eines typischen ADI-Gussstückes werden 50 % weniger Energie als für ein Stahlgussstück und 80 % weniger Energie als für ein Stahlschmiedestück benötigt.
- 5. Der günstige Preis** - Wenn die relativen Kosten pro Einheit Streckgrenze angesetzt werden, ist ADI im allgemeinen der günstigste Werkstoff.

Auf Grund seiner überlegenen Leistungsfähigkeit werden ADI-Gussstücke in bestimmten Anwendungsbereichen zukünftig Stahlschmiedeteile, geschweißte Ausführungen, aufgekohlten Stahl und Aluminium verdrängen. Daran sind auch die ausgezeichneten Eigenschaften (**Tabelle 2**) dieser relativ neuen Werkstoffgruppe beteiligt:

- 1. Eine dem Stahl vergleichbare Festigkeit** - Wegen der vergleichbaren Festigkeit können beinahe 80 % aller gegossenen und geschmiedeten Stahlteile durch entsprechende Qualitäten aus Duktilem Gusseisen oder ADI ersetzt werden.
- 2. Ein niedrigeres spezifisches Gewicht als Stahl** - Das spezifische Gewicht von ADI erlaubt eine Gewichtsersparnis bei der Konstruktion ohne Leistungsverlust. Eine ADI-Konstruktion ist in jedem Fall 10 % leichter als eine Stahlkonstruktion.
- 3. Leichter als Aluminium** - ADI-Gussteile haben eine dreimal so hohe Festigkeit wie ein vergleichbares gegossenes oder geschmiedetes Aluminiumteil, wiegen aber nur 2,5mal so viel. Deshalb kann ein sachgemäß entworfenes ADI-Bauteil ein Aluminiumteil auch mit Gewichtsersparnis ersetzen.

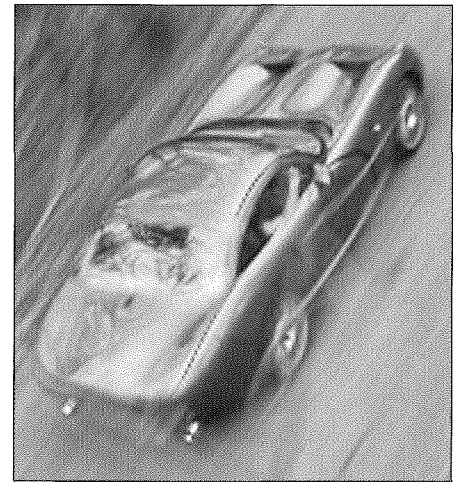


Bild 3: Der "Tuscan Speed Six" (Bild: TVR Engineering LDT., West Bromwich)

- 4. Ausgezeichnete dynamische Eigenschaften** - Die dynamischen Eigenschaften von ADI übertreffen die von geschmiedetem, gegossenem und mikrolegiertem Stahl. Anders als bei Aluminium bleibt die Dauerstandfestigkeit von ADI beinahe konstant und das auch nach mehreren zehn Millionen Lastwechseln.
- 5. Verbesserte Geräuschkämpfung** - Der Graphit in dem ADI-Gefüge verbessert die Geräuschkämpfung, so dass die Teile leiser und ruhiger arbeiten, was vor allem im Automobil- und Maschinenbau von Vorteil ist.
- 6. Überlegene Verschleißeigenschaften** - Die Abriebfestigkeit von ADI übertrifft die von herkömmlich bearbeitetem Stahl und Eisen bei einem niedrigeren Härteniveau pro Flächeneinheit. Im Gegensatz zu aufgekohltem Stahl, der seine Widerstandsfähigkeit verliert, wenn die aufgekohlte Schicht abgetragen ist, verbessert sich die Verschleißbeständigkeit von ADI-Gusseisen im Einsatz. ADI ist dem Stahl in jeder Härtequalität überlegen und damit ideal für Bauteile an Erdbewegungsmaschinen und in anderen Anwendungsbereichen, wo hohe Verschleißbeanspruchungen auftreten.

Tabelle 1: Die gebräuchlichen ADI-Sorten im Überblick nach EN 1564

Qualität	Zugfestigkeit [MPa]	Streckgrenze [MPa]	Dehnung [%]	Härte [Einheiten]
EN-GJS-800-8	> 800	> 500	8	260/320
EN-GJS-1000-5	> 1000	> 700	5	300/360
EN-GJS-1200-2	> 1200	> 850	2	340/440
EN-GJS-1400-1	> 1400	> 1100	1	380/480

Tabelle 2: Vergleich der Eigenschaften der untersuchten Kurbelwellen aus Stahl, Gusseisen mit Kugelgraphit, ADI und ADI Grade 1-Standard nach ASTM 897-90

Eigenschaften	Stahl	GJS	ADI	ASTM-ADI Grade 1
Streckgrenze [MPa]	738	538	827	550
Zugfestigkeit [MPa]	910	903	1083	850
Biegewechselfestigkeit [MPa]	400	324	427	-
Kerbschlagarbeit [J] *)	325	75	141	100
Dehnung [%]	23,2	10,8	13,7	10,0
HB-Härte [Einheiten]	226 - 266	262 - 277	300	269 - 321

*) ermittelt an einer ungekerbten Probe bei Raumtemperatur

3 Anwendungsbeispiele aus der Automobilindustrie

Auch im größten Gussabnehmerbereich, dem Automobilbau, ergeben sich auf Grund dieser ausgezeichneten Eigenschaften vielseitige Einsatzmöglichkeiten für das ADI-Gusseisen. Auf einige schon realisierte ADI-Gussteile aus dem Bereich Automobilbauguss wird nachfolgend eingegangen.

3.1 TVR -Kurbelwelle

Der "Tuscan Speed Six" (Bild 3), gebaut von der Firma TVR Engineering Ltd. in Blackpool (UK), wurde im Jahr 1999 als Auto mit einer rechten Steuerung zum Verkauf in UK und Japan vorgestellt. Er hat ein eindrucksvolles Aussehen und seine hervorragende Motorleistung ermöglicht es dem "Tuscan Speed Six" in etwa 4,2 Sekunden von 0 auf 100 km/h zu beschleunigen und eine Höchstgeschwindigkeit von 289,6 km/h zu erreichen. Um diese Leistung zu erreichen, kombinierten die Konstrukteure aerodynamischen Stil und kraftvolle Motorleistung mit einer Massereduzierung. TVR verwendete für die Karosserie verschiedene Materialien. Es gelang damit, Hohlräume in der Karosserie vorzusehen, was bei einer üblichen Stahlblechkonstruktion nicht möglich gewesen wäre. Die Kurbelwelle aus ADI-Gusseisen war eine weitere wesentliche Neuerung, wenn sie auch optisch nicht so sichtbar ist wie die Veränderungen an der Karosserie. Durch Ausnutzung der ausgezeichneten Eigenschaften des Werkstoffes ADI hat dieses Bauteil einen unbestrittenen Anteil an der Massereduzierung.

Für die 6-Zylinder-Variante kam zuerst geschmiedeter Stahl als Material für die Kurbelwelle zur Anwendung. Wegen der hohen Fertigungskosten der Stahlausführung wurde nach Alternativen gesucht und der Werkstoff Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS-800-2) als Kurbelwellen-Prototyp erprobt. Mit diesem Werkstoff erfolgten Versuche mit einem Tischdynamometer und in realen Fahrzeugen. Die Teile brachen jedoch in einigen Fällen infolge auftretender Ermüdungsrisse im Bereich der Hohlkehlradien am Schwungradende.

ADI-Gusseisen wurde als nächster Werkstoff ausgewählt (Bild 4). TVR nutzt dieses Material schon in seinen V8-Motoren. Trotzdem traten am Anfang Bedenken wegen möglicher Formveränderungen während des Herstellungsprozesses der Kurbelwellen auf. Um Formveränderungen während der Bearbeitung zu minimieren, wurde die Kurbelwelle grob bearbeitet, anschließend wärmebehandelt und dann fein bearbeitet. Die anfänglichen Bedenken bezüglich Formveränderungen durch die Bearbeitung konnten damit ausgeräumt werden. Die Fertigbearbeitung erhöhte sogar zusätzlich die Festigkeit der Kurbelwelle.

Die Kurbelwelle aus ADI-Gusseisen war damit besser für die hohen leistungsbedingten Beanspruchungen der Kurbelwelle geeignet als die Ausführung aus Gusseisen mit Kugelgraphit und zeigte keine Anzeichen von Ermüdungsrisse während der Versuchstests mit dem Tischdynamometer. Die Dämpfungseigenschaften von ADI verliehen dem Automobil zudem eine wesentlich bessere Geräuschreduzierung im Gegensatz zu den Motoren mit Kurbelwellen aus Stahl oder Gusseisen mit Kugelgraphit. Die Ergebnisse der mechanischen Prüfungen dieser drei Materialien sind in der Tabelle 2 aufgeführt.

3.2 Ausgleichsarm für NKW

"Trucking" im Australischen Busch stellt eine extreme Belastung für Fahrzeug und Fahrer dar. Das Gelände ist unerschlossen und kaum bewohnt. Die Entfernungen zwischen Servicestationen sind deshalb manchmal außergewöhnlich lang. Deshalb haben bei einem 3 500 km langen Trip von Sydney nach Perth folgende zwei Punkte oberste Priorität:

1. Die Reise sicher zu beenden
2. Den vorhandenen Platz auf dem NKW effektiv zu nutzen.

Ein vollbeladener NKW hatte ein Gewicht von 22,5 Tonnen. Das stellte hohe Anforderungen an das Gussteil Ausgleichsarm, der die zusätzliche Masse durch die Ladung auszugleichen hat. Anfangs war der Ausgleichsarm eine Konstruktion aus kohlenstoffarmem Stahl. Das erste eingesetzte Bauteil bestand aus einem 50 mm dicken gefügten V-förmigen Stahlblechteil. Dieses Bauteil wurde auf der Straße von Sydney nach Perth und zurück getestet, wo der Lastkraftwagentyp später eingesetzt werden sollte. Bereits beim ersten Versuch verformte sich dieses Bauteil während des Beladens so stark, dass sich die Räder sichtbar abspreizten.

Der Test wurde trotzdem wie geplant durchgeführt, aber die geschweißten Teile versagten nach ungefähr 1 200 km. Eines der Aufhängelager begann an den Schweißpunkten zu reißen. Dadurch bestand die Gefahr, dass sich die Lager so sehr verbiegen würden, dass der negative Radsturz eine ungleichmäßige Abnutzung der Reifen hervorrufen könnte. Es wurde daher ein Austausch der Teile vorgenommen und ein zweiter Satz geschweißter Ausgleichsarme eingebaut. Aber auch diese Teile



Bild 5: Ausgleichsarm für NKW aus ADI-Gusseisen, Werkstoff ADI Grade 2

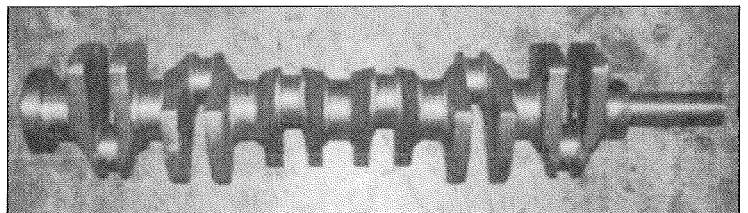


Bild 4: Kurbelwelle aus ADI-Gusseisen für den "Tuscan Speed Six", Gewicht 29,5 kg

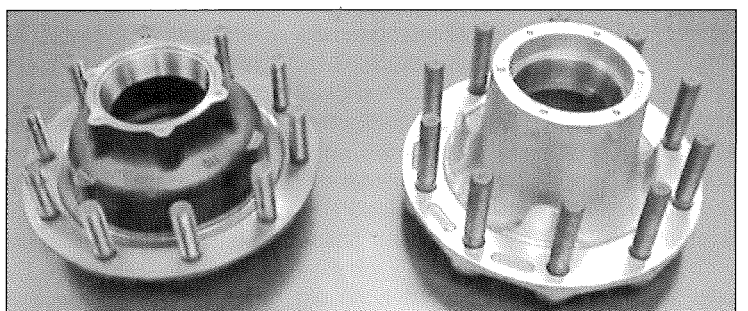


Bild 6: Duralite®-NKW-Nabe (Bild: Walther EMC, Detroit)

versagten nach ungefähr 4 000 km. Der mehrteilige Ausgleichsarm wurde daraufhin in ein einziges Gussstück aus Gusseisen mit Kugelgraphit umkonstruiert. Versuchsätze wurden gegossen und durch eine Zwischenstufen-Wärmebehandlung ein ADI-Werkstoff Grade 2 eingestellt (**Bild 5**). Diese Teile wurden ebenfalls auf der Strecke von Perth nach Sydney getestet. Zur Zeit haben die ADI-Bauteile ohne Probleme 322 000 km überstanden. Neben einer möglichen Ladeflächenvergrößerung von 20 m³ erhöhte sich die Lebensdauer der Reifen auf über 80 000 km Laufzeit.

3.3 DURALITE®-NKW-Nabe

Die Firma Walther EMC in Detroit (USA) hat eine ADI-NKW-Nabe (**Bild 6**) konstruiert, welche 2 % leichter als eine Nabe aus Aluminium und zudem über 30 % preisgünstiger ist. Dies ist ein Beispiel dafür, welche Leichtbaupotenziale im ADI-Gusseisen stecken, die selbst gegenüber dem leichteren Aluminium wegen des besseren Verhältnisses von Festigkeit zum Gewicht zu Gunsten von ADI-Gusseisen ausfallen können.

3.4 Gelenkarm für „FORD MUSTANG“

General Motors (GM) in Detroit (USA) setzt bereits seit 1995 ADI-Gelenkarme in Cadillac-Limousinen ein. Kürzlich hat Ford der Bentler-Corporation den Auftrag erteilt, ein leichtes, kosteneffektives, unabhängiges Aufhängesystem für sein hochleistungsfähiges Sportauto „Mustang Cobra“ zu produzieren. ADI-Gusseisen wurde für die oberen Gelenkarme (**Bild 7**) wegen seiner Kombination von niedrigem Gewicht von etwa 3 kg, der guten Geräuschdämpfung und niedrigen Herstellungskosten ausgewählt.

Die Gussteile wurden mit Hilfe der FEM (Finite-Elemente-Methode) berechnet, um

die Vorteile von ADI an Festigkeit und Steifigkeit voll auszunutzen zu können. Zuerst war eine Aluminiumkonstruktion in Erwägung gezogen worden, aber es war unmöglich, das viel größer und dicker dimensionierte Teil in den vorhandenen Bauraum einzubauen. Durch den Werkstoff ADI war der Hersteller in der Lage, mit dem vorhandenen Bauraum auszukommen, Gewicht einzusparen, Sicherheitsanforderungen zu erfüllen und die Kosten zu senken. Diese Gussanwendung wurde auf dem AFS-Casting-Congress 2003 bei der jährlichen Prämierung der besten Gussteile ausgezeichnet. Fünf der höchsten Preise wurden an ADI-Komponenten vergeben, einschließlich dem „Best-in-Class-Preis“ für den neuen Mustang-Gelenkarm.

Ein anderer „Best-in-Class-Preis“ wurde für ein Schwungrad verliehen, welches Teil eines Bau- und Erdbewegungsgerätes ist. Das Schwungrad war zuerst eine Montagekonstruktion aus 84 Stahlstücken. Die Umkonstruktion in ein einteiliges ADI-Gussstück führte zu einer Gewichtsreduzierung um 15 % und einer Kostensenkung um 55 %. Dreißig Minuten Montagezeit wurden außerdem eingespart. Das Bauteil verfügt zudem über eine überlegene Verschleißbeständigkeit beziehungsweise Dauerfestigkeit und sieht auch optisch besser aus als die Montagekonstruktion.

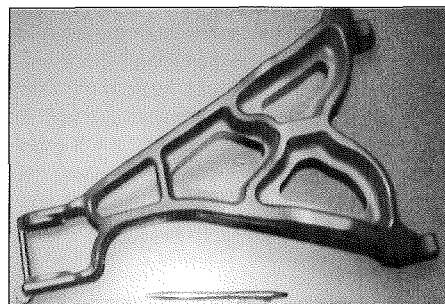


Bild 7: Gelenkarm für „Ford Mustang“ (Bild: Bentler-Corporation)

4 Ausblick

ADI wird immer mehr in der Automobilindustrie verwendet, da Kosten und Leistungsvorteile erkannt und beachtet werden. Unter Berücksichtigung der vorangegangenen Wachstumsraten kann erwartet werden, dass die jährliche Weltproduktion von ADI im Jahr 2010 etwa 300 000 Tonnen erreicht hat. Davon werden zwei Drittel in Nordamerika hergestellt werden.

Eine neue Entwicklung ist eine carbidische ADI-Sorte, welche in der Fachwelt ein großes Interesse findet, da dieser Werkstoff auf dem Gebiet der verschleißbeständigen Werkstoffe neue Anwendungsgebiete erschließen kann.

ADI Treatments Ltd. entwickelt vor diesem Hintergrund unter Mitbeteiligung der Gießereien und deren Kunden, die Märkte und die Technologien für den Werkstoff ADI weiter. Einige der dargestellten Konstruktionen und Entwicklungen waren das Resultat einer solchen Zusammenarbeit. Sehr oft kamen die Ideen für die Entwicklungen aber auch von den Kunden und ADI Treatment wurde zur Prüfung der technischen Machbarkeit hinzugezogen. Es werden für die europäischen Hersteller, welche oft Verbindungen zu den Gießereien in den USA haben, zukünftig aber auch steigende ADI-Anwendungen prognostiziert. Daher werden entsprechende Wärmebehandlungskapazitäten ausgebaut, um die zu erwartende große Nachfrage zu bewältigen.

Die Zukunft des Werkstoffs ADI ist davon abhängig, ob es gelingt, die Möglichkeiten dieses Materials voll auszunutzen und seine Anwendungsmöglichkeiten einem großen Anwenderkreis bekannt zu machen.

Der Materialermüdung auf der Spur

Die Stuttgarter Forscher vom Max-Planck-Institut für Materialforschung haben in umfangreichen Computersimulationen die Dynamik der Rissbildung in spröden Materialien bei Überschallgeschwindigkeit erforscht. Mit Hilfe eines Supercomputers konnten die Wissenschaftler ableiten, unter welchen Bedingungen die Dynamik der Rissausbreitung durch Hyperelastizität bestimmt wird. Die Erkenntnisse sollen zum besseren Verständnis von Erdbeben oder den Mechanismen der Entstehung und Fortpflanzung von Rissen in Flugzeugen oder Raumfahrzeugen dienen. Dabei

wurde ein bisher fehlender Aspekt der Theorie zur dynamischen Rissausbreitung entdeckt: Die Elastizität von Festkörpern hängt von der Intensität ihrer Verformung ab. So werden Metalle weich, Polymere hart, wenn sie sich durch zunehmende Dehnung dem Zustand des Versagens nähern. Der heute meist anzutreffende Ansatz einer linearen Elastizität ist damit widerlegt. Die Materialien reagieren unterschiedlich bei kleinen oder großen Dehnungen. Zudem konnte bei Hyperelastizität eine neue Längenskala entdeckt werden, die jenen Bereich um den Riss umschreibt, aus dem

Energie transportiert werden muss, damit der Riss seine Ausbreitung fortsetzen kann.

Bei extrem hohen Spannungen ist diese nur einige Dutzend Nanometer groß. Diese charakteristische Längenskala ist proportional zur Rissoberflächenenergie und den elastischen Eigenschaften und umgekehrt proportional zum Quadrat der angelegten elastischen Spannung. Im Gegensatz zum bisherigen Verständnis ist kein Energietransport von weiter entfernten Regionen zum Riss notwendig, sondern nur von einem kleinen, lokal begrenzten Bereich, der durch die charakteristische Längenskala beschrieben ist.

Konstruktionshinweise

Dr. Arron Rimmer, West Bromwich (UK)

CADI - ein neuer Eisengusswerkstoff

Der Werkstoff ADI (Austempered Ductil Iron) sowie dessen Wärmebehandlung ist inzwischen allgemein bekannt. Nicht so bekannt hingegen ist der Werkstoff CADI (Carbide Austempered Ductil Iron). Dieser Werkstoff wurde entwickelt, um die Verschleißbeständigkeit von ADI zu verbessern.

1 Der Werkstoff CADI

Der Grundwerkstoff für das ADI-Gusseisen ist ein Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS). Durch eine Behandlung mit Magnesium wird die Ausbildung des Graphits in Kugelform (Kugelgraphit) sichergestellt. Dieser Werkstoff kann durch die Verwendung von Carbid stabilisierenden Elementen wie Chrom, Molybdän, oder Titan in einer besonderen Impfbehandlung oder einer kontrollierten Abkühlung bei der Erstarrung auch mit einem carbidischen Gefüge erzeugt werden.

Wenn Gusseisen mit Kugelgraphit durch eine Wärmebehandlung in ADI-Gusseisen umgewandelt werden soll, ist eine sorgfältige Kontrolle aller Verfahrensparameter notwendig, damit die optimalen Werkstoffeigenschaften erreicht werden können. Dies erfordert spezielle Wärmebehandlungsöfen und eine lange Erfahrung bei der Wärmebehandlung von ADI. Die Firma ADI Treatment Ltd., West

Dr. A. Rimmer, ADI Treatment Ltd., West Bromwich (UK), eine Tochtergesellschaft der Hulvershorn Eisengießerei GmbH & Co KG, Bocholt (D); www.hubo.de;
Nachdruck aus Foundry Trade Journal H. 3/ 2006;

Deutsche Bearbeitung: Ullrich Becker, Leiter AGQ-Center, Haunsheim; www.agq.de

Bromwich (UK), eine Tochtergesellschaft der Hulvershorn Eisengießerei GmbH in Bocholt (D), hat sich auf die Wärmebehandlung von ADI spezialisiert und verfügt hierfür über das spezielle technische Know How.

Dieses war der Grund dafür, dass die Firma SIMBA aus Lincolnshire (UK), einer der führenden Hersteller von Ernte- und Bohrmaschinen, die ADI Treatment Ltd. mit der Untersuchung beauftragte, zu prüfen, inwieweit der Werkstoff CADI für Bauteile ihrer neu entwickelten Pflüge (Handelsname „Solo Subsoiler“) geeignet ist.

2 Wärmebehandlung

Das Wärmebehandlungsofen-System, das zur Einstellung des CADI-Gefüges zur Anwendung kam, ist im **Bild 1** dargestellt. Es besteht aus einem Chargenofen für die Austenitisierung (A) mit integriertem Dachventilator zur gleichmäßigen Wärmeverteilung und Heizrohren zur schnellen und gleichmäßigen Aufheizung. Des Weiteren gehört zum Ofensystem eine integrierte Reinigungskammer (B) und ein geschlossener Vorraum (C). Durch diese Bauweise wird sichergestellt, dass die wärmebehandelten Bauteile für den Weg von der Wärmebehandlungskammer zum Salzbad (D)

nur kurze Zeit benötigen, damit ein geringer Temperaturverlust und keine Oxidation auftreten können.

Das verwendete Salz ist eine Mischung von Nitrat/Nitrit, welches bei Temperaturen zwischen 230 und 400 °C gehalten wird. Die Haltezeit hängt von den Anforderungen an das Bauteil und dessen Konstruktion ab. Um die Homogenität des Prozesses und die gewünschten Materialeigenschaften zu sichern, zirkuliert das Salzbad zwangsläufig durch die Behandlungscharge. Wenn das Salzbad mit Wasser verdünnt wird, erhöht sich die Abkühlungsgeschwindigkeit, was die Behandlung von größeren Querschnitten erlaubt, ohne dass Legierungsmittel wie Kupfer oder Molybdän eingesetzt werden müssen. Das Salzbad wird aufbereitet und wieder verwendet, so dass die Umwelt nicht belastet wird. Das Wärmebehandlungssystem und der Wärmebehandlungsablauf werden durch ein elektronisches System gesteuert und überwacht.

Im **Bild 2** ist ein typisches zweistufiges Wärmebehandlungsverfahren gezeigt, welches bei der ADI Treatment für den Werkstoff CADI zur Anwendung kommt. Der Austenitisierung folgt ein kontrolliertes Abkühlen im Salzbad und ein dem Bauteil entsprechendes Austempern von

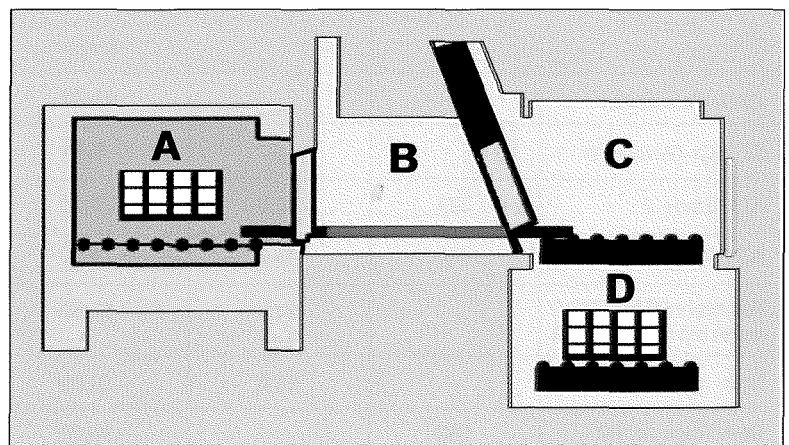
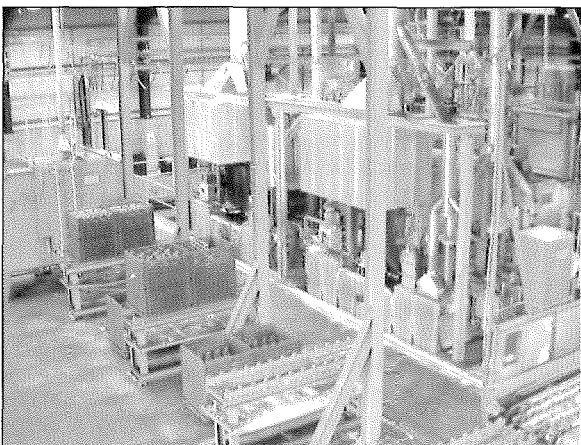


Bild 1: Der Wärmebehandlungsofen zur Herstellung von ADI- und CADI-Gusseisen (links). Die Anlage ermöglicht die Wärmebehandlung von Bauteilen bis zu 1,8 m Durchmesser; **Schematische Darstellung des Wärmebehandlungsofen-Systems (rechts).**

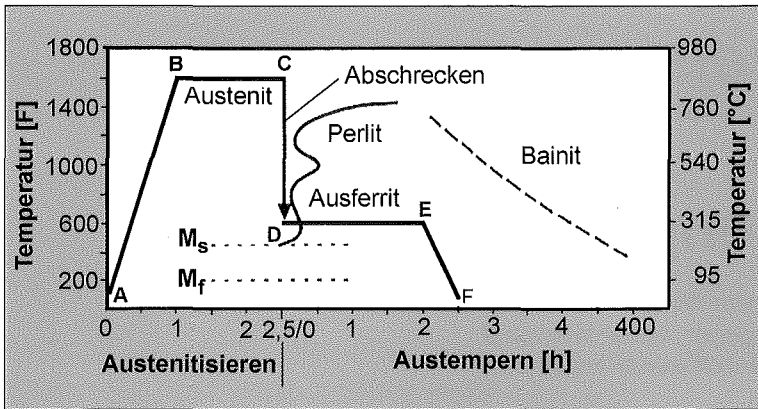


Bild 2: Schematische Darstellung der CADI-Wärmebehandlungskurve

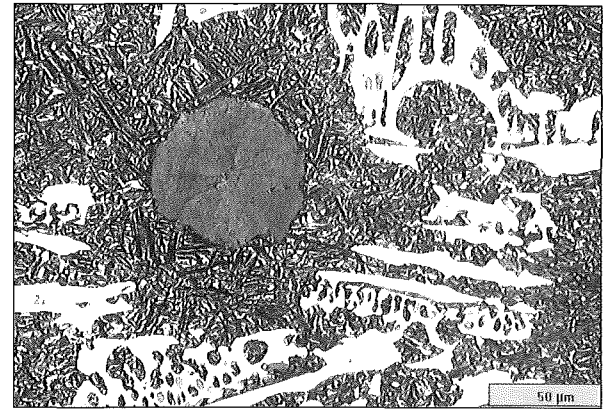


Bild 3: Ein typisches CADI-Gefüge mit Carbiden und Kugelgraphit, verteilt in einer austenitisch-ferritischen Matrix, ausgetempert bei 370 °C.

ein bis zwei Stunden. Das oft verwendete Abkühlungsmittel Öl oder Wasser kommt nicht zur Anwendung, so dass die Behandlungsladung die Martensit-Temperatur M_s nicht erreicht und sich kein spröder Martensit bilden kann.

Bei dem von ADI Treatment verwendeten Verfahren wird das Gefüge in eine austenitisch-ferritische Matrix mit Carbideinlagerungen umgewandelt (Bild 3). Diese Gefügeausbildung wird als CADI bezeichnet. Sie ermöglicht die Kombination einer ausgezeichneten Verschleißbeständigkeit verbunden mit einer vergleichsweise guten Zähigkeit.

Der flexible Ablauf dieser Wärmebehandlung und die guten Kontrollmöglichkeiten erlauben es, den Wärmebehandlungsprozess dem jeweiligen Bauteil anzupassen und die vom Kunden gewünschten Eigenschaften einzustellen. Außerdem werden ein Verzundern und ein Spannungsaufbau vermieden sowie eine hohe Maßgenauigkeit erreicht. So sind CADI-Bauteile oft ohne eine zusätzliche Bearbeitung verwendbar.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den eigenen [2] und weiteren Verschleißtests [3, 4]

Material	Brinellhärte	Rockwellhärte	Gewichtsverlust [mg]	Quelle
CADI-Gusseisen			43,70	[2]
22 %Cr-Gusseisen			9,45	[2]
ADI Grade 2	321	32,0	76,70	[4]
ADI Grade 4	415	43,2	70,30	[4]
Abgeschrecktes Gusseisen mit Kugelgraphit		59,0	52,80	[4]
Stahl mit 0,8 % C		63,0	59,00	[4]
Stahl nach ASTM A514-T1 A	269		139,00	[3]
NiHard 1			35,00 – 45,00	[3]

Tabelle 1: Relative Verschleißbeständigkeit gegenüber Erde (nach SIMBA; www.simba.co.uk)

NiHard	ADI	ABRO 50	CADI	22 % Cr Gusseisen
1,00	0,76	0,40	1,15	2,00

3 Werkstoffuntersuchungen

Die nachfolgend beschriebene Bauteilentwicklung ist eine Zusammenarbeit von ADI Treatment Ltd. West Bromwich (UK), der Hulvershorn Eisengießerei, Bocholt (D), als auf die Fertigung von ADI-Guss spezialisierte Gießerei, und der APPLIED PROZESS INC. Livonia (Michigan-USA). Die Firma APPLIED PROZESS Ltd. ist Lizenzgeber der ADI Treatment Ltd., entwickelt Wärmebehandlungsprogramme für ADI-Gusseisen und verfügt über eine zwanzigjährige Erfahrung bei der Herstellung von ADI.

Zuerst wurden Teile in ADI, CADI und drei anderen verschleißbeständigen Materialien für vergleichende Verschleißversuche

hergestellt. Die Resultate dieser Versuche, welche bei der Firma SIMBA durchgeführt wurden, sind in der Tabelle 1 aufgeführt. „ABRO 500“ ist eine Stahlsorte mit einer Härte von mindestens 500 HB. Die Verschleißbeständigkeit der NiHard-Sorte wurde bei den Versuchen als Referenzgröße mit 1,0 genommen.

Feldversuche mit CADI und 22%-Cr-Gusseisen erbrachten über die Versuchsdauer gesehen, dass das Cr-legierte Gusseisen eine bessere Verschleißbeständigkeit besitzt. Dieser Werkstoff wurde deshalb für das zu fertigende Bauteil „Spitzenschuh“ ausgewählt. In einem zweiten Schritt sollte die Auswahl des geeigneten Materials für den Spitzenbeinschutz (Bild 4) erfolgen. Auf Grund der Versuche mit dem Spitzenschuh wählten die Ingenieure für dieses Bauteil den Werkstoff CADI aus. Das Bauteil, welches auch das Firmen-Logo trägt, ist preisgünstiger im Vergleich zu anderen Werkstoffen und zudem einfacher herzustellen. Das Verschleißverhalten ist vergleichbar mit dem des Spitzenschuhs, was einen Wechsel in gleichen Intervallen ermöglicht. Die Bruchzähigkeit war sehr zufriedenstellend. Die Firma SIMBA verwendet den Spitzenbeinschutz aus CADI jetzt schon seit mehreren Jahren erfolgreich. Vermutlich handelt es sich um die erste Anwendung von CADI im europäischen Raum.

In den USA setzt die Firma John Deere den Werkstoff CADI für Bauteile von Mähmaschinen und Pflugzähne für tiefe Ackerfurchen ein. Hersteller in Europa untersuchen momentan ähnliche Anwendungen und prüfen die Verwendung von Werkstoffen mit Eisencarbiden, die dem flüssigen Eisen während des Gießens zugesetzt werden.

Tabelle 3: Typische ungekerbte Charpyproben-Schlagwerte bei 22 °C (nach [5])

Werkstoff	Schlagzähigkeit [J]
CADI-Gusseisen	13
Aufgekohlter Stahl 8620	17
Perlitischer Temperguss	17
Gusseisen mit Kugelgraphit 70-03/ASTM	49
ADI Grade 5	52
Gusseisen mit Kugelgraphit 55-06/ASTM	58
ADI Grade 3	91
ADI Grade 1	117
Gusseisen mit Kugelgraphit 45-17/ASTM	123

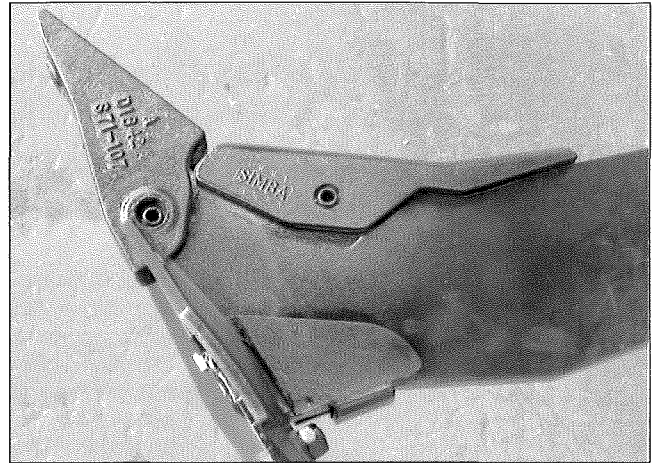


Bild 4: Komplett montiertes Bauteil „Solo Subsoilers“ von SIMBA. Der „Spitzenbeinschutz“ aus dem Werkstoff CADI, welches auch das Firmenlogo enthält, ist direkt hinter dem Spitzenschuh aus Cr-legierten Gusseisen montiert.

4 CADI im Vergleich

Aufgrund der positiven Ergebnisse der SIMBA-Studie veranlasste ADI Treatments eine weitere Untersuchung, um die Verschleißigenschaften von CADI und von wärmebehandeltem weißem Gusseisen zu vergleichen. Die Ergebnisse dieser Arbeit, die zusammen mit der Universität von Birmingham durchgeführt wurden, sind in der **Tabelle 2** zusammengefasst. Für einen umfassenden Vergleich sind früher ermittelte Resultate von ADI-Materialien und verschleißfesten Stahl- und Gusseisensorten mit angeführt [2 bis 4].

Die **Tabelle 2** verdeutlicht, dass CADI eine höhere Verschleißbeständigkeit als ADI-Gusseisen, martensitischer Kugelgraphitguss und einige verschleißbeständige Stähle besitzt. Allerdings zeigt sich auch, dass CADI, obwohl dem „NiHard 1“ ähnlich, eine geringere Verschleißbeständigkeit als Gusseisen mit hohem Chromgehalt hat. Wobei aber bei beiden Werkstoffen die Verschleißbeständigkeit in Zusammenhang mit der Bruchzähigkeit gesehen werden muss. Die Verschleißbeständigkeit von CADI steigt mit zunehmendem Carbidgehalt im Gefüge. Dies wird von einem entsprechenden Rückgang bei der Bruchzähigkeit begleitet.

Versuche mit ungekerbten Charpy-Schlagproben einer typischen CADI-Sorte mit 30 bis 45 % Carbidgehalt und einer Reihe von konventionellen verschleißbeständigen Sorten sind in der **Tabelle 3** zusammengestellt. Die Bruchzähigkeit des CADI von 13 Joule übertrifft diejenige von weißem Gusseisen, welche unter 3 Joules liegt [4].

5 Das Marktpotential von CADI

Die Eigenschaften von CADI bieten ein großes Anwendungspotential. Im Automobilbau eignet sich dieser Werkstoff für Nockenwellen und Ventilstößel. Im Landmaschinenbau werden Einsatzfälle bei Reißern, Zähnen, Pflugscharren, Gleitringen, Pflückern und anderen Teilen für Erntemaschinen gesehen. In der Bauindustrie und dem Bergwerksbereich sind Baggerzähne, Reißzähne für den Straßenbau, Mühlenhämmer, Abdeckungen, Rinnen, Platten, Gehäuse, Transportröhren, Gelenkrohre, Walzen und Mahlkörper typische Anwendungsgebiete. Aber auch für Pumpenteile, Verschleißplatten, Teile für Transportbandanlagen, Gleitschienen, Gleitrollen und Gebläseteile bietet sich der Werkstoff CADI an.

Das Herstellen von CADI-Gussteilen stellt für die Produzenten von Gusseisen mit Kugelgraphit kein Problem dar, da das Basismaterial identisch ist. Aufwändige Investitionen sind daher nicht notwendig. Für die erforderliche Wärmebehandlung bietet sich neben anderen Lohnwärmebehandlern die ADI Treatment an.

6 Zusammenfassung

Carbidisches Austempered Ductile Iron (CADI) ermöglicht durch seine günstige

Kombination von Verschleißbeständigkeit und Zähigkeit eine Kostenersparnis und ist damit vielfach eine wirtschaftliche Alternative zu den etablierten verschleißbeständigen Stahl- und Gusseisenwerkstoffen. Eine optimale Wärmebehandlung ist Voraussetzung, um die Möglichkeiten vom Werkstoff CADI voll ausnutzen und eine gleichmäßige Qualität sicherstellen zu können.

Der Autor möchte der Firma SIMBA International Ltd. und Herrn Dr. Richard Harding, Dozent an der Fakultät für Materialanwendung der Universität Birmingham, für ihre Hilfe und Mitarbeit seinen Dank aussprechen.

Schrifttum

- [1] Eigene Untersuchungen.
- [2] Climax Forschungsberichte.
- [3] Gundlach, R., u. J. Janowak: 2nd International Conference on austempered ductile iron, your means to improved performance, productivity and cost, Ann Arbor, Michigan-USA März 1986, Tagungsband S. 23 - 30.
- [4] Hayrenan, K.: Transactions of the American Foundry Society, V III Paper No. 03-088 P 845-850. 2003.
- [5] Untersuchungsberichte der APPLIED PROCESS Ltd.

Suchen Sie eine Stahl-, Eisen- oder Tempergießerei?

Eigenrecherche im Internet unter www.dgv.de/Bezugsquellenachweis „Wer gießt was?“ oder Bestellung des Bezugsquellenverzeichnis in Buchform oder als PDF-Datei unter e-mail: zgv@dgv.de (Preis: 48,00 EURO zzgl. Mwst. und Versand)

Buchbesprechungen

DIN-Taschenbuch 19: Materialprüfnormen für metallische Werkstoffe 1 Mechanisch-technologische Prüfverfahren (erzeugnisformunabhängig), Prüfmaschinen, Bescheinigungen

Herausgeber: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 688 Seiten mit zahlreichen Bildern und Tabellen, Broschur A5, Beuth Verlag GmbH: Berlin/Wien/Zürich, 2006, 15. Auflage, 131,40 EUR / 234,00 CHF, ISBN 978-3-410-16341-1

Materialermüdung stellt immer eine große Gefahr für Mensch und Unternehmen dar. Zwar muss die materielle Haltbarkeit nicht gleich Ewigkeitswerte erfüllen, ein fest kalkulierbarer, definierter Zeitraum der Materialbeständigkeit gilt jedoch als Pflichtprogramm, um am Markt bestehen zu können. Hier kommt die Normung ins Spiel: Normen - sachgemäß angewandt - geben die notwendige Planungssicherheit. Materialprüfnormen werden mit dem Ziel auf-

gestellt, durch einheitliche Prüfbedingungen direkt vergleichbare Ergebnisse zu ermöglichen. Das normative Know-how für metallische Werkstoffe liefert in seiner mittlerweile 15. Auflage das DIN-Taschenbuch 19. Die in diesem Fachkompendium enthaltenen 44 nationalen wie internationalen Prüfnormen sorgen für eine praktikable Vergleichbarkeit von Aussagen zur Beschaffenheit verschiedener metallischer Werkstoffe. Die durchgehend auf das Format A5 verkleinerten Originaltexte der Dokumente setzen sich im ersten Sachabschnitt mit den Bereichen Härteprüfung und Prüfverfahren mit zügiger, konstanter und schlagartiger Beanspruchung auseinander. Es folgen die Themen: Werkstoffprüfmaschinen (Härteprüfmaschinen; Zug- und Druckprüfma-

schinen; Zeitstandsprüfmaschinen; Pendelschlagwerke), Referenzproben (Härtevergleichsplatten) und Prüfbescheinigungen. Durch die Zunahme der europäischen und internationalen Normen auf dem Gebiet der Prüfverfahren für metallische Werkstoffe sind eine Reihe nationaler Normen durch aktuelle internationale und EU-Normen ersetzt. Andere nationale Normen mussten überarbeitet werden. Auch die 1999 weltweit vereinheitlichten Härteprüfungen nach Vickers, Brinell und Rockwell fanden in ihrer 2004/5 revidierten Fassung Berücksichtigung. Wesentliche Änderungen und Ergänzungen sind zudem in den Anhängen über die Messunsicherheit einschließlich entsprechender Berechnungsbeispiele zu finden.

DIN Taschenbuch 205: Materialprüfnormen für metallische Werkstoffe 3 Mechanisch-technologische Prüfverfahren (erzeugnisformabhängig), Schweißverbindungen, Metallklebungen

Herausgeber: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 1 CD-ROM, Beuth Verlag GmbH: Berlin/Wien/Zürich, 5. Aufl. 2006. Einzelplatzversion: 128,50 EUR / 229,00 CHF Netzwerkversion: 450,00 EUR / 802,00 CHF ISBN 978-3-410-16146-2

Bei der Materialprüfnormung geht es ganz und gar nicht darum, sich an ewig gültige Festlegungen zu binden. Vielmehr muss vor dem Hintergrund eines sich ändernden Wissensstandes und fortschreitender technischer Entwicklungen immer wieder neu gefragt und bewertet werden, auf wel-

che Weise die aktuell verwendeten Materialien zuverlässig auf ihre Eigenschaften und die an sie gestellten Anforderungen hin geprüft werden sollten. Was die erzeugnisformabhängigen, mechanisch-technologischen Prüfverfahren für Schweißverbindungen und Metallklebungen angeht, liegt der gegenwärtig gültige Normenbestand in einer 6. Auflage als DIN-Taschenbuch 205 auf CD-ROM vor. Den inhaltlichen Schwerpunkt bilden die Normen zu den erzeugnisformabhängigen mechanisch-technologischen Prüfver-

fahren für Feinbleche, Drähte, Rohre, Gusswerkstoffe, für Schweiß- und Lötverbindungen, für metallische Überzüge und plattierte Stähle sowie für Metallklebungen und Kernverbünde. Ergänzt wird das elektronische Kompendium durch häufig angewendete Normen zu Werkstoffprüfmaschinen und Prüfbescheinigungen. Die CD-ROM wartet mit über 70 Normen auf, allesamt als Originaltext-Dokumente (PDF) abgebildet, die in der Praxis für einheitliche Prüfbedingungen und mithin vergleichbare Prüfergebnisse sorgen.

Wörterbuch der Kfz-Technik Montage-, Mess- und Prüfanlagen Deutsch-Englisch Englisch-Deutsch

Oswalds Ludwig

248 S., A5, gebunden, 2. Auflage, VDE Verlag GmbH, Berlin/Offenbach 2005, 25,- EUR, 43,80 SFR, ISBN 3-8007-2847-8

Das ausführlich überarbeitete Glossar beschränkt sich im Wesentlichen auf die für das Fachgebiet relevanten Termini. Es enthält in deutscher und englischer Sprache Einzelbegriffe und komplexe Wendungen, die die technischen Sachzusammenhänge und Fakten verdeutlichen und dem Nutzer die Möglichkeit geben, einen Begriff nur für diesen speziellen Bereich zu ermitteln oder zu verwenden.

Das Fachbuch geht auf Erfahrungen zurück, die die Autorin während vieler Jahre als technische Dolmetscherin und Übersetzerin insbesondere auf den Gebieten der Kraftfahrzeugtechnik und -ausrüstung und hier speziell in den Bereichen Montage-, Mess- und Prüfanlagen gesammelt hat. Grundlage des hilfreichen Wörterbuchs waren Gespräche und Verhandlungen sowie zahlreiche, zur Übersetzung gegebene Fachtexte, die terminologisch ausgewertet wurden. Gegenüber üblichen Wörterbüchern wurde besonderer Wert darauf gelegt, nicht nur

Einzelbegriffe, sondern auch komplexe Wendungen anzuführen, die helfen, technische Zusammenhänge und Fakten besser darzustellen.

Das Nachschlagewerk wendet sich an Dolmetscher, Übersetzer, Ingenieure und Techniker, die im Fachbereich tätig sind sowie an Bediener von Prüfeinrichtungen und Montageanlagen, die allerdings schon über sprachliche Grundkenntnisse verfügen, da der Grundwortschatz in diesem speziellen Wörterbuch nicht enthalten ist.