

# 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), einer Tochtergesellschaft der Hulvershorn Eisengießerei GmbH & Co KG, Bocholt (D); [www.hubo.de](http://www.hubo.de);  
Nachdruck aus Foundry Trade Journal H. 3/2006;  
Deutsche Bearbeitung: Ullrich Becker, Leiter AGQ-Center, Haunsheim; [www.agq.de](http://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.

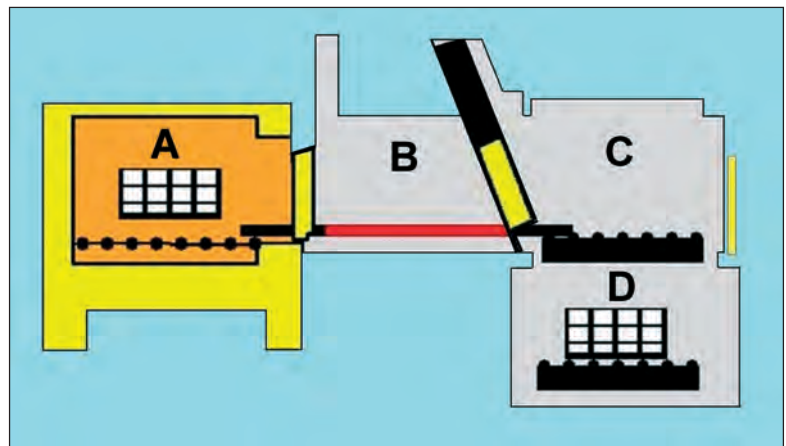
## 2 Wärmebehandlung

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 Haltetemperatur 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).

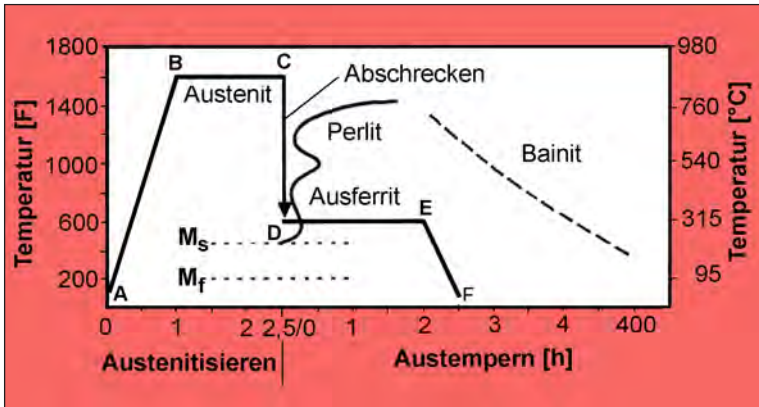


Bild 2: Schematische Darstellung der CADI-Wärmebehandlungskurve

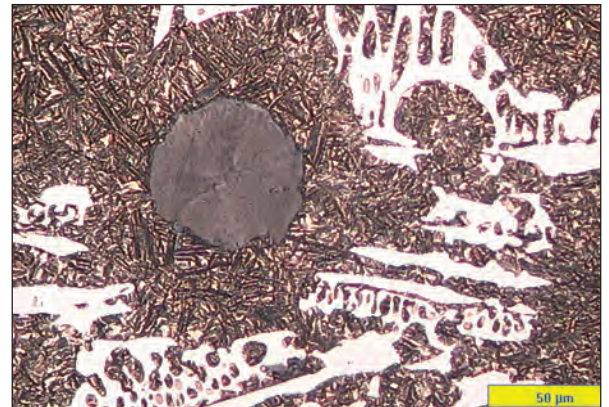


Bild 3: Ein typisches CADI-Gefüge mit Carbiden und Kugelgraphit, verteilt in einer austenitisch-ferritischen Matrix, ausgetempert bei 370 °C.

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 Guss-eisen 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 Ackerfrucht 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

## 4 CADI im Vergleich

Aufgrund der positiven Ergebnisse der SIMBA-Studie veranlasste ADI Treatments eine weitere Untersuchung, um die Verschleißseigenschaften 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].



**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.**

## 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.