

Ressourcenkritische Legierungselemente einsparen

Neue Konzepte für Werkzeugstähle

New alloying concepts for hot work tool steels have been developed using synergistic precipitation hardening effects in order to reduce the content of resource-critical elements. Intermetallic precipitates based on less critical raw materials were used aside from the reduced carbide content to adjust the required material properties. Due to the combination of different strengthening phases, a superior thermal stability of the material could be reached. High resolution atom probe tomography (APT) analyses of the material structure reveal the combined precipitation of nm-sized carbides and intermetallic particles, strengthening the matrix. With the new alloying concept for hot work tool steels, the overall content of carbide forming elements could be reduced by 68 % and the alloying costs, in the form of an alloy surcharge, by 21 %. On the basis of attractive material properties in combination with possible savings, current investigations concentrate on the industrial implementation and the material behavior during service.

Das Institut für Eisenhüttenkunde hat neue Legierungskonzepte für Warmarbeitsstähle entwickelt, die synergistische Aushärtungseffekte nutzen, um den Legierungsgehalt ressourcenkritischer Elemente zu reduzieren. Intermetallische Phasen auf Basis leichter verfügbarer Rohstoffe dienen neben Karbiden dazu, die geforderten Werkstoffeigenschaften einzustellen. Durch die Kombination verschiedener Ausscheidungsstrukturen konnte eine Verbesserung der thermischen Stabilität des Werkstoffes erzielt werden. Eine hochauflösende Analyse der Werkstoffstruktur mittels Atomsondentomographie, kurz APT, zeigt die kombinierte Ausscheidungsbildung von Karbiden und intermetallischen Phasen im Nanometer-Maßstab. Mit dem neuen Legierungskonzept für Warmarbeitsstähle konnte der Anteil karbidbildender Elemente um bis zu 68 Prozent und die Werkstoffkosten, abgebildet durch den Legierungszuschlag, um 21 Prozent reduziert werden. Aufgrund der attraktiven Kombination aus Werkstoffeigenschaften und Einsparpotenzial wird derzeit die industrielle Umsetzung des Werkstoffkonzeptes angestrebt, ihr soll sich dann eine Werkzeugerprobung unter Betriebsbedingungen anschließen.

Qualitativ hochwertige Werkzeugstähle sind ein Schlüsselfaktor für die industrielle Produktion verschiedenster Güter und gewährleisten eine hohe Produktivität zahlreicher Unternehmen. Das gilt für die Herstellung und Verarbeitung metallischer Bauteile ebenso wie für die Be- und Verarbeitung von Glas und Faserverbundwerkstoffen. Demnach ist deren Verfügbarkeit für Werkzeugstahlhersteller und industrielle Anwender – darunter die Werkzeugbauer, Gesenkschmiedebetriebe, Druckgießer und Strangpresser – von sehr hoher Relevanz.

Insbesondere bei den Verfahren der Warmformgebung sind die Werkzeugwerkstoffe einem komplexen Kollektiv unterschiedlicher mechanischer und thermischer Belastungen ausgesetzt. Das erforderliche Eigenschaftsprofil eingesetzter Werkstoffe lässt sich somit





durch eine hohe Temperatur und Temperaturwechselbeständigkeit, eine gute Warmfestigkeit und Zähigkeit sowie einen hohen Verschleißwiderstand beschreiben. Als Werkzeugwerkstoffe mit einer Einsatztemperatur über 200°C werden vornehmlich Warmarbeitsstähle eingesetzt, die durch die Zugabe der Legierungselemente Chrom, Molybdän, Vanadium und Wolfram ihre spezifischen Eigenschaften erhalten. Diese Elemente verbinden sich bei der Wärmebehandlung mit dem enthaltenen Kohlenstoff zu harten Partikeln, den Karbiden, die in der Werkstoffmatrix ausgeschieden werden und eine hohe Temperaturstabilität sowie ausreichende Verschleißbeständigkeit gewährleisten. Bei sehr hoch beanspruchten Werkzeugen wird zudem das Element Cobalt verwendet, um eine hohe thermische Stabilität des Werk-

stoffes zu gewährleisten. In Bild 5 sind die Legierungselemente aufgeführt. Einem Bericht der Europäischen Kommission aus dem Jahr 2014 zur Folge sind vor allem die Elemente Chrom, Cobalt und Wolfram als kritisch in Bezug auf ihre mittel- bis langfristige Verfügbarkeit zu bewerten. Dabei spielt neben politischen Unsicherheiten in den jeweiligen Förderländern auch die lokale Konzentration der Rohstoffe auf wenige Abbaugelände eine entscheidende Rolle, die eine ausreichende Verfügbarkeit nicht sicher gewährleistet. In einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Verbundvorhaben der Initiative „MatRessource“ wurden neue Legierungskonzepte für Warmarbeitsstähle am Institut für Eisenhüttenkunde gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie

Bild 1: Semi-Product Simulation Center am Institut für Eisenhüttenkunde.
Foto: Peter Winandy



Bild 2-4: Automatisierte Werkstoffverarbeitung am Semi-Product Simulation Center. Gussblöcke werden mittels Roboter und Schmiedepresse zu Vierkantstangen als Vormaterial für die weitere Werkstoffcharakterisierung verarbeitet.
Fotos: Peter Winandy

entwickelt. Die Zielsetzung bestand darin, den Anteil ressourcenkritischer Rohstoffe durch den Einsatz alternativer Aushärtungsphasen zu reduzieren. Der Forschungsansatz beruht darauf, Aushärtungseffekte, die durch das förderliche Zusammenwirken mehrerer Stoffe entstehen, mit einem reduzierten Karbidgehalt und der Ausscheidung intermetallischer Phasen auf Basis leichter verfügbarer Rohstoffe zu nutzen. So kann der Anteil ressourcenkritischer Rohstoffe verringert werden.

So wurden verschiedene Legierungskonzepte erarbeitet, deren Umsetzbarkeit überprüft und das Eigenschaftsprofil bestimmt. Die Legierungen wurden im Institut für Eisenhüttenkunde mittels Vakuum-Induktionsofen erschmolzen, zu 80-Kilogramm-Blöcken

vergossen und am Semi-Product Simulation Center mit einer Schmiedepresse und Öfen für die Wärmebehandlung verarbeitet. Nach erfolgreicher Verarbeitung und Wärmebehandlung des Versuchsmaterials wurden die neuen Werkstoffkonzepte hinsichtlich ihrer mechanisch-thermischen Eigenschaften charakterisiert. Ein Maß für die thermische Stabilität eines Warmarbeitsstahls ist das Anlassverhalten, dargestellt als Verlauf der Werkstoffhärte in Abhängigkeit der Anlass-temperatur. Je höher die verbleibende Härte eines Werkstoffes mit steigender Anlass-temperatur, desto höher seine Temperaturbeständigkeit. Dargestellt ist das Anlassverhalten einer entwickelten Modelllegierung im Vergleich zu einem herkömmlich eingesetzten Warmarbeitsstahl. Es ist ersichtlich, dass

durch die kombinierte Aushärtung von Karbiden und intermetallischen Phasen eine Verbesserung der thermischen Stabilität mit dem neuen Werkstoffkonzept erreicht wird. Der Gehalt karbidbildender Elemente wurde bei der Modelllegierung durch den Zusatz intermetallischer Aushärtungsphasen um 68 Prozent reduziert.

Für eine Aushärtung der Werkstoffmatrix sind sehr feine Ausscheidungen mit einer Größe unter zehn Nanometer besonders effektiv. Die Charakterisierung dieser Phasen erfordert einen hohen messtechnischen Aufwand, der nur mit hochauflösenden Analysemethoden realisiert werden kann. Für eine Charakterisierung vorliegender Ausscheidungen wurde ein atomar auflösendes Untersuchungsverfahren, die Atomsondentomographie, verwendet.



Einsatzstoff					
Element	Cobalt	Chrom	Molybdän	Vanadium	Wolfram
Hauptförderländer ^{1,2}	Kongo 56% China 6% Russland 6% Sambia 6%	Südafrika 43% Kasachstan 20% Indien 13%	China 38% USA 25% Chile 16%	China 36% Südafrika 36% Russland 26%	China 85% Russland 4% Bolivien 2%
Typische Legierungsmassenanteile in Warmarbeitsstählen ³	bis 4,5 %	1 – 12 %	bis 5 %	bis 2 %	bis 9 %

¹ European Commission, The European Critical Raw Materials review, Brussels, 2014 ; ² European Commission, Critical raw materials for the EU: Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, 2010 ; ³ E. Moeller, Handbuch Konstruktionswerkstoffe: Auswahl, Eigenschaften, Anwendung. 2., überarb. Auflage, Hanser, München, 2014.

Bild 5: Legierungselemente für Warmarbeitsstähle.



Bild 6: Umformung eines Gussblocks an der Schmiedepresse.

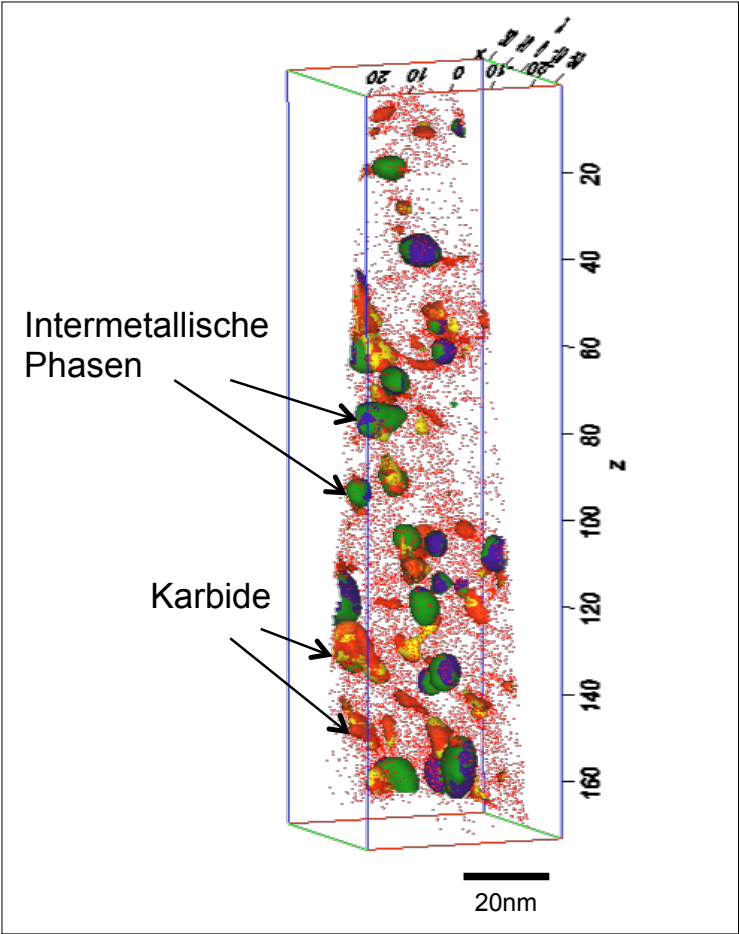


Bild 7: Atomsondentomographie: Rekonstruktion der Werkstoffstruktur in atomarer Auflösung. Darstellung von Karbiden und intermetallischen Phasen.

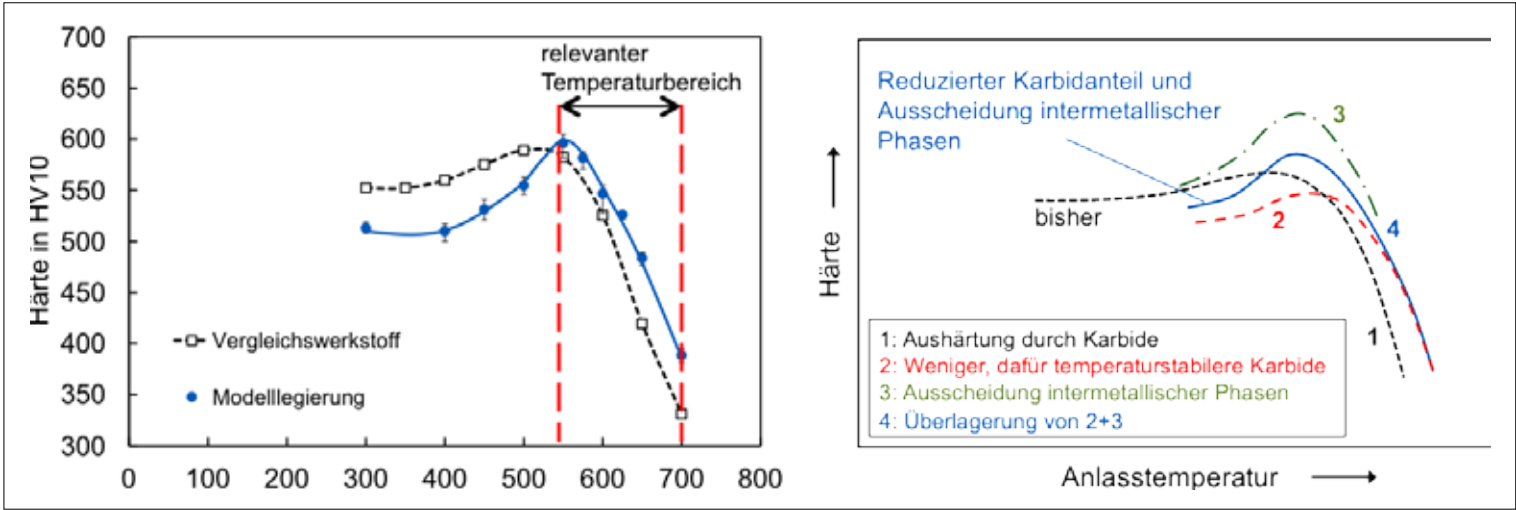


Bild 8: Anlassverhalten: Je höher das Härteniveau mit zunehmender Anlassstemperatur, desto höher die thermische Stabilität des Werkstoffes.

Dieses Verfahren ermöglicht die Analyse nanometergroßer Probenvolumina hinsichtlich ihrer Elementverteilung auf atomarer Ebene. Bild 7 zeigt die Rekonstruktion eines etwa 40 mal 40 mal 160 Kubiknanometer großen Probenvolumens. Zu erkennen sind verschiedene Ausscheidungsstrukturen in der Werkstoffmatrix, die aus feinen Karbiden (rot-gelb) und intermetallischen Ausscheidungen (blau-grün) bestehen. Neben attraktiven Werkstoffeigenschaften konnten mit dem entwickelten Werkstoffkon-

zept bis zu 68 Prozent der karbidbildenden Legierungselemente eingespart und die Kosten für die Legierungszuschläge um bis zu 21 Prozent reduziert werden. Aufgrund der aussichtsreichen Ergebnisse erfolgt derzeit die industrielle Umsetzung des Werkstoffkonzeptes. Die Ergebnisse wurden in Zusammenarbeit mit der Deutsche Edelstahlwerke GmbH und dem Institut für Umformtechnik GmbH (IFU), einem kooperierenden Institut der Fachhochschule Südwestfalen, im Rahmen eines vom Bundesministerium für

Bildung und Forschung geförderten Verbundvorhabens erarbeitet.

Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Bleck ist Inhaber des Lehrstuhls für Eisenhüttenkunde und Leiter des Instituts für Eisenhüttenkunde. Dipl.-Ing. Alexander Zimmermann ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Eisenhüttenkunde.