

Bauteilverhalten warmumgeformter Komponenten unter Berücksichtigung von Eigenspannungen

Bei der Wärmebehandlung von warmumgeformten Stabstahl oder Bauteilen sollte eine optimierte Anlagentechnik auch die werkstoffkundlichen Aspekte berücksichtigen. Die BGH Edelstahl GmbH in Siegen hat seit 2005 die Wärmebehandlung und die entsprechenden Möglichkeiten der Abkühlung von niedrig- und hochlegierten Stählen schrittweise optimiert, um Herstellungszeit und CO₂-Ausstoß zu minimieren – bei gleichbleibenden bis verbesserten mechanischen Eigenschaften.



AUTORIN

**Dr.-Ing. Vera Wirths**

ist Gruppenleiterin Werkstoffanwendung und -entwicklung der Abteilung Qualitätsplanung und Laborleiterin Metallographie und mechanisch-technologisches Labor der Abteilung Werkstofftechnik bei der BGH Edelstahl Siegen GmbH

Die Wärmebehandlung und speziell die Abkühlung von warmumgeformten Komponenten bringen metallkundliche Herausforderungen mit sich, die beachtet werden müssen, um gute Eigenschaftskombinationen zu gewährleisten. So kann es beispielsweise bei niedriglegierten Stählen zu einem unkontrollierten Kornwachstum aufgrund von partieller Auflösung von Karbiden und Nitriden kommen, darüber hinaus zur Ausbildung von großen Ausscheidungen (Karbiden und Nitriden) [1]. Ein grobes Korn bewirkt einen gleichzeitigen Abfall von Festigkeit und Zähigkeit. Große Ausscheidungen, zum Beispiel in Form von Netzwerken auf den Korngrenzen, wirken sich negativ auf die Zähigkeit aus. Die Festigkeitssteigerung durch Ausscheidungen verliert ebenfalls die Wirkung, wenn die Ausscheidungen zu groß werden und so weniger Barrieren für die Versetzungsbewegung darstellen [2]. Bei hochlegierten Stählen kann die Bildung von Delta-Ferrit oder intermetallischen Phasen die mechanischen Eigenschaften negativ verändern und so zu früherem Versagen der Bauteile führen [3].

Die Temperaturführung beim Anlassprozess, beispielsweise bei Vergütungsstählen, kann sich in einem speziellen Temperaturbereich ebenfalls negativ auf die mechanischen Eigenschaften auswirken. Das bedeutet, dass ein zu langes Verweilen im Temperaturbereich zwischen 300 und 500 °C neben dem Abfall der Streckgrenzen und der Zugfestigkeit eine Versprödung begünstigt. Der Grund: Die Elemente Phosphor, Arsen und Antimon, die aus den wachsenden Karbiden zurückgewiesen werden, diffundieren an die ehemaligen Austenitkorngrenzen und schwächen deren Adhäsion (300 °C-Versprödung). Die sogenannte 500 °C-Versprödung betrifft vor allem Chrom-Mangan-Stähle sowie Chrom-Nickel-Stähle, bei denen diese schädlichen Elemente an die Korngrenzen segregieren und deren Adhäsion schwächen. Diese beiden Effekte verringern die Kerbschlagarbeit [4].

Neben diesen gefügespezifischen Problemen können durch eine unvorteilhafte Abkühlung aus der Umform- beziehungsweise Anlasshitze sogenannte Eigenspannungen auftreten, die sich teilweise bei der Endbearbeitung als Verzug an den bearbeiteten Bauteilen widerspiegeln. Diese Eigenspannungen hängen beispielsweise mit dem sogenannten Leidenfrost-Effekt zusammen und den damit verbundenen unterschiedlichen Abschreckwirkungen von Oberflächen, die in Wasser getaucht werden [5] (Bild 1). Wenn das Material im Wasser nicht kontinuierlich bewegt wird, bildet sich eine Dampfhaut, die die Oberfläche des Materials vor der Abschreckwirkung des Abschreckmediums isoliert. Ab einer speziellen Temperatur, der Leidenfrost-Temperatur, fällt diese Dampfhaut in sich zusammen, sodass ein Kontakt zwischen Abschreckmedium und Material entsteht. An der Kontaktstelle tritt eine unkontrollierte, hohe Abschreckwirkung auf, die die Bildung von Eigenspannungen im Material begünstigt. Neben dem Leidenfrost-Effekt können auch andere Prozessschritte Eigenspannungen im Bauteil hervorrufen, wie beispielsweise ein nicht ordnungsgemäß durchgeführter Richtvorgang auf Geradheit.

EIGENSINNUNGEN UND IHRE MESSMETHODIK

Eigenspannungen wirken im Inneren eines metallischen Werkstücks und liegen im Bauteil im Gleichgewicht vor. Ihr Auftreten kann bei der Wärmebehandlung beziehungsweise bei der Abkühlung begünstigt werden, wie beispielsweise durch den erwähnten Leidenfrost-Effekt.

Eigenspannungen können in drei Gruppen eingeteilt werden: Eigenspannungen I. Art, auch als makroskopische Eigenspannungen bezeichnet, sowie Eigenspannungen II. und III. Art, welche auch als mikroskopische Eigenspannungen bezeichnet werden. Bei den Eigenspannungen III. Art bewegen sich die betroffenen Bereiche allerdings in der Größenordnung der

atomaren Gitterstruktur des Werkstoffs. Eigenspannungen auf der atomaren Ebene können durch Leerstellen, Fremdatome oder Gitterversetzungen hervorgerufen werden und treten bei jeder plastischen Verformung auf.

Die Methoden zur Ermittlung der Eigenspannungen in einem Bauteil oder Werkstoff lassen sich in zwei Hauptgruppen einteilen: zerstörende und zerstörungsfreie Prüfmethoden [6]. Das Unternehmen hat einen Messstand für die sogenannte Bohrlochmethode in Betrieb genommen.

Bei der Bohrlochmethode wird die Dehnungsänderung beim Vorgang des Bohrens in ein Material mit Hilfe eines Dehnungs-

se Widerstandsänderung auf, wandelt die mechanische Messgröße in ein elektrisches Signal um und errechnet die vorliegenden Eigenspannungen [7].

Damit auftretende Risse im Bauteil nicht weiterwachsen und im besten Fall geschlossen werden können, wird ein Eigenspannungsverhalten im Druckbereich bei Bauteilen angestrebt.

OPTIMIERUNG DER ANLAGENTECHNIK

2005 hat das Unternehmen eine vollautomatische Tauchanlage installiert, in der die Stäbe nach dem Schmieden einzeln abgeschreckt werden können. Durch den Transport mittels

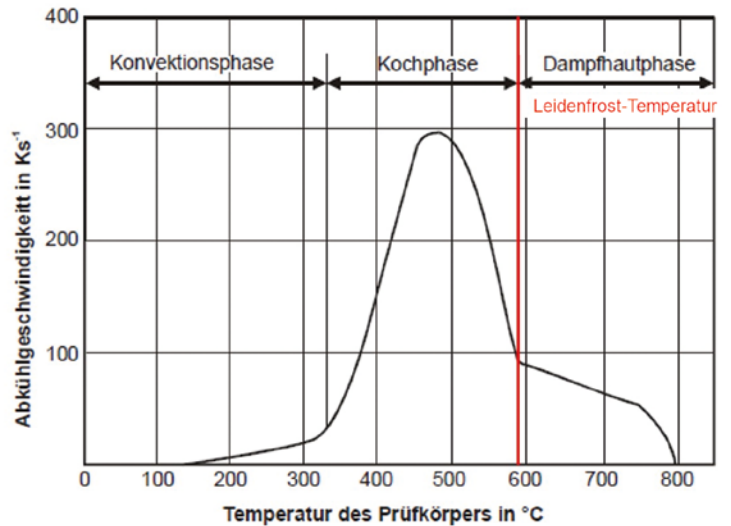
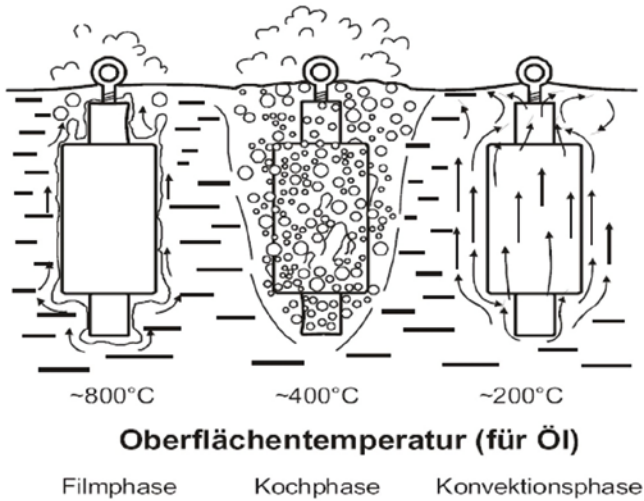


Bild 1: Abkühlphasen im flüssigen Abschreckmedium und Abkühlgeschwindigkeits-Temperatur-Kurve [5]

messstreifens (DMS) oder einer Dehnungsmessrosette detektiert und in die vorliegenden Eigenspannungen umgerechnet. Der für die Bohrlochmethode verwendete Dehnungsmessstreifen ist so aufgebaut, dass die Messung in drei verschiedenen Achsen (axial, radial, tangential) aufgenommen wird. Um das zu vermessende Bauteil oder Werkstück zu präparieren, wird der DMS mittels eines schnelltrocknenden, stark haftenden Klebers auf die Oberfläche des Werkstücks aufgebracht. Anschließend wird ein Loch durch den DMS in das Werkstück gebohrt. Dies führt zu einer Übertragung der Last auf den DMS und die darin enthaltenen Leiterbahnen. Der Abtrag des Werkstoffs stört das Gleichgewicht der Eigenspannungen und setzt diese so frei. Die Leiterbahnen werden durch die mechanische Belastung gedehnt oder gestaucht, wodurch sich der Widerstand der Leiterbahn ändert. Das Messgerät nimmt die



Bild 2: Blick auf die Induktionsanlage im Edelstahlwerk

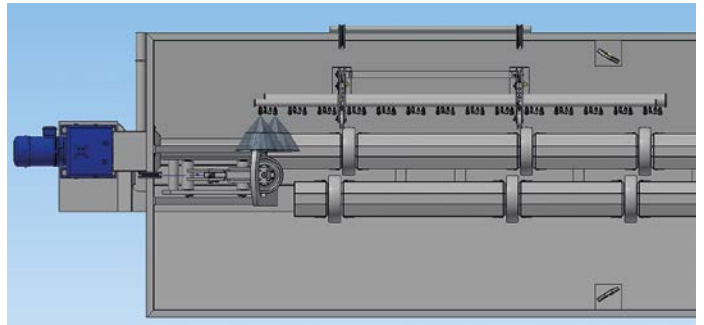
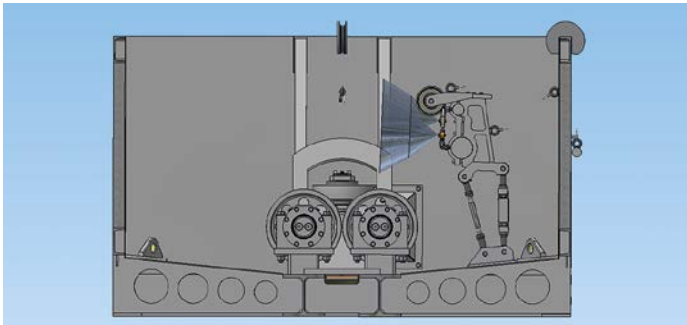


Bild 3: Draufsicht (links) und Vorderansicht (rechts) der Sprühkühlungsanlage

Bild 3: SMB Wildau GmbH

Traversen können die Stäbe separat bewegt und getaucht werden, sodass eine gegenseitige thermische Beeinflussung vermieden werden kann. Das Direktabschrecken aus der Umformhitze hat deutliche Vorteile gegenüber der sonst üblichen Luftablage nach dem Schmieden. Der kritische Temperaturbereich, in dem sich unkontrolliert große Kabride, Nitride oder schädliche Phasen bilden, wird so rasch durchschritten und ein starkes Kornwachstum vermieden. Des Weiteren wird durch diesen neuen Prozessschritt ein separates Härten beim Vergüten ersetzt und Energie eingespart.

2011 wurde die Tauchanlage mit einer Ausgleichsanlage erweitert (passive Isolationskammer), sodass die Temperaturdifferenz zwischen Stabmitte und Staboberfläche ausgeglichen werden kann.

Im nächsten Schritt wurde 2016 eine Induktionsanlage in Betrieb genommen (Bild 2), mit deren Hilfe nichtrostende Stähle gleichmäßig und prozesssicher auf Lösungs- und Austeniti-

siertemperatur gebracht und gehalten werden können. Der mögliche Temperaturverlust an der Schmiedeoberfläche der Stäbe kann durch das induktive Nachwärmen in Kombinationen mit einer pendelnden Bewegung der Stäbe zwischen den Induktionsspulen ausgeglichen und so ein gleichmäßiges Temperaturprofil in den Stäben erzielt werden. In dieser Anlage können Stäbe mit einem Radius von 160 bis 300 Millimetern und Längen von 4 bis 18 Metern nachgewärmt werden [8].

Ebenfalls 2016 wurden eine Sprühkühlungsanlage zur Herstellung von eigenspannungsfreien, niedriglegierten Stählen aufgebaut und erste Betriebsversuche gefahren. Die Grundidee zu dieser Anlage kommt aus dem Bereich der oberflächengehärteten Walzenherstellung. In der Sprühkühlungsanlage werden die Walzen nach dem Härtevorgang geregelt und rasch abgekühlt, sodass eine für die Anwendung benötigte harte Oberfläche und ein zäher Kern entstehen. Zusätzlich sorgt die Sprühkühlung für geringste Eigenspannungen [9]. Die Sprühkühlungsanlage besteht aus einem 10 Meter langem Becken

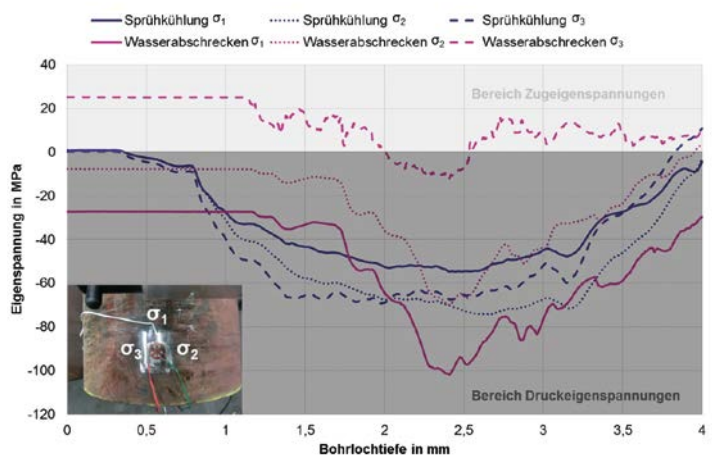
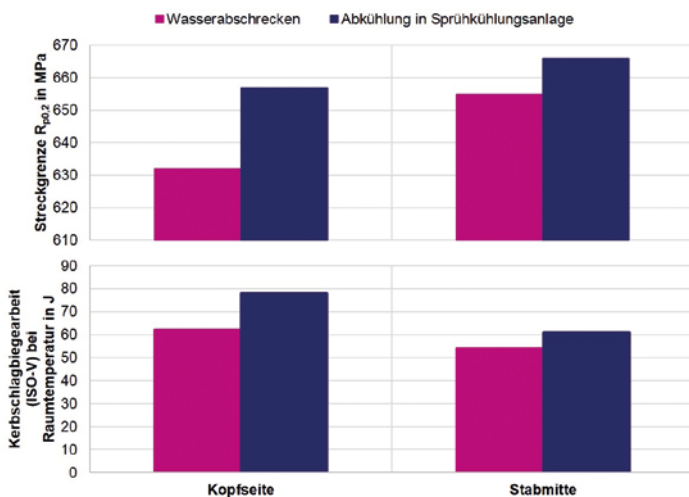


Bild 4: Ergebnisvergleich Wasserabschrecken und Abkühlung in der Sprühkühlungsanlage bezüglich

a) Streckgrenze und Kerbschlagbiegearbeit und b) Eigenspannungen

nicht gesondert gekennzeichnete Bilder: Autorin

mit zwei Sprühbalken, die die Länge von 10 Metern abdecken. Das Stabmaterial wird auf Umlenkrollen abgelegt, die konisch zueinander ausgerichtet sind. So nimmt der Stab durch die kontinuierliche Drehung (Richtung wechselt alle 10 Umdrehungen) beim Besprühen eine pendelnde Bewegung auf. In die Anlage können Stäbe mit einem Durchmesser von 350 bis 800 Millimetern eingelegt werden. Der Sprühbalken ist in geradliniger Anordnung mit Flachstrahldüsen besetzt (Bild 3).

Die Anlage sorgt dafür, dass geschmiedetes Stabstahlmaterial nach dem Warmrichten auf Geradheit ohne erneuten Verzug aus der Anlasshitze geregelt und schnell abgekühlt wird.



- [1] Cuddy, L.J.: Metallurgical Transactions A, 12A/7, 1981, S. 1313 – 1320
- [2] Bleck, W. (Hrsg.): Spezielle Werkstoffkunde der Stähle für Studium und Praxis, 2. Auflage, Verlag Mainz, Aachen, 2012
- [3] Eckstein, H.-J.(Hrsg.): Korrosionsbeständige Stähle, 1. Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie GmbH, Leipzig, 1990
- [4] Hougardy, H.P.: Umwandlung und Gefüge unlegierter Stähle, 2. Auflage, Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1990
- [5] Bleck, W. (Hrsg.): Werkstoffkunde für Studium und Praxis, 3. Auflage, Verlag Mainz, Aachen, 2010
- [6] Bürgel, R.; Richard, H.; Riemer, A.: Werkstoffmechanik-Bauteile sicher beurteilen und Werkstoffe richtig einsetzen, 2. Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014
- [7] ASTM E837, Standard Test Method for Determining Residual Stresses by the hole-drilling Strain Gage Method, 13a
- [8] Beer, S.; Müller, M.; Hippenstiel, F.; Janz, W.: Optimierung der Wärmebehandlung durch eine fortschrittliche Induktionsanlage, ewi – elektrowärme international – Ausgabe 02/2017, 2017, S. 51 – 55
- [9] Fujitsuna, N.; Noakashima, H.; Hino, S.: Manufacturing process of highly hardened back-up rolls for plate rolling mill, IFM (Hrsg.), International Forgemasters Meeting, 15. Auflage, Kobe City: IFM, 2003, pp. 554 – 560

So wird die Versprödungstemperatur zwischen 300 und 500 °C schnell genug durchlaufen und eine mögliche Versprödung verhindert. In Betriebsversuchen untersuchten die Fachleute das optimale Sprühbild (unter anderem durch Analysieren der Parameter Düsenart und -anordnung, Sprühwinkel, benötigte Wassermenge) zur Unterdrückung des Leidenfrost-Effekts und die praxisnahe Temperatureaufnahme sowie die benötigte Abkühlzeit im Vergleich zum klassischen Wasserabschrecken.

Bei einem Betriebsversuch wurden geschmiedete Rundstäbe des Vergütungsstahls 1.8550 (Ø 350 mm) nach dem Anlassen einerseits mit Wasser abgeschreckt und andererseits in der Sprühkühlung abgekühlt. Der Ergebnisvergleich zeigte, dass die Abkühlung in der Sprühkühlungsanlage bei verbesserten mechanischen Eigenschaften eine homogenere Verteilung der Eigenspannungen in allen drei Richtungen im Druckbereich erzielt (Bild 4).

Weitere Betriebsversuche mit niedriglegierten Stahlsorten sowie unterschiedlichen Durchmessern sind geplant, um die bisherigen Erkenntnisse zu verifizieren.

FAZIT

Die Wärmebehandlung und die Abkühlung bei massivumgeformten Bauteilen haben einen entscheidenden Einfluss auf die resultierenden Eigenschaften und möglichen Verzug. Die BGH Edelstahl GmbH in Siegen konnte durch die Inbetriebnahme der Anlage zum Direktabschrecken aus der Umformhitze sowie zum induktiven Nachwärmen viele metallkundliche Problemstellungen minimieren und so eine prozesssichere und fortwährend hohe Qualität bei hoch- und niedriglegierten Stahlprodukten gewährleisten. Die Anlagentechnik wird derzeit in Bezug auf die verzugsarme Herstellung von niedriglegierten Stahlsorten mittels Sprühkühlung in Kombination mit Eigenspannungsmessungen weiterentwickelt. Auch in Zukunft wird das Unternehmen die Anlagenweiterentwicklung vorantreiben, um die Qualitätsstandards und Leistungsfähigkeit der Stahlprodukte weiter zu steigern.



BGH Edelstahl Siegen GmbH
Industriestraße 9
57076 Siegen
Tel.: +49 271 701-0
E-Mail: info.siegen@bgh.de
Internet: www.bgh.de