



Spezielle Werkstoffe für die Kalt- und Warmformgebung		
Qualitätslenkung, Entwicklung und Anwendungstechnik	Dipl.-Ing. Frank Wilke + 49 (0) 271 26 40 Wilke@kep.thyssenkrupp.com	28/05/2003 Bericht 2003-5

In unserer Wettbewerbsgesellschaft werden oft steigende Anforderungen an Konstruktionswerkstoffe und ihre Eigenschaften gestellt. Ein gutes Beispiel für die ständige Verbesserung der Werkstoffe trifft für die Automobilindustrie zu, durch z.B. kontinuierlich ansteigenden Drehmoment, Gewichtseinsparung, verbesserte Treibstoffeffizienz unter Berücksichtigung der Kosteneffizienz bei der Komponentenproduktion. Abgesehen von den Werkstoffanforderungen, wurden die Produktionsmethoden ebenfalls dafür ausgelegt, Bauteile mit sehr geringen Toleranzen zu fertigen, in großen Stückzahlen bei geringsten Kosten und mit keinen oder geringen Schrottabfällen. Es ist ebenfalls weiter erwähnenswert, dass die produzierten Bauteile defektfrei sein müssen, soweit das technisch möglich ist.

Betrachtet man diese Kombinationen von Anforderungen der angewendeten Produktionsmethoden, insbesondere im Hinblick auf die Anforderungen für mechanische Eigenschaften, so sehen wir, dass sowohl Warm- wie Kaltumformungsprozesse diese Voraussetzungen adäquat erfüllen. Neben den Anforderungen an die Umformverfahren und die Geometrie der Bauteile sind die Eigenschaften der zu verformenden Werkstoffe extrem wichtig. Aus diesem Grunde werden die Stahleigenschaften, insbesondere die der Maschinenbaustähle näher untersucht. Diese Veröffentlichung wird sich spezifisch auf die Verformungseigenschaften von Langprodukten wie Stäbe und Drähte während der Verarbeitung bei massiver Verformung fokussieren. Einige Beispiele für Werkstoffe und Produktionswege, die im Augenblick verwendet werden, um Bauteile mit hoher Qualität zu produzieren, werden ebenso diskutiert.

Die folgenden Werkstoffeigenschaften des Ausgangswerkstoffes Stahl sind für die Sicherstellung der Produktion von hochqualitativen, defektfreien Bauteilen wichtig und werden im Detail behandelt:

- Oberflächenbeschaffenheit
- Reinheit
- Festigkeit
- Gefüge
- chemische Zusammensetzung



Oberflächenbeschaffenheit des Ausgangswerkstoffs

Als eine wesentliche Grundlage für ein gutes Umformergebnis ist eine geeignete Oberflächenbeschaffenheit des Werkstoffs anzusehen. Diese Anforderung besteht, da die Anwesenheit von Oberflächenfehlern zu einem Versagen der Komponenten während des Umformprozesses führt. So sind kerb- und rissfreie Oberflächen sowie geringe mechanische Beschädigungen der eingesetzten Langprodukte von entscheidender Bedeutung für eine fehlerfreie Umformung des Werkstoffs.

Die Stahlhersteller sind gefordert, durch geeignete Fertigungsverfahren und Rissprüfanlagen eine kerbfreie und rissarme Oberfläche zu liefern. Wird oberflächenbearbeitetes Material eingesetzt, d. h. eine geschälte oder geschliffene Oberfläche, so ist dieses so zu bearbeiten, dass die Rauigkeit der Oberfläche so weit wie möglich minimiert wird (maximale Fehlertiefe 0,1 mm).

Reinheit des Ausgangswerkstoffs

Hohe Anforderungen an die Reinheit des Stahls sind ebenfalls von Bedeutung, da sonst randnahe Gießpulvereinschlüsse oder andere nichtmetallische Einschlüsse zum Aufplatzen des Bauteils bei der Umformung führen können. Durch entsprechende Ultraschallprüfanlagen sowie Maßnahmen zur Herstellung von Stählen hoher Reinheit ist dies bereits heute möglich. Einige Stahlqualitäten sind jedoch aufgrund ihrer Legierungselemente anfällig für einen mäßigen Reinheitsgrad. Außerdem gibt es bei Draht, speziell auch Blankdraht, nur stark eingeschränkte Prüfmöglichkeiten auf Fehler am Ausgangswerkstoff.

Festigkeit des Ausgangswerkstoffs

Von Bedeutung ist ebenfalls die Festigkeit des Werkstoffes vor der Umformung, im speziellen bei der Kaltumformung. Stab- und Drahtmaterial werden oftmals vor der Kaltmassivumformung geschert, hierbei darf die Festigkeit des Stahls nicht zu niedrig liegen, um verschmierte und verquetschte Scherlinge zu vermeiden, bei denen dann durch Gratbildung Schalen auf dem umgeformten Teil zurückbleiben.

Auf der anderen Seite sind zu hohe Festigkeiten zu vermeiden, da die Kaltumformung des Werkstoffes deutlich leidet. Hohe Oberflächenverfestigungen durch Richt- und Ziehprozesse sind ebenfalls zu vermeiden, da zum einen die Scherbarkeit darunter leidet, zum anderen ungleiche Festigkeitsverhältnisse über den Querschnitt die Kaltumformung deutlich behindern können. So ist darauf hinzuweisen, dass durch ungeeignete Richt- und Ziehvorgänge Oberflächenhärten bis 400 HV entstehen können, welche die Umformung des Werkstoffes deutlich beeinträchtigen. Aus dem Vorgenannten ist ersichtlich, daß ein Bereich der Zugfestigkeit angestrebt werden muss, bei dem keine Probleme während der beiden Arbeitsschritte entstehen, dem Scherprozess und der anschließenden Kaltumformung.



An dieser Stelle sei auf einen immer häufiger vorkommenden Widerspruch hingewiesen: Speziell bei der Kaltumformung von Schrauben für hohe Festigkeitsklassen wird im Schaft für das Ausgangsmaterial bereits die höhere Festigkeit der Schraube gefordert, da dieser Bereich nicht mehr verformt wird. Der Schraubenkopf sowie das Gewinde erfahren jedoch noch eine Kaltverformung. Diese Kaltverformung soll – gemäß Wunsch der Schraubenhersteller – ohne Risse und Bearbeitungsprobleme ablaufen. Dieser Widerspruch ist jedoch nur schwer aufzulösen und bedingt enge Festigkeitstoleranzen und hohe Duktilitäten, dem jedoch nicht jeder Werkstoff gerecht werden kann.

Gefüge des Ausgangswerkstoffes

Die erreichbare Festigkeit ist direkt abhängig vom Gefügestand des Werkstoffes. Je nach Werkstoffgruppe sind Gefügestände zu wählen, die eine optimale Kaltumformung leisten (bei der Warmumformung sind die Gefügestände nicht von entscheidender Bedeutung). Bei austenitischen nichtrostenden Stählen ist der lösungsgeglühte Zustand mit Abschrecken in Wasser von Vorteil. Ebenso ist es möglich, den Werkstoff direkt aus der Umformhitze abzuschrecken, um ein feinkörniges Gefüge zu erhalten.

Bei den mikrolegierten Stahlgüten ist der optimale Ausgangszustand für die Kaltumformung ein aus der Walzhitze abgeschreckter, feinkörniger, auf niedrige Festigkeit angelassener ferritisch/perlitischer Gefügestand. Zur Vermeidung der Bildung von Innenrissen bei der Kaltumformung von Einsatzstählen ist ein feinkörnig angelassenes martensitfreies Gefüge der beste Ausgangszustand.

Für die Kaltumformung der klassischen Maschinenbaustähle findet naturgemäß der GKZ-geglühte Zustand (Glühen auf kugelige Karbide) die größte Verbreitung. Die Art der Wärmebehandlung bei den Edelbaustählen ist nicht nur abhängig vom Werkstoff an sich und der vorgesehenen Bearbeitung, sondern auch von der Oberfläche. Geglühtes Stabmaterial weist eine sehr narbige und rauhe Oberfläche auf, die das massiv umgeformte Teil rau erscheinen lassen und möglicherweise zu erhöhten Aufmaßen führt. Zudem kann ein bestimmter Grad an Entkohlung vorkommen, dessen Höhe je nach Verwendungszweck nicht toleriert werden kann. Da der Einsatz von geschältem Material oft wirtschaftlich nicht vertretbar ist, muss somit bauteilabhängig die Wärmebehandlung und der Oberflächenzustand der jeweiligen Stahlgüte separat vereinbart werden.

Chemische Zusammensetzung des Ausgangswerkstoffes

Die Warm- und Kaltumformung der Stähle ist außerdem abhängig von der chemischen Zusammensetzung des Werkstoffes. Die jeweiligen Werkstoffnormen und Spezifikationen geben hier nur bedingt Hilfestellung. Diese beschreiben im Allgemeinen nur das Eigenschaftsbild des Werkstoffes, resultierend aus dem Bereich der Zusammensetzung, nicht jedoch den werkstoffgerechten Herstellprozess über alle Verarbeitungsschritte. So sind



Spurenelemente, herrührend aus dem zunehmend verunreinigten Schrott, möglichst zu vermeiden oder zumindest zu begrenzen, um die Umformung sowohl im kalten als auch im warmen Zustand zu gewährleisten. Als ein wesentlicher Schädling für die Umformung, speziell die Warmumformung hochlegierter Stähle, tritt hierbei Wismut in Erscheinung. Wismut ist zunehmend in den Spänen von Rücklaufschrott der Automatenstähle anzutreffen. Die Stahlhersteller sind bemüht, die für die Umformung schädlichen Begleitelemente zu vermeiden durch den Einsatz qualitativ hochwertiger und teurerer Schrotte.

Ein weiterer Grund für die Schädigung der Oberfläche nach der Umformung sind hohe Schwefelgehalte, welche oft von der mechanischen Bearbeitung nach der Umformung gefordert werden. Hier hat sich ein Kompromiss aus etwas reduzierten Schwefelgehalten, gepaart mit Begleitelementen, die die Zerspanung begünstigen, nicht jedoch die Umformung beeinflussen, bewährt. Wichtig ist, dass ein feinkörniges, möglichst ausscheidungsfreies Gefüge mit kleinen Mangan-Sulfiden vorliegt.

Bei rostfreien austenitischen Stählen müssen, insbesondere für die Warmumformung, zu hohe Ferritgehalte vermieden werden. Für die Kaltumformung rostfreier austenitischer Stähle sind für den Ausgangswerkstoff hohe Martensitgehalte, insbesondere Verformungsmartensit, zu vermeiden. Dies ist notwendig, da Martensit eine geringere Duktilität besitzt und daher rissinitiierend bei der Kaltumformung wirkt. Martensit ist ebenfalls im gesamten Gefüge von ferritischen rostfreien Stählen bei der Kaltumformung zu vermeiden, insbesondere natürlich auch im oberflächennahen Bereich.

In den folgenden Abschnitten sind Beispiele der Kombination von Werkstoffen als Ausgangsmaterial und deren Umformvorgängen beschrieben:

- Niedrig legierter Sonderbaustahl 1.6919 für Bauteile hoher endabmessungsnaher Präzision durch Kaltumformung. Der extrem weichgeglühte Werkstoff besitzt Festigkeiten um 450 – 520 MPa, ist geschält und wird ungerichtet für die Kaltumformung genutzt.
- Austenitische Stähle wie 1.4567 und 1.4578 werden insbesondere für Verbindungselemente genutzt. Hier wird aus dem Lieferzustand lösungsgeglüht abgeschreckt mit möglichst niedrigen Festigkeiten um 580 MPa durch Kaltumformung Verbindungselemente hergestellt, die nach der Umformung Streckgrenzen über 690 MPa aufweisen. Diese Verbindungselemente erfahren nach der Umformung aus Draht keinerlei Bearbeitung mehr.
- Für Niete im Automobilbereich wird derzeit versucht, Vergütungsstähle mit hohen Festigkeiten und Streckgrenzen durch Kaltumformung ohne Risse zu Nieten zu verformen. Hier sind Lieferzustand, Verformungsgeschwindigkeit sowie Oberfläche des angelieferten Materials von entscheidender Bedeutung, da sonst



diese Werkstoffe mit relativ geringer Duktilität schnell einreißen würden. Vorgesehene Werkstoffe sind hier 1.4057 als Vergütungsstahl und 1.4542 als aushärtbarer Stahl.

- Für die Herstellung von Maschinenbauteilen ist die Stahlgüte 1.7326 (25MoCrS4) geeignet für die Kaltumformung, wenn der Werkstoff im geglühten Zustand vorliegt und frei von martensitischen und bainitischen Gefügebestandteilen ist. Während der Kaltverformung wird die Zähigkeit der Komponenten auf ein sehr geringes Niveau reduziert, aber während der anschließenden Wärmebehandlung wird die Duktilität des Kerns wegen der Relaxation der Rest- und Verformungsspannungen auf ein hohes Niveau wieder hergestellt. Auf diese Art und Weise wird es möglich, Bauteile zu erzeugen, die einen extrem harten und abriebfesten Mantel besitzen, wobei sie immer noch einen guten Grad an Zähigkeit im Kern aufweisen
- Durch Kaltumformung kann nicht nur ein Bauteil komplizierter Geometrie hergestellt werden. Das Verfahren kann auch genutzt werden, um höhere Festigkeiten im Bauteil zu erzielen. Ein bekanntes Verfahren in der Vergangenheit war das Ziehen von Draht. Hier konnte bei Federstählen 1.4310 Festigkeiten von über 1800 MPa eingestellt werden, mit den typischen Eigenschaften einer elastischen Feder. In Abwandlung dieses Verfahrens kann aus der Walzhitze spontan abgeschreckter Werkstoff (zur Herstellung eines feinkörnigen Gefüges) mit bereits erhöhter Streckgrenze durch Richten oder Ziehen ebenfalls die Streckgrenze und Festigkeit des Werkstoffes deutlich angehoben werden. Diese Möglichkeit ist insbesondere interessant, wenn man die Herstellung von lastführenden Bauteilen für die Gebäudeindustrie betrachtet, weil die erreichbaren höheren Streckgrenzen und Zugfestigkeiten es möglich machen die benötigten Querschnittsflächen zu reduzieren und dadurch die Kosten zu reduzieren oder die benötigte Belastungskapazität einer ähnlich dimensionierten Komponente zu erhöhen.

Ein Beispiel ist Werkstoff 1.4529. Hierbei wird die Mindestfestigkeit in der Bauindustrie durch Kaltumformung auf über 900 MPa angehoben, ohne dass die Spannungsrissskorrosionsempfindlichkeit merklich ansteigt. Durch hartes Richten von Stabstahl bis 60 mm \varnothing im Zwei-Walzen-Richtprozess wird nicht nur die Oberfläche weiter kaltverfestigt, sondern, bedingt durch das feinkörnige Gefüge und die bereits vorhandene höhere Festigkeit aus dem abgeschreckten Zustand, ist eine tiefergehende Verfestigung des Werkstoffes möglich. So kann man bei einem Stabstahl aus dem Werkstoff



1.4404 bis zur Abmessung 60 mm \varnothing statt einer Normstreckgrenze von mind. 205 MPa eine Streckgrenze von über 460 MPa erzielen.

Bei einem Duplexstahl 1.4462 sind durch direktes Abschrecken und nachfolgendes hartes Richten statt der Mindeststreckgrenze im lösungsgeglühten Zustand von 490 MPa nach dem Richtprozess Werte von über 700 MPa erzielbar. Durch weiteres Recken der Stäbe ist, bei ausreichender Dehnung und Einschnürung des Werkstoffes, dann noch eine weitere Verfestigung des Materials auf > 900 MPa möglich.

Zusammenfassung

In dieser Veröffentlichung wird eine Auswahl von verschiedenen Beispielen beschrieben sowohl für die Warm- wie Kaltverformung, um eine bestimmte Kombination von Eigenschaften zu erzielen. Wichtiger ist allerdings der Einfluss des Ausgangswerkstoffes für eine erfolgreiche Herstellung von gepressten oder geschmiedeten Bauteilen.

Es muss nicht erwähnt werden, dass die förderlichen Effekte von höherer Streckgrenze und Zugfestigkeit, die durch Kaltverfestigung und Verformung erzielt werden, verloren gehen sobald das Bauteil "spannungsbefreit", d. h. wärmebehandelt, erwärmt für die weitere Verarbeitung oder geschweißt wird.

Obwohl niemand weiß, was die Zukunft bringt, können wir sicher sein, dass unsere Erwartungen und Anforderungen an Werkstoffe, Bauteile und Produktionsanlagen kontinuierlich ansteigen. In dieser Hinsicht kann angenommen werden, dass der nächste Entwicklungsbereich im Leichtbau von Maschinenelementen liegt, wobei Gewichtseinsparung von äußerster Wichtigkeit sein wird. Bei Verwendung von bestehenden und zukünftig zu verbessernden Werkstoffeigenschaften in Verbindung mit gerichteter Verformung, um die erwünschte Steifheit in der benötigten Richtung zu erhalten, wird es möglich sein, sehr leichte Komponenten zu produzieren, die für die spezifischen Anwendungsanforderungen maßgeschneidert sind. Das wird sicherlich für alle, die in die Produktion von hochpräzisen und qualitativ hochwertigen Produkten involviert sind, eine Herausforderung sein.



Übersichtstabelle der verschiedenen Werkstoffeigenschaften

Material number	Abbreviated name	Special characteristic	Material group
1.6919	11NiMnCrMo5-5	Lower carbon content	Micro-alloyed engineering steel
1.4567	X3CrNiCu18-9-4	Higher copper content	Austenitic stainless steel
1.4578	X3CrNiCuMo17-11-3-2	Higher copper content	Austenitic stainless steel
1.4057	X17CrNi16-2	Higher strength	Martensitic stainless steel
1.4542	X5CrNiCuNb16-4	Higher copper content and higher strength	Precipitation hardened stainless steel
1.4310	X10CrNi18-8	Higher carbon content	Austenitic stainless steel
1.7326	25MoCrS4	Higher carbon content	Case hardening engineering steel
1.4529	X1NiCrMoCuN25-20-7	Higher Mo and N content	Austenitic stainless steel
1.4404	X2CrNiMo17-12-2		Austenitic stainless steel
1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	Higher nitrogen content	Duplex stainless steel