

TITEL

Rund vier Millionen Tonnen Stahlblech liefert ThyssenKrupp jährlich direkt an die Automobilhersteller. Hier die automatische Kennzeichnung vor dem Versand.

# Hart und trotz Wie moderner

Was immer als unmöglich galt, nämlich hochfesten und gleich zu erringen, mussten die Forscher jedoch ihr Wissen über die

 KLAUS JOPP  THYSSENKRUPP STEEL

**Stellen Sie sich zehn Elefantenbullen** auf einer Briefmarke vor – das entspricht dem gewaltigen Gewicht von bis zu 750 Tonnen auf nur wenigen Quadratzentimetern. Geht nicht? Gibt es nicht? „Geht nicht, gibt's nicht!“, verkündet die Werbung, und hier stimmt der Spruch tatsächlich. Denn genau solche Leistungen vermögen neuartige Stähle zu erbringen, die Spannungen von 1200 Megapascal und mehr standhalten. Was dieser Fortschritt bedeutet, zeigt der Vergleich: Herkömmliche höherfeste Karosseriestähle reißen bisher bereits bei rund 700 Megapascal. Möglich wird dieser bedeutende Entwicklungssprung durch den Einsatz

neuer Legierungen, die neben Eisen vor allem Mangan in der Größenordnung von 15 Prozent und mehr enthalten. Sie sind besonders fest, lassen sich aber dennoch sehr gut dehnen, bleiben also umformbar – genau diese Eigenschaftskombination war bisher ausgesprochen schwierig zu realisieren. Die Idee dazu stammt unter anderem vom Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf. Hier war Georg Frommeyer mit seinem Team auf Grund theoretischer Überlegungen darauf gekommen, dass insbesondere die Zulegierung von Mangan, aber auch von kleineren Aluminium- und Siliziummengen zu der gewünschten Lösung führen könnte. Sie ermöglicht dann auch den „Tanz“ der Elefanten auf einem Postwertzeichen.

Moderner Stahl als Sicherheitsfaktor: Beim Aufprall (hier nach dem Crashversuch) faltet sich der Stahl und schluckt so die Energie. Erst danach wird er ganz hart.

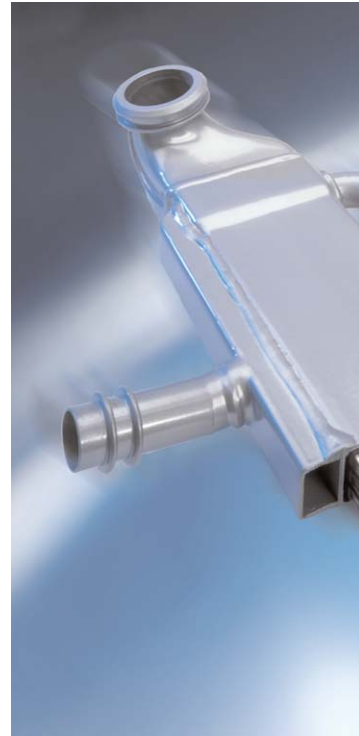
# dem weich – Stahl seine Eigenschaften ändert

zeitig plastischen Stahl herzustellen, ist nun gelungen. Um diesen Erfolg feinsten Feinheiten des Werkstoffs vertiefen, bis hinab in die Nanowelt

„Stahl ist der wichtigste Konstruktionswerkstoff in nahezu allen Bereichen der Technik“, definiert der Große Brockhaus. Wenn es nach den rund 500 Fachleuten des Werkstoffkompetenzzentrums von ThyssenKrupp in Duisburg geht, soll das auch so bleiben – allen Anstrengungen der Leichtmetalle Aluminium und Magnesium sowie der verschiedenen Kunststoffe zum Trotz, dem „Material-Oldie“ diesen Rang streitig zu machen. Die neuen austenitischen Manganstähle, so die korrekte Fachbezeichnung, werden derzeit von ThyssenKrupp gemeinsam mit dem Stahlproduzenten Arcelor fortentwickelt. „Wir sind dabei, die Herstellung des Materials und seine Verarbeitung zu Blechen intensiv zu erproben und sind zuversichtlich, dass wir das auf einer konventio-

nellen Stranggießroute hinbekommen“, erklärt Klaus-Peter Im-lau, Leiter des Werkstoffkompetenzzentrums (WSK), das sich in unmittelbarer Nähe des Stahlwerks Duisburg-Bruckhausen befindet. So sind auf jeden Fall kurze Wege zwischen Labor und Betrieb garantiert.

**Die neuen Manganstähle** gehören zu der großen so genannten TWIP-Familie. Das Kürzel steht für „Twinning induced plasticity“. „Ursache für die Formbarkeit sind kleine Stapelfehler im Kristall“, erläutert Frommeyer. Sie kann man sich als Verschiebungen in einem Raster aus säuberlich auf- und nebeneinander gestapelten Würfeln vorstellen. Setzt man einen derartigen Stahl



Moderne Mehrphasenstähle sorgen für hohe Energieabsorption und bieten gleichzeitig Potenzial zur Gewichtseinsparung. Aus den Vorprodukten links entstehen beispielsweise Längsträger für Autos. Rechts ein Abgaskühler aus Edelstahl für Dieselmotoren. Das System vermindert Stickoxid- und Partikelemissionen und verringert den Kraftstoffverbrauch.

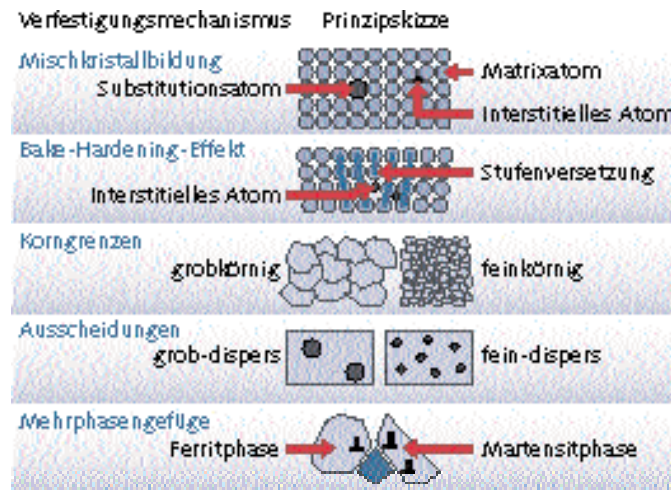
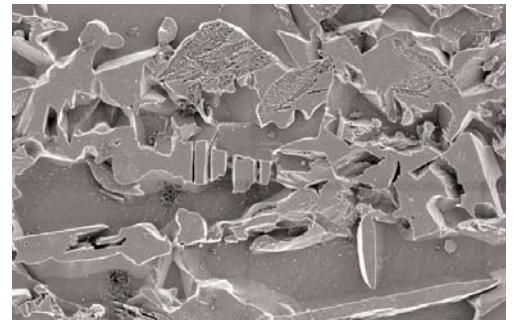
einer äußeren Schubspannung aus, kann die Kristallstruktur umklappen, und es bilden sich gespiegelte Kristallbereiche – kurzum Zwillinge. Dieser „Dominoeffekt“ der Zwillingsbildung macht sich von außen als extreme Dehnung bemerkbar. Die exzellente Umformbarkeit ist unter anderem für die Automobilproduktion von großer Bedeutung, denn Karosseriebleche werden zumeist durch Tief- oder Streckziehen in die benötigte Form gebracht. Je dehnbarer der Stahl, desto williger passt er sich der gewünschten Vorgabe an, bevor er reißt. Bei den TWIP-Stählen erreicht dieser Wert bis zu 90 Prozent. Eine derartige Zähigkeit weist nicht einmal Gold auf. Hier ist schon bei 60 Prozent Schluss.

**Solche Werkstoffe** erhalten ihre Festigkeit durch den Herstellungsprozess und die spätere Anwendung. Die Ausgangsfestigkeit wird durch den Fertigungsweg von der Bramme zum Coil eingestellt. Die endgültige Stabilität wird dann erst im fertigen Auto erreicht – und zwar im Crashfall. Beim Aufprall faltet sich der Stahl und schluckt so die Energie. Doch TWIP zeigt noch einen besonderen Clou: Denn Bruchteile von Sekunden nach dem „Knall“ verfestigt sich das Material wieder, widersteht weiterer Verformung und verhindert so, dass die Insassen im Unfallauto eingeklemmt werden oder zu Schaden kommen.

In Zukunft sollen die Manganstähle noch mit Aluminium und Silizium „verfeinert“ werden, um zusätzlich an Gewicht abzuspecken. „Wir nennen diese Werkstoffe L-IP, was light construction steel with induced plasticity meint. Hier sind aber noch

Fragen des Korrosionsschutzes und der Verarbeitbarkeit insbesondere beim Schweißen zu klären, bevor wir an eine Serienfertigung denken können“, berichtet Thomas Heller, im WSK verantwortlich für Werkstoffentwicklung und Produktoptimierung. Schon die Manganstähle, die ab 2006 ins Rennen um die Gunst der Autobauer gehen sollen, bieten die Chance zur Gewichtsreduktion, weil sie dank ihrer bemerkenswerten Eigenschaften dünnere Bleche erlauben. ThyssenKrupp hat derzeit 0,8 bis 1,5 Millimeter Dicke im Visier. Gewicht und Festigkeit, Umformbarkeit und Verarbeitungsfähigkeit – die Anforderungen an einen der ältesten Werkstoffe der Menschen sind hoch. Doch inzwischen haben die Stahlforscher einen ganzen „Baukasten“ von Methoden, um ein vorgegebenes Profil zu erreichen.

„Zur Einstellung der Werkstoffeigenschaften von Stahl stehen vielfältige Verfestigungsmechanismen zur Verfügung, die sich einzeln oder kombiniert nutzen lassen. Hieraus resultiert das enorme Spektrum von Stahl“, bestätigt Fachmann Imlau. Die bekannteste Art der Festigkeitssteigerung ist die Bildung von Mischkristallen mit Legierungselementen wie Kohlenstoff, Mangan, Silizium und Phosphor. Die Stahlerzeuger sind heute in der Lage, selbst minimale Legierungsbestandteile von weit unter einem Prozent auf eine 300-Tonnen-Charge zu verteilen – sozusagen ein Fingerhut voll in einer Badewanne. Möglich wird diese Kunst erst durch intensive Rührsysteme in der Schmelze und das Durchblasen mit Argongas. Auf diese Weise lassen sich auch winzigste Legierungsbestandteile atomfein verteilen.



Um zu verstehen, wie man die Eigenschaften von Stahl verändern kann, müssen die Forscher seine innerste Struktur kennen. Das Rasterelektronenmikroskop zeigt links die Gefügestruktur eines Stahls mit TRIP-Effekt, rechts einen Mehrphasenstahl.

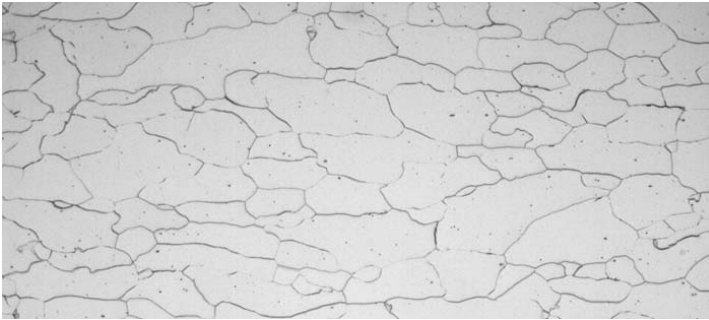
Zur Einstellung der Werkstoffeigenschaften von Stahl steht ein ganzer Baukasten von Methoden zur Verfügung, die sich einzeln oder kombiniert nutzen lassen.

**Speziell für Automobilbleche** bietet sich eine weitere Methode an: die künstliche Alterung bei Temperaturen, mit denen die Lacke eingebrannt werden. Entsprechende Stähle sind so eingestellt, dass sie sich unter diesen Backofen-Bedingungen weiter verfestigen, ein Vorgang, den Fachleute als Bake-Hardening-Effekt bezeichnen. Darüber hinaus werden die Mechanismen der Kornfeinung und der Ausscheidungshärtung angewandt. Seit Mitte der 1990er Jahre wurden zudem Mehrphasenstähle entwickelt, deren Eigenschaften durch eine intelligente Mischung unterschiedlich harter Gefügebestandteile gesteuert werden. „Hier nutzen wir die Fähigkeit von Stahl, sich in Abhängigkeit von den Umform- und Abkühlungsbedingungen in unterschiedliche Gefügestrukturen umzuwandeln“, sagt Heller. So ist Ferrit eine sehr weiche, gut umformbare Phase, während Martensit extrem fest, doch nur begrenzt verformbar ist. Dazwischen existieren austenitische und bainitische Strukturen. „Durch eine gezielte Mischung dieser Gefügebestandteile lassen sich die Werkstoffeigenschaften in weiten Bereichen den Wünschen unserer Kunden anpassen“, fügt Imlau hinzu. Mehrphasenstähle decken heute Festigkeiten zwischen 500 und 1200 Megapascal ab.

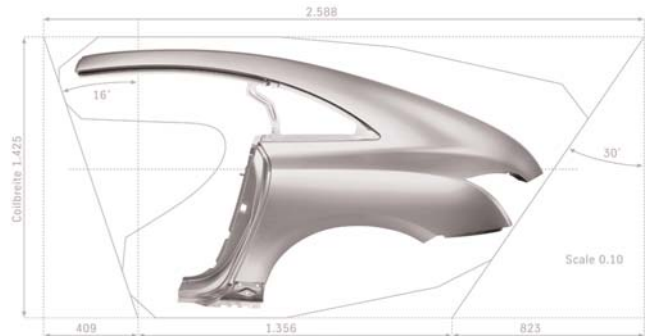
zung TRIP, die aus der englischen Bezeichnung Transformation Induced Plasticity abgeleitet ist. Auch sie weisen eine gute Festigkeit von bis zu 800 Megapascal aus, ihre Dehnbarkeit ist jedoch auf 35 Prozent beschränkt. Ihr typisches Verhalten – Dehnung bei gleichzeitiger Verfestigung – ist das Ergebnis der Umformungen im Kristallgitter. Wird Kraft auf den Stahl ausgeübt, kippt der kubisch-flächenzentrierte Austenit in den kubisch-raumzentrierten Martensit um. Flächenzentriert, raumzentriert – dieser scheinbar winzige Unterschied im Kristallgitter sorgt letztlich für die von der Automobilindustrie geschätzten Eigenschaften.

**Doch die Stahlkocher** müssen nicht nur Zusammensetzung und Umwandlungsverhalten ihrer Legierungen im Griff haben, sondern sie auch noch auf die Gegebenheiten ihrer Fertigungsanlagen abstimmen. So spielt die Temperaturführung in der Warmbandstraße oder den Verzinkungs- und Durchlaufglühaggregaten eine wichtige Rolle. Durch den trickreichen Einsatz von Wärme und Kälte beziehungsweise der Veränderung der Abkühlgeschwindigkeit lassen sich die Prozesse so steuern, dass bestimmte Phasen entstehen oder auch vermieden werden, die letztlich das Eigenschaftsprofil prägen. Je nach Anwendungszweck kann man so weichere oder härtere Stähle punktgenau erzeugen.

TRIP, TWIP, L-IP – der Weg in die Stahlzukunft ist vorgezeichnet. Doch bis zu einem Serieneinsatz zum Beispiel in einer Automobilkarosserie bleibt noch viel Forschungsarbeit. Denn die Unterschiede zwischen verschiedenen Stahlsorten reichen hinab



So sieht die Gefügestruktur eines Stahls mit Bake-Hardening-Effekt aus. Dieser Werkstoff entwickelt seine endgültige Festigkeit erst bei Erhitzung, etwa beim Einbrennen des Autolacks.



Stahl ist und bleibt der bevorzugte Werkstoff der Automobilindustrie. Er lässt sich auch in komplizierte Bauteile umformen.



Edelstahl erobert sich einen Platz im Automobilbau: Hier ein Hilfsrahmen aus Nirosta H400. Der rostfreie Werkstoff bietet hohe Festigkeit bei guten Crasheigenschaften.

bis ins Reich der Zwerge, in die Nanowelt, in der Millionstel Millimeter das Maß aller Dinge sind. Entsprechend ausgefeilt sind die analytischen Verfahren, mit denen die Wissenschaftler am WSK den zahlreichen Stahlproben zu Leibe rücken. Metallographische und metallkundliche Untersuchungen geben Einblick in das Gefüge neuer Stähle. Dieses Wissen ist die Basis für jede Weiterentwicklung im Labor ebenso wie für die laufende Produktion. „Rund 75 Prozent unserer Arbeit sind Dienstleistungen zur Optimierung des Betriebs, die restlichen 25 Prozent entfallen auf die Erforschung neuer Werkstoffe“, beschreibt Thomas Heller die Schwerpunkte im Kompetenzzentrum.

**Traditionell** kommen unterschiedliche Ätzverfahren zum Einsatz, um Gefüge im Lichtmikroskop sichtbar zu machen. Dazu werden die Proben geschnitten, geschliffen und abschließend poliert, bevor man sie nasschemisch behandelt. Allerdings müssen mehrere verschiedene Ätzungen durchgeführt werden, damit man alle Bestandteile erkennen kann. Am Computer lassen sich dann die verschiedenen Bilder zusammenführen. Typische Vergrößerungen beim ersten „Durchleuchten“ sind 100:1, für mikrolegierte Stähle liegen sie allerdings mit 200:1 bis 500:1 deutlich höher. „Alle Lichtmikroskope arbeiten inzwischen mit digitalen Kameras, was nicht nur die Dunkelkammer überflüssig macht, sondern unsere Analysen auch deutlich beschleunigt hat“, erklärt Frank Friedel, Bereichsleiter Metallkundliche Methoden im WSK. Die Auflösung der Lichtmikroskope schafft Strukturen bis hinab zu 0,5 Mikrometern (Vergrößerung 1:1000), für noch feinere De-

tails benützt man elektronenoptische Verfahren, also Raster- und Transmissions-Elektronenmikroskope (REM und TEM).

Im TEM werden dünnste Folien von nur 100 Nanometern Stärke untersucht, die auch noch kleinste Partikel zeigen. Diese Ausscheidungen sind aber von großer Wichtigkeit, weil sie wie Sandkörner im Gefüge sitzen und so Versetzungsbewegungen verhindern. „Die Elektronenstrahlen nutzen wir einerseits zur Abbildung der Strukturen mit bis zu 100.000facher Vergrößerung, aber auch zur Erzeugung von Röntgenstrahlung, mit der wir die chemische Zusammensetzung unserer Proben ergründen“, so Friedel. „Das ist wie Detektiv spielen.“ Setzt man die Röntgenquanten zur Beugung ein, lässt sich zudem das Kristallgitter abbilden, das zusätzliche Informationen über die Stähle liefert. Das Verfahren der Diffraktometrie bestimmt unter anderem die Textur eines Werkstoffes, also die räumliche Ausrichtung der Elementarzelle. So ermittelt man, ob die Eigenschaften richtungsabhängig sind. Zudem können nicht nur Elemente, sondern sogar Verbindungen wie Oxide und Hydroxide analysiert werden – damit ist man zum Beispiel dem Rost (eine komplizierte Mischung aus Eisenoxiden und -hydroxiden) ganz dicht auf der Spur.

Rost ist das Ergebnis von Korrosion, die in vielen Metallbereichen ein großes Problem darstellt, allerdings dank der verzinkten Bleche nicht mehr im Automobilbereich. Ebenfalls auf Nummer Sicher ist man mit Nirosta. Der „nicht rostende Stahl“ sieht nicht nur edel aus, sondern ist dank seiner Zusammensetzung, ins-



VW Touareg (im Bild) und Porsche Cayenne sind zurzeit die Fahrzeuge mit dem höchsten Anteil an modernen Mehrphasenstählen in der Rohkarosserie. Damit erreichen die Fahrzeuge Spitzenwerte bei Crashverhalten und Verwindungssteifigkeit trotz eines vergleichsweise geringen Rohbaugewichts von 392 Kilogramm.

besondere durch die Zulegierung größerer Mengen von rund 15 bis 20 Prozent Chrom und sechs bis über 20 Prozent Nickel, auch chemisch edel. Die Kehrseite der Medaille: Diese Stähle sind teurer als ihre „armen Vettern“, nicht zuletzt weil die Rohstoffpreise für Nickel in den zurückliegenden zwei Jahren von 6.000 auf 14.000 bis 15.000 Dollar pro Tonne geradezu explodiert sind.

**Dennoch sind die „Edlen“** wirtschaftlich erfolgreich: So haben die „Rost-, Hitze- und Säurebeständigen Stähle“, kurz RSH genannt, in der zurückliegenden Dekade ein deutlich höheres Wachstum gezeigt als zum Beispiel Nickelbasislegierungen oder Aluminium. Die jährliche Rate erreichte 6,9 Prozent im Vergleich zu 4,6 beziehungsweise 4,9 Prozent. Das liegt auch an erfolgreichen Weiterentwicklungen wie Nirosta H400, der inzwischen selbst die Automobilkarosserie erobert hat – die hohe Schule für alle Werkstoffe. H400 wurde 1999 in den Markt eingeführt und hat hinsichtlich Umformbarkeit und Festigkeit ein ähnliches Eigenschaftsprofil wie die neuen TWIP-Stähle, das gerade für Automobilkonstrukteure so interessant ist.

Immer häufiger entdecken sie deshalb ihre Liebe zu H400. Beispiel Audi: Erstmals wurde der Edelstahl in einem Karosserieteil des A8, dem so genannten Fahrschemel, verbaut. An ihm sind nicht nur die Vorderräder befestigt, sondern auf ihm ist auch die Antriebseinheit gelagert. Aluminium war für diese Aufgabe nicht stabil genug, in versteifter Form wiederum zu schwer. Ein Meilenstein für den Edelstahl, der dann beim A6 ebenfalls in hochfunk-

tionellen Bauteilen, etwa zum Fußraumschutz, verwendet wurde. „Immerhin 15 bis 20 Kilogramm sind in jedem A6 verbaut, das ist eine nahezu Verdoppelung des bisherigen Anteils“, konstatiert Jochen Krautschick, Leiter der Werkstoff- und Anwendungstechnik der ThyssenKrupp Nirosta. Auch im Prestigefahrzeug Porsche Carrera GT spielt das Material eine große Rolle, weil die Crashkomponenten vorn und hinten aus ihm gefertigt sind. „Porsche hat das Energieabsorptionsvermögen verschiedener Werkstoffe analysiert, wir haben am besten abgeschnitten“, freut sich Gert Weiß, Leiter Produktservice bei ThyssenKrupp Nirosta.

**Das Auto** ist nicht alles in der großen Welt des Stahls, aber ohne Auto ist vieles nichts beim Traditionswerkstoff. „Die Automobilindustrie ist ein beständiger Treiber in der Stahlherstellung, weil hier prinzipiell die höchsten Anforderungen zu erfüllen sind“, bestätigt Experte Imlau. In diesem Sinne ist der Deutschen liebstes Kind Auslöser für viele neue Entwicklungen im Stahlbereich. Und die sind zahlreicher, als viele vermuten – in den zurückliegenden zehn Jahren hat ThyssenKrupp etwa die Hälfte der angebotenen Sorten neu aus dem Feuer gehoben. Die Stahlkocher fertigen in zwei Werken rund 30.000 Tonnen pro Tag in Duisburg, die auf drei Warmbandstraßen sowie zahlreichen Kaltwalz- und Beschichtungslinien weiterverarbeitet werden. Auch das zeigt, welches Potenzial der Werkstoff-Oldie weiterhin hat – die zukunftsweisenden Entwicklungen im Spannungsfeld zwischen Umformung und Festigkeit sind dabei ein zusätzliches Trumpf-As im Ärmel. ■