



Brütsch/Rüegger AG
Stahlrohre
Althardstrasse 83
CH-8105 Regensdorf
Tel. 01/871 34 34
Fax 01/871 34 99
www.b-r.ch
ISO 9002-Zertifikat

Beeinflussung des Gefüges durch Umformung

06
Technische Schriftenreihe



Kaltumformung

Beeinflussung des Gefüges durch Umformung

Inhaltsverzeichnis

<u>Vorteile der Warmumformung</u>	4
<u>Fehler bei der Warmumformung</u>	5
<u>Kaltumformung und Verfestigung</u>	6
<u>Glühen nach der Kaltverformung (Rekristallisation)</u>	9
<u>Vorteile der Kaltumformung</u>	9

Beeinflussung des Gefüges durch Umformung

Vorteile der Warmumformung

Um dem Stahl hochwertige Gebrauchseigenschaften zu geben, ist eine intensive Umformung des Gussgefüges erforderlich, und zwar im einzelnen aus folgenden Gründen:

- Die groben Körner, besonders in der zweiten Zone haben eine geringe Zähigkeit und Festigkeit zur Folge und müssen zerkleinert werden.
- Die unvermeidlichen Mikroporen und bei unberuhigtem Stahl die Gasblasen müssen durch Verschweissen beseitigt werden.
- Bei übereutektoiden Stählen muss der auf den Korngrenzen ungünstig verteilte Zementit in die kugelige Form übergeführt werden.

Andererseits können durch starke Verformung auch Nachteile entstehen, nämlich die Faserstruktur mit der Querempfindlichkeit als Folge, hervorgerufen durch die Streckung weicher Einschlüsse (besonders Mangansulfid MnS , Manganoxid MnO) und die zeilige Anordnung von harten Einschlüssen und Gefügeteilen (besonders Tonerde Al_2O_3 und Zementit in übereutektoiden Stählen). Daraus leiten sich die Vorteile von sauber erschmolzenen Stählen ab (mit wenig Einschlüssen und geringem Schwefelgehalt), von Feinkörnigkeit schon im Gusszustand (z.B. durch Aluminiumzugabe oder bei Stranggussmaterial; die Einschlüsse sind dann gleichmässiger verteilt) und insbesondere von umgeschmolzenen Stahl-

blöcken (z.B. nach dem ESU-Verfahren; die geringe Korngrösse und die wenigen Mikroporen erfordern keine hohen Verformungsgrade, und es sind auch viel weniger Einschlüsse vorhanden).

Die notwendige Verformung wird bei Stahl überwiegend in Walzwerken durchgeführt, daneben durch Schmieden und Strangpressen.

Die bei diesen Warmverformungen notwendige Temperatur der Stahlblöcke soll so hoch wie möglich liegen, um die Intensität der Durchknetung zu erhöhen, zu Beginn der Verformung knapp unterhalb der Solidustemperatur (d.h. je nach Stahlanalyse 1100 bis 1250°C) und am Ende oberhalb der Linie G-O-S des Eisen-Kohlenstoff-Diagrammes (d.h. bei 750 bis 900°C, bevor die Gitterumwandlungen beginnen, da sonst Zellen der Gefügeteile entstehen würden). Übereutektoiden Stähle jedoch werden bis in den Umwandlungsbereich oberhalb der Linie S-K bei 750°C gewalzt, um den Korngrenzenzementit besser einformen zu können.

In der damit für die Verformung zur Verfügung stehenden Zeit innerhalb dieses Temperaturbereiches gelingt es normalerweise nicht, aus den Stahlblöcken das gewünschte *Endformat* zu erreichen. Dadurch entstehen die verschiedenen Zwischenprodukte (Halbzeuge), die nach dem Wiedererwärmen auf der nächsten Walzenstrasse verformt werden.

Fehler bei der Warmumformung

Das Aufheizen der Stahlblöcke bzw. -brammen erfolgt vor dem ersten Walzwerk, der Block-/Brammenstrasse, im Tiefofen (teilweise unter der Erde liegend; die Blöcke stehen aufrecht), bei Halbzeugen oder Erzeugnissen von Stranggussanlagen in Stossöfen (das Material liegt nebeneinander auf dem flachen Herd und wird bei jeder Beschickung um einen Schritt weiter befördert). Die Stahlblöcke werden am günstigsten warm vom Stahlwerk angeliefert, dann genügen kurze Aufheizzeiten. Unter Umständen reicht ein Temperatenausgleich zwischen dem heißen Kern und dem kälteren Rand. Dieses Arbeiten «in einer Hitze» ist auch insofern günstiger, als manche Stahlqualitäten zu *Spannungsrissen* neigen, wenn sie nicht extrem langsam aufgeheizt und auch abgekühlt werden. Die dadurch hervorgerufenen Längsrisse können aussen, aber auch im Inneren des Materials liegen und eventuell bis zum Fertigprodukt erhalten bleiben.

Da die Öfen mit Öl- oder Gasflammen beheizt werden, der Stahl also mit Luftsauerstoff in Berührung steht, lässt sich die Bildung einer *Zunderschicht* aus verschiedenen Eisenoxiden nicht vermeiden. Die Öfen müssen so gefahren werden, dass dieser Primärzunder (= erste Zunderschicht) möglichst nicht an der Stahloberfläche klebt, sondern durch Presswasser oder Zunderbrecher vor dem Walzen zum Abspringen gebracht werden kann. Ist dieses nur teilweise der Fall, kommt es zu dem Fehler der Zunder einwalzungen.

Während des Walzens entsteht der Sekundärzunder (= zweite Zunderschicht), besonders bei langen Pausen zwischen den einzelnen Stichen, z.B. auf offenen Strassen. Auch dieser muss möglichst vollständig abgespritzt werden; teilweise aber drückt er sich beim Walzen in den Stahl ein und hat die typische Vernarbung der Oberfläche zur Folge.

Der nach dem Walzen beim Abkühlen entstehende Tertiärzunder (= dritte Zunderschicht) bildet die sogenannte Walzhaut. Sie ist sehr dünn, fest haftend, sieht blau-schwarz aus und bildet einen relativ guten, zeitlich begrenzten Korrosions-

schutz. Vor dem Kaltwalzen oder dem Aufbringen anderer Rostschutzmittel muss er jedoch entfernt werden.

Mit der Zunderbildung hängt die *Randentkohlung* eng zusammen, denn auch der im Stahl enthaltene Kohlenstoff verbindet sich mit dem Luftsauerstoff, und zwar zum Gas Kohlenmonoxid CO, das entweicht. Dabei muss man zwei Fälle unterscheiden. Wird die gesamte Oberfläche auf Gehalte unter 0,2% C entkohlt, erhält man eine Weichheit, die wegen des zu geringen C-Gehaltes nicht mehr härtbar ist. Wird das Stahlteil dagegen örtlich entkohlt, sind nur diese Bereiche nicht härtbar, und man spricht von Weichfleckigkeit.

Wird die Temperatur in den Aufheizöfen zu hoch eingestellt, kommt es zur *Verbrennung* des Stahles. Dabei dringt der Luftsauerstoff an den Korngrenzen in den Stahl ein und bildet dort mit Eisen oder Legierungselementen Oxide, die entweder flüchtig oder spröde sind, so dass sie beim nachfolgenden Walzen zu Rissen führen.

Die ersten Stiche auf der Block-/Brammenstrasse müssen schonend durchgeführt werden, also mit geringem Verformungsgrad (z.B. nur 2% Höhenabnahme, später bis 20%), damit in der groben und deshalb relativ spröden Stengelkristallzone keine inneren Risse auftreten. Gerade am Walzbeginn ist auch verstärkt mit *Heiss- bzw. Rotbruch* zu rechnen, weil durch die hohe Temperatur bedingt dann Risse auftreten, wenn das Verhältnis von Mangan zu Schwefel nicht hoch genug liegt und die niedrig schmelzenden Eisensulfide auf den Korngrenzen aufreißen.

Zerwalzung nennt man innere Risse im Material, die dadurch entstehen können, dass die Durchwärmung nicht ausreichend vorgenommen wurde, so dass nur die äusseren heißen Schichten sich gut verformen lassen und der Kern «stehen bleibt».

Die sogenannten *Überwalzungen* oder Stauchfalten können weniger am Halbzeug aber manchmal am Fertigmaterial, z.B. Draht, auftreten, wenn eine Walznaht durch zu volles Profil im folgenden Kaliber nach dem Kanten eingewalzt wird.

Die Block-/Brammenstrasse besteht im allgemeinen aus einem einzelnen Gerüst,

einem Reversier- oder Umkehr-Duo, dessen Walzenstab nach jedem Stich durch Anstellen verändert werden muss. Das Durchziehen erfolgt aufgrund der Reibung zwischen den Walzen und dem Walzgut.

Wie bei allen Walzenstrassen gehören auch zu dieser die folgenden zusätzlichen Einrichtungen: Aufheizöfen, Zu- und Abfuhrrollgänge, Kant- und Verschiebevorrichtungen, Scheren bzw. Sägen und Kühlbetten bzw. Haspeln. Die Bezeichnung einer Walzenstrasse erfolgt entweder nach dem erzeugten Produkt, z.B. Draht- oder Breitbandstrasse, oder auch nach dem Durchmesser der dicksten Walze, z.B. 850-er Strasse.

Die meisten anderen Walzenstrassen enthalten mehrere Gerüste, bis über 20, die bei Form-, Stabstahl und Draht mit verschiedenen grossen Einschneidungen (Kalibern) versehen sind, so dass ein Anstellen nicht erforderlich ist. Ausser Duowalzen gibt es auch Trios, bei denen abwechselnd im unteren und oberen Walzspalt verformt wird. Auch hier erübrigt sich das Anstellen und Reversieren, dafür ist jedoch ein Hebetisch erforderlich. Dünne Walzen haben den Vorteil einer durchgreifenderen Verformung, sehr geringen Breitung und damit enger Masstoleranz, biegen sich aber andererseits leichter durch. Deshalb werden die dünnen Arbeitswalzen abgestützt, und man erhält Quartos und Mehrwalzengerüste. Ihr Einsatz erfolgt besonders bei Blechfertigstrassen, sowohl beim Warmals auch Kaltwalzen.

Nach der Anordnung der Walzengerüste unterscheidet man offene Strassen (die Gerüste stehen in einer Reihe nebeneinander, so dass das Walzgut zwischen den Stichen quer verschoben werden muss und sich als Gesamtweg mehrere Schlingen ergeben), gestaffelte Strassen (mehrere Gruppen von nebeneinander stehenden Gerüsten sind in Walzrichtung versetzt angeordnet) und kontinuierliche Strassen (die Gerüste stehen in Walzrichtung hintereinander, so dass das Walzgut sie nacheinander mit steigender Geschwindigkeit durchläuft). Die Tendenz geht zunehmend auf vollautomatische Kontistressen hin.

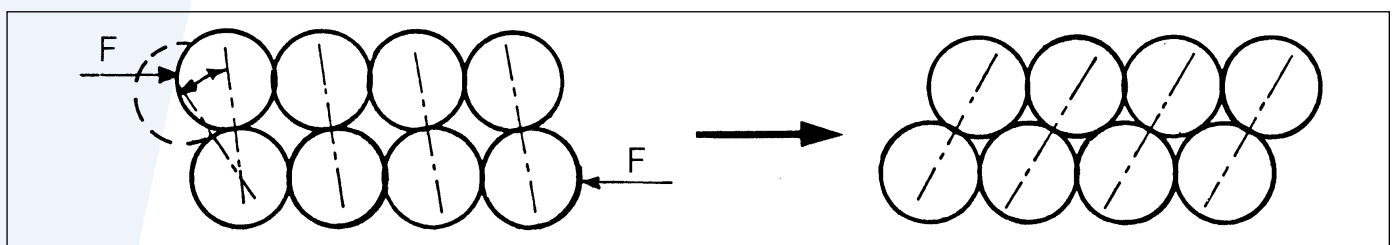
Die Stichabnahmen betragen im allgemeinen 20 bis 30%, d.h. die Dickenabnahme bei einem Stich. Korrekt müsste anstelle der Dicke der Querschnitt betrachtet werden, aber das Walzgut wird hauptsächlich gelängt und nur wenig gebreitet.

Die Festigkeit des Stahles ändert beim *Warmwalzen* nur wenig, beim *Kaltwalzen* dagegen so stark, dass eventuell zwischengeglüht werden muss. Wie ist das zu erklären? Dazu müssen die atomaren Vorgänge bei der Verformung etwas näher betrachtet werden. Diese Zusammenhänge sind in letzter Zeit auch im Hinblick auf einige neue Stahlsorten wichtig geworden, die hochfesten und mikrolegierten Baustähle, sowie zur Erklärung der Alterung nach einer Kaltverformung (Reck- oder Verformungsalterung).

Wir wirkt sich eine Verformung auf die Atomanordnung im Kristallgitter aus? Man könnte annehmen, dass sich die Abstände der Atome ändern, also z.B. in Walzrichtung vergrössern. Das ist jedoch nicht der Fall. In Wirklichkeit bleibt die Gitterordnung erhalten, z.B. kubisch flächenzentriert. Es gleiten ganze Atomverbände schrittweise aneinander entlang, wie es Bild 1 in einem Schritt zeigt.

Kaltumformung und Verfestigung

Bild 1: Umformung durch Gleiten der Atome im Gitter.



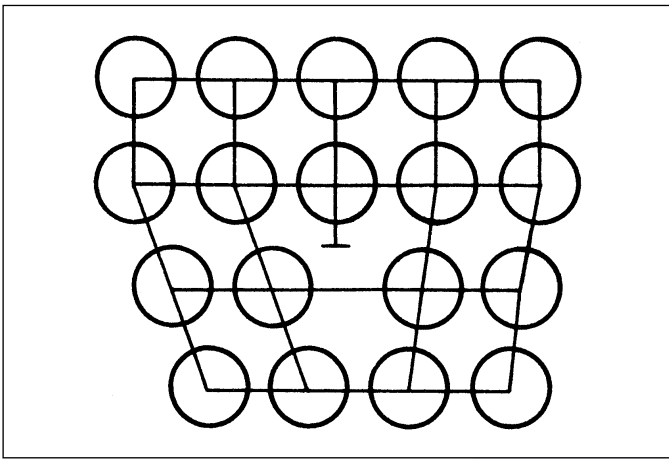


Bild 2: Versetzung (= Gitterbaufehler).

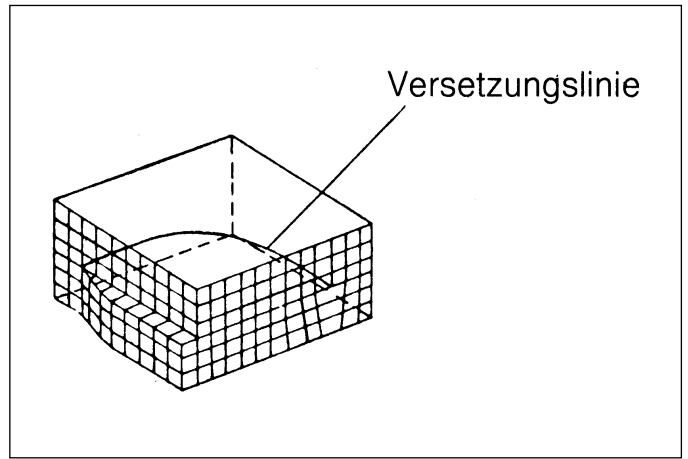


Bild 3: Versetzungslinie im Atomgitter.

Wenn die Atome jedoch alle so gleichmässig angeordnet wären wie in der Abbildung, müssten sie alle gleichzeitig gleiten, und dazu wären viel zu hohe Verformungskräfte erforderlich. Jedes Material enthält aber kleinste Gitterbaufehler, *Versetzungen*, die eine Verformung erst ermöglichen. Bild 2 zeigt eine solche Versetzung (Kurzzeichen \perp). Diese Fehlstellen entstehen schon bei der Erstarrung des Werkstoffes: Die Atome können sich am Schmelzpunkt gar nicht so schnell zu einem vollkommen fehlerfreien Kristall anordnen. Räumlich gesehen handelt es sich um Versetzungslinien (s. Bild 3).

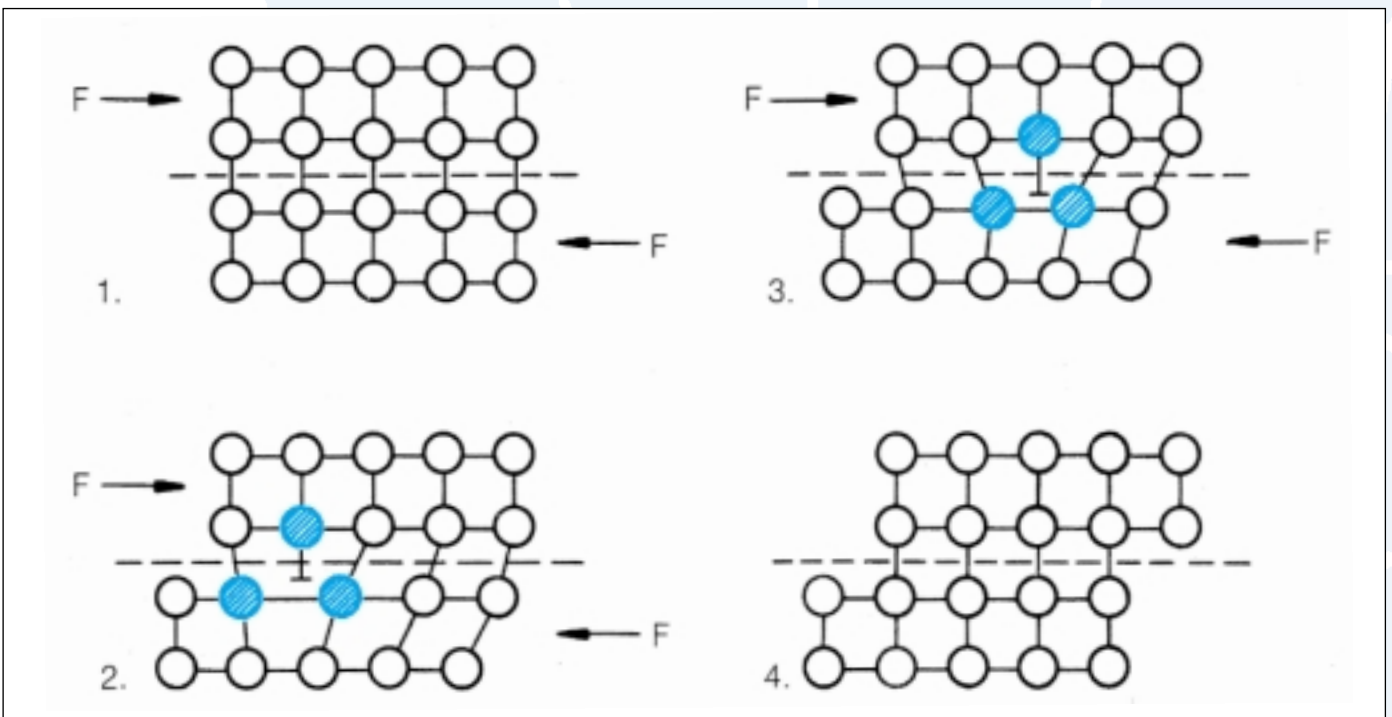
Bei einer Verformung wandern diese Versetzungen durch das Kristallgitter. Dazu sind nur relativ kleine Verformungskräfte erforderlich, da jetzt nur die in der Versetzungslinie liegenden Atome gleichzeitig gleiten. Die Wanderung kommt an Korngrenzen zum Stillstand, oder an der freien Oberfläche bilden sich Stufen, die manchmal sichtbar sind (s. Bild 4).

Wie stark solche Versetzungen die Verformung erleichtern und damit die Festigkeit erniedrigen, zeigt der Vergleich der Zugfestigkeit von normal erschmolzenem Eisen (240 N/mm^2) mit im Labor hergestelltem fast versetzungsfreiem Eisen (15.000 N/mm^2).

Das Wandern der Versetzungslinien ist anschaulich vergleichbar dem leichten Abgleiten eines Teppiches über eine weitergeschobene Falte oder der wellenförmigen Fortbewegung von Raupen und Regenwürmern.

Am leichtesten wandern die Versetzungen, wenn die Gleitebenen sehr gleichmässig aufgebaut sind, wie bei reinem Eisen. Begleit- und Legierungselemente jeglicher Art erschweren das Wandern, erhöhen also die Festigkeit. Ebenso behindern Korngrenzen die Beweglichkeit der Versetzungen. Feinkornstahl hat demnach erhöhte Festigkeit.

Bild 4: Umformung durch Wandern einer Versetzung (F = Verformungskraft).



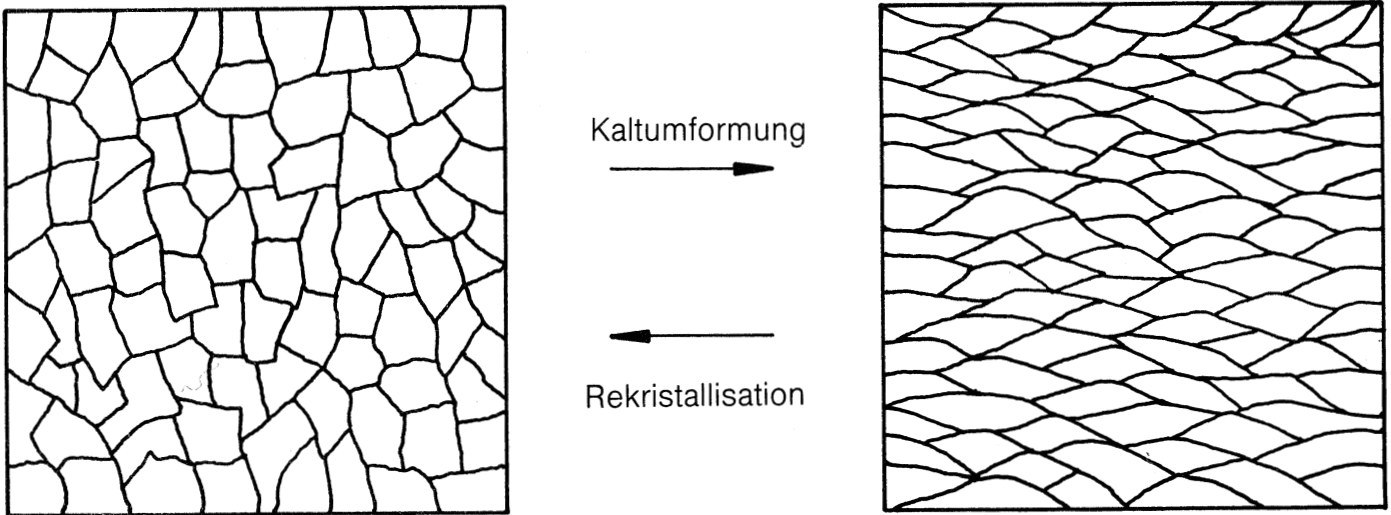


Bild 5: Einfluss von Kaltumformung und Rekristallisation auf das Stahlgefüge.

Wie Bild 4 zeigt, werden bei der Verformung auch neue Versetzungen erzeugt. Dabei steigt deren Zahl so stark an, dass sie sich gegenseitig an der Bewegung behindern. Sowohl zu wenige als auch zu viele Versetzungen erhöhen demnach die Festigkeit. Auch dieses soll anschaulich gemacht werden: Versetzungen sind Kraftwagen vergleichbar; zu viele führen zu verstopften Strassen und behindern sich gegenseitig am schnellen Vorwärtskommen.

Die Erklärung für die Zunahme der Festigkeit bei einer Kaltverformung (= Kaltverfestigung) ist folglich, dass zunehmend wandernde Versetzungen an den Korngrenzen zum Stillstand kommen und ausserdem zu viele neue Versetzungen entstehen.

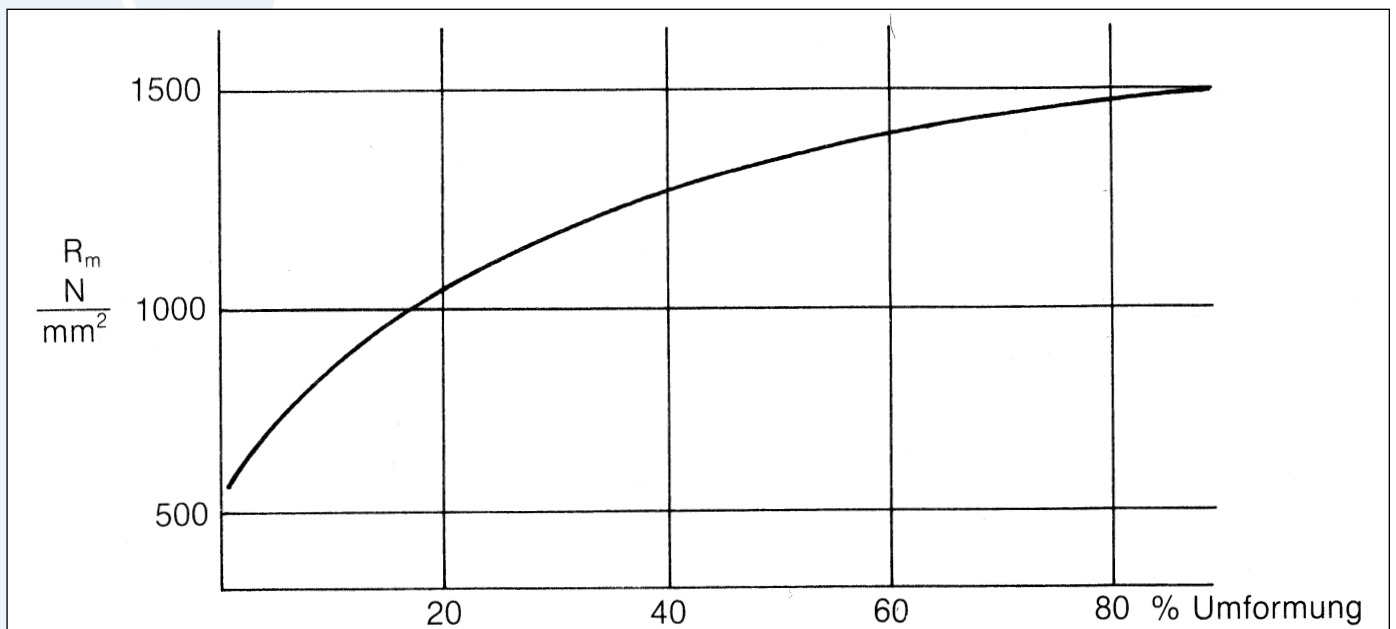
Bild 2 bis 4 zeigen ferner, dass Versetzungen kleine Löcher im Gitter bedeuten, in die sich Fremdatome einlagern können. Auch dadurch entstehen blockierte Versetzungen. Auch auf diese Art kann man also die Festigkeit des Stahles steigern.

Die eingelagerten Teilchen müssen aber klein genug sein, sonst sind sie nicht wirksam (Teilchenhärtung oder Ausscheidungshärtung). Das führt zu der Erklärung für die Entwicklung der neuen hochfesten Baustähle sowie für die Alterung.

Dieser Fehlerscheinung kann sowohl durch erhöhte, nicht abgebundene Stickstoff- und Kohlenstoff-Gehalte (Abschreckalterung) als auch nach einer Kaltverformung als Reckalterung auftreten. Während sich im ersten Fall die N- und C-Atome zu den Versetzungen hin bewegen, entweder als Folge einer übersättigten Lösung langsam bei Raumtemperatur oder schneller bei ca. 250°C, wandern beim Kaltwalzen die Versetzungen zu den eingelagerten Atomen. Das Ergebnis ist in beiden Fällen gleich: blockierte Versetzungen und damit erhöhte Zugfestigkeit, aber leider auch stark erniedrigte Zähigkeit.

Als Folge einer Kaltverformung treten in Walzrichtung lang gestreckte Körner und die Kaltverfestigung auf (s. Bild 5 und 6).

Bild 6: Steigerung der Zugfestigkeit R_m eines St 52 durch Kaltumformung



Glühen nach der Kaltverformung (Rekristallisation)

Diese Steigerung der Zugfestigkeit ist oft erwünscht, z.B. zur Herstellung von harten Stahldrähten oder Federn. Sie ist aber natürlich bei einer weitergehenden Verformung hinderlich. Der Stahl würde eher reißen als sich noch stärker strecken zu lassen. Durch eine Glühung kann man jedoch sowohl die Kaltverfestigung als auch die Kornstreckung wieder beseitigen. Die dazu notwendige Temperatur richtet sich nach dem vorangegangenen Verformungsgrad. Wird z.B. ein kohlenstoffarmer Stahl nur 20% in der Dicke verringert, liegt sie bei ca. 700°C, bei 60% reichen da. 500°C. Die Körner bilden sich völlig unverzerrt neu, daher der Name Rekristallisation. Die Versetzungen verteilen sich wieder gleichmäßig, und ihre Anzahl geht auf den Ausgangswert vor der Kaltverformung zurück. Der Stahl ist also wieder weich, gut verformbar und z.B. nach dem Grobziehen von Draht für weiteres Ziehen geeignet.

Dieser Vorgang des Kaltverformens und Rekristallisierens kann beliebig oft wiederholt werden, sofern beim Glühen kein Grobkorn auftritt, das spröde ist. Das ist bei zu hoher Temperatur und bei zu niedrigerem Verformungsgrad der Fall. Besonders weiche Stähle unter 0,2%, die nur um 5 bis 15% verformt werden, bilden beim Rekristallisieren ein sehr grobes Korn und verlieren deshalb ihre Zähigkeit. Hier muss man durch Normalglühen Abhilfe schaffen. Andererseits bietet die Rekristallisation die Möglichkeit, durch hohe Umformungsgrade und niedrige Glühtemperatur ein feinkörniges Gefüge einzustellen.

Diese Ausführungen machen den Unterschied zwischen Kalt- und Warmwalzen deutlich. Beim letzteren liegt die Temperatur so hoch, dass sofort nach der Verformung die Rekristallisation eintritt. Die gezielte Beeinflussung der Festigkeit durch exakt aufeinander abgestimmte Walztemperatur, Verformungsgrade, Abkühlgeschwindigkeit und eventuelle Legierungselemente besonders auf Warmbreitbandstrassen wird später besprochen (s. thermomechanische Behandlung von hochfesten Baustählen.)

Vorteile der Kaltumformung

Neben dem aufgeführten Unterschied in der Festigkeit gibt es noch einige weitere Gründe für das Kaltwalzen:

- Unterhalb gewisser Dicken setzt beim Warmwalzen eine zu schnelle Abkühlung des Profiles ein, so dass nur noch kalt verformt werden kann. Das ist bei Blechen und Bändern ab ca. 1,0 mm der Fall, bei Draht ab 5 mm Durchmesser.
- Man erhält eine zunderfreie glatte, blanke Oberfläche. Aus diesem Grunde werden z.T. auch dickere Abmessungen kalt verformt (Blankstahl, Präzisionsrohre).
- Man kann engere Masstoleranzen einhalten, da der Zunder fehlt und die Schrumpfung entfällt.

Da sich die Kaltverformung immer an eine Warmwalzung anschließt, muss der Stahl zuerst entzundert werden. Das kann sowohl chemisch durch Beizen erfolgen als auch mechanisch durch Biegen oder Strahlen.

Beim Beizen bevorzugt man oft Schwefelsäure gegenüber der Salzsäure. Die Eisenoxide des Zunders werden chemisch umgewandelt und abgelöst. Mit dem Eisen bildet sich ferner Wasserstoff, der den Restzunder absprengt. Je nach der Form des Stahles taucht man ihn in die Beizbottiche (z.B. Drahringe und Bündel von Stabstahl) oder leitet ihn kontinuierlich in Durchlaufbeizen (= Beizlinien, z.B. Bandstahl).

Da in den Säuren atomarer Wasserstoff enthalten ist, kann er auch bei niedriger Temperatur in den Stahl eindringen und zu Schäden führen: Beizsprödikeit und bei weichen Stählen Beizblasen durch örtliches Anreichern von Wasserstoff und Aufblähen unter der Wirkung des Druckes. Auch hier sind kohlenstoffreichere Güten empfindlicher. Diese Fehlerscheinungen können durch Zusatz von organischen Verbindungen (= Sparbeize) vermindert werden, wodurch man gleichzeitig die Eisenverluste und auch den Säureverbrauch verringert, daher der Name. Nach dem Beizen muss das Material in Wasser gespült und durch Eintauchen in Neutralisationsbäder (Kalkmilch o.a.) von Säurresten befreit werden.

Die mit dem Beizen verbundenen Nachteile (insbesondere Gesundheitsschäden bei den Arbeitskräften sowie die erforderliche Beseitigung der Beizbäder) werden durch das mechanische Entzünden vermieden. Bei Draht wendet man besonders das Biegeentzünden an, bei Band und Stabstahl das Strahlentzünden (Schleuderräder befördern in kurze Stückchen geschnittenen Draht o.a. auf das Material).

Das eigentliche Kaltverformen wird je nach der Form des Stahles unterschiedlich durchgeführt: Kaltwalzen, Ziehen und Kaltpilgern. Die Verformungsgrade liegen mit 30 bis 70% höher als beim Warmwalzen.

Eine besondere Zielsetzung verfolgt man beim *Kaltnachwalzen*, Dressieren oder Walken von Kaltband, das später tiefgezogen werden soll. Für eine solche Weiterverarbeitung muss der Stahl so weich wie möglich sein. Deshalb erfolgt nach dem Kaltwalzen ein rekristallisierendes Glühen. Dabei tritt jedoch im Spannungs-Dehnungs-Diagramm eine ausgeprägte obere und untere Streckgrenze auf, die beim Tiefziehen *Fliessfiguren* verursacht, d.h. das plastische Verformen beginnt im Blech ungleichmässig über das ganze Ziehteil, und es bilden sich raupenförmige kleine Erhebungen. Solche Fehler kann man vermeiden, wenn man nach dem Glühen das Band noch einmal in einer geringen Dickenabnahme von ca. 1% in einem Dressierstich nachwalzt. Diese Wirkung hält jedoch nur eine begrenzte Zeit (meistens einige Tage) vor, denn die von den Stickstoff- und Kohlenstoff-Atomen gelösten Versetzungen werden dann wieder blockiert. Die Reckalterung (Recken = Nachwalzen) tritt also wieder in Aktion. Wie bei der Abschreckalterung kann auch dieser Vorgang durch Abbinden des Stickstoffs und Kohlenstoffs mit Aluminium, Vanadium, Niob und Titan unterbunden werden.

Schälen und Schleifen von warmgewalztem Stabstahl sind von den oben besprochenen Verfahren der Kaltumformung grundsätzlich zu unterscheiden. Hierbei wird zwar auch die Oberfläche des Stahles geglättet, eine Gefügeumwandlung oder Kaltverfestigung aber treten nicht auf.

Zu jeder Fertigstrasse gehört eine *Adjustage oder Zurichterei*, in der die Rohware des Walzwerkes norm-, kunden- und versandgerecht gemacht wird. Die Endprodukte des Walzwerkes gelangen also, eventuell nach dem Umweg über die Glüherei, hierher und werden gerichtet (z.B. auf Rollenrichtmaschinen, Schrägwalzrichtmaschinen, Richtpressen), besäumt, quer geteilt und gespaltet, ferner kontrolliert (auf Fehler, Abmessungen und Qualität zur Vermeidung von Verwechslungen), es werden Proben entnommen für die Werkstoffprüfung, die Kommissionen für die einzelnen Kunden zusammengestellt und die Kennzeichnungen vorgenommen. In der Adjustage erfolgt auch die Abnahme des Materials.