

Besonderheiten bei der Herstellung und typische Anwendungen von Grobblechen im Dickenbereich ab 150 mm

F. Schröter, Dillingen

Die metallurgischen Entwicklungen der letzten Jahren lassen heute die sichere und auch wirtschaftliche Verwendung von Grobblechprodukten aus Stahl in besonders großer Dicke zu. Voraussetzung dazu ist aber, dass diese Produkte gemäß einer besonderen Verfahrensrouten hergestellt werden, die ihre mechanisch-technologischen Eigenschaften aber auch ihre hinreichende Homogenität sicherstellen. Der sekundärmetallurgischen Behandlung aber auch der besonderen Walztechnik kommen dabei besondere Bedeutung zu. Somit finden solche Produkte heute zunehmend Anwendung im Brücken- und Hochhausbau aber auch im Anlagenbau und im allgemeinen Maschinenbau.

1 Einleitung

Die inzwischen überarbeitete deutsche Stahlbaunorm DIN 18000-1 von 1990 regelte in Element (516): Gurtplatten, die mit Schweißverbindungen angeschlossen oder gestoßen werden, sollen nicht dicker sein als 50 mm [1]. Abgesehen davon, dass von dieser Regel auch abgewichen werden konnte und sich eigentlich zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm auch schon größere Blechstärken in Gurtkonstruktionen durchgesetzt hatten, stellt sich die Frage, aus welchen Gründen die Verfasser dieser Norm die Verwendung von dickeren Grobblechen als nicht angemessen erachteten. Diese Frage lässt sich relativ allgemein mit der Erkenntnis beantworten, dass bei dickeren Grobblechen im Vergleich zu dünneren dasselbe Eigenschaftsniveau der mechanischen Eigenschaften nur mit wesentlich höherem metallurgischen Aufwand hergestellt werden kann. Dieser metallurgische Aufwand sowie dessen Bewertung und Darstellbarkeit im industriellen Maßstab hängt wiederum von dem Vorhandensein einer entsprechenden Stahlherstellungstechnologie ab.

Bei den mechanischen Eigenschaften kommt wiederum der Kerbschlagarbeit besondere Bedeutung zu, da – vor allem aus Gründen der Sprödbrechungsvermeidung – dickere Bleche eigentlich auf Basis der heute angewandten Regeln sogar ein höheres Zähigkeitsniveau aufzeigen sollten als dünnwandige Konstruktionen.

Die auf obige Erkenntnis folgenden Fragen liegen auf der Hand: Mit welcher Prozesstechnologie schafft man es heute, solche dickeren Grobbleche von 150 mm Dicke und mehr, die auch das notwendige Anforderungsprofil an mechanische Eigenschaften und Homogenität erfüllen, herzustellen? Wo liegen die Vorteile der Verwendung solcher Bleche bzw. in welchen Bereichen werden sie eingesetzt? Diese Fragen sollen im Folgenden beantwortet werden.

2 Grundlagen der Stahlerzeugung von dicken Blechen

Insbesondere drei Prozessschritte innerhalb der Walzstahlerzeugung haben besonderen Einfluss auf die Qualität von dicken Blechen und müssen deshalb

zur Erzeugung dieser besonders optimiert werden. Dies ist zum einen die Erzeugung des flüssigen Rohstahls durch Frischen mit anschließender sekundärmetallurgischer Behandlung, das Vergießen des Stahls im kontinuierlichen Strangguss (Brammen) bzw. diskontinuierlich im Blockgussverfahren sowie das abschließende Walzen mit oder ohne anschließender Wärmebehandlung. Die Besonderheiten dieser drei Prozessschritte in Hinblick auf das notwendige Eigenschaftsprofil von dicken Grobblechen sollen im Folgenden untersucht werden. Entgegen des Herstellungsprozesses wird dabei aus Gründen der Anschaulichkeit in umgekehrter Reihenfolge der eigentlichen Prozessroute vorgegangen.

Durch das Walzen werden nicht nur die Abmessungen des Walzprodukts hinsichtlich Dicke und Breite bestimmt. Wesentlich wichtiger ist, dass das Walzen metallurgische Funktionen erfüllt, indem die im festen Rohstahl immer noch vorhandenen Inhomogenitäten wie Lunker und Poren geschlossen werden, die sich negativ auf die mechanischen Eigenschaften auswirken würden, und das ursprüngliche Gussgefüge beseitigt wird. Dazu wird der vergossene Rohstahl, sogenannte Brammen oder Blöcke, nochmals auf Temperaturen um 1200°C erhitzt. Den bei dieser Temperatur entsprechend reduzierten Verformungswiderstand des Materials nutzt man zum Warmwalzen, wozu im Fall von Grobblechen in der Regel auf sogenannte Quarto-Reversiergerüste zurückgegriffen wird.

Ein zuverlässiges Schließen der oben angesprochenen Inhomogenitäten kann nur dann erfolgen, wenn eine ausreichende Deformation der Bramme oder des Blockes erfolgt. Hier wird der sogenannte Verformungsgrad, d.h. das Verhältnis zwischen der Dicke des Halbzeugs und der des daraus gewalzten Bleches als Maßstab genommen. Deshalb ist es auf der anderen Seite wichtig, für die Produktion von Dickblechen auch Halbzeuge mit besonders großem Querschnitt einzusetzen. Oder mit einfachen Worten ausgedrückt: es ist unrealistisch, aus einer 300 mm dicken Bramme eine Grobblech von 150 mm von höherstehender Qualität zu erzeugen. Manche Regelwerke für Stahl-Grobbleche fordern deshalb auch explizit die Einhaltung eines minimalen Verformungsgrades, so der ASME-Code einen minimalen Verformungsgrad von 3,0 [2].

Ein Beispiel für den Einfluss des Verformungsgrades zeigt Bild 1. Dort ist die Wirkung des Verformungsgrades auf die Verformungseigenschaften in Dickenrichtung für verschiedene Stahlgruppen wiedergegeben. Deutlich zeigt sich die starke Abhängigkeit in einem Bereich, der besonders für die Erzeugung von dicken Blechen von Relevanz ist.

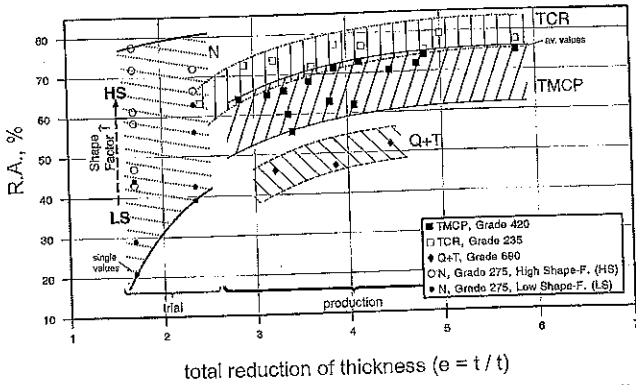


Bild 1: Einfluss des Dickenverformungsgrades auf die Brucheinschnürung eines Zugversuchs in Dickenrichtung (Z-Werte) verschiedener Stahlsorten

Dabei ist aber nicht nur der absolute Grad der Dickenverformung von Bedeutung. Vielmehr ist es wichtig, dass durch das Walzen auch eine Verformung des Kernbereiches erreicht wird, um eine ausreichende Homogenität sicherzustellen. Dazu muss die Verformung in möglichst großen Verformungsschritten ähnlich einem Schmiedeprozess aufgebracht werden. Dieser Prozess wird als sogenanntes High Shape Factor Rolling bezeichnet. Bild 2 zeigt dazu ein Beispiel. In beiden dort dargestellten Fällen wird der gleiche absolute Verformungsgrad aufgebracht – jedoch im rechten Fall nur in drei Schritten, im linken Fall dagegen mit 12 Schritten. Deutlich sieht man wie sich bei der „kleinteiligen“ Umformung die Deformation im Randbereich konzentriert und die hier simulierten Inhomogenitäten nicht ausreichend geschlossen werden können.

Dieses Walzen mit hohen Stichabnahmen setzt aber auch hohe Anforderungen an die Anlagentechnik, d.h. es müssen auch Walzgerüste mit entsprechend hohen Walzkräften zur Verfügung stehen.

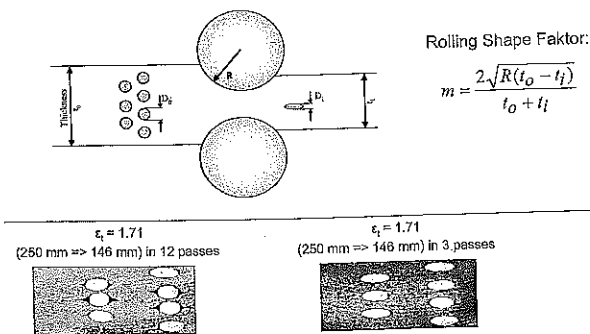


Bild 2: Einfluss des Walzens mit hohen Stichabnahmen (High-Shape-Factor-Rolling)

Nach dem Walzen schließt sich in den meisten Fällen noch eine Wärmebehandlung an, mit dem die Gefü-

gestruktur weiter homogenisiert wird bzw. die notwendigen mechanischen Eigenschaften eingestellt werden. Für klassische Baustähle und Druckbehälterstähle ist dies vor allem das Normalisieren. Aber auch vergütete Stahlsorten können so in großen Dicken hergestellt werden und werden in Sonderanwendungen eingesetzt, so z.B. ein S690QL in Dicken bis zu 250 mm.

Aus dem oben Gesagten wird schon klar, dass der Ausgangsdicke des verwendeten Halbzeugs wesentliche Bedeutung zur Erzeugung einer hohen Qualität von dicken Grobblechen zukommt. So stehen heute Stranggussbrammen bis zu einer Dicke von 400 mm zur Verfügung. Um die notwendigen Verformungsgrade bei extrem dicken Grobblechen darzustellen, wird aber auch auf den klassischen kontinuierlichen Blockguss zurückgegriffen, der in Dicken bis etwa 1000 mm verfügbar ist. Nur so kann die notwendige Qualität von extrem dicken Grobblechen dargestellt werden, auch wenn dieser Blockguss auf Grund des aufwendigeren Prozesses und vor allem auch des wesentlich niedrigeren Ausbringungsverhältnis zwischen Fertigblech und Rohstahl mit höheren Kosten verbunden ist.

Bild 3 stellt das Prinzip des Blockgusses skizzenhaft dar.

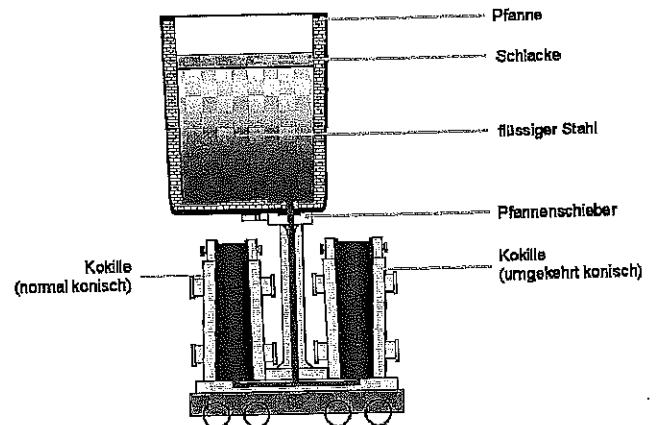


Bild 3: Schema des Blockgusses

Da bei dickeren Blechen die aufgebrachten Walzverformungen notwendigerweise geringer sind als bei dünneren Blechen kommt aber auch der eigentlichen Stahlerzeugung im flüssigen Zustand eine gesteigerte Bedeutung zu. Hier muss konsequent das Ziel verfolgt werden, die Gehalte an unerwünschten, die Stahleigenschaften schädigenden Begleitelemente auf ein möglichst niedriges Maß zu beschränken. Hierzu dient vor allem eine umfangreiche sekundärmetallurgische Behandlung nach dem eigentlichen Frischprozess, wobei einer Vakuumbehandlung in Verbindung mit einer Homogenisierung durch das Einleiten von Argon besondere Bedeutung zukommt.

Ein Beispiel des Einflusses von Begleitelementen auf die mechanischen Eigenschaften ist in Bild 4 dargestellt. Schwefel wirkt sich sehr schädlich auf die erzielbaren Kerbschlagarbeitswerte aus und sollte des-

halb im Zuge der sekundärmetallurgischen Behandlung so weit wie möglich entfernt werden.

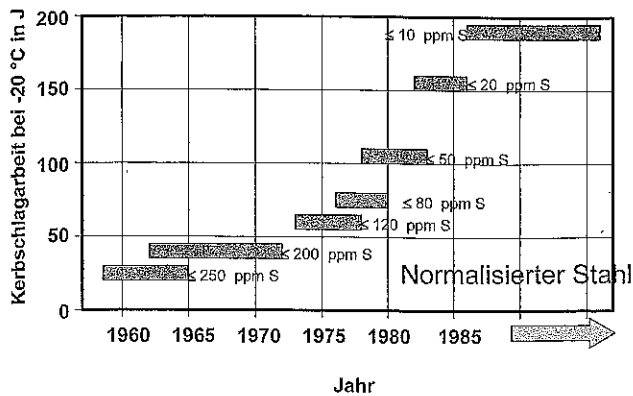


Bild 4: Einfluss des Begleitelementes Schwefel auf das erzielbare Niveau der Kerbschlagarbeit

3 Mechanische Eigenschaftswerte von dickeren Blechen

Nimmt man einen klassischen Baustahl S355J2 nach der Norm DIN EN 10025-2 [3] als Beispiel, so erkennt man, dass nach Normanforderung die minimale Streckgrenze mit zunehmender Erzeugnisdicke abnimmt. Dies ist damit begründet, dass mit wachsender Erzeugnisdicke bei gleicher chemischer Zusammensetzung die erzielbaren Festigkeitswerte abnehmen. Auf der anderen Seite werden dem Verarbeiter durch diese degressive Definition der Streckgrenzenwerte relativ ähnliche chemische Zusammensetzungen über den ganzen Dickenbereich ermöglicht mit relativ geringem Einfluss auf die werkstoffimmanente Größe der Schweißseignung.

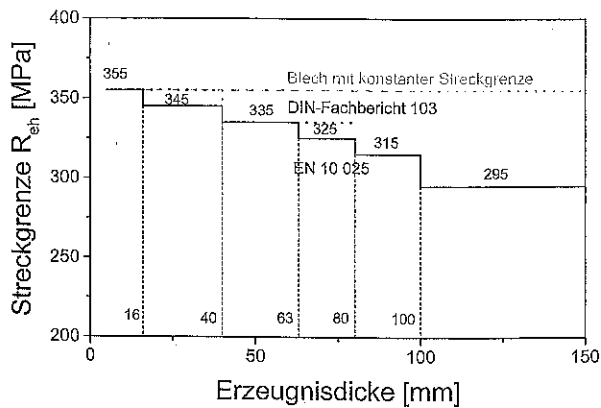


Bild 5: Minimale Streckgrenzenwerte eines Baustahls S355J2 nach DIN EN 10025-2

Das oben Gesagte gilt vor allem für normalisierte Stähle. Bei vergüteten Stählen muss berücksichtigt werden, dass sich die zur Härtung notwendigen Abkühlgeschwindigkeiten zwischen Oberfläche und Kernmitte wesentlich unterscheiden, sodass zur Sicherstellung einer ausreichenden Durchhärtung im Blechkern bei dickeren Blechen im stärkerem Umfang mit Elementen, die die kritische Abkühlgeschwindigkeit zur Martensitbildung herabsetzen, le-

giert werden muss. Dies hat natürlich auch Einfluss auf die Schweißseignung.

4 Anwendungsbeispiele

Viele technische Anwendungen werden durch die oben beschriebenen dickeren Grobbleche erst ermöglicht. Dies gilt vor allem, wenn auf die Anlagen, die aus den Grobblechen gebaut werden, so hohe Kräfte wirken, dass diese durch entsprechend große Wandstärken aufgefangen werden müssen. Beste Beispiele hierzu sind Druckbehälter oder Dampfkessel unter entsprechend hohen Betriebsdrücken. In solchen Anwendungsfeldern bilden dicke Grobbleche aber auch eine Alternative zu klassischen Schmiedeprodukten.

Aber es gibt auch Anwendungen, in denen dickere Grobbleche zusammengesetzte Schweißkonstruktionen aus dünneren Blechen ersetzen können. In solchen Fällen müssen die Konstruktionen aus dickeren Blechen ihre höhere Wirtschaftlichkeit bzw. Sicherheit gegenüber den klassischen Konstruktionsformen beweisen.

Ein typisches Beispiel hierzu stellt der Stahl- bzw. Verbundbrückenbau dar. Bei mehrfeldrigen Brücken kommen häufig Durchlaufträger zur Anwendung. Die großen auftretenden Kräfte insbesondere in den Pfeilerbereichen erfordern, dass die Träger der Brücke mit entsprechend hohen Widerstandsmomenten konstruiert werden. Da meist aus Gründen der Fertigung bzw. der Montage eine konstante Trägerhöhe bevorzugt wird, müssen die Flanschdicken über den Pfeilern entsprechend ausgeführt werden. Dies kann zu notwendigen Flanschdicken von bis zu 150 mm und in Einzelfällen sogar mehr führen.

Zum einen besteht die Möglichkeit solche Flanschdicken durch das Zusammenfügen von mehreren dünnen Blechen zu Lamellenpaketen darzustellen. Der Ersatz durch ein einziges, entsprechend dickes Grobblech bietet mehrere Vorteile: Zum einen wird die Fertigung wirtschaftlicher und schneller, da auf die notwendigen Verschweißungen der Lamellen untereinander durch Umfangsnähte verzichtet werden kann. Zum anderen kann der Materialeinsatz geringer sein, da bei Lamellenkonstruktionen die Basislamellen oft eine zusätzliche Breite zum Aufschweißen der Zusatzlamellen aufweisen müssen. Die stumpf aus dicken Grobblechen gestoßenen Konstruktionen weisen ferner eine bessere Ermüdungsfestigkeit auf. Die Stumpfnahht ist nach DIN-Fachbericht 103 in die Kerbkategorie FAT 90 eingeteilt (sofern die Nahtüberhöhung 10 % der Nahtbreite nicht übersteigt), während ein Stoß von Lamellenpaketen in Kerbkategorie FAT 71 eingestuft ist [4].

Ein typisches Beispiel zur Verwendung von dicken Grobblechen im Untergurt von Verbundbrücken mit offenen Stahlträgern für französische Eisenbahnhochgeschwindigkeitstrassen zeigt Bild 6. Dabei

Verformungseigenschaften in Dickenrichtung ausgeführt werden. In diesem Fall kam deshalb eine Stahlgüte S355J2G3+Z35 in 250 mm Dicke zur Anwendung.

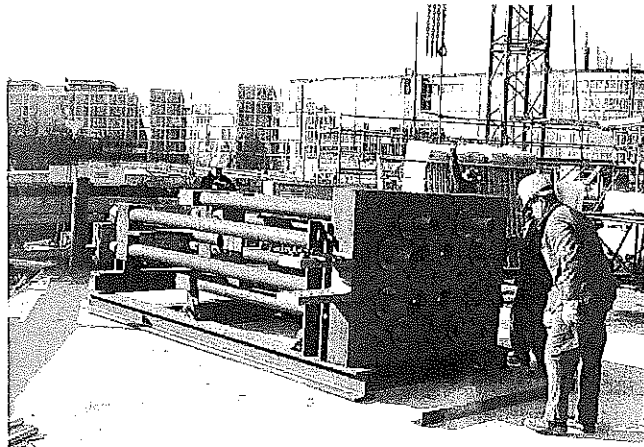


Bild 10: Bodenplatte aus S355J2G3+Z35 bei den Hochhäusern der Münchner Business Towers

Neben dem klassischen Stahlbau ist der Anlagenbau das wichtigste Anwendungsgebiet von dicken Grobblechen. Ein Beispiel sind die Turbinen von Wasserkraftwerken. Sogenannte Francis-Turbinen können heute Leistungen bis 700 MW erreichen. Das eigentliche Laufrad dreht sich dabei in einem Schneckengehäuse, von dem aus das Wasser auf das Laufrad gelenkt wird. Nach innen wird das Schneckengehäuse durch eine Doppelringkonstruktion mit dazwischen geschweißten Leitschaufeln begrenzt. Für diese Doppelringe kommen bei großen Anlagen Grobbleche bis zu Dicken von 250 mm zur Anwendung. Bild 11 zeigt ein Beispiel dieser Konstruktion, hier für das chinesische Laxiwa-Kraftwerk am Gelben Fluss. Für die Ringe kamen dort Blechstärken bis 190 mm in dem vergüteten Feinkornbaustahl S550Q zum Einsatz.

Ein anderes Beispiel aus Wasserkraftwerken ist in Bild 12 dargestellt. In den Fallrohren, auch Penstocks genannt, wird das Wasser aus den Oberbecken beschleunigt. Am Ende dieser Fallrohrleitungen wird der Wasserstrom oft durch einen oder mehrere Verzweiger, die Hosenrohre, aufgeteilt und so auf mehrere Turbinen geleitet. Zentrales Bauelement dieser komplexen Schweißkonstruktionen ist das entsprechend große Lasten aufnehmende Sichelblech, an dem die Verzweigerrohre in Dickenrichtung angeschweißt werden. Deshalb werden diese Sichelbleche oft nicht nur in großen Dicken als hochfeste vergütete Stähle ausgeführt. Durch die schweißtechnisch bedingten Kräfte in Blechdickenrichtung sind meist auch zusätzliche Anforderungen an die Verformung in Dickenrichtung zu erfüllen.

Bild 12 zeigt so das Hosenrohr eines Pumpspeicherkraftwerks in der Schweiz, für welches als Sichelblech die Stahlgüte S690QL mit zusätzlichen Verformungseigenschaften in Dickenrichtung Z35 in einer Dicke von 210 mm verwendet wurde.

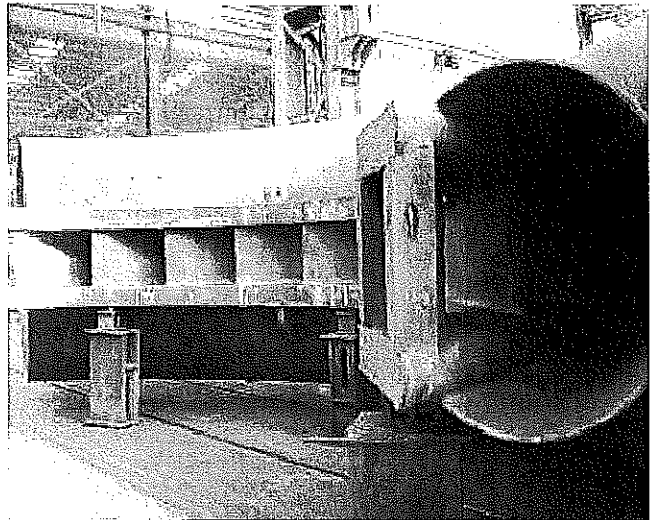


Bild 11: Schneckengehäuse für das chinesische Wasserkraftwerk Laxiwa

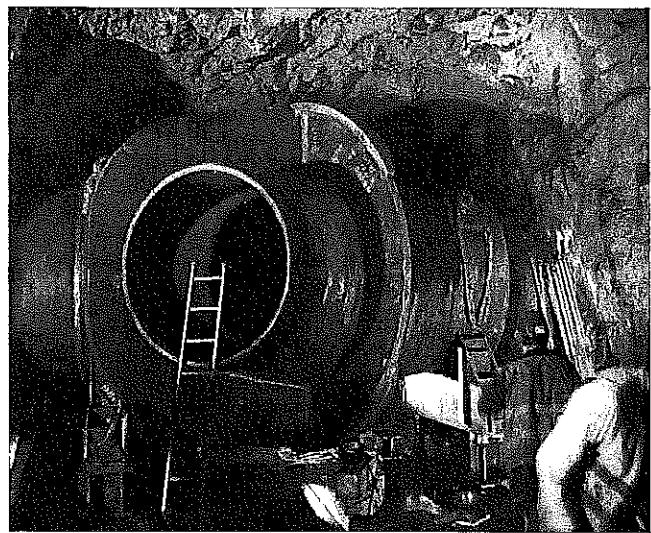


Bild 12: Hosenrohr für das Wasserkraftwerk Tierfehd-Limmern (Schweiz) mit Sichelblech S690QL+Z35 in 210 mm Dicke.

Nach wie vor stellen aber Reaktoren des chemischen Apparatebaus sowie der Kraftstofferzeugung eine Schlüsselanwendung von dicken Grobblechen dar. Die dort laufenden Prozesse finden oft unter hohen Drücken und Temperaturen statt, die nur durch entsprechende Blechdicken aufgefangen werden können.

In Fischer-Tropsch-Anlagen, in denen Erdgas zu flüssigen Kohlenwasserstoffen und anderen Wertstoffen umgewandelt werden, finden in den Druckbehältern so Stahlbleche bis zu Dicken von 150 mm in der warmfesten Stahlgüte 20MnMoNi4-5 Verwendung. Solche Reaktoren können Durchmesser bis zu 7000 mm erreichen. Dies resultiert in Mantelschüssen, die bei ausreichender Schussbreite oft Stückgewichte erreichen, die als Einzelblech nicht mehr herstellbar sind. Eine Möglichkeit zur Fertigung besteht deshalb darin, zwei Bleche zunächst durch Stumpfstoß miteinander zu verbinden, und dann auf einer Biegemaschine zu einem Mantelschuss umzuformen. Dabei existieren durchaus Anlagen, die auch bei der oben

kommt in solch großen Dicken eine Stahlgüte S355NL, d.h. mit einer nachgewiesenen Kerbschlagarbeit von 27 J bei -50°C , zum Nachweis einer ausreichenden Sprödbruchsicherheit zum Einsatz.

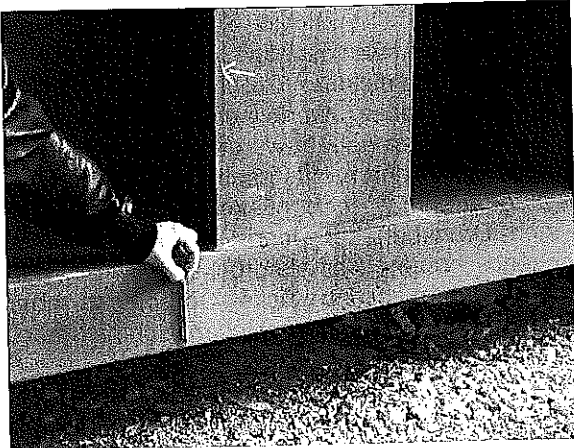


Bild 6: Verbundbrücke mit geschweißtem T-Träger und 150 mm Flanschdicke

Ein besonderes Beispiel der Verwendung von dicken Grobblechen stellt Bild 7 dar. Bei diesen Eisenbahnbrücken in England im Spannweitenbereich bis 20 m wird die Stahlkonstruktion als Trog durchgeführt – als Bodenblech dient ein Grobblech bis zu 150 mm. Darauf werden die Stege und darauf wieder der Obergurt mit Dicken bis zu 100 mm aufgesetzt. Die Vorteile der Konstruktion liegen auf der Hand: Effiziente schweißtechnische Fertigung sowie bedingt durch die hohe Masse ein gutes Vibrationsverhalten und damit niedrige Geräusentwicklung. Der größte Vorteil ist aber, dass die Bauhöhe dieses Brückentyps extrem niedrig ist, so dass er gut beim Ersatz von bestehenden Konstruktionen in Städten genutzt werden kann, um Durchfahrtshöhen zu gewinnen. Entsprechende Brückentypen existieren auch schon in Deutschland und Österreich.

Eine besondere Anwendung von dicken Grobblechen ergibt sich in sogenannten Schrägseilbrücken. Im Kopf der Pylone werden dort die Schrägkabel an aufwendigen Schweißkonstruktionen befestigt, die wegen der hohen Lastaufnahme aus dicken, oft hochfesten Grobblechen ausgeführt sind. Dabei werden die Bleche auch stark in Dickenrichtung beansprucht, weshalb sie in erhöhten Verformungseigenschaften in Dickenrichtung, sogenannten Z-Güten, spezifiziert werden. Bild 8 zeigt ein Beispiel einer solchen Brücke, die neue Samuel-Beckett-Brücke in Dublin. Dort kamen im Pylonkopf Grobbleche der hochfesten Güte S690QL in 180 mm Dicke mit Z35-Eigenschaften zur Anwendung.

Aber nicht nur im Brückenbau kommen zunehmend dicke Grobbleche zur Anwendung. Auch Stützen in Stahlskelettkonstruktionen, die das Traggerüst in Hochhäusern bilden, profitieren von solchen Stahlzeugnissen. Ein Beispiel ist die Ausführung von massiven Kastenstützen aus dicken Grobblechen, wie sie in Bild 9 am Beispiel eines Wolkenkratzers in Moskau gezeigt wird. Solche massive Kastenstützen erlauben

eine besonders schlanke Bauweise und damit einen minimalen Platzverbrauch für die Stahlkonstruktion.

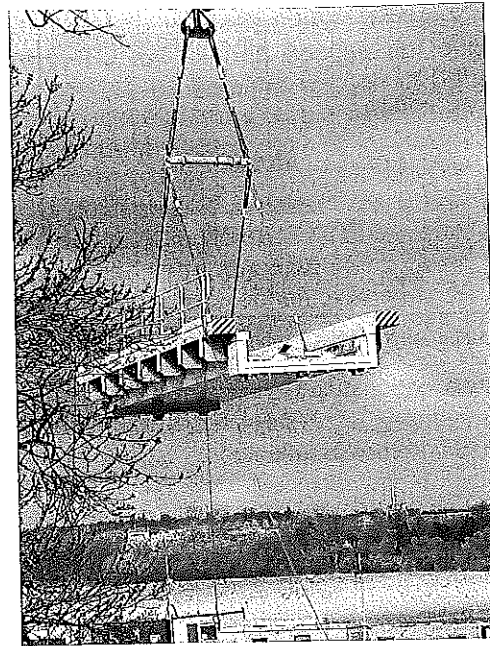


Bild 7: Trogbücke mit dickem Bodenblech, S355NL, 150 mm

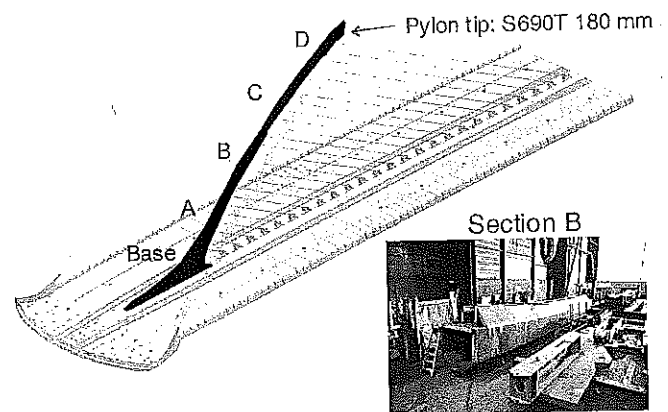


Bild 8: Samuel-Beckett-Brücke in Dublin mit 180 mm dicken Grobblechen S690QL+Z35 in den Pylonköpfen (Foto: Hollandia BV)

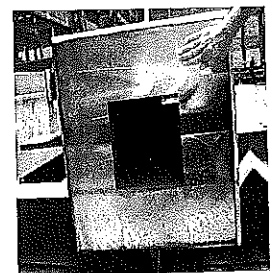
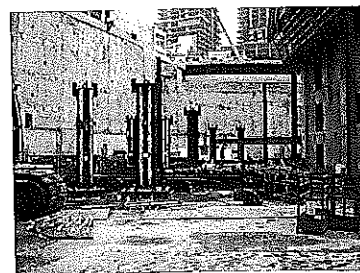


Bild 9: Massive Kastenstützen eines Hochhauses in Moskau

Ein anderes Beispiel aus dem Hochhausbau ist in Bild 10 dargestellt. Die Stahlstützen werden auf sogenannten Bodenplatten aufgeschweißt, welche wiederum über Erdanker in den Betonfundamenten befestigt werden. Bild 10 zeigt eine solche Bodenplatte mit Erdanker der Münchner Business Towers. Da diese Bodenplatten beim Schweißen in Dickenrichtung beansprucht werden, müssen auch diese mit erhöhten

angesprochenen Dicke diese Verformung noch im kalten Zustand durchführen können. Bild 13 zeigt exemplarisch die Verformung eines solchen Schusses, zusammengesetzt aus zwei Einzelblechen.

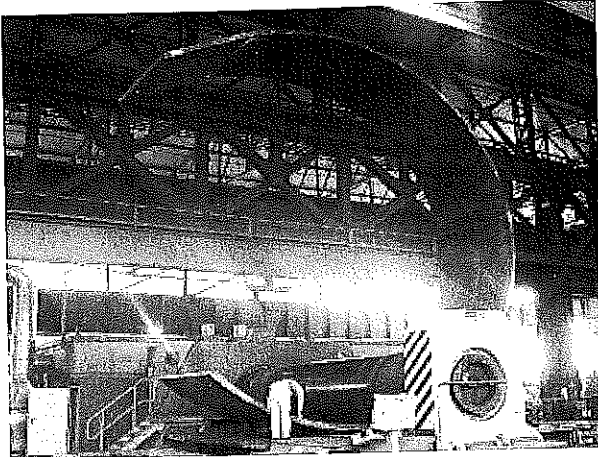


Bild 13: Umformung eines Mantelschusses für das Pearl Gas-to-Liquid Projekt (Quatar) mit ca. 7000 mm Innendurchmesser

Ein anderes Beispiel eines Reaktors ist in Bild 14 gezeigt. Der Hydrogenation-Reaktor für eine Fettsäure-Anlage arbeitet bei einem Betriebsdruck von 280 bar und bei Temperaturen von 250°C. Dazu ist der Reaktor in der Stahlgüte 12CrMo9-10 in Dicken bis zu 206 mm ausgeführt.

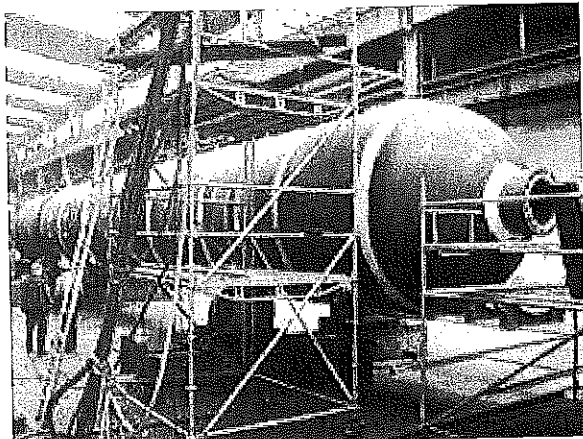


Bild 14: Reaktor für eine Fettsäure-Anlage

5 Zusammenfassung

Die metallurgischen Entwicklungen der letzten Jahrzehnte erlauben heute die Herstellung von Grobblechen in einem besonders hohen Dickenbereich. Davon profitieren nicht nur die klassischen Anwendungen solcher Bleche im schweren Anlagen- und Apparatebau. Insbesondere im Stahl- und Brückenbau werden dadurch auch konstruktive Lösungen ermöglicht, die fertigungstechnische Vorteile gegenüber aufwendigeren Schweißkonstruktionen aus dünneren Blechen aufweisen.

Voraussetzung dazu ist aber, dass diese Produkte gemäß einer besonderen Verfahrensrouten hergestellt werden, die ihre mechanisch-technologischen Eigenschaften aber auch ihre hinreichende Homogenität sicherstellen. Nur so kann garantiert werden, dass diese Produkte das an sie gestellte Anforderungsprofil homogen mit der notwendigen Zuverlässigkeit erfüllen.

6 Literatur

- [1] DIN 18800-1, Stahlbauten: Bemessung und Konstruktion, Deutsches Institut für Normung, November 1990
- [2] ASME Boiler and pressure vessel code: Specification for general requirements for steel plates for pressure vessel, SA-20, SA-20M, 2006
- [3] EN 10025-2, Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustähle, Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle, November 2004
- [4] DIN-Fachbericht 103 Stahlbrücken, Beuth-Verlag, 2. Ausgabe 2003