

7 鋼板使用にあたっての参考事項

製造者から納入された鋼板は、所定の切断、曲げ加工などの加工工程と溶接を主体とする組立工程、ショット塗装などの仕上げ工程など諸工程を経て、各種構造物に仕上げられ、それぞれの用途に供される。

ここでは、加工、溶接時および構造物としての使用時における鋼板の材質変化について参考として若干紹介したい。

7・1 加工

7・1・1 切断加工

切断加工には、せん断力を利用したシャー切断とガス炎による酸化溶融を利用したガス切断が主として使用されている。

1) シャー切断

シャー切断は、下刃と上刃間に鋼板をそう入し、強力なせん断力で切断するため、せん断部近傍は塑性加工により硬化し、脆化する。せん断面の形状は、図53に示すように破断面bは凹凸の多い面となっており、また、破断面下部にはdで示されるかえりがある。

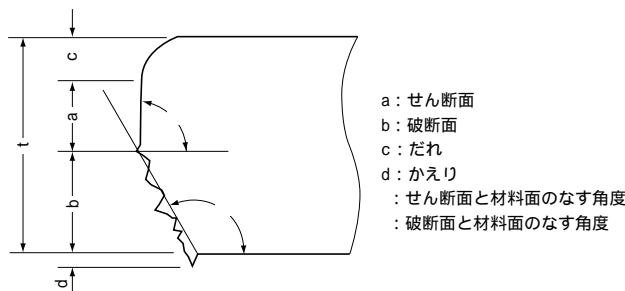


図53 せん断面形状

したがって、シャー切断ままで曲げ加工する場合、破断面が内側（圧縮側）になるように加工するか、あるいはかえりの部分をグラインダで除去し破断面先端のコーナ部に丸みをつけた後、曲げ加工するなどの曲げ加工割れへの配慮が高張力鋼板や曲げ半径比（ r/t ）の小さい場合には必要である。

せん断したブランク材の割れ発生状況を模式的に図54に示す。

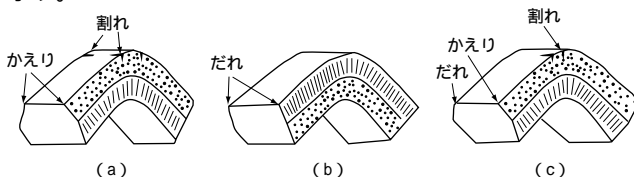


図54 せん断したブランクと割れ発生状況⁵⁴⁾

2) ガス切断

ガス切断面近傍は高温に急熱、急冷されるため、焼入硬化をおこすと同時に膨脹と収縮により、内部応力あるいはひずみ変形を発生する。切断部の熱影響部は、通常、トーチ側表面で3~4mm、裏面で1~2mmであり、硬化の度合は切

断条件によっても異なるが、主として板厚と炭素当量に支配される。

各種溶接構造用鋼板の自動ガス切断部の硬度分布の一例を図55に示す。炭素当量の高い780N/mm²級鋼板では最高硬さはピッカース硬さで400を超えている。このような鋼板を曲げ加工する場合には、グラインダなどで切断面コーナ部に丸みをつけ、割れ防止を図る必要がある。

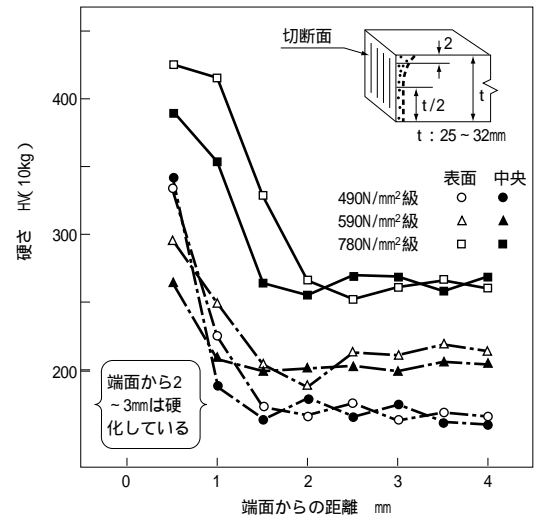


図55 ガス切断面の硬さ分布の例⁵⁵⁾

また、特に留意すべき点として、C含有量の比較的高い機械構造用炭素鋼板やCr-Mo鋼板、9%Ni鋼板などの厚肉鋼板を室温でガス切断すると切断面に微小割れを発生することがあるので、ガス切断時には予熱あるいは後熱などを行い割れの防止を図る必要がある。

この割れの深さは、1~3mmがほとんどであり、ガス切断による熱影響部内で停止しているものが多い。割れの除去は、グラインダやチップングによって行うことが必要で、ガウジングによる除去は侵炭とガウジング熱であらたな割れを生じる可能性が高いので注意しなければならない。

7・1・2 曲げ加工

曲げ加工方法には、常温で曲げる冷間曲げ、熱間で曲げる熱間曲げ、炎加熱による曲げがある。

1) 冷間曲げ

冷間曲げは、図56に示すように、プレス、曲げロール、溝形ロールなどによる機械的加圧で鋼板に降伏点以上の曲げひずみをあたえて行われる。

曲げ加工時の外側表面に生じる平均曲げひずみ（ t ）は、次式であらわされ、 t と板厚、曲げ半径との関係は図57のようになる。

$$t = \frac{1}{1+2r/t} \times 100 \quad \frac{t}{2r} \times 100 (\%)$$

t : 板厚、 r : 曲げ半径

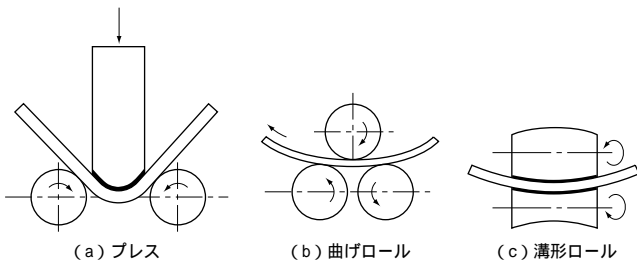


図56 冷間曲げ加工

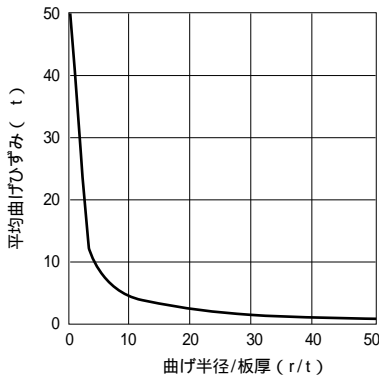


図57 板厚、曲げ半径と曲げひずみの関係⁵⁶⁾

このことは、板厚が厚いほど、曲げ半径が小さいほど曲げひずみが大きくなり、曲げ割れが生じやすくなることを示している。

また、材質、曲げ方向（鋼板の圧延方向に曲げるかどうか）、曲げ角度、板幅、端面の状況および表面の状況なども割れ発生に影響をおよぼす。すなわち、

- (1) 材質面では、高強度材ほど曲げ加工Lにくく、割れを生じやすい。
- (2) 曲げ方向では、鋼板の圧延方向に直角の方向（T方向）は熱間圧延によって長く延ばされた介在物を伝って割れが進展しやすく、曲げ性やフランジ性が圧延方向に比べて劣っているため、圧延方向（L方向）に比べ割れを生じやすい。
- (3) 曲げ角度が大きくなると塑性変形による硬化域がひろくなるため、また、板厚に対する曲げ半径比（ r/t ）の小さいものでは塑性変形量が大きくなるため割れやすくなる。
- (4) 曲げ加工は、2軸方向応力が表面に作用するため、板幅がひろくなるにしたがって、端部の収縮による伸びの緩和効果が少なくなり、割れを生じやすくなる。
- (5) 端面は、通常シャープあるいはガス切断された面であることが多いが、前者では塑性変形による硬化のため、また、後者では溶断時の急熱、急冷による硬化のために曲げ延性が劣化しているため、割れやすい。
- (6) 表面は、黒皮ままあるいはブラストで除錆した面の場合が多いが、ヘゲ、かききずなどが表面に存在するとその欠陥部を起点に割れを生じる。また、ブラスト後の鋼板表面は、図58に示すように、表面から約0.5mmの範囲にわた

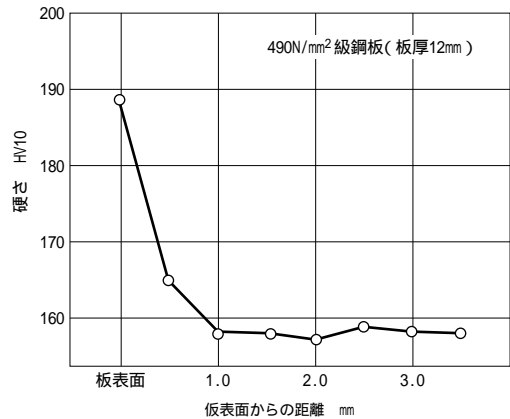


図58 ショットブラスト鋼板の表面硬さ分布

って硬化しているため圧延ままの鋼板に比べて曲げ半径で約0.5tほど悪くなる。

以上の諸条件を考慮し、高強度で幅広の鋼板の曲げ加工を行う場合には、L方向曲げとなるように鋼板を採取すること、曲げ半径を大きくとること、端面のシャープや溶断で硬化した部分をグラインダで除去することなどの処置を曲げ加工前に講じておくことが望ましい。

2) 熱間曲げ

鋼板を加熱すると変形能が増し、変形抵抗が減少するため曲げ加工が容易となり、また、加工硬化も生じない。

したがって、熱間では大きな曲げひずみを与えることができ、板厚や板幅の大きい場合でも曲げ半径を小さくした鋭角の曲げが可能であり、また、必要とする加圧力も小さくてすむ。

しかし、鋼には200～300 で強度が増し、延性、靱性が低下する青熱脆性域および950 付近で認められる赤熱脆性域があるので、その範囲あるいは近傍での加工は避けるべきである。

青熱脆性および赤熱脆性の一例を図59に示す。青熱脆性は、析出硬化の一種と考えられ、赤熱脆性は、S、Cu、Snなどの元素の存在により発生するといわれている。

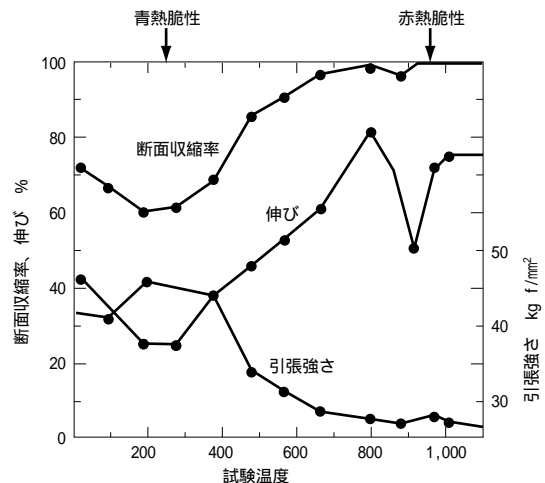


図59 高温における軟鋼の強さ⁵⁷⁾

したがって、加工を容易にするには加熱温度をなるべく高くすることが望ましいが、これらの脆化に配慮して、通常800～900の温度範囲が適用されている。

ただし、調質型鋼板の場合には、焼戻し温度以上に加熱すると熱処理効果が失われるので、加熱温度を焼戻し温度以下とし、温度管理にも十分配慮する必要がある。

3) 炎加熱による曲げ

鋼板にガス炎などで局部的に加熱、冷却の操作を与えると、機械的に加圧しなくても曲げ加工することができる。橋桁や鉄骨などのひずみ取りや船体外板の曲面形成加工などに用いられる線状加熱がその例である。詳細は省略するが、一般に、ガス加熱部は加熱後空冷した場合には軟化し、水冷した場合には水冷開始時の温度が高いと硬化し、脆化する。

なお、調質型鋼板では、焼戻し温度以上に加熱すると熱処理効果が失われるので温度管理には十分注意する必要がある。

7・2 溶接

近年、鋼構造物はほとんど溶接によって組立てられている。

溶接構造物の破壊事故は、第二次大戦でのリパティ型船の脆性破壊事故が有名であり、これを契機として溶接構造について調査、研究が行われ、母材特性、溶接性、継手特性などへの要求値が検討された。

溶接構造物の安全性を保证するには、溶接性の優れた鋼板の選択は重要であるが、同時に設計および溶接材料を含む溶接施工法などにも十分配慮する必要がある。

7・2・1 硬化と軟化

溶接構造物において、溶接部の割れを防止し、かつ延性を向上させるには、熱影響による硬化を最小限におさえる必要がある。また、溶接継手部の所要強度を確保し、さらに疲れ強度の低下およびボンド部の脆化を極力防ぐには、著しい軟化も避けなければならない。

溶接部の硬化、軟化には鋼材の炭素当量および溶接時の冷却速度が大きく関与しており、炭素当量が高くなるほど、また、溶接時の冷却速度が速いほど硬化する。

溶接継手部の硬化と軟化の一例を溶接継手部の硬さ分布の形で図60および図61に示す。また、硬化性の指標である炭素当量と溶接熱影響部の最高硬さとの関係を図62に示す。

通常、高張力鋼板、圧力容器用鋼板などの溶接施工では、適切な予熱を行って、継手部の硬化を少なくして溶接割れの防止を図っている。590N/mm²級鋼板の溶接初期温度と最高硬さとの関係の一例を図63に示す。

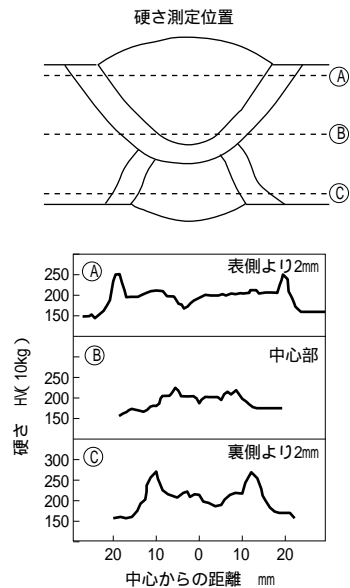


図60 SM490(SM50)鋼板両面溶接継手部の硬さ分布⁵⁸⁾
(手溶接)

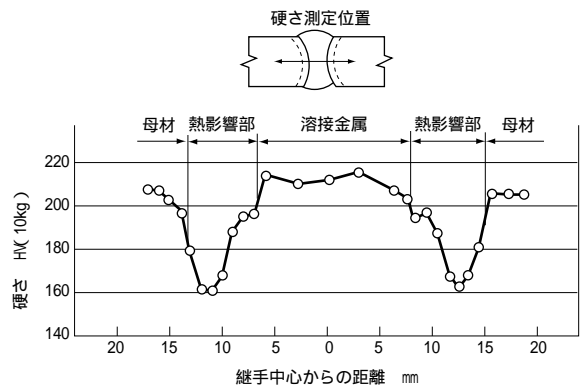


図61 SPV490Q (SPV50Q) 鋼板溶接継手部の硬さ分布⁵⁹⁾
(自動溶接)

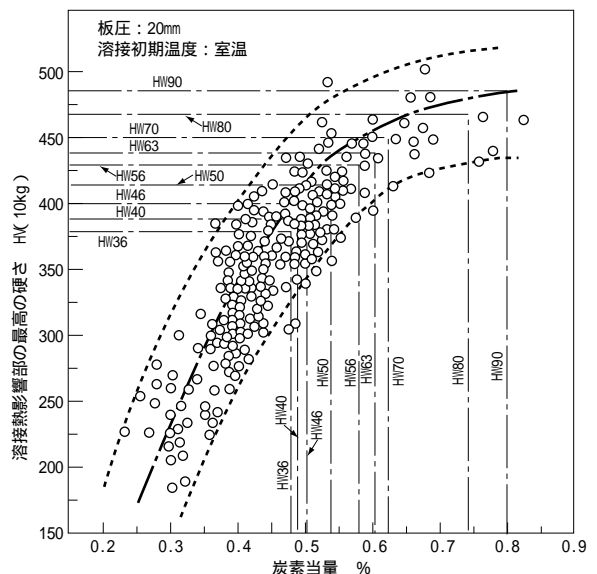


図62 鋼材の炭素量(Ceq)と最高硬さとの関係⁵⁹⁾

注) $Ceq = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14}$ (%)