

技術・研究トピックス/談話室

文 献

- 1) 日本機械工業連合会, 宇宙環境利用推進センター: 無重力落下実験施設活用に係わる調査研究報告書 (平成 3 年 3 月)

談 話 室

自動車用板材としての炭素鋼と
アルミニウム合金

木 原 諄 二

東京大学工学部教授 工博

1. 自動車の軽量化と自動車用板材

自動車の軽量化は燃費向上の有力な手段の一つとして考えることができる。オイルショック後、自動車用鋼板の高強度化がはかられ、自動車の軽量化に貢献し燃費の改善に役立ってきた。

現在も高強度化と成形性向上の努力は続けられ、このような自動車用鋼板を製造し、かつ不断に性能向上の開発努力をする鉄鋼業を背景に、日本の自動車の進歩が保証されているといっても過言ではない。

しかし、CO₂ 規制問題の登場とともに、自動車の燃費はさらに一段の向上を求められるようになった。

比重 7.8 tMg/m³ の鉄を主体とする鋼は、重厚長大の典型のように思われ、航空機用材料の主流であるアルミニウム合金に代替することにより、格段の軽量化がはかれるという期待が高まっている。

事実、ある自動車メーカーが外板をはじめとして、かなりのアルミ化を行ったスポーツ車を発表し話題を集めたのは、ごく最近のことであった。

筆者は、今夏、学生を引率し主としてアルミニウム合金の外板を供給した会社の工場を見学した折、話題のスポーツ車とそのホワイトボデーを親しく目で見、手で触れる機会に恵まれた。

見学の折の解説により、自動車のプレスラインや塗装ラインで鋼製車と混然と流れていくことができる自動車用アルミニウム板材の供給を実現することが、アルミニウムメーカーの目標であることがわかった。

とくに板成形のプレスラインでの成形の容易さの面で、鋼板はアルミニウム合金板に対して、かなり有利な特性を有している。その点において、筆者は鋼製車とアルミニウム車とがラインで混流して製造されるようになるかどうかについては、やや大きな疑問をもっている。

そこで、アルミニウム合金板がプレス成形性の面でどのような特徴を有していて、自動車用板材として鋼板とどのように異なるかについて、思いつく問題点をあげてみることにする。筆者はかつて 1969 年に開催された第

9 回西山記念技術講座「薄板の成形性」において、「薄板の成形性と材質特性」を講義する機会を与えられ、鋼板を主体にアルミニウムなどの面心立方金属材料やチタン板などの成形性の比較を行ったことがある。それを引っ張り出して、この稿を書いているが、本質的なところは現在も通用すると自負している。もし機会があればそのテキストを一読されることをお奨めしたい。

2. 自動車用板材と塑性異方性

板から、自動車外板のような凹凸のあるボデーやオイルパンのような容器を成形する場合、曲げは別として、周囲を絞って（輪郭線を小さくして）余った面積を板面から外へそり立たせるか、輪郭線はそのままで輪郭線の内部に面積を発生させて、同じく余った面積を板面から外へそり立たせることになる。前者は絞りと呼ばれ後者は張出しと呼ばれる。

絞りを行う場合、通常は板面にポンチを押しつけて外へ移動させながら周囲から材料を引きずり込んで変形を進行させる。従って、ポンチを押しつけている周囲が破れないかぎり、周囲から材料を呼んで来ることができるので、絞りはポンチを押し当てている周囲の変形強度が、周囲からの材料の流入抵抗より高い限り成功する。ポンチまわりの変形強度は板を張り出して薄くする変形に対する抵抗力であり、周囲からの流入抵抗は、円周方向に圧縮させられる変形に対する抵抗である。

したがって、この二つの異なる変形に対して抵抗差が大きくなる、つまり薄くなることにに対して抵抗が大きく、円周方向に圧縮させられることにに対してそれほど抵抗が大きくないような特性を持っていれば、絞りプロセスをうまく使ってプレス成形を完成させることができる。

このような異なる変形様式に対する抵抗の差の大きいことを塑性異方性大きいと言う。US スチール（現 USX）に居たランクフォードは 1948 年に引張試験の際の切れ方が対照的な二つの鋼板があることに気がついた。一つは切れるとき板幅方向に少しもくびれないで厚さ方向にだけくびれて切れ、他の一つは反対に幅が著しく減少して、幅方向に主としてくびれて切れる板材であった。これを念のため台紙に貼って保存しておいたが、1950 年に US スチールがインターナショナルハーベスタからフェンダー用板材の成形性についてのクレームを持ち込まれたとき、彼はこのしまっておいた二つの試験片のことを思い出した。さっそく、クレームのつかなかったロットとついたロットについて引張試験をしてみると、クレームのついたロットの板は幅方向にくびれず厚さ方向にのみくびれる板であった。これから彼は、幅方向に変形のしやすい板が絞り加工に向いた板だと直観し、絞り成形性の指標として、引張りひずみ 20%のときの幅方向ひずみの厚さ方向ひずみに対する比が適切であることを提唱し、この比を r 値と称することを提

案した。以上のエピソードは筆者がランクフォードを 1980 年に訪れたとき直接聞き出したものである。これが r 値の由来であるが、爾来この r 値の高い鋼板を製造することが、鋼板メーカーの最大努力目標の一つとなったことはよく知られている事実である。

一方の張出し特性は、材料の延性そのものであるが、筆者は西山記念技術講座で講義をした当時、延性にも方向性があることに気がつき、しかもそれがアルミニウム合金などが属する面心立方金属において顕著にあらわれることを見つけ出した。この点、板面内の全方向の延性が均一で大きいことが板の張出し変形を大きくとれることに通じるのに、面内異方性をもつような面心立方金属の場合にはそれが実現できないという困難がある。

以上要するに、板のプレス成形性に関して、 r 値が大きい異方性はたいへん好ましく、延性に面内方向性が生じるような異方性はきわめて好ましくないということになる。また板を絞っていくとしわが発生するが、もし、円周方向に変形が容易であるすなわち r 値が高いと、しわも出にくいということになる。 r 値を高める努力がいかに大切であるかがわかる。そして、 r 値さえ高ければ延性がさほどなくても、材料の変形のパフォーマンスは塑性さえあれば強度比で保証される。この点も鋼板の高張力化にあたって r 値を維持する努力をすれば、いわゆる強度-延性バランスを改善しなくても成形可能な板材を生産することができる由縁である。

3. 異方性の結晶学

鋼の組織の主体であるフェライト相は体心立方晶に属し、アルミニウム合金は面心立方晶に属す。

鋼板を製造するプロセスは、熱間圧延板を冷間圧延しそれを焼鈍する。その最終段階で板面に (111) 面 (立方晶の体対角線の方向を法線とする面) が平行な結晶粒と、(100) 面 (立方晶の稜線の方向を法線とする面) が平行な結晶粒とが共存する組織ができ上がる。結晶塑性学上の手続きを捨象して結論を述べると、前者は r 値を高める作用、後者は r 値を低める作用をする。前者は面内に 6 面对称の構造をもたらすので、仮に延性の異方性があるにしてもそれは極々小さいことが期待できる。鋼板の開発史は、まさに強度の高低にかかわらず、(111) 面を板面にそろえる努力の歴史であると言って過言ではない。

アルミニウム合金板を製造するプロセスも^{ひのべいた}火延板 (アルミニウムの熱間圧延板) を冷間圧延して焼鈍する。この場合、冷間圧延加工度が高いと (100) 面が板面に平行な結晶が現れるが適当なレベルで冷間圧延を終えると、(112) 面 (単位胞を二つ積んだ直方体の体対角線を法線とする面) や (110) 面 (面对角線を法線とする面) がそれぞれ板面に平行な結晶が主体の組織となる。これらの面が面に平行となると面内は (111) 面が平行と

なった時と比べてかなり方向性が大きい。筆者が行った調査では、延性の方向性も大きい。面心立方金属では、塑性変形中に活動する転位が互いに消えるような上り系が二つ働くと (これを交叉上り系が働くと言うが) 延性が低くなることがその原因であった。それゆえ、アルミニウム合金で高 r 値の板を製造する望みは、現在の板製造プロセスによる限りほとんどないように思える。大きな円柱を据えこんで捻じて板にすれば可能かも知れないが、圧延法に比して製造の生産性から考えて問題にならないだろう。そこで、プレス成形で頼れる変形様式は張出しと曲げである。なるべく延性の方向性が生じない板材を用いて成形することになる。

4. 成形法の転換

連続プレスラインで生産することは、実は鋼板にとって最も適した成形法が選択されているということである。これは 2 と 3 で述べたことから理解していただけたと思う。

しかしプレスばかりが成形法ではない。大量生産で製造される場合でなければ、いわゆる板金たたき出しという手仕事で板の成形が可能である。この方法はすでに述べた異方性や延性などの板の特性に鈍感な成形法である。親類にはスピニングやへら絞りなどと呼ばれる成形法がある。ぱりぱりのマルエージング鋼の薄板からスピニングによってウラン濃縮プロセス用の遠心分離器の容器だって成形することができる。板をたたいて局部的に薄くすると、材料の行き場がなくなって面外へふくまれ出すので、これを小規模に逐次続けていくことによって、大きな成形品をつくるのがたたき出しである。張出しは板を引張るが、たたき出しは板を圧縮していくので延性のパフォーマンスへの影響は小さい。CAD-CAM-CAE システムのバックアップにより自動化・連続化・生産性工場がはかれるかも知れない。そうなれば鋼板もアルミニウム合金板もともに混流でプロセスを流れていくことができるかも知れない。

5. おわりに

学生と共に工場で見たホワイトボデーは、プレスラインで試作されたものである。一つ一つのパーツが小さく区分されているということ、パーツをつくるのに絞り主体の変形をあまり必要としないデザインになっているという印象を得た。アルミ車が話題性のあるうちはデザインの制約があっても、商業的な意味もあろうかと思える。

鋼板からアルミニウム合金板への転換はそれが必然であれば、板成形プロセスの大転換も促しかねない動きといえる。

文 献

- 1) 木原諄二：第 9 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) (1970), p. 37