

アルミニウムのロールボンディングの基礎研究

加藤正夫・中村康治・宇井正泰

1. ま え が き

金属相互を接合する方法にはいろいろある。大きく分けるとリベットまたはボルトナットで結合する機械的方法と接合剤のコウ着力を用いる物理的方法と金属固有の性質を用いる金属学的方法となる。

この金属学的結合法をさらに分けると、金属の溶融相を用いるものと溶融相を用いないものになり、さらに前者は母材を溶融する工程の含まれるいわゆる溶接と母材を溶融せず接着層間に溶融金属を用いるロウ接に分れ、それぞれはその工程に従ってガス溶接、電気溶接、また原子水素電弧溶接、不活性ガス保護電弧溶接いわゆるヘリアーク、アルゴンアーク溶接があり、その自動化などによってシグマ溶接なども行われている。ロウ接も母材とは別にロウ材を加える軟ロウ接（ハンダ接合）および硬ロウ接もあれば母材に特殊の同系統のロウ材を被覆して全体を加熱して一部溶融させて結合を作るブレイジングもある。

金属の溶融相を用いないで接合する方法は古くから鍛接として行われ、日本古来の刀剣作りはその極致の技術でもあった。この鍛接は鋼材を加熱して鍛造し、母材間の接合距離をはなはだ小さくして金属学的結合を作らせる方法で、高温のために接合部の金属原子の振動拡散が促進されて接着力が作られる。しかしながらこの原子の拡散の妨げとなるような不純物、合金元素などの存在によって接着が妨げられることがあるので、鍛接可能のためには材料が限られてくることは周知の通りである。

この鍛接と同じような考え方で接合しようとする部分の拡散を妨げる異質のものを除去し、拡散を促進するような手段を特に加熱しないで行おうとしたのが1950年頃に報告せられた Cold Welding で、この方法は局部的に高い圧力をかけるので Cold Pressure Welding とも呼ばれた。この方法では金属表面に存在する酸化物などの異質層を除去し、局部加圧によって分子間の Van der Waals 力が働く位に両材料間を近接させて、金属原子の自己拡散による接着力を用いようとするのがその原理であるといわれた。この加圧、変形の容易さという点から接着には比較的軟い銅やアルミニウムのような純金属が最も適しているが、加圧の工夫によってステンレスのような比較的硬い合金も接着可能であり、また異種金属間の接合も可能であると報告されている。しかしながらこの方法では加圧の方法および加圧による流動変形する材料の処置に難点があり、また接合前の清浄工程も

接合の均一度を確保するのにむづかしい。これらのためにその応用も限られたもので、文献にみられる報告も1951年来はほとんど現われなくなっていた。

1955年末頃からこの方法と同様な考え方に基く接合法で、加圧方式として圧延ロールを用いる方法が報告され、その方法から Roll Bonding と呼ばれ、一部あるいは全面で接合の行われた板材の製造が行われ、その実際応用部品が紹介されるようになってきた。わが国にも輸入された米国製の冷凍器の熱交換器の中心部品である蛇管が板状のもので、冷凍液の通る部分が異型パイプ状で、それ以外の部分は2枚の板が接合されたものがその例であって、これはパイプとなる部分に接着を防止する物質を塗布して2枚の板を重ね、ロールによる圧延接着を行わせた後に非接着部に高圧空気を送ってふくらませて一気に蛇管パイプを作ったものである。

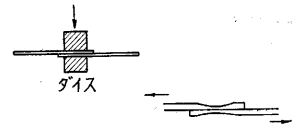
著者らはこの Roll Bonding に関する基礎的条件を求めめるための実験研究を行った。

2. 予備実験（圧縮試験）

接合の効率に影響する要素としては接合されるべき材料の品質、表面状態および加圧変形率がある。

接合程度を測る方法として2×12×90 mmの板を用いてその一部を重ねて加圧接合し、接着後板の長さ方向に引張荷重を加えて接合部のハクリする荷重の大小によって比較する方法をとった。

素材としては99.99%、99.8% および 99.3% アルミニウムのいずれも焼鈍材を用い、表面の前処理としては ① 圧延焼鈍



第1図

のまま、②ベンジン脱脂、③#80 サンドペーパーがけ、④荒目ヤスリがけ、⑤70°C で10% 苛性ソーダ腐食後水洗乾燥、⑥10% フッ酸に常温浸漬腐食後水洗乾燥、⑦20% リン酸常温浸漬20分後水洗乾燥の各方法を用いた。

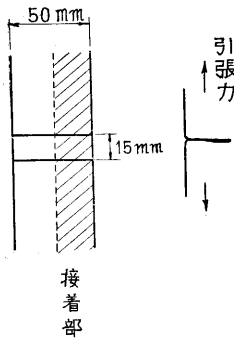
これらの諸条件を組合わせて試験した結果、前処理のうち③、④、⑤および⑥がよく、何らかの方法で表面の酸化膜を除去すればその方法による差が認められなかった。ただ水洗して乾燥が不十分であって眼に見えない程度の水の存在でもあるような状態では接着不良である。アルミニウム地金別には接着に要する加圧変形量は幾分の差があるようであるが、99.3%以上の純度では余り差がない。合金になった場合の比較実験結果は後に

述べる。

圧縮加工率は常温では 65% 以上で接着し、高加工率になるほど接着は良好になるが、余り大きな変形を与えると変形した材料の流動およびダイス間に発生する圧力の増大のための困難を伴う。接着に必要な加圧変形率は材料の加熱によつて小さくなることは当然であるが、50°C、70°C という低温においてもその加熱の効果が認められた。

3. ロール圧着試験

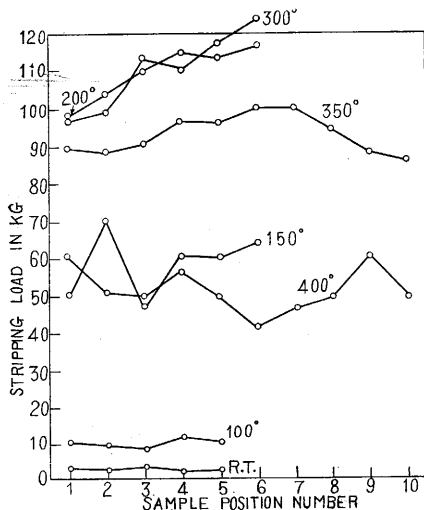
2×50×300mm の 99.8% アルミニウム焼鈍板を用い、縦方向半分に接着防止剤としてのフタル酸樹脂ラッカーを塗布し、接着すべき半面は作業の簡便のために 10% フッ酸による腐食を行つて水洗乾燥後 2 枚の板を重ね合わせて圧延機により種々の圧延率の加工を行った。接着防止剤としては上記のものほか醋酸ブチル、醋酸アミルのような比較的軟かい塗膜を作るものも全く同様に使うことができた。文献にみられる黒鉛粉などの固型防止剤は実験しなかつた。



第 2 図

接着力試験は第 2 図のように圧延直角方向に 15mm 幅に切り、非接着部を板に対してそれぞれ直角に開き、その部分に引張荷重を加える Stripping Test を行つてその荷重の大小による比較を行つた。

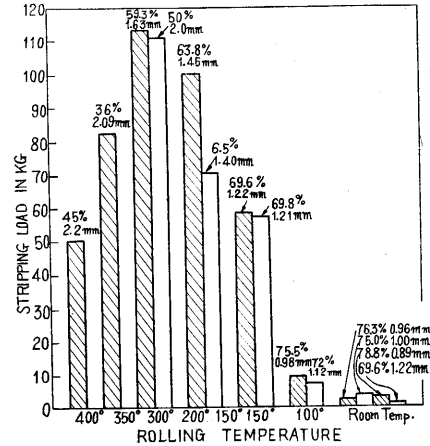
Stripping Load は圧延時の温度によつて著しく異なり、加工率によつてもある程度異なる。結果の一部を第 3 図に示す。試料は板の長さ方向からところどころ各数個の試料をとつたのであるが、板の両端を除いては接着



第 3 図 As roll, Dispersions of stripping load

力には著しい差がない。第 3 図を改めて示したものが第 4 図である。これにみられるように接着力は 300°C 圧延のもののが最も大で、それ以上温度が高く

なるとかえつて接着力が減じる。常温で圧延したものは接着はしているがその接着力ははなはだ小さい。



第 4 図 As roll, Effects of rolling Temp.

150°C あるいは 200°C に

もなると著しい接着力の改善がみられ、この程度の材料の加熱および圧延であれば作業は特に困難を伴うものでもなく実用も可能であると考えられる。

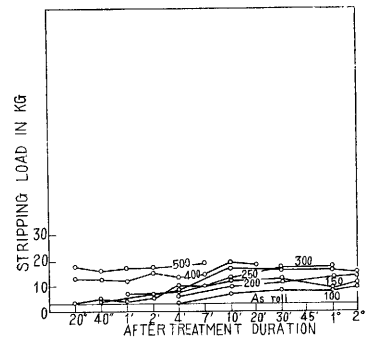
4. After Treatment

従来の文献にみられる方法は常温接着または 300°C 位での接着であるが、接着後の加熱によつて、例えば焼鈍処理によつて再結晶軟化と接着部の再結晶融合に伴う接着力の改善も考えられる。実際の製品にもこの処理が施されているようである。

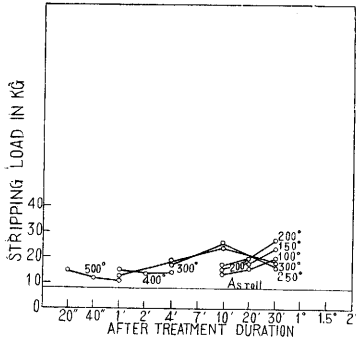
しかしながら接着部の金属結晶に大きなひずみを与えられているのであるからいわゆる再結晶をする程の高い温度、長い時間の処理を施さなくても、ある程度の加熱によつて金属原子の拡散が促進されて接着力の改善が行われるであろう、という予測のもとに数個の試料に加熱処理を施したところ、果して材料の軟化を伴わないような低温の加熱によつても著しく接着力の改善が行われることを認め、著者らはこの処理を After Treatment と名付け、系統的な実験を行つた。

After Treatment としては 100, 150, 200, 250, 300 400 および 500°C の温度で、20, 40 秒、1, 2, 4, 7, 10, 20, 40 分、1, 1.5 および 2 時間の各時間加熱した後 Stripping Test を行つた。加熱には電気炉および塩浴炉を用いた。

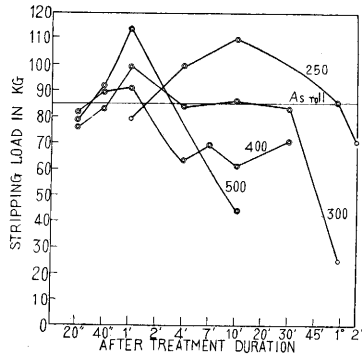
試料には第 4 図に示した各温度で圧延したものをを用い、圧延のままの接着力に比べて After Treatment に



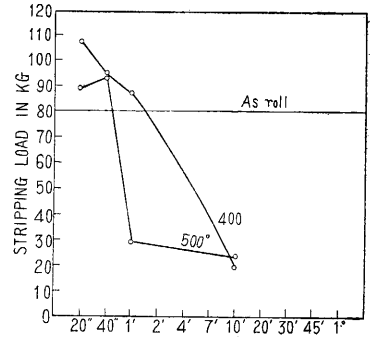
第 5 図 R.T.(R.B.)—After Treatment



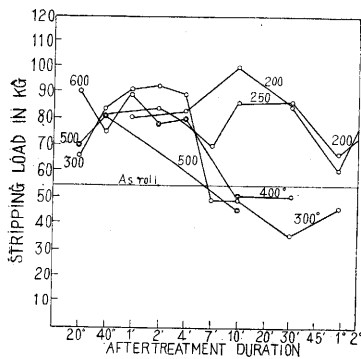
第 6 図 100°C(R.B.)—After Treatment



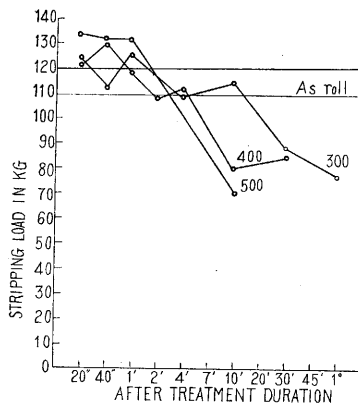
第 8 図 200°C(R.B.)—After Treatment



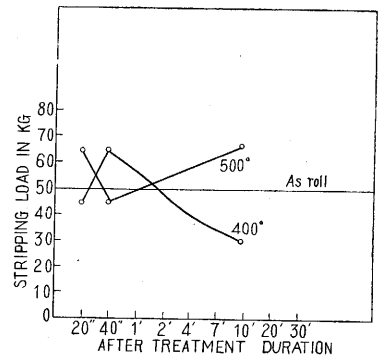
第 10 図 350°C(R.B.)—After Treatment



第 7 図 150°C(R.B.)—After Treatment



第 9 図 300°C(R.B.)—After Treatment



第 11 図 400°C(R.B.)—After Treatment

よる接着力の変化を第 5~11 図に示す。

これらにみられるように After Treatment の効果は明らかであるが、それぞれの傾向としてはある温度での After Treatment ではある時間でハクリ荷重の極大点があり、それ以上長時間保持すると、かえってハクリ荷重の低下が認められ、その極大点の位置は高温程度短時間側にあることが認められる。

この実験で行った結果ではハクリ荷重の大きさからいうと 300°C 圧延のものが最もよいが、2重丸で示す十分の接着は 150°C 圧延のものでも適当な After Treatment によって得られハクリ荷重もかなり大であった。

ここで興味あることは 150°, 200°C という低温でも十分な時間の加熱により、また 400° 以上では数十秒という短時間の加熱によって接着力が改善されるという結果である。

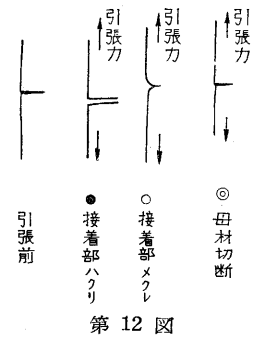
5. 接着の信頼性

以上の実験から Roll Bonding に After Treatment を併用することによってかなり良好な接着を得ることができたが、この接着部に浸漬腐食や大気バクロ腐食のような化学的作用または機械的外力の作用を受けた場合の

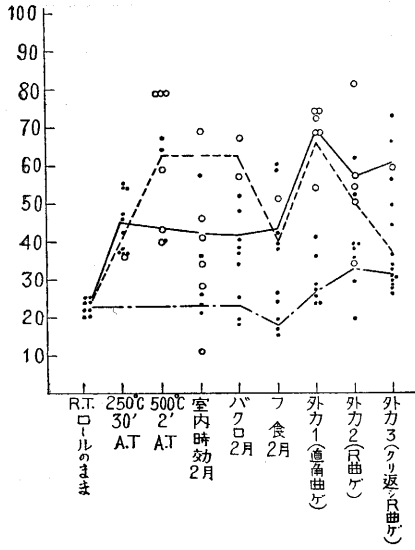
接着力の低下があつてはならない。

99.8% アルミニウム板を用いた圧延温度常温および 150°C で前項と同様板幅の半分を Roll Bond した試料を 250°C 30 分および 500°C 2 分の After Treatment を施し、これを室内放置、屋外バクロ、5.85% NaCl + 0.3% H₂O₂ 水溶液浸漬による接着力の低下を 6 カ月に亘って行い、また幅 15 mm の試料に長さ方向にその中心で板曲げ機により直角曲げを行った後、万力で静かに元通りに戻す直角曲げ 2 回と、R-Bender によって試料の長さ方向に R=100mm に円めた後、逆に再び曲げる R 曲げ 1 回およびこれを 5 回繰返す方法の 3 種の外力を与えた後、前の試料と同様に Stripping Test を行って接着力の変化を測定した。

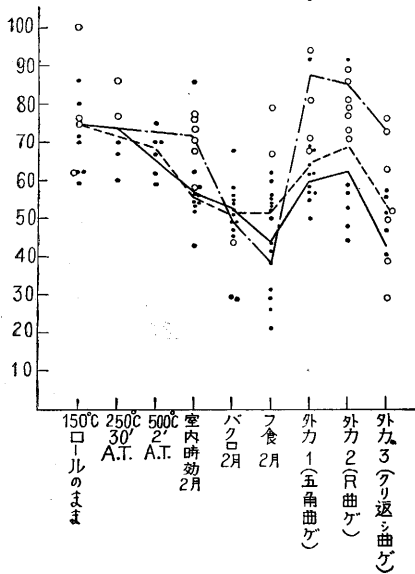
実験結果を示す第 13, 14 図によると After Treatment の効果が再びよく知られ、室内時効および大気バク



第 12 図



第 13 図



第 14 図

用上この接合部近傍の耐食性が劣化することは注意しなければならない。

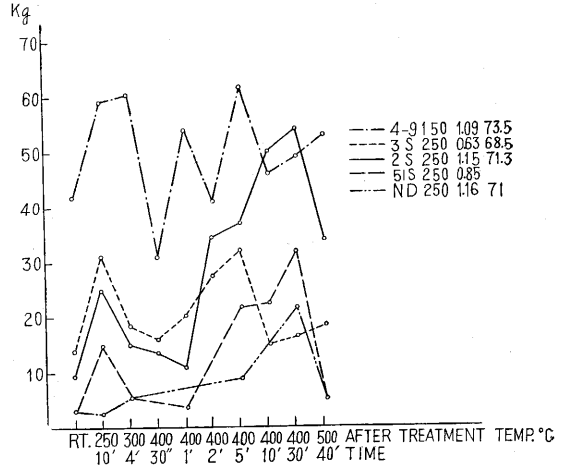
6. 合金の接着

数種類の合金について試みた実験結果を第 15 図に示す。これら合金では良好な接着を得るには圧延の時の加熱が必要であるようであるが、ジュラルミン系の硬い材料でも 250°C で接着し、これら合金でもそれぞれ After Treatment の効果がある。特に熱処理硬化性合金では After Treatment と合金の熱処理を兼ねさせることも可能である。

7. 実用化への見越し

前述したようにアルミニウムの Roll Bonding においては特に高温で圧延せずに After Treatment を施すこ

ロによる接着力の低下はほとんど全くなく、外力による影響もはなはだしいくり返し変形によっては接着力の低下が幾分認められる程度であるが、浸漬腐食の影響はかなり著しいことが認められる。これは接合部における強度の変形加工による結晶内部ひずみの集積によるものと接合部近傍における狭い隙間に濃度極値や腐食生成物の蓄積による腐食が加重されたものと考えられるが、使用



第 15 図

とによってかなり信頼しうる接着を確保することができる。しかもこの After Treatment には 200~250°C における 30 分位の加熱または 500°C 位の高温での数十分という短時間の加熱で十分効果がある。

この後者の場合には、例えば高周波加熱のような方法をとれば急速短時間の加熱が容易にしかも汚染なしに得られ、連続的の操業も可能である。

このような方法で信頼すべき接着が得られるのであれば応用面としては種々のものが考えられる。すなわち電線ケーブルシースにおける鉛に代ってアルミニウムを使用することの有利さは十分知られていながら鉛のような押出法が高温を要するために適用されないで、わずかに短尺の引抜法が試みられているにすぎないが、この方法を用いて長尺のフープからアルミニウムシースを作ることでも可能であり、また押出によらない異形型材、管の製造も考えられる。しかしながらこのような連続作業においては圧縮変形に伴う材料の流動方向の規制が、もう一つの困難な技術になってくるので加工工具の研究を行わなければならない。その解決なしには実用化の見通しが成立たないといえ、圧着とその後に行う After Treatment によって十分な接着を得ることのできることを明らかにした本実験はその第一歩を進めたものと考えられるので、ここに中間的報告を認めた次第である。

なお本研究の一部は日本大学工学部栗屋正春君の協力があったことを付記する。(1957. 9. 16)

正誤表 (9月号)

頁	段	行	種別	正	誤
22	左	下3		…羽根車出口2の…	…羽根車, 出口2の…
”	右	下2	式(1)	$\Delta H = \left(\frac{p_2'}{r} - \frac{P_2}{r} \right) \times \left\{ \dots \right\}$	$\Delta H = \left(\frac{p_2'}{r} - \frac{p^2}{r} \right) \times \left\{ \dots \right\}$