

塑性加工

白 南 柱

(부산대 생산기계공학과·정회원)

目 次

- 1 장 서 論
- 2 장 소성가공의 현황과 문제점
 - 2-1 材 料
 - 2-2 鍛 造
 - 2-3 押 出
 - 2-4 引 拔
 - 2-5 圧 延
 - 2-6 로울成形
- 3 장 結 言

1. 緒 論

塑性力學에 의해서 塑性加工中の 現象을 解析하여 製品의 形狀, 強度, 殘留應力, 加工力, 加工限界 및 欠陷의 發生등을 見積하고 이것에 의해 加工機械의 強度, 剛性 및 制御量등이 決定된다. 또

材質에 대한 指針이 얻어진다. 彈性論이나 塑性論에서 境界值 問題는 應力平衡方程式, 應力の 境界條件, 變位에 관한 變位 스트레인 關係式과 變位の 境界條件, 그리고 應력과 스트레인을 關係시키는 構成方程式으로 되어 있는 基礎方程式으로 構成된다. 問題의 構成方程式은 材料의 거동이 매우 복잡하기 때문에 實際의 거동을 忠實히 表示할 수 없다. 材料의 異方性, 有限度形, 異方性主軸의 回轉, 加工硬化, 高溫, 高速加工 等に 의해서 材料의 變形거동은 매우 복잡해진다. 以上の 定量的 考察과 軋位 또는 結晶의 슬립모델과 같은 定性的 考察도 있다.

이 定性的 考察에 의해 高強度의 材料나 r 值가 큰 板材의 製造指針이 얻어지고 있다. 材料試驗은 構成方程式에 포함되는 材料定數를 구하는데 쓰인다. 材料試驗에 의해서 구한 材料定數는 實驗條件의 범위내에서 材料의 塑性거동을 表現한다는 것을 留意해야 한다. FEM 등의 導入에 의해 塑性加工의 解析은 進歩하였지만 對稱性對象에 대해서는 解析을 많이 活用을 하고 있지만 복잡한 加工問題에 대해서는 충분히 活用이 限되어 있다. 塑性加工解析에서 얻어지는 두가지 成果 즉 工程과 工具設計에 必要한 計算資料인 定量的 成果와 式을 세워 경제조건을 檢討하는 프로세스에서 加工 영향因子를 빠짐없이 하는 定性的인 成果가 있다. 技術者는 塑性力學을 定性的으로 利用하는데 研究者들은 定量的인 것만을 翫급하고 있다. 앞으로 定性的인 研究에 의해 힘드는 加工問題를 解決할 수 있으리라 생각된다.

塑性加工解析에서 期待되는 것은 各 變形段階에서의 所要日, 荷重, 材料內的 應力·變位·溫度分布, 工具內的 應力·溫度分布, 材料와 工具의 接觸面의 應력과 相對미끄럼速度分布, 製品의 치수精度, 殘留應力, 欠陷, 結晶의 粒度分布와 方位分布, 加工限界의 予測이다. 이들의 解析結果를 綜合하여 工具와 被加工材料의 材質, 形狀, 溫度, 速度 및 工具配列의 最適化를 하고, 나아가 塑性加工品の 最適設計에 發展하려고 하는 것이 塑性加工解析의 最終目的일 것이다.

여기에서 材料의 塑性和 塑性加工에 대해 그 現

況과 問題點에 關해 概略적으로 說明하려고 한다.

2. 塑性加工의 現況과 問題點

2-1. 材 料

(1) 크리이프 變形

사이클릭 크리이프(cyclic creep), 고온크리이프가 現在 活潑하게 研究되고 있으며 이에 대한 材料로서는 分散強化型合金, 耐熱合金, 鋼, 銅, 케드미움, SUS 316, SUS 304, α 황동, 12Cr - Mo - V 鋼등이다. 研究方向은 零應力, 固溶室素 및 室化物析出, 粒界슬립, 케비티(Cavity) 등의 크리이프 變形에 미치는 영향이다. 原子爐, 高圧容器, 기타 高溫下에서 使用하는 裝置에서의 크리이프 機構에 대해서는 不明한 點이 많고 그 構成은 内部狀態변수, 硬化面, 應力の 포텐셜함수, 損傷狀態, 텐서(tensor) 도입 등에 의해 구할려고 하고 있다.

(2) 메탈플로우(metal flow)

加工中の 應力狀態에 關한 情報은 상당히 많지만 메탈 플로우에 關한 知識은 理論적으로 解析하는 것이 힘들었다. 그러나 現在에서는 컴퓨터에 의해서 限定된 分野에서 解析되고 있다. 엣지(端部) 近傍에서의 幅方向, 圧延方向의 플로우, 壓縮應力下에서 加工하는 圧延등에 問題點은 아직 많이 남아 있다. 形狀制御에도 開發이 늦어 있다. 適當한 메탈플로우를 許容하고 또 이것을 制御하므로써 加工壓力를 調節하고 공구수명을 確保하고 加工後의 製品의 品質保證을 할 수 있는 가공條件의 確立이 바람직하나 實地는 發生應力과 메탈플로우와의 關係도 分明하지 않다. 메탈플로우의 制御는 鋼材特性을 最善으로 活用하면서 製品이 使用環境에 맞도록 해야 한다.

(3) 熱間 및 溫間加工

溫間 研究調査로서는 溫間로오라 加工때의 機械的 性質 드임 溫間鍛造 溫間押出에 의한 合金鋼의 強靱化이고 熱間加工에서는 鍛造에서의 鋼塊内部 空陳의 圧延에 의한 마이크로 포로시티(microporosity)의 閉鎖 熱間鍛造에서의 溫度 스트레인速度를 고려한 材料流動 熱間鍛造시의 剪斷變形帶 發生 難加工材인 超合金, 18% Cr 鋼과 25%

Cr 鋼의 熱間押出 加工, 半溶融加工에 의한 組織의 微細化와 押出加工 등이 問題로 되어 있다.

(4) 高温變形

高温變形的 問題로서 變溫變形시의 動的 回復, 再結晶 케비테이션과 動的 再結晶의 關係 非金屬 介在物을 포함할때의 熱間 비틀림 延性 炭素量 溫度 變形速度에 따른 高温變形抵抗 高温變形中の 粒界거동 金屬學的 問題가 있다.

(5) 低温變形

低温變形에서는 2 K ~ 室溫사이의 變形特性, 單結晶의 塑性變形거동, 臨界分解剪斷應力の 逆溫度 依存性, 鉄의 低温에서의 基礎的 性質 등이 問題로 되어 있다.

(6) 變速變形 및 加工

高速變形이나 加工을 받는 材料의 斷熱的 溫度 上昇의 測定, 塑性波 傳播의 解析 기타 變速變形시의 塑性거동등의 問題가 있다.

(7) 高壓下變形 및 加工

250 MPa 까지의 壓力下에서의 鑄鐵의 굽힘 破壞, 高壓下에서의 丸棒의 二面剪斷加工과 板材의 成形性, 980 MPa 까지의 靜水壓加壓에 의한 燒結材와 다른 金屬과의 치밀化, 超塑性合金의 變形에 의한 케비티 成長과 靜水壓重疊의 關係, 多心超伝導線의 靜水壓 押出, 銅의 高減面率 冷間靜水壓 押出에서 생기는 回復과 再結晶, 靜水壓 押出中에 생기는 Al의 昇溫軟化過程, 難加工材에 대한 側壓付 加押出加工法의 開發등의 問題가 있다.

(8) 變形抵抗

各 條件에서의 變形抵抗曲線의 決定, 降伏應力과 스트레인硬化에 대한 溶質原子의 役割 그리고 酸化物의 分散, 固溶室素, Baushinger 效果, 粒子크기, 空胴(void) 등의 變形抵抗에 미치는 영향등의 問題가 있다.

(9) 強度

燒結體와 金屬間化合物의 強度 그리고 時効硬化, 크랙, 水素등의 材料強度에 미치는 영향등의 問題.

(10) 加工性(成形性)

加工性 問題에는 高強度鋼板의 成形性, 不均一流動의 予知 모델, 프랜지部 座屈條件, 成形限界曲線, 引張延性和 表面欠陥사이의 關係不安定, 高温加工性 등이 있다.

(11) 超塑性

超塑性 問題에는 白鑄鉄과 燒結 Ni 基超合金의 超塑性 그리고 組織, 粒界미끄럼, 粒界케비티의 超塑性에 미치는 영향등이 있다.

(12) 材質과 表面性状의 變化

이 問題에는 剪斷變形을 준 材料에 생기는 強度의 異方性, 圧延板의 平坦度와 殘留應力の 關係, Al 合金에 대한 加工熱處理에 의한 材質改善등이 있다.

(13) 破壞

破壞問題에는 보이드(void) 發生要因, 延性破壞, 水素脆性, 粒界脆性, Separation 發生機構, 低溫脆性破壞거동등이 있다.

(14) 接合

接合問題에는 Al 의 冷間圧接, 銅과 銅의 圧接, 散接合등이 있다.

(15) 複合材料

複合材料로서 纖維強化金屬複合材料, 半溶融加工에 의한 크라드(clad) 材, 粒子分散強化型複合材料, Al 粉-스테인레스 鋼短纖維混合粉末의 熱間押出에 의한 複合材料, Al-黑鉛圧粉材의 熱間押出에 의한 複合材, 鉄-鋼複合材料의 燒結材, 鉄鋼複合材, Al_2O_3 를 포함하는 Al-Mg 合金複合材料, Al-SiC 複合材料, Al-超塑性材 크라드材, 해리칼 W 纖維-銅複合材料, SiC-Ti 合金複合材料, W-Ni 基超合金複合材料, 유리纖維強化複合材料, SiC 被覆 보통纖維, SiC/Ni 複合材料등의 製造質 및 機械의 特質 加工에 대한 것이 問題로 되어 있다.

金屬材料의 塑性變形에 관한 研究는 一般的으로 變形抵抗을 主体로 한 것과 延性破壞를 主体로 한 것으로 大別할 수 있다. 高強度의 構造用材料의 開發과 評價 그리고 材料의 加工硬化나 合金의 強化機構등의 基礎의 研究에 대해서는 發展이 많았지만 實際面에서 被加工材의 塑性加工限界나 加工과 피로파괴의 關係등 重要한 問題가 많은데도 金屬의 延성에 관해서는 研究가 不振이고 破壞機構에 관한 것은 거의 없다. 最近 塑性에 관한 研究의 特徵으로서 強度에다 破壞를 같이 取扱하는 것과 超塑性和 複合材料에 관한 研究의 대두이고 材料와 條件들이 一般化되어지고 있다.

2-2. 鍛 造

(1) 冷間鍛造

冷間鍛造에서는 中小量生産의 要望이 크고 그 方法으로서 金型의 標準化, QDC, 多段트랜스퍼 라인에 의한 省力化, 大容量 油壓프레스에 의한 大型品の 收率間上, 高精度·複雜形狀部品에 의한 附加價值向上등이 있다. 冷間鍛造는 素材를 加熱하지 않고 加工하고 큰 加工力을 必要로 하기 때문에 加工機械, 工具, 素材의 變形抵抗을 바로 파악해야 한다. 따라서 被加工材의 變形抵抗의 測定 圧縮面의 磨擦抵抗의 精確한 파악이 重要하다.

鍛造品の 精度에는 工具의 彈性變形製品의 彈性回復의 影響이 크다. 冷間鍛造의 全般的인 問題點으로서는 加工프로세스, Al 部品の 冷間半密閉型鍛造, Al 의 後方押出에서의 欠陥, 異種材料 複合體의 加工法 等이고 材料側面에서 보면 冷間鍛造用材料의 開發이 계속되어 있고 鍛造性이 나쁜 決削鋼, 베어링鋼, 티탄合金의 加工問題 加工限度에서 問題로 되어 있는 크랙發生場所의 應力狀態, 크랙發生基準, AC에 의한 測定등을 調査하고 있다.

變形과 壓力側面에서는 後方押出時의 押出壓力, 製品의 치수 精度, 表面性状 等에 미치는 工具諸元의 影響, 押出壓力에 대한 素材치수의 影響, 円周엷팅에서의 側面形狀變化, 丸棒素材의 헛딩에서의 形狀變化등이 調査研究되어 있다.

工具側面에서는 工具面에 作用하는 壓力分布, 工具各部의 溫度變化, CAD/CAM 技術의 型設計, 板卷補強工具, 粉末高速鋼의 冷間鍛造用工具에의 應用 等이 調査研究되어 있다. 冷間鍛造는 切削加工에 비해 材料收率이 向上되고 表面이 곱고 高精度를 가지는 複雜形狀部품을 製造할 수 있다. 에너지 費에서도 熱間鍛造때 보다 적고 冷間鍛造品을 그대로 加工않고 쓸 수 있는 利點이 있고 冷間鍛造에 의한 部品加工이 더욱 바람직하다.

(2) 溫間鍛造

工具의 軟化抵抗에 대한 熱處理, 窒化處理, 依存性, 高合金鋼의 精密鍛造法에 溫鍛의 適用, 快削鋼의 溫間鍛造時 大變形, 高壓化成形의 有利性, 스테인레스鋼의 溫鍛性, 溫鍛技術에서 항상 問題가 되어 있는 것은 溫間閉 鍛造이다.

이것은 高品質, 材料節約精密化, 複雜形狀成形, 하중경감, 工程短縮原價節減등의 長點이 있다. 또 페 라이트系 可鍛鑄鉄의 溫間鍛造는 引張強度를 매우 改善하고 Al, Zn 材料는 370°C~480°C에서 超塑

性이 있다. 냉간과 열간의 利点を 組合한 中間에서 加工되는 이 方式은 냉간단조와 같이 용도에 큰 제한이 있으나 냉간에 비하여 利用범위가 넓다. 또 작은 荷重과 에너지, 인산염피막처리의 不要, 특히 냉간단조에서는 거의 加工할 수 없는 鋼種도 可能하다. 열간단조와 비교했을 때 表面이 곱고 치수정도가 좋고 넉아웃(hnock-out) 用으로 큰 荷重을 주었을때도 成形品の 변형강도가 크기때문에 드래프트를 0으로 할 수 있는등 工業적으로 有利한 点이 많다.

(3) 熱間鍛造

熱間自由鍛造는 數百톤 鋼塊에서의 鍛造를 必要로 하게 되었고 이 大型鋼塊의 自由鍛造에서는 鋼塊의 凝固時 生成되는 内部空隙의 压着이 重要하고 自由鍛造에서 업셋트는 重要的 工程의 하나이고 形状變化, 工具와의 접촉에 의한 冷却의 영향은 重要하다. 大型링材나 鏡板의 成形, 原子炉压力容器用 셸링, 压力容器헤드의 鍛造도 이루어지고 있다. 超耐熱鋼의 大型部材에서도 鍛造條件이 適切하면 均質을 얻을 수 있다. 型鍛造分野에서는 CAD/CAM의 手法이 材料流動의 精確한 予測에 대해서 아직 未決点이 많다. 問題로서 熱傳導를 포함하는 基礎的인 理論解析, 加工條件, 型溫度를 포함하는 프로세스 모델링, 型和 材料의 接觸熱抵抗, 型壽命延長, 型壽命予知, 티탄(Ti)을 포함하는 새로운 型鋼의 開發, 충격피로, 열피로, 열연화, 마모를 간단히 구하기 위한 型壽命의 予備試驗法, 各種 工具鋼의 마모 및 마찰계수에 미치는 潤滑劑의 條件, 熱間冷間의 組合鍛造, 鍛造作業時的 冷却過程의 制御, 型鍛造工程의 自動化 等の 問題가 있다.

熱間鍛造에서는 加熱工程의 現狀을 解析하고 加熱效率를 改善하기 위한 技術에 全力을 傾注할 必要가 있다. 다음에 鍛造加工의 生産向上을 위한 自動化 鍛造型製作 方法의 合理化와 長壽命化 對策 向上을 위한 技術改善이 必要하다.

(4) 特殊鍛造

研究의 動向으로서는 材料의 흐름, 型面의 壓力分布 및 加工力, 軸 후런지의 업셋팅-後方押出時의 變形거동, 長方形푸랜지品の 加工力, 製品의 치수精度向上을 위한 數值制御, 기어類의 燒結鍛造, 加工面에서는 半溶融加工에 의한 Al-Sn 合金의 組織의 微細化, 粒子分散強化型的 Al 合金複合材

의 半溶融鍛造, 振動을 利用한 Al 鑄造材의 直接成形, 溶湯을 使用한 벌지 變形에 의한 厚被膜複合材의 成形 半溶融加工을 應用한 粒子強化積層複合材의 製造, 加工등이다.

2-3. 押 出

最近의 押出加工은 Al 合金, 銅合金, 超合金, 非金屬 및 이들 複合材料의 製造에 利用되고 있다. 그리고 靜水圧法, 크랏드法, conform法, 粉末押出法, 半溶融押出, CAD/CAM을 利用한 押出등이 開發되고 있다.

(1) 押出技術

가. Al 合金의 押出

한개의 金型으로 複雑한 形狀을 成形할 수 있는 것이 押出의 特征이다. flow guide를 型에 附加하므로써의 加工限界의 向上 押出性을 구속하는 因子 즉 壓力押出費, 速度, 비릿트組成, 押出材表面 등을 包含化한 要因方程式의 作成에 의한 加工性의 向上등의 報告가 있다. 또 合金元素化合物의 固溶, 析出거동, 粒子크기의 分布등의 金屬學的 檢討에 의한 押出性의 向上에도 많은 研究가 있고 맨드릴의 水冷效果와 押出材內壁面의 크랙發生과 關係를 調査하여 型內의 매탈흐름과 그 溫度分布에서 押出速度의 增加를 試圖하였다. 型設計에서는 비릿트內의 溫度分布, 컨테이너벽과 다이面의 마찰에 의한 發熱, 다이구석의 맷트 매탈과 潤滑劑와의 치환, 비릿트의 押出萬方端面의 구속등에 의해서 改善되었다.

나. 押出技術의 動向

銅 其他 Nb-Ti 多心超傳導材의 靜水圧押出, Ti 및 Ti-6Al-4V 合金에의 靜水圧에의 應用, 純銅, 純 Al, Al 合金材에의 應用에서 加工硬化 및 加工發生熱의 抑制, 軟鋼과 銅의 爆接複合비릿트의 押出, 高密度 폴리 에치렌의 押出時 프라스틱 다이의 使用, 말니코, 샌다스合金의 側圧附加押出法등의 새로운 動向이 보인다. 塑性加工 工程은 大部分 材料가 처음의 形狀에서 最終形狀까지 必要한 變形外에 形狀變化에 기여않히는 變形 즉, 附加的인 전단스트레인이 포함된다. 이 附加的인 전단스트레인을 殘留應力, 表面균열 등의 原因이 되고 加工品の 健全性을 해친다. 또 加工이나 工具의 耐久性의 点에서도 바람직하지 못하다. 材料의 不均一變形은 加工經路의 幾何形狀에 의존하

기 때문에 이 뜻에서 스트레인에 注目하여 工具를 設計하는 것도 重要하다. 押出加工은 全体的으로 單純하고 設計條件에 대한 理論的 근거도 提出하기 쉽다.

押出에서는 슬립線場, 上界法 등의 概念을 기초로 하여 一般的으로 工業的으로 쓰고있는 원추다이 以外の 曲線形狀 다이에 대해서도 여러가지로 試圖하고 있다.

2-4. 引 拔

含有酸素의 形狀과 그 分布狀態의 鋼素材의 加工性에 미치는 영향 超音波線引에 의한 線表面의 改善과 다이壽命의 伸長(約2倍), 難加工材의 引拔, 高速度鋼과 같은 高合金의 難加工材의 약 700°C에서의 熱間引拔 등이 調査되어 있다. 伸線破斷에 대해서 보면 軋破斷, 縱破斷 前단과 後단 등의 형태를 취하나 이들의 機構 및 冶金的 要因의 差異는 아직 明白하지 않다. 引拔時의 破斷에 대한 報告에는 有限要素法을 利用한 다이내 塑性變形 解析, 電子현미경에 의한 破斷部의 관찰 등이 있다. 또 線材의 2次加工性의 問題에 대해서는 崩山 處理의 利點 인라인(inline)에서의 加工熱을 利用한 成形性의 向上을 報告하고 있다. 또 複合다이를 利用한 多角形斷面의 棒引拔도 發表되어 있다. 引拔應力の 理論解析은 Sachs 나 Siebel의 解析法에서 시작하여 그 後 Körber 와 Eiehinger 등에 의해서 다이角에 依存하는 잉여일(Residual work)을 고려한 理論式이 完成되었다. 伸線性을 좋게하기 위한 圧延과 軋延의 技術課題로서는 어느 程度까지 機械的 性質의 不均一을 감소시키고 어느 程度까지 適用할 수 있는 가이다. 이것은 工程단축에 크게 기여하기 때문에 그 研究 성과가 기대된다. 그리고 鋼線의 高強度化 線材의 熱處理 工程생략 등의 要請에 따라서 伸線加工性의 改善이 重要한 課題로 되어 있다. 伸線中의 斷線을 포함하여 鋼의 伸線加工線은 鋼의 強度와 金屬組織에 의해서 支配된다고 予想된다.

2-5. 圧 延

(1) 分塊壓延

世界的인 CC化 움직임 때문에 인곳의 壓延에

관한 報告는 극히 적고 인곳에서 비릿트를 製造하는데 自動計算機시스템의 導入, CC材를 쓰는 工程에 관해서는 CC브롬을 壓延할 때의 內部포로시티(Porosity)의 排除問題, 広幅스라브에서 異幅의 스라브를 製造하기 위한 로울(Roll)에 의한 縱切斷法이 研究되어 있다.

(2) 板材壓延

薄板壓延에서는 CC化 直送壓延, 制御壓延, 制御冷却, 形狀 및 板厚制御, 速統화가 問題로 되어 있다. 또 CC와 壓延, 熱延과 冷延사이의 最適化 問題도 重要하다. 制御用밀(mill)로서는 Loose Sleeve를 Back up roll에 덮어 軸方向으로 移動시키는 방식의 mill에 관한 研究가 계속되어 있고 Double Choch bender Roll을 油壓으로 팽창시키는 방식의 VC Roll의 冷延 및 熱延에 適用 또 큰 크라운의 鋼板을 製造하는 方法도 發表되어 있다.

기타 高壓下의 觀點에서 프라네타리(Planetary) 밀을 포함하는 特殊밀의 使用法, 크랏드(clad) 板의 壓延에서 壓延速度를 느리게 하면 角部에서의 剝離가 減少하는 것 또 半熔融狀態에서 壓延 壓接하여 크랏드板을 製造하는 것을 發表하고 있다. 厚板製造에서는 平面形狀制御에 의한 收率向上, CC比率의 擴大, 制御壓延, 制御冷却등이 報告되어 있다.

厚板製造에서의 CC化는 材質上의 問題가 있고 어느 程度의 壓下比가 必要하다. 材質改善을 위해서 押込壓延에 의해서 1페스당 壓下率을 크게 취하면 效果가 있다고 報告하고 있다.

制御壓延, 制御冷却은 冶金學的 報告가 主体이고 制御壓延에 대해서는 材料 工程面에서 調査하고 새로운 成分系와 加熱溫度制御에 의한 報告가 있다.

熱間薄材壓延에서는 加熱材의 形狀, 크라운의 改善에 대한 要求가 엄격히 되고 그 制御法의 開發 實用化가 急速히 進展되고 그 方法으로는 BUR 胴長을 짧게 하여 크라운 制御能力을 向上시키는 것, 테이퍼付 WR을 軸方向으로 이동하는 것 등이 있다.

形狀制御에는 水流式 形狀檢出端 光學的 方法에 의한 檢出이 있다. 또 새로운 크라운制御밀로서 BUR과 WR을 쌍으로 하여 上下로 교차시키는 쌍

교차밀도 쓰고 있다.

다음에 幅压下 幅制御는 지금까지 feed forward 방식이고 位相을 맞추는 것이 重要했으나 油压 옛저를 써서 feed back AWC 를 하므로써 高周波 外亂에 対応하고 기타 V-H-V 型式의 幅压下에서의 左右굽힘의 發生과 그 制御法에 대해서도 研究하고 있다. 탄뎀밀의 設定에는 마찰계수와 變形抵抗의 混合마찰이론과 學習制御에 의해서 設定計算을 하고 있으나 on line 適用에는 도달못했다.

異周速 圧延에 관해서는 先進率이나 負荷가 異速率의 工棄에 變化한다는 model 과 熱間 model 에 대한 報告가 있다.

冷間導板 圧延에서는 形状制御, 非对称 壓縮理論 및 윤활이 主問題이다. 圧延機에는 上半部の 多段로울화 WR의 小主比와 分割 BUR의 偏心機構의 導入이 形状制御能力을 改善하고 形状制御에는 張力分布型 形状制御장치를 圧延機의 나오는 쪽에 장치하여 板幅方向의 張力分布를 制御하는것. 冷延로울을 誘導加熱하여 로울의 熱팽창을 形状制御하는 것, 밀에서의 複合伸延의 形状延의 形状能力을 解析하여 HC 밀에 中間로울. 벤딩을 UC 밀에 장비하여 複合伸延의 制御能力을 갖게 하는것 등이 있다.

圧延理論에서는 Orowan의 圧延理論에 前단 応力의 效果를 導入하여 非对称 圧延에 확장한 model plasincine 을 使用한 応力 變形의 解析 슬립 線法에 의한 異周速 圧延解析 多層板으로 分割한 model 등이 있다.

(3) 棒.線材 및 形材의 圧延

棒.線材 圧延에서는 컴퓨터 利用技術이 進展되고 있으며 로울 パス設計의 自動化數式모델, 加熱 炉에서 卷取機까지의 設計시스템의 開發이 있고 新 技術로서는 가리바레스 圧延의 實用化, 大压下 圧延과 가리바레스 圧延을 組合한 컴팩트밀의 開發등이 있다.

形材 圧延에서는 中規模의 경제적인 形鋼의 탄뎀 圧延法, 加熱에서 製品까지의 라인레이아웃등의 圧延프로세스의 最適化 컴퓨터를 導入한 自動化 孔型改善등이 있다.

(4) 管材의 圧延

中徑 및 大徑鋼管의 圧延機의 生産性 경제성에 대한 검토등의 紹介가 있고 穿孔 延伸하는 圧延機

에 대한 報告가 많다. 傾斜 圧延에서는 그 變形機 構上 특히 品質上의 문제가 많고 피어싱 로울의 패스설계의 改良 특히 高合金鋼을 圧延할 때 材料의 變形過程을 高찰한 프러그 形状의 改善등의 報告가 있다. 延伸機로서의 맨드릴밀은 各 스텐드에서의 變形은 円周方向으로 大幅 肉厚压下量이 다른 不均一變形이고 圧延의 解析은 Orowan 에 의한 板의 平面스트레인 圧延理論이 지금도 中心的 理論이 되어있고 그러나 實地 板 圧延에서는 平面 스트레인 變形이 생기지 않고 板幅方向에 약간 늘어 난다. 또 分塊 圧延 엠텝 圧延과 같이 板幅이 板 두께에 비해 작으면 平面스트레인 變形과는 달리 3 次元變形을 하게 된다.

따라서 H鋼材 管材, 棒材등의 圧延에는 3 次元 變形解析이 要求되고 있다. 孔型홈밀 部分에서의 波動的 打撃 프랜지部分에서의 孔결함은 생기는 경우가 있다. 이들은 基本的으로 孔型設計問題이고 스텐드사이의 張力. 壓縮力의 存在은 이들 欠陥發生을 助長한다. 이 스텐드사이에 欠陥이 存在하면 再管端部는 管中實部와는 다른 張力에서 圧延 되기 때문에 管의 길이방향의 치수分布의 원인이 된다. 또 오우버 필(over fill), 언더 필(under fill)의 問題는 孔型, 스텐드사이의 張力管理 가 重要하다. 鋼管 圧延 프로세스중에서의 最終밀인 스트레치 리듀우서(stretch reducer)에서는 管端이 두겹게 되는 현상이 있어나 그 크롭端의 制御, 피이닝 效果의 고려등으로 解決을 모색하고 있다. 필가밀에 대해서는 压下率과 内部表面흡의 關係, 리 이링밀과의 組合에 의한 薄肉 圧延등의 報告가 있다.

제산기制御에 관해서는 만네스만 프러그 밀方式 에서의 프로세스 컴퓨터의 채용, 그 밀의 길이方向 치수變動制御 그리고 設計하는 對話型 計算機援助 시스템등이 調査研究되어 있다. 3 次元 圧延解析에서는 3 次元變形을 어떻게 모델化하는 것이 重要하고 스파컴퓨터가 開發되어 있지만 變數를 줄여 計算時間을 短縮하는 것이 必要하다.

이상과 같이 圧延加工에 대해서 問題點을 記述했으나 實際의 圧延加工에서는 熱間加工이 많으며 今後 溫度영향을 고려한 解析이 必要하며 變形解析과 溫度解析을 連成할 必要가 있다. 그리고 比較的 얇은 板材의 圧延에서는 로울의 彈性變形은 製品精度上 고려하지 않으면 않되는 重要な 因子이고 로

울의 彈性變形과 材料의 塑性變形을 連成問題로서 取扱하는 것이 必要하다.

2 - 6. 로울成形

휠패스 成形에서는 오무리기配分, 材料 및 t/D 가 增率, 길이方向의 變形, 綠波發生에 미치는 영향 그리고 감소配分과 材料가 變形거동, 綠部, 突合面에 주는 영향, 加工條件과 材料의 가장자리의 메탈프로우(metal flow)의 관계에 대한 검토가 있다. 휠패스 成形荷重에 대해서는 탠덤 成形荷重과 單스탠드 成形荷重과의 關係에서 成形荷重式을 유도하고 電縫管 成形에 대해서는 VRF法에 대한 특징, 適正 成形條件, 成形負荷와 엣지외이브防止, 材料와 로울사이의 접촉상황등에 관한 報告가 있다.

角筩의 成形에 관해서는 円筩에서 角筩에의 成形프로세스 円筩을 印形角孔型에 角型으로의 成型方法에 대한 報告가 있다. 形材의 成型에 대해서는 大形U形鋼의 成形에 로오러다이 成形法을 適用한 切口變形防止法의 開發, 첸널 成形, 切口變形的 發生機構 기타 成形時의 欠陷의 發生機構 등의 報告 등이 있다. 冷間 成形로울의 設計에서 가장 重要的 것은 斷面形狀을 成形하기 위한 必要한 로울패스의 數와 各 로울 패스에 있어서 材料의 斷面形狀의 決定이다. 로울 設計에는 確固한 理論이 없고 經驗과 判斷이 8割, 理論이 2割程度이며 現在에도 이 比率는 變化가 없는 것 같다.

로울 成形技術은 프레스 成形에 비하면 設計備數는 적지만 그 高生産性側面에서 볼때는 프레스 成形에 다음가는 重要的 金屬板成技術이고 특히 긴 板材 成形技術로서 注目되고 있다. 最近 自動

車業界에서는 高張力鋼의 로울成形이 나타나고 省에 너지時代의 輕量化 및 強度向上을 노린 것이다. 프레스 成形의 高張力化에는 型마모, 스프링 백이 問題點으로 되어 있으나 로울成形을 적용하면 경제적이고 材料收率도 上昇하고 스프링 백이나 마모 問題도 로울設定을 변경하므로써 解決可能할 것이다. 로울成形뒤에 이어서 소성굽힘작업이 增加되고 이때 壓縮側의 側壁部에 座屈이 생기기 쉽다. 이 때문에 스트레치 벤트(stretch bent) 방식이나 引張側을 引延하여 늘여주는 作業을 해야 한다. 로울 成形品의 表面에 대해 앤보스 로울 成形 브러쉬(brush)나 샌더(Sander), 도금 加工에 의해 表面加工을 하고 있으나 앞으로는 이들 特殊表面加工과의 組合研究가 필요하다. 그밖에도 로울 成形品의 複合加工, 샌드위치 加工, 厚肉化, 薄肉化, 프리 코오트(precoat)化 등의 技術이 앞으로 開發될 것이다.

3. 結 言

以上 材料의 塑性和 塑性加工에서 主要研究現況과 問題點에 대해 개략적으로 記述하였다. 塑性加工解析이 日本에서도 그렇지만 특히 우리나라에서는 定量的인 것은 研究報告가 많이 나와 있지만 定性的인 報告는 별로 없다. 現場의 技術者는 오히려 定性的인 것에 關心이 많은 것으로 생각된다. 앞으로 定性的인 研究가 活性化되면 現場의 많은 問題들이 解決되리라 생각된다. 따라서 塑性加工의 解析을 材料의 微視的面에서도 많이 報告하기를 기대한다.