



岐阜大学機関リポジトリ

Gifu University Institutional Repository

‘塑性’における中高速域での速度効果

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2008-02-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 山下, 実 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12099/1683

氏名（本籍）	山下 実（愛知県）
学位の種類	博士（工学）
学位記号番号	乙第 11 号
学位授与年月日	平成 11 年 3 月 25 日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	‘塑性’における中高速域での速度効果 (Rate Effects in ‘Plasticity’ in the Moderately High Range)
学位論文審査委員	(主査) 教授 後 藤 学 (副査) 教授 藤 井 洋 教授 戸 梶 恵 郎 教授 長 谷 川 典 彦 教授 堂 田 邦 明

論文内容の要旨

本論文では，プレス加工の高速化という趨勢に従い，中高速域(以下，単に高速と記す)での常温の塑性特性などの解明を目的とした．落錘式衝撃試験機を利用した各種の高速塑性変形に関する実験的研究，および有限要素法数値シミュレーションを援用して，高速変形における実験現象の検証や変形予測に関する研究を行った．

第 1 章は本論文の序論で，研究の背景と動機および目的，研究の概要と論文の構成について述べる．

第 2 章では落錘式衝撃試験機援用高速引張試験装置の開発と高速引張試験について述べる．従来例の無い定寸停止が可能な高速引張試験装置を開発した．同装置の動作と試験片のくびれ発生を含む変形挙動に関して，動的陽解法有限要素法で数値的にシミュレートして，振動成分を含む荷重曲線をスムージング処理すれば真の荷重曲線が得られると結論した．純アルミニウム(A1050-O)，アルミニウム合金(A5056-O,1/4H)および純銅(C1100-O,H)について，高速単軸引張試験を行い，ひずみ速度が約 200 /s という高速域での応力-ひずみ曲線を得た．そして，ひずみ速度敏感性指数(m 値)などについて高速域での材料特性値を明らかにした．さらに， m 値が負と求まった A5056 に関して，直方体試験片の平面ひずみ高速圧縮を行い，負の m 値に起因すると考えられるひずみ集中現象を確認した．

第 3 章では，高速引張試験の数値実験について述べる．弾塑性および粘弾塑性材料の丸棒の高速引張試験を，動的陽解法有限要素法で数値的にシミュレートした．ひずみ速度範囲は 50, 200~1000 /s で，試験片寸法は準静的な試験に通常用いるものと同様である．材料密度，ひずみ速度および m 値が，変形形状や荷重曲線に及ぼす影響について検討した．引張速度が塑性波の伝播速度よりも小さい場合でも， m 値が小さくひずみ速度がある程度大きい時，慣性効果による不均一変形が生じ，その程度やパターンは，材料密度や変形速度によって非常に影響されるものであるとの結果を示した．また，2 個所でくびれが発生するという特異な変形パターンが時折見られた．解析的に求められた最大荷重条件や Hart の不安定発生規準は，実際の高速引張試験に対しては適用できないことが判明した．高速変形における形状的不安定の発生に関する評価方法として，試験片平行部について断面積の減少速度の最大値を評価するという方法

が実用上有効であると提案した。

第 4 章では落錘式衝撃試験機援用高速圧縮試験装置の開発と接合実験への応用について述べる。開発した高速圧縮試験装置は定寸停止が可能である。供試材は純アルミニウム(A1050-O)、アルミニウム合金(A5056-O,1/4H)および純銅(C1100-O,H)である。圧接実験では、鋸歯状境界面で積層したブロックの鋸歯が平面ひずみ圧縮で成長するという現象を利用した。高速(圧縮速度 10 m/s)および低速で実験を行い、各種接合性に及ぼす因子等を明らかにした。A5056 の高速圧縮ではせん断破壊が生じた。C1100-H の接合性は他に比べて良好で、鋸歯境界面のブラッシング処理は低速での接合性向上に有効であった。さらに、高速変形中の m 値の評価方法を考案し、ひずみ速度が約 500 /s という高速変形域での m 値を求めた。A1050-O の m 値はかなり大きかった。A5056 については、変形が大きくなると m 値が急速に小さくなった。このことは、前述の高速圧縮で生じたせん断破壊の原因と関連があると推測した。

第 5 章ではアルミ・ハニカム材の衝撃変形特性に関する研究について述べる。六角形セルの A5052 アルミハニカムについて、セルサイズ、箔厚、衝突速度が圧縮応力に及ぼす影響について検討した。落錘式衝撃試験機を用いて最大 10 m/s の速度で衝撃圧縮を行った。同じ箔厚のハニカムを圧縮する場合、セルサイズが大きいと繰り返し座屈の不規則性が増し、急激にクラッシュ強度が減少する傾向が見られた。ハニカムを軽量の衝撃吸収材料として使用する場合、セルサイズが小さいものの方が適していることがわかった。クラッシュ強度は落錘の衝突速度が速くなるほど若干大きくなった。さらに、六角形セルのハニカムに対して、二重壁を考慮した単純化計算モデルを考案し、動的陽解法有限要素法で数値的にシミュレートしたところ、実験で見られた繰り返し座屈現象の再現のみならず、クラッシュ応力も定量的に実験値を再現できた。

第 6 章では、純アルミニウムのせん断加工における速度効果および断熱せん断帯(A.S.B.)の生成とそれに沿う溶融の発生を検討した研究について述べる。円形の純アルミニウム板から同芯の円板の打抜き加工を、高速 10 m/s、低速 0.1 mm/s というポンチ速度で行った。硬質材の抜き残りリングの断面形状精度は、高速せん断で改善された。また、低速せん断の切り口面には凝着痕が見られるのに対して、高速せん断では光沢のある平滑なせん断面が得られた。素板外周に拘束リングを適用した高速せん断において、厚さ 10 mm の素板から最小 1.5 mm の幅のリングが完全な状態で形成できた。その時の切り口面のビッカース硬さ分布は、ほぼ均一で加工硬化がほとんど生じていないことを確認した。さらに、その切り口近傍の断面組織観察から、高速では切り口面から約 0.05 mm の領域では流れ線は全く見られず、A.S.B.と判断された。実測した A.S.B.の半幅値をもとに、A.S.B.の発生のみならず、それに沿う溶融の可能性のあることを理論的に示した。

以上、本研究を通して得られた高速材料特性などに関する研究結果の多くは、一般のプレス成形へ資することができるものである。また、接合法やハニカム材の衝撃圧縮に関しても実用上、非常に意義のある研究結果を得た。

学位論文等審査結果の要旨

提出された学位論文に関して、審査委員会において公正にして慎重な審査を行った結果、その内容は工学博士の学位に十分値するものであるとの結論を得た。

すなわち、生産の効率化と成形品の特性の向上などを目的として、塑性成形プロセスは高速化の傾向にあるが、工具スピードで約10 m/s程度までが一般的である。しかし、この中高速ともいべき速度域での材料の塑性特性に関する研究は少ない。本論文は、高速化する塑性成形に資する目的で、そうした中高速（以下、単に高速という。）での各種塑性金属材料の、引張・圧縮・せん断特性および関連の塑性成形特性について、実験法・実験装置の開発とともに広く深く研究したものである。使い易さと汎用性の高さから、高速を得るために落錘式衝撃試験機を一貫して援用している。各研究はほとんど例外なく、動的陽解法に基づく有限要素法による数値シミュレーションを用いて、数値的検討を併せて行っており、特にひずみ速度が1,000 /sを超える超高速を含む種々の引張速度下での引張試験について数値実験も行っている。それにより、超高速引張試験における質量効果が無視できないこと、および（超）高速引張での不安定挙動への速度と材料特性の影響、などを明らかにしている。引張試験に関しては、従来困難視されてきた落錘式衝撃試験機を用いた定寸停止機構付き高速引張試験装置を開発し、破壊特性を含めて、各種金属材料の高速引張変形特性を求めることに成功している。圧縮試験に関しては、やはり従来例のない、落錘衝撃試験機援用の定寸停止機構付き高速圧縮試験装置を開発し、各種金属材料の高速圧縮破壊特性ならびに圧縮変形特性を求めることに成功している。これら高速引張・圧縮試験は、例えば材料の高速域でのひずみ速度感受性指数の新しい測定法の提案なども含んでいる。また、圧縮試験では、衝撃圧接の研究も行っており、とくに2種金属の界面を鋸歯状にするという斬新なアイデアで接合特性を調査している。さらに、ハニカム材料の衝撃圧縮試験を行い、これも従来渴望されながら得られていなかったハニカム材料の衝撃圧縮特性を種々の観点から求めている。せん断試験では、パンチ速度10 m/sの高速せん断ではせん断切り口面性状が低速せん断より格段に優れること、さらにたとえば10 mm厚さの円板から巾1 mmのリングが打ち抜けること、その際せん断面に沿って断熱せん断帯や溶融さえ生じていることなどを明らかにしている。

このように、得られている様々な新しい知見はいずれも興味深く斬新かつ有用であること、落錘式衝撃試験機を高速域での引張・圧縮の高精度試験に用いることができるようにしたこと、また数値シミュレーションのこの方面での活用法とその有用性を明らかにしたことなど、内容的に広範・高度でかつ現代的である点、また単に学術性に富むだけでなく、実用的でもある点などが高く評価された。