

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年4月27日現在

機関番号：13701
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21560115
 研究課題名（和文） 冷間鍛造金型の設計基準の構築
 研究課題名（英文） Development of design standard for cold forging die
 研究代表者
 王 志剛（WANG ZHIGANG）
 岐阜大学・工学部・教授
 研究者番号：30244510

研究成果の概要（和文）：実機鍛造金型に生成するひずみの計測値を用いて、金型疲労破壊のき裂起点における応力を推測する方法を提案した。実機鍛造時の金型応力の実測値とFEM解析値との相関を明らかにした。金型疲労破壊のS-N線図の構築法を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：The prediction method of die stress at the starting point of fatigue crack by the cold forging load has been developed by using the measured die strain generated by forging load. The calculated die stress by FEM simulation shows a good agreement with the measured die stress. The S-N curves of die fatigue in cold forging process had been obtained.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：成形加工、塑性加工、金型、鍛造加工

1. 研究開始当初の背景

冷間鍛造は、各種精密機能部品の製造技術として広く用いられている。冷間鍛造用金型は鍛造荷重の最小化を基準に設計されている。しかし、鍛造荷重は金型構造・形状に鈍感で、最小荷重基準のみでは金型構造・形状の最適化はできない。現状では経験に基づく設計は一般的である。一方、有限要素解析法（FEM）の発達に伴い、鍛造時の金型応力状態が算出できるようになり、金型応力の最小値を設計基準に用いる例が増えている。しかし、実際の鍛造用金型の製造工程および鍛造工程は複雑で、FEMの計算結果と実加工における金型応力との相関は不明な

ため、成形因子、金型構造・形状因子の影響を定量的に見積もることが不可能で、金型寿命を予測できない状況が続いている。

2. 研究の目的

- (1)本研究では、冷間鍛造による金型き裂の発生・成長を支配する力学因子の影響を明らかにする。
- (2)金型疲労破壊のS-N線図を構築する。

3. 研究の方法

- (1)金型応力の実測値とFEM解析値との相関を明らかにする。マイクロフォーマーを用いて、冷間鍛造の代表的工程である押し-

据込みの最終工程のダイに作用する応力をひずみゲージで計測する。FEM解析には商用ソフトDEFORM2Dを用いる。フォーマーの加工速度を準静的な条件から量産速度まで変化させ、衝撃作用による金型応力の実測値とFEM解析値との相違と相関関係を明らかにする。

(2) 金型疲労破壊のS-N線図を明らかにする。金型の構造・形状因子、被加工材の引張強さ等を変更して疲労破壊のS-N線図を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 金型応力の計測法を構築した。

図1に鍛造工程のプロセスを示す。第一工程の予備鍛造と第二工程の最終鍛造の2工程からなる。被加工材の直径は1.95mmの鋼線とした。実加工に即した条件でFEM解析を行うため、まず圧入、予備成形の解析を行い、そのデータを用いて最終加工を解析する。最終成形で用いた金型形状を図2に示す。本解析において、インサートは弾塑性体、スリーブ・ケースは弾性体、ビレットは剛塑性体とし、変形モードは等温軸対称とした。インサート、スリーブI・II、ケース、ビレットの材料はそれぞれGL90、SUJ2、SKD61、SWCH12Aを用いた。これまでの研究で超硬製金型インサートの円周方向の応力・ひずみが金型破壊に大きな影響を及ぼすこと、インサートの破壊は絞り部の入口・出口付近に集中することが明らかとなっている。ここでは実験計測を考慮し、インサート絞り部付近(A点、B点)の応力とケース内表面から1mmの地点(Z点)に生じるひずみの関係について検討した。インサートの破壊機構を把握するには、鍛造時のインサート内部の応力・ひずみを計測するのが最良であるが、マイクロフォーマーの構造や超硬合金の強度を考慮すると難しいと思われるため、ひずみを計測する場所をケースのZ点とした。

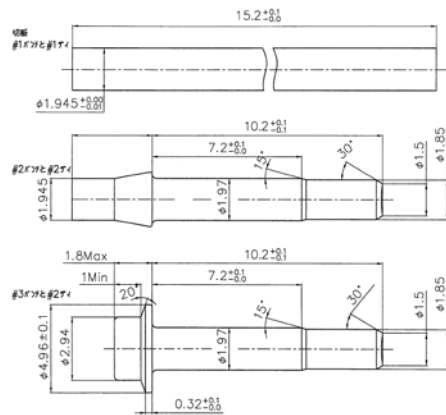


図1 鍛造工程レイアウト

図3(a)に予備成形時、(b)に最終成形時の加工進行に伴うA点、B点の円周方向応力とZ点の円周方向ひずみの変化を示す。(a)では加工終了時までインサートに圧縮応力が作用しており、Z点でのひずみの変化も小さい。一方、(b)では被加工材がパンチ肩部に接触すると、急激にインサート内側の応力が増加していき、加工終了時に最大応力が発生する。また、A点、B点の応力の増加に伴いZ点のひずみも大きくなる。図4に最終鍛造時におけるA点、B点の円周方向応力とZ点の円周方向ひずみの関係を示す。Z点のひずみの増加に伴い、A点、B点の応力が単調に増加しており、Z点のひずみの計測値を用いて、A点、B点の応力が推測可能である。

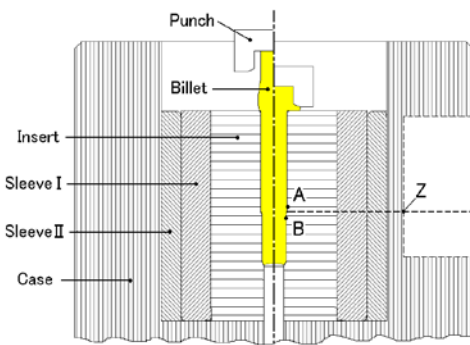
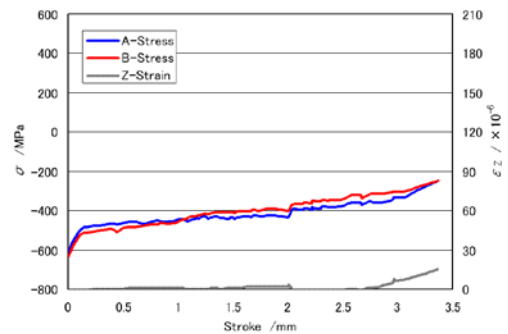
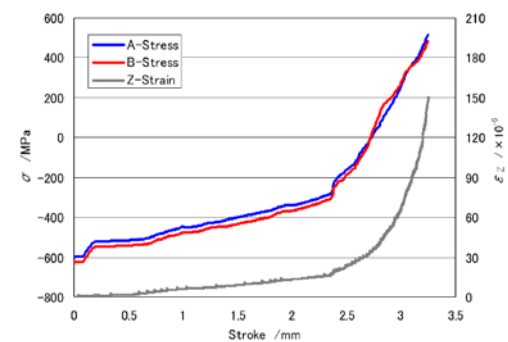


図2 鍛造金型の構造とひずみの計測位置



(a) Pre - forming



(b) Upsetting

図3 鍛造時の金型応力、ひずみの変化

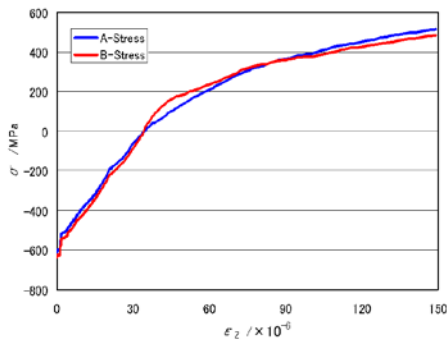


図4 計測点のひずみと金型応力との相関

(2) 金型疲労破壊の S-N 線図の構築法を明らかにした。

鍛造時の応力を任意に変えるために、被加工材の強度あるいは金型の剛性を変更するのが簡便である。以下は金型の剛性を変更する場合の結果を例示する。

図5に解析モデル、図6にFEM解析の結果を示す。金型の厚みを変更することによって金型の応力の大きさを変更することができる。

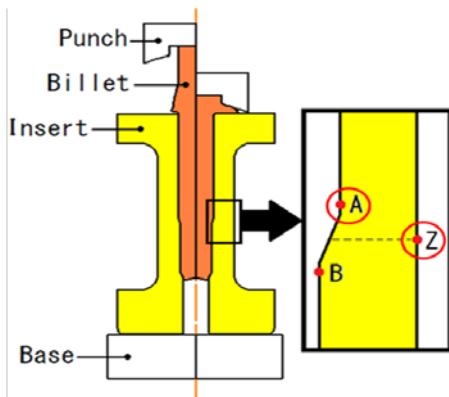


図5 金型解析モデル

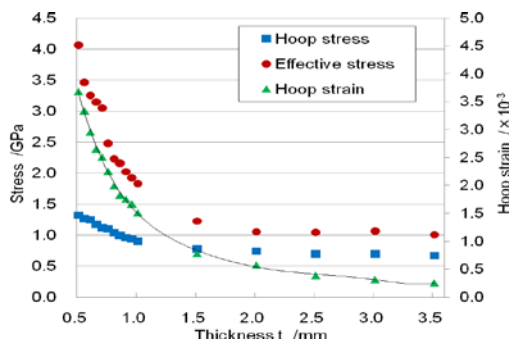


図6 金型応力の大きさに及ぼす金型厚みの影響

図7に実機鍛造時の金型ひずみの実測値とFEM解析値との比較を示す。第一工程の予備鍛造と第二工程の最終鍛造のいずれにおいても高精度に一致しており、FEM解析を用いて、金型の応力状態を定量的に把握できることを明らかにした。

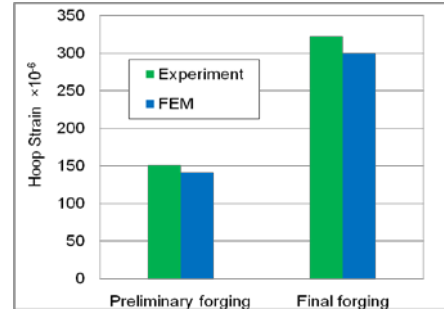


図7 鍛造による金型ひずみの実測値と解析値との相関

図8に実機鍛造によって得られた金型疲労破壊の S-N 線図の例を示す。超硬合金製金型の疲労寿命は金型の円周方向応力に非常に敏感である。

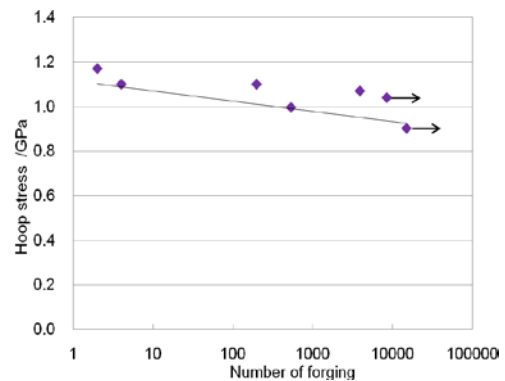


図8 構築した金型版 S-N 線図の例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計4件)

- (1) 曾我啓志、李浩傑、西野翔平、王志剛、押出し-据込み成形における超硬金型の破壊、日本機械学会東海支部第61期総会・講演会論文集、2012年3月15日、名古屋。
- (2) 王志剛、李浩傑、中野慎也、曾我啓志、冷間鍛造における金型の弾塑性変形挙動、日本機械学会東海支部第60期総会・講演

会論文集、2011年3月14日、豊橋。

- (3) Zhigang Wang, Haojie Li, Shinya Nakano, Elasto-plastic deformation behavior of cemented carbide die in cold forging, Proc. of the 10th Asia-Pacific Conference on Engineering Plasticity and Its Applications, Oct. 16, 2010, Wuhan, China.
- (4) Haojie Li, Shinya Nakano, Tatsuhiro Suzuki, Zhigang Wang, Elasto-plastic deformation behavior of cemented carbide die in cold forging, ISIJ Young Researcher's Asian Workshop on Advanced Forming technology, Sep. 23, 2010, Nagoya, Japan.

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

王 志剛 (WANG ZHIGANG)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：30244510