

大阪産業大学・短大部

立命館大学・理工学部

立命館大学・理工学部[院]

立命館大学・理工学部

正 ○中山 英明

正 田中 道七

村田 隆行

正 山元 茂

1 緒言

近年、各種電子デバイス実装の高密度集積化が飛躍的に進行していく中で、個々のICパッケージおよびこれらから構成される電子機器の耐久信頼性に関する問題が注目を集めてきており、そこではいわゆるマイクロ接合に関する問題が中核をなしている¹⁾。電子部品実装の80%以上ははんだ付けによるとされており、はんだもしくははんだ継手の強度特性評価は基本的な問題である^{2) 3) 4)}。本研究は60Sn40Pbはんだおよびこれと工業用純銅からなる継手について体系的な疲労特性評価を行った結果に関するものである。

2 供試材料、試験片および実験方法

2-1 供試材料および試験片 本研究で用いたはんだ材料は坩堝内で溶融・混合した均一鑄造組織の60wt% Sn/40wt% Pbはんだおよび純度99.99%の工業用純銅である。本実験で用いたはんだ単体試験片(以下、はんだ試験片)および銅/はんだ/銅継手試験片(以下、継手試験片)の形状寸法をFig.1(a)(b)に示している。

まず、はんだ試験片作成の手順は以下の通りである。上述組成の鑄造はんだを再び溶融し、銅製鑄型に鑄込んで3mm厚の素片を得、これをFig.1(a)の形状寸法に機械加工し、試験片表面に#1200までのエミリー研磨を施した。そののち、100℃、1時間保持の焼鈍処理を施し、実験に供した。なお、銅製鑄型の内壁にははんだの溶着防止のため高温潤滑材を塗布した。

継手試験片は接合部表面を#1200までエミリー研磨した3mm厚の純銅板を所定の接合間隔 L_s を保って治具に固定の上、接合部表面にフラックス(酸化コバルト溶液)を塗布し、接合治具を溶融温度以上に加熱ののち、はんだ材料を溶融・注入して継手素片を得、これにはんだ試験片の場合と同様の機械加工、研磨および熱処理を施し、実験に供した。なお、Fig.2(b)に示すように継手試験片のはんだ部長さ L_s は2, 5, および10mmの3種とし、以下これらをA, B, およびC継手試験片と称する。

2-2 実験方法 正弦波および矩形波状応力波形下での通常の繰返し疲労試験、衝撃疲労試験およびクリープ試験を行い、はんだおよび継手試験片の耐久強度特性の全体的様相を調べた。はんだ試験片に対する正弦

波および矩形波状応力下での疲労試験はそれぞれ繰返し周波数1, 10, 100Hzおよび0.1, 1, 10Hzの条件下で行い、衝撃疲労試験は繰返し周波数10Hzの条件下で行った。また、継手試験片に対しては繰返し周波数が0.1, 1, 10Hzの条件下で矩形波状応力下での疲労試験を行い、クリープ試験は兩種試験片を用いて行った。矩形波状応力および衝撃応力の例をFig.2に示している。

正弦波および矩形波状応力下での疲労試験およびクリープ試験には容量30kNの電気油圧サーボ式疲労試験機を使用し、負荷条件は応力比 $R=0$ の完全片振り引張とした。なお、Fig.2に示すように矩形波状応力下では負荷周期の1/2が最大応力保持時間であり、これと破壊繰返し数の積を累積応力負荷時間と定義し、この側面からの検討も加えた。衝撃疲労試験の遂行にはホプキンソン棒方式を原理とする油圧・パネ式高速衝撃疲労試験機を用いた⁵⁾。衝撃応力波形に対してはFig.2に示すように応力作用時間全域を応力負荷時間 ΔT とした。この場合の衝撃応力負荷時間は2.3msecである。また、衝撃応力の大きさは最大応力を採用した。

なお、はんだの強度特性は環境温度に敏感なことから、各種の特性試験は $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の温度制御環境下で行った。なお、衝撃疲労試験の一部は $14 \sim 16^\circ\text{C}$ で行った。

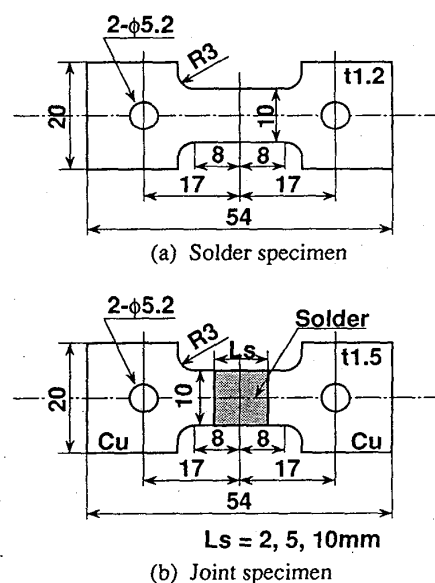


Fig.1 Shape and sizes of specimen

3 実験結果および考察

3-1 はんだ試験片の疲労およびクリープ特性

Fig. 3 にはんだ試験片の正弦波および矩形波状応力下での疲労試験結果を示す。図より、はんだの疲労強度は明確な繰返し周波数依存性を示し、繰返し周波数が低いほど低強度となる。また、正弦波および矩形波といった荷重形態の差異よりも繰返し周波数に対する依存性が高いことが認められる。

次に、Fig. 4に衝撃疲労試験結果を矩形波状応力下での結果と共に示す。衝撃疲労強度は低繰返し領域においては相対的高強度を示すが、そのS-N曲線の勾配は大きく、破断繰返し数の増加に伴い矩形波状応力下でのS-N曲線に漸近し、さらに高繰返し数範囲では矩形波状応力下疲労強度を下回ることが外挿的に予想される。これまで行われてきた各種金属材料の衝撃疲労強度に関する研究によると、衝撃波応力下における疲労強度の低下は繰返し数が 10^5 回以上の高繰返し領域において現れやすいことが示されており⁶⁾、Fig. 4に見られるはんだの衝撃疲労特性と従来の衝撃疲労特性の関連については今後の研究で確認する必要がある。

Fig. 4に示したS-N関係を応力と累積負荷時間の関係に取り直し、クリープ破断強度と疲労強度の対応を見たものがFig. 5である。ここで、クリープ試験結果に対しては破断時間 T_f が、繰返し疲労試験結果に対しては前述のように応力保持時間と破断繰返し数の積で定義される累積負荷時間 $\Delta T \cdot N_f$ が横軸にとられている。まず、矩形波状応力下における疲労試験の実験結果につい

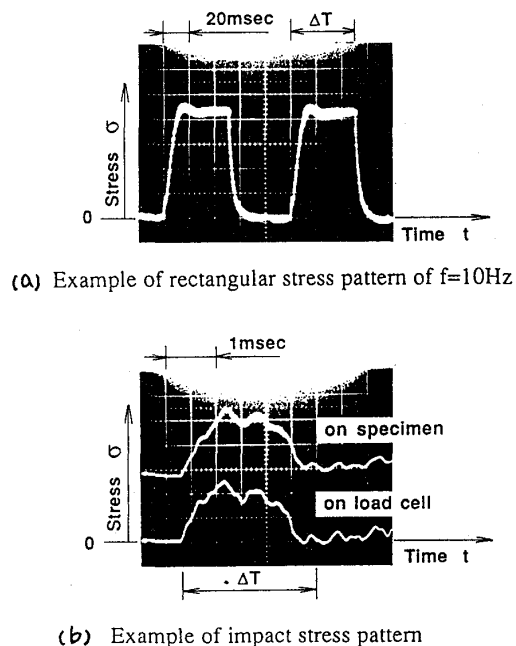


Fig. 2 Examples of rectangular and impact stress patterns

てはFig. 4に見たような繰返し周波数の違いによるS-N関係の差異は消失している。また、これらの矩形波応力下の疲労強度とクリープ破断強度は良い一致を示すことが認められる。次いで、衝撃疲労試験結果は矩形波状応力下における疲労試験の実験結果と比べて、累積負荷時間の増加に対する強度の低下度合が大きく、高

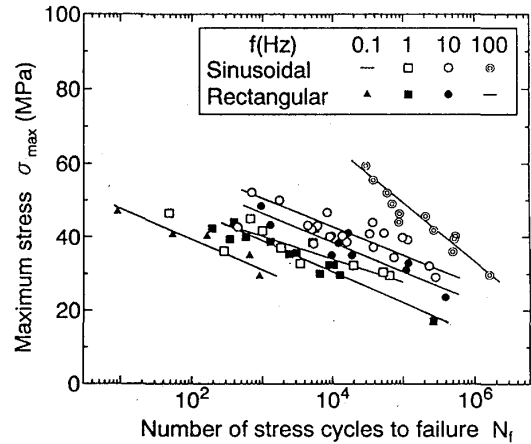


Fig. 3 Ordinary fatigue strengths of the solder specimen

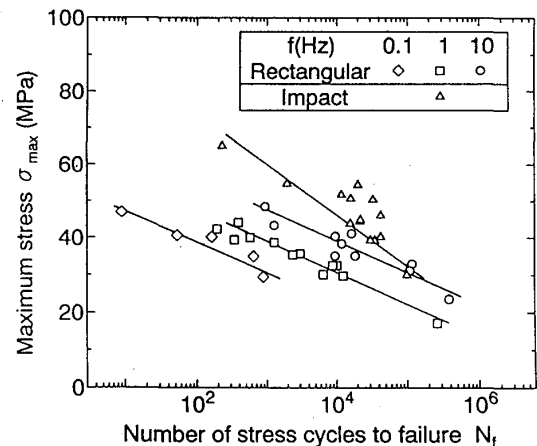


Fig. 4 Fatigue strengths of the solder specimen in impact fatigue and in ordinary fatigue tests

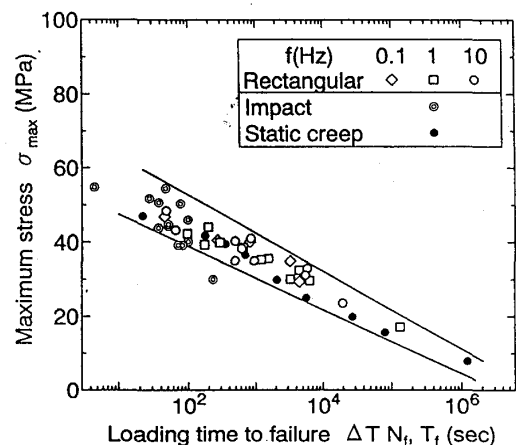


Fig. 5 Relationship of $\sigma_{\max}$ vs. the cumulative loading time of the solder specimen

寿命側では相対的低強度となる傾向が観察される。また、前述のように衝撃応力下における応力荷重時間 ΔT は応力作用時間全体で定義したが、より厳密に評価すれば、衝撃荷重下での $\sigma_{max}-\Delta T \cdot N_f$ 関係は幾分短寿命側に移動することが予想される。そうした場合でも本実験の範囲では衝撃疲労強度は累積荷重時間による評価により、矩形波応力下での疲労試験結果およびクリープ試験結果と明確な差異はなく、およそ同程度と判断し得る。しかし、Fig.4にみた衝撃疲労特性とも考え併せて、さらに高サイクル側での衝撃疲労挙動については実験的検討を加える必要がある。

3-2 継手試験片の疲労およびクリープ特性 A, B および C 継手試験片の矩形波応力下における S-N 特性をはんだ試験片の矩形波応力下における S-N 特性と併せて Fig. 6

に示す。図より継手試験片の S-N 特性ははんだ試験片の場合と同様の繰返し周波数依存性を示すが、繰返し周波数の低下に伴う疲労強度の低下割合にははんだ部長さ L_s が反映している。また、3種の継手試験片の疲労強度ははんだ試験片の結果を上回り、また、はんだ接合部長さが短いほど高強度となる傾向を示している。3種の継手試験片の矩形波応力下の疲労試験結果およびクリープ試験結果を Fig. 5 の場合と同様に累積荷重時間に対して示したものが Fig. 7 である。ここにおいても、はんだ試験片と継手試験片の間の強度差が幾分縮小はするものの依然として継手試験片の方が相対的高強度を示している。こうした強度差を明確にするため、はんだ試験片および継手試験片による矩形波応力下での疲労強度およびクリープ強度を試験片種別でグループ分けして示したものが Fig. 8 である。

図にみるはんだ試験片と継手試験片間の強度差および継手試験片の場合のはんだ接合部長さの差異による強度差は破壊箇所となるはんだ部での塑性変形の差異に起因するものであるが、この点についての詳細は紙幅の都合上、講演当日に譲る。

4 結 言

本研究の結果、はんだ単体試験片もしくは継手試験片の各種荷重条件下での耐久寿命は累積荷重時間をパラメータとして統一的に整理し得ること、および塑性変形の拘束作用により、継手試験片ははんだ試験片よりも高強度を示すことなどが明らかとなった。

参考文献

- 1) 溶接学会編, "溶接・接合便覧", 丸善, 509(1987).
- 2) 中山, 田中, 機講論, No. 910-49, 11(1991). 3) 中山, 田中, 村田, 山元, 材料, (1992)[掲載予定]. 4) T. Tanaka,

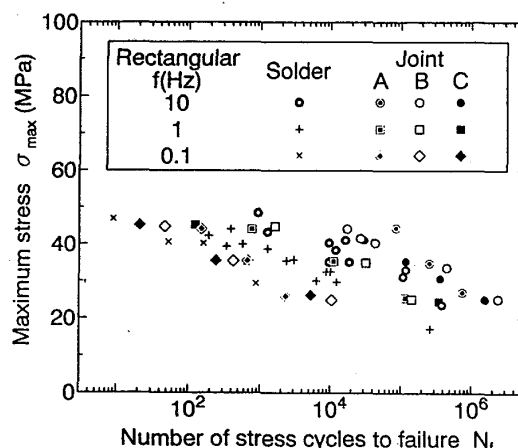


Fig.6 Ordinary fatigue strengths of the joint specimens in comparison with those of the solder specimen

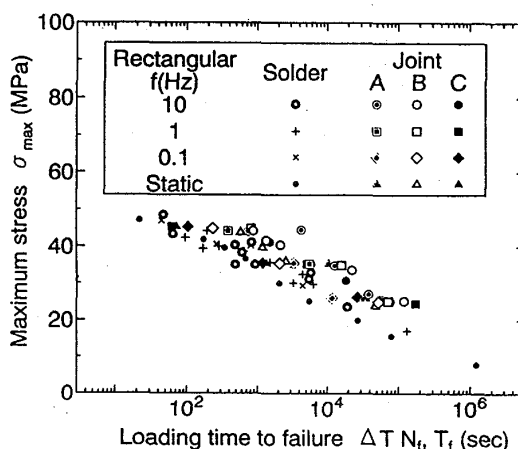


Fig.7 Relationship of σ_{max} vs the cumulative loading time of the joint specimens

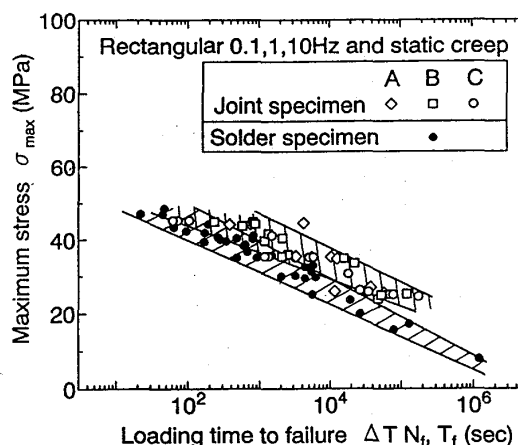


Fig.8 Comparison of the fatigue and creep strengths of the joint specimens and those of the solder specimen

- T. Murata, H. Nakayama, S. Yamamoto and K. Kinoshita, Proc. ASME/JSME Joint Conf. Electronic Packaging, (1992)[In press]. 5) 田中, 木下, 中山, 機論(A), 55, 970(1989). 6) 中山, 田中, 材料, 34, 1483(1985).