

香川大学 ○森山史子 正 江原隆一郎
谷口金属熱処理工業所 樽島吉鷹 藤田淳司

1. 緒言

機械構造用鋼 S45C と冷間工具鋼 SKD11 を液相拡散接合し、サニタリー用品製造ラインで適用されるダイ・アンビルロールに適用する予定である。両鋼材の性質を有効に使用するには拡散接合継手の疲労強度と機械的性質を把握する必要がある。そこで、丸棒継手試験片の引張試験と軸荷重片振疲労試験を実施して得た液相拡散接合条件と引張強さ、疲労強度との関係および引張破面、疲労破面の詳細な解析結果について報告する。

2. 試験方法

2.1 試験片

直径 8 および 14mm の市販の S45C 鋼と SKD11 鋼をアモロファスニッケルをインサート材とし、923K で 60 分、1173K で 30 分間予熱後、1343K で 30 分間溶融接合した。その後、1293K で 90 分間拡散焼入れ保持し、真空中において冷却条件下で拡散接合を行い、引張および疲労試験片を作成した。引張試験では接合面の面積効果をみるために直径 8 および 14mm の丸棒引張試験片を作成した。直径 8mm の試験片では接合面の形状を円形および角度 150 度の円錐形の 2 種類の継手面積を有する試験片とした。一方、疲労試験片の直径は 6.5mm とし、接合面の形状を円形および角度 150 度の円錐形状試験片とした。また、接合面を研磨し、接合面の溝を可能な限り浅くした試験片も作成した。

2.2 引張試験

直径 8mm の試験片には島津製オートグラフ (AG-100kN)、直径 14mm の試験片には東京衡機製引張試験機 (760-S10, 500kN) を用いた。引張速度は 10mm/min である。

2.3 疲労試験

インストロン製油圧サーボ疲労試験機 (Fast Track 8800, 100kN) を用い、試験速度 20Hz, $R(\sigma_{\min} / \sigma_{\max}) = 0.05$ で室温大気中で行った。

2.4 破面解析

代表的な引張、疲労破面について日本電子製走査型電子顕微鏡 (JSM-840) を用いて詳細な観察を行った。

3. 試験結果および考察

3.1 引張特性

直径 8mm の健全継手試験片の最大引張強さの平均値は円形試験片で 457.17MPa、円錐形状試験片で 503.25MPa となり円錐形状の試験片が 10% 高い引張強さを示した。直径 14mm の円錐形状健全継手試験片の最大引張強さは 380.78MPa となり、直径 8mm の試験片に比べ約 17% 低下した。

このように、円形形状試験片に比べ円錐形状試験片の引張強さが大きくなるのは円形に比べ円錐形状試験片の接合面積が大きくなるためと考えられる。また、8mm と比較し、直径 14mm の円形試験片の引張強さが低下するのは継手面に発生する欠陥の割合が大きくなり、その欠陥の影響が大きくなるためと推察される。引張試験後の破面に著しい接合不良部が見られた 2 本の 14mm 試験片では引張強さが 200MPa 以下となり健全継手試験片と比較し、約 50% 低下した。

S45C 鋼および SKD11 鋼の直径 8mm 試験片の最大引張強さの平均値はそれぞれ 772.33MPa、1413.41MPa であった。一方直径 14mm 試験片での最大引張強さは S45C 鋼および SKD11 鋼でそれぞれ 689.56MPa、1515.79MPa である。ここで、接合部の引張強さを母材部の引張強さで除すことにより継手効率を求めた。その結果、8mm 試験片では円形形状、円錐形状の拡散接合継手試験片の継手効率は、S45C 鋼に対してそれぞれ約 59%、65% となった。また、SKD11 鋼に対する継手効率はそれぞれ約 32%、35% となった。一方 14mm 円形試験片においては継手効率は S45C 鋼に対して約 55%、SKD11 鋼に対して 25% となった。このように、継手効率も 8mm 試験片に比べ 14mm 試験片の方が低い値を示した。

直径 8mm 円錐状試験片の健全接合継手の降伏応力の平均値は 412.43MPa で S45C 鋼の平均値 447.62MPa に比べ、約 8% 低下した。従って、拡散接合継手の降伏比は 0.81 で S45C の 0.57 より高い値を示すことが明らかになった。

なお、拡散接合継手の伸び、絞り は S45C 鋼に比較して極めて低く、SKD11 鋼に近い値を示し、

拡散接合継手の延性は極めて低いことが明らかになった。

SEM による破面観察の結果では、拡散接合部の破面は、き裂発生部においてはディンプルが主体のミクロ破面形態を示した。一方、き裂発生後の急速破壊部では、ややへき開的な破面形態を示した(図 1)。

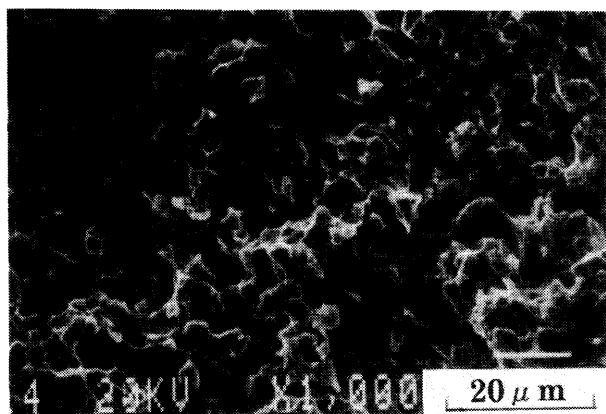


図 1 拡散接合継手の引張破面,円形
 $\sigma_B = 462.81\text{MPa}$

3.2 疲労特性

図 2 に拡散接合継手試験片の S-N 曲線を示す。断面形状が円形の試験片では疲労限度は約 90.40MPa である。同継手の引張強さは 457.17MPa であるから、疲労限度は引張応力の約 19% であることが明らかになった。一方、S45C 鋼の疲労限度は約 180MPa で最大引張強さの約 23% を示した。従って、拡散接合継手の疲労限度は S45C 鋼の約 50% に低下した。拡散接合継手試験片では拡散接合部が微小な環状切欠を呈し、そのために疲労き裂の発生が早まったために S45C 鋼に比較し疲労限度が低下したものと考えられる。円錐形状の試験片では、円形状試験片と比較し疲労限度が低下している。これは疲労き裂発生後の初期のき裂伝播速度が加速されたためと考えられる。一方、切欠部を表面研磨した円錐状試験片においては、き裂の発生は遅延するが、初期のき裂伝播速度は加速され円形状試験片と同程度の疲労強度を呈したものと考えられる。なお、鋼材の場合、データも少なくまた根拠も明確ではないが、一般に片振疲労限度は最大引張強さの 33% 程度とされている¹⁾。本実験では S45C 鋼および拡散接合継手共に約 10% 程度低い値が得られている。SEM 観察の結果、疲労破面は全破面のごくわずかを占めるにとどまった。ミクロ疲労破面では疲労に特有なストライエーションが認められたが大部分を占めるその他の破面ではへき開的な破面形態を示した。図 3 に代表的疲労破面の一例を示す。このように、拡散接合継手では疲

労き裂は接合部で発生し、初期き裂伝播の後略へき開的に破断するものと考えられる。

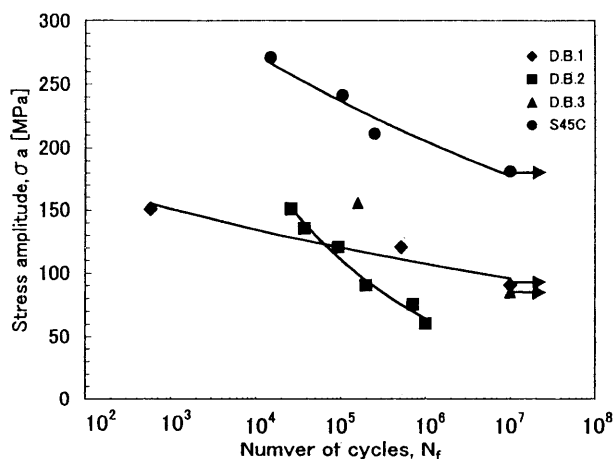


図 2 S-N 曲線

(注) D.B.1,D.B.2,D.B.3:拡散接合継手

DB1: 円形、D.B.2: 円錐形状、D.B.3:円形、研磨

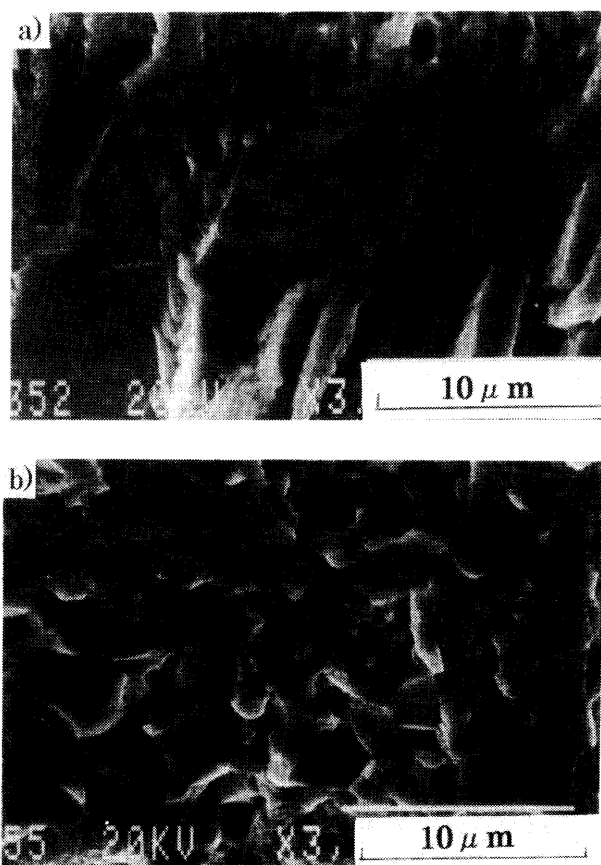


図 3 拡散接合継手の疲労破面

120.54MPa $N_f = 5.12 \times 10^5$

a) き裂発生部近傍 b) 急速破壊部

4. 結言、参考文献：省略