

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	残留応力を有する溶着および接着接合部の限界エネルギー解放率に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	島本一正
Author(English)	Kazumasa Shimamoto
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10222号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:佐藤 千明,堀江 三喜男,初澤 毅,松村 茂樹,只野 耕太郎
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10222号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

(博士課程)
Doctoral Program

論文要約

THESIS OUTLINE

専攻 : Department of	メカノマイクロ工学 専攻	指導教員 (主) : Academic Advisor(main)	佐藤 千明 准教授
学生氏名 : Student's Name	島本 一正	指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)	堀江 三喜男 教授

論文題目

残留応力を有する溶着および接着接合部の限界エネルギー解放率に関する研究

第1章：緒論

近年の自動車車体のマルチマテリアル化に伴い、異種材料間の接合が可能な接着接合の使用が増加している。しかし、接着接合は温度や湿度などの外的環境の影響を受け易いため、適切な強度評価が重要となる。接合強度を表すパラメータの一つとして限界エネルギー解放率がある。限界エネルギー解放率は、き裂の進展に要したエネルギーを、はく離した面積で除した値と定義されており、き裂進展に対する接合部の抵抗値を表している。これにより接合部の強度を評価できる。一方で、実験的に限界エネルギー解放率を測定する際、誤差の問題を常に考慮する必要がある。この誤差要因には、試験機の変形、理論と実際の現象の差異、測定者の読み取り誤差、試験片の塑性変形および試験片に発生している残留応力などがある。この内、主に異種材料間の接合部に発生する残留応力は、対処できる手法に限られるため、近年の車体のマルチマテリアル化に伴い、特に問題となりつつある。異種材料間の接合部には、熱膨張率の違いから温度変化により残留応力が発生し易く、特に接合強度評価に使用する試験片自体が残留応力を有する場合、試験結果に誤差を与えるため、正確な接合強度の測定が出来ない原因になる。しかし多くの場合、残留応力が及ぼす影響についての考察は行っておらず、残留応力が限界エネルギー解放率に与える影響について議論した研究は未だ少ないのが現状である。

以上の背景を踏まえて、本研究では、自動車車体のマルチマテリアル化に伴い問題となりつつある残留応力を取り上げ、限界エネルギー解放率の測定結果に及ぼす影響の解明およびその低減手法の確立を目的とする。

第2章：初期応力負荷による残留応力の影響の低減

本章では、熱可塑性樹脂と金属の熱溶着接合を取り上げ、残留応力が測定結果に与える影響の低減を目的とし、試験片に発生する残留応力自体を低減する手法について検証を行う。本提案手法は、発生する残留応力とは、逆方向の応力を接合前に初期応力として負荷することにより、残留応力の相殺する手法である。

線形はり理論を用い本手法の接合過程に発生する応力を重ね合わせ解析的に接合後の

応力を求めた。その結果、残留応力は、接合後の試験片の曲率半径に反比例することが明らかとなった。そのため、残留変形の低減に伴い残留応力が低減されることが分かった。

ポリアミド6を母材樹脂としたガラス繊維強化ポリアミドとアルミ合金A7075とを被着体とした試験片を作成し、本手法による残留変形や残留応力を実験的に調べた。接合後の試験片の残留変形をレーザー変位計により測定した結果、初期応力を負荷することにより、約90%もの残留変形の低減が確認された。試験片の曲率半径から残留応力を算出した結果、応力に関しても約90%の低減が明らかとなった。すなわち、初期応力負荷による手法は、残留応力および残留変形の低減が可能であることが実験的に明らかとなった。本試験片を用いることにより、残留応力による誤差のない限界エネルギー解放率を測定する事が可能となった。一方熱溶着時、金型の使用による樹脂の漏洩が発生し、接合界面の樹脂が減少したため、その接合強度が低下した。このため、本手法は、残留応力および残留変形の低減には有効であるが、接合強度の測定には問題を残す形となった。

第3章：残留応力の影響補正による限界エネルギー解放率の算出

本章では、第2章と同様の目的である残留応力が測定結果に与える影響の低減を、残留応力を有する試験片をそのまま用い、その後補正を行うことにより達成する。本手法は残留応力が与える影響を解析的に求め、その影響を補正することにより正確な限界エネルギー解放率を算出する手法である。

まず始めに試験片に発生する残留応力を線形はり理論より求め、これにより限界エネルギー解放率補正項を導出した。補正項には熱膨張率や温度変化など測定が困難なパラメータを使用せず、測定が容易な被着体の物性値、寸法および試験片の曲率半径を使用した。これにより残留応力の影響を補正した限界エネルギー解放率を容易に算出することが可能となった。

実際に残留応力を発生させた試験片を作成し、その影響を実験的に調べた。試験片の作成過程では、第2章で問題となった樹脂の漏洩を防止する手法を採用した。これにより、樹脂漏洩による接合強度の低下を防止することが可能となった。限界エネルギー解放率を求めたところ、ポリプロピレンなどの接合性の低い熱可塑性樹脂を母材として使用している繊維強化樹脂と金属とを熱溶着する場合には残留応力の影響が相対的に大きくなるため、その影響を補正して実際のエネルギー解放率を算出する必要があることが分かった。一方、ポリアミドなど接合性の高い樹脂を母材として使用している場合は、残留応力の影響は相対的に小さいことが明らかとなり、補正を行わなくても実際のエネルギー解放率に近い値を得ることが可能であることが分かった。よって、本手法により、残留応力が限界エネルギー解放率に与える影響を議論することが可能となり、その影響を低減することができた。

第4章：熱溶着強度に及ぼす表面処理の影響

ポリプロピレンと金属の熱溶着接合部の接合強度改善を目的とし、第3章で確立した手法を用い残留応力の影響を補正しつつ、表面処理による熱溶着接合部の接合強度の改善について検証を行う。ポリプロピレン(PP)は、優れた特性を持っている一方、接合性の悪い樹脂として知られている。本章では、PPと金属の熱溶着接合を取り上げ、金属側に対する種々の表面処理でアンカー効果の向上による接合性の改善を行った。表面処理により粗化された金属表面内部に溶融した樹脂が入り込み固化することでアンカー効果を高めることが可能である。

処理表面を走査型電子顕微鏡により観察した結果、各表面処理により金属表面が粗化されていることが確認され、その粗化形状は表面処理により異なっていた。この形状の違いが接合強度に影響を与える。実験的に限界エネルギー解放率を測定した結果、化学エッチング処理が最も接合強度を改善することが分かった。その試験片は、エッチング深さに関わらず金属側にGFRPPの母材樹脂が前面にわたり、付着しており、十分な接合強度を得ていることが確認された。この結果より、PPと金属の熱溶着接合には、化学エッチングが最も有効な手段であることが明らかとなった。

第5章：残留応力を利用した接着接合部の混合モード試験

既存の混合モード試験の問題点を解消することを目的とし、接着剤による同種材料の接合を対象に、意図的に残留応力を発生させることで、混合モード試験を行う新たな手法を提案する。残留応力を積極的に利用することで、従来の混合モード試験の問題点であった試験装置や試験片形状の特殊性を解決することが可能となる。実験的検証により、本手法により得られる結果は、従来の試験手法と同様の傾向を示すことが明らかとなり、本手法の有効性が確認された。

第6章：結論

本研究により、残留応力が限界エネルギー解放率に及ぼす影響が明らかとなり、その影響を低減もしくは利用することが可能となった。本手法を接合部の強度評価に適用することにより、その信頼性が向上する。本研究の成果が、自動車車体の軽量化、ひいては二酸化炭素排出量の低減と地球環境の保全に役立てば幸いである。