

Methode und Software zur effizienten Berechnung der Schweißverzüge an Großbauteilen

**Abschlussbericht zum Verbundvorhaben
„Intelligente Softwarelösung zur schnellen
Vorhersage und Optimierung von
Schweißverzügen bei der Entwicklung von
Großbauteilen (INSOFT)“**

Projektkonsortium:

Neue Materialien Bayreuth GmbH

simufact engineering gmbH

EADS Deutschland GmbH

pro-beam technologies GmbH

GMS – Gesellschaft für Metallurgische Systeme mbH

Lehrstuhl für Konstruktionslehre
und CAD der Universität Bayreuth

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation und Ziele des Verbundprojektes INSOFT	1
2	INSOFT-Methode zur effizienten Berechnung der Schweißverzüge	3
2.1	Berechnung der Schweißverzüge mittels eines mechanischen Schweißnahtäquivalentes (MSNÄ)	3
2.2	Ermittlung des MSNÄ mit Hilfe lokaler nichtlinearer FEM-Berechnungen	5
2.2.1	Nichtlineare FEM-Berechnung der Dehnungen entlang einer Schweißnaht	5
2.2.2	Einfluss der Schweißnahtlänge auf die zu erwartende Ergebnisgenauigkeit	11
2.3	Methoden zur Übertragung des MSNÄ auf Großbauteile	12
2.3.1	Problemstellung	12
2.3.2	Übertragung durch Interpolation	13
2.3.3	Übertragung mittels Superelemente	18
2.3.4	Übertragung des MSNÄ auf gekrümmte Schweißnähte	19
2.4	Integration des MSNÄ in die lineare FEM-Berechnung der Endform	20
3	Ermittlung der werkstofftechnischen Kennwerte	25
3.1	Temperaturabhängige Werkstoffeigenschaften und der Einfluss der Abkühlgeschwindigkeit	25
3.2	Ableitung von Daten und Eigenschaftswerten durch Berechnungen	31
3.3	Experimentelle Bestimmung der Werkstoffparameter	32
3.3.1	Untersuchte Werkstoffe	32
3.3.2	Aluminium A6056 T4 und T6	33
3.3.3	Nichtumwandelnder Stahl AISI 316L	36
3.3.4	Umwandelnder Stahl S355JRG2	37
3.4	Validierung des Werkstoffmodells für umwandelnde Stähle	41
4	Experimentelle Untersuchungen der Schweißverzüge an repräsentativen Proben und Validierung der Berechnungsmethode	47
4.1	Versuche an typischen Aluminium-Schweißverbindungen des Flugzeugbaus	47
4.1.1	Einfluss verschiedener Randbedingungen und Prozessparameter auf den Schweißverzug	47
4.1.2	Experimentelle Validierung der Berechnungsmethode an Haut-Stringer-Verbindungen	53
4.2	Versuche an Bauteilen aus Stahl	58
4.2.1	Einfluss der Schweißnaht- und Werkstoffeigenschaften auf den Schweißverzug	58
4.2.2	Weiterentwicklung der MSNÄ-Berechnungsmethode	62
5	Software zur Berechnung der Schweißverzüge an Großbauteilen	71
5.1	Softwarearchitektur	71
5.1.1	Genereller Programmablauf	71
5.1.2	Modulübersicht	71
5.2	Benutzeroberfläche	72
5.2.1	Kernmodule	72
5.2.2	Import von CAD-Dateien	73
5.2.3	Hexaedervernetzer (Netzgenerator)	74
5.2.4	Schnittstelle zur Werkstoffdatenbank	75
5.2.5	Schnittstelle zur MSNÄ-Datenbank	76
5.2.6	Schnittstelle zum FEM-Solver Z88	82
5.2.7	Abhängigkeiten	84
5.2.8	Bekannte Probleme	84

5.3	CAD-Schnittstellen	84
5.3.1	Theorie und Anforderungen an die CAD-Schnittstelle	84
5.3.2	Lösungsansatz und Integration	88
5.4	Bereitstellung und Berechnung werkstofftechnischer Kennwerte	91
5.4.1	Werkstoffdatenbank MatILDa als Interface zur Dateneingabe und Pflege	91
5.4.2	Werkstoff-Auswahl in INSOFT	93
5.4.3	Darstellung der Daten und werkstofftechnischen Zusammenhänge in INSOFT	94
5.5	MSNÄ-Datenbank	96
5.5.1	System-Architektur	97
5.5.2	Schnittstellenbeschreibung	98
5.5.3	Aktivität: Bedingte Abfrage	98
5.5.4	Aktivität: Einbau des MSNÄ in ein FEM-Netz	99
5.6	Linearer FEM-Solver	100
5.6.1	Workflow des linearen FEM-Solvers	100
5.6.2	FEM-Schnittstellenmodul	104
5.6.3	Verifizierung und Performance	105
5.6.4	Abhängigkeiten	108
5.6.5	Bekannte Probleme	108
6	Schweißverzüge an Demonstrationsbauteilen: Berechnung und Validierung	109
6.1	Dünnwandige Demonstrationsbauteile	109
6.1.1	Geometrie und Schweißparameter	109
6.1.2	Ermittlung des MSNÄ	110
6.1.3	Verzugsberechnung am Gesamtbauteil mit der INSOFT-Software	112
6.1.4	Vergleich der berechneten Endgeometrie mit experimentellen Verzugsmessungen	113
6.2	Dickwandige Demonstrationsbauteile	115
6.2.1	Geometrie und Schweißparameter	115
6.2.2	Ermittlung des MSNÄ	116
6.2.3	Verzugsberechnung am Gesamtbauteil mit der INSOFT-Software	117
6.2.4	Vergleich der berechneten Endgeometrie mit den experimentellen Verzugsmessungen	118
7	Zusammenfassung	120
8	Konsortium des Verbundprojektes INSOFT	122
9	Literatur	123
10	Anhang	126
10.1	Benutzerhandbuch für den INSOFT-Demonstrator	126
10.1.1	Allgemeine Hinweise	126
10.1.2	Installation	126
10.1.3	Grundaufbau und Bedienkonzept	127
10.1.4	Beispiel „three_rips“	140
10.1.5	Selektion/Trajektorien	140
10.1.6	Auswahl des MSNÄ	146
10.1.7	Starten von Prozessen	149
10.1.8	Ergebnisse	151
10.1.9	Netzgenerator	153
10.1.10	Erweiterte Optionen	159

10.2	Steuer- und LOG-Dateien des linearen FEM-Solvers	162
10.3	Anwendungsbeispiele der INSOFT-Software	163
10.3.1	Beispiel 1: Eine oder zwei Schweißnähte?	163
10.3.2	Beispiel 2: Schweißen mehrerer runder Schweißnähte	164