

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	STAND DER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG	5
2.1	LEICHTBAU MIT STAHL – TECHNOLOGISCHE GRUNDLAGEN	5
2.1.1	Vorbemerkungen	5
2.1.2	Leichtbaukonzepte und zum Einsatz kommende Fertigungstechnologien	6
2.1.3	Struktur-/Formleichtbau – Profilförmige Bauteile hergestellt mittels Walzprofilieren	9
2.1.3.1	Walzprofilieren – Einleitung, Entwicklung und aktueller industrieller Bedarf	9
2.1.3.2	Verfahrensbeschreibung und Grundlagen des Walzprofilierens	10
2.1.4	Fertigungsleichtbau – Presshärten: Verfahren und Werkstoffe	15
2.1.4.1	Presshärten – Einleitung, Entwicklung und aktueller industrieller Bedarf	15
2.1.4.2	Verfahrensbeschreibung und Grundlagen – Presshärten	17
2.1.4.3	Stähle für die Warmumformung – chemische Zusammensetzung und deren Werkstoffeigenschaften	19
2.1.4.4	Aktuelle Oberflächenveredelungen für das Presshärten	21
2.1.4.5	Charakterisierung des Prozessfensters im Hinblick auf die zu untersuchende Verfahrenstechnologie	25
2.1.5	Kombination der Leichtbaukonzepte – Kontinuierliche Profilherstellung mit integrierter Wärmebehandlung	28
2.1.5.1	Walzprofilieren mit integrierter Wärmebehandlung	28
2.1.5.2	Gleitziehbiegen mit integrierter Wärmebehandlung	28
2.2	SIMULATION/PROZESSMODELLIERUNG PROFILBILDENDER VERFAHREN MIT INTEGRIERTER WÄRMEBEHANDLUNG	31
2.2.1	Kaltprofilierprozess	31
2.2.2	Kontinuierliche Fertigungsprozesse mit integrierter Wärmebehandlung	33
2.2.2.1	Gleitziehbiegen mit integrierter Wärmebehandlung	33
2.2.2.2	Walzprofilieren mit integrierter Wärmebehandlung	35
2.3	ERWÄRMUNGSTECHNOLOGIEN ZUR EINBRINGUNG LOKAL DEFINIERTER BAUTEILEIGENSCHAFTEN BZW. ZUR WÄRMEBEHANDLUNG DÜNNER BLECHSTRUKTUREN	36
2.3.1	Flammwärmen (Flamme/Brenner)	36
2.3.2	Lichtstrahlwärmen (Infrarot-Punktstrahler)	37
2.3.3	Laserstrahlwärmen	37
2.3.4	Konduktives Wärmen	37
2.3.5	Induktives Wärmen	38
2.3.5.1	Allgemeines zur induktiven Erwärmung in Kombination mit anderen Fertigungsprozessen	38
2.3.5.2	Grundlagen der induktiven Erwärmung	39

2.4	VERGLEICHBARE TECHNOLOGISCHE MÖGLICHKEITEN ZUR HERSTELLUNG EIGENSCHAFTSSKALIERTER BAUTEILE	44
2.4.1	Vorbemerkungen	44
2.4.2	Monolithische Strukturen (einteilige Lösungen)	44
2.4.3	Mehrteilige Lösungen	48
2.5	ZUSAMMENFASSENDE BEURTEILUNG	50
3	HANDLUNGSBEDARF, ZIELSETZUNG UND LÖSUNGSWEG	53
3.1	HANDLUNGSBEDARF	53
3.2	ZIELSETZUNG DER ARBEIT	53
3.3	LÖSUNGSWEG	55
4	VERSUCHSPLANUNG	57
4.1	RANDBEDINGUNGEN/EINFLUSSFAKTOREN BEIM WALZPROFILIEREN MIT INTEGRIERTER WÄRMEBEHANDLUNG	57
4.1.1	Allgemeine Betrachtung	57
4.1.2	Betrachtungsraum – Festlegung einzelner Parameter	60
4.2	BESTIMMUNG DES PROZESSFENSTERS FÜR DAS WALZPROFILIEREN MIT INTEGRIERTER WÄRMEBEHANDLUNG	61
5	VERWENDETE WERKSTOFFE SOWIE ANLAGEN- UND WERKZEUGTECHNIK ZUR ENTWICKLUNG EINER TECHNOLOGIE ZUR HERSTELLUNG EINTEILIGER, EIGENSCHAFTSSKALIERTER PROFILBAUTEILE	63
5.1	WERKSTOFF UND BESCHICHTUNGSSYSTEM	63
5.1.1	Werkstoffbeschreibung	63
5.1.2	Beschichtungssystem	63
5.2	VERSUCHSSTÄNDE UND MESSTECHNIK	64
5.2.1	Walzprofilieranlage und Rollensatz	64
5.2.2	Generatortechnik und Induktoren	66
5.2.3	Aufnahme der Magnetisierungskennlinien – Anlagen zur Probenvorbereitung und zur Bestimmung des Magnetisierungsverhaltens	67
5.2.4	Bauteilcharakterisierung und Gefügeuntersuchung	69
5.3	PROZESSÜBERWACHUNG	71
5.4	VERWENDETE SIMULATIONS SOFTWARE	73
6	REFERENZVERSUCHE V-GESENKBIEGEN UND KALTWALZPROFILIEREN EINES HUTPROFILS AUS 22MNB5	75
6.1	EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN	75
6.1.1	Gesenkbiegen	75
6.1.2	Walzprofilieren	77
6.2	FE-SIMULATION DES KALTWALZPROFILIERENS	77
7	STATIONÄRES AUFHEIZVERHALTEN EINES RINGINDUKTORS UND ABSCHRECKEN MITTELS UNTERSCHIEDLICHER KÜHLMEDIEN	83
7.1	ANALYSE DES AUFHEIZVERHALTENS (SCHNELLERWÄRMUNG)	83

7.1.1	Aufheizverhalten des 22MnB5 im Lieferzustand	83
7.1.2	Einfluss von vorgelagerten Kaltumformungen bzw. Gefügeumwandlungen auf das Aufheizverhalten des Bauteils bei Anwendung der induktiven Erwärmungsstrategie	87
7.2	ANALYSE DES ABKÜHLVERHALTENS (ABSCHRECKEN).....	91
7.3	WERKSTOFFCHARAKTERISIERUNG	92
8	INTEGRATION EINER WÄRMEBEHANDLUNG IN DEN KONTINUIERLICHEN WALZPROFILIERPROZESS	95
8.1	STRATEGIEN – ANLAGENKONZEpte	95
8.2	EXPERIMENTELLE UND SIMULATIVE UNTERSUCHUNGEN DES ERWÄRMUNGSVERHALTENS MIT EINEM RINGINDUKTOR	96
8.2.1	Experimentelle Untersuchungen	96
8.2.2	Analyse des Aufheizverhaltens	96
8.2.3	Analyse des Abkühlverhaltens	97
8.2.4	Werkstoffcharakterisierung	98
8.2.5	Simulation des Erwärmungsverhaltens	98
8.2.6	Verifikation der experimentellen und simulativen Ergebnisse	101
8.3	INDUKTOR FÜR EINE LINIENFÖRMIGE ERWÄRMUNG	101
8.4	MÄANDERFÖRMIGER INDUKTOR FÜR EINE FLÄCHIGE ERWÄRMUNG	102
8.4.1	Experimentelle Untersuchungen	102
8.4.2	Analyse des Aufheiz- und Abkühlverhaltens	103
8.4.3	Gefügeuntersuchungen	105
8.4.4	Simulation des Erwärmungs- und Abkühlverhaltens	106
8.4.5	Verifikation der Ergebnisse	109
8.5	INDUKTOR ZUM WÄRMEN DER KOMPLETTEN PROFILGEOMETRIE IN EINEM ERWÄRMUNGSSCHRITT SOWIE KONZEPTE FÜR EINEN LOKALEN WÄRMEEINTRAG	110
8.5.1	Konzept eines Induktors zur globalen Erwärmung sowie zur Erwärmung lokal definierter Bauteilzonen in Längsrichtung	110
8.5.2	Vorbetrachtungen und Voruntersuchungen zur Auslegung der Induktorform	111
8.5.2.1	Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss der Induktorform auf das Erwärmungsergebnis	111
8.5.2.2	Simulative Untersuchungen zur Induktorform in Abhängigkeit der Wirkungsweise	115
8.5.3	Simulative Untersuchungen – Prozessanalyse	118
8.5.4	Herstellung des finalen Induktor-Konzentrator-Systems	123
8.5.5	Experimentelle Untersuchungen – Prozessanalyse	125
8.5.6	Verifikation der experimentellen und simulativen Ergebnisse – Bauteileigenschaften und Formgenauigkeit	126
9	ZUSAMMENFASSUNG	129
9.1	FORSCHUNGSERGEBNISSE	129
9.2	ÜBERTRAGBARKEIT IN DIE SERIENFERTIGUNG	131

9.2.1	Sonderverfahren des Walzprofilierens	131
9.2.2	Charakterisierung des Werkstoffverhaltens bei sehr hohen Aufheizraten.....	132
9.3	HINWEISE ZUR AUSLEGUNG VON INDUKTOREN FÜR DIE WÄRMEBEHANDLUNG IN KONTINUIERLICHEN UMFORMPROZESSEN	133
10	AUSBLICK	135
	LITERATURVERZEICHNIS	139