



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 295 496 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1
Patentgesetz der DDR
vom 27. 10. 1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) H 05 K 3/34
B 23 K 3/00

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	DD H 05 K / 323 155 4	(22)	15. 12. 88	(44)	31. 10. 91
(71)	siehe (73)				
(72)	Steuer, Gernot, Dipl.-Ing.; Morgenstern, Claus, Doz. Dr. sc. techn.; Kopp, Thomas, Dipl.-Ing.; Höhne, Lissy, Dipl.-Ing.; Ramm, Uta, Dipl.-Ing.; Stockhaus, Frank, Dipl.-Ing.; Gläser, Ulrich; Preetz, Simone, DE				
(73)	Ingenieurhochschule Mittweida, Direktorat Forschung/IB, Platz der DSF 17, O - 9250 Mittweida, DE				
(54)	Verfahren und Anordnung zur Optimierung der Prozeßparameter des Infrarot-Reflowlötprozesses in der Oberflächenmontagetechnologie				

(55) Optimierung; Prozeßparameter; Infrarot-Reflowlötprozeß; Oberflächenmontagetechnologie; effektive Ermittlung; Löten; Lötstellenqualität; Zuverlässigkeit; Temperatur-Zeit-Verlauf; Prozeßeinstellung

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Optimierung der Prozeßparameter des Infrarot-Reflowlötprozesses in der Oberflächenmontagetechnologie. Die erfindungsgemäße Lösung betrifft ein Verfahren zur effektiven Ermittlung optimaler Prozeßparameter beim Infrarot-Reflowlöten unter Echtzeitbedingungen und kann zur Verbesserung der Lötstellenqualität angewandt werden. Während des Lötens werden die bekannten intermetallischen Phasen, die Epsilon-Phase und die Eta-Phase gebildet. Die Ausbildung dieser intermetallischen Phasen ist wesentlich für die Qualität und Zuverlässigkeit der Lötstellen und wird maßgeblich durch den Temperatur-Zeit-Verlauf an den Lötstellen bestimmt. Es wurde ein Verfahren mit einer entsprechenden Anordnung (Figur 1 und 2) entwickelt, das dem Anlagenfahrer eine effektive Ermittlung der optimalen Prozeßeinstellung beim Infrarot-Reflowlöten gestattet.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Optimierung des Infrarot(IR)-Reflowlötprozesses in der Oberflächenmontagetechnologie (SMT: Surface Mounted Technology) zur Fertigung bestückter Leiterplatten (LP), bei dem mehrere ober- und unterhalb des LP-Transportsystems angeordnete IR-Heizzonen existieren, deren Heizleistungen und die Transportgeschwindigkeit der LP (Prozeßparameter) in bestimmten Bereichen variierbar sind, bei dem für jeden zu lötenden Leiterplattentyp die optimalen Prozeßparameter in effektiver Weise ermittelt werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf der Grundlage zu ermittelnder Abhängigkeiten zwischen Qualitätsmerkmalen der Lötstellen und den Prozeßparametern sowie Parametern des Temperatur-Zeit-Profils von ausgewählten Lötstellen und Prozeßparametern und bekannten Qualitätsforderungen für den Lötprozeß optimale Prozeßparameter und optimale Parameter des Temperatur-Zeit-Profils bestimmt und gespeichert werden, daß bei Vorgabe eines neuen LP-Types mit Hilfe dieser Abhängigkeiten, eines Gütekriteriums und durch Anwendung bestimmter Algorithmen die optimalen Prozeßparameter für diesen neuen LP-Typ ermittelt und gespeichert werden, daß für jeden LP-Typ ganz bestimmte charakteristische Merkmale ermittelt und den optimalen Prozeßparametern zugeordnet werden, daß ab dem dritten zu fertigenden LP-Typ auf der Grundlage seiner charakteristischen Merkmale der ähnlichste, der bereits zuvor bearbeiteten LP-Typen und die dazugehörigen optimalen Prozeßparameter ermittelt und an der Anlage eingestellt werden, daß die aktuellen Parameter des daraus resultierenden Temperatur-Zeit-Profils sowie deren Abweichungen zu den optimalen Parametern des Temperatur-Zeit-Profils bestimmt werden, daß mit Hilfe des Gütekriteriums sowie durch Anwendung bestimmter Algorithmen die optimalen Prozeßparameter des zu fertigenden LP-Typs ermittelt und den charakteristischen Merkmalen des LP-Typs zugeordnet und gespeichert werden, daß die anfallenden Informationen während des Vorganges der Ermittlung der optimalen Prozeßparameter, und zwar die jeweiligen aktuellen Prozeßparameter, sowie die daraus resultierenden aktuellen Parameter des Temperatur-Zeit-Profils zur Anpassung der Abhängigkeit der Parameter des Temperatur-Zeit-Profils von den Prozeßparametern an den jeweiligen LP-Typ verwendet werden und daß dieses Verfahren für jeden neuen LP-Typ wiederholt zur Anwendung kommt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß in einer Lernphase mit Hilfe von Versuchs-LP gezielte Experimente durchgeführt werden und aus den anfallenden Datensätzen von Prozeßparametern, Parametern des Temperatur-Zeit-Profils des Prozesses, die an ausgewählten Lötstellen während des Durchlaufs durch den Ofen gemessen werden, sowie Qualitätsparametern der Lötstellen, die an der gelöteten LP gemessen werden, durch Anwendung bestimmter Algorithmen die Abhängigkeiten zwischen den Qualitätsmerkmalen der Lötstellen und den Prozeßparametern sowie zwischen den Parametern des Temperatur-Zeit-Profils und den Prozeßparametern ermittelt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Charakterisierung des an einer bestimmten Lötstelle gemessenen Temperatur-Zeit-Profils die Parameter Temperaturanstieg und Maximaltemperatur im Bereich 1, Temperaturanstieg und Maximaltemperatur im Bereich 2, Temperaturanstieg und Maximaltemperatur im Bereich 3, die Fläche I unter dem Temperatur-Zeit-Profil sowie der Temperaturabfall im Bereich 4 verwendet werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1 und/oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Charakterisierung der an einer bestimmten Lötstelle bei einer bestimmten Prozeßeinstellung ermittelten Abweichungen der Parameter des Temperatur-Zeit-Profils von den optimalen Parametern als Gütekriterium die durch den arithmetischen Mittelwert der optimalen Parameter geteilte Summe der Abweichungsquadrate zwischen aktuellen und optimalen Parametern verwendet wird und sämtliche Parameter einer Normierung unterzogen werden, indem die Differenz zwischen dem gemessenen Wert des Parameters und dem Minimalwert durch die Differenz aus Maximal- und Minimalwert geteilt wird und dadurch eine Vergleichbarkeit zwischen Parametern unterschiedlicher physikalischer Einheiten erreicht wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß als charakteristische Merkmale für jeden LP-Typ solche Merkmale verwendet werden, die eine eindeutige Unterscheidung der LP-Typen ermöglichen.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei der Suche nach dem zu einer neuen LP ähnlichsten LP-Typ aus einer Menge verschiedener bereits bearbeiteter LP-Typen die charakteristischen Merkmale der LP ermittelt werden, die geeignetes Abstandsmaß zur

Bewertung der Unterschiede in den charakteristischen Merkmalen ermittelt wird, diejenige LP ausgewählt wird, deren Abstandsmaß zur neuen LP den kleinsten Wert besitzt, die vorliegenden optimalen Prozeßparameter dieser ähnlichsten LP aufgerufen und auf die neue LP angewendet werden und damit eine effektivere Ermittlung der optimalen Prozeßparameter ermöglicht wird.

7. Anordnung zur Optimierung der Prozeßparameter des Infrarot-Reflowlötprozesses in der Oberflächenmontagetechnologie, **dadurch gekennzeichnet**, daß mit Hilfe der Datensätze von Prozeßparametern, Parametern des Temperatur-Zeit-Profiles und Qualitätsmerkmalen der Lötstellen, die in den Speichermodulen (4), (5) und (6) abgelegt sind, die Abhängigkeiten der Qualitätsmerkmale sowie der Parameter des Temperatur-Zeit-Profiles von den Prozeßparametern in einem Modul (10) ermittelt werden und unter Verwendung der im Modul (14) gespeicherten Optimierungsziele sowie des Optimierungsmoduls (13) die optimalen Parameter des Temperatur-Zeit-Profiles von Lötstellen ermittelt und im Speichermodul (7) abgelegt werden, daß mit den im Modul (8) gespeicherten Datensätzen der Temperatur-Zeit-Verläufe die Profiltemperatur mit spezifischen Algorithmen des Moduls (12) ermittelt und im Modul (6) gespeichert werden, daß mit den aktuellen Parametern des Temperatur-Zeit-Profiles, die im Modul (6) gespeichert sind, sowie den im Modul (7) abgelegten optimalen Parametern des Temperatur-Zeit-Profiles das Gütekriterium mit dem Modul (15) ermittelt wird, daß unter Anwendung der Modelle des Moduls (9), dem Modul zur Ermittlung des Gütekriteriums (15), einem aus dem Speicher (18) auszuwählenden Schwellwert sowie spezifischer Algorithmen des Moduls (17) eine Ermittlung optimaler Prozeßparameter und deren Ausgabe über einen Kommunikationsmodul (2) erfolgt sowie diese optimalen Prozeßparameter den charakteristischen Merkmalen zugeordnet und im Speicher (3) abgelegt werden.
8. Anordnung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Vorhandensein eines entsprechenden Prozeßwissens, das durch das Vorliegen von mindestens 2 Sätzen charakteristischer LP-Merkmale sowie zugeordneter optimaler Prozeßparameter im Modul (3) bestimmt wird, bei Vorliegen eines neuen LP-Typs sowie dessen charakteristischer Merkmale mit Hilfe des LP-Erkennungsmoduls (11) anhand dieser Merkmale der ähnlichste LP-Typ ermittelt, dessen optimale Prozeßparameter aus Speicher (3) abgerufen, über den Kommunikationsmodul (2) ausgegeben und an der Anlage eingestellt werden.
9. Anordnung nach Anspruch 7 und 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die während der Ermittlung der optimalen Prozeßparameter anfallenden Datensätze von Prozeßparametern und Parametern des Temperatur-Zeit-Profiles mit Hilfe des Moduls (16) zur Anpassung der im Speicher (9) abgelegten Modelle, die zur Quantifizierung der Abhängigkeiten zwischen den Parametern des Temperatur-Zeit-Profiles der Lötstellen von den Prozeßparametern dienen, verwendet werden und das automatische Zusammenwirken aller Module der Anordnung durch den Steuermodul (19) erfolgt.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die erfindungsgemäße Lösung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Optimierung von Infrarot-Reflowlötprozessen in der Oberflächenmontagetechnologie elektronischer Baugruppen und kann zur Verbesserung der Lötstellenqualität angewendet werden.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Zur Zeit sind keine Verfahren bekannt, die dem Anlagenfahrer eine effektive Ermittlung der optimalen Prozeßeinstellungen beim Infrarot-Reflowlöten gestatten. Die Optimierung der steuerbaren Prozeßparameter an IR-Reflowlötanlagen beruht zum gegenwärtigen Zeitpunkt auf rein heuristischen Methoden. Durch dieses bisher oft unplanmäßige Vorgehen war der Aufwand zur optimalen Einstellung der Prozeßparameter am IR-Reflowlötöfen bei der Erfüllung eines neuen LP-Typs teilweise sehr groß. Speziell in der flexibel automatisierten Fertigung kann diese bisherige Vorgehensweise zu hohem Ausschußanteil und großen Umrüstzeiten führen.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, ein Verfahren mit einer entsprechenden Anordnung zu entwickeln, das eine optimale Prozeßeinstellung beim Infrarot-Reflowlöten unter Echtzeitbedingungen ermöglicht. Dieses Verfahren soll eine Erhöhung von Qualität und Zuverlässigkeit der Lötstellen gewährleisten. Die Erfindung gibt dem Anwender die Möglichkeit, durch planmäßige und zielstrebige Durchführung der Optimierung den Aufwand erheblich zu senken.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren mit einer entsprechenden Anordnung zu entwickeln, bei dem die optimalen Prozeßparameter beim IR-Reflowlöten unter Echtzeitbedingungen für jeden neu zu fertigenden Leiterplattentyp in effektiver Weise bestimmt werden.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß für das IR-Reflowlöten prinzipiell 4 Bereiche angegeben werden, in denen unterschiedliche Reaktionen ablaufen und die für die Ausprägung der Lötstellenqualität Relevanz besitzen (Fig. 2).

Bereich 1: Verdampfen der Lösungsmittel

Bereich 2: Austreiben der Viskositätszusätze

Bereich 3: Flußmittelaktivierung, Reduktionsvorgänge, Erreichen der Solidustemperatur
Überschreiten der Solidustemperatur, Erreichen des Temperaturmaximums

Bereich 4: Temperaturabfall des Temperaturmaximums

Während des Lötens werden die bekannten intermetallischen Phasen, die Epsilon-Phase (Cu_3Sn) und die Eta-Phase (Cu_6Sn_5) gebildet. Die Ausbildung dieser intermetallischen Phasen ist wesentlich für die Qualität und Zuverlässigkeit der Lötstellen und wird maßgeblich durch den Temperatur-Zeit-Verlauf bestimmt.

Die Lötstellentemperatur wird wesentlich vom Absorptions- und Reflexionsverhalten der SMD und der LP beeinflusst. Weiterhin spielen die Wärmekapazitäten sowie die Wärmeleitfähigkeit der SMD und der LP eine wichtige Rolle.

Bei der Optimierung des Lötprozesses ist die auftretende Temperaturverteilung auf der LP, insbesondere das Temperaturminimum und -maximum an den Lötstellen, zu berücksichtigen. Dabei muß gesichert werden, daß die minimal auftretenden Lötstellentemperaturen deutlich über der Solidustemperatur des Lotes liegen.

Aus den genannten Einflußfaktoren auf das Temperatur-Zeit-Regime an den Lötstellen folgt, daß bei jedem neuen, zu fertigenden LP-Typ eine Veränderung der Prozeßparameter (Heizleistungen in den Zonen, Transportgeschwindigkeit) erforderlich ist, um optimale Lötbedingungen herstellen zu können.

Das erweist sich in der Praxis als sehr kompliziert, da im allgemeinen wenig Kenntnisse über den Prozeß existieren. Insbesondere im Zusammenhang mit der flexibel automatisierten Fertigung von bestückten LP in der Oberflächenmontagetechnologie (SMT) gewinnt die Minimierung der Umrüstzeiten eine besondere Bedeutung. Weiterhin ist es erforderlich, den IR-Reflowlötprozeß so einzustellen, daß die Anzahl der Lötfehler minimal ist.

Ausführungsbeispiel

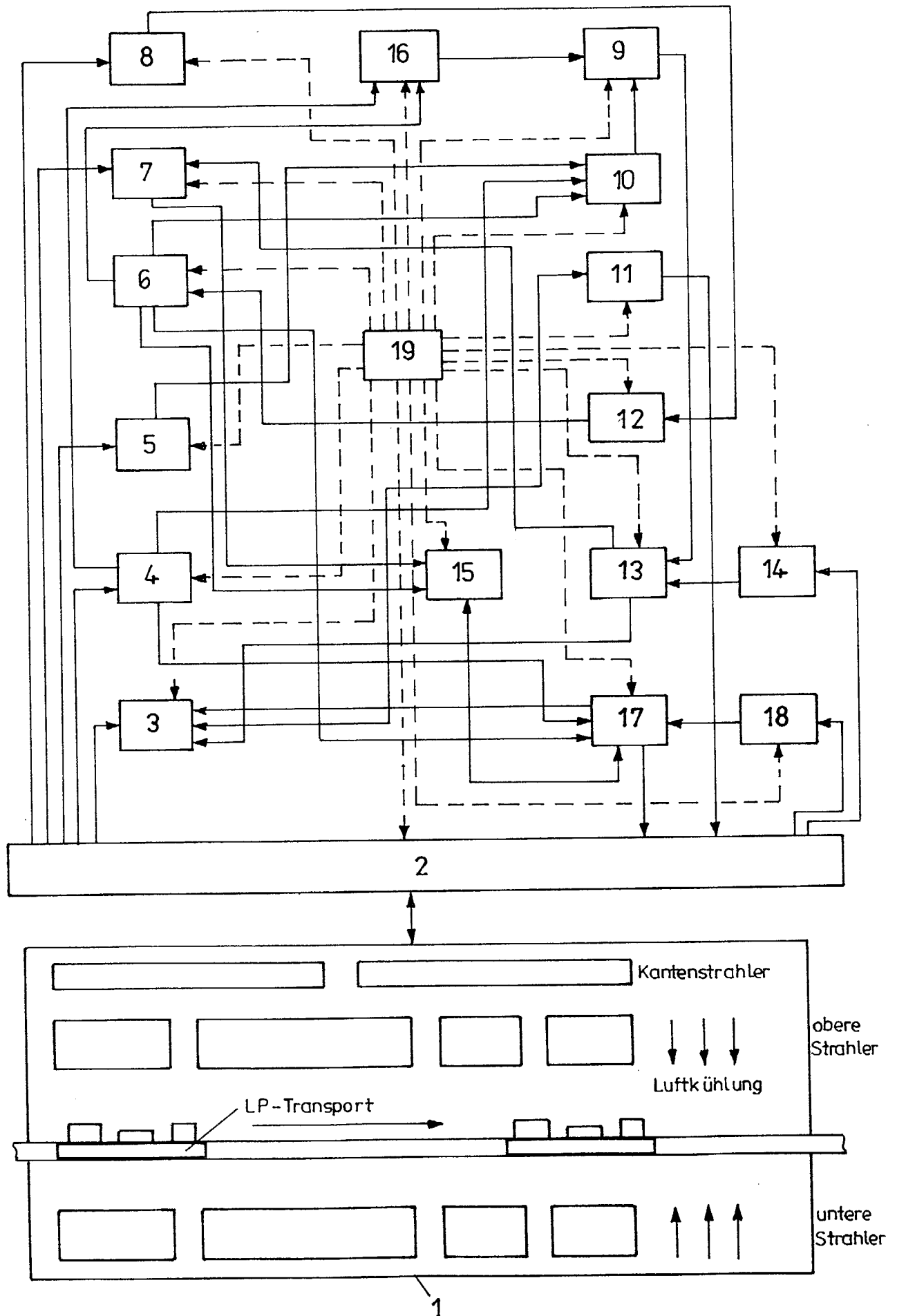
Bei dem Verfahren zur Ermittlung optimaler Einstellungen der Heizleistungen in den verschiedenen Heizzonen und der Transportgeschwindigkeit der LP durch den Ofen sind drei unterschiedliche Phasen voneinander zu unterscheiden.

Phase 1: Es existieren keine a priori-Kenntnisse über den Prozeß. Durch Anwendung bestimmter Algorithmen werden mit dem Modul (10) unter Verwendung von zusammengehörigen Datensätzen von den Prozeßparametern, den Parametern des Temperatur-Zeit-Profils der Lötstellen und den Qualitätsparametern der Lötstellen, quantitative Abhängigkeiten der Qualitätsparameter der Lötstellen von den Prozeßparametern sowie der Parameter der Temperatur-Zeit-Profile von den Prozeßparametern ermittelt und im Modul (9) gespeichert. Diese Datensätze wurden im Ergebnis gezielter Versuche aus Versuchs-LP erhalten und sind in den Modulen (4, 5, 6) gespeichert. Die Parameter der Temperatur-Zeit-Profile werden mit Modul (12) aus den einzelnen Meßdaten des Temperatur-Zeit-Profils ermittelt, die in Modul (8) gespeichert sind. Diese ermittelten Parameter werden im Modul (6) gespeichert. Unter Verwendung der Optimierungsziele (minimale Lötfehlerzahl, hohe Zuverlässigkeit), die im Modul (14) gespeichert sind, erfolgt im Modul (13) unter Anwendung der Modelle in Modul (9) die Ermittlung optimaler Parameter des Temperatur-Zeit-Profils sowie optimaler Prozeßparameter für die Versuchs-LP, die anschließend in den Modulen (7) und (3) gespeichert werden. Die charakteristischen Merkmale der Versuchs-LP (LP 1) wie beispielsweise die geometrischen Abmessungen der LP, die Gesamtzahl der Bauelemente, die Verteilung jeder Bauelementart auf der LP, das Leiterplattenbasismaterial, die Dicke der Kupferkaschierung, das Verhältnis von Kupferkaschierungsfläche zur Gesamtoberfläche der Leiterplatte und der Schmelzpunkt der Lotpaste werden in den Speicher (3) eingegeben.

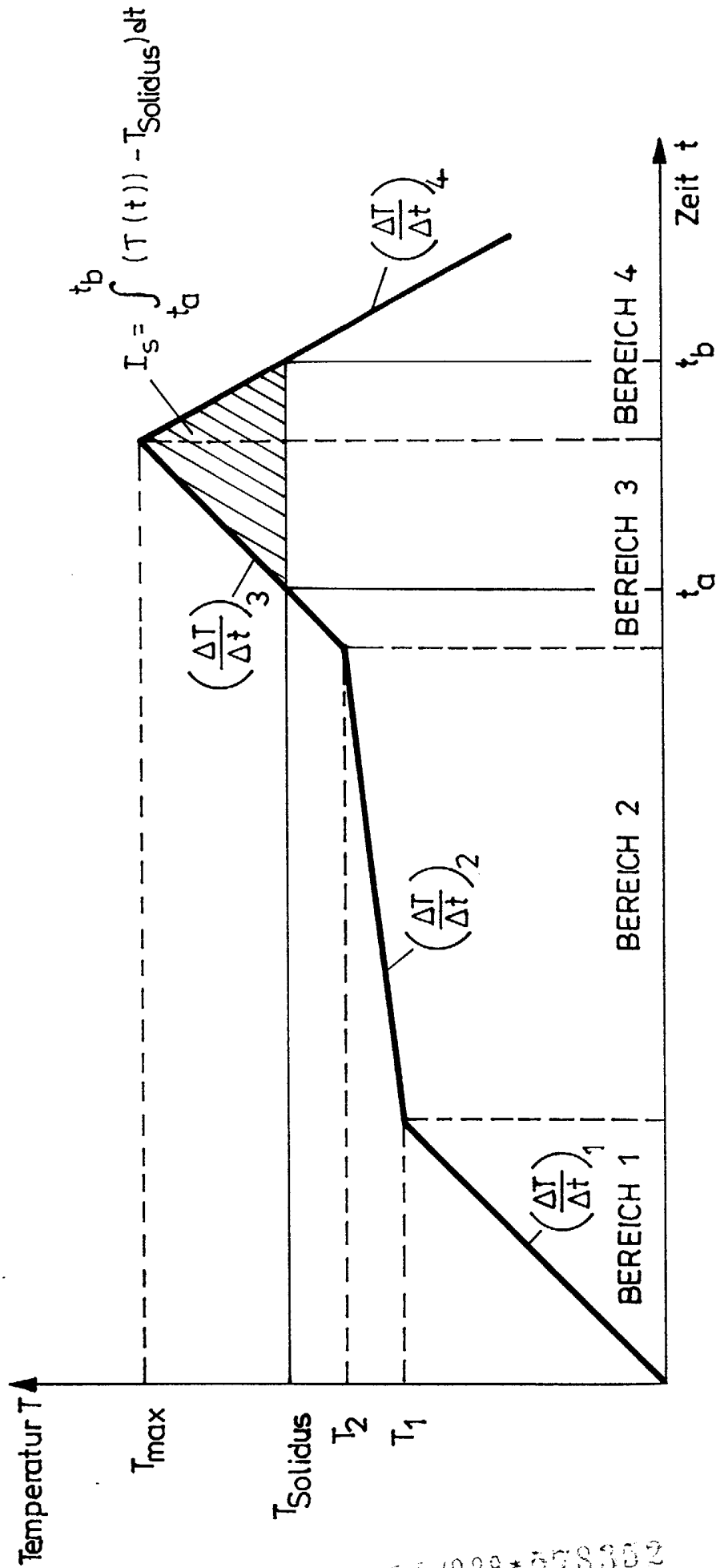
Phase 2: Die Aufgabe besteht nun darin, für einen neuen Leiterplattentyp (LP2) die optimalen Prozeßparameter zu ermitteln. Da weitere Prozeßkenntnisse noch nicht existieren, wird zunächst für diesen LP-Typ die optimale Prozeßeinstellung der Versuchs-LP gewählt und aus dem Speicher (3) abgerufen. Mit den erhaltenen Meßwerten für das Temperatur-Zeit-Profil [Modul (8)] erfolgt eine Bestimmung der aktuellen Parameter des Temperatur-Zeit-Profils mittels Modul (12). Damit wird mit Modul (15) ein Gütekriterium ermittelt, das als Abstandsmaß von den optimalen Profilparametern interpretiert werden kann, die im Modul (7) gespeichert sind. Auf der Grundlage spezifischer Algorithmen wird mit Modul (17) ein Suchprozeß veranlaßt, wobei ein Informationsaustausch über den Kommunikationsmodul (2) erfolgt. Dem Anlagenfahrer werden Prozeßeinstellungen vorgeschlagen, während die Ergebnisse der Einstellungen (Datensätze der Temperatur-Zeit-Verläufe an ausgewählten Lötstellen) vom Anlagenfahrer über den Kommunikationsmodul (2) eingegeben werden und automatisch im Speichermodul (8) abgelegt werden. Die optimalen Prozeßparameter sind gefunden, wenn das Genauigkeitskriterium erreicht ist, das aus dem Modul (18) abgerufen wird. Die optimalen Prozeßparameter werden im Modul (3) gespeichert und den bereits eingegebenen charakteristischen Merkmalen der LP zugeordnet. Gleichzeitig erfolgt eine Ausgabe der optimalen Prozeßparameter über den Kommunikationsmodul (2). Mit den Datensätzen von Prozeßparametern und Profilparametern erfolgt mit Algorithmen des Moduls (16) eine Anpassung der Modelle, die im Modellspeicher (9) abgelegt sind, an die Spezifik der LP2. Dieses angepaßte Modell wird im Speicher (9) abgelegt.

Phase 3: Mit dem Vorlegen der LP3 beginnt eine veränderte Strategie. Dabei werden zuerst die charakteristischen Merkmale der LP3 ermittelt, in den Speicher (3) und in den Modul (11) zur LP-Erkennung eingegeben. Mit Hilfe spezifischer Algorithmen wird im Modul (11) anhand dieser charakteristischen Merkmale ein Vergleich der LP3 mit den bereits im Modul (3) gespeicherten LP-Typen durchgeführt. Die ähnlichste LP wird ermittelt, die dazugehörigen optimalen Prozeßparameter werden aus dem Speicher (3) abgerufen und an der Anlage eingestellt. Nun wird wiederum ein Suchablauf durch den Modul (17) in der bereits beschriebenen Weise veranlaßt.

In dieser Weise wird das Verfahren bei jedem neuen LP-Typ wiederholt, so daß ein ständiger Wissenszuwachs entsteht. Damit wird die Ermittlung der optimalen Prozeßparameter immer effektiver, d. h. mit weniger Aufwand möglich.



Figur 1



Figur 2