

Heinz Wohlrabe

Prozess- und Maschinenfähigkeit von Reflowanlagen – Teil 2

Fähigkeitskoeffizienten wurden zuerst von der Automobilindustrie benutzt. Ziel war es, eine Vergleichbarkeit für die Beurteilung der Qualitätsfähigkeit von Maschinen, Prozessen und Zulieferern zu schaffen. Diese Kennziffern werden u.a. benutzt, um Entscheidungen über Zulieferer zu treffen, d.h. in der Regel werden Zulieferer der Automobilindustrie (indirekt) gezwungen, solche Koeffizienten zu bestimmen. Zu diesen Koeffizienten gehören das Prozesspotenzial, die Prozessfähigkeit, die Maschinenfähigkeit, die kritische Prozessfähigkeit u.a. (Teil 1, productronic 12-2001, S. 24)

Lösungsmöglichkeiten

Für mögliche Kompromisse sollte man zunächst auf die Suche nach messbaren Merkmalen, die eine große Korrelation zu den Produktmerkmalen aufweisen, gehen. Dabei werden oft gemessene Maschinenparameter verwendet.

Sobald man jedoch auf Maschinenparameter zur Ermittlung von Fähigkeitskoeffizienten zurückgreift, sind die Ergebnisse automatisch Maschinenfähigkeiten und keine Prozessfähigkeiten, denn es werden keine Produktmerkmale zur Berechnung verwendet.

Messung von Temperaturprofilen

Ein wichtiger Parameter beim Löten ist das Temperaturprofil. Es ist nachweisbar, dass ein schlecht eingestelltes Profil zu einem signifikanten Anstieg von Lötfehlern führt. Nichtlötungen und Lotbrücken sind zwei typische Beispiele dafür. Empfehlungen für das Temperaturprofil werden zum Teil vom Lotpastenhersteller gegeben. In diesen Empfehlungen sind jedoch nie Angaben über Toleranzen dieser Temperaturverläufe enthalten. Es sind lediglich Angaben über Extremwerte für bestimmte charakteristische Parameter der Profile (z.B. max. Peak-

temperatur, max. Gradienten) vorhanden. Diese Extremwerte dürfen aber keinesfalls mit Toleranzgrenzen gleichgesetzt werden. Dass Toleranzangaben nicht gemacht werden, hat mehrere nachvollziehbare Gründe.

- ▶ Eine komplette Übereinstimmung von konkreten Profilen mit dem Idealprofil ist kaum realisierbar.
- ▶ Unterschiedliche Verläufe der Profile auf den Baugruppen an verschiedenen Messstellen sind physikalisch bedingt und damit nicht vermeidbar.
- ▶ Teilweise werden sogar unterschiedliche Sollprofile für „kleine“ und „große“ Komponenten vorgegeben; das reell gefahrene Profil ist dann immer ein Kompromiss zwischen beiden Vorgaben.
- ▶ Es ist nicht nachweisbar, dass eine Verletzung der Toleranzgrenzen überhaupt zu Fehlern führt.

tung von solchen Maschinenfähigkeiten implementiert. Problematisch sind folgende Details:

- ▶ Die Definition von sinnvollen Toleranzfeldbreiten, wie z.B. für die Peaktemperatur (typisch ist hier eine Vorgabe von $\pm 2,5$ K) ist schwierig.
- ▶ Eine Profilmessung ist relativ aufwendig; die konsequente Durchführung der Vorschriften der Fähigkeitsanalyse nach Bosch (50 Profilmessungen [2]) würde ca. 20 h in Anspruch nehmen. Dieser Nachweis ist schon für den Hersteller von Reflowlötöfen sehr aufwendig, in einer laufenden Fertigung sind solche Untersuchungen praktisch nicht durchführbar.
- ▶ Bei jeder Änderung der Einstellung der Maschine (insbesondere die bewusste Änderung von Zonentemperaturen) führt zu einem notwendigen „Neustart“ der Analyse.

Insbesondere der hohe zeitliche Aufwand, verbunden mit dem starken Produktivitätsverlust der ganzen Linie, verhindert eine breite Anwendung dieser Methodik, die prinzipiell dem Produkt am nächsten steht und damit aus Sicht der Genauigkeit und Aussagefähigkeit am besten geeignet ist.

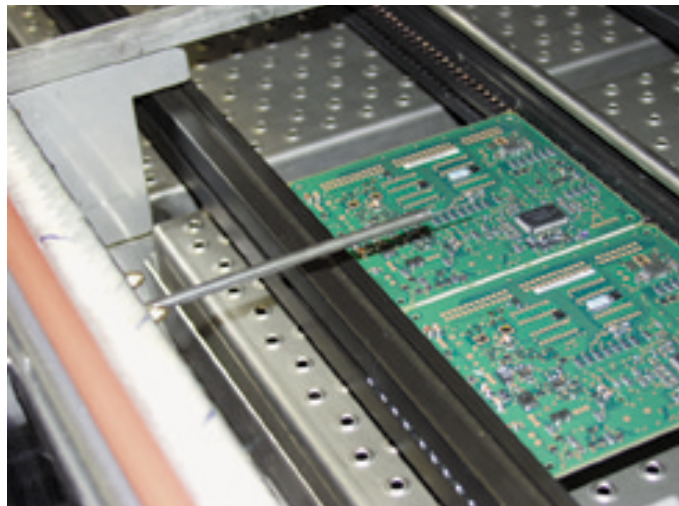


Bild 1: Beispiel für angebrachte Temperaturwächter

Auswertung von Temperaturwächterdaten

Eine Möglichkeit, die genannten Nachteile zu minimieren, ist die Auswertung von Temperaturmessdaten von Thermoelementen, die im Prozessraum eines Reflowlötovens angebracht sind. Diese in **Bild 1** dargestellten „Temperaturwächter“ soll-

ten in der Nähe des Lötgutes angebracht werden. Die anfallenden Messdaten werden lediglich zur Nutzung für Fähigkeitsanalysen aufgezeichnet und dienen nicht weiteren Zwecken wie z.B. der Regelung der Heizzonen.

Diese Lösung hat den entscheidenden Vorteil, dass während einer Fertigung ständig aktuelle Messwerte geliefert werden, ohne dass ein Produktivitätsverlust vorhanden ist. Die damit zur Verfügung stehende Anzahl von Messwerten hält aus statistischer Sicht jeglicher kritischer Betrachtung stand.

Die Bestimmung von Maschinenfähigkeiten mit Hilfe von Temperaturprofilen kann folgendermaßen aussehen:

- ▶ Festlegung der zu überprüfenden Parameter des Profils, z.B. Peaktemperatur, Zeitdauer über der Schmelztemperatur, max. Gradienten usw.,
- ▶ Festlegung der Toleranzfeldbreiten für die jeweiligen Parameter sowie
- ▶ permanente Messung der Profile und deren Auswertung.

Verschiedene Anbieter von Temperaturprofilmessgeräten haben die entsprechenden Algorithmen zur Berechnung und Auswer-



all-electronics.de
ENTWICKLUNG. FERTIGUNG. AUTOMATISIERUNG



Entdecken Sie weitere interessante
Artikel und News zum Thema auf
all-electronics.de!

Hier klicken & informieren!



Es ist jedoch nachzuweisen, dass ein eingestelltes Temperaturprofil im Reflowofen stabil bleibt, und sich eventuelle Änderungen im Temperaturverhalten auf der Baugruppe auch in korrelierten Änderungen an den Temperaturwächtern äußern.

Dieser Nachweis konnte für eine bestimmte Ofenklasse erbracht werden, der sich aus folgenden Teilen zusammensetzt:

- Nachweis der Temperaturstabilität auf der Baugruppe,
- Nachweis der Temperaturstabilität an den Temperaturwächtern,
- Ermittlung einer signifikanten Korrelation zwischen den Temperaturen auf der Baugruppe und an den Temperaturwächtern sowie
- Fehleranalyse.

Ausführliche Details dazu sind in [8] zu finden.

Praktische Umsetzung

Nach dem Nachweis der prinzipiellen Funktionsfähigkeit wurden sowohl Hardware als auch Softwareänderungen an den Öfen vollzogen. In jeder Zone befinden sich die entsprechenden Temperaturwächter. Die konkreten Temperaturwerte werden erfasst, wenn ein Produkt den jeweiligen Temperaturwächter im Ofen passiert. Damit stehen für jedes gefertigte Produkt entsprechende Daten zur Verfügung.

Die erfassten Temperaturdaten werden produktabhängig abgelegt, d.h. die Überwachung des Ofens erfolgt für jedes Produkt getrennt. An Hand der Einführung eines neuen Produkts soll die Arbeitsweise des neuen CCS-Systems erläutert werden. Zuerst sind einige Festlegungen notwendig:

- Festlegung der tolerierbaren Temperaturabweichungen in jeder Zone (im folgenden als Spezifikationsbreite bezeichnet; z.B.: $T_b = 5 \text{ K}$ bzw. $\pm 2,5 \text{ K}$),
- Definition eines Zielfähigkeitswertes (z.B. $C_{mk} > 1,67$; $C_m > 2,00$) oder
- die Vorgabe einer Spezifikation (z.B. $2,5 \text{ K/5 } \Sigma$).

Nach dem Setup des Temperaturprofils für das Produkt erfolgt der sogenannte Vorlauf. Die Durchführung und Auswertung dieses Vorlaufs orientiert sich an den Vorschriften von Bosch [2, 3, 8]. Dazu werden die Temperaturdaten der ersten 50 Baugruppen erfasst. Aus den erfassten Daten werden folgende Größen für jede Zone ermittelt:

- T mittlere Zonentemperatur an dem jeweiligen Wächter,
- T_s : zugehörige innere Standardabweichung,
- C_m : Maschinenfähigkeit des Vorlaufs.

Erfüllen nicht alle Zonen die Mindestanforderung an die Maschinenfähigkeiten, wird der Vorgang abgebrochen. Ansonsten werden aus den Daten des Vorlaufs Qualitätsregelkarten für jede Zone konstruiert.

Eingesetzt werden jeweils eine Mittelwertkarte und eine s-Karte (Standardabweichungskarte). Die s-Karte weist keine Besonderheiten auf. Die Eingriffsgrenzen werden aus der Schätzung für die innere Standardabweichung der jeweiligen Zone T_s ermittelt. Wichtig ist die Mittelwertkarte, denn sie überwacht den wichtigsten Parameter: die Temperaturkonstanz. Es gibt zwei Alternativen, zum einen bietet sich eine Mittelwertkarte mit erweiterten Eingriffsgrenzen an oder es wird eine Annahmeregularkarte verwendet. Für die praktische Anwendung hat sich eine leicht adaptierte Annahmeregularkarte [1] bewährt. Die Eingriffsgrenzen (UEG und OEG) dieser Regelkarte werden prinzipiell nach **Formel 3** berechnet:

$$UEG = UGW + k_A T_s$$

$$OEG = OGW - k_A T_s$$

Der Faktor k_A ist von folgenden Größen abhängig:

- Stichprobenumfang $n=X$ ($X=5$, d.h. 5 aufeinanderfolgende Baugruppen bilden eine Stichprobe),
- Eingriffswahrscheinlichkeit $1-P_a$ (95 %),
- Grenzfehlerquote p (31 DPM).

Die Eingriffsgrenzen werden hier mit Hilfe der Spezifikationsgrenzen (UGW, OGW) berechnet. Diese sind jedoch nicht unmittelbar gegeben, denn die genaue Vorgabe eines Temperatursollwertes für die Wächter ist nicht möglich. Dieser Sollwert hängt vom konkreten Setup des Ofens und dem konkreten Produkt ab. Aus diesem Grund wird dieser Sollwert aus der mittleren Zonentemperatur des Vorlaufs geschätzt. Die (damit adaptierten) Spezifikationsgrenzen können nun unter

Nutzung der Spezifikationsbreite $T < B_b$ berechnet werden (**Formel 4**).

$$UGW = \bar{T} - T_b / 2$$

$$OGW = \bar{T} + T_b / 2$$

Damit sind die Regelkarten einsatzbereit.

Bild 2 zeigt ein konkretes praktisches Beispiel (Ausschnitt) für die Mittelwertkarte. Es ist deutlich zu sehen, dass der Temperaturmittelwert Schwankungen hat, die bei einer klassischen Shewart-Regelkarte (Grenzen UEG_k und OEG_k) zu ständigen Eingriffsgrenzenverletzungen führen würden. Diese Schwankungen sind durch das Regelverhalten der Öfen erklärbar und müssen in gewissen Grenzen toleriert werden. Dies ist auch der Hauptgrund, dass hier Annahmeregularkarten benutzt werden. Beide Karten dienen insbesondere dazu, eventuelle Instabilitäten im Ofen anzuzeigen. Eine solche Anzeige in Form einer Eingriffsgrenzenverletzung erfolgt wesentlich früher, bevor andere Überwachungsmechanismen (z.B. in der Zonenregelung) Abweichungen anzeigen. Weiterhin wird fortlaufend der Fähigkeitsindex C_{mk} nach Formel 2 für jede Zone ermittelt. Der Fähigkeitsindex für den gesamten Ofen wird aus dem Minimum der Fähigkeitswerte aller Zonen bestimmt und fortlaufend angezeigt.

Praktische Einsatzmöglichkeiten

Mit Hilfe der CCS wird es möglich, eine ständige Prozessüberwachung im Sinne der SPC (Statistical Process Control) zu realisieren. Zusätzlich können ständig aktuelle Maschinenfähigkeitswerte ausgewiesen werden. Die schnell geschriebene Formulierung in einem QS-Handbuch, dass Fähig-

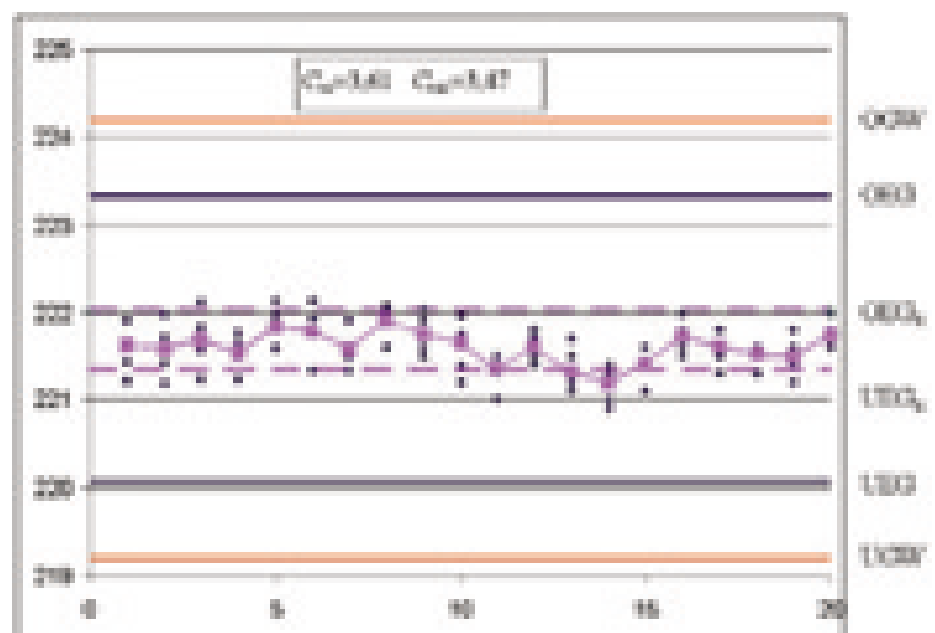


Bild 2: Beispiel einer Mittelwertkarte (inkl. zugehörige Einzelwerte); die Eingriffsgrenzen UEG_k und OEG_k sind die nach der Vorschrift von Bosch [2] berechneten Eingriffsgrenzen

keitsanalysen ständig durchgeführt werden, kann nun auch für Reflowprozesse mit gutem Gewissen erfolgen.

Eine Langzeitüberwachung wird nun relativ einfach möglich. Es wird eine Online-Überwachung der Temperaturprofile ermöglicht, die keine Produktivitätsbremse darstellt.

Wird zusätzlich ein Traceability Tool integriert, wird es möglich, dem konkreten Produkt die aktuellen Fähigkeitswerte zuzuweisen. Die Tatsache, dass zur Zeit Messungen von Temperaturprofilen zur Prozessüberwachung (ausgenommen die Erstellung von neuen Profilen) kaum in der Praxis durchgeführt werden, wird bei Anwendung der neuen Methodik keinen Diskussionsstoff mehr liefern.

Grenzen und Ausblick

Die vorgestellte Methodik wird Temperaturprofilmessgeräte nicht arbeitslos machen. Die Ersteinstellung der Profile wird nach wie vor mit diesen Geräten erfolgen müssen.

Es muss nochmals betont werden, dass die ermittelten Koeffizienten keine Prozess-

fähigkeitskoeffizienten im Sinne ihrer Ursprungsdefinition sind. Auch die Maschinenfähigkeiten sind nicht exakt so definiert, wie sie hier verwendet werden. Durch die große Nähe zur Automobilindustrie, die viele Elektronikproduzenten mittlerweile haben, muss dies noch einmal klargestellt werden.

Es erweist sich als notwendig, dass die vom Maschinenbau geprägten Methodiken der Qualitätsfähigkeitsermittlung an die Belange der Baugruppenproduktion angepasst werden. Gleichzeitig ist es natürlich auch notwendig, dass dies von den maßgeblichen Stellen auch anerkannt wird. Ähnliche Problematiken sind auch beim Bestücken [3] und beim Lotpastendruck [6] vorhanden.

Die Lösung dieser Probleme ist eine Aufgabe der näheren Zukunft und sollte auch bald erfolgen. Damit werden Missverständnisse bei der Interpretation von Fähigkeitskennziffern bzw. deren Missbrauch vermieden.

Dr.-Ing. Heinz Wohlrabe, Technische Universität Dresden, Institut für Elektroniktechnologie.

Literatur

[1] A. Schulze; E. Dietrich: *Statistische Verfahren zur Prozess- und Maschinenqualifikation* Hanser Verlag 1996.

[2] *Technische Statistik- Maschinen- und Prozessfähigkeit; Qualitätssicherung in der Bosch-Gruppe*, Nr. 9 Stuttgart. Robert Bosch GmbH, 1990.

[3] H. Wohlrabe: *Maschinen- und Prozessfähigkeit von Bestücksausrüstungen der SMT* 1. Auflage 2000 Verlag Dr. Markus A. Detert, Templin.

[4] *Zuverlässigkeit von SMD-Weichlötstellen im visuellen Grenzfallbereich; Abschlussbericht des BMBF-Verbundprojektes* 1996.

[5] W. Sauer; H. Wohlrabe: *Determination of Machine and Process Capabilities of Soldering Processes*. NEPCON West Anaheim USA/CA Proceedings, S. 152-166, 1997.

[6] M. Keil; H. Wohlrabe: *Die Genauigkeit von Prozessen. Maschinenfähigkeit von Schablonendruckanlagen: In 3. Europäisches Elektroniktechnologie-Kolleg in Colonia de Sant Jordi/Spanien, März 2000.*

[7] W. Sauer; H. Wohlrabe; M. Keil; R. Heynen: *Machine and Process Capability Coefficient of Solder Paste Printers*. In Proceedings of SMI 99 S. 48-57.

[8] H. Wohlrabe: *Die Maschinenfähigkeit von Reflowanlagen. In 4. Europäisches Elektroniktechnologie-Kolleg in Colonia de Sant Jordi/ Spanien, März 2001*