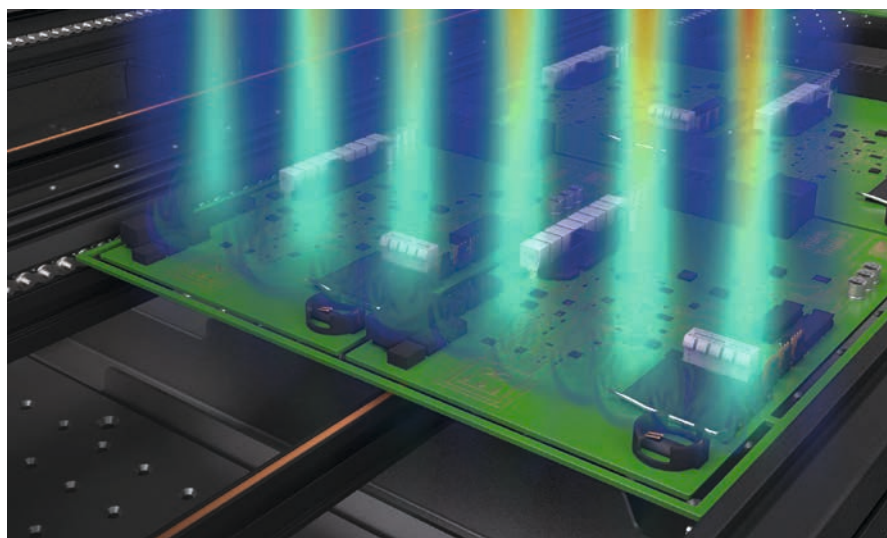


Strömungsempfindliche Small Outline Dioden sicher verlöten

Untersuchungsergebnisse zum Phänomen der „fliegenden“ SMD-Komponenten

In den letzten Jahren ist mit zunehmender Häufigkeit der Defekt der verblasenen Komponenten beim Konvektionslöt elektronischer Baugruppen aufgetreten. Der vorliegende Beitrag befasst sich in zwei Teilen mit der Erforschung dieses Defekts. Teil 1 beschreibt die Grundlagen der Wärmeübertragung sowie entsprechende Tests dazu.

Autoren: Dr. Paul Wild, Carsten Giersberg



gruppe geleitet und es findet der Wärmeübergang statt. Die Wärmeübertragung hängt von der Temperatur der Baugruppe und des Mediums, und von dem Wärmeübertragungskoeffizienten ab. Die Strahlen aus einem Düsenfeld, welche auf einem darunter liegenden Produkt auftreffen, werden sehr oft in thermischen Systemen zum Kühlen, Heizen oder Trocknen angewendet. Bild 1 zeigt das Strömungsfeld eines aufprallenden Strahles mit den typischen Gebieten: Freistrah-, Staustromungs- und Wandstrahlgebiet.

Der Wärmeübergangskoeffizient hängt von der Geometrie der Düse, deren Abstand zur Aufprallobfläche, Temperaturdifferenz und der Strömungsgeschwindigkeit ab. In Bild 2 ist beispielhaft die simulierte Geschwindigkeitsverteilung für eine Anordnung bestehend aus Düsenfeld und Baugruppe mit Elektrolytkondensatoren dargestellt. Die oben beschriebenen Strömungsgebiete sind in dieser Abbildung anhand der Strömungslinien

Die voranschreitende Miniaturisierung der SMD-Komponenten bringt nicht nur Vorteile wie eine kompaktere Bauweise und geringes Gewicht der Produkte, sondern auch einige Herausforderungen an die Prozesstechnik mit. In vergangenen Jahren ist viel über die Anpassung des Lotpastendrucks, der Bestückung und der Inspektion an die neuen Herausforderungen berichtet worden. Während dieser Zeit ist auch vermehrt der Defekt der verblasenen Komponenten beim Konvektionslöt elektronischer Baugruppen aufgetreten. Insbesondere ist sehr häufig die SOD323 (Small Outline Diode) Bauform davon betroffen. In dieser Publikation werden die für diesen Defekt verantwortlichen Mechanismen, deren Wechselwirkungen und mögliche Abhilfemaßnahmen anhand von CFD (Computational Fluid Dynamics) Simulationen, analytischen Modellen und Experimenten erläutert.

In Konvektionslötanlagen basiert die Wärmeübertragung auf dem Prinzip der erzwungenen Konvektion. Als Wärme-

übertragungsmedium wird die Umgebungsluft oder auch Stickstoff verwendet.

Grundlagen der Wärmeübertragung

Nach dem Erwärmen wird zum Beispiel die Luft durch ein Düsenfeld auf eine Bau-

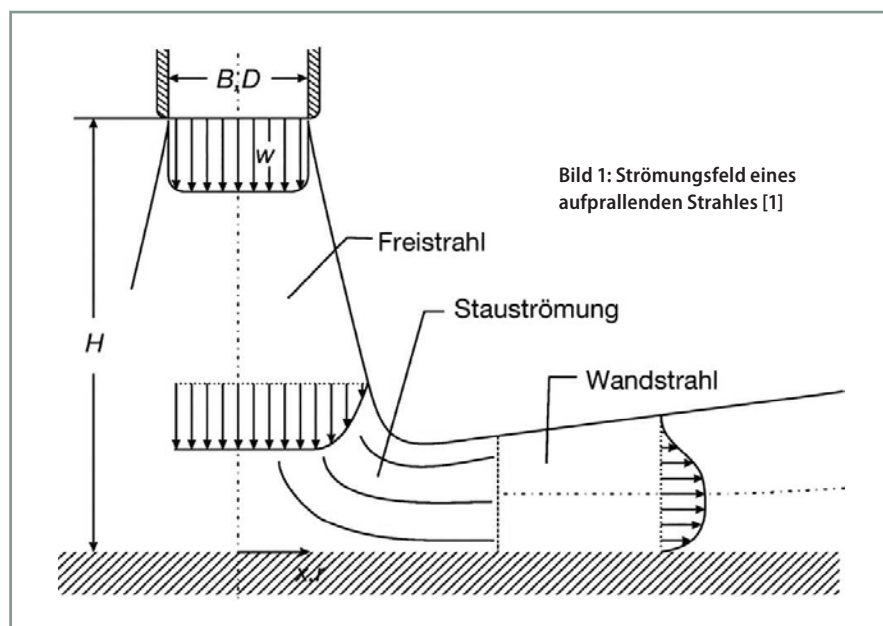


Bild 1: Strömungsfeld eines aufprallenden Strahles [1]

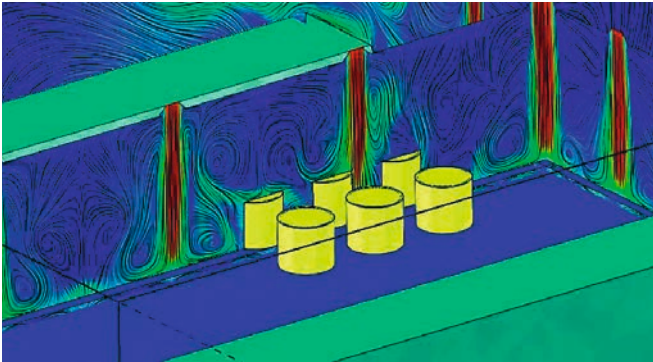


Bild 2: Simulierte Geschwindigkeitsverteilung für eine Anordnung mehrerer Düsen und einer Baugruppe mit Elektrolytkondensatoren

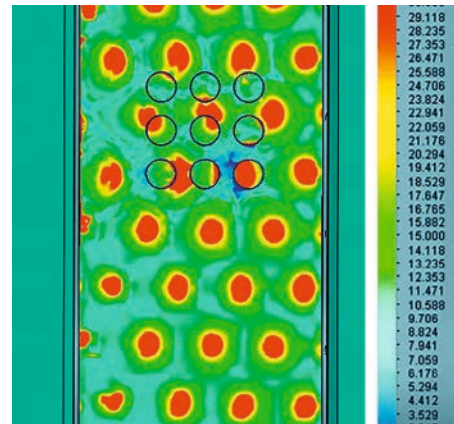


Bild 3: Simulierte Verteilung des Wärmeübergangskoeffizienten für eine Anordnung mehrerer Düsen und einer Baugruppe mit Elektrolytkondensatoren

visualisiert. Der maximale Wärmeübergang liegt am Ende des Freistrahls im Staupunkt der Strömung vor [1].

Bild 3 zeigt beispielhaft die simulierte Verteilung des Wärmeübergangskoeffizienten für eine Anordnung mehrerer Düsen und einer Baugruppe mit Elektrolytkondensatoren. Diese Visualisierung stellt nur eine Momentaufnahme aus transients Berechnung dar. Im realen Prozess bewegt sich die Baugruppe, so dass diese in Transportrichtung abwechselnd mit niedrigeren und höheren Wärmeübergangskoeffizienten beaufschlagt wird.

Bei der Auslegung der Düsenfelder werden insbesondere die Anforderungen an Längs- und Querprofil sowie die Temperaturdifferenz der kleinen und großen thermischen Masse berücksichtigt. Des Weiteren kommen die Anforderung an optimale Wärmeübertragung und möglichst geringe Windlasten hinzu, welche in einer konträren Wechselwirkung zueinanderstehen. Düsenfelder sind statische Anlagenteile, so dass diese bei einer Vielzahl von Baugruppen und Komponenten funktionieren müssen. Dabei gibt es, insbesondere bei hohen Frequenzen/Lüfterleistungen, auch Grenzfälle, wie es für SOD323 Komponenten der Fall ist.

Experimentelle Untersuchungen

Messung der Strömungsgeschwindigkeiten

Im ersten Schritt der Untersuchungen sollen die Windlasten in Abhängigkeit von der Lüfterleistung auf diese Komponente

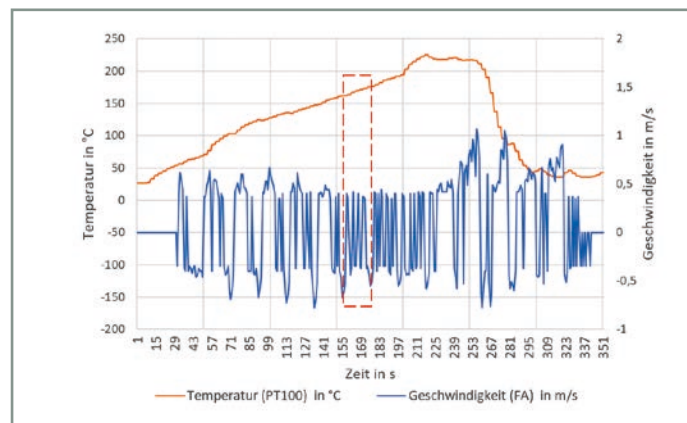


Bild 4: Ergebnisse der Temperatur- und Geschwindigkeitsmessung in Transportrichtung auf der Oberfläche einer Baugruppe

experimentell ermittelt werden. Während die Messung der Temperaturen in einem Ofen zum Stand der Technik gehört und es dafür eine Vielzahl an Profilen etc. gibt, stellt die Messung der Strömungsgeschwindigkeiten in der Nähe der Baugruppe eine Herausforderung dar. Der Grund dafür liegt insbesondere in sehr hohen Anwendungstemperaturen und komplizierten Strömungszuständen. Im Rahmen eines internen Forschungsprojektes wurde bei Rehms Thermal Systems auf Basis eines Flügelradanemometers ein Messsystem entwickelt, welches in der Lage ist, die Strömungen in allen drei Raumrichtungen und inklusive der Richtungsänderung bei typischen Löttemperaturen zu erfassen. Das Bild 4 zeigt die Ergebnisse aus einer Messreihe mit diesem System. Der Verlauf der Strömungsgeschwindigkeit weist im Bereich der Düsenfelder einige Richtungsumkehrungen auf. Der Grund dafür liegt im Durchlaufen der ein-

zelnen Düsenstrahlen: Bewegt sich das Flügelrad auf einen Strahl zu, dreht es sich in eine Richtung. Nach dem Durchlaufen des Staupunktes kehrt sich die Strömung um. Diese Erklärung korreliert auch mit dem Temperaturverlauf, welcher auch geringe Temperaturschwankungen beim Durchlauf von einzelnen Düsen anzeigt (rote Markierung). Die Geschwindigkeiten liegen im Bereich zwischen $\pm 0,75$ m/s. Aufgrund der Flügelradgröße von ungefähr 15 mm weisen die Messergebnisse eher eine grobe Auflösung auf und lassen sich nicht auf deutlich kleinere Komponenten übertragen.

Verblastest

Um den Einfluss der Strömung und der Temperatur auf das Verblasen von SOD323 zu untersuchen, wurden die in Tabelle 1 enthaltenen Einstellungen geprüft. Es wurde jeweils die Lüfterleistung ermittelt, ab welcher die Komponenten verblasen worden sind. Die Versuche bei 23°C und 180°C dienen dem Zweck, den Einfluss der Temperatur auf die Eigenschaften und der sich daraus resultierenden Haltekraft der Lotpaste zu ermitteln.

Ohne Lotpaste (1) und mit Lotpaste bei 180°C (3) wurde am häufigsten eine Ver-

Tabelle 1: Prozesseinstellungen der Verblastests

Prozesseinstellung	Lüfterleistung [%]	Auswirkung
1. Ohne Lotpaste	45	Verblasen
2. Mit Lotpaste und 23 °C	100	Nicht Verblasen
3. Mit Lotpaste und 180 °C	91	Verblasen

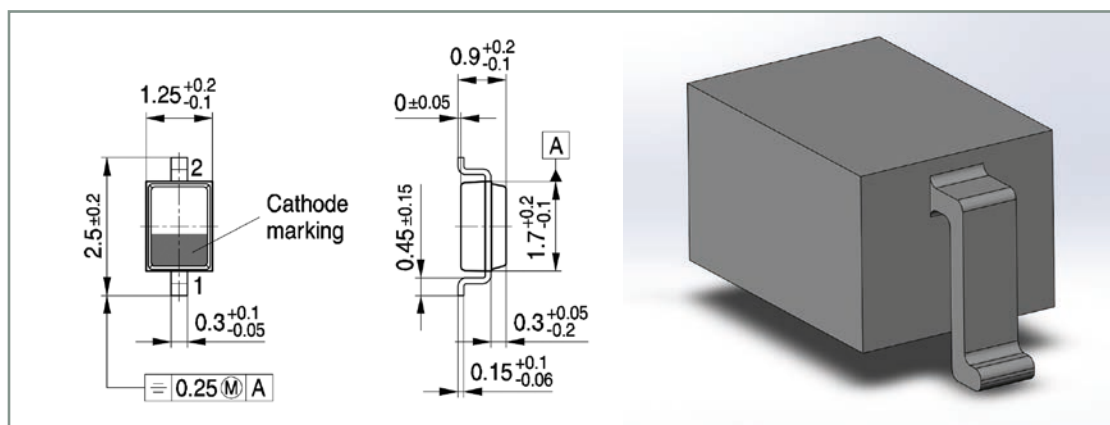


Bild 5: (l.) Darstellung und Abmessungen eines SOD323 [2] und (r.) daraus abgeleitetes Modell

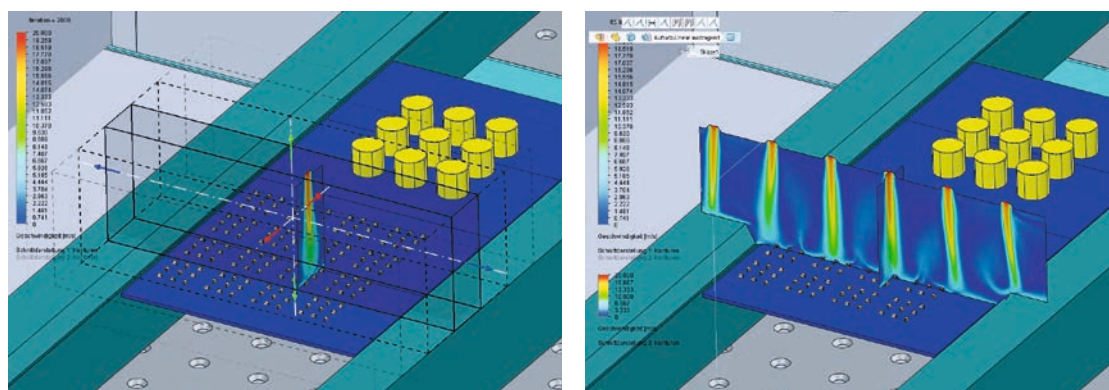


Bild 6: Berechnungsraum des Modells (links) und sechs Gasstrahlen mit Wirkung auf 36 Komponenten.

schiebung oder Drehung der Komponenten in der Nähe der Pads beobachtet. Die Ursache dafür liegt in der Geometrie der Komponente: Die Anschlüsse können nur maximal 0,05 mm länger sein als die Höhe der Komponente (Bild 5) und dadurch liegt die Komponente fast auf der Leiterplatte auf. Aus diesem Grund wird angenommen, dass die gedruckte Lotpaste bei Windlast auf Scherung beansprucht wird.

Außerhalb der Padfläche befanden sich viele Komponenten im umgekippten Zustand. Verantwortlich dafür sind die Unebenheiten (Leiterbahnen etc.) auf der Leiterplatte, an denen die Anschlüsse anstoßen und die Komponente dabei umkippt. Die von der Baugruppe verblasenen Komponenten befanden sich ausschließlich in Zone 2. Für Standardtemperatur und -lüftereinstellung bei 73 % der Lüfterleistung konnte kein Verblasen der Komponenten beobachtet werden.

Numerische Untersuchungen

Modellbeschreibung

Parallel zu den experimentellen Untersuchungen fanden Simulationen zur Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeiten statt. Dafür wurde das Simulationstool Solidworks Flow Simulation angewendet. Bild 5 zeigt die Abmessungen eines

SOD232 aus einem Datenblatt und die daraus abgeleitete Geometrie.

Dieser Lötfehler vermeidet eine Stickstoffatmosphäre

Im Simulationsmodell werden die Komponenten mit der Leiterplatte fest verbunden. Um den Einfluss der Orientierung zu berücksichtigen, werden die Komponenten in Transportrichtung und quer dazu ausgerichtet. Die Lasten auf die Baugruppe werden im stationären Zustand ermittelt, also ohne die Baugruppe durch den Ofen zu bewegen. Bild 6 (links) zeigt den Berechnungsraum mit periodischer Randbedingung. Als externe Randbedingung wurde Umgebungsdruck definiert. Es wird die Verblaskraft von insgesamt sechs Gasstrahlen simuliert, welche auf 36 Komponenten mit Ausrichtung in und quer zu Transportrichtung wirken (Bild 6, rechts).

Durch diese statische Anordnung der Komponenten und Randbedingungen sollen die Kräfte, welche auf eine sich bewegende Baugruppe wirken, angenähert werden. Die Raumrichtungen sind definiert mit: X – in Transportrichtung negativ, Y – vertikal nach oben positiv und Z – quer zu Transportrichtung positiv nach links. Die Strömungsgeschwindigkeiten und sich daraus resultierenden Kräfte wurden für

die experimentell ermittelten Lüfterleistungen von 100 %, 91 % und 45 % simuliert. (pg)

Teil 2 folgt in der nächsten productronic.

Literatur

- [1] W. Schabel und H. Martin, Wärmeübertragung bei erzwungener Konvektion: Prallströmungen, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2019.
- [2] Infineon Technologies AG, Silicon PIN Diodes BAR63..., München, 2009.
- [3] J. Zeitler und G. Simon, Physik für Techniker, München: Carl Hanser Verlag, 2016.
- [4] P. J. Blau, Friction Science and Technology: From Concepts to Applications, Boca Raton: CRC-Press, 2008.
- [5] G. Diepstraten und D. Wu, „Estimating Stencil Life and Ideal Heating Profile of Solder Paste Using Advanced Thermo-Gravimetric Analysis,“ [Online]. Available: https://www.circuitsinsight.com/pdf/estimating_stencil_life_ipc.pdf. [Zugriff am 23.10.2021].
- [6] A. Sharma, S. Mallik, N. Ekere und J.-P. Jung, „Printing Morphology and Rheological Characteristics of Lead-Free Sn-3Ag-0.5Cu (SAC) Solder Pastes,“ J. Microelectron. Packag. Soc, Bd. 21, pp. 1-7, 2014.

Autoren

Dr. Paul Wild
Rehm Thermal Systems, Blaubeuren

Carsten Giersberg
Rehm Thermal Systems, Blaubeuren