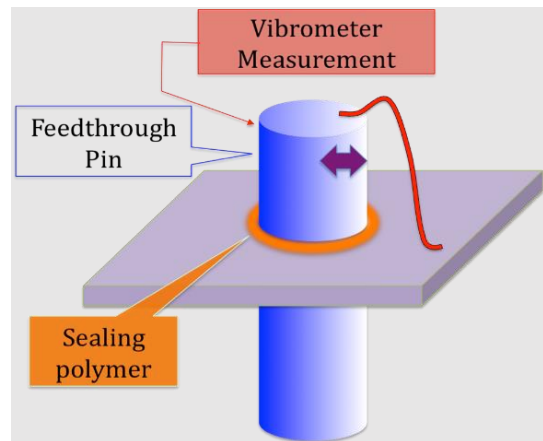


Wie geht man mit Resonanzen beim Drahtbenden um?

Technische Notiz 2015/02

Abstract

Resonanzeffekte können das Drahtbenden wesentlich erschweren oder sogar unmöglich machen. Die beiden wesentlichen Effekte werden diskutiert: scharfe Resonanzen auf Eigenfrequenzen und passives Mitschwingen. Eine geänderte Ultraschallfrequenz beseitigt den Effekt einer echten Resonanz, während das Mitschwingen von der US-Frequenz unabhängig ist und sich daher nur durch korrekte Befestigung der Bondpartner beseitigen lässt.



Bondpartner sind manchmal nicht starr – und nicht nur auf eine Weise

Wer praktische Erfahrungen im Drahtbenden hat, kennt die beiden wichtigsten Voraussetzungen für gute und konstante Bondqualität und einen robusten Bondprozess: saubere Bondoberflächen und eine starre Befestigung der zu bondenden Teile. Letzteres ist deswegen so wichtig, weil das Drahtbenden ein Reibschweißprozess ist, der durch Ultraschallschwingungen ausgeführt wird. Folglich ist es sehr empfindlich auf andere Störschwingungen, die bei gleicher oder ähnlicher Frequenz ablaufen. Das Bondresultat leidet also, wenn die zu bondenden Teile nicht ausreichend steif befestigt werden können. Dafür gibt es zwei wesentliche Gründe: zum einen kann es vorkommen, dass das zu bondende Teil eine Eigenschwingung aufweist, deren Resonanzfrequenz in der Nähe der Bondfrequenz liegt und daher diese Eigenschwingung anregt. Zum anderen ist denkbar, dass die zu bondende Fläche zu weich und nachgiebig aufgehängt ist und daher von der Ultraschallschwingung mitgenommen wird. Diese beiden Fälle werden im Nachfolgenden diskutiert.

Der erste Fall ist ein echtes Resonanzphänomen: das zu bondende Teil hat eine (oder mehrere) Resonanzfrequenzen, die durch seine mechanischen Eigenschaften bestimmt werden und die von Teil zu Teil weitgehend konstant bleiben. Diese Resonanz tritt dann – und nur dann – auf, wenn die anregende Frequenz in der Nähe der Eigenfrequenz liegt. Ist die Anregungsfrequenz deutlich größer oder kleiner, dann ist auch die Resonanzantwort immer geringer, bis die Anregung eine Nebenresonanz oder einen Oberton trifft, also üblicherweise die doppelte Grundfrequenz und höhere Vielfache. Meist ist die Resonanzantwort eine Lorentzkurve mit einem sehr raschen Abfall vom zentralen Maximum.

Der zweite Fall ist ein unspezifisches und rein passives Mitschwingen: wenn die Bondfläche auf einem weichen oder nachgiebigen Untergrund befestigt ist, folgt sie jeder beliebigen Schwingung, die auf sie einwirkt. Die Frequenz der Anregung ist also hier völlig gleichgültig. Dieses Phänomen wird zwar gelegentlich als Resonanz bezeichnet, ist aber keine, sondern lediglich ein passives Mitschwingen.

Im Folgenden werden zwei typische Beispiele diskutiert, eines von jeder Sorte: zunächst ein echter Resonanzfall, und dann ein Bauteil mit Mitschwingen.

Echte Eigen-Resonanz

In Fig. 1 ist ein Sensorchip dargestellt, der auf einem würfelförmigen Quarzsockel von etwa 3 mm Kantenlänge montiert ist. Er zeigt (Fig. 2) eine sehr scharfe Resonanz bei einer Eigenfrequenz von 101,2 kHz (schwarze Kurve) und einen ersten Oberton bei 202,5 kHz (rote Kurve), die mit einem Laservibrometer während des Bondens an der Kante des Chips gemessen wurden. (Die Bondfrequenz war 101,2 kHz.) Der erste Oberton dieser Resonanz steigt während des Bondvorgangs auf einen hohen Wert von 175 nm, also nicht viel weniger als die Toolamplitude von etwa 300 nm. Die Bondfrequenz selbst, die man am Chip zu beobachten erwarten würde, ist dagegen nur mit einer verschwindend geringen Amplitude von etwa 25 nm messbar. Es ist leicht verständlich, dass diese Oberton-Resonanz das Bonden praktisch unmöglich macht.

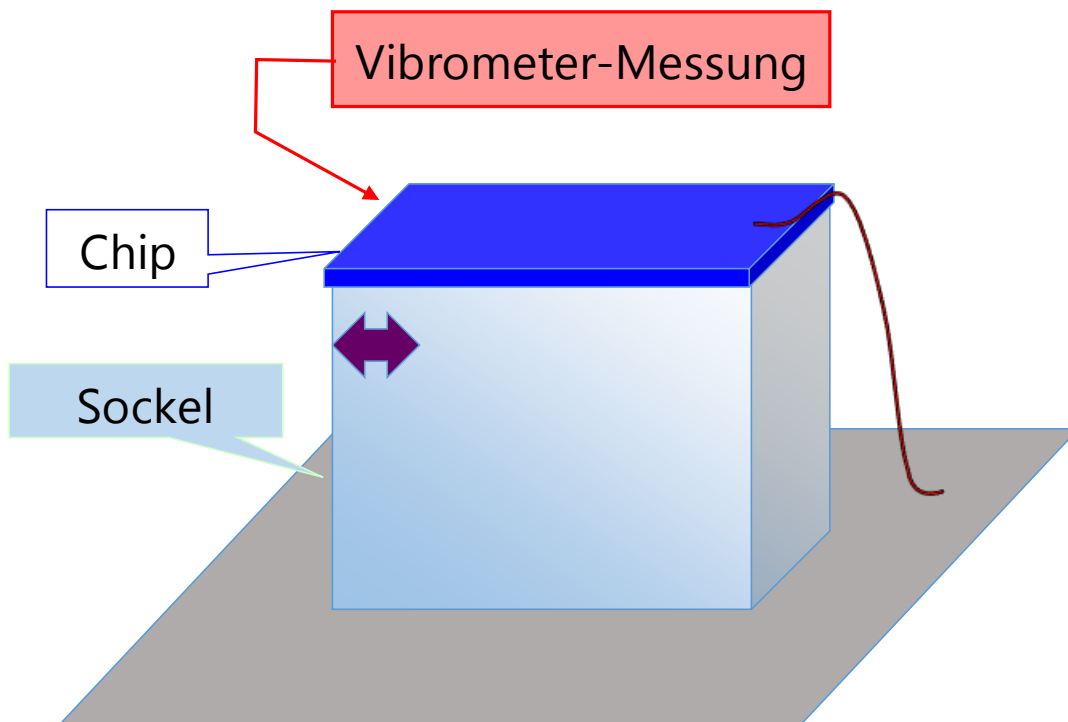


Fig. 1 Sensorchip, auf Quarzsockel mit Resonanz angebracht

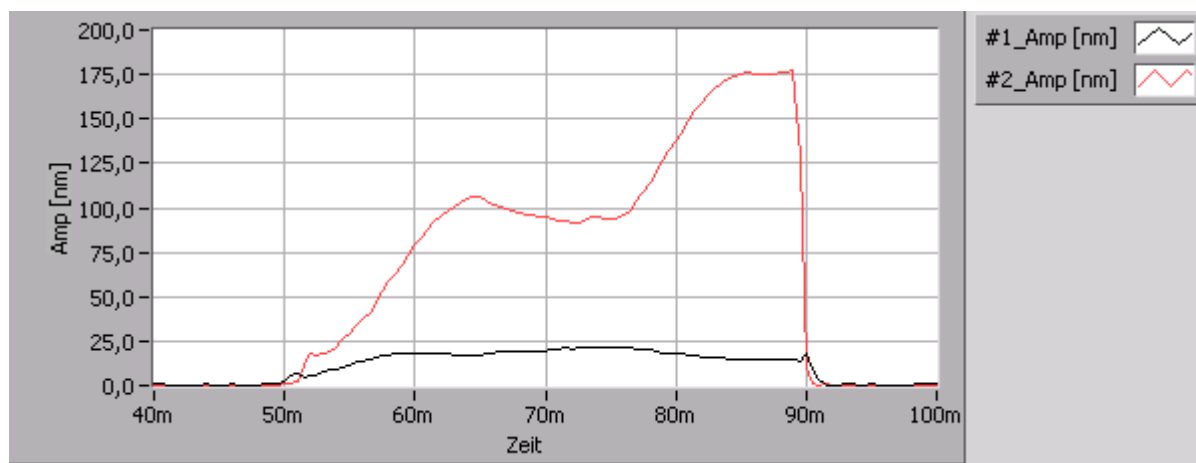


Fig. 2 Resonanz (schwarze Kurve) bei 101,2 kHz und erster Oberton (rot) bei 202,5 kHz, am Chip gemessen

Das Auftreten eines Obertons ist charakteristisch für eine echte Resonanz. Ganz typisch dafür ist, dass der Oberton auch mit größerer Amplitude auftreten kann als die Grundschiwingung. Bei einer echten Resonanz ist es auch durchaus möglich, dass die Resonanzschwingung eine bedeutend größere Amplitude entwickelt als die anregende Schwingung.

Dieses Resonanzproblem ließ sich erwartungsgemäß sehr einfach lösen, indem ein Transducer mit anderer Frequenz von 140,6 kHz eingesetzt wurde. Fig. 3 zeigt wiederum die Grundschiwingung (von 140,6 kHz) in der Mitte der Chipkante, die im Verlauf der Bonderzeugung bis auf ein Maximum von etwa 150 nm anwächst, während die Toolamplitude (Fig. 4) etwa 300 nm beträgt. (Ein früherer Artikel in dieser Serie erläutert, warum man erwarten kann, dass das Bondssubstrat zunehmend mitschwingt, wenn der Bond geformt wird, und dass dieses Mitschwingen eine bedeutend kleinere Amplitude als das Bondtool, aber gleiche Frequenz aufweist.) Der rote Verlauf in Fig. 3 stellt den ersten Oberton dar, der praktisch keine Amplitude zeigt. Das ist im Einklang mit dem oben erläuterten Modell.

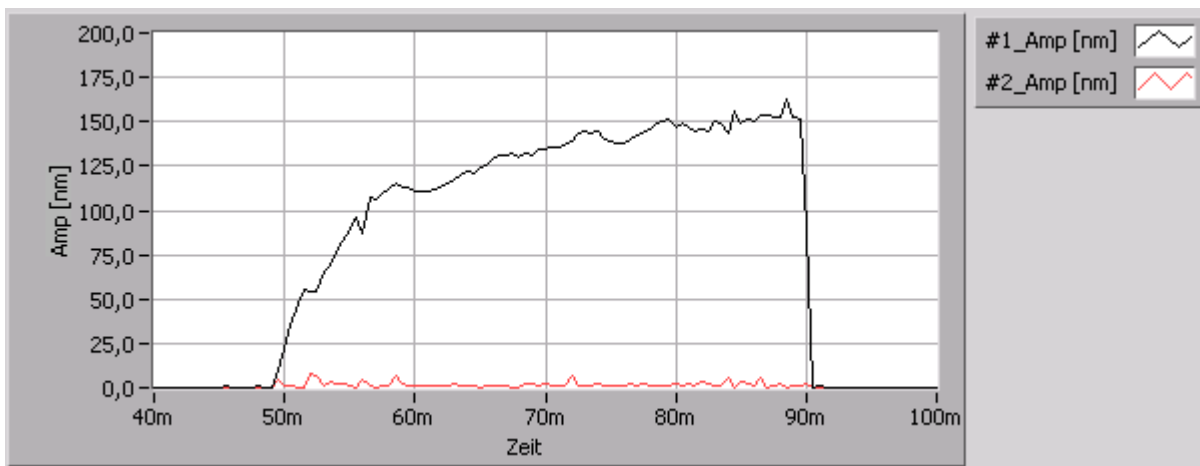


Fig. 3 Passives Mitschwingen bei 140,6 kHz, am Chip gemessen: kein Oberton

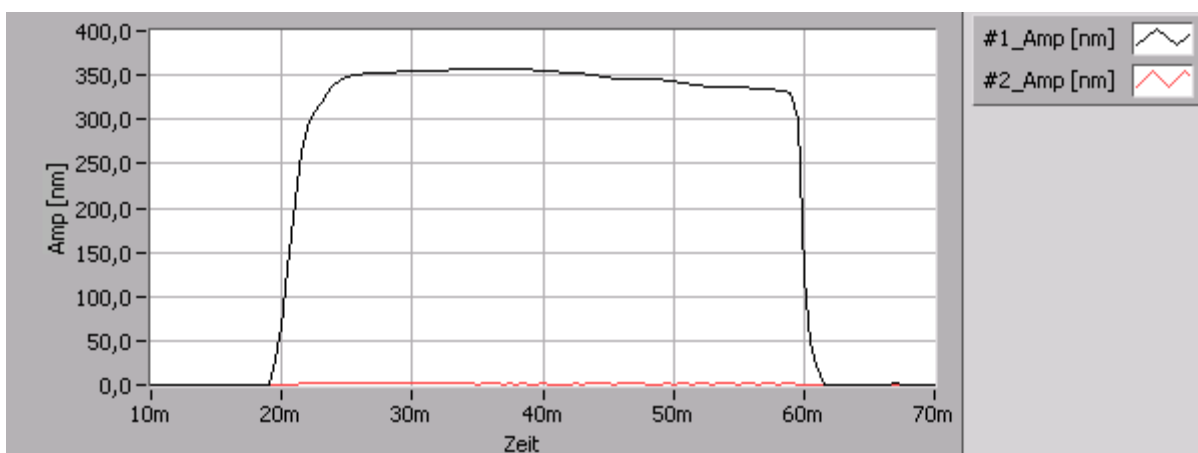


Fig. 4 Amplitude am Tool während des Bondens bei 140,6 kHz

Echte Resonanzprobleme sind keineswegs so exotisch wie man denken könnte: ein Standard-TO-Gehäuse, wie es häufig für Sensoren oder MEMS eingesetzt wird, hat beispielsweise Pins mit einer Dicke von 0,3 mm, die etwa 1 mm aus der Grundplatte überstehen. Ein Kupferpin von diesen Abmessungen hat eine Resonanz

bei 147 kHz und ist daher unmöglich mit 140 kHz zu bonden, während eine andere Frequenz wie etwa 100 kHz völlig problemlos arbeitet.

Weiche Befestigung verursacht (passives) Mitschwingen

Das zweite Beispiel (Fig. 5) ist ein Kontaktpin, der mit einem Kunststoffkragen eingesiegelt ist. Dieser Kragen kann aus zwei unterschiedlichen Kunststoffen bestehen, einem weicheren oder einem härteren. Es macht den Effekt von größerer oder kleinerer Nachgiebigkeit anschaulich, die zu mehr oder weniger ausgeprägtem Mitschwingen führt.

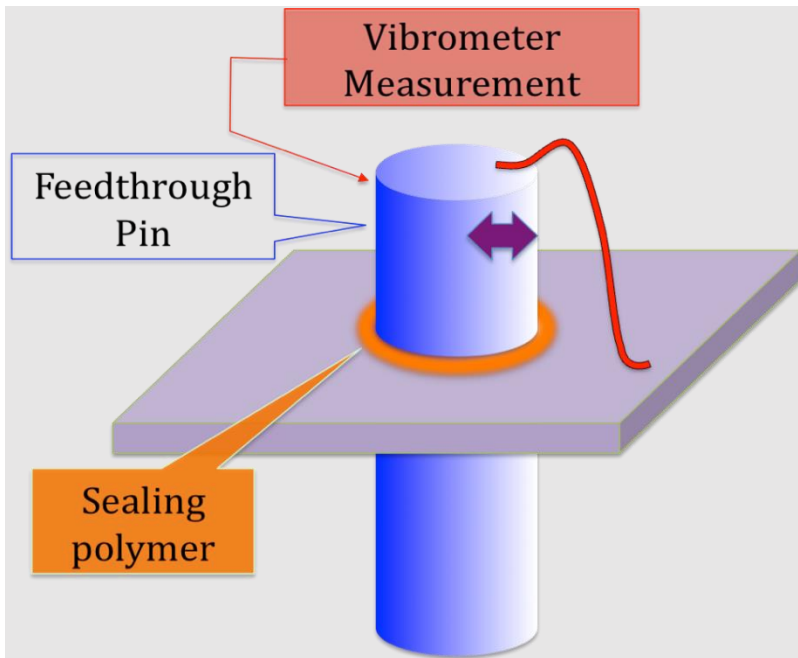


Fig. 5 Pin-Durchführung mit Polymer-Dichtung und Drahtbond

Fig. 6 stellt zum Vergleich die Toolschwingung selbst während des Bondens mit 100 kHz dar. Die Schwingung ist im wesentlichen konstant und ungedämpft mit etwa 800 nm Amplitude. Fig. 7 gibt eine Messung am Pin wieder, etwas unterhalb des Bondtools, und zeigt sehr deutlich, dass der Pin der Toolschwingung genau und mit derselben Amplitude folgt. Damit ist das Bonden unmöglich.

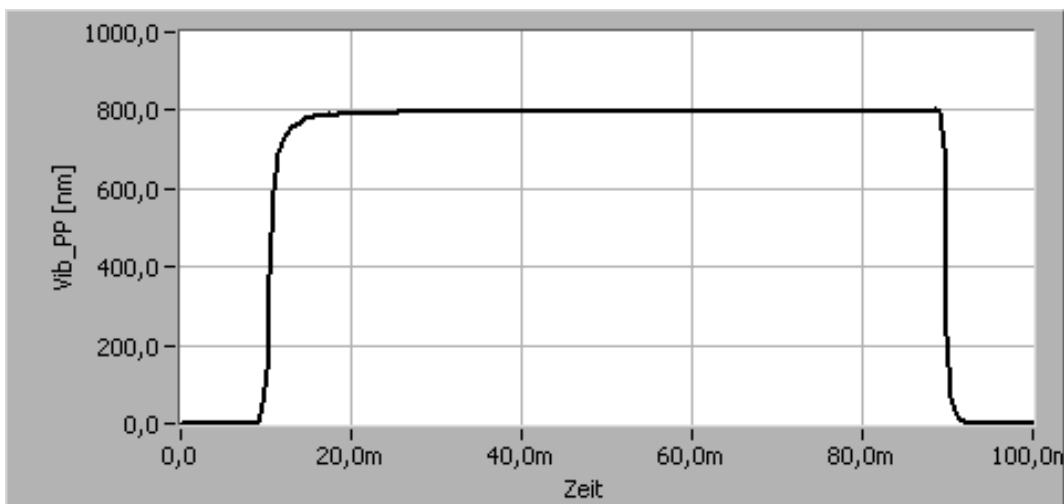


Fig. 6 Toolschwingung mit 100 kHz, mit Vibrometer an der Toolspitze gemessen

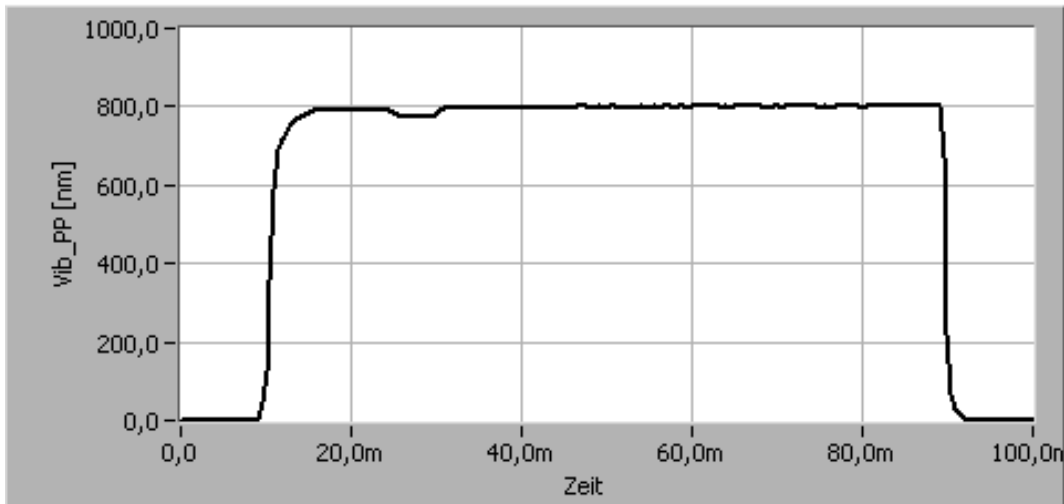


Fig. 7 Starke Schwingung des Kontaktpins bei weicher Polymerdichtung (100 kHz)

Das Polymer zu wechseln und durch ein härteres zu ersetzen, löst das Problem höchst effektiv, wie in Fig. 8 zu sehen ist. Hier folgt der Pin der anregenden Schwingung mit bedeutend geringerer Amplitude und der Bond lässt sich problemlos herstellen, was sich auch in späteren Pulltests zeigt.

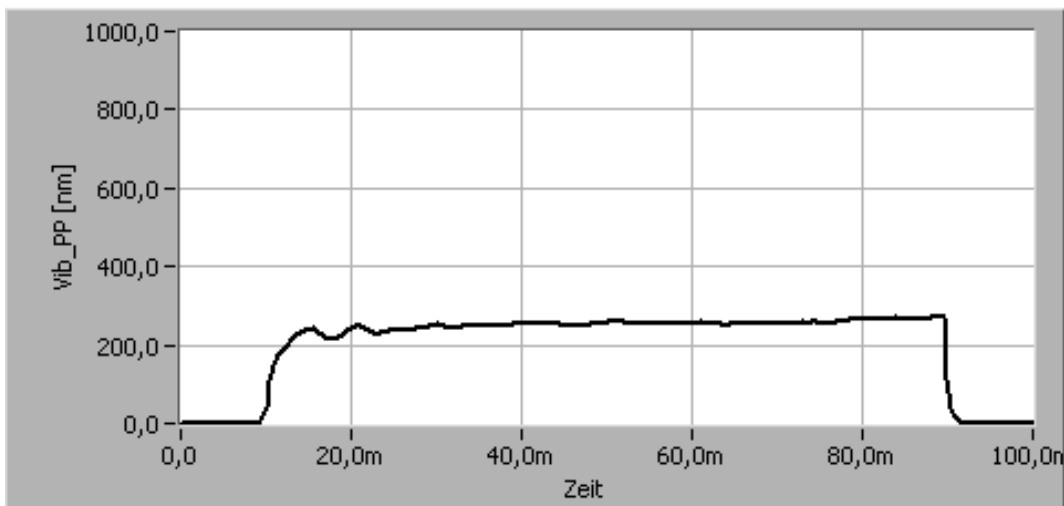


Fig. 8 Geringe Schwingung des Kontaktpins bei harter Polymerdichtung (100 kHz)

Die folgenden Abbildungen zeigen sehr anschaulich, dass hier keine echte Resonanz vorliegt, sondern nur passives Mitschwingen. Wechselt man die US-Frequenz auf 65 kHz, dann ergibt sich in diesem Fall nach Optimierung der Bondparameter eine Amplitude an der Toolspitze (Fig. 9) von etwa 1500 nm (vgl. auch die Bemerkungen im vorangehenden Artikel, dass höhere Bondfrequenzen häufig kleinere Amplituden erlauben), und im Fall des weicheren Polymerkragens schwingt der Kontaktpin wiederum mit der gleichen Frequenz und Amplitude mit (Fig. 10). Setzt man auch hier das härtere Polymer ein und versteift dadurch die Halterung des Pins, dann schwächt sich auch hier das Mitschwingen auf weniger als die Hälfte ab. Das Ergebnis ist also das gleiche wie für 100 kHz Bondfrequenz, wie in Fig. 11 zu sehen ist, und unabhängig von der Bondfrequenz.

Zur Bestätigung wurden die gleichen Versuche auch noch mit einer dritten Bondfrequenz von 145 kHz wiederholt. Das Resultat blieb völlig identisch: die Amplitude des passiven Mitschwingens hängt nur von der Nachgiebigkeit der Bondoberfläche ab, nicht aber von der Bondfrequenz.

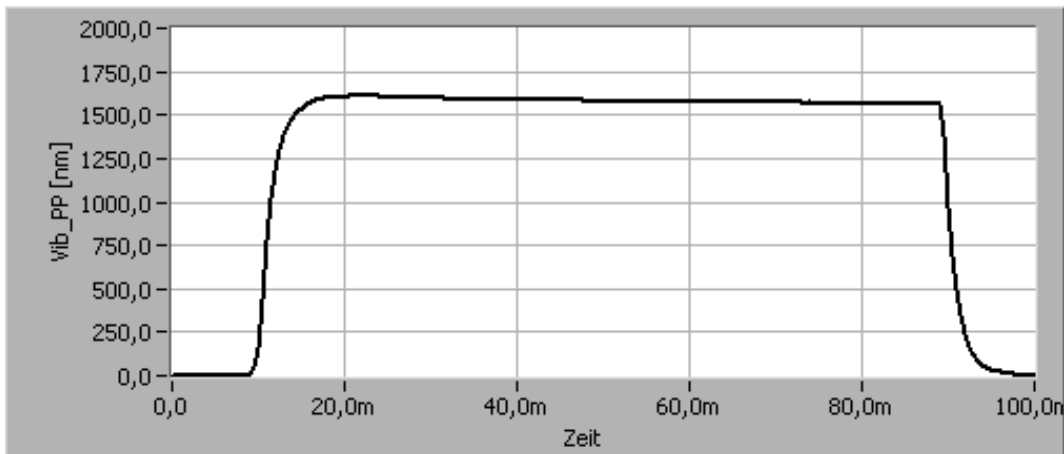


Fig. 9 Toolschwingung mit 100 kHz, mit Vibrometer an der Toolspitze gemessen

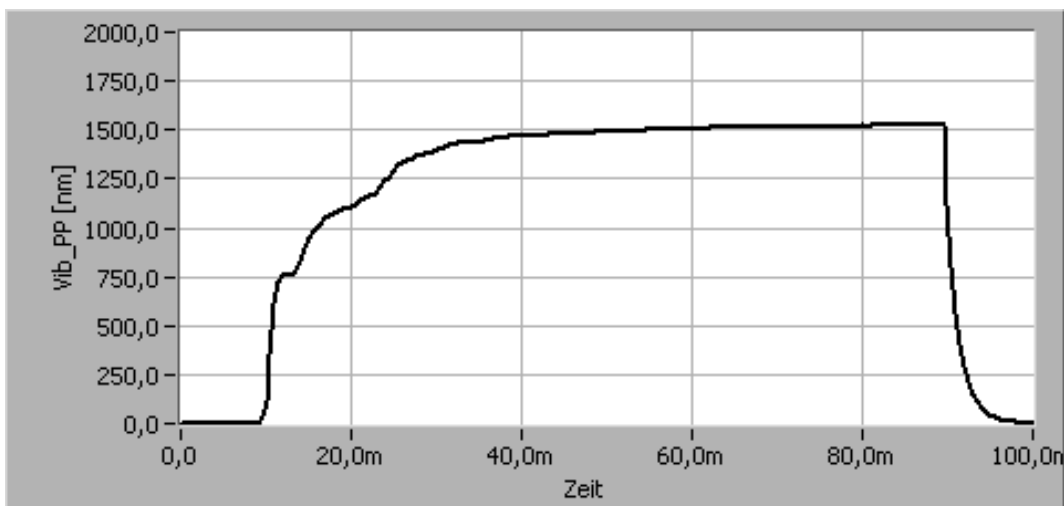


Fig. 10 Starke Schwingung des Kontaktpins bei weicher Polymerdichtung (65 kHz)

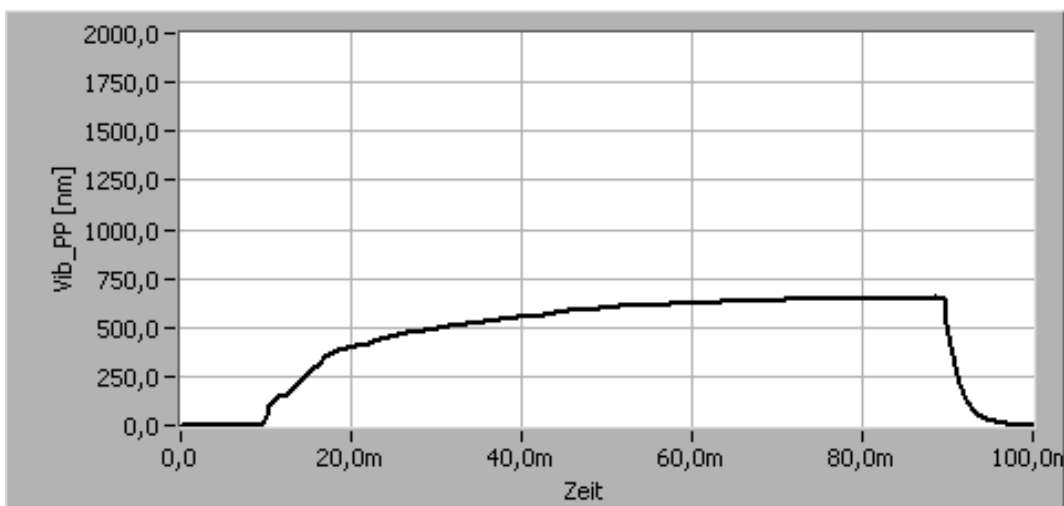


Fig. 11 Geringe Schwingung des Kontaktpins bei harter Polymerdichtung (65 kHz)

Es ist anzumerken, dass in der Praxis durchaus beide Resonanzfälle in ein und derselben Bondprobe auftreten können: die oben diskutierte Pin-Durchführung hat natürlich eine intrinsische Eigen-Resonanzfrequenz, die zusätzlich zum Mitschwingen auftritt, das durch den Durchführungskragen begünstigt (oder verhindert) wird. Wie ebenfalls weiter oben erwähnt, kann diese Eigen-Resonanzfrequenz sehr wohl in der Größenordnung der Bondfrequenz liegen. Das kann dann im Extremfall die Folge haben, dass das Unterbinden des Mitschwingens durch korrektes Dichtungsmaterial das andere Problem des Resonanz-Mitschwingens stärker hervortreten lässt.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Resonanzphänomene, die an zu bondenden Teilen auftreten, können echte Resonanzen oder aber nur passives Mitschwingen sein. Sie unterscheiden sich dadurch, dass echte Eigen-Resonanzen durch eine geänderte US-Frequenz verschwinden, während das passive Mitschwingen von der US-Anregung unabhängig ist und nur durch eine steifere Befestigung vermieden werden kann.

Daher empfiehlt es sich, eine Auswahl an US-Frequenzen in der Bondmaschine zur Verfügung zu haben, besonders dann, wenn in den zu bondenden Teilen beide Fälle von Mitschwingen auftreten können. Moderne Drahtbonder haben üblicherweise digitale US-Generatoren, bei denen die Frequenzen leicht umzuschalten sind, so dass nur der Transducer körperlich getauscht werden muss.