



Doctoral Thesis

Characterisation and modelling of interface reactions between diamond and active brazing alloys

Author(s):

Liu, Chunlei

Publication Date:

2007

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005520979> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 17469

Characterisation and Modelling of Interface Reactions between Diamond and Active Brazing Alloys

A dissertation submitted to
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
CHUNLEI LIU
M. Eng. CSU
born 14 Aug. 1978
citizen of China

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Jörg F. Löffler, examiner
Prof. Dr. Peter J. Uggowitzer, co-examiner
Prof. Dr. Ludwig J. Gauckler, co-examiner
Dr. Ulrich E. Klotz, co-examiner

2007

Abstract

Superabrasive tools with a diamond component are of great technical importance to the machining of metals, ceramics and stones. Brazing diamond grits onto a steel substrate in the form of a single-layer configuration are deemed an effective technique for the manufacturing of high-performance diamond abrasive tools. Compared to other methods such as sintering and electroplating, brazing is advantageous in terms of cutting speed, tool cost and tool life. Cu-based filler metals show a very good combination of properties, especially their relatively high strength and erosion resistance when compared to Ag-based alloys, and their lower melting point if compared to Ni-based ones. However, only very few compositions are so far commercially available, because the exact nature of their enhanced performance has not yet been clearly pinpointed, and various problems still remain because of their complex matrix microstructure and interface reactions. Understanding the formation and evolution of the latter is essential for improving the design of active filler metals and for optimising the brazing process.

In this thesis, a principle approach for the study of the thermochemical interactions at diamond-metal interfaces via a combination of experimental investigation, thermodynamic calculation and kinetic simulation is proposed. To illustrate the concepts developed here, a thermodynamic database for the systems involved and information concerning the interfacial reactions between diamond and Cu-based active brazing alloys are indispensable.

The available experimental data are, however, limited, and some of the existing experimental information from literature is contradictory. A series of key experiments was therefore designed for the study of the relevant phase boundaries and phase relationships based on the primary calculations and the available literature data. The phase equilibria information on the Cu–Sn–Ti and Cu–Ti–Zr systems was obtained in this first part of the investigation.

Following this, phase diagram and thermochemical information was critically evaluated and assessed using the CALPHAD (Calculation of Phase Diagram) approach, with the aim of optimising the thermodynamic parameters which allow a consistent description of the Cu–Sn–Ti–Zr–(C) system for active brazing application.

Active brazing experiments were also designed to identify the influence of alloy composition and brazing parameter on interface reactions (e.g. morphology of the interface, interfacial reaction products and the thickness of the TiC inter-layer). In addition, thermodynamic models were used to calculate metastable phase diagrams, activity diagrams etc., which assisted in clarifying the complex interfacial reactions occurring during active brazing of diamond. It was demonstrated that the activity of Ti in active brazing alloys plays an essential role in determining the stoichiometry of the TiC_x layer formed at the interface during the brazing process. This special feature of non-stoichiometric TiC_x is the key point in promotion of wetting and the firm joining of diamond and metal.

The results gleaned in this study will be of pertinent interest in the context of active brazing of diamond for various applications. In addition, the approach proposed may also be applied to the study of interfacial reactions between other dissimilar materials.

Zusammenfassung

Superabrasive Werkzeuge, die eine Diamantkomponente enthalten, sind von grosser technischer Wichtigkeit beim Bearbeiten von Metall, Keramik und Gestein. Das Hartlöten von Diamanten in Form einer einlagigen Schicht auf einen Stahluntergrund wird als äusserst leistungsfähige Technik eingeschätzt, um Hochleistungs-Diamantschleifwerkzeuge herzustellen. Verglichen mit anderen Methoden wie Sintern und Galvanisieren, bringt das Hartlöten Vorteile bezüglich Schnittgeschwindigkeit, Werkzeugkosten und Lebensdauer des Werkzeugs. Lote auf der Basis von Cu zeigen Eigenschaften in einer sehr günstigen Kombination. So weisen sie im Vergleich zu Ag-Basis Loten eine relativ hohe Festigkeit und Verschleissbeständigkeit, und im Vergleich zu Ni-Basis Loten einen niedrigen Schmelzpunkt auf. Allerdings gibt es nur sehr wenige handelsübliche Legierungen, weil bis jetzt der Mechanismus für das verbesserte Leistungsvermögen dieser Metalle nicht klar identifiziert ist, und es immer noch Probleme wegen der komplexen Mikrostruktur und Grenzflächenreaktionen gibt. Das Verständnis wie sich solche Grenzflächen bilden und verändern ist entscheidend, um den Aufbau der Aktivlote zu verbessern und den Lötprozess zu optimieren.

In dieser Dissertation wird eine erste Annäherung für das Studium thermochemischer Wechselwirkungen an Diamant-Metall Grenzflächen mittels Kombination experimenteller Untersuchungen, thermodynamischer Berechnungen und kinetischer Simulation vorgeschlagen. Um die im Rahmen der Dissertation entwickelten Konzepte zu erläutern, ist sowohl die thermodynamische Datenbank für die beteiligten Systeme als auch die Kenntnis der Grenzflächenreaktionen zwischen Diamant und den auf Kupfer basierten Aktivlot-Legierungen zwingend erforderlich.

Weil die experimentellen Daten nur begrenzt verfügbar und einige Hinweise aus der Literatur zudem noch widersprüchlich sind, wurde zuerst eine Reihe von Schlüsselexperi-

menten für die Untersuchungen der Phasengrenzen und Phasenbeziehung ausgelegt. Diese Experimente basierten auf den ersten Berechnungen und Literaturdaten. Die Daten der Phasengleichgewichte der Systeme Sn–Ti, Sn–Zr, Cu–Sn–Ti und Cu–Ti–Zr sind in diesem Teil enthalten.

Anschliessend wurden Phasendiagramm- und thermochemische Informationen kritisch ausgewertet und mittels CALPHAD-Annäherung (Calculation of Phase Diagram) festgelegt. Bei dieser Annäherung werden die thermodynamischen Einflussgrößen optimiert, um eine widerspruchsfreie Beschreibung des System Cu–Sn–Ti–Zr–(C) für die Anwendung im Aktivlöten zu erhalten.

Lötexperimente wurden entworfen, um den Einfluss der Legierungszusammensetzung und Lötparameter auf die Grenzflächenreaktionen (z.B. Morphologie der Grenzfläche, Reaktionsprodukte und Dicke der TiC Zwischenschicht) zu bestimmen.

Zusätzlich wurden thermodynamische Modelle zur Berechnung metastabiler Zustandsdiagramme, Aktivitätsdiagramme, etc. verwendet, um die komplizierten Reaktionen an den Grenzflächen, die während des Aktivlöten mit Diamant auftreten, zu verstehen. Es wurde gezeigt, dass die Aktivität von Ti in den Aktivlot-Legierungen eine wesentliche Rolle spielt, um die Stöchiometrie der TiC_x Schicht, welche während des Lötprozesses an der Grenzfläche gebildet wurde, zu ermitteln. Dieses besondere Merkmal von nicht-stöchiometrischem TiC_x ist hauptsächlich dafür verantwortlich, dass die Benetzung gefördert und Diamant mit dem Metall fest verbunden wird.

All diese Resultate sind von grundlegendem Interesse beim Aktivlöten von Diamant für verschiedenste Anwendungen. Im Allgemeinen kann die vorgeschlagene Annäherung zur Untersuchung von Grenzflächenreaktionen zwischen zwei anderen unterschiedlichen Werkstoffen eingesetzt werden.