PROZESS SIGNATUREN
TRANSREGIONALER SONDERFORSCHUNGSBEREICH 136

Universität Bremen | RWTH AACHEN UNIVERSITY | OKLAHOMA STATE UNIVERSITY | kks Lehrstuhl für Korrosion und Korrosionsschutz | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Mechanismenanalyse fertigungsbedingter chemischer Werkstoffmodifikationen und ihre Auswirkungen auf die Bauteilfunktionalität

Teilprojekt M06/Reaktionsmechanismen – Prof. Dr.-Ing. Daniela Zander

Zielsetzung und Vorgehensweise

Das Teilprojekt M06/Reaktionsmechanismen verfolgt drei übergeordnete Ziele:

1. mechanistische Analyse des Materialabtrags an 42CrMo4-Stahl für Fertigungsprozesses mit chemischer Wirkung: ECM (electrochemical machining, F03) und LCM (laserchemical machining, F07)
2. Quantifizierung der chemischen Beanspruchungen und Randzonenmodifikationen bei ECM und LCM
3. Untersuchung des Einflusses der durch ECM und LCM modifizierten Randzoneneigenschaften auf die Funktionalität der Oberfläche (Beständigkeit gegenüber Hochtemperaturkorrosion in sauerstoffhaltigen Atmosphären)

Aktueller Kenntnisstand

Der Materialabtrag beim ECM und LCM wurde umfangreich mechanistisch untersucht. ECM basiert auf der anodischen Auflösung des metallischen Werkstücks im Elektrolyten, die durch das Anlegen einer äußeren transpassiven Spannung hervorgerufen wird. Die Auflösung erfolgt über den Zwischenschritt einer Oxidschichtbildung, deren Zusammensetzung und Struktur signifikant von der Stromdichte und Spannung im Prozess abhängig, wie in **Bild 1** gezeigt ist.[1] Die Oxidschicht ist dabei neben der Mikrostruktur des 42CrMo4-Stahls ein wichtiger Faktor, der die Effizienz des Materialabtrags sowie die resultierenden Randzoneneigenschaften beeinflusst. [3,4] Der Abtragmechanismus im LCM-Prozess ist komplex und kann je nach Werkstoff-Elektrolyt-Kombination sowohl auf der Thermobatterie als auch auf der Erhöhung der Korrosionsstromdichte, der Zerstörung von Passivschichten und dem partiellen Aufschmelzen des Materials basieren. Für die Bearbeitung von 42CrMo4 in $NaNO_3$-Lösung wurde die Thermobatterie als Abtragmechanismus jedoch ausgeschlossen.

Zusätzlich zum mechanistischen Verständnis ist auch eine Quantifizierung der (elektro-)chemischen Beanspruchung und der chemischen Randzonenmodifikationen im ECM-Prozess sowie im LCM-Prozess erfolgt. Diese konnten zur Erstellung von Prozesssignaturkomponenten genutzt werden, wie in **Bild 2** exemplarisch für ECM dargestellt ist.

Des Weiteren wurde in ersten Untersuchungen erfolgreich nachgewiesen, dass die prozessbedingten Änderungen der Randzoneneigenschaften zu einer Veränderung der Funktionalität des Werkstoffs führen. Dies ist am Beispiel der Hochtemperaturkorrosion in sauerstoffhaltigen Atmosphären sowohl für ECM- [2] als auch für LCM-bearbeitete Oberflächen ermittelt worden.

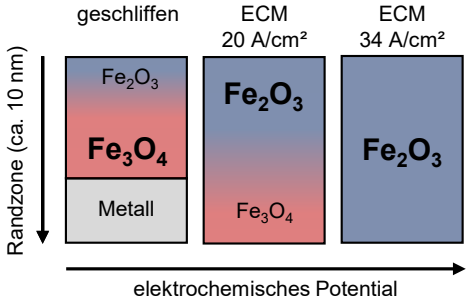

Bild 1: Aufbau des Oxids auf 42CrMo4 nach ECM in $NaNO_3$-Lösung.

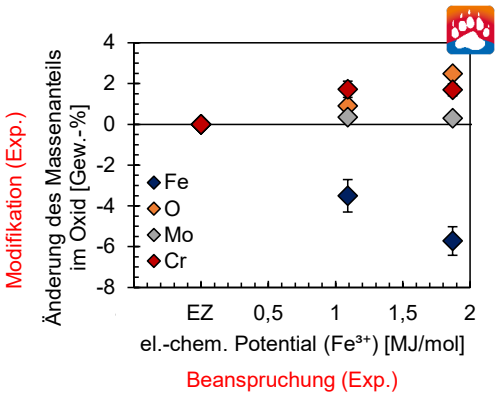

Bild 2: Prozesssignatur für ECM in $NaNO_3$-Lösung.

Schlussfolgerungen und weiteres Vorgehen

Es konnten klare Zusammenhänge zwischen den im Bearbeitungsprozess auftretenden (elektro-)chemischen Beanspruchungen und den Randzoneneigenschaften identifiziert werden. Diese Erkenntnisse konnten dazu genutzt werden, die im Prozess auftretenden Reaktionsmechanismen zu entschlüsseln.

Zudem wurde erprobt, welchen Einfluss die Randzoneneigenschaften „Eigenspannungen“, „Topographie/Rauheit“ und „Randzonenchemie“ auf die Funktionalität der Oberflächen haben. Dazu wurde die Beständigkeit von Bauteilen gegenüber Hochtemperaturkorrosion in sauerstoffhaltigen Atmosphären als Funktionseigenschaft untersucht. Diese Untersuchungen werden zurzeit systematisch fortgesetzt, um die Oxidationsmechanismen zu entschlüsseln.

Veröffentlichungen

[1] Zander; Schupp; Rommes; Klink; Beyß: Oxide formation during transpassive material removal of martensitic 42CrMo4 steel by electrochemical machining. Materials (2021) 14(2), 402. https://doi.org/10.3390/ma14020402

[2] Zander; Klink; Harst; Klocke; Altenbach: Influence of machining processes on rim zone properties and high temperature oxidation behavior of 42CrMo4. Mater. Corros. (2019) 70, 2190–2204. https://doi.org/10.1002/maco.201910928

[3] Zander; Schupp; Mergenthaler; Pütz; Altenbach: Impact of rim zone modifications on the surface finishing of ferritic-pearlitic 42CrMo4 using electrochemical machining. Mater. Corros. (2021), 1–15. https://doi.org/10.1002/maco.202012213

[4] Schupp; Zander; Beyß; Rommes; Klink: Insights on the influence of surface chemistry and rim zone microstructure of 42CrMo4 on the efficiency of ECM. Materials (2021) 14(9), 2132. https://doi.org/10.3390/ma14092132