

Über die thermische Wirkung am Fußpunkt von Blitzstromlichtbögen

Dipl.-Ing. J. Schönau, CE-LAB GmbH, Prüfzentrum Ilmenau, j.schoenau@ce-lab.de,

Dr. C. Karch, Airbus Defence and Space GmbH, München, christian.karch@airbus.com,

Univ.-Prof. Dr.-Ing. F. Berger, TU Ilmenau, Fachgebiet Elektrische Geräte und Anlagen, frank.berger@tu-ilmenau.de

Kurzfassung

Die thermische Wirkung unmittelbar am Fußpunkt von Blitzstromlichtbögen stellt einen entscheidenden Faktor bei der Beurteilung bzw. der Vorhersage der auftretenden thermo-mechanischen Beanspruchungen durch Blitzeinschläge in direkt getroffene Objekte dar. Dabei ist zu beachten, dass eine thermische Schädigung bis hin zu einer vollständigen Materialzerstörung nicht nur durch direkte Einflüsse und Beanspruchungsparameter des Lichtbogens selbst, sondern auch durch stattfindende Wechselwirkungen und Interaktionen zwischen dem Material bzw. der Beschichtung und dem Lichtbogen bestimmt werden.

Während Blitz-Fangeinrichtungen aus hinreichend dimensioniertem Metall als geprüfte Komponenten der Blitzschutzsysteme im Allgemeinen eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber den Blitzstromlichtbögen aufweisen, stellt sich bei anderen bedrohten Materialoberflächen (z.B. nichtmetallene aber leitfähige Objekte aus heterogenen Verbundstrukturen) die generelle Frage nach der Lichtbogenfestigkeit und der Stromtragfähigkeit direkt am Eintrittspunkt der Lichtbogenentladung.

Die thermisch freigesetzte Energie ist dabei die Hauptursache für unterschiedlichste Folgeerscheinungen, wie Erosion, Perforation, Materialersetzung, Brandentwicklung sowie mechanische Strukturschädigung durch thermisch induzierte Schockwellen. Aus diesem Grund kommt dem Verständnis der thermischen Effekte am und um den Fußpunkt des Lichtbogens eine besondere Bedeutung zu. Aus Sicht der Energiebilanz können folgende Anteile der Wärmeübertragung bzw. der Wärmewirkung auf Materialien genannt werden:

- a) der Wärmeeintrag aus der Lichtbogensäule (Ionenbombardement, Elektronen) direkt in den Fußpunkt, u.a. mit den Effekten der Wärmediffusion, der thermischen Strahlung und der chemischen Reaktionswärme
- b) die Wärmestrahlung ausgehend vom heißen Lichtbogenplasma hin zur Materialoberfläche außerhalb des Lichtbogenfußpunktes
- c) die Joulesche Erwärmung (Widerstandserwärmung) durch den sich einstellenden Blitz-Stromfluss im Material.

Im Fachartikel werden die physikalischen Mechanismen dieser thermischen Effekte näher beschrieben und bewertet. Der Schwerpunkt der Betrachtungen wurde dabei auf den Beitrag der Wärmestrahlung außerhalb des Lichtbogenfußpunktes gelegt. Für gezielte experimentelle Untersuchungen wurde ein spezieller Versuchsaufbau entworfen und realisiert, mit dem der Beitrag der Wärmestrahlung von den Beiträgen des direkten Wärmeeintrags und der Jouleschen Erwärmung separiert werden konnte. Die Ergebnisse der durchgeführten Labormessungen stehen zukünftig sowohl für Beanspruchungsanalysen als auch für Simulationen zur Verfügung.

Der Beitrag der Jouleschen Erwärmung infolge des Stromflusses im Material ist insbesondere für die hybriden (Faser-) Verbundstrukturen oder auch für andere Materialien mit nur dünnen Leitschichten von großer Bedeutung, da bei weniger gut leitfähigen Materialien nicht nur thermische Beanspruchungen sondern auch vollständig irreversible Degradationen auftreten können.

Der Wärmeeintrag aus der Lichtbogensäule spielt insbesondere bei den elektrisch gut leitenden Materialien (Metalle) die entscheidende Rolle. Dabei dürfen die Wechselwirkungen des Lichtbogens am Fußpunkt des Plasmakanals mit der Materialoberfläche sowie der Einfluss von nichtleitenden dielektrischen Beschichtungen nicht vernachlässigt werden. Eine Fixierung oder Einschnürung des Kanals führt zu einer Konzentration der thermischen Wirkung und aller damit verbundenen Folgeeffekte, während ein stark bewegter bzw. in seinem Ansatz verteilter Lichtbogen (z.B. mehrere Fußpunkte) die thermische Belastung integral über eine größere Oberfläche verteilt. Aus dieser Erkenntnis heraus können effizientere Schutzmaßnahmen abgeleitet werden, die insbesondere im Flugzeugbau oder im verstärkten Maße bei Windkraftanlagen Verwendung finden.

Im Ergebnis der Arbeit konnte die physikalische Modellierung sowie die numerische Simulation der Blitz induzierten Schäden in Materialien und Strukturen verbessert werden, weil die Eigenschaften des einwirkenden Plasmakanals und des stattfindenden Wärmeübergangs durch experimentelle Ergebnisse besser als bisher zu beschreiben sind.