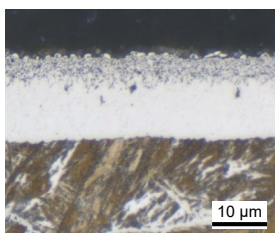


Ermittlung und Steigerung der Tragfähigkeit von tiefnitrierten Zahnrädern

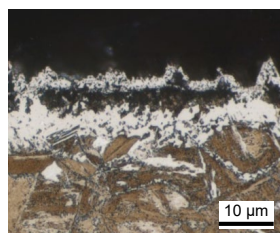
Durch Nitrieren kann die Beanspruchbarkeit von Zahnrädern signifikant gesteigert werden, wobei die benötigte Nitrierhärte tiefe abhängig von der Baugröße der Verzahnung ist. Voraussetzung für eine hohe Tragfähigkeit, insbesondere für eine hohe Zahnflankentragfähigkeit, ist neben der erforderlichen Nitrierhärte tiefe allerdings auch eine tragfähige Verbindungsschicht an der Oberfläche. Ziel des Forschungsvorhabens FVA 615 III (IGF-Nr. 19594 N) war es, durch optimierte Nitrierprozesse und -parameter eine deutliche Steigerung der Belastbarkeit (tief-)nitrierter Zahnräder bei mittlerer und größerer Baugröße als verzugsarme Alternative zum Einsatzhärten zu erreichen.

Im Vorgängervorhaben FVA 615 II (IGF-Nr. 17321 N) wurden bereits schwerpunktmäßig wirtschaftliche Prozesse zur Erzeugung von Nitrierhärte tiefen von etwa 0,8 bis 1,0 mm erarbeitet und die erzeugten Randschichten charakterisiert. Dabei wurde aufgezeigt, wie Anlasseffekte während der langen Behandlungsdauern minimiert werden können. Die Stichversuche des tiefnitrierten Sonderstahls 32CDV13 ließen hohe Tragfähigkeiten, insbesondere eine hohe Grübchentragfähigkeit, erwarten, die oberhalb der Normangaben für nitrierte Stähle nach ISO 6336-5:2016 und im Bereich bzw. oberhalb gängiger Kennwerte einsatzgehärteter Zahnräder liegen.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens FVA 615 III (IGF-Nr. 19594 N) wurden zunächst die vielversprechenden Stichversuche am tiefnitrierten Sonderstahl 32CDV13 aus dem Vorgängervorhaben erweitert und statistisch abgesichert. Zudem wurde ein umfassendes Verständnis der werkstofftechnischen Möglichkeiten (u. a. chemische Zusammensetzung, Vorwärme- und Tiefnitrierbehandlung, Verbindungsschicht) zur Realisierung hoher Tragfähigkeiten erarbeitet, um auch an gängigen Standardnitrierstählen (z. B. 31CrMoV9) und alternativen Legierungskonzepten (15CrMoV5-9) Nitrierschichten mit hohen Tragfähigkeiten zu erzeugen.



a) Tragfähige
Verbindungsschicht



b) Nicht tragfähige
Verbindungsschicht

Metallografische Dokumentation der Verbindungsschicht zweier Varianten des Hauptwerkstoffs 31CrMoV9 nach dem Tiefnitrieren

weitere untersuchten Nitrierschichtvarianten beim Hauptwerkstoff konnten darüber hinaus Erkenntnisse zum Einfluss der Verbindungsschicht auf die Zahnfuß- und Zahnflankentragfähigkeit gewonnen werden. Mit der Legierung 15CrMoV5-9 wurde ein alternativer Werkstoff identifiziert, der in vergleichsweise kurzer Nitrierdauer tiefnitriert werden kann und gleichzeitig eine sehr hohe Tragfähigkeit, insbesondere eine sehr hohe Grübchentragfähigkeit, aufweist.

Dazu wurden Tiefnitrierbehandlungen für den Werkstoff 31CrMoV9 entwickelt, mit denen tragfähige Verbindungsschichten gezielt erzeugt werden können. Zudem wurde aufgezeigt, dass durch eine Optimierung der Vorwärmebehandlung eine höhere Festigkeit eingestellt werden kann. Durch die Kombination aus optimierter Vorwärme- und Tiefnitrierbehandlung ist es gelungen, beim Untersuchungswerkstoff 31CrMoV9 tragfähige Verbindungsschichten zu erzeugen und dadurch ähnlich hohe Tragfähigkeiten zu erreichen, wie mit dem Sonderwerkstoff 32CDV13. Durch die

Die Versuchsergebnisse zur Zahnflankentragfähigkeit belegen unabhängig vom Werkstoff, dass eine intakte, tragfähige und ausreichend ausgeprägte Verbindungsschicht eine flankentragfähigkeitssteigernde Wirkung hat. Ist die Verbindungsschicht dagegen unzureichend ausgeprägt, oder wird diese beschädigt, ist mit einer signifikanten Reduzierung der Zahnflankentragfähigkeit zu rechnen. Weiterhin lässt sich festhalten, dass bei einem Abtrag der Verbindungsschicht nach den Tiefnitrieren durch Zahnflankenschleifen (hier Profilschleifen) mit einer deutlichen Reduzierung der Zahnflankentragfähigkeit zu rechnen ist. Die ermittelten Grübchen-Dauerfestigkeiten bei abgeschliffener Verbindungsschicht liegen, insbesondere bei ausreichender Schmierfilmdicke, allerdings immer noch auf einem vergleichsweise hohen Niveau und sind mit typischen Grübchentragfähigkeiten einsatzgehärteter Verzahnungen gleicher Baugröße vergleichbar. Die Grübchen-Dauerfestigkeitswerte der Varianten mit tragfähiger Verbindungsschicht ordnen sich dagegen deutlich oberhalb der Werkstoffqualität ME für nitrierte Stähle nach ISO 6336-5:2016 ein und zeigen zugleich das Potential erhöhter Grübchen-Dauerfestigkeiten.

Die ermittelten Zahnfuß-Dauerfestigkeitswerte ordnen sich gut in den Stand des Wissens ein, bestätigen für Standardnitrierstähle die Angaben der ISO 6336-5:2016 und zeigen für den Sonderstahl 32CDV13 zugleich das Potential einer erhöhten Zahnfuß-Dauerfestigkeit. Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Zahnfußtragfähigkeit belegen darüber hinaus, dass der Einfluss der Verbindungsschicht hinsichtlich der Zahnfußtragfähigkeit von untergeordneter Bedeutung ist, solange die Verbindungsschicht ausreichend ausgebildet ist. Im Fall einer unzureichend ausgebildeten Verbindungsschicht kommt es dagegen offensichtlich zu einer Schwächung der Zahnfußoberfläche und einer deutlichen Minderung der Zahnfußtragfähigkeit. Ein Abtrag der Verbindungsschicht durch Profilschleifen wirkt sich auf Basis der hier durchgeführten Untersuchungen positiv auf die Zahnfußtragfähigkeit aus.

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens erzielten Ergebnisse stellen eine Erweiterung des Kenntnisstandes zum Tiefnitrieren sowie zur Zahnradtragfähigkeit tiefnitrierter Verzahnungen dar. Durch Übertragung der sehr hohen Tragfähigkeit des Sonderstahl 32CDV13, insbesondere der Grübchentragfähigkeit, auf einen kostengünstigeren Standardnitrierstahl 31CrMoV9 sowie einer alternativen Legierung 15CrMoV5-9 ist es möglich, die Leistungsdichte von Getriebestufen durch die Ausnutzung hoher Zahnradtragfähigkeiten durch Tiefnitrieren weiter zu steigern.

Autoren: **Dr.-Ing. Stefanie Hoja**
Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien - IWT

André Sitzmann, M.Sc.
Technische Universität München | TUM School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Maschinenelemente | Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebesysteme (FZG)

Kontakt: Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA)
Eva Robens
Tel. +49 69- 66 03- 18 88

Das IGF-Vorhaben IGF-Nr. 19594 N der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Hintergrundinformationen zur FVA

Die FVA ist das weltweit führende Innovationsnetzwerk der Antriebstechnik. Die 170 laufenden Projekte der industriellen Gemeinschaftsforschung fördern die Innovationsfähigkeit der Industrie im Bereich der Antriebstechnik und ist an den wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen ein wichtiger Beitrag zur Ausbildung von Jungingenieuren in und für die Branche. Die 207 Mitgliedsfirmen sind produzierende Unternehmen aus der Antriebstechnikbranche. Zusammen mit den über 40 Forschungsinstituten bildet die FVA die Basis für das weltweit führende Netzwerk der Antriebstechnik.

Die FVA versteht sich als eine wichtige Plattform der Kommunikation und des Wissenstransfers zwischen Wissenschaft und Industrie. Themenfelder sind die mechanische und die elektrische bzw. mechatronische Antriebstechnik, sowohl von stationären industriellen Anlagen als auch von Fahrzeugen, mobilen Maschinen und Luftfahrzeugen. Die Gemeinschaftsforschung hat zum Ziel, das technische Know-how der Unternehmen und die Qualität ihrer Produkte zu verbessern und die Produktionskosten zu senken. Informationsveranstaltungen, Seminare und Tagungen der Forschungsvereinigung bieten den Unternehmen die Möglichkeit, neueste Forschungsergebnisse anzuwenden und Mitarbeiter entsprechend aus- und weiterzubilden.

Weitere Informationen unter www.fva-net.de.