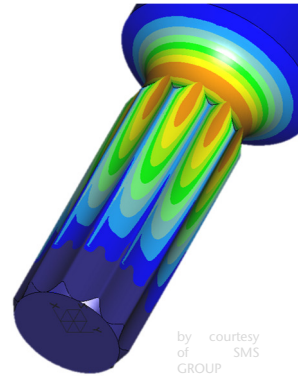


Höhere Drehmomente bei gleichem Wellendurchmesser - SMS GROUP entwickelt erfolgreich neue Welle-Nabe-Verbindung



Jakob, M.¹; Merz, J.²; Schäfer, G. ¹; Scheffe, K.²

Eine von der Firma SMS GROUP entwickelte und gefertigte neue Verzahnungsform für Welle-Nabe-Verbindungen verspricht signifikant höhere übertragbare Drehmomente bei gleichem Bauraum. Das Institut für Maschinenwesen führte im Auftrag erfolgreich experimentelle Torsionsversuche zur Bestätigung der Auslegungsberechnungen durch.

A new shaft-hub connection was developed and manufactured by the company SMS GROUP. The teeth form based on a trochoid promises significantly higher transmittable torques with the same diameter compared to standardized profiles. The Institute of Mechanical Engineering successfully conducts experimental torsion tests to confirm the design calculations.

Ziel: Gesteigerte Drehmomentübertragbarkeit bei gleicher Baugröße

Die SMS GROUP ist ein weltweit tätiges Unternehmen im Bereich der Metallindustrie mit etwa 14.000 Mitarbeitern. Das deutsche Familienunternehmen ist unter anderem ein führender Systemanbieter von Walzwerken.

Bei Walzwerken oder Richtmaschinen werden Walzen zu Wartungszwecken von den Antrieben getrennt. In der Praxis kommen als Welle-Nabe-Verbindung (WNV) überwiegend Flachzapfenverbindungen oder Zahnwellenprofile nach DIN 5480 /1/ zum Einsatz. Diese Verbindungsarten kommen an ihre Grenzen, wenn - für den Umformprozess vorteilhaft - höhere Drehmomente bei kleinerem Walzen- und damit Verbindungsdurchmesser übertragen werden sollen. Eine neu zu entwickelnde WNV soll mit einem Referenzdurchmesser in der Größenordnung von 100 mm ein Drehmoment von etwa 70 kNm dynamisch übertragen.

¹ Institut für Maschinenwesen, TU Clausthal

² SMS GROUP GmbH

Neue Verzahnungsform: Profilform auf Basis der Trochoide

Neben der klassisch eingesetzten und nach DIN 5480 genormten Zahnwellenverbindung mit evolventischer Zahnform gibt es weitere denkbare Profilformen. Die in einem ersten Schritt mittels FEM untersuchten P3G- und P4C-Profile erwiesen sich auf Grund eines zu hohen Schlupfes als nicht erfolversprechend. Daraus resultierte letztendlich die Idee für eine neue Verzahnungsform, welche auf Basis einfacher Trochoiden gebildet wurde. Die gewählte Verzahnung kann bereits mit einer Exzentrizität gebildet werden. Die x- und y-Koordinaten des Verzahnungsprofils, vgl. blaue Linie in Abbildung 1, werden beispielhaft über folgende Terme gebildet:

$$x(\varphi) = R_m \cdot \cos\varphi - e \cdot \cos((n+1)\varphi) \quad 1$$

$$y(\varphi) = R_m \cdot \sin\varphi - e \cdot \sin((n+1)\varphi) \quad 2$$

Auf einem Grundkreis R_m rollt ein sogenannter Rollkreis mit dem Radius e ab. Die Profilkontur ist die Wegkurve des Punktes P. Rollt der Kreis außerhalb des Grundkreises ab, so spricht man von einer Epitrochoide (E-Profil), rollt der Kreis im Inneren des Grundkreises ab, so ist es eine Hypotrochoide (H-Profil). Die Mitnehmerzahl kann über die Periodizität n eingestellt werden. Die Gleichungen 1 und 2 können um weitere Exzentrizitäten ergänzt werden, sodass sich komplexere Trochoidenprofile (M-Profil) ergeben, vgl. /2/.

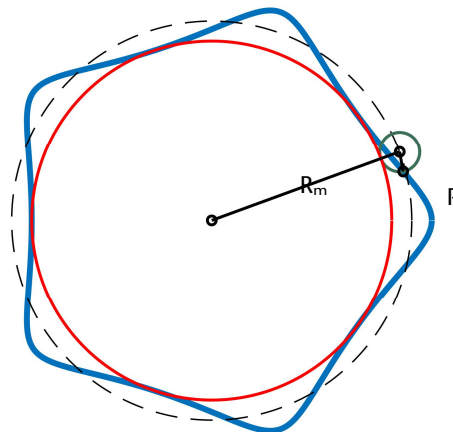


Abbildung 1: Bildungsschema einer einfachen Trochoide

Die SMS GROUP untersuchte mittels FEM verschiedene E-, M- und H-Profile und optimierte die Verbindungen hinsichtlich Drehmomentübertragbarkeit und

geringen Schlupfwerten. Mit einem H-Profil mit der Mitnehmerzahl 10 konnte ein guter Kompromiss zwischen den beiden Zielgrößen gefunden werden.

Dr.-Ing. Schäfer, Akademischer Oberrat, IMW: „Aktuelle Forschungen zeigen, dass bei vorgegeben Bezugsdurchmesser der Welle durch die aktuell in DIN 5480 genormten Profile die möglichen Tragfähigkeiten von Profillwellen nicht konsequent ausgeschöpft werden. Mit numerischen Optimierungen können auf die jeweiligen Anforderungen angepasste Profillformen mit minimalen Kerbwirkungen entwickelt und fertigungstechnisch validiert werden. Die Firma SMS GROUP ist dabei Vorreiter im Bereich großer Wellendurchmesser.“

Eine zusätzliche Steigerung der Tragfähigkeit konnte dadurch erreicht werden, dass das Profil in axialer Richtung ballig ausgeführt wurde. Durch eine lastangepasste Balligkeit ergibt sich ein gleichmäßigeres Tragbild in axialer Richtung und die Lastüberhöhung im Übergangsbereich zwischen Welle und Nabe konnte verringert werden. Diese Innovation konnte mittels eines Patentes /3/ geschützt werden.

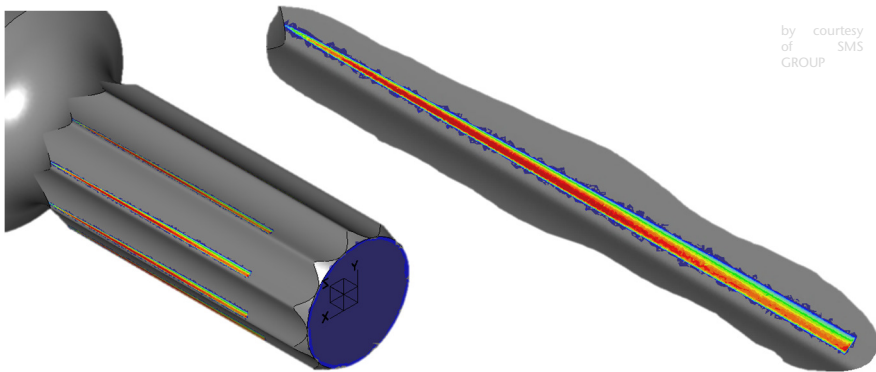


Abbildung 2: Kontaktdruck der Verbindung. Durch eine axiale Balligkeit ergibt sich ein gleichmäßiges Tragverhalten der Verbindung.

Herstellung: Fräsen und Stoßen ist realisierbar und konkurrenzfähig

Die bisher eingesetzten Profile können mittels spezieller Werkzeuge hergestellt werden. Diese stehen für die entwickelte Verbindung hingegen nicht zur Verfügung.

Mit Hilfe einer 5-Achs-Fräsmaschine konnte die komplexe Kontur der Wellen passgenau, einfach und praktikabel hergestellt werden. Die Herstellung der ersten Prototyp-Naben erfolgte anfänglich mittels Senkerodieren. Der sehr langwierige

und damit teure Herstellungsprozess konnte durch ein Herstellungsverfahren mit einer Stoßmaschine und mit - auf das Nabenprofil abgestimmten – Profilschneidplatten ersetzt werden. Damit können sowohl die Welle als auch die Nabe wirtschaftlich und konkurrenzfähig hergestellt werden.

Zusätzlich wurden ein Teil der Wellen plasmanitriert, lasergehärtet oder nitriert, um dessen Einfluss auf die Bauteilfestigkeit und den Verschleiß experimentell untersuchen zu können. Alle Verbindungen wurden mit Fügeseil gefertigt.

Experimenteller Nachweis: Torsionsversuche bestätigen Erwartungen

Seit mehreren Jahrzehnten liegt ein zentraler Forschungsschwerpunkt des Instituts für Maschinenwesen (IMW) im Bereich der Welle-Nabe-Verbindung. Zur Validierung numerischer Berechnungen stehen eine Vielzahl an Prüfständen unterschiedlicher Belastungsarten und -größen zur Verfügung (s. Technische Ausrüstung in dieser Mitteilung). Das IMW bietet als Dienstleistung neben einer fachlichen Beratung auch die technische Durchführung von Versuchen mit anschließender Auswertung und Dokumentation an.

Die in diesem Projekt mittels FEM ausgelegten WNV-Verbindungen sollten mittels dynamischer Torsionsversuche experimentell überprüft werden. Am IMW steht dazu ein hydraulischer Torsionsprüfstand mit bis zu 500 kNm Torsionsmoment /4/ zur Verfügung:

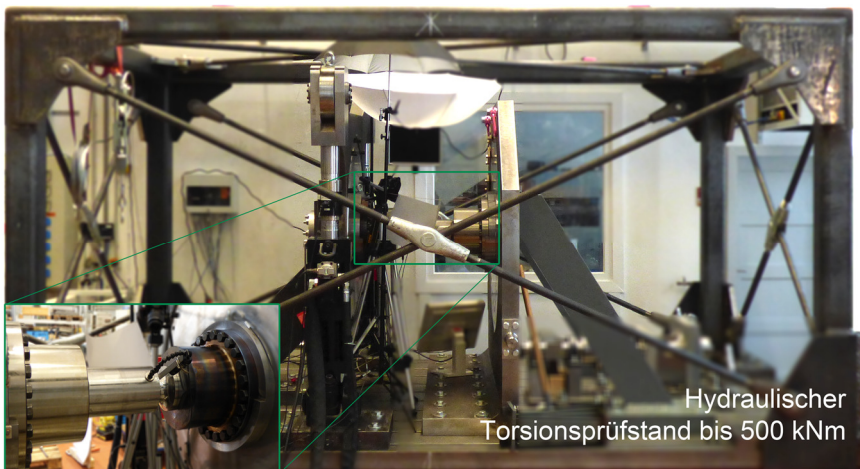


Abbildung 3: Die WNV (li. Bild) wird zwischen einem Festbock und dem drehbar gelagerten Flansch befestigt. Das Torsionsmoment wird daran über zwei Hydraulikzylinder aufgebracht.

Die Welle-Nabe-Verbindungen wurden praxisnah schwellend mit dem vorgesehenen Torsionsmoment belastet. Untersucht wurden neben verschiedenen Oberflächen-Varianten auch Proben mit gebundenem und freiem Auslauf. Die Proben wurden während der Versuche kontinuierlich auf Versagenserscheinungen überwacht und der Zustand der Proben regelmäßig optisch dokumentiert. Die Berechnungsmodelle konnten mit Hilfe der Versuchsergebnisse bzgl. der Übertragbarkeit bestätigt werden. Der auftretende, geringe Reibverschleiß bei Fettschmierung entspricht den ersten Erwartungen.

Kurt Scheffe, Entwickler, SMS GROUP: „Das IMW ist für uns stets ein kompetenter Ansprechpartner, welches die Versuche mit hoher Professionalität und Engagement durchgeführt hat. Der institutseigene Torsionsprüfstand war aus unserer Sicht bestens für die praxisnahen Tests der Welle-Nabe-Verbindung geeignet. Die Ergebnisse der Tests sind überzeugend und offenbaren das große Potential für einen Einsatz der neuentwickelten Welle-Nabe-Verbindung im rauen Walzwerksbetrieb.“

Ausblick: Positive Tests ebnen Weg für einen Probetrieb

Mit Hilfe neuer Herstellungsverfahren und neuer Berechnungsmethoden werden in naher Zukunft neue Verzahnungsformen auf den Markt kommen. Verzahnungsprofile können nun beispielsweise auf höhere Drehmomente, geringe Schlupfwerte oder sogar Leichtbau ausgelegt werden /5/. Die SMS GROUP zeigt mit dem gewählten, berechneten und getesteten Zahnprofil auf Basis der Trochoide die Potentiale neuer Verzahnungsprofile im Schwermaschinenbau und ähnlichen Anwendungsgebieten wie Windkraftanlagen. Ihre internen Vergleichsrechnungen zeigen, dass bei gleichen Hülldurchmessern ein etwa doppelt so hohes Drehmoment übertragen werden kann, gegenüber den bisher eingesetzten Verbindungen. Das Potential der innovativen Verbindung wird sich in Kürze in einer Anwendung in einem ersten Praxistest zeigen.

Literatur

- /1/ DIN 5480 - 1: 2006-03, Passverzahnungen mit Evolventenflanken und Bezugsdurchmesser - Teil 1: Grundlagen (DIN 5480-1:2006)
- /2/ Ziaei, M.: Neue zyklische Profilkonturen-die optimale Alternative für die genormten Zahnprofilverbindungen, in: Konstruktion, 2012, Heft 10, S. 92 – 98.
- /3/ SMS Group GmbH, 2016, Welle und Welle-Nabe-Verbindung, Erfinder: Carsten Andreas Klein, Jürgen Merz, Klaus Pietsch, Kurt Scheffe, 04.01.2018. Anmeldung: 30.06.2016, DE, Patentschrift DE102016211797A1
- /4/ Jakob, M.: Entwicklung eines dynamischen Torsionsprüfstands mit 500 kNm Prüfdrehmoment, in: Mitteilungen aus dem Institut für Maschinenwesen der Technischen Universität Clausthal Nr. 39, 2014, S. 93 – 94.
- /5/ Jakob, M.: Auslegung und Optimierung von Bauteilgeometrien mittels FEM und DoE am Beispiel dünnwandiger Profilwellen, in: Stelzer, R. (Hrsg.): 16. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik 2018, Bayreuth, 2018