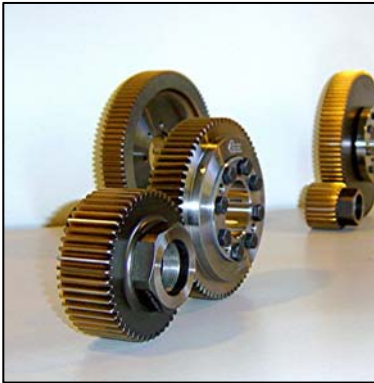


hakon WELLE-NABE-VERBINDUNGEN in der Prüfstandtechnik



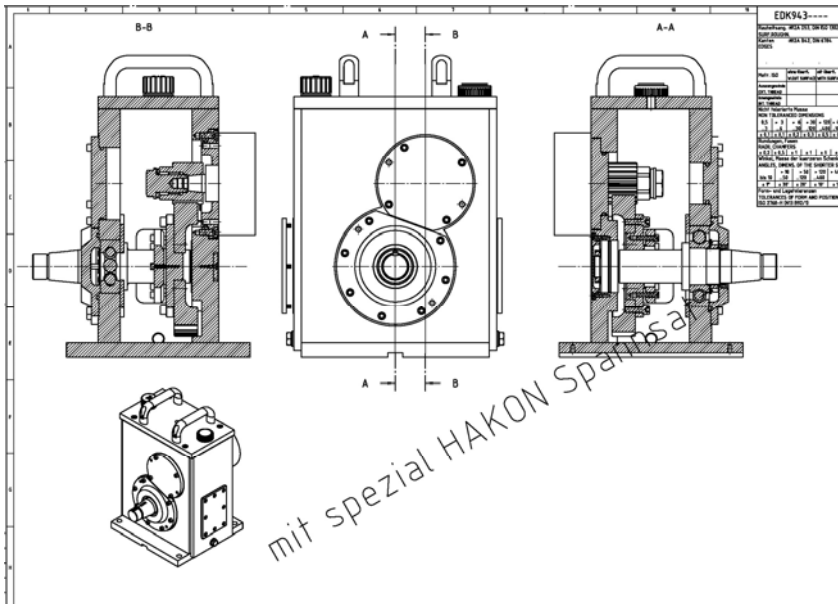
Die Idee: Teileminimierung durch Hochleistungselemente

In der Prüfstandtechnik sind schnelle und flexible Systeme von Vorteil. Systemlösungen in minimaler Variantenvielfalt können Einricht- und Montagezeiten reduzieren sowie lange Prüf- und Ausfallzeiten verhindern. Dabei tragen diese dauerfesten, hochbeanspruchten Maschinenelemente erheblich zur Kostensenkung bei.

Die Firma **Hausmann+Haensgen Antriebstechnik**, mit Sitz in **D-28757 Bremen**, entwickelte in Zusammenarbeit mit der Robert Bosch GmbH aus Stuttgart Stirnrad-Getriebestufen mit einem langlebigen Befestigungssystem auf der Welle, welches maximale Drehmomentübertragung sicherstellt und dabei minimale Montage- und Demontagezeiten verursacht. Die einstufigen Getriebe gehören zu einem Antrieb einer Prüfstandeinrichtung, mit der Einspritzkomponenten für PKW und LKW getestet werden. Durch Teilminimierung steht für eine definierte Gehäusegröße eine bestimmte Anzahl von Getriebestufen mit gleichem Modul und gleichem Achsabstand zur Verfügung. Die Auslegung und Konstruktion der einstufigen, mobilen Getriebe realisieren

bei gleichem Ausgangsmoment eine differenzierbare Belastungsanpassung an den Einspritzpumpen.

EINBAUFERTIGER PRESSVERBAND



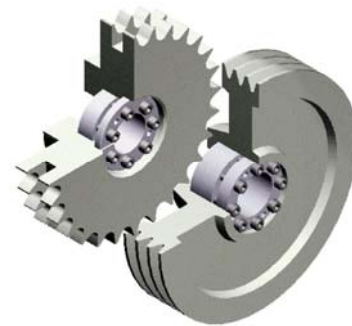
Im Bereich der konischen Welle-Nabe-Verbindungen fertigt Hausmann + Haensgen auf modernen CNC-Automaten HAKON-Spannelemente. Neben den klassischen Spannsätzen und Schrumpfscheiben wird das Programm durch torsions- und biegesteife Wellenkupplungen, Klemm- und Einschweißnaben komplettiert. Fast alle Bauweisen werden auch in EDELSTAHL rostfrei und mit Zollabmessungen angeboten. Sonderlösungen und Sonder Elemente werden nach Kundenanforderungen erarbeitet. Das neue Befestigungssystem basiert auf diesem Funktionsprinzip der HAKON-Spannelemente. Durch das technische „Know-how“ und den fundierten Erfahrungswerten von Hausmann+Haensgen entstand ein spielfreies, im Zahnrad integriertes Welle-Nabe-System.

Radialverformung bewirkt Reibschluss

Die Welle-Nabe-Verbindung gehört mit den Wellen und Rädern zu den historisch ältesten Maschinenelementen. Unterschiedliche Anforderungen und Einsatzzwecke führten zu einer außerordentlich großen Anzahl von Lösungskonzepten. Darunter fällt auch die konische Spannverbindung (Kegelspannelement oder auch Spannsatz genannt). Hakon-Spannelemente sind reibschlüssige und lösbare Welle-Nabe-Verbindungen, die sich zur Übertragung statischer, wechselnder oder stoßartig wirkender Kräfte und Momente optimal eignen. Die unterschiedlichen Bauformen bieten vielseitige Einsatzmöglichkeiten und werden nach der Art des Kraftschlusses und nach der Anzahl der Wirkflächenpaare unterschieden.



Kraftschluss außerhalb der Welle-Nabe-Verbindung



Kraftschluss innerhalb der Welle-Nabe-Verbindung

Durch axiales Verspannen werden die konischen Elemente radial verformt; üblicherweise sind die zum Verspannen verwendeten Schrauben im Spannsatz integriert. Nach Überwindung des Passungsspiels kommt es zwischen Spannelement und Nabe bzw. Spannelement und Welle zum Aufbau hoher Anpresskräfte, die den erforderlichen Reibschluss bewirken. Die Lage der Nabe lässt sich bei hoher Rundlaufgenauigkeit axial und tangential frei festlegen.

Charakteristische Eigenschaften

Die lösbaren Pressverbände können hohe Drehmomente, Quer- und Längskräfte übertragen und ersetzen Schrumpfsitze, Keil- und Passfedern sowie Polygon- und Vielkeilverbindungen. Der Pressverband erfolgt spielfrei, ohne Gefahr des Ausschlagens und ohne Kerbwirkung bzw. Schwächung durch Nuten. Die Rundlaufgenauigkeit bei selbstzentrierenden Baureihen beträgt 0,02 bis 0,04 mm. Weitere, nicht weniger wichtige Aspekte sind der geringe Fertigungsaufwand von Welle und Nabe, der geringe Montageaufwand und die optimalen Einstell- und Nachstellbarkeit sowie die gute Wiederverwendbarkeit.

Auswahl der richtigen Welle-Nabe-Verbindung

Maßgebend bei der Entscheidung, welches Element für welchen Einsatzzweck, ist das zu übertragende Drehmoment bzw. die zu übertragende Axialkraft, wobei es ggf. Anlauf- und Kippmomente zu berücksichtigen gilt. Ferner kann die Auswahl der Spannverbindung auch nach dem erforderlichen Wellendurchmesser erfolgen. Hakon-Elemente berücksichtigen alle in der Industrie gültigen Wellendurchmesser. Weitere Kriterien sind praktische Vorgaben wie z. B. Montage und Demontage oder Geometrieverhältnisse und andere Einflussgrößen wie Biegemomente und Radialkräfte. Spezifische Angaben hierzu sowie detaillierte Informationen zu den unterschiedlichen Bauformen sind in dem neuen Hakon-Produktkatalog beschrieben, dabei helfen ausführliche Informationen und grundlegende Berechnungsmethoden bei der Auslegung und dem Aufbau der Welle-Nabe-Verbindung. Technisch überzeugend und übersichtlich gegliedert ist der bekannte Hakon-Katalog mit neuen Baureihen und dem „System ZR“, eine Einheit aus Zahnriemenscheibe und Spannsatz, ergänzt worden. Ein interaktiver Berechnungs- und Konstruktionservice kann auch in Form einer kostenlosen CD-ROM bestellt werden. Dieser bietet die Möglichkeit, die entsprechende Umgebungskonstruktion der jeweiligen Spannverbindung anzupassen.



Fordern Sie Ihr persönliches Exemplar telefonisch unter 0421/ 65 85 00 oder per Email unter info@hausmann-haensgen.de an. Außerdem stehen der vollständige Katalog sowie wichtige Auszüge aus diesem unter www.hausmann-haensgen.de zum download bereit.

HAKON-SYSTEMLÖSUNG

Aufgabenstellung – Spezifikationen und Vorgaben

Acht Getriebestufen, bestehend aus je einem Rad mit zwei bis drei Ritzel, decken den gewünschten Drehzahl- und Momentenbereich ab.

Aufgabenbereiche zur praktischen Umsetzung

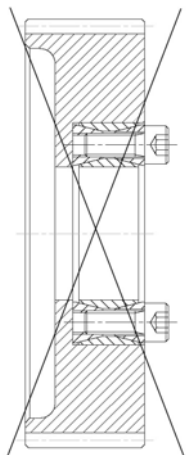
- Auslegung und Konstruktion des HAKON-Spannsystems für die Stirnräder
- Ermittlung der Verzahnungsgeometrie in Abhängigkeit der Platzverhältnisse und der erforderlichen Drehmomente
- Festigkeitsnachweis mit Lebensdauerberechnung
- Optimierung der Getriebestufen in Bezug auf die Leistungsbereiche
- Detailkonstruktion der Räder mit integriertem Spannadapter
- Detailkonstruktion der Ritzel mit kegeliger Wellenaufnahme
- Zeichnungserstellung und Dokumentation
- Fertigung

Feste Parameter	
Lineare Abdeckung des Leistungsbereiches	
Lebensdauer	mind. 10.000 h
Achsabstand	120 mm
Übersetzung	max. 3,8
Modul	< 3 mm
Zahnbreite	max. 30 mm

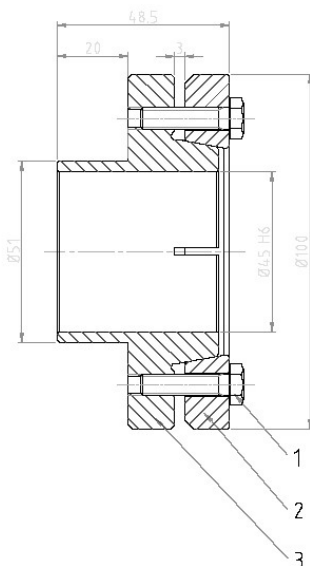
In einem engen Strukturrahmen werden zum einen die Getriebestufen und zum anderen das Welle-Nabe-System entworfen. Durch die vorhandenen Getriebegehäuse ist der Achsabstand von 120 mm bereits vorgegeben und die Absolutmaße der Räder und Ritzel somit festgelegt. Die Teilkreisdurchmesser der getriebenen Prüflingsritzeln werden mit Normdurchmesser von 50 bis 90 mm ausgeführt, die Größendifferenz beträgt ca. 10 mm. Aus Montagegründen sind zudem die Zahnräder, sowie das Spannsystem in ihrer Baubreite beschränkt und so kurz wie möglich ausgeführt. Das Befestigungssystem muss dauerhaft montierbar und demontierbar sein.

Entwicklung und Gestaltung des Befestigungssystems

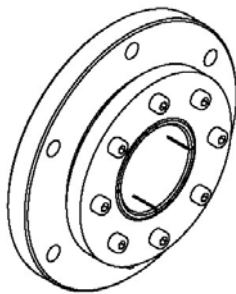
Erfahrungswerte zeigen, dass einfache Lösungsansätze zu unerwünschten Eigenschaften und zu keinem befriedigenden Ergebnis führen. Die Voraussetzungen an Konzentrität, Rund- und Planlauf sowie Rechtwinkligkeit werden nicht erfüllt. Daneben beeinflussen zusätzliche Biegekräfte oder auch ungenaues Montieren handelsüblicher Spannsätze die Verbindung negativ. Der Montageaufwand wäre zu hoch und die in ihrer Lebensdauer begrenzten Bauteile sind nicht genau genug, um den Anforderungen solcher Hochleistungssysteme zu entsprechen.



HAKON-Spannsatz der Baureihe 112
Die sonst so einfache und wirtschaftliche Möglichkeit des Standardelementes verhält sich bei den geforderten Eigenschaften suboptimal.



Zur spielfreien Befestigung von Zahnrädern auf Wellen fertigt Hausmann+Haensgen für Robert Bosch und anderen Firmen flexible und bewährte Adapterflansch-Systeme. Neben Zahnrädern sind auch andere, individuelle Antriebskomponenten montierbar. Die Optimierung dieses Systems und die Umsetzung der Problemlösung stützt sich auf das fundierte Wissen und auf die jahrzehntelange Erfahrung von Hausmann+Haensgen auf dem Gebiet der reibschlüssigen und lösbaren Welle-Nabe-Verbindungen. Zwei neue Spannsysteme, die gegenüber dem alten Prinzip im Zahnrad integriert sind, sprich zusammen mit dem Zahnrad aus einem Bauteil bestehen, erfüllen die gesuchten Vorteile nach funktionellen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Sie tragen durch ihre kompakte Bauweise erheblich zu einer Verbesserung der Leistungsbereiche der Getriebestufen bei.



Beispiele für HAKON-SONDER-ADAPTERFLANSCH
für Zahnräder mit Schrumpfscheibenverbindung.
Schrumpfscheiben BR 271 in halber Ausführung

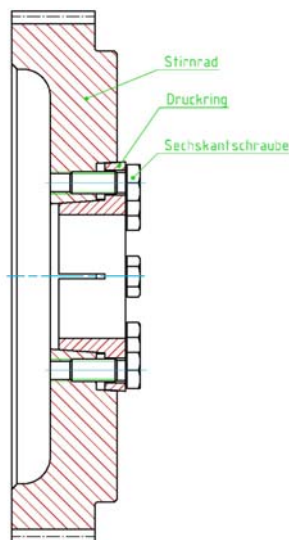
Die Befestigungssysteme

Nach dem Prinzip der HAKON-Schrumpfscheiben-Verbindungen spannt das neue System das Zahnrad direkt auf die Welle, eine Zwischenhülse wie bei einer Schrumpfscheibe ist nicht erforderlich. Die maximal zu übertragenden Kräfte und Momente sind mit sorgfältig gewählten Sicherheitsfaktoren berücksichtigt. Bei der Konstruktion wird viel Wert auf eine schnelle und einfache Montage und Demontage gelegt. Geschliffene Stirn- und Passflächen garantieren zudem besondere Laufeigenschaften.

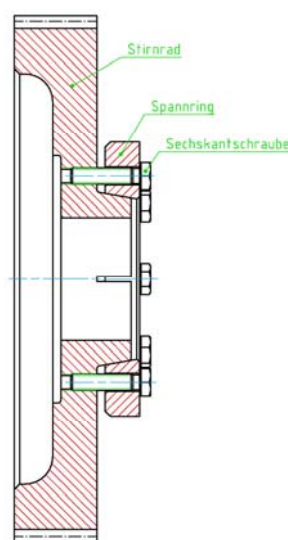
Die Version 222 mit Doppelkonus baut besonders platz sparend, da der Druckring bereits im Zahnrad integriert ist und mit diesem nach der Montage stirnseitig bündig abschließt. Ein genauer Fertigungsablauf, sorgfältig gewählte Materialien, gehärtete und in einer Aufspannung geschliffene Kegelflächen und die geschliffene Wellenaufnahme gewährleisten die im Betrieb gewünschten Laufeigenschaften. Überdies kann die hochpräzise Verbindung beliebig oft montiert und demontiert werden. Der Doppelkonus mit definiertem Neigungswinkel ist selbstzentrierend, und die Aufnahme von Biegemomenten bzw. umlaufender Biegung bei großen Drehzahlen zeichnen dieses System aus. Die Übertragung hoher Drehmomente und Axialkräfte bei wechselnder Belastung und wechselnder Drehrichtung wird somit spielfrei und bleibend sichergestellt.



Version 222



Version 271



Besondere Schmierstoffe zwischen den Konen, der Wellenaufnahme und den Spannschrauben sorgen für die richtigen Reibungsverhältnisse, die im wesentlichen die Funktion beeinflussen.

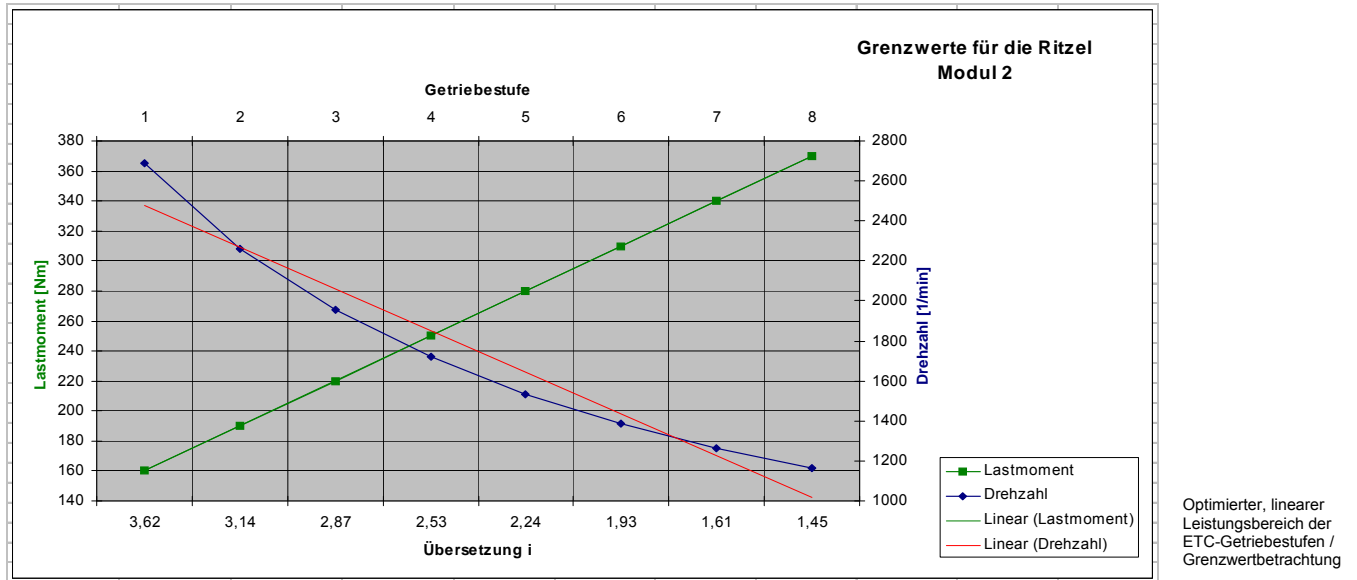
Die Version 271 ermöglicht durch das Prinzip einer Schrumpfscheibe in halber Ausführung einen sicheren Sitz auf der Welle. Die besonderen Merkmale der Version 222 zeichnen auch die Beschaffenheit dieser Befestigungsmöglichkeit weitgehend aus. Der Spannring steht vor dem Zahnrad und ermöglicht durch den gewählten Kegelformwinkel eine noch schnellere Demontage, da dieser selbstlösend ist und keine Abdrückschrauben benötigt.

Die Ritzel werden durch einen integrierten Konus auf der Welle befestigt. Jedem Rad werden zwei bis drei Ritzel mit Konusdurchmesser K17 bis K35 zugeordnet. Für eine sichere Befestigung sorgt eine Kegelverjüngung von 1:5.

GETRIEBESTUFEN

Gestaltung

Unter Berücksichtigung der gewünschten Verzahnungsgeometrie erarbeitete Hausmann+Haensgen gemeinsam mit Bosch den abzudeckenden Lastbereich. Festigkeitsberechnungen nach DIN 3990 B bzw. B/C zeigen notwendige Korrekturen in der Vorauswahl der evolventenverzahnten Geradstirnräder auf. Die darauf basierenden Veränderungen im Last- und Geometriebereich führen zu einer endgültigen Getriebestufenserie mit bestmöglicher, nahezu linearer Last- und Drehzahlkurve. Die Fläche zwischen den Kurven zeigt den realisierten Lastbereich. Die Antriebsleistung von 45 kW und die maximalen Lastmomente von bis zu 650 Nm erlangen durch Übersetzungen ins Schnelle, mit bis zu 2800 1/min, die neuen Abgangsdrehmomente mit einer Toleranz von +/- 10% der gewünschten Zielwerte.

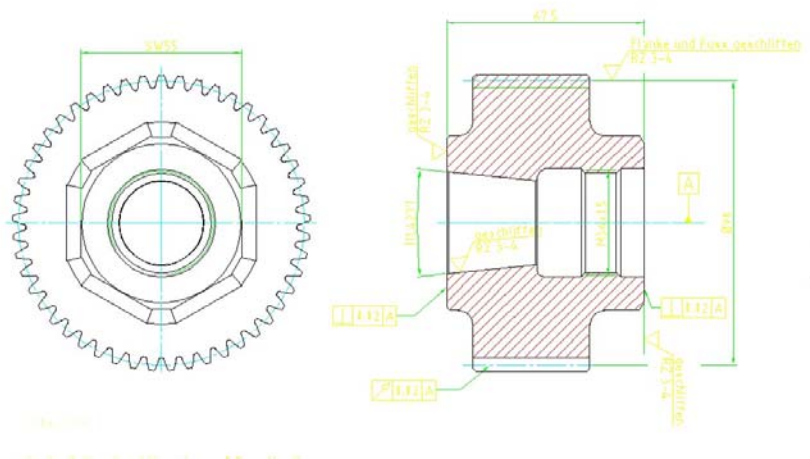


Design

In diesem Konzept steht ein kleiner Modul von 2 mm für beste Resultate in Geometrie und Funktion, der mit einer Teilkreisdifferenz von 10 mm differierenden Zahnräder. Die daraus resultierenden großen Ritzelzähnezahlen garantieren eine gewisse Laufruhe, der in Qualität 6 gefertigten Verzahnung. Die benötigte Zahnfußfestigkeit wird dabei durch einen entsprechenden Werkstoff und durch ein besonderes Fertigungsverfahren erreicht. Durch ungerade Übersetzungsverhältnisse kleiner 4, mit möglichst kleinem gemeinsamen Teiler, wird sicher gestellt, dass ein periodisches Laufverhalten (wiederholtes Eingreifen der selben Zähne von Rad und Ritzel ineinander) vermieden wird. Die theoretische Abnutzung der Ritzel wird somit auf ein Minimum reduziert und eine lange Lebensdauer garantiert.

Die treibenden Stirnräder mit Wellendurchmesser 45 mm sind im Getriebegehäuse 2-fach parallel gelagert. Die genaue Lagerung ermöglicht große Zahnbreiten, die für geringe Flankenpressungen sorgen. Bauraumabhängig haben die Stirnräder eine Zahnbreite von 30 mm und durch das durchdachte Hakon-Spannsystem ergibt sich eine äußerst geringe Gesamt-Bauteilbreite von 40 und 42 mm.

Die fliegend gelagerten Prüflingsritzel sind in ihrem Design bereits vordefiniert. Die Gestaltung der Ritzelaufnahme im Getriebegehäuse bestimmt dabei die Innenkontur. Mit den verwirklichten Teilkreisdurchmessern der getriebenen Ritzel von 52 bis 98 mm und einer Zahnbreite von 40 mm erreichen und überschreiten diese äußerst kompakten Zahnräder die geforderten Belastungskennwerte. Um gute Eingriffsverhältnisse zu ermöglichen und um die Bruchgefahr am Zahnfuß zu minimieren, wird die Grenzzähnezahl von 17 nicht unterschritten.



Prüflingsritzel, der Sechskant hilft beim Lösen der konischen Wellenaufnahme.

FERTIGUNGSTECHNIK

Lebensdauer

Der Antrieb erfolgt durch eine Kolbenmaschine mit wechselnde Belastung. In Abhängigkeit von Kraft- und Arbeitsmaschine (An- und Abtriebsmaschine) berücksichtigt ein in die Berechnung einbezogener Anwendungsfaktor K_a von 1,75 (nach DIN 3990 T1) die Lastüberhöhung infolge auftretender äußerer, dynamischer Zusatzkräfte. Die Getriebe mit theoretisch berechneten, maximalen Lastwechseln von $4,5 \times 10^8$ bis $6,9 \times 10^8$ gelten als „Dauergetriebe“ und werden bei ca. 90°C im Ölbad geschmiert.

Lastwechsel

$$L_w = L_n \times n \times 60$$

$$\begin{aligned} L_h &= \text{Lebensdauer [h]} \\ n &= \text{Drehzahl [1/min]} \end{aligned}$$

Um Betriebszeiten von mehr als 10.000 Stunden zu gewährleisten, werden besondere Anforderungen an Material und Fertigungsverfahren gestellt.

Zahnradwerkstoff

Für die Herstellung von Zahnradern eignen sich viele Werkstoffe, von denen die Stähle jedoch aus technischen und wirtschaftlichen Gründen die größte Bedeutung haben. Die genaue Betrachtung verschiedener Zahnradwerkstoffe zeigt deutlich den hier wichtigen Einsatz von Edelstählen. Im Vergleich zu einem 16 MnCr 5 (1.7131) weist der Werkstoff 18 CrNiMo 7-6 (1.6587) hervorragende und besser geeignete Eigenschaften auf. Der Nachfolger des 17 CrNiMo 6 ist ein CARBODUR® Einsatzstahl und wird für Teile mit höchster Beanspruchung, wie Ritzel und kleinere Zahnräder, Wellen und Spindeln sowie Kettenglieder und ähnlichem, eingesetzt. Für gehärtete und geschliffene Zahnflanken eignet sich dieser Chrom-Nickel-Stahl für Ritzel und Rad gleichermaßen. Die mechanischen Eigenschaften liegen mit einer Zugfestigkeit R_m von 1000 bis über 1400 N/mm² und einer Streckgrenze R_e zwischen 650 und 835 N/mm² deutlich über den Kennwerten anderer Edelstähle. Durch einsatzgehärtete Zahnflanken und Zahnfüßen mit 58 bis 62 HRC, bei 2/10 mm Einhärtiefe pro Modul, können Mindestkennwerte für die Dauerfestigkeit des Zahnfußes von $\sigma_{Flim} = 460$ N/mm² und für die Dauerfestigkeit der Zahnflanke von $\sigma_{Hlim} = 1550$ N/mm² erreicht werden. Dieser Stahl bietet somit beste Eigenschaften für Einsätze mit höchsten Belastungen.

Fertigungsablauf

Um den hohen Anforderungen dieser Maschinenbauteile gerecht zu werden und um einen beständigen Betrieb mit den gewünschten Eigenschaften sicher zu stellen, sind genau definierte Fertigungsabläufe unbedingt notwendig. Dabei garantieren Fertigungs- und Prüfdaten nachweislich die Qualität eines jeden Bauteils. Verzahnungsprotokolle dokumentieren die Güte der Verzahnung und die Eigenschaften des Materials werden durch einen Ursprungsnachweis garantiert.

1. Vordrehen zum Verzahnen
2. Verzahnen mit Schleifaufmaß
3. Einsatzhärtung
4. Fertigdrehen mit Schleifaufmaß
5. Schleifen
6. Endbearbeitung (z.B. Identifikation durch Gravur der Zeichnungsnummer)

SCHLUßBETRACHTUNG



Die Entwicklung der Getriebestufenreihe mit ihrer optimalen Leistungsabdeckung wird zusammen mit den ausgezeichneten Hakon Befestigungssystemen V222 und V271 zu einer ökonomisch und technisch sinnvollen Gesamtlösung. Der Fertigungsumfang von zwei Satz pro Version mit jeweils acht Übersetzungen, beläuft sich auf insgesamt 32 Zahnräder und 36 Prüflingsritzeln, die zukünftig dem Prüfstand die gewünschten Vorteile verschaffen und den entsprechenden Nutzen bringen.

Um einen dauerhaften Einsatz zu sichern, ist gemäß Hausmann+Haensgen das richtige Einlaufen der Verzahnung unabdingbar. Ferner verweist der Hersteller ausdrücklich auf die wichtigen Montage- und Demontageanweisungen sowie auf das Anzugsmoment der hochfesten Spannschrauben.



Dipl.-Ing. Jörg Meyer
Abteilung Welle-Nabe-Verbindung /
Sicherheitskupplungen
28757 Bremen, Oumunde4

HAKON - Systemlösung

