Posudek práce „ Pevnostní výpočty ozubených soukolí v převodovkách osobních automobilů“ Bc.Martina Opočenského

Rozbor celé práce:

Práce se zabývá problematikou výpočtu napětí ozubení dle norem. Ve výsledku došlo k výpočtu napětí v ozubení zkombinování DIN, ISO a ČSN, bohužel bez hlubší analýzy důvodu implementování ČSN do DIN a ISO výpočtů.

Členění práce do kapitol mnohdy neodpovídá struktuře nadřízené a podřízené úrovně problému a tím nenapomáhá v orientaci při čtení práce.

Práce po jazykové stránce budí dojem občas „strojového překladu do češtiny“, kdy mnohdy je obtížné porozumět obsahu věty. (viz např. str 37. legenda ke grafu. $\varepsilon\alpha$ – je zde uváděno jako poměrný činitel dotyku a jinde v práci jako součinitel trvání záběru v čelní rovině.; nebo str. 41. Tab 6. kde - driving machine = pohonné zařízení a driven machine= také pohonné zařízení místo poháněného zařízení). Tyto nepřesnosti, kterých je v práci více, velmi znesnadňují orientaci v ní a pro nezasvěceného mohou být i velmi zavádějící. I s ohledem na to, že diplomová práce bude veřejně přístupná.

V seznamu symbolů dochází k nepřesné specifikaci názvů použitých internacionálních zkratek pro ozubení jako je např.: d – student uvádí referenční průměr pastorku; internacionální označení je roztečný průměr. Dále např. student uvádí správně: *da* – průměr hlavové kružnice, ale *db* označuje jako základní průměr, přičemž se jedná o průměr základní kružnice.

Toto se táhne dále i v práci, kdy jednou je *u* označována obvodová rychlost a na straně 49 je *u* použito pro převodový poměr.

Značný rozpor je v práci na straně č. 38, kde dle DIN a ISO jsou uvedeny vzorce, dle kterých je určen koeficient $Z\beta$. Údajně dle studenta norma DIN má faktor $Z\beta$ počítán jako odmocnina cos β v čitateli a ISO odmocnina cos β ve jmenovateli, což je obrácený matematický smysl uvedené formule. Obě normy však počítají se stejným vzorcem – viz. přiložené výňatky norem a zvýrazněné vzorce s označenými grafy.

Hodnocení postupu:

Studen použil více zdrojů pro zvolení optimální cesty výpočtu pro danou aplikaci ozubení a drží se postupu výpočtů pevnosti v kontaktu a posléze v ohybu. Bohužel úplně chybí zdůvodnění, proč se u jednotlivých koeficientů výpočtů rozhodl pro danou hodnotu. Mezi výpisem užitých vzorců a praktickým výpočtem daného soukolí není v textu ve většině případů znatelné rozdělení. Obtížně se zjišťuje, kde končí objasnění teorie a začíná praktický postup.

V teoretické části se studen zmiňuje o kontrole ozubení na zadírání, ale v praktické části je již tento výpočet úplně zanedbán bez uvedení důvodu.

Práce bohužel pozbývá vlastního postoje studenta vůči zjištěným faktům ve výpočtu.

Otázky k obhajobě:

1) Jaký zdroj faktoru Zβ byl použit ? U zkoušky doporučuji doložit zdroj faktoru Zβ a porovnat vůči výňatkům z normy přiložených k posudku.
2) Jaká geometrie ozubení, nebo které faktory zatížení by ovlivnily rozdílnost hodnot napětí v kontaktu σH_1 a σH_2 z fyzikálního pohledu. (viz str. 50)
3) Co je v práci na straně 51 myšleno větou: „Poškození lomem se dělí na lom v důsledku přetížení, odstřihnutí zubu, lom v důsledku plastické deformace a únavový lom". A dále „Při přetížení je zub namáhán v patě z jedné strany tahem a z druhé strany tlakem".
4) Jak student chápe rozdíl mezi makropitingem a mikropitingem. Mají na sebe návaznost, nebo se jedná o dva různé faktory?
5) Ovlivní tuhost celé soustavy (skříně převodovky, průměry hřídelí, ...) pevnost ozubení? Pokud ano, který faktor ve výpočtu DIN toto representuje, a kterými číselnými hodnotami.

Celkové hodnocení práce:

Velmi dobře mínus

V Mladé Boleslavi dne 4.6. 2018

ing. Jaroslav Prokop

9 Helix angle factor, Z_β

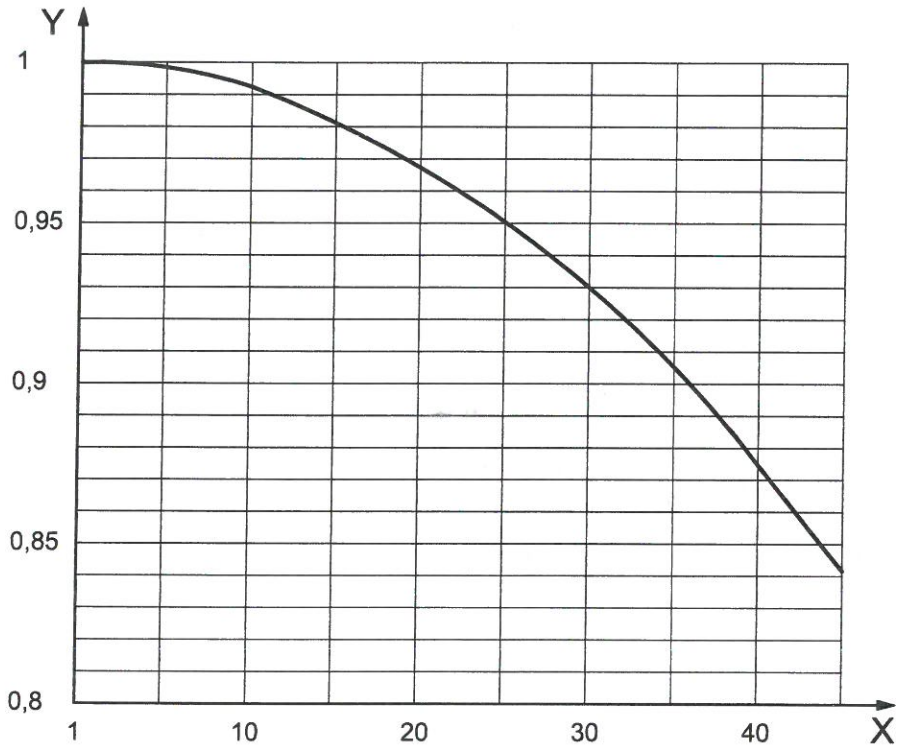
Independent of the influence of the helix angle on the length of path of contact, the helix angle factor, Z_β, accounts for the influence of the helix angle on surface load capacity, allowing for such variables as the distribution of load along the lines of contact.

Z_β is dependent only on the helix angle, β. For most purposes, the following empirical relationship is in sufficiently good agreement with experimental and service experience, but that agreement is only achieved when high accuracy and optimum modifications are employed:

$$Z_\beta = \sqrt{\cos\beta} \tag{36}$$

where β is the reference helix angle.

Z_β can also be read from Figure 5.



Key

X helix angle at reference circle, β (°)

Y helix angle factor, Z_β

Figure 5 — Helix angle factor, Z_β

© ISO 2006 – All rights reserved

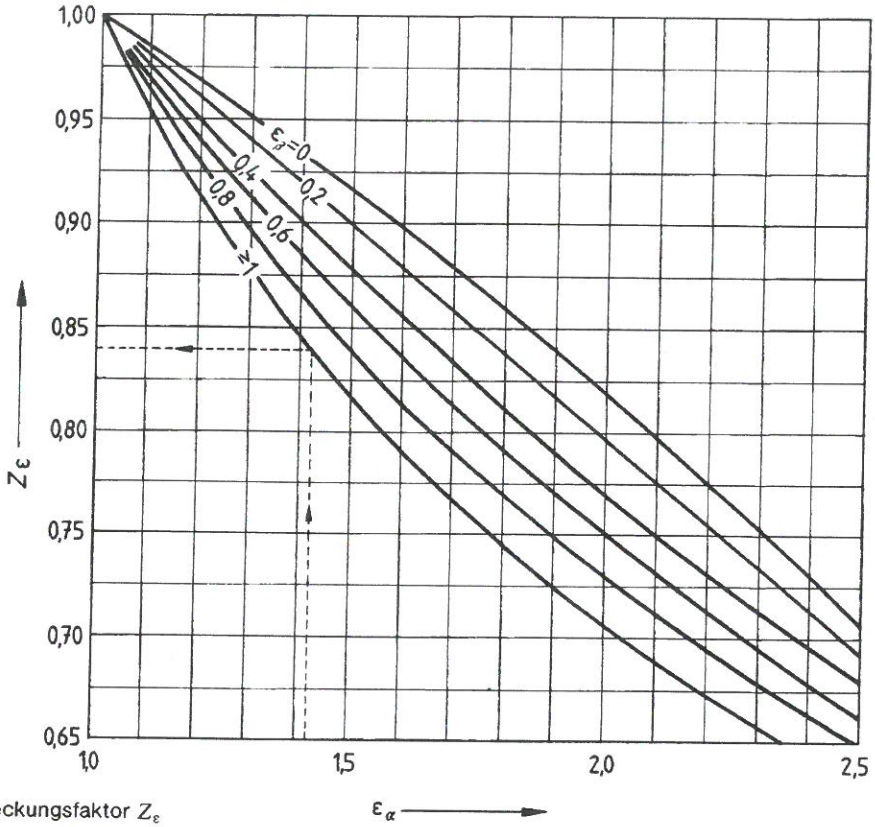


Bild 5.1. Überdeckungsfaktor Z_ε

6 Schrägenfaktor Z_β

Unabhängig vom Einfluß des Schrägungswinkels auf die Berührlinienlänge berücksichtigt der Schrägenfaktor Z_β den Einfluß des Schrägungswinkels auf die Grübchentragfähigkeit, wobei Einflüsse wie z. B. die Kraftverteilung entlang der Berührlinien berücksichtigt werden.

Z_β hängt nur vom Schrägungswinkel β ab. Für alle praktischen Anwendungen stimmt die folgende empirische Beziehung ausreichend gut mit Versuchen und praktischen Erfahrungen überein.

$$Z_\beta = \sqrt{\cos\beta} \qquad (6.01)$$

wobei β der Schrägungswinkel am Teilzylinder ist. Z_β kann auch Bild 6.1 entnommen werden.

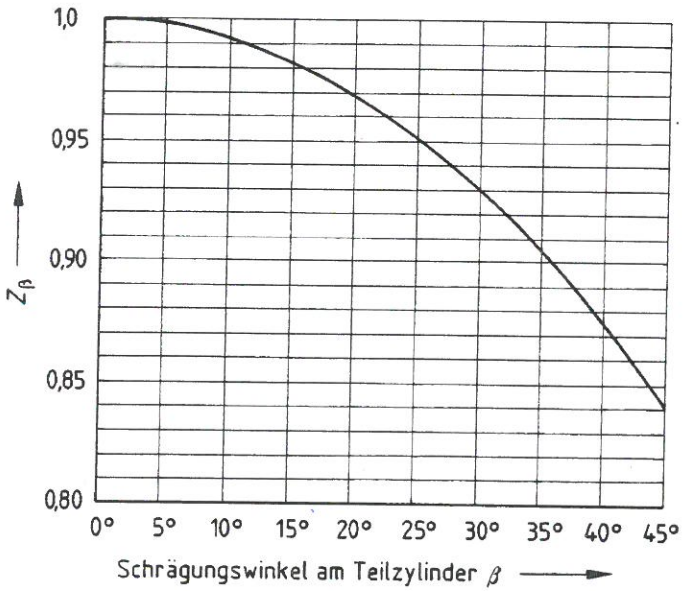


Bild 6.1. Schrägenfaktor Z_β

7 Dauerfestigkeit für Flankenpressung

Allgemeine Hinweise zur Ermittlung der Grenzwerte der Flankenpressung siehe Abschnitt 2.2, zur Ermittlung der Grübchen-Grenzfestigkeit siehe Unterabschnitt 2.2.1 a).

7.1 Dauerfestigkeitswerte $\sigma_{H\,lim}$ für Methoden B, C, (D)

Siehe hierzu Unterabschnitte 2.2.1 b) und c). Erläuterung von $\sigma_{H\,lim}$ siehe Gleichung (2.04). Als Wert $\sigma_{H\,lim}$ wird die nach dieser Norm berechnete Flankenpressung betrachtet, die der Werkstoff ohne Grübchenschäden über mindestens $2 \cdot 10^6$ bis $5 \cdot 10^7$ Lastwechsel erträgt (Beginn der Dauerfestigkeit vergleiche Bild 8.1).

In DIN 3990 Teil 5 sind die – an Standard-Referenz-Prüfrädern ermittelten – Dauerfestigkeiten $\sigma_{H\,lim}$ für die bei Zahnradgetrieben überwiegend verwendeten Werkstoffe und Wärmebehandlungsverfahren sowie der Einfluß der Werkstoffqualität angegeben.

Anforderungen an Werkstoff und Wärmebehandlung für die Qualitäten ML, MQ und ME siehe ebenfalls DIN 3990 Teil 5. Im allgemeinen wird Werkstoffqualität MQ gewählt, wenn nichts anderes vereinbart ist.

7.2 Dauerfestigkeitswerte für Methode B_R

Siehe hierzu Unterabschnitt 2.2.1 d). Die Dauerfestigkeitswerte sind durch Rollenversuche zu bestimmen oder dem Schrifttum zu entnehmen.