

XIII MIĘDZYNARODOWE KOŁOKWIUM
 "MODELE W PROJEKTOWANIU I KONSTRUOWANIU MASZYN"
 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON
 "MODELS IN DESIGNING AND CONSTRUCTIONS OF MACHINES"
 25-28.04.1989 ZAKOPANE

Igor RYDZANICZ

Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn
 Politechnika Wroclawska

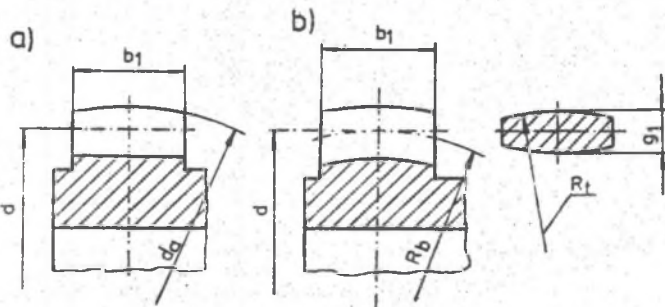
MODELE STEREOMECHANICZNE A CECHY KONSTRUKCYJNE
 SPRZĘGIEŁ ZĘBATYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono analizę modeli do oceny stanu naprężenia w podstawie zęba, naprężeń stykowych oraz odkształceń zębów sprzęgieł. Wykazano, że znaczenie ogólne mają modele w postaci belki na podłożu sprężystym lub płyty utwardzonej.

W dotychczasowych konstrukcjach wartości cech geometrycznych są zmienne w dość szerokim zakresie, jak podano w tabeli 1, gdzie oznaczono: m - moduł zazębienia, ϵ - wskaźnik beczukowatości, R_b - promień beczukowania, r - promień koła podziałowego, b_1 , b_2 , g_{w2} - według rys. 1 i 2.

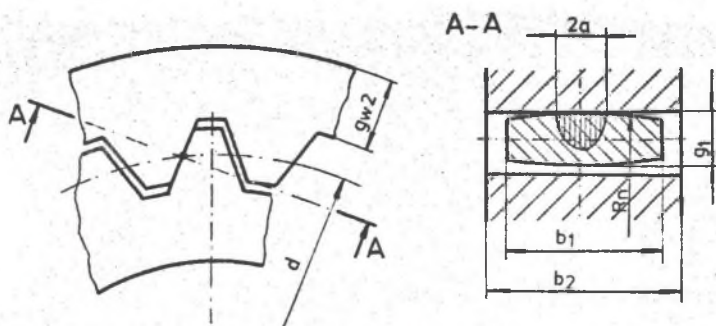
Tabela 1

Wskaźnik	$\frac{b_1}{m}$	$\frac{b_1}{d}$	$\frac{b_2}{b_1}$	$\frac{g_{w2}}{d}$	$\epsilon = \frac{R_b}{r}$
Wartość	5-16	0,10-0,18	1,15-1,25	0,05-0,10	0,3-2



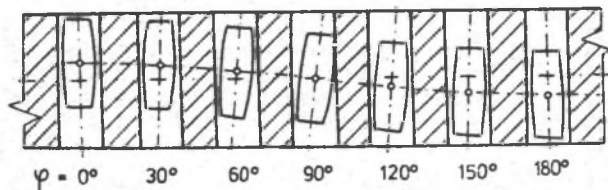
Rys. 1.
 Postać zębów piasty
 sprzęgła: a-zęby
 proste, b-zęby be-
 czukowe.

Fig. 1.
 Hub teeth form of
 coupling: a-straight
 teeth, b-barrelled
 teeth



Rys.2. Dane do zagadnienia Hertza
Fig.2. Details of Hertz problem

Rozróżnione zostaną dwa zasadnicze rodzaje sprzęgieł, w których tuleja ma uzębienie wewnętrzne o zębach prostych, a piasta - zęby proste lub zęby beczułkowe. Typową postać geometryczną zębów piasty przedstawiono na rys.1. W sprzęgle o prostych zębach piasty przy wychyleniu na miejsce styku krawędziowy, natomiast w sprzęgle o zębach beczułkowych przy wychyleniu następuje przemieszczanie się strefy styku, jak pokazano na rys.3.



Rys.3. Położenia zębów w przekroju na walcu podziałowym
Fig.3. Teeth positions in reference cylinder crosssection

Dotychczasowe sposoby obliczeń oparte są na różnych modelach stereomechanicznych. Do analizy zginania zębów przyjmowane są modele w postaci belki utwierdzonej, płyty utwierdzonej lub belki na podłożu sprężystym (tabela 2). Do analizy zagadnienia stykowego (tabela 2) przyjmowany jest najczęściej model styku walca z płaszczyzną, przy czym jako miarę odkształcenia stykowego przyjmuje się zbliżenie osi walca do płaszczyzny lub różnicę przemieszczeń początkowego punktu styku i punktu bazowego na osi zęba [1]. Wyznaczone na podstawie przedstawionych sposobów obliczeń wartości naprężeń, odkształceń i nośności sprzęgieł wykazują istotne zróżnicowanie.

Można przyjąć, że przyjmowane modele były właściwe do opisu zjawisk w sprzęgłach o cechach i zastosowaniach rozważanych przez autorów wymienionych prac, ale nie mają znaczenia ogólnego. Pierwsze prace z tego zakresu dotyczą sprzęgieł pracujących przy małych kątach wychylenia. Zwiększenie wychylenia sprzęgła powoduje, że przemieszczenia strefy styku współdziałających zębów wywołuje

T a b e l a 2

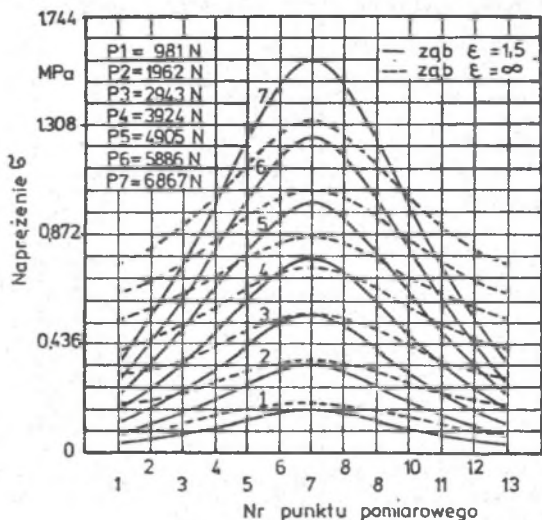
Autor, litera- tura rok	Rozkład ob- ciążenia na obwodzie	Postać modelu, obciążenie	Przekrój krytycz- ny, rodzaj naprężeń	Sposob okreś- lenia odkształ- ceń i sztyw- ności zębów	Model do określe- nia nacisków sty- kowych, określanie wielkość	Sposob określe- nia odkształceń stykowych
K. Stålzle [12], 1962	równomierny	zginania	zginania zębów nie rozpatruje		styk walca z pia- szczyzną, wskaź- nik nacisku K	brak
G. Broersma [4], 1965	równomierny	belka, obciążenie nie cią- głe	przekrój płaski δ nom σ_b	brak	styk walca z pia- szczyzną, szacun- kowa wartość na- ciisków p	brak
V.S. Poljakov, V.N. Koskin [7], 1966	nierówno- mierny	belka, obciążenie ciągłe	przekrój płaski, δ nom	średnie ugię- cie wzdłuż wy- sokosci, jedna- kowa sztywność zębów piasty i tulei	styk walca z pia- szczyzną, nacisk maksymalne p_{max}	zbliżenie osi walca do piask- czyzny
V.N. Koskin [6], 1970	nierówno- mierny	belka, obciążenie ciągłe	przekrój łamany δ max	brak	ogólny przypadek styku dwóch ciał, naciski maksy- malne p_{max}	brak
H. Benkler [3], 1970	nierówno- mierny	belka na pod- łożu spręży- stym, siła skupio- na	przekrój płaski δ nom	ugięcie na okręgu podzia- łowym, różna sztywność zę- bów piasty i tulei	styk walca z pia- szczyzną, naciski maksymalne p_{max}	różnica przemie- szczeń początko- wego punktu styku i punktu na osi zęba
E.L. Ajrapetov, M.D. Genkin, O.I. Kosarev [2] 1972	równomierny	plyta, utwier- dzona, siła skupiona	przekrój płaski δ nom σ_b	brak	styk walca z pia- szczyzną, naciski maksymalne p_{max}	brak

znaczącą zmienność rozkładu naprężeń w podstawie zęba. Przy większych wychyleniach wzrasta nierównomierność rozkładu obciążenia wzdłuż obwodu ząbienia. Z drugiej strony można by przypuszczać, że wskutek zachodzącego zużycia powierzchni zębów nastąpi zmniejszenie lub wyeliminowanie nierównomierności tego rozkładu.

Rzeczywisty styk współdziałających zębów sprzęgła nie spełnia dokładnie założeń przyjmowanych w rozważaniach zagadnienia Hertza. Przy krzywiznach zębów piast sprzęgła wartość szerokości strefy styku jest rzędu grubości zęba (rys.2). Ponadto przy większych wychyleniach sprzęgła istotne znaczenie ma uwzględnienie zmiany krzywizn w wyniku ugięć zębów wzdłuż ich szerokości.

Przeprowadzone badania modelowe i na obiektach rzeczywistych pozwoliły na zweryfikowanie przydatności wymienionych wyżej modeli stereomechanicznych. Dane uzębień w badaniach modelowych: moduł $m=32$, liczba zębów $z=48$, $b_1=210\text{mm}$, $b_2=260\text{mm}$, wskaźnik beczułkowania $\epsilon=\infty$ oraz $\epsilon=1,5$, tworzywo-żywica epoksydowa o własnościach $E=3,83 \cdot 10^4 \text{MPa}$, $\nu=0,35$. Warunki badań analogiczne do prac [9, 11]. Dane w badaniach obiektów rzeczywistych: moduł $m=2,5$, liczba zębów $z=38$, szerokość zębów $b_1=15\text{mm}$, $b_2=20\text{mm}$, wskaźnik $\epsilon=1,68$, tworzywo-stal 45.

Rozkład naprężeń u podstawy zęba wzdłuż szerokości, przy symetrycznym położeniu zębów, dla zębów prostych i zębów beczułkowych o wskaźniku $\epsilon=1,5$ przedstawiono na rys.4. Nierównomierność tych



Rys.4. Rozkład naprężeń w podstawie zęba wzdłuż jego szerokości.

Fig.4. Tooth foot stress distribution along his width

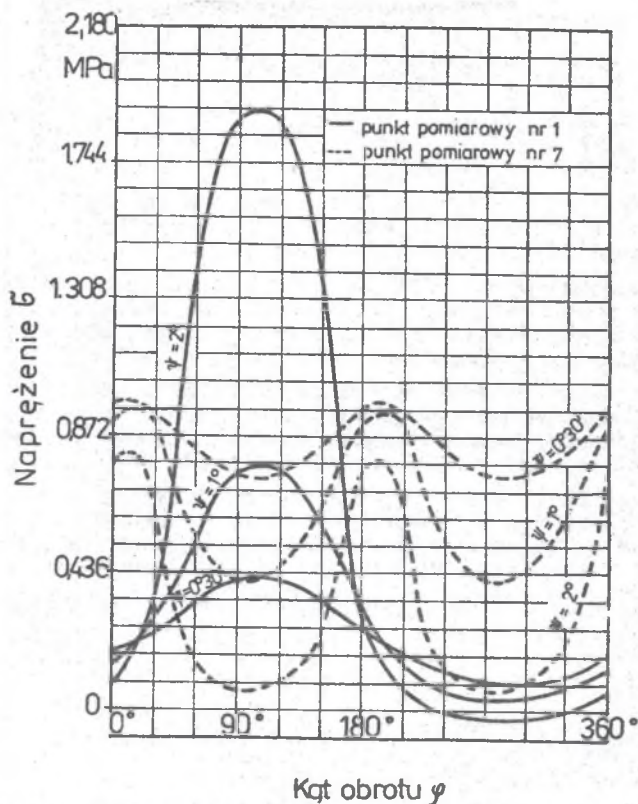
rozkładów jest istotna i różna przy tych krzywiznach zębów.

Przemieszczenie strefy styku zębów zachodzące podczas obrotu sprzęgła wywołuje przesunięcie maksimum krzywej rozkładu naprężeń w kierunku skrajnych przekrojów zęba. W danym przekroju zęba wywołuje to zmianę naprężeń (rys.5). Przy danej postaci zęba zakres zmienności zwiększa się ze wzrostem kąta wychylenia ψ .

Pomiary odkształceń zębów wykazały, że ugięcie zęba wzdłuż jego szerokości ma istotny wpływ na zmienność krzywizn współdziałających zębów, a stąd na wartości naciśków stykowych [9, 11]. Uwzględnienie tego pozwoliło wyjaśnić zauważone w badaniach pro-

cesu zużycia [8, 11] zjawisko, że w zakresie nominalnych obciążeń nie zachodzi docieranie się zębów, zmniejszające nierówność rozkładu obciążenia.

Dokonana wyżej analiza wykazała, że niektóre modele mogą być



Rys.5. Zmienność naprężeń w podstawie zęba w funkcji kąta obrotu φ
 Fig.5. Tooth foot changeability in function of coupling revolution angle φ

przyjmowane tylko dla ograniczonego zakresu cech konstrukcyjnych i warunków działania. Znaczenie ogólne mają modele w postaci belki na podłożu sprężystym lub płyty utwierdzonej. W analizie zagadnienia stykowego istotne jest uwzględnienie skończoności wymiarów elementów.

LITERATURA

- 1 E.L. Ajrapietow: Opriedielenije kontaktnej deformacji zubow cylindriczeskich zubiczatyh koles. "Wiestnik maszynostrojenija" 1967, nr 1.
- 2 E.L. Ajrapietow, M.D. Gienkin, O.I. Kosariew: Rascziet nagruzocznoj sposobnosti zubiczatyh muft. "Wiestnik maszynostrojenija" 1972, nr 6.
- [3] H. Benkler: Berechnung von Bogenzahnkupplungen. Fortschritt Berichte der VDI Zeitschriften, nr 27, 1970.
- [4] G. Broersma: Konstruktions und Herstellung von Zahnkupplungen. Autriebstechnik, nr 4, nr 10, nr 12, 1965.

- [5] R. Heinz: Untersuchung der Zahnkraft und Reibungsverhältnisse in Zahnkupplungen. Konstruktion, nr 12, 1978.
- 6 W.N. Koszkin: Uproszczeniowy rascziet nagruzocznoj sposobnost zubczatych muft. "Maszynostrojenije" 1970, nr 5.
- 7 W.S. Poljakow, W.N. Koszkin: Nagruzocznaja sposobnost' zubczatych muft s boczkoobraznymi zubjami. Trudy Leningradskogo Politechniczeskogo Instituta 1966, nr 269.
- [8] I. Rydzanicz, F. Szymankiewicz: Badania sprzęgieł zębatach. Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej, 1972 (praca niepublikowana).
- [9] I. Rydzanicz: Wpływ niektórych geometrycznych cech konstrukcyjnych na postać modelu obliczeniowego sprzęgieł zębatach. Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej, komunikat nr 108, 1975.
- [10] I. Rydzanicz, F. Szymankiewicz: Określenie współczynników oceny stanu naprężeń w uzębieniach o modyfikowanej linii i zróżnicowanej wysokości zęba. Zeszyty Naukowe Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, Mechanika 15, 1977.
- [11] I. Rydzanicz; Badanie warunków współdziałania elementów za-
zębień sprzęgieł zębatach. Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Elektryfikacja i Mechanizacja Górnictwa i Hutnictwa, nr 857, 1981.
- [12] K. Stölzle: Zahakupplungen. Technische Mitteilungen, nr 7, 1962.

MECHANICAL MODELS AND CONSTRUCTIONAL FEATURES OF THE GEAR COUPLINGS

Summary

The paper presents the analysis of mechanical models for estimation of stresses intensity in tooth's foot, contact stresses and deformations in couplings teeth.

It was proved that models in forms of beam based on elastic foundation or fixed shell have the universal meaning.

СТЕРЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И КОНСТРУКЦИОННЫЕ ЧЕРТЫ ЗУБЧАТЫХ МУФТ

Резюме

В работе дается анализ моделей для оценки напряженного состояния в основании зуба, контактных напряжений и деформаций зубьев муфт. Показано, что модели в виде балки на упругом основании или консольной пластинки имеют общее значение.

Recenzent: prof. dr inż. J. Dietrych

Wpłynęło do Redakcji 20.XII.1988 r.