

FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

Katedra za tribologijo in sisteme vzdrževanja

Bojan Podgornik, Jože Vižintin

**MEHANIKA KONTAKTA**

Skripta  
Univerzitetni študij

Ljubljana, 2010

[ftp://www.ctd.fs.uni-lj.si/Mehanika\\_kontakta/Skripta/](ftp://www.ctd.fs.uni-lj.si/Mehanika_kontakta/Skripta/)

## Vsebina

<b>1. Uvod .....</b>	1
1.1 Tribološki kontakt .....	1
1.2 Površine v tribološkem kontaktu .....	2
1.2.1 Fizikalna narava površin .....	3
1.2.2 Oblika površine .....	5
1.2.3 Kristalna struktura .....	12
1.2.4 Kemijске vezi v trdnih snoveh .....	13
1.2.5 Interakcije med površino in okolico .....	14
1.3 Tribološke lastnosti .....	16
1.3.1 Trenje .....	16
1.3.2 Obraba .....	17
<b>2. Napetostno deformacijsko polje v tribološkem kontaktu .....</b>	21
2.1 Uvod .....	21
2.2 Geometrija ne-skladnih površin v kontaktu .....	22
2.3 Napetosti na in pod površino .....	24
2.3.1 Čista linijska obremenitev .....	24
2.3.2 Porazdeljena normalna obremenitev .....	28
2.3.3 Enakomeren normalni tlak .....	30
2.3.4 Pol-eliptična porazdelitev tlaka ali Hertzov kontakt .....	31
2.3.4.1 Linijski kontakt .....	32
2.3.4.2 Točkovni kontakt .....	35
2.3.5 Inverzna pol-eliptična porazdelitev kontaktnega tlaka .....	38
2.4 Trenje na površini .....	40
2.4.1 Napetosti pri tangencialni obremenitvi površine zaradi trenja .....	40
2.4.2 Drsenje v primeru elastičnega kontakta in mikrozdrs .....	43
2.5 Kontakt pri kotaljenju .....	47
2.5.1 Kotaljenje brez upoštevanja trenja – kinematični zdrs .....	47
2.5.1.1 Kotaljenje dveh togih teles .....	47
2.5.1.2 Kotaljenje elastičnih teles .....	48
2.5.2 Kotalni upor .....	49
2.6 Obremenjevanje preko meje elastičnosti .....	50
2.6.1 Plastična deformacija .....	50
2.6.2 Elasto-plastičen kontakt .....	52
2.6.3 Ponavlajoče se obremenjevanje .....	55
2.7 Kontakt hrappavih površin .....	56
2.7.1 Navidezno ravne površine .....	56
2.7.2 Elastičen kontakt ukrivljenih hrappavih površin .....	60
2.8 Kontakt oplaščenih površin .....	61
2.8.1 Popis napetosti in deformacij ob prisotnosti prevleke .....	61
2.8.2 Dejanska porazdelitev kontaktnega tlaka .....	63
2.8.3 Porazdelitev napetosti ob prisotnosti prevleke .....	66
2.8.4 Karte lokalnega tečenja pri oplaščenih površinah .....	70
<b>3. Oplemenitev kontaktnih površin .....</b>	71
3.1 Uvod .....	71
3.2 Izbira metode oplemeniteva .....	73
3.3 Tehnologije poboljšanja .....	76
3.3.1 Cementacija .....	77
3.3.2 Nitriranje .....	78
3.3.3 Karbonitriranje .....	79

3.4 Tehnologije zaščitnih prevlek .....	80
3.4.1 Kemijo nanašanje ali nanašanje iz raztopinskega stanja .....	82
3.4.2 Nanašanje iz trdnega stanja .....	84
3.4.2.1 Navarjenje .....	84
3.4.2.2 Termično naprševanje .....	84
3.4.3 Nanašanje iz parne faze .....	85
3.4.3.1 Kemijo nanašanje iz parne faze .....	87
3.4.3.2 Fizikalno nanašanje iz parne faze .....	88
3.4.4 Ionska implantacija in nanašanje podprt z ionskim snopom .....	92
3.4.5 Vpliv postopka nanašanja na lastnosti prevlek .....	94
3.5 Osnovna razdelitev trdih prevlek .....	95
3.5.1 Prevleke na osnovi železovih zlitin .....	95
3.5.2 Prevleke neželeznih kovin in zlitin .....	96
3.5.3 Keramične prevleke .....	98
3.6 Smeri razvoja oplemenitev površin .....	100
3.6.1 Dodatna priprava površin za nanos trdih prevlek .....	100
3.6.2 Večkomponentne prevleke .....	101
3.6.3 Večplastne trde prevleke .....	102
3.6.3.1 Vmesne plasti .....	103
3.6.3.2 Večje število ponovljenih plasti .....	103
3.6.3.3 Plasti različnih lastnosti .....	104
3.6.4 Prevleke trdega ogljika .....	105
3.6.4.1 Prevleke amorfnega ogljika .....	107
3.6.4.2 Prevleke amorfnega ogljika z dodatkom kovinskih elementov .....	108
<b>4. Tribološki mehanizmi pri oplemenitenih površinah .....</b>	<b>110</b>
4.1 Makromehanski torni mehanizmi .....	110
4.1.1 Trdota prevleke .....	111
4.1.2 Debelina prevleke .....	111
4.1.2.1 Deformacija podlage .....	111
4.1.2.2 Nošenje obremenitve .....	112
4.1.3 Hrapavost površine .....	112
4.1.3.1 Zmanjšanje kontaktne površine in spajanje vršičkov hrapavosti .....	112
4.1.3.2 Utruanje neravnin .....	113
4.1.4 Delci v kontaktu .....	113
4.1.4.1 Skrivanje delcev .....	113
4.1.4.2 Drobiljenje delcev .....	114
4.2 Makromehanski obrabni mehanizmi .....	114
4.2.1 Adhezijska obraba in obraba zaradi utrujanja .....	114
4.2.2 Poškodba ali zlom prevleke .....	115
4.2.3 Lomljenje vršičkov .....	116
4.2.4 Delaminacija ali razslojevanje .....	116
4.2.5 Abrazijska obraba .....	117
4.3 Mikromehanski tribološki mehanizmi .....	117
4.4 Tribokemijski mehanizmi .....	119
4.4.1 Tvorjenje tankih mikrofilmov na trdih prevlekah .....	119
4.5 Mehanizmi prenosa materiala .....	120
<b>5. Kontaktne primeri in oplemenitev površine .....</b>	<b>121</b>
5.1 Drsni ležaji .....	121
5.2 Kotalni ležaji .....	122
5.3 Zobniki .....	123
5.4 Odrezovalno orodje .....	124

5.5 Preoblikovalna orodja.....	126
5.6 Biomedicinski implantanti – zglobi .....	127
Literatura .....	129