

## ТЕХНОЛОГІЯ ОБКАТУВАННЯ РОЛИКАМИ ДЕТАЛЕЙ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

*Б.І.Бутаков, доктор технічних наук, професор*

*Д.Д.Марченко, студент*

*Миколаївський державний аграрний університет*

*Досліджено дифузію хімічних елементів поверхневого шару в процесі поверхневого деформування, дифузію хімічних елементів (хром, вуглець) досліджено за допомогою мікрохіманалізу на мікрохіманалізаторі "Supperprobe-733" та аналізом зміни мікротвердості зміцненого поверхневого шару. Розроблено спосіб і технологію обкатування роликми робочої поверхні канатних блоків з метою підвищення їх контактної міцності.*

*Исследована диффузия химических элементов поверхностного слоя в процессе поверхностной деформации, диффузия химических элементов (хром, углерод) исследована с помощью микрохиманализа на микрохиманализаторе "Supperprobe-733" и анализом изменения микротвердости упрочненного поверхностного слоя. Разработаны способ и технология обкатывания роликами рабочей поверхности канатных блоков с целью повышения их контактной прочности.*

Для оцінки ступеня зміцнення сталей за допомогою обкатування роликми зразки зі сталей 40, 45 і армкозалізо були обкатані на токарному верстаті за допомогою пристрою, що зображений на рис. 1.

Консольний тороподібний ролик 1 встановлений на вісі 2, яка змонтована на кінчних підшипниках 3 і 4 у корпусі 5. Деформація пружного корпусу сприймається стержнем 6 і через шток 7 передається на індикатор 9, закріпленим до корпусу гвинтам 10. Пружина 8 підтискає шток 7 і стержень 6 до пружного елементу корпусу. Максимальна деформація пружного корпусу дорівнює 3,1 мм, при цьому зусилля на ролик дорівнює 10 кН.

Ширина пружної частини корпусу  $\epsilon = 60$  мм. Профільний радіус ролика  $r_p$  був прийнятий рівним 2,5 мм і 5 мм. Середній кут втискання ролика  $\phi$  залежно від зусилля обкатування  $P$  змінювався для різних зразків в межах від  $2,5^\circ$  до  $5^\circ$ ,  $\phi = 10^\circ$ , для того, щоб перевищити рекомендований для сумісного чистового і

змцнюючого обкатування  $\varphi = 5^\circ$  і отримати значну ступінь деформації метала. Обкатуванню піддавались конічні зразки діаметром 200 мм. З метою моделювання процесу обкатування роликм бокової поверхні струменя канатного барабану, утворююча якої складає з перпендикуляром до вісі обертання барабану кут  $22,5^\circ$ , кут  $\alpha_m$  біля основи конуса зразків дорівнює  $75^0 45'$ .

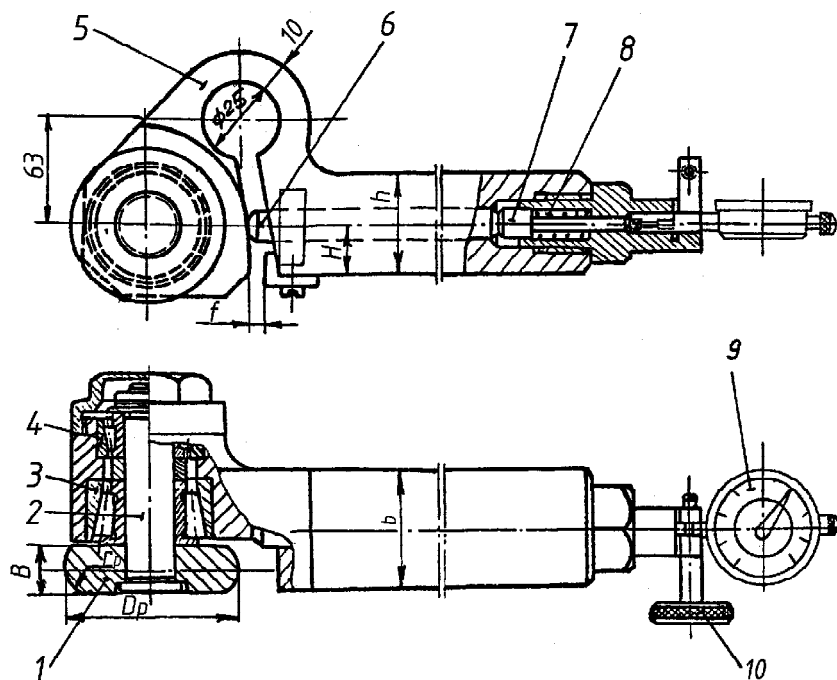


Рис. 1. Пристрій з пружним корпусом і індикатором вимірювання зусилля обкатування: 1 – ролик; 2 – вісь; 3, 4 – підшипники; 5 – корпус; 6 – стержень; 7 – штовхач; 8 – пружина; 9 – індикатор; 10 – гвинт;  $V=16$  мм;  $r_p=2,5$  і  $5$  мм;  $D_p=32$  мм;  $b=45$  мм;  $H=12$  мм;  $h=25$  мм

Величина кута  $\alpha_m$  визначена із умови рівності колового просковзування на поверхні контакту ролика з деталлю при обкатуванні профілю канатного блока і конусної моделі.

$$\frac{b \cdot \cos \alpha_{\bar{o}}}{r_{\bar{o}}} = \frac{b \cos \alpha_m}{r_m}, \quad (1)$$

де  $b$  — вісь еліпса контакту ролика на конічній поверхні канатного блоку;

$\alpha_{\bar{o}}$  — кут профілю канавки блока;

$r_{\bar{o}}$  — середній радіус профілю канавки блока;

$\alpha_m$  — кут конуса моделі;

$r_m$  — середній радіус моделі.

$$\text{Звідси } \cos \alpha_m = \frac{\cos \alpha_{\bar{o}} \cdot r_m}{r_{\bar{o}}}. \quad (2)$$

При  $\alpha_{\bar{o}} = 22,5^\circ$ ;  $r_m = 100$  мм;  $r_{\bar{o}} = 375$  мм

$$\cos \alpha_m = \frac{\cos 22,5^\circ \cdot 100}{375} = 0,24637, \quad \alpha_m = 75^\circ 45'.$$

Після обкатування з різними режимами (див. табл.) зразки розрізалися і в поперечному перерізі вимірювалась мікротвердість  $H_\mu$  з навантаженням на піраміду  $1,0$  Н. Розподілення мікротвердості  $H_\mu$  по глибині 4-х зразків показано на рис.2.

На графіках (рис. 2, б-г) для сталених зразків зі сталей 45 і 40Х виявлено зниження мікротвердості  $H_{\mu(n.z.)}$  в перехідній зоні між зміцненим шаром і вихідним металом, мікротвердістю  $H_{\mu(u.)}$ . Середнє значення  $H_{\mu(n.z.)}$  і  $H_{\mu(u.)}$  нормально розподілених величин порівнюємо за допомогою t-критерію Ст'юдента [1, 2]. Для цього визначимо зведену дисперсію

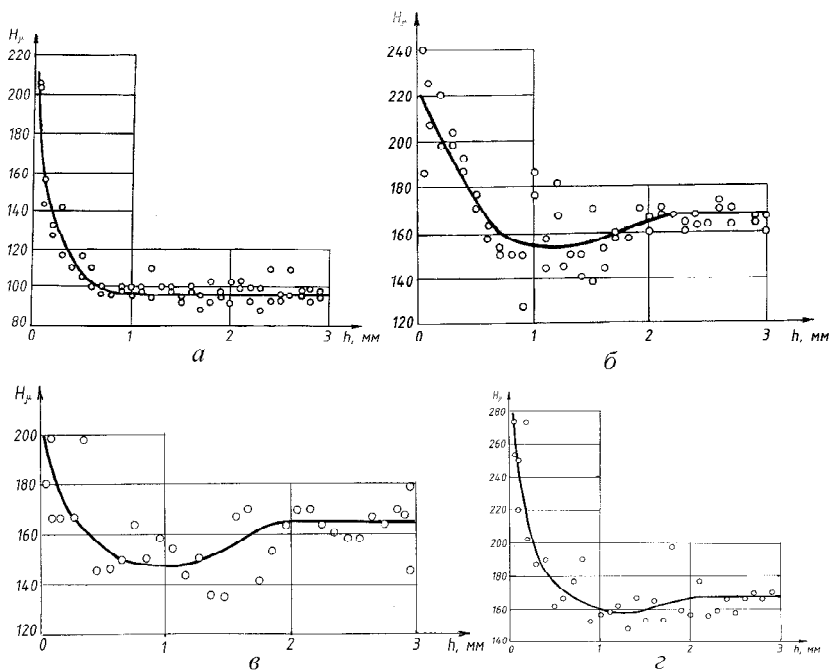
$$S^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}; \quad (3)$$

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, \quad (4)$$

де  $n_1, n_2$  – відповідно число замірів  $H_{\mu}$  в перехідній зоні і у вихідному металі;

$S_1^2, S_2^2$  – відповідно дисперсія значень  $H_{\mu(n.z.)}$  і  $H_{\mu(u.)}$ ;

$\bar{x}_1, \bar{x}_2$  – відповідно середнє значення  $H_{\mu(n.z.)}$  і  $H_{\mu(u.)}$ .



**Рис. 2.** Розподілення мікротвердості по глибині зміцненого шару: *а* – армкозалізо,  $r_p = 2,5$  мм,  $P = 1,5$  кН; *б* – сталь 45,  $r_p = 2,5$  мм,  $P = 4,5$  кН; *в* – сталь 45,  $r_p = 5$  мм,  $P = 5$  кН; *г* – сталь 40X,  $r_p = 2,5$  мм,  $P = 5,5$  кН

Якщо  $|t| \geq t_{\alpha, k}$ , (табл.V [3]), то різниця середніх значень суттєва. Величину довірчої імовірності  $P = 1 - \alpha$  вибираємо рівною 0,95 ( $\alpha = 0,05$ ), число ступенів вільності визначаємо з виразу  $K = n_1 + n_2 - 2$ . Результати розрахунків поміщено у таблиці.

Аналіз результатів дослідження мікротвердості показують, що при обкатуванні роликками сталей 40X і 45 простежується значне зниження мікротвердості у поверхневій зоні між зміцненим шаром і вихідним металом. При обкатуванні армкозаліза такого спаду не виявлено.

Запропоновано ідею дифузійного переносу зміцнюючих хімічних елементів ( $C_r$ ,  $C$ ) з глибинних шарів на поверхню. Розподілення зміцнюючих хімічних елементів  $C_r$  і  $C$  було досліджено за допомогою мікрохіманалізатора фірми Джеол “Supperprobe – 733”. Встановлено, що в перехідній зоні вміст  $C_r$  і  $C$  зменшилося на 20-30%, а в зміцненому шарі збільшилося до 10-15%. Аналогічні результати отримані в роботах [4, 5], на поверхнях тертя і при термо- і електромеханічному зміцненні сталей [6]. В цих роботах в якості основних механізмів дифузії називають температурний градієнт [7] і електроперенос [8]. Оскільки у нашому випадку ці механізми є несуттєвими чи зовсім відсутні, слід рахувати при ППД суттєвим механізмом дифузії градієнт щільності дислокацій [9].

Таблиця

Параметри обкатування конусної поверхні сталей 45, 40X, армкозаліза

Марка матеріалу	$r_p$ , мм	$D_p$ , мм	$P$ , кН	$J$ , град	$H_{\text{маг}}$	$t_{H_m}$	$\Sigma K$ , мм <sup>*-1</sup>	$K_{d0,2}$	$t_{d0,2}$	$t_{\text{теор}}$ , **
45	5	32	5,00	2,5	200	1,8	0,241	1,4	2,52	2,55
45	2,5	32	4,50	5	240	1,8	0,441	1,3	2,34	2,35
40X	2,5	32	5,50	5	275	1,7	0,441	1,3	2,21	2,25
Армкозалізо	2,5	32	1,50	5	230	1	0,441	1,3	1,30	1,35

Продовження таблиці

Марка матеріалу	$n_1$	$n_2$	$\overline{x_1}$ ( $H_{\mu(n.z.)}$ )	$\overline{x_2}$ ( $H_{\mu(y.)}$ )	$S_1^2$	$S_2^2$	$t$	$t_a$	Ступінь різниці
45	9	12	148,18	164,82	70,88	142,62	5,30	1,96	Різниця суттєва
45	24	18	174,86	186,28	175,40	13,54	3,55	1,96	Різниця суттєва
40X	11	34	157,20	167,30	34,40	121,39	2,49	2,10	Різниця суттєва
Армкозалізо	9	37	98,00	97,56	4,25	29,30	0,24	1,96	Різниця не суттєва

де  $p$  – зусилля обкатування, кН;

$\sigma_T$  – межа текучості сталі, кН/мм<sup>2</sup>.  $K\sigma_{0.2} = t_{\sigma 0.2} / t_{H\mu}$ . Його значення вибираються залежно від приведеної кривизни  $\sum K$  у контакті ролика з деталлю по графіку (рис.65, в [9]).

Якщо одночасно обкатати роликами весь робочий профіль канатних блоків, то найраціональнішим способом обкатування слід рахувати зміцнення одночасно і тороїдальної і конічних поверхонь. А для цього необхідно застосувати клиновий ролик. При цьому широка частина клинового ролика буде рівна ширині западини канатного блоку по його максимальному діаметру. Значна частина канатних блоків мають радіус галтелей  $R_r \sim 20-22$  мм. Глибина профілю  $\sim 55$  мм, половина кута  $\alpha_\delta$  профілю канатного струмка  $\sim 22,5^\circ$  (див. рис. 3).

Приведений радіус кривизни ролика,  $r'_p$  і деталі в їх осьовому перетині при обкатуванні конічної поверхні рівний радіусу кривизни ролика. З метою отримання інтенсивної деформації бічних поверхонь профілю при реальних зусиллях обкатування ( $\sim 30,0$  кН) приймаємо  $= 16$  мм.

Тоді приведений радіус кривизни  $r'_p$  ролика і деталі в їх осьовому перетині при обкатуванні галтелі (при  $\sim 22$  мм) відповідно до формули (5) буде рівний 60 мм. При такому радіусі і діаметрі ролика  $= 140$  мм і твердості 160 НВ сталі 35л, з якої виготовляються канатні блоки, необхідне зусилля на ролику складе  $\sim 20,0$  кН.

Биття профілю ролика згідно з рис. 3 складає:

$$b = 2[(h - r_\delta)tg\alpha_\delta + r_\delta / \cos\alpha_\delta - r_p \cos\alpha_\delta], \quad (5)$$

де  $h$ ,  $r_\delta$ ,  $\alpha_\delta$  – відповідно глибина, радіус і кут профілю деталі;  $r_p$  – радіус профілю ролика. Ексцентриситет (відстань між осями обертання і профілю ролика) визначиться у залежності:

$$e = (h - r_p + r_p \sin\alpha_\delta) / 2. \quad (6)$$

Зусилля в точці контакту з тороїдальною поверхнею блоку

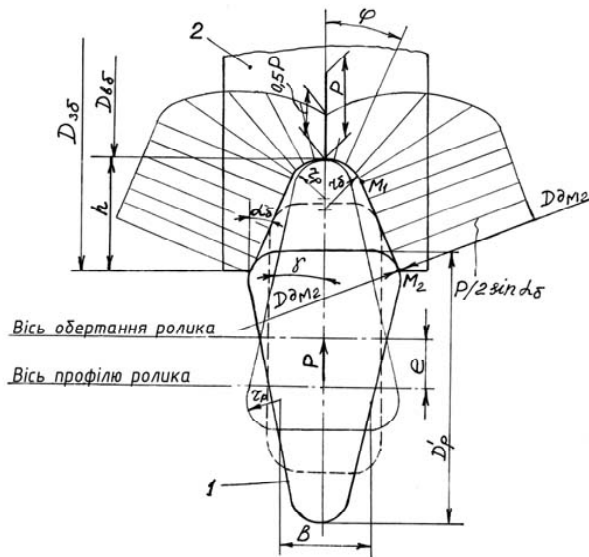


Рис. 3. Схема розрахунку параметрів процесу обкатування робочої поверхні канатного блоку клиновим роликом:  
1 – ролик; 2 – оброблювана деталь

$$P_M = P/2 \cos \varphi, \quad (7)$$

де  $P$  — зусилля пружини.

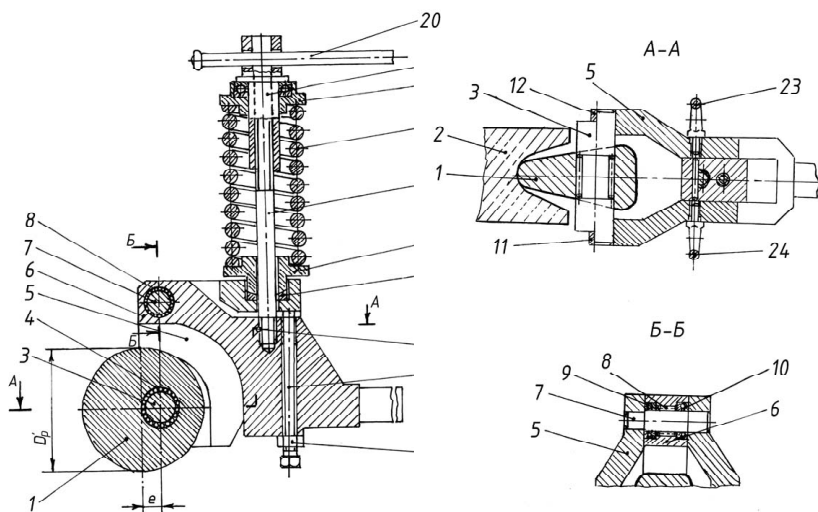
На конічній поверхні профілю

$$P_{M_1} = P_{M_2} = P/2 \sin \alpha_{\delta}. \quad (8)$$

Конструкцію пристрою для обкатування канатних блоків показано на рис.4.

Клиновий ролик 1, що знаходиться у контакті з деталлю 2, встановлений на осі 3 за допомогою голчатого підшипника 4. Вісь 3 встановлена в отворі важеля 5. Важіль 5 змонтований на кронштейні 6 з можливістю повороту навкруги осі 7 на голчатих підшипниках 8 і опорних підшипниках 9 і 10. Вісь 3 прикріплена

до важеля 5 планками 11 і 12. В отворі важеля 5 встановлені сферична шайба 13 і втулка 14, на яку одягнена пружина 15. На верхній торець пружини 15 вставлена втулка 16. В кронштейн 6 вкручена тяга 17 і зафіксована штифтом 18. На верхній кінець тяги 17 нагвинчується гайка 19 з рукояткою 20. В тілі кронштейна 6 виконано розточування з різьбленням, в який вкручений гвинт 21 з контргайкою 22. В різьбові отвори важеля 5 вкручені рим-болти 23 і 24.



**Рис. 4. Пристрій для обкатування канатних блоків клиновим роликом:**  
 1 – ролик; 2 – обкатувана деталь; 3, 7 – вісь; 4, 8, 9, 10 – підшипники;  
 5 – важіль; 6 – кронштейн; 11, 12 – планки; 13 – сферична шайба;  
 14 – втулка; 15 – пружина; 16 – втулка; 17 – тяга; 18 – штифт;  
 19, 22 – гайка; 20 – рукоятка; 21 – гвинт; 23, 24 – рим-болти

Пристрій працює таким чином. Канатний блок 2 встановлюють розточеним отвором на оправку, вставлену в центральний отвір планшайби карусельного верстата, закріплюють до планшайби по торцю ступиці фіксуючою гайкою і планками з гвинтами. Пристрій квадратним кінцем кронштейна 6 закріплюють в різьбленні



ржавки бічного супорта верстата. Переміщенням супорта верстата ролик 1 вводять в струмок канатного блоку так, щоб ролик знаходився посередині осі 3, а своєю вузькою частиною робочого профілю торкнувся западини профілю деталі. Після цього бічний супорт верстата закріплюють на спрямовуючих. Обертанням гайки 19 за допомогою рукоятки 20 стискають пружину на необхідну величину. При стисненні пружини на 1 мм зусилля на ролику складає 0,38 кН.

Для передачі зусилля з ролика на обкатувану деталь обертанням гвинта 21 встановлюють зазор між його торцем і поверхнею важеля 5 величиною  $\approx 2-3$  мм. Обкатувану поверхню деталі мащують машинним маслом і включають обертання деталі із швидкістю 40-50 м/хв.

При обертанні деталі і ролика робочі поверхні ролика залишають на обкатуваній поверхні деталі два синусоїдальні сліди, які у міру обертання деталі і ролика поступово зміщуються в круговому напрямі, доки вся поверхня струмка не виявиться деформованою. При цьому наявність ексцентриситету ( $e$ ) на ролику дозволяє звести до мінімуму ( $\leq 2$  мм) переміщення осі ролика 1 разом з важелем 5 щодо кронштейна 6.

Зусилля на ролику коливається в межах  $\pm 5\%$ , оскільки важіль 5 легко повертається навкруги осі 7; сили тертя в підшипниках кочення 8, 9, 10 невеликі. Цим забезпечується рівномірна деформація поверхневого шару струмка блоку. Після цього обертанням гвинта 21 повертають важіль 5, щоб виключити контакт ролика 1 з деталлю 2, а потім вимикають обертання деталі і переміщенням бічного супорта виводять ролик із струмка.

При зусиллі  $P$  пружини і на ролику, рівному 20 кН (величина стиснення пружини 25 мм), глибина пластичної деформації поверхневого шару струмка на вершині профілю складе  $\approx 6$  мм, ступінь наклепу  $\approx 45\%$ .

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Степнов М. Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний. – М.: Машиностроение, 1972. – 232 с.
2. Степнов М. Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний. Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 306 с.

3. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики – М.: Наука, 1969. – 512 с.
4. Рыбакова Л. М., Куксенова Л. И. Структура и износостойкость металла. – М.: Машиностроение, 1982. – 212 с.
5. Марковский Е. А. Научные предпосылки создания новых износостойких литых материалов с высокими эксплуатационными свойствами. – Прогрессивные технологии литья и кристаллизации сплавов, 1983. – С.43-57.
6. Бабей Ю. И. Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна. – К.: Наукова думка, 1988. – 240 с.
7. Бокштейн Б. С. Диффузия в металлах. – М.: Metallургия, 1978. – 248 с.
8. Кузменко П. П. Электроперенос, термперенос и диффузия в металлах. – К.: Вища школа, 1983. – 152 с.
9. Бутаков Б. И. Основные принципы технологии импульсного и малоскоростного воздействия на структуру и свойства металлов и сплавов. Диссерт. док.техн.н., – Киев, 1992 – 533 с.