



Міністерство освіти і науки України;  
Кіровоградський національний технічний  
університет;  
Національний університет кораблебудування ім.  
адмірала Макарова;  
Миколаївський державний гуманітарний університет  
імені Петра Могили  
Миколаївський національний аграрний університет

---

---

# **ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА МІЦНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРСПЕКТИВНИХ МЕТОДІВ ЗМІЦНЕННЯ**

## **МАТЕРІАЛИ**

**Всеукраїнської науково-практичної конференції**

**м. Миколаїв, 25-26 вересня 2013 року**

---

---

**Миколаїв  
2013**

УДК 621.7; 621.8; 539.4

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБКАТЫВАНИЯ РОЛИКАМИ КАНАТНЫХ БЛОКОВ

*Б. И. Бутаков, д.т.н., профессор*

*Д. Д. Марченко, ассистент*

*И. М. Данильчук, студент группы Пб м*

*Николаевский национальный аграрный университет*

*Описана методика экспериментальных исследований технологического процесса обкатывания канатных блоков с помощью устройства с клиновым роликом. Приведены результаты экспериментальных исследований, в ходе чего методом крутого восхождения выяснены оптимальные конструкторско-кинематические параметры устройства.*

*Описана методика экспериментальных досліджень технологічного процесу обкатування канатних блоків за допомогою пристрою із клиновим роликом. Наведені результати експериментальних досліджень, у ході чого методом крутого сходження з'ясовані оптимальні конструкторсько-кінематичні параметри пристрою.*

Создание способов и технологий, которые могут быть применены для упрочнения и повышения износостойкости, контактной прочности деталей путем поверхностной пластической деформации, является актуальным. Результаты научно-исследовательской работы по экспериментальным исследованиям влияния обкатывания роликами на долговечность стальных деталей, работающих при контактом смятии, проверены в производственных условиях при работе канатных блоков со стальными канатами [1].

В качестве объекта исследования влияния обкатывания роликами на контактную прочность были приняты канатные блоки, долговечность рабочего профиля которых составляла не больше 3 – 4-х месяцев.

Для проведения исследований технологического процесса поверхностного упрочнения канатных блоков с помощью обкатывания роликов использовали экспериментальное устройство (рис. 1), которое содержит роликовый узел и рычажный силовой пружинный механизм поджатия ролика к детали, смонтированный в корпусе устройства. Ролик устройства для обкатывания выполнен клинообразной формы с выпуклой образующей рабочего профиля, что позволяет одновременно обкатывать как конические, так и тороидальную поверхности канатного блока и облегчает технологию чистового и упрочняющего обкатывания.

Для обеспечения оптимального усилия обкатывания при обработке конической поверхности ручья канатного блока, где приведенная кривизна контакта ролика с деталью в плоскости подачи имеет значительно больше величины, чем при обкатывании круговой впадины, на конической поверхности средний угол  $\varphi$  вдавливания ролика значительно превысит  $5^\circ$  и следовательно, будет иметь место перенаклеп поверхности, появится недопустимая волнистость на обработанной поверхности. Поэтому рабочая поверхность клинового ролика выполнена с переменной кривизной.

Рычажный силовой пружинный механизм установлен с клиновым роликом на подшипниках качения. При установлении подшипников скольжения в процессе обкатывания возникнет неравномерная деформация конической поверхности ручья канатного блока, так как значительные силы трения скольжения, возникающие на поверхностях оси и боковых стенок рычага во время поворота последнего вокруг своей оси при биении профиля клинового ролика, будут то вычитаться из силы пружины, то складываться с ней, в зависимости от направления перемещения роликового узла. Как показали исследования, колебание усилия обкатывания составляют в этом случае до 45 % [2], что и приведет к появлению волнистости на боковых конических поверхностях ручья канатного блока.



Рис. 1. Экспериментальное устройство для обкатывания канатных блоков клиновым роликом

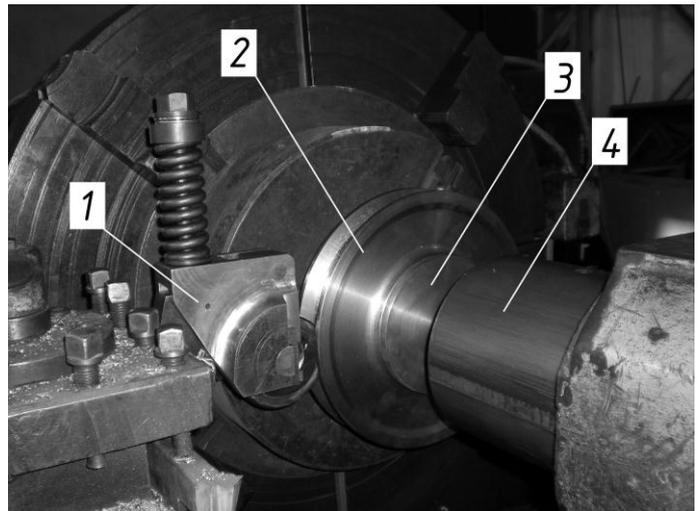


Рис. 2. Общий вид экспериментального оборудования: 1 – устройство для обкатывания канатных блоков; 2 – канатный блок; 3 – оправка; 4 – задняя бабка токарного станка

Процесс обкатывания с помощью устройства с клиновым роликом проводился на универсальном токарно-винторезном станке 1К65 (рис. 2), потому регулирование таких параметров, как скорость обкатывания и число оборотов блока контролировалось на станке при соответствующей настройке. Угол наклона профиля ручья и отклонения его формы от прямолинейной измерялись с помощью индикатора. Для исследования влияния обкатывания на качество поверхности и на степень упрочнения

изготавливались переменные клиновые ролики с разными углом вдавливания и профильным радиусом.

Процесс обкатывания клиновым роликом канатных блоков на экспериментальном оборудовании снимали видеокамерой (Panasonic SDR – S26) с последующим покадровым изучением.

Канатный блок 2 (рис. 2) устанавливали отверстием в центр патрона станка и поджимали центром 3 задней бабки 4 универсального токарно-винторезного станка. Устройство 1 кронштейном закрепляли в резцедержатель суппорта станка. Перемещением суппорта станка ролик вводили в ручей канатного блока так, чтобы он своей узкой частью рабочего профиля коснулся впадины ручья канатного блока. Усилие на ролике устанавливается с помощью вращения гайки на тяге устройства для сжатия пружины на необходимую величину (при сжатии пружины на 3,5 мм усилие на ролике составляет 1 кН).

Обкатываемую поверхность блока смазывают машинным маслом и включают его вращение со скоростью 40 – 50 м/мин.

В процессе вращения канатного блока за счет сил трения вращается ролик устройства и рабочие торцы ролика образуют на обкатываемой поверхности детали два синусоидальных следа, которые по мере вращения блока и ролика постепенно смещаются в круговом направлении, пока вся поверхность ручья не окажется продеформированной.

Усилие на ролике колеблется в пределах  $\pm 5\%$ , так как сила трения в подшипниках качения мала, поскольку коэффициент трения  $f_k$  в подшипниках качения не больше 0,008. Этим обеспечивается равномерная деформация поверхностного слоя ручья блока.

Степень наклепа измеряли и определяли после обкатывания с помощью универсального интегрального динамического твердомера TИME Hardness Tester TH130 (рис. 3), который обеспечивает высокую точность и широкий диапазон измерения, а также может быть подсоединен к ПЕОМ.

Шероховатость рабочей поверхности до и после обкатывания канатного блока исследовалось двумя методами.

До обкатывания шероховатость поверхности канатного блока была определена с помощью эталонных образцов шероховатости ОШ (ГОСТ 9378 – 93, изготовленных в соответствии с требованиями ГОСТ 2789 – 73). После обкатывания с различными режимами в профиль канатного блока заливалась самотвердеющая пластмасса на основе акриловых смол «ПРОТАКРИЛ – М», таким образом делались реплики [3]. Рабочую поверхность профиля блока в местах снятия реплик обезжиривали ацетоном. После высыхания пасты (время полимеризации 25 – 30 мин при температуре 35 – 40 °С) шлифовалась одна сторона реплики.

Кроме того шероховатость и волнистость обкатанной поверхности измерялась с помощью профилографа-профилометра типа А1 (ГОСТ 19299 – 73 и ГОСТ 19300 – 73), модель 252 завода «Калибр» (рис. 4), а по профилограммам определялись значения  $R_a$ .

Погрешность определения шероховатости поверхности с применением реплик составляет не больше 8 %.

В ходе экспериментальных исследований анализ экспертной оценки («психологический эксперимент») и статистической обработки значений факторов позволили сделать вывод о наибольшем влиянии на качество выполнения технологического процесса следующих четырех факторов: угла вдавливания ролика; профильного радиуса ролика; количества оборотов блока; скорости обкатывания. В результате чего использовался трехуровневый, четырех факторный план Бокса 2-го порядка проведения эксперимента [1].



Рис. 3. Процесс измерения твердости поверхности профиля канатного блока после обкатывания



Рис. 4. Общий вид профилографа-профилометра М – 252

После статистической обработки экспериментальных данных на ПЕОМ (с помощью программ Statistica и Excel) получены математические модели для шероховатости поверхности (*ШП*) (1) и степени наклепа (*СН*) (2), которые описывают технологический процесс обкатывания канатных блоков.

Уравнения регрессии имеют вид:

$$\begin{aligned} ШП = & 1,9224 - 0,2789 \cdot X_1 + 0,2520 \cdot X_2 - 0,5837 \cdot X_3 - 0,4970 \cdot X_4 - \\ & - 0,014 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,280 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,002 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,154 \cdot X_2 \cdot X_3 + \\ & + 0,257 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0,359 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,094 \cdot X_1^2 - 0,522 \cdot X_2^2 + \\ & + 1,405 \cdot X_3^2 - 1,280 \cdot X_4^2; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} СН = & 47,5008 - 0,2578 \cdot X_1 - 0,7167 \cdot X_2 + 0,135 \cdot X_3 + 0,1157 \cdot X_4 - \\ & - 0,127 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,236 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,535 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,124 \cdot X_2 \cdot X_3 + \\ & + 0,115 \cdot X_2 \cdot X_4 - 1,062 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,483 \cdot X_1^2 - 0,106 \cdot X_2^2 - \\ & - 0,925 \cdot X_3^2 + 0,931 \cdot X_4^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Результаты расчетов, получено при сочетании факторов  $X_1$  и  $X_2$ , приведены на рис. 5.

Если рассмотреть построенные графики, то можно сделать вывод, что зона оптимального сочетания факторов ограничена кривыми ШП и СН в точках *A, B, C, F, G*. При этом шероховатость поверхности будет лежать в пределах  $1,2 \text{ мкм} < \text{ШП} < 1,4 \text{ мкм}$ , а степень наклепа  $44 \% < \text{СН} < 45 \%$ .

При данных показателях критериев оптимизации величина профильного радиуса ролика должна составлять 16...20 мм, а скорость обкатывания - 27...36 м/мин.

Последовательным изменением сочетания факторов, получены двумерные пересечения поверхностей отклика при всех возможных комбинациях факторов.

Так при сочетании факторов значения угла вдавливания ( $X_3$ ) и количества оборотов блока ( $X_4$ ) при  $X_1 = 0$  (профильный радиус ролика) и  $X_2 = 0$  (скорость обкатывания) были получены уравнения регрессии в виде:

$$\begin{aligned} \text{ШП} = & 1,9224 - 0,5837 \cdot X_3 - 0,4970 \cdot X_4 + 0,359 \cdot X_3 \cdot X_4 + \\ & + 1,405 \cdot X_3^2 - 1,280 \cdot X_4^2; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{СН} = & 47,5008 + 0,135 \cdot X_3 + 0,1157 \cdot X_4 - 1,062 \cdot X_3 \cdot X_4 - \\ & - 0,925 \cdot X_3^2 + 0,931 \cdot X_4^2. \end{aligned} \quad (4)$$

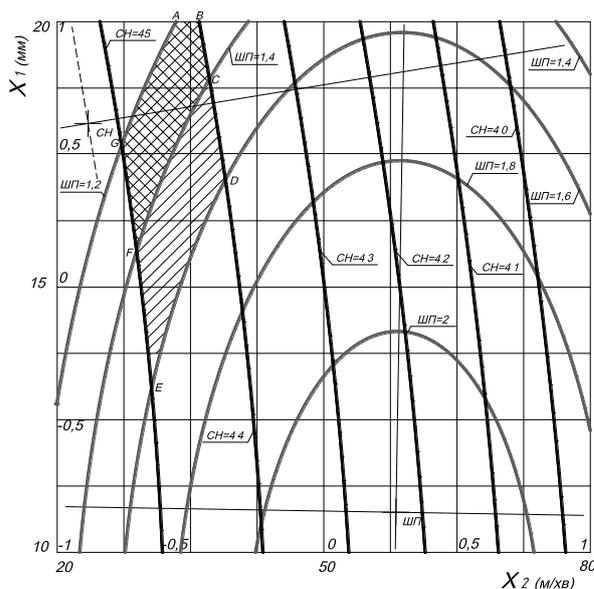


Рис. 5. Двухмерные пересечения поверхностей отклика при сочетании факторов  $X_1$  и  $X_2$  при  $X_3 = 0$  и  $X_4 = 0$

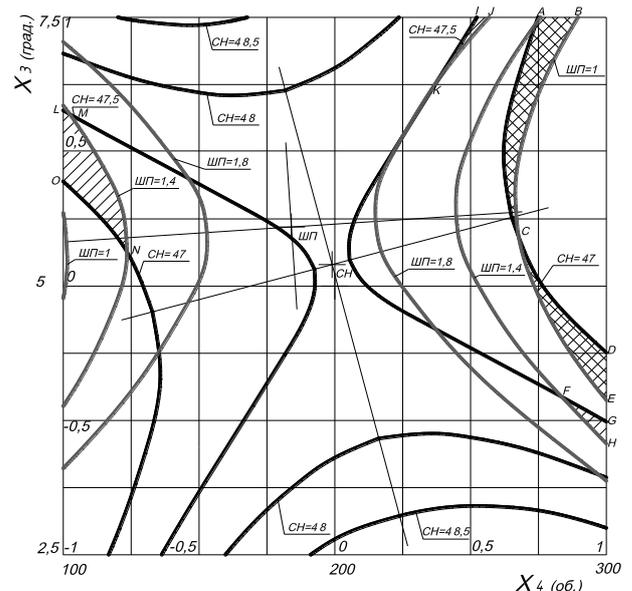


Рис. 6. Двухмерные пересечения поверхностей отклика при сочетании факторов  $X_3$  и  $X_4$  при  $X_1 = 0$ ;  $X_2 = 0$

Решение системы уравнений дало координаты центров поверхностей отклика:

для шероховатости поверхности:  $X_3 = 0,22$ ;  $X_4 = - 0,16$ ;  $\alpha = 3,81^\circ$ ;  $Y_S = 1,89$ ;

для степени наклепа:  $X_3 = 0,08$ ;  $X_4 = - 0,01$ ;  $\alpha = 14,8^\circ$ ;  $Y_S = 47,50$ .

На рис. 6 приведены результаты, полученные для уравнений (3) и (4), из которых видно, что зоны оптимального сочетания факторов ограничены

кривими *ШП* и *СН* в точках *A, B, C* и *C, D, E*. При этом шероховатость поверхности в обеих зонах около 1 мкм, а степень наклепа составляет 47 %, при этом угол вдавливания ролика составляет  $4^{\circ} \dots 7^{\circ}$ , а количество оборотов блока 265...300 об.

В результате проведения экспериментальных исследований с применением метода крутого восхождения выяснены оптимальные конструкторско-кинематические параметры процесса обкатывания. С помощью планирования эксперимента при оптимизации технологического процесса обкатывания канатного блока клиновым роликом получены следующие оптимальные режимы обработки: профильный радиус ролика ( $X_1$ ) 15 мм, скорость обкатывания ( $X_2$ ) 40 – 50 м/мин, оптимальный угол вдавливания ролика ( $X_3$ ) 5 град, количество оборотов блока ( $X_4$ ) 160 – 180 об.

Их оптимальное сочетание формирует качество выполнения технологического процесса поверхностного упрочнения стальных деталей обкатыванием роликами со следующими показателями: шероховатость поверхности (*ШП*) – 1...1,9; степень наклепа (*СН*) – 46,5...56 %.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Бутаков Б. И. Оптимизация параметров поверхностного упрочнения обкатыванием роликами канатных блоков с целью повышения их контактной прочности / Б. И. Бутаков, Д. Д. Марченко // Проблемы трибологии. — 2010. — № 3. — С. 99—107.
2. Б. И. Бутаков. Усовершенствование процесса чистового обкатывания деталей роликами / Б. И. Бутаков // Вестник машиностроения. — 1984. — №7. — С. 50—53.
3. Аркулис Г. Э. Измерения шероховатости поверхности с помощью реплик / Г. Э. Аркулис, М. И. Куприн, В. Д. Голев, А. М. Игонькин // Вестник машиностроения. — 1971. — № 12. — С. 48—50.

#### PILOT STUDIES OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF OBKATYVANY ROLLERS OF ROPE SHEAVES

*B.I. Butakov, D.D. Marchenko, I.M. Danilchuk.*

*The technique of pilot studies of technological process of an obkатыvaniye of rope sheaves by means of the device with a maple roller is described. Results of pilot studies during that the method of an abrupt ascension found out optimum design and kinematic parameters of the device are given.*