

**Марченко Д.Д.**Николаевский национальный  
аграрный университет,  
г. Николаев, Украина  
E-mail: marchenko\_vod@mail.ru**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЛИЯНИЯ  
ТЕХНОЛОГИИ ОБКАТЫВАНИЯ  
СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА КОНТАКТНУЮ  
ПРОЧНОСТЬ**

УДК 621.7; 621.8; 539.4

В статье приведены результаты исследований физико-механических свойств поверхностного слоя и электронно - графических исследований микроструктуры валов, после упрочнения их поверхностным пластическим деформированием с помощью обкатывания роликами. Описан механизм возникновения дислокационных ячеек в структуре зерен за счет плотности дислокаций после обкатывания. Проведено исследование технологического процесса поверхностного упрочнения стальных деталей обкатыванием роликами, а также определены конструктивно – технологические параметры устройства для обкатывания на показатели технологического процесса упрочнения канатных блоков с целью повышения их контактной прочности, что позволяет осуществить оптимизацию технологического процесса.

**Ключевые слова:** контактная прочность, износ, диффузия, поверхностное пластическое деформирование, клиновой ролик, канатный блок.

**Вступление**

Проблема повышения сопротивления контактному смятию, контактной прочности, износостойкости, которые являются важнейшими характеристиками, которые определяют надежность и долговечность деталей машин и механизмов, становится все более актуальной, поскольку постоянно растет интенсивность работы оборудования. Продолжение срока эксплуатации деталей наиболее экономически можно получить за счет улучшения свойств их поверхностного слоя. Управление свойствами поверхности можно осуществлять за счет изменения структуры металла поверхностного слоя, а также его физико-механических свойств.

Одним из эффективных и простых методов упрочнения поверхностного слоя является метод поверхностного пластического деформирования с помощью обкатывания роликами, одной из основных проблем которого является совмещение чистовой и упрочняющей обработок, позволяющее достичь максимальное улучшение структуры и свойств поверхностного слоя.

**Цель и постановка задачи**

Целью данной работы является оценка эффективности влияния обкатывания роликами стальных деталей на контактную прочность и исследования технологического процесса поверхностного упрочнения обкатыванием роликами на экспериментальной установке в лабораторных и в производственных условиях.

Для выполнения цели работы необходимо было решить следующие задачи:

- исследование влияния режимов обкатывания роликами на параметры, которые определяют качество поверхностного слоя (шероховатость покрытия, структура, субмикроструктура, микротвердость);
- исследование поверхностей на контактную прочность после обкатывания роликами с разными режимами;
- разработка способа и технологии обкатывания клиновым роликом стальных деталей;
- исследование влияния режимов работы устройства на шероховатость поверхности и степень наклепа из определения параметров и характера взаимодействия клинового ролика с обкатываемой поверхностью канатного блока;
- оценка качества выполнения технологического процесса обкатывания и испытания упрочненных стальных канатных блоков в производственных условиях.

Моделирование контактного взаимодействия при исследовании эффективности влияния обкатывания роликами, а также определение качества выполнения технологического процесса упрочнения предусматривало разработку и изготовление приборов, оснастки, а также написания для них методик проведения исследований.

Исследование остальных пунктов программы экспериментальных исследований проведено за известными методиками, которые описаны ниже.

### Изложение материалов исследований

Измерение твердости разных материалов, а именно испытание на микротвердость – это один из тонких способов механических испытаний. При испытании на микротвердость получаем характеристику материала в его микрообъеме.

Микротвердость образцов, после обкатывания с разными режимами [1, 2], было исследовано на микротвердомере ПМТ – 3 (рис. 1) согласно рекомендаций [3] но ГОСТ 9450 – 76.



Рис. 1 – Определение микротвердости образцов на микротвердомере ПМТ – 3

При определении микротвердости обкатанных образцов, были выбраны 3 метода исследований (табл. 1).

Таблица 1

#### Методы исследований при определении микротвердости образцов

№ п/п	Область применения	Короткая методика
1	Оценка микротвердости отдельных структурных составляющих сплава	Используется металлографический шлиф с выявленной травлением структурой. Отпечатки наносятся в отдельные структурные составляющие сплава со следующим их измерением и определением микротвердости
2	Оценка градиента микротвердости по толщине поверхностного слоя после поверхностного упрочнения	Используется поперечный или косой металлографический шлиф. Отпечатки наносятся от поверхности вглубь через определенные интервалы со следующим их измерением и определением микротвердости по толщине поверхностного слоя
3	Оценка разброса значений микротвердости в металле или сплаве	На исследуемой поверхности металлографического шлифа наносятся произвольно не менее 20 отпечатков со следующим их измерением, определением микротвердости и статистической обработки полученных результатов

Обработка полученных результатов осуществлялась в следующем порядке:

1. Для каждого отпечатка определялась разница измерений  $d_1 - d_2$ , мкм, а потом величина  $0,31(d_1 - d_2)$ , учитывающий коэффициент увеличения микроскопа. После измерения длины диагонали отпечатка подсчитывали число твердости как часть от деления прилагаемой нагрузки  $F$  (Н) на боковую поверхность полученного отпечатка:

$$H_{\mu} = \frac{1,854 \cdot 10^5 F}{d^2},$$

где  $d$  – длина диагонали отпечатка, мкм;

$d^2 / 1,854$  – площадь боковой поверхности полученного пирамидаидального отпечатка.

Полученные данные заносились в протокол результатов измерения отпечатков микротвердости.

2. По таблицам микротвердости определялось значение микротвердости  $H_{\mu,1,0}$  (величина нагрузки на пирамиду – 1,0 Н).

3. Вычислялось среднее значение микротвердости:

$$H_{\mu_{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{\mu_{1,0i}}}{n}.$$

4. Определяли сводную дисперсию. Среднее значение  $H_{\mu(n.z.)}$  и  $H_{\mu(u.)}$  нормально распределенных величин сравнивали с помощью  $t$  – критерия Стьюдента.

5. Все данные заносились в протокол результатов и на основе их анализа делались соответствующие выводы.

Механические и много других свойств металлических материалов зависят не только от химического состава, но и от их строения – структуры [4]. Поэтому, в ходе исследований, был проведен микроанализ, который был разделен на 3 этапа:

- приготовление шлифов (специальных образцов);
- химическое травление шлифов для выявления микроструктуры;
- исследование микроструктуры металлов и сплавов с помощью цифрового и оптического светового металлографического микроскопов.

1. Приготовления шлифов, благодаря новейшим технологическим возможностям, имели свои особенности, которые отличаются от стандартной (классической) методики.

Для исследований были изготовленные шлифы цилиндрической формы, диаметром 30 мм. Металлографические образцы для шлифов были вырезаны из стали 40 до обкатывания и после обкатывания с упрочняющим режимом.

Для этого металлографический образец для изготовления шлифа был предварительно вырезан на ручном отрезном станке Labotom - 3 «Struerus» (рис. 2), который обеспечивал резание без деформации и пережога за счет рециркуляционного охлаждения. А потом, с помощью высокоточного (позиционирование объекта с точностью до 0,01 мм) отрезного станка Minitom «Struerus» (рис. 3) с алмазным слоем дисками и охлаждение водой, выполняли прецизионное резание, которое обеспечивало высокую чистоту поверхности среза.

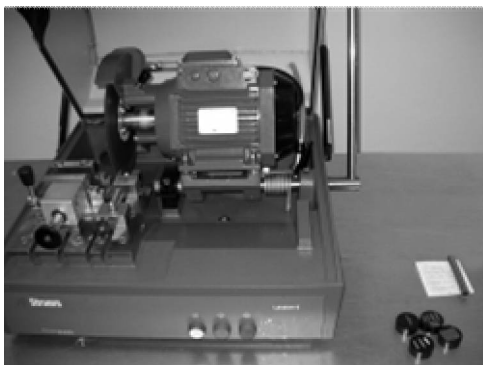


Рис. 2 – Ручной станок для предыдущего отрезания образцов Labotom – 3 «Struerus»

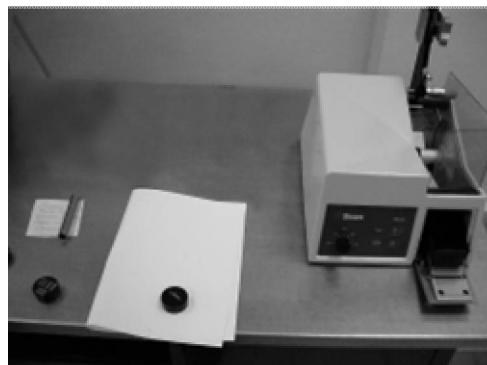


Рис. 3 – Прецизионный станок для точного отрезания образцов Minitom «Struerus»

На следующем этапе выполняли приготовление исследуемых образцов к шлифованию и полированию с целью подготовки шлифов к микроструктурному анализу. Для этого использовали автоматический электрогидравлический пресс CitoPress – 1 «Struerus» (рис. 4), что благодаря автоматическим системам дозирования смолы, регулирования усилия и определения размеров цилиндров, обеспечивало хорошую запрессовку образцов.

На заключительном этапе приготовления шлифов, использовали шлифовочно-полировочный станок LaboPol – 5 «Struerus» (рис. 5) с полуавтоматическим держателем – вращателем образцов и встроенным таймером, а также 4 перистальтическими помпами для дозирования алмазных суспензий, лубриканта и суспензий, что обеспечивало шлифование и полирование образцов (до 3-х шт.), благодаря набору абразивных шлифовочно-полировочных дисков (SiC – карбид кремния) зернистостью 80 - 120 - 180 - 220 - 320 - 500 - 800 - 1000 - 1200 - 4000.

2. Выявление микроструктуры. Шлифы после полирования промывались водой и просушивались фильтровальной бумагой.

Для выявления микроструктуры, согласно рекомендаций [5], на шлиф наносили 3 - 5 %-ый раствор азотной кислоты ( $HNO_3$ ) в этиловом спирте ( $C_2H_5OH$ ) и выдерживали до появления признака травления (до появления светломатового оттенка), потом промывали водой и сушили намочением фильтровальной бумагой.

3. Изучение микроструктуры с помощью прибора КМТ – 1 (рис. 6), который предназначен для измерения микротвердости и исследования микроструктуры образцов. Особенность данного прибора заключается в выводе результатов на ПЕОМ и автоматической обработке результатов. Измерение отпечатков, а также отображение микроструктуры осуществляется с помощью видеоустройства (увеличение в  $\times 500$  раз), подключенного к ПЕОМ и специализированному программному обеспечению со статистической обработкой и возможностью автоматического анализа изображения в соответствии со стандартами измерения твердости.



Рис. 4 – Автоматический электрогидравлический пресс CitoPress – 1 «Struerus»



Рис. 5 – Шлифовочно - полировочный станок LaboPol – 5 «Struerus»

Исследование химического распределения упрочняющих элементов с помощью микрохиманализа проводился на растровом электронном микроскопе с микрорентгеноспектральным микрохиманализатором «Superprobe - 733» фирмы «Jeol» (рис. 7).



Рис. 6 – Компьютеризованный микротвердомер КМТ – 1



Рис. 7 – Микрохиманализатор Jeol «Superprobe – 733»

Анализ результатов исследования микротвердости показали (табл. 1, [6]), что при обкатывании роликами сталей 40Х и 45 прослеживается значительное снижение микротвердости в переходной зоне между упрочненным слоем и исходным металлом. При обкатывании армкожезла такого спада не выявлено.

Предложенная идея диффузионного переноса упрочняющих химических элементов (Cr, C) из глубинных слоев на поверхность. Распределение упрочняющих химических элементов Cr и C было исследовано с помощью микрохиманализатора фирмы Jeol «Superprobe - 733». Установлено, что в переходной зоне содержимое Cr и C уменьшилось на 20 - 30 %, а в упрочненном слое увеличилось до 10 - 15 %. Аналогичные результаты получены в работах [7, 8] на поверхностях трения и при термо- и электромеханическом упрочнении сталей [9]. В этих работах в качестве основных механизмов диффузии называют температурный градиент [10] и электроперенос [11]. Поскольку в нашем случае эти механизмы являются несущественными или совсем отсутствуют, следует считать при ППД существенным механизмом диффузии – градиент плотности дислокаций [12].

Диффузия (массоперенос, который сопровождается изменением химического состава металла) элементов в металле направлена перпендикулярно к поверхности обкатывания от участков недеформированного металла, то есть по оси градиентов и в первую очередь пластической деформации, которая опережает градиент плотности дислокаций и служит дополнительной термодинамической силой, стиму-

лирующая диффузию элементов, которые входят в состав металла. Зона диффузии атомов элементов сравнима с зоной деформационного обкатывания металла.

Диффузия легирующих элементов в деформированном обкатыванием слое металла приводит к разным результатам изменения концентрации по глубине упрочненного слоя металла. Диффузионные потоки в поверхности обкатывания карбидообразующих элементов (Cr, C) приводят к тому, что самом поверхностном слое образуются дополнительно карбидная фаза с одновременным уменьшением содержанию этих элементов в матрице. В условиях деформирования, зарождения трещин и изнашивания происходит выкрашивания карбидов, которые в процессе превращения укрупняются. Уменьшение содержанию карбидообразующих элементов в поверхностном слое металла снижает эксплуатационные свойства материалов: контактная прочность, износостойкость при сухом и предельном трении, коррозионная стойкость, стойкость, против фреттинга облегчает условия фазовых переходов в железоуглеродистых сплавах ( $\alpha - \gamma$ ), то есть является крайне негативным явлением. При накоплении (увеличении) атомов элементов (Cr, C), физико - механические свойства поверхностных слоев металла – коррозионная стойкость, контактная прочность металлической основы (твердого раствора) – повышается и это способствует улучшению антифрикционных свойств материалов. Выходя из концепций процессов массопереноса, который происходит при обкатывании, можно разработать наиболее действенные системы легирования стальных деталей, которые будут в зависимости от условий работы показывать свои максимальные эксплуатационные показатели.

Микроструктура образцов, изготовленных с разных валов до поверхностного наклепа, была одинаковой. Она состоит из перлитных зерен, окруженных доэвтектоидным ферритом (рис. 8, а). После обкатывания изменения в микроструктуре на оптически - цифровых микрофотографиях удалось выявить только в поверхностных слоях вала, обкатанного роликом (рис. 8, б). Они заключались в значительном удлинении в круговом направлении как ферритных, так и перлитных зерен.

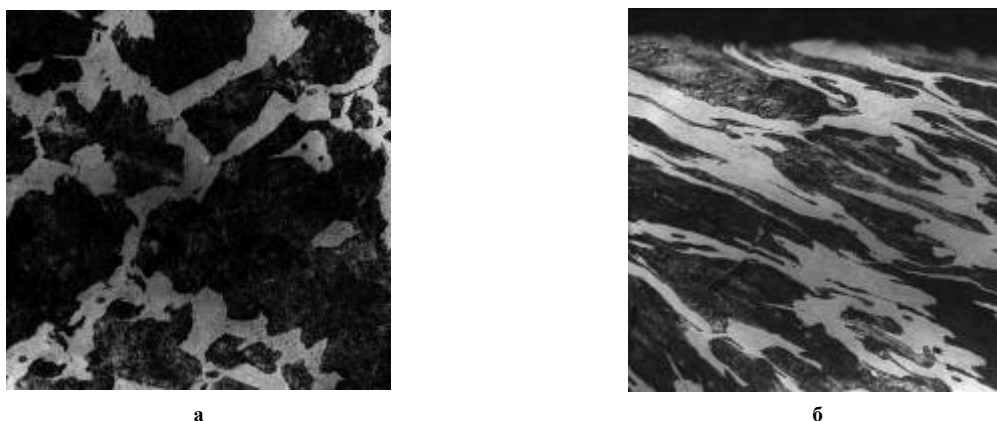


Рис. 8 – Микроструктура образцов поверхностного слоя из стали 40:  
а – до обкатывания;  
б – после обкатывания (прибор КМТ – 1, x500)

Исследование технологического процесса поверхностного упрочнения стальных деталей обкатыванием роликами.

Создание способов и технологий, которые могут быть применены для упрочнения и повышения износостойкости, контактной прочности деталей путем поверхностной пластической деформации, является актуальным. В рамках научно-исследовательской работы результаты экспериментальных исследований по влиянию обкатывания роликами на долговечность стальных деталей, работающих при контактом смятии, проверенные в производственных условиях при работе канатных блоков со стальными канатами [13].

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

Для проведения исследований технологического процесса поверхностного упрочнения канатных блоков с помощью обкатывания роликов использовали экспериментальное устройство (рис. 9), которое содержит роликовый узел и рычажный силовой пружинный механизм поджатия ролика к детали, установленный в корпусе устройства. Ролик устройства для обкатывания сделан 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 сделана с переменной кривизной.

Рычажный силовой пружинный механизм установлен с клиновым роликом на подшипниках качения. При установлении подшипников скольжения при технологическом процессе 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 через биение профиля клинового ролика, будут то вычитаться из силы пружины, то складываться с ней, в зависимости от направления перемещения оси ролика. Как показали исследования, колебание усилия обкатывания составляют в этом случае до 45 % [14], что и приведет к появлению волнистости на боковых конических поверхностях ручья канатного блока.

Технологический процесс обкатывания устройством с клиновым роликом проводился на универсальном токарно-винторезном станке 1К65 (рис. 10), потому регулирование таких параметров как скорость обкатывания и количество оборотов блока контролировалось на станке при соответствующей настройке. Угол наклона ручья профиля и отклонения формы ручья профиля блока измерялся с помощью индикатора. Для отслеживания влияния обкатывания на качество поверхности и на степень упрочнения изготавливались переменные клиновые ролики с разным углом вдавливания и профильным радиусом.

Ход протекания технологического процесса обкатывания клиновым роликом канатных блоков на экспериментальном оборудовании снимали на видеокамеру (Panasonic SDR – S26) со следующим кадровым изучением.

Канатный блок 2 (рис. 10) одной стороной устанавливали отверстием под подшипники в ступице в патрон станка и зажимали ее, другую сторону ступицы – с помощью специальной оправки 3 поджимали задней бабкой универсального токарно-винторезного станка 4. Устройство 1 квадратным концом кронштейна закрепляли в резцедержатель суппорта станка. Перемещением суппорта станка 4 ролик вводили в ручей канатного блока 2 так, чтобы он своей узкой частью рабочего профиля коснулся впадины ручья канатного блока 2. Усилие на ролике можно устанавливать двумя способами: с помощью вращения гайки тяги устройства 1, чтобы сжать пружину на необходимую величину (при сжатии пружины на 3,5 мм усилия на ролике составляет 1 кН), а также с помощью станка 4, через ручное перемещение поперечной салазки рукоятки суппорту, на котором установлено устройство.



Рис. 9 – Экспериментальное устройство для обкатывания канатных блоков клиновым роликом

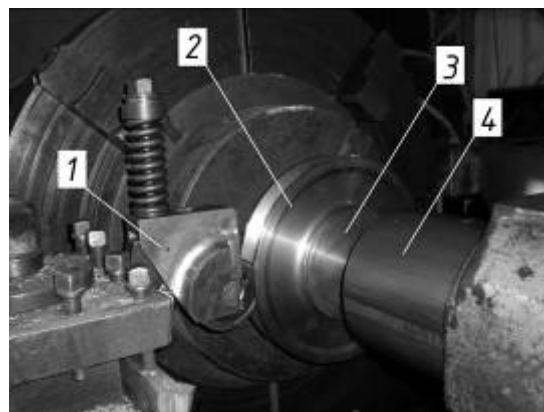


Рис. 10 – Общий вид экспериментального оборудования:  
1 – устройство для обкатывания канатных блоков;  
2 – канатный блок;  
3 – оправка;  
4 – токарный станок

Обкатываемую поверхность блока 2 мажут машинным маслом и включают вращение блока 2 со скоростью 40 - 50 м/мин.

При вращении канатного блока 2 и ролика устройства для обкатывания канатных блоков 1 рабочие поверхности (торцы) ролика оставляют 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 деформированной.

Усилие на ролике колеблется в пределах  $\pm 5\%$ , так как сила трения на оси рычага (балансира) имела, через малый коэффициент трения  $f_k$  в подшипниках качения 8 - 10 ( $f_k$  не больше 0,008). Этим

обеспечивается равномерная деформация поверхностного слоя ручья блока. После этого, чтобы исключить контакт ролика устройства 1 с канатным блоком 2, с помощью вращения гайки тяги или ручным перемещением поперечной салазки рукоятки суппорта, выключали вращение блока и перемещением суппорта выводили ролик из ручья.

Для определения показателей параметров оптимизации при влиянии факторов на технологический процесс обкатывания использовали соответствующее оборудование.

Степень наклепа измеряли и определяли после обкатывания с помощью универсального интегрального динамического твердомера ТИМЕ Hardness Tester ТН130 (рис. 11), что обеспечивает высокую точность и широкий диапазон измерения, а также подсоединение к ПЕОМ.

Для определения шероховатости рабочей поверхности после обкатывания канатного блока была использована следующая методика.

До обкатывания шероховатость поверхности канатного блока была сравнена с помощью образцов шероховатости ОШ (ГОСТ 9378 – 93, изготовленных в соответствии с требованиями ГОСТ 2789 – 73) с применением лупы. После обкатывания с одними значениями параметров обкатывания при влиянии факторов на технологический процесс в профиль канатного блока заливалась самотвердеющая пластмасса на основе акриловых смол «ПРОТАКРИЛ – М», таким образом делались реплики [15]. Рабочую поверхность профиля блока в местах снятия реплик обезжиривали ацетоном. После высыхания пасты (время полимеризации 25 - 30 мин. при температуре 35 - 40 °С), реплика была сошлифована одной стороной.

Для измерения в лабораторных условиях шероховатости и волнистости обкатанной поверхности использовали профилограф-профилометр тип А1 (ГОСТ 19299 – 73 и ГОСТ 19300 – 73) модель 252, завода «Калибр» (рис. 12) и по профилограммам определялись основные геометрические характеристики поверхности без разрушения образцов.

Реплику устанавливали на профилограф-профилометр М – 252 и проводили измерение шероховатости. Применение реплик по данной методике обеспечивает измерение шероховатости с большой точностью и удобством. Погрешность определения шероховатости поверхности при данной методике, по сравнению с натурной, составляет не больше 8 %.



Рис. 11 – Измерение твердости профиля канатного блока после обкатывания для определения степени наклепа



Рис. 12 – Профилограф-профилометр М – 252

В ходе экспериментальных исследований проведенный анализ экспертной оценки («психологический эксперимент») и их статистической обработки позволили сделать вывод о наибольшем влиянии на ход и качество выполнения технологического процесса следующих четырех факторов: угла вдавливания ролика; профильный радиус ролика; количество оборотов блока; скорость обкатывания. В результате чего использовался трехуровневый, четырех факторный план Бокса 2-го порядка для проведения эксперимента [13].

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

Уравнения регрессии имеют вид:

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

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

В результаті проведення експериментальних досліджень методом крутого восхождення виявлені оптимальні конструкторсько-кінематичні параметри. С допомогою планування експеримента при оптимізації технологічного процесу обкатування канатного блоку клиновим роликотом отримані наступні оптимальні режими обробки: профільний радіус ролика ( $X_1$ ) 15 мм, швидкість обкатування ( $X_2$ ) 40 - 50 м/мін., оптимальний кут вдавлювання ролика ( $X_3$ ) 5 град, кількість оборотів блоку ( $X_4$ ) 160 - 180 об.

Іх оптимальне поєднання формує якість виконання технологічного процесу поверхностного упрочнення сталених деталей обкатуванням роликотами в показателях: шерохватості поверхності ( $ШП$ ) – 1 ... 1,9 і ступені наклепа ( $CH$ ) – 46,5 ... 56 %.

### Висновки

1. Досліджена дифузія хімічних елементів поверхностного шару в процесі поверхностного деформування з допомогою мікрочиманаліза на мікрочиманалізаторі фірми Jeol «Supergrope – 733» і аналізом змінення мікротвердості упрочненого поверхностного шару. Установлено, що в перехідній зоні вміст Сг і С зменшилось на 20 - 30 %, а в упрочненому шарі збільшилось до 10 - 15 %.

2. Межа текучості наклепаного шару зростає в більшій мірі, ніж твердість (100 - 130 % проти 20 - 60 %). Благодаря цьому по зміні текучості більш чітко визначається межа деформованого шару по витягуванню зерен в напрямленні обкатування.

3. Як показали мікроструктурні дослідження, упрочнення поверхностних шарів при обкатуванні зразків роликотом в основному пов'язано з виникненням дислокаційних ячеєк в структурі зерен надлишкового ферриту. Меншу деформацію відчувають ферритні пластинки перліта.

4. Збільшення ступені наклепа при обкатуванні роликотом проявляється в більшій густоті дислокацій і зменшенні розміру ячеєк в субструктурі ферритних зерен, а також в більшій густоті дислокацій в ферритних пластинках перліта. В окремих районах відбувається вигин і розлом цементитних пластинок, які свідчать про граничну ступінь пластичної деформації поверхностного шару. Це підтверджується початком лущення поверхності, обкатаної роликотом.

5. Створений комплекс лабораторних приладів для експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей сталених деталей складної форми, які працюють під контактної навантаженням, в т. ч. канатного блоку, таких як ступінь наклепа робочої поверхності і шерохватості обкатаної поверхності. Це забезпечує отримання коректних показателів технологічного процесу упрочнення на розробленому пристрої з клиновим роликотом.

6. Визначення механіко-технологічних властивостей обкатаних канатних блоків з допомогою пристрою з клиновим роликотом, таких як кут вдавлювання і профільний радіус клинового ролика, кількість оборотів сталеного канатного блоку і швидкість обкатування дали можливість узгодити можливі межі варіювання основних конструктивно - технологічних режимів упрочнення пропонуваного пристроєм і визначитися з формою клинового ролика. В результаті проведення експериментальних досліджень виявлені оптимальні конструкторсько - кінематичні параметри.

7. Проведені експериментальні дослідження довели адекватність результатів фізичного і математичного моделювання процесів, які відбуваються в час обкатування робочої поверхності канатного блоку клиновим роликотом. Це дозволяє рекомендувати розроблені математичні моделі для використання при упрочненні сталених деталей.

### Література

1. Бутаков Б. І. Дослідження ступеня зміцнення та дифузії хімічних елементів в поверхневому шарі в процесі поверхневого деформування / Б. І. Бутаков, Д. Д. Марченко // Матеріали II-ої Міжнародної студентів і молодих учених науково-практичної конференції «Перспективна техніка і технології – 2006». – Миколаїв. – С. 113-116.



2. Бутаков Б. И. Влияние поверхностной пластической деформации на степень упрочнения и диффузию химических элементов в поверхностном слое / Б. И. Бутаков, Д. Д. Марченко // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Сборник научных трудов. – Харьков : Северо-восточный научный центр. Транспортная академия Украины, 2009. – Выпуск 46. – С. 17-21.
3. Паршев С. Н. Микротвердость материалов: Методические указания к лабораторной работе / С. Н. Паршев, Н. Ю. Положенко. – Волгоград : ВолгГТУ, 2004. – 15 с.
4. Самохоцкий А. И. Лабораторные работы по металловедению: Учебное пособие для техникумов / А. И. Самохоцкий, М. Н. Кунявский. – М. : Машиностроение. – 184 с.
5. Жарков В. Я. Материаловедение. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Микроанализ металлов и сплавов: методические указания к выполнению и оформлению лабораторной работы №1 для студентов всех специальностей и форм обучения / В. Я. Жарков, В. П. Мельников. – Брянск : БГТУ, 2007. – 15 с.
6. Бутаков Б.И. Повышение контактной прочности стальных деталей с помощью поверхностного пластического деформирования / Б.И. Бутаков, Д.Д. Марченко // Проблеми трибології. – 2008. – № 1. – С. 14 - 23.
7. Рыбакова Л. М. Структура и износостойкость металла / Л. М. Рыбакова, Л. И. Куксенова. — М. : Машиностроение, 1982. – 212 с.
8. Марковский Е. А. Научные предпосылки создания новых износостойких литых материалов с высокими эксплуатационными свойствами / Е. А. Марковский // Прогрессивные технологии литья и кристаллизации сплавов. – 1983. – С. 43-57.
9. Бабей Ю. И. Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна / Ю. И. Бабей. — К. : Наукова думка, 1988. – 240 с.
10. Бокштейн Б. С. Диффузия в металлах / Б. С. Бокштейн. – М. : Металлургия, 1978. – 248 с.
11. Кузменко П. П. Электроперенос, термперенос и диффузия в металлах / П. П. Кузменко – К. : Вища школа, 1983. – 152 с.
12. Бутаков Б.И. Основные принципы технологии импульсного и малоскоростного воздействия на структуру и свойства металлов и сплавов: дис. на соискание ученой степени доктора техн. наук: 05.02.01 / Бутаков Борис Иванович. – К., 1992. – 533 с.
13. Бутаков Б. И. Оптимизация параметров поверхностного упрочнения обкатыванием роликами канатных блоков с целью повышения их контактной прочности / Б. И. Бутаков, Д. Д. Марченко // Проблеми трибології. – 2010. – № 3. – С. 99-107.
14. Б. И. Бутаков. Усовершенствование процесса чистового обкатывания деталей роликами / Б. И. Бутаков // Вестник машиностроения. – 1984. – №7. – С. 50-53.
15. 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.

Поступила в редакцию 18.04.2017

**Marchenko D.D. Experimental studies of the effectiveness of the influence of the technology of lining the steel parts on contact strength.**

The results of investigations of the physical and mechanical properties of the surface layer and electron-graphical studies of the microstructure of the shafts are given in the article, after hardening by surface plastic deformation by rolling by rollers. A mechanism is described for the appearance of dislocation cells in the grain structure due to the dislocation density after rolling. The study of the technological process of surface hardening of steel parts by rolling with rollers, as well as certain design and technological parameters of the device for rolling over the indicators of the technological process of hardening of cathode blocks with the purpose of increasing their contact strength, which allows to optimize the technological process.

The set of laboratory instruments for experimental studies of the physical and mechanical properties of complex shaped steel parts that work under a contact load, including a cable block, such as the degree of hardening of the working surface and the roughness of the rolled surface. The increase in the degree of cold work during roller rolling manifests itself in a greater density of dislocations and a decrease in the size of the cells in the substructure of ferrite grains, as well as in a denser network of dislocations in perlite ferritic plates. The conducted experimental researches have proved the adequacy of the results of physical and mathematical modeling of the processes that occur during the rolling of the working surface of the cable block with a wedge roller.

**Key words:** contact strength, wear, diffusion, surface plastic deformation, wedge roller, rope block.

### References

1. Butakov B. I. Doslidzhennja stupenja zmicnennja ta difuzii himichnih elementiv v poverhnevomu shari v procesi poverhneвого deformuvannja. B. I. Butakov, D. D. Marchenko. Materiali II-oї Mizhnarodnoї studentiv i molodih uchenih naukovopraktichnoї konferencii «Perspektivna tehnika i tehnologii. 2006». Mikolaiv. S. 113-116.
2. Butakov B. I. Vlijanie poverhnostnoj plasticheskoj deformacii na stepen' uprochnenija i diffuziju himicheskijh jelementov v poverhnostnom sloe. B. I. Butakov, D. D. Marchenko. Vestnik Har'-kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. Sbornik nauchnyh trudov. Har'kov : Severo-vostochnyj nauchnyj centr. Transportnaja akademija Ukrainy, 2009. Vypusk 46. S. 17-21.
3. Parshev S. N. Mikrotverdost' materialov: Metodicheskie ukazanija k laboratornoj rabote. S. N. Parshev, N. Ju. Polozenko. Volgograd. VolgGTU, 2004. 15 s.
4. Samohockij A. I. Laboratornye raboty po metallovedeniju: Uchebnoe posobie dlja tehniku-mov. A. I. Samohockij, M. N. Kunjavskij. M. Mashinostroenie. 184 s.
5. Zharkov V. Ja. Materialovedenie. Materialovedenie i tehnologija konstrukcionnyh materia-lov. Mikroanaliz metallov i splavov: metodicheskie ukazanija k vypolneniju i oformleniju laboratornoj raboty №1 dlja studentov vseh special'nostej i form obuchenija. V. Ja. Zharkov, V. P. Mel'nikov. Brjansk. BGTU, 2007. 15 s.
6. Butakov B.I. Povyshenie kontaktnoj prochnosti stal'nyh detalej s pomoshh'ju poverhnostnogo plasticheskogo deformirovanija. B.I. Butakov, D.D. Marchenko. Problemi tribologii. 2008. № 1. S. 14 - 23.
7. Rybakova L. M. Struktura i iznosostojkost' metalla. L. M. Rybakova, L. I. Kuksenova. M. Mashinostroenie, 1982. 212 s.
8. Markovskij E. A. Nauchnye predposylki sozdanija novyh iznosostojkijh lityh materialov s vysokimi jekspluatacionnymi svojstvami. E. A. Markovskij. Progressivnye tehnologi lit'ja i kri-stallizacii splavov. 1983. S. 43-57.
9. Babej Ju. I. Fizicheskie osnovy impul'snogo uprochnenija stali i chuguna. Ju. I. Babej. K. : Naukova dumka, 1988. 240 s.
10. Bokshtejn B. S. Diffuzija v metallah. B. S. Bokshtejn. M. Metallurgija, 1978. 248 s.
11. Kuzmenko P. P. Jelektroperenos, termoperenos i diffuzija v metallah. P. P. Kuzmenko. K. Vishha shkola, 1983. 152 s.
12. Butakov B.I. Osnovnye principy tehnologii impul'snogo i maloskorostnogo vozdejstvija na strukturu i svojstva metallov i splavov: dis. na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehn. nauk: 05.02.01. Butakov Boris Ivanovich. K., 1992. 533 s.
13. Butakov B. I. Optimizacija parametrov poverhnostnogo uprochnenija obkatyvaniem rolkami kanatnyh blokov s cel'ju povyshenija ih kontaktnoj prochnosti / B. I. Butakov, D. D. Marchenko. Problemi tribologii. 2010. № 3. S. 99-107.
14. B. I. Butakov. Uovershenstvovanie processa chistovogo obkatyvannja detalej rolkami. B. I. Butakov. Vestnik mashinostroenija. 1984. №7. S. 50-53.
15. Arkulis G. Je. Izmerenija sherohovatosti poverhnosti s pomoshh'ju replik. G. Je. Arkulis, M. I. Kuprin, V. D. Golev, A. M. Igon'kin. Vestnik mashinostroenija. 1971. № 12. S. 48-50.