The cover features a dark background with a diagonal split. The top-left section is dark red and contains the title in gold text. The top-right section shows a close-up of a gear mechanism with a laser beam. The bottom-left section shows a metal part being machined with a tool, producing sparks. A large, bright, conical laser beam is centered in the lower half of the cover.

**ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА,
ВОССТАНОВЛЕНИЯ
И УПРОЧНЕНИЯ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН,
МЕХАНИЗМОВ,
ОБОРУДОВАНИЯ,
ИНСТРУМЕНТА И
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ОСНАСТКИ**

Часть 2

**МАТЕРИАЛЫ
10-й МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
15 – 18 апреля 2008 г.**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2008**

ПОВЫШЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ПРОЧНОСТИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

БУТАКОВ Б.И.

Николаевский государственный аграрный университет
Николаев, Украина

В статье описаны способ и технология обкатывания клиновым роликом рабочего профиля канатных блоков с целью снижения смятия канатами их поверхностного слоя. Представлены результаты исследования диффузии химических элементов *Cr* и *C* из основного металла в поверхностный слой в процессе поверхностного пластического деформирования.

In of the the article and method and technology of rolling of working type of rope blocks and wedge roller is described with the purpose of decline of crumpling the ropes of their superficial layer. The results of research of diffusion of chemical elements of *Cr* and *C* are presented from and parent metal in and superficial layer in the process of superficial plastic deformation.

Детали, воспринимающие контактные нагрузки, относятся к наиболее ответственным элементам машин. Прочность таких деталей часто определяет надежность работы узла или машины в целом. Значительные рабочие усилия при наличии перекосов сопрягаемых деталей нередко приводят к смятию («подбивке») рабочих поверхностей, искажению их формы, изменению расчетных зазоров между деталями. В результате этого сокращается долговечность работы узла. В таких условиях работают, например, канатные блоки при разбивке поверхности их рабочего профиля канатами, валы, на которые установлены подшипники качения.

Применение термических или химико-термических методов упрочнения при изготовлении крупных деталей ограничено их габаритными размерами и массой. Наиболее простым и доступным, а часто и единственно возможным методом упрочнения таких деталей, является обработка поверхностей холодным пластическим деформированием [1]. В статье представлены результаты исследования влияния поверхностного упрочнения обкатыванием роликами на контактную прочность сталей 20, 25Л, 35Л, 40 и 34ХН1М, работающих в условиях контактного смятия вблизи кромки.

Для испытаний использовали стандартную машину износа МИ и карусельный станок. При обычном использовании испытательных машин с параллельными осями вращения цилиндрических или конических роликов необходимым условием является полное прилегание контактирующих поверхностей. Для воспроизведения условий работы материала при кромочном контакте была предложена новая методика испытаний.

Цилиндрический ролик-образец контактировал с коническим роликом-эталоном с углом при вершине $\alpha = 4^\circ$. Величина угла выбрана из условий возможных перекосов реальных деталей машин при эксплуатации. В процессе испытания смятие кромки приводит к образованию на цилиндрической поверхности испытуемого ролика-образца фаски, ширина которой обратно пропорциональна способности материалов сопротивляться смятию и измерялась с помощью отсчетного микроскопа МПБ-2 с точностью 0,05 мм без снятия образца с машины после ее остановки. Эталонные конические ролики изготовлялись из стали ХВГ с твердостью *HRC* 58-62.

Принятый угол $\alpha/2 = 2^\circ$ обеспечивался шлифованием и выполнялся для серии образцов при одной настройке шлифовального станка. Ролики-образцы изготовлялись из сталей 20, 25Л, 35Л, 40 и 34ХН1М. Для образцов из сталей 20, 40 и 34ХН1М использовался прокат в состоянии поставки, а заготовки для образцов из сталей 25Л и 35Л вырезали из отливок после их термообработки.

Обкатывались образцы на токарном станке однороликовым (диаметр ролика равен 60 мм) пружинным приспособлением при скорости 12 м/мин за один проход. Режимы обкатывания роликами выбирались по методике, описанной в работе [1].

Перед испытаниями образцы подвергались металлографическому исследованию для определения микроструктуры. Структура сталей 20, 25Л и 40 представляет собой перлит на ферритной основе. В результате обкатывания зерна имеют вытянутую форму (волокистость). Вблизи поверхности отчетливо видны следы пластической деформации. Структура стали 34ХН1М – сорбит и продукты распада аустенита во второй степени без заметных следов пластической деформации. Этим объясняется незначительное повышение твердости таких образцов после упрочнения.

Твердость образцов измерялась по методу Виккерса прибором ХПО-250 при нагрузке 0,10 кН на их торцовых поверхностях после тонкой доводки. Ниже приведены относительное повышение поверхностной твердости и глубина распространения пластической деформации.

Марка стали	20	25Л	25Л	35Л
Усилие обкатывания в кН	12,00	12,00	1,20	10,00
Поверхностная твердость <i>HV</i> 10:				
исходная	158	151	151	188
после обкатывания роликами	235	266	198	272
Относительное повышение				

твердости в %	48	76	31	45
Глубина распространения пластической деформации:				
расчетная	4,4	4,47	1,41	3,9
фактическая	5,0	6,0	1,76	4,4
Марка стали	35Л	40	40	34ХН1М
Усилие обкатывания в кН	1,80	8,00	0,50	12,00
Поверхностная твердость <i>HV</i> 10:				
исходная	188	200	200	366
после обкатывания	232	253	236	405
Относительное повышение твердости в %	22	27	18	11
Глубина распространения пластической деформации:				
расчетная	1,64	3,27	0,82	2,32
фактическая	2,3	4,0	0,9	3,0.

Наибольшее относительное повышение твердости наблюдается у сталей, имеющих ферритно-перлитную структуру. Испытания проводились в условиях фрикционного качения при ведущем ролике-эталоне. Скорость вращения ролика-образца 31,4 м/мин (200 циклов в минуту); усилие на образце 1,00 кН; смазка – машинным маслом. За критерий оценки контактной прочности образцов на смятие кромки принято количество циклов испытаний, при котором ширина контактного пояска достигает заданной величины.

Испытания заканчивались при достижении ширины пояска 5,5 мм не менее чем в трех измеряемых точках. Результаты испытаний образцов, обкатанных с различными режимами и числом циклов *N*, приведены на рис. 1. Образцы, обкатанные с чистовым режимом (кривые 3, 5 и 7), показывают незначительное повышение их контактной прочности на смятие по сравнению с необкатанными. Это объясняется малым повышением твердости таких образцов и недостаточной глубиной распространения пластической деформации. Образцы, обкатанные с упрочняющим режимом, показали значительное повышение долговечности при работе на смятие по сравнению с неупрочненными. Очевидна связь эффективности упрочнения образцов с приростом их твердости при обкатывании. Так, образцы из стали 25Л (рис. 1, б), получившие наибольший прирост твердости, показали повышение долговечности в 4 раза, а образцы из стали 40 (рис. 1, а) – с меньшим приростом твердости – только в 1,9 раза.

Особенно высокий эффект упрочнения обкатыванием роликами наблюдается у литых сталей 25Л и 35Л и низкоуглеродистой стали 20, что обуславливается повышением

прочности и твердости преобладающего в их структуре феррита. У литых сталей этот эффект увеличивается за счет уменьшения при упрочнении литейных пор и раковин. Незначительный эффект упрочнения для стали 34ХН1М (рис. 1, д) можно объяснить высокой исходной твердостью ($HV\ 329$) и мелкозернистой сорбитной структурой, не чувствительной к наклепу. Эта структура была получена в результате термической обработки стали.

При испытании образцов на машине износа МИ наружные поверхности вращения контактируют, тогда как в большинстве реальных случаев внутренние кромки втулок сминаются из-за перекоса более твердых валов. Испытания упрочненных раскатыванием роликами образцов-втулок из сталей 25Л и 34ХН1М были проведены на карусельном станке в условиях, близких к условиям эксплуатации валов и корпусов.

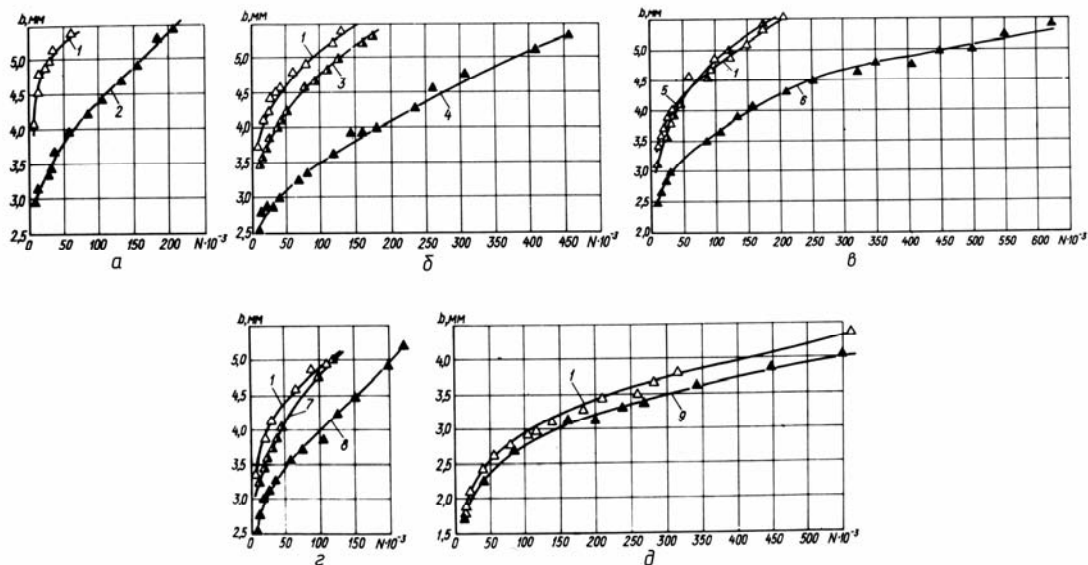


Рисунок 1 - Результаты испытания образцов на машине износа МИ: а - из стали 20; б - из стали 25Л; в - из стали 35Л; г - из стали 40; д - из стали 34ХН1М; 1 - без обкатывания; 2 - обкатанный с усилием $P = 12,00$ кН, профильный радиус ролика $r_p = 5$ мм, подача $s = 0,15$ мм/об; 3 - $P = 1,20$ кН, $r_p = 16$ мм, $s = 0,23$ мм/об; 4 - $P = 12,00$ кН, $r_p = 5$ мм, $s = 0,15$ мм/об; 5 - $P = 1,80$ кН, $r_p = 20$ мм, $s = 0,34$ мм/об; 6 - $P = 10,00$ кН, $r_p = 5$ мм, $s = 0,15$ мм/об; 7 - $P = 0,50$ кН; $r_p = 5$ мм, $s = 0,07$ мм/об; 8 - $P = 8,00$ кН, $r_p = 5$ мм, $s = 0,15$ мм/об; 9 - $P = 12,00$ кН, $r_p = 8$ мм, $s = 0,15$ мм/об.

Ниже приведены данные по относительному повышению поверхностной твердости после раскатывания и глубине распространения пластической деформации:

Марка стали.....	25Л	34 ХН1М
Поверхностная твердость, $HV\ 10$:		
исходная.....	148	207
после упрочнения.	215	248
Относительное повышение		

твердости в %.....	45	19
Глубина распространения пластической деформации	в мм:	
расчетная.....	12,7	6,7
фактическая.....	13,5	7,0

В кулачках карусельного станка закрепляется образец, а в резцедержателе – эталонный цилиндрический ролик, установленный в пружинящем корпусе требуемой жесткости. Прикладываемая нагрузка определяется прогибом корпуса и контролируется закрепленным на нем индикатором. Испытания проводились при усилии на ролике 20,80 и 30,00 кН и частоте вращения планшайбы 50 об/мин, со смазкой машинным маслом.

Перекося деталей для создания кромочного контакта в данном случае имитируют наклоном оси ролика относительно образующей втулки на 2°. После каждого испытания приспособление с роликом выводят из втулки. Внутри втулки на специальной подставке устанавливают бинокулярный микроскоп МБС-1 для измерения ширины контактного пояса. Эффективность упрочнения оценивается по ширине контактного пояса на упрочненном образце по сравнению с неупрочненным при равном количестве циклов.

Результаты испытаний представлены на рис. 2. Наибольшая скорость расширения контактного пояса наблюдается в течение первых $4,5 \times 10^3$ циклов в минуту, когда напряжения в зоне контакта особенно высоки. Затем ширина стабилизируется или изменяется незначительно. Ниже приведено относительное уменьшение деформации образцов в зависимости от числа циклов и нагрузки при испытании.

Марка стали	25Л	25Л	25Л	25Л
Количество циклов	$4,5 \times 10^3$	$4,5 \times 10^3$	35×10^3	35×10^3
Нагрузка при испытании кН	20,80	30,00	20,80	30,00
Ширина пояса в мм:				
без упрочнения	11,2	15,0	13,3	16,8
с упрочнением	9,8	11,7	10,7	12,1
Относительно уменьшенная деформация в %	14	28	24	39
Марка стали	34 ХН1М	34 ХН1М	34 ХН1М	34 ХН1М
Количество циклов	$4,5 \times 10^3$	$4,5 \times 10^3$	35×10^3	35×10^3
Нагрузка при испытании в кН	20,80	30,00	20,80	30,00
Ширина пояса в мм:				
без упрочнения	6,7	8,4	8,0	10,2
с упрочнением	6,0	7,2	7,3	9,4
Относительно уменьшенная деформация в %	12	17	10	8

Эффективность упрочнения стали 25Л (по принятому критерию) повышается с увеличением нагрузки и числа циклов испытаний (рис. 2, а), тогда как у стали 34ХН1М (рис. 2, б) при увеличении числа циклов испытаний с $4,5 \times 10^3$ до 35×10^3 при нагрузке 30,00 кН эффективность несколько снизилась (с 17 до 8%). Это объясняется предельным наклепом такой стали в ходе самих испытаний. При оценке эффективности упрочнения деталей в эксплуатации следует учитывать, что даже незначительное уменьшение деформации зоны контакта (в пределах 10-20%) многократно увеличивает их долговечность. Так, для стали 25Л при нагрузке испытаний 30,00 кН ширина контактного пояска

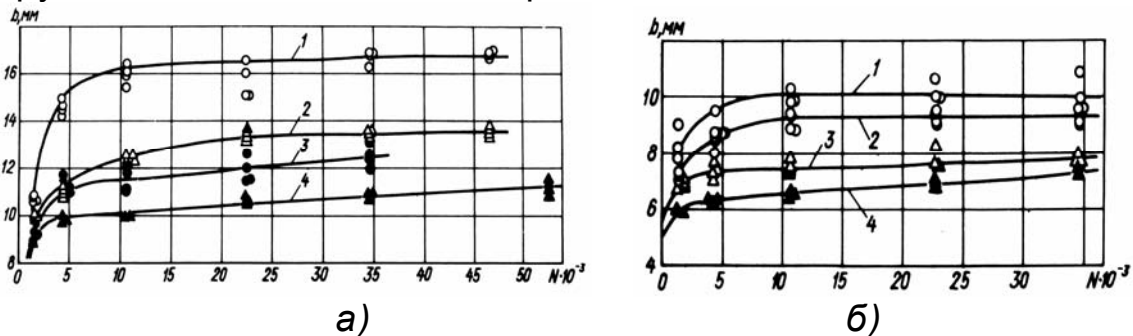


Рисунок 2 - Результаты испытаний образцов-втулок на карусельном станке: а – сталь 25Л; б – сталь 34ХН1М; 1 – без обкатывания, усилие при испытании 30,00 кН; 2 – то же, 20,80 кН; 3 – раскатанных, усилие при испытании 30,00 кН; 4 – то же, 20,80 кН.

упрочненной втулки через 35 тыс. циклов составляет 12 мм (рис. 2, а), неупрочненная втулка уже через 2,5 тыс. циклов имеет такую же деформацию, т.е. долговечность упрочненной поверхности возрастает в 14 раз. Аналогичная зависимость наблюдается и для стали 34ХН1М.

Проведенные исследования показали, что обкатывание роликами поверхностей, работающих на смятие, является эффективным средством повышения их долговечности. Особенно высок эффект упрочнения литых сталей, деформация которых сопровождается устранением несовершенств их структуры (пор, раковин и т.п.), которые часто бывают в поверхностном слое канатных блоков и корпусных деталей.

Для оценки степени упрочнения сталей с помощью обкатывания роликами образцы из сталей 40, 45 и армкожелеза были обкатаны на токарном станке с помощью устройства с торообразным роликом. Профильный радиус ролика r_p был принят равным 2,5 мм и 5 мм. Средний угол вдавливания ролика φ в зависимости от усилия обкатывания P изменяется для разных образцов в пределах от $2,5^\circ$ до 5° , а также $\varphi = 10^\circ$, для того чтобы превысить рекомендуемый для совмещенного чистового и

упрочняющего обкатывания $\varphi = 5^0$ и получить значительную степень деформации металла. Обкатыванию подвергались конические образцы диаметром 200 мм. С целью моделирования процесса обкатывания роликом боковой поверхности ручья канатного блока, образующая которой составляет с перпендикуляром к оси вращения блока угол $22,5^0$, угол α_m у основания конуса образцов равен $75^045'$.

Величина угла α_m определена из условия равенства окружного проскальзывания на поверхности контакта ролика с деталью при обкатывании профиля канатного блока и конусной модели.

После обкатывания с разными режимами (см. табл. 1) образцы разрезались и в поперечном сечении измерялась микротвердость H_μ с нагрузкой на пирамиду 1,0 Н. Распределение микротвердости H_μ по глубине 4-х образцов показано на рис. 3.

На графиках (рис. 3, б - г) для стальных образцов из сталей 45 и 40Х выявлено снижение микротвердости $H_{\mu(n.z.)}$ в переходной зоне между упрочненным слоем и исходным металлом, микротвердостью $H_{\mu(u.)}$. Средние значения $H_{\mu(n.z.)}$ и $H_{\mu(u.)}$ нормально распределенных величин сравним с помощью t -критерия Стьюдента [2, 3].

Для этого определяем сводную дисперсию

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

и

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2)$$

где n_1, n_2 - число замеров H_μ в переходной зоне и в исходном металле соответственно;

S_1^2, S_2^2 - дисперсии значений $H_{\mu(n.z.)}$ и $H_{\mu(u.)}$ соответственно;

\bar{x}_1, \bar{x}_2 - средние значения $H_{\mu(n.z.)}$ и $H_{\mu(u.)}$ соответственно.

Если $|t| \geq t_{\alpha, k}$ (табл. V [4]), то разница средних значений существенна. Величину доверительной вероятности $P = 1 - \alpha$ выбираем равной 0,95, ($\alpha = 0,05$), число степеней свободы определяем из выражения $K = n_1 + n_2 - 2$. Результаты расчетов помещены в табл. 1.

Анализ результатов исследования микротвердости показывает, что при обкатывании роликами сталей 40Х и 45 наблюдается значительный спад микротвердости в переходной зоне между упрочненным слоем и исходным металлом. При обкатывании арможелеза (рис. 3, а) такого спада не выявлено.

Высказана идея диффузионного переноса упрочняющих химических элементов (Cr, C) из глубинных слоев на поверхность.

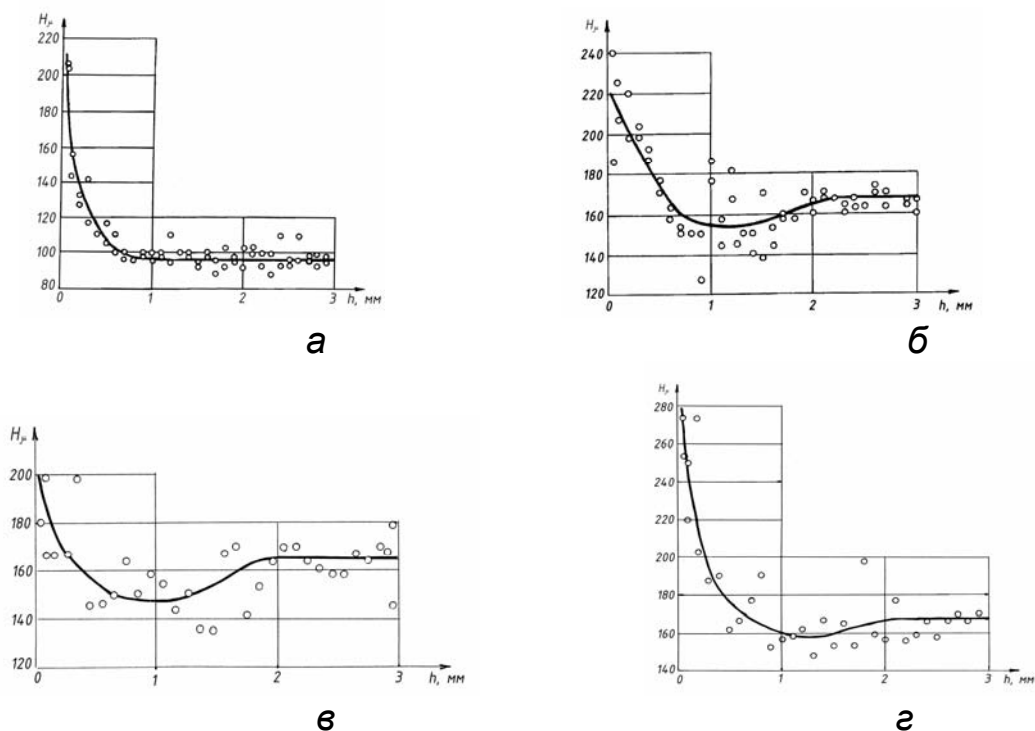


Рисунок 3 - Распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя:
 а – арможелезо, $r_p = 2,5$ мм, $P = 1,5$ кН; б – сталь 45, $r_p = 2,5$ мм, $P = 4,5$ кН;
 в – сталь 45, $r_p = 5$ мм, $P = 5$ кН; г – сталь 40X, $r_p = 2,5$ мм, $P = 5,5$ кН

Распределение упрочняющих химических элементов Cr и C было исследовано с помощью микрохиманализатора фирмы Джеол „Supraprobe – 733”. Установлено, что в переходной зоне содержание Cr и C уменьшилось на 20 – 30 %, а в упрочненном слое увеличилось до 10 – 15 %. Аналогичные результаты получены в работах [5, 6] на поверхностях трения и при термо- и электромеханическом упрочнении сталей [7]. В этих работах в качестве основных механизмов диффузии называют температурный градиент [8] и электроперенос [9]. Поскольку в нашем случае эти механизмы или несущественны или совсем отсутствуют, следует считать при ППД существенным механизмом диффузии является градиент плотности дислокаций [10]. Результаты лабораторных исследований по влиянию обкатывания роликами на долговечность стальных деталей, работающих при контактном смятии, проверены в производственных условиях при работе канатных блоков со стальными канатами.

Рабочий профиль канатного блока судоперегрузателя ООО “Николаевский глиноземный завод” состоит из тороидальной части, выполненной с радиусом профиля несколько большим половины диаметра каната, $r_o = 20 - 22$ мм, и профиля двух конических поверхностей, выполненных под углом $\sim 22^\circ$ к перпендикуляру оси блока.

Таблица 1 - Параметры обкатывания конусных деталей из сталей 45, 40X и армкожелеза

Марка материала	r_p , мм	D_p , мм	P , кН	φ , град	$H_{\mu_{max}}$	$t_{H\mu}$	$\sum K$, * мм ⁻¹	$K_{\sigma_{0,2}}$	$t_{\sigma_{0,2}}$	$t_{теор}$ **
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
Армкожелезо	2,5	32	1,50	5	230	1,0	0,441	1,3	1,3	1,35

n_1	n_2	\bar{x}_1 ($H_{\mu(n.з.)}$)	\bar{x}_2 ($H_{\mu(u.)}$)	S_1^2	S_2^2	t	$t_{\alpha, \kappa}$	Степень различия \bar{x}_1 и \bar{x}_2
9	12	148,18	164,82	70,88	142,6	5,3	1,96	Различие существенно
24	18	174,86	186,28	175,4	13,54	3,55	1,96	Различие существенно
11	34	157,2	167,3	34,40	121,3	2,49	2,1	Различие существенно
9	37	98,0	97,56	4,25	29,3	0,238	1,96	Различие не существенно

$$* \sum K = \frac{1}{r_p} + \frac{2}{D_p} + \frac{2}{D_M}; \quad ** t_{теор} = \sqrt{\frac{P}{2\sigma_T}} [11],$$

где P - усилие обкатывания, кН; σ_T - предел текучести стали, кН/мм². $K_{\sigma_{0,2}} = t_{\sigma_{0,2}} / t_{H\mu}$. Его значения выбираются в зависимости от приведенной кривизны $\sum K$ в контакте ролика с деталью по графику (рис. 65, в [10]).

Тороидальная часть рабочей поверхности блока представляет собой галтельный переход между коническими поверхностями. При работе блока наиболее интенсивному износу подвергается галтельный переход, где наблюдается отслаивание металла, особенно при наличии в поверхностях слоя газовых раковин и пустот, полученных в процессе отливки заготовок из литейных сталей 25Л, 35Л. Однако разбиваются канатом и конические поверхности. Поэтому целесообразно подвергнуть деформированию всю рабочую поверхность канатного блока. Расчеты параметров клинового ролика для обкатывания рабочей поверхности профиля блока выполнены следующим образом.

Широкая часть клинового ролика (см. рис. 4.) принята равной ширине впадины канатного блока на его максимальном диаметре. Приведенный радиус r_p' кривизны ролика и детали в их осевом сечении при обкатывании конической поверхности равен радиусу r_p кривизны ролика. С целью получения интенсивной деформации боковых поверхностей профиля при усилиях обкатывания (~ 30,0

кН) принимаем равным 16 мм. Тогда приведенный радиус r_p' кривизны ролика и детали в их осевом сечении при обкатывании галтели (при $R_r \sim 22$ мм) определится по формуле

$$r_p = \frac{r_p' R_r}{R_r - r_p'} \quad (3)$$

и будет равен 60 мм.

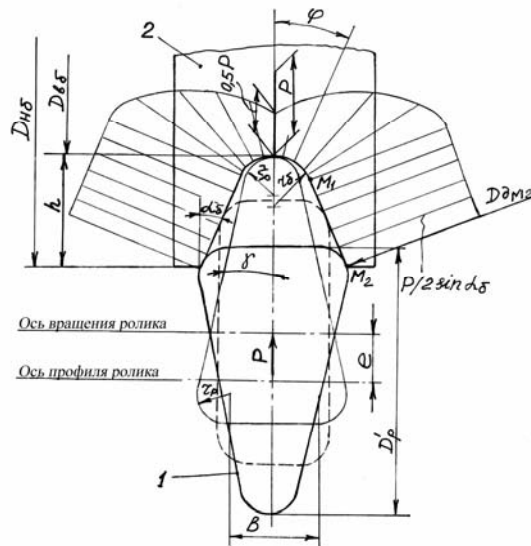


Рисунок 4 - Схема расчета параметров процесса обкатывания рабочей поверхности канатного блока клиновым роликом
1 - ролик; 2 - обрабатываемая деталь

При $r_p' = 60$ мм, диаметре ролика $D_p = 140$ мм и твердости 160 НВ стали 35Л, из которой изготавливаются канатные блоки, необходимое усилие на ролике в соответствии [1] составит $\sim 20,0$ кН.

Биение профиля ролика согласно рис. 4. составляет:

$$b = 2[(h - r_0) \operatorname{tg} \alpha_0 + r_0 / \cos \alpha_0 - r_p \cos \alpha_0], \quad (4)$$

где h , r_0 , α_0 - соответственно глубина, радиус и угол профиля детали; r_p - радиус профиля ролика. Эксцентриситет (расстояние между осями вращения и профиля ролика) определится по зависимости:

$$e = (h - r_p + r_p \sin \alpha_0) / 2. \quad (5)$$

Половина угла биения профиля клинового ролика

$$\gamma = \operatorname{arctg} \left[\frac{(h - r_0) \operatorname{tg} \alpha_0 + r_0 / \cos \alpha_0 - r_p \cos \alpha_0}{D_p' - 2r_p} \right], \quad (6)$$

где D_p' - диаметр ролика.

Условный диаметр ролика при обкатывании тороидальной поверхности канатного блока для текущего значения угла φ

$$D_{P_M} = \frac{D'_p - 2r_p(1 - \cos\varphi)}{\cos\varphi}. \quad (7)$$

В точке M_1 сопряжения тороидальной и конической поверхностей профиля блока $\varphi = 90^\circ - \alpha_\phi$, тогда

Условный диаметр детали в точке контакта ее с роликом на тороидальной поверхности профиля

$$D_{P_M} = \frac{D'_p - 2r_p(1 - \sin\alpha_\phi)}{\sin\alpha_\phi}. \quad (8)$$

$$D_{D_M} = \frac{D_{B_\phi} + 2r_\phi(1 - \cos\varphi)}{\cos\varphi} \quad (9)$$

и на наружном диаметре блока D_{H_ϕ}

$$D_{D_{M_2}} = D_{H_\phi} / \sin\alpha_\phi. \quad (10)$$

Усилие в точке контакта с тороидальной поверхностью блока

$$P_M = P / 2 \cos\varphi, \quad (11)$$

где P - усилие пружины.

На конической поверхности профиля в точках M_1 и M_2 усилие обкатывания определится по зависимости

$$P_{M_1} = P_{M_2} = P / 2 \sin\alpha_\phi. \quad (12)$$

Конструкция устройства для обкатывания канатных блоков показана на рис.5. Клиновой ролик 1, находящийся в контакте с деталью 2, установлен на оси 3 с помощью игольчатого подшипника 4. Ось 3 установлена в расточки рычага 5. Рычаг 5 смонтирован на кронштейне 6 с возможностью поворота вокруг оси 7 на игольчатых подшипниках 8 и упорных подшипниках 9 и 10. Ось 3 прикреплена к рычагу 5 планками 11 и 12. В расточке рычага 5 установлены сферическая шайба 13 и втулка 14, на которую одета пружина 15. С верхнего торца пружины 15 вставлена втулка 16. В державку 6 ввернута тяга 17 и зафиксирована штифтом 18. На верхний конец тяги 17 навинчена гайка 19 с рукояткой 20. В теле державки 6 выполнена расточка с резьбой, в которую вкручен винт 21 с контргайкой 22. В резьбовые расточки балансира 5 ввернуты рым-болты 23 и 24.

Устройство работает следующим образом. Канатный блок 2 устанавливается расточенным отверстием в ступице на оправку, вставленную в центральное отверстие планшайбы карусельного станка, закрепляют к планшайбе по торцу ступицы фиксирующей гайкой и притягивают планками к планшайбе станка через мерные призмы. Устройство квадратным концом державки 6 закрепляют в резцедержателе бокового суппорта карусельного станка.

Перемещением суппорта станка ролик 1 вводят в ручей канатного блока, таким образом, чтобы ролик находился посередине оси 3, а своей узкой частью рабочего профиля коснулся впадины ручья. Для передачи усилия от ролика на обкатываемую деталь вращением винта 21 устанавливают зазор между его торцом и поверхностью балансира 5 величиной от 2-х до 3-х мм. Обкатываемую поверхность детали смазывают машинным маслом и включают вращение детали со скоростью $V =$ от 30 до 50 м/мин. В процессе вращения детали и ролика рабочие торцы ролика образуют на обкатываемой поверхности детали два синусоидальных следа, последние постепенно с каждым оборотом детали смещаются в круговом направлении, пока вся поверхность ручья не окажется деформированной. При этом наличие эксцентриситета (e) на ролике позволяет свести до минимума (менее 2-х мм) перемещение оси ролика 1 вместе с балансиром 5 относительно державки 6. Усилие на ролике при его вращении колеблется в пределах $\pm 5\%$, так как сила трения на оси балансира мала, из-за малого коэффициента трения в подшипниках качения 8-10 (не более 0,008). Этим обеспечивается равномерная деформация поверхностного слоя ручья блока. После окончания процесса обкатывания вращением винта 21 поворачивают балансир 5 так, чтобы исключить контакт ролика с деталью, а затем выключают вращение последней и перемещением бокового суппорта выводят ролик из ручья блока.

Оптимальное усилие P_T обкатывания, обеспечивающее средний угол $\varphi = 5^\circ$ вдавливания ролика в обрабатываемую поверхность, при обкатывании тороидальной поверхности ручья выбирается по номограмме [1] в зависимости от условного диаметра D_{PM} ролика, рассчитанного по формуле (7), приведенного радиуса r'_p кривизны ролика, рассчитанного по формуле (3) и диаметра D_{DM} детали, рассчитанного по формулам (9, 10). По рассчитанным значениям геометрических параметров ролика и детали выбирается оптимальное усилие P_K обкатывания конической поверхности ручья. Расчеты показывают, что $P_K \ll P_T$ и, несмотря на то, что при постоянном усилии пружины P приложенное усилие P_M в точке контакта ролика с тороидальной поверхностью ручья, рассчитанное по формуле (11), несколько меньше усилия $P_{M_1} = P_{M_2}$, рассчитанного по формуле (12) для конической поверхности ручья, на ней в процессе обкатывания образуется волнистость из-за увеличенного угла φ вдавливания ролика. Этот недостаток устраняется выполнением профильного радиуса r_p переменной величины, что обеспечивает постоянство

угла $\varphi = 5^\circ$ вдавливания ролика на всех участках профиля детали. Этим обеспечивается высокое качество обработки всех участков профиля ручья. При усилии P на ролике, равном 10 кН, глубина пластической деформации поверхностного слоя ручья на вершине профиля, рассчитанная согласно [11] по формуле $t_{\text{теор}} = \sqrt{\frac{P}{2\sigma_T}}$ при σ_T , равном $0,3 \text{ кН/мм}^2$ для стали 35Л, составила 4,5 мм.

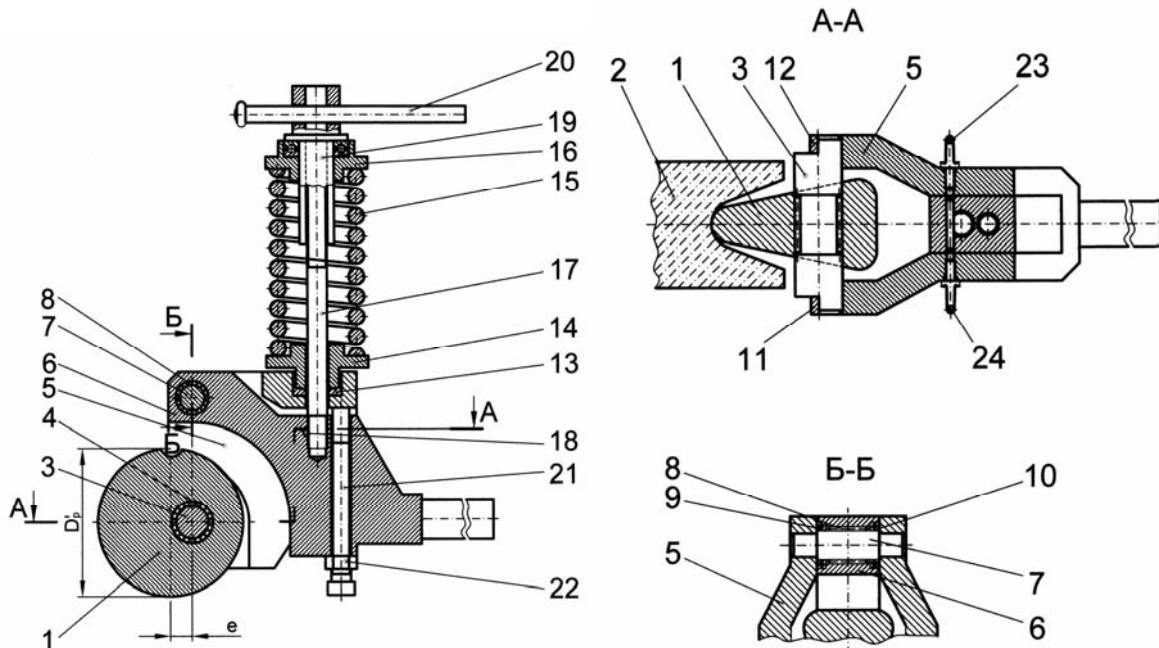


Рисунок 5 - Устройство для обкатывания канатных блоков клиновым роликом

1 – ролик; 2 – обкатываемая деталь; 3, 7 – ось; 4, 8, 9, 10 – подшипники; 5 – рычаг; 6 – кронштейн; 11, 12 – планки; 13 – сферическая шайба; 14 – втулка; 15 – пружина; 16 – втулка; 17 – тяга; 18 – штифт; 19, 22 – гайка; 20 – рукоятка; 21 – винт; 23, 24 – рымболты

Степень повышения твердости поверхностного слоя составила ~ 28%.

Испытание обкатанных блоков на смятие их канатами проводилось на судоперегрузателях ООО „НГЗ”. Блоки диаметром 800 мм из сталей 25Л и 35Л устанавливались парами (один обкатанный, второй – необкатанный) по 8 блоков на судоперегрузатель. Испытание проводилось 8 месяцев. Эффекта упрочнения с помощью поверхностного пластического деформирования не выявлено. Анализ процесса износа блоков канатами показал, что при работе канатные каленые проволоочки квадратного сечения осуществляют срезание микростружки с поверхности блока. Из теории резания известно, что наклепанный металл срезается легче, чем ненаклепанный, так как на усадку стружки при срезании наклепанного металла работа не

затрачивается. Для устранения срезания стружки сталь 35Л заменена на сталь 45Л и была выполнена объемная закалка блока в масло до твердости *HV* 400. Обкатывание роликом повысило твердость *HV* еще на 15-20%. Таким образом, долговечность блоков была повышена в 3-4 раза. Соответственно повысилась и долговечность канатов, так как был устранен изгиб и излом проволочек каната на неровностях изношенного блока. Внедрение технологии упрочнения канатных блоков в производство дало экономический эффект больше 50 тыс. гривен в год.

Литература

1. Бабей Ю.И., Бутаков Б.И., Сысоев В.Г. // Поверхностное упрочнение металлов.- Киев: Наук. думка, 1995. – 256 с.
2. Степнов М. Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний. – М.: Машиностроение, 1972. – 232 с.
3. Степнов М. Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний. Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 306 с.
4. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики – М.: Наука, 1969. – 512 с.
5. Рыбакова Л. М., Куксенова Л. И. Структура и износостойкость металла. - М.: Машиностроение, 1982. - 212 с.
6. Марковский Е. А. Научные предпосылки создания новых износостойких литых материалов с высокими эксплуатационными свойствами. – Прогрессивные технологии литья и кристаллизации сплавов, 1983. – С. 43 – 57.
7. Бабей Ю. И. Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна. – Киев: Наукова думка, 1988. – 240 с.
8. Бокштейн Б. С. Диффузия в металлах. – М.: Металлургия, 1978. – 248 с.
9. Кузьменко П. П. Электроперенос, термперенос и диффузия в металлах. – Киев: Вища школа, 1983. – 152 с.
10. Бутаков Б. И. Основные принципы технологии импульсного и малоскоростного воздействия на структуру и свойства металлов и сплавов. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, - Киев: -1992 – 533 с.
11. Хейфец С.Г. Аналитическое определение глубины наклепанного слоя при обкатке роликами стальных деталей // сб. ЦНИИТМАШа, кн. 49-М.: МашГИЗ, 1952. - С.7-17.