

УДК 621.791

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ НАПЛАВКИ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИМ УПРОЧНЕНИЕМ

Сайчук А.В., к.т.н., доцент

*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства  
имени Петра Василенко)*

*Опробована технологія і выбрані оптимальні параметри комбінованого технологічного процесу наплавки поворотних кулачков в середі  $CO_2$  з послідуєчими упрочнюючими обробками (ВТМО і НТМО), чистовим точенням і вібронакатуванням.*

При механизированной наплавке в среде углекислого газа как с ТМО так и обычным способом особое внимание уделяли подготовке сварочных материалов, образцов и деталей.

Подготовку сварочной проволоки проводили согласно следующей методике. Вначале проводили травление проволоки в 15% водном растворе соляной кислоты в течение 5-10 мин. После этого ее пассивировали в смеси 10% водного раствора нитрита натрия ( $NaNO_3$ ) и 1%-ной кальцинированной соды в течение 10-15 мин. Проволока после такой обработки хорошо очищалась и предотвращала коррозию. Подготовка образцов и деталей заключалась в очистке от грязи и промывке в 10%-ном горячем растворе каустической соды, промывке в проточной воде и последующей сушке. Кроме этого, посадочные места деталей, имеющие большой односторонний износ, протачивали перед наплавкой на токарно-винторезном станке до его устранения.

Режимы наплавки без ТМО, с ВТМО и НТМО выбирали исходя из требуемой толщины наплавленного металла, обеспечение требуемого качества и высокой производительности.

На качество и производительность восстановления деталей большое влияние оказывают шаг наплавки и обороты ее вращения.

При обычной наплавке в среде углекислого газа деталей цилиндрической формы рекомендуется выбирать шаг таким, чтобы последующий валик перекрывал предыдущий на 1/3 его ширины [2]. Обороты детали, при прочих равных условиях, связаны с шагом, так их увеличение требует уменьшения шага и наоборот. При наплавке с ТМО металл – упрочняется, гребешки сглаживаются и соответственно уменьшается толщина наплавленного слоя.

Поэтому для определения оптимальных оборотов и шага при наплавке образцов диаметром 30 мм были исследованы: шаг наплавки  $S = 3,5; 4,0; 4,5; 5,0$  мм/об, обороты  $n = 8; 10$  об/мин.

Толщина восстановленного слоя и припуск на механическую обработку при наплавке деталей, принимали исходя из величины износа и типа нанесенного металлопокрытия.

Технологический процесс разрабатывали для осей поворотных кулачков трактора. На начальном этапе исследования проводили в лабораторных условиях. Целью таких исследований являлось опробование предложенного оборудования и выбор оптимальных параметров комбинированного технологического процесса.

Наплавку поворотных кулачков проводили в среде  $\text{CO}_2$  с последующими упрочняющими высокотемпературной и низкотемпературной обработками (ВТМО и НТМО), чистовым точением и последующим вибронакатыванием (рис. 1).

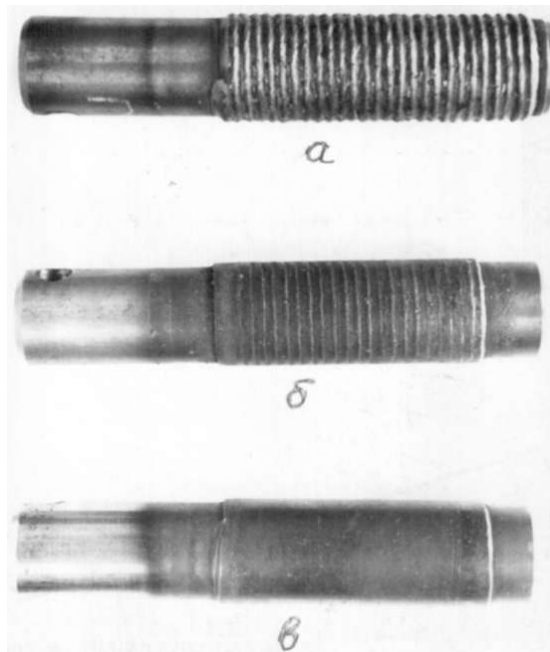


Рисунок 1 - Характерная поверхность наплавленного слоя без ТМО (а), ВТМО (б) и ВТМО с НТМО (в)

Сущность способа упрочнения заключалась в следующем: после наплавки поверхности детали проводили её деформирование роликами в интервале температур  $900...950\text{ }^\circ\text{C}$  с усилием обжатия  $P_1 = 0,25 - 0,3\text{ МПа}$  для устранения металлургических дефектов (пор, микротрещин, несплошностей). Затем деталь охлаждали спрейером. Наплавленный металл повторно деформировали роликами при температуре  $300...450\text{ }^\circ\text{C}$  по режиму: усилие обжатия  $P_2 = 1,2 - 1,3\text{ МПа}$  с одновременным охлаждением спрейером. Затем оси обтачивали резцом из гексанита-Р и подвергали вибровыглаживанию [1, 2].

На рис. 2 приведена схема разработанного процесса наплавки и предварительного деформирования поверхностного слоя. На рис. 3 приведена схема осуществления повторного деформирования металла с последующим охлаждением, чистовым точением и вибровыглаживанием.

Деталь 1, подвергаемую наплавке, устанавливали в центрах

переоборудованного станка 2, на суппорте которого смонтировали наплавочную головку 3, двухроликовое устройство 4 для деформирования наплавленного слоя 5, спрейер 6 системы охлаждения, резец 7 для чистого точения поверхностного слоя 8 и виброголовка с рабочим инструментом 9 для придания регулярного микрорельефа 10.

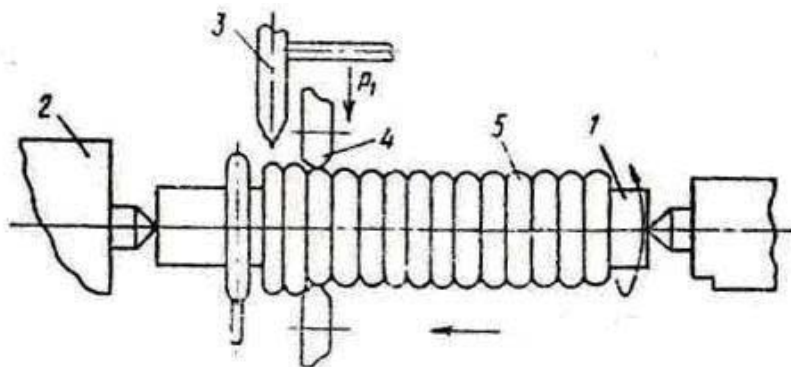


Рисунок 2 - Схема разработанного процесса наплавки и предварительного деформирования поверхностного слоя.

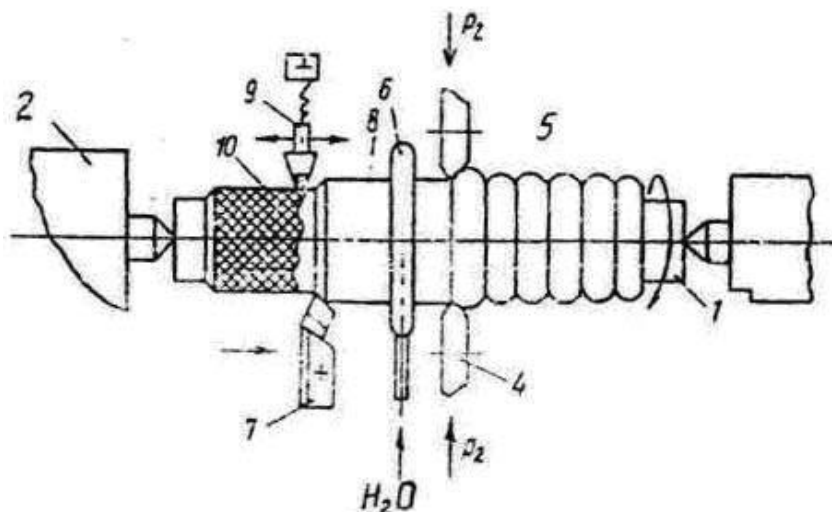


Рисунок 3 - Схема разработанного повторного деформирования металла с последующим охлаждением, чистовым точением и вибровыглаживанием.

Наплавку изношенной, детали 1 производили сварочными проволоками, химический состав которых обеспечивает большую устойчивость переохлажденного аустенита в интервале низких температур.

Исследуемые режимы наплавки и предварительного деформирования: напряжение 22...24 В, ток 160...180 А, скорость подачи проволоки 1,8...2 м/мин, скорость наплавки 4...4,5 м/ч, шаг наплавки 4...4,5 мм/об, вылет электрода из мундштука 8...11 мм, расход углекислого газа 8 л/мин, полярность обратная.

При ВТМО деформацию осуществляли в интервале температур 900 – 950 С.

После наплавки производили охлаждение детали на воздухе до

температуры, обеспечивающей необходимую устойчивость и пластичность переохлажденного аустенита, В это время производили переналадку установки для работы на режиме низкотемпературного упрочнения (НТМО). Устойчивое точение и вибровыглаживание производили по режиму наплавленный металл подвергали повторной деформации устройством 4 в интервале температур 300...400 °С с усилием обжатия  $P_2 = 1,2..1,3$  МПа, с одновременным охлаждением спрейером 6, при этом обеспечивали низкотемпературную термомеханическую обработку слоя 8 [3-5].

Упрочненный слой 8 протачивали резцом 7 из гексанитз-Р и вибровыглаживали инструментом 9 в результате чего формировали регулярный микрорельеф 10 на рабочей поверхности детали 3, НТМО осуществляли в интервале температур 300 - 400 °С Припуск на механическую обработку не превышал при 0,05., 0,1 мм. Вибровыглаживание слоя при такой температуре обеспечивало дополнительное упрочнение за счет поверхностного пластического деформирования зерен металла, создания напряжений сжатия, а также образования регулярного микрорельефа, который удерживает смазку на поверхности трения детали и повышает эксплуатационные свойства. Параметры режима обработки: частота вращения детали 200 об/мин, подача 0,15 мм/об, расход охлаждающей жидкости 1,5 л/мин, глубина точения 0,1...0,15 мм, геометрия резца  $\gamma = -0^\circ$ ,  $\alpha = \alpha_1 = 16^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\psi = 15^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $r = 0,6$  мм. Усилие вибровыглаживания 1,2 МПа, число двойных ходов инструмента  $n_{dx} = 4200^{-1}$ ; радиус наконечника инструмента  $R = 1,5$  мм, величина эксцентриситета  $L = 0,75$  мм.

Испытания на определение предела выносливости восстановленных слоев, упрочненных предложенным способом, производили на машине УКИ-10М при базе испытания  $5 \cdot 10^6$  циклов. В каждой серии испытывали по 6 образцов.

Предел усталости определяли по ГОСТ 2860 согласно зависимости:

$$\sigma_{-1} = \frac{32M}{W} = \frac{32PI}{\pi d^3}, \quad (1)$$

где  $M$  – изгибающий момент в опасном сечении образца, Н · м;

$W$  – момент сопротивления сечения образца, Н · м;

$I$  – расстояние от точки приложения силы до опасного сечения, м;

$P$  – диаметр образца в опасном сечении, м.

Лабораторные испытания на износ проводили на машине трения СМЦ-2. Испытывали ролики, наплавленные проволокой ПП-АН-122 и упрочненные предложенным способом; колодочки изготавливали из серого чугуна с площадью поверхности трения  $0,002 \text{ м}^2$ . В качестве абразива использовали порошок М5 (ГОСТ 3647) с размером абразива 4-5 мкм в количестве 2% к объему масла.

Вначале анализировали процесс приработки между роликом и колодочкой. Конец приработки определяли по стабильности момента трения и температуры. После этого проводили испытания по режиму: угловая скорость

ролика  $\omega = 52.31$  рад/с; относительная скорость пары трения  $V_0 = 1,3$  м/с; рабочий период испытаний по 12 ч при трех циклах, каждый из которых соответствовал  $12 \cdot 10^4$  оборотов ролика, удельное давление,  $P_y = 1,2$  МПа.

Абразивный порошок поддерживали во взвешенном состоянии в масле при помощи специальной вращающейся мешалки, а суспензию подавали дозатором мешалки со скоростью: капля каждые 5 мин. Момент трения и температуру фиксировали через каждые 10 мин хромель-алюминиевой термопарой. Массу роликов и колодочек определяли методом взвешивания.

Относительную износостойкость оценивали по зависимости:

$$\varepsilon = \frac{\Delta G_{\text{э}}}{\Delta G_0} \quad (2)$$

где  $\Delta G_{\text{э}}$  – весовой износ эталона,

$\Delta G_0$  – весовой износ испытываемого наплавленного и упрочненного металла.

При наплавке проволокой ПП-АШ22 в  $\text{CO}_2$  с низкотемпературной термомеханической обработкой (НТМО) (чистовым точением и вибронакатыванием) предел выносливости образцов увеличился по сравнению с известным способом на 16% (табл. 1), а износостойкость - повысилась в 2,0 раза (табл. 2), при этом их твердость увеличилась более чем на 10%, а шероховатость поверхности снизилась на 2 класса (с 7-го до 9-го). Такое упрочнение достигнуто за счет образования мелкодисперсной троостомартенситной структуры с благоприятными остаточными напряжениями сжатия и повышением твердости.

Таблица 1 - Результаты испытаний на усталостную прочность образцов, наплавленных и упрочненных комбинированным способом

Способ	Наплавляемый материал, способ упрочнения	Число циклов, $N_{\text{ц}}$	Среднее значение предела выносливости, $\tau$ , МПа	Коэффициент изменения усталостной прочности	Твердость упрочненного металлопокрытия, НВ	Шероховатость поверхности, мкм
Известный	Наплавка ПП-АН 122 с НТМО+точение + шлифование	1200	572	1,0	545...617	1,25
Предлагаемый	Наплавка ПП-АН 122 с НТМО+чистовое точение + вибронакатывание		662	1,16	607...715	0,32

Таблиця 2 - Результати испытаний образцов на износ, наплавленных и упрочненных комбинированным различными способами после ВТМО и НТМО

Способ	Наплавляемый материал, способ упрочнения	Число циклов, № <sub>ц</sub>	Момент трения пары М <sub>тр</sub> , Нм	Температура в зоне трения, К	Среднее значение величины износа ролика, кг	Относительная износостойкость металлопокрытия $\epsilon$
Известный	Наплавка ПП-АН 122 с НТМО + точение + шлифование	1200	1,41	362	$5,67 \cdot 10^{-6}$	1
Предлагаемый	Наплавка ПП-АН 122 с НТМО чистовое точение + вибронакатывание	1200	1,16	347	$1,82 \cdot 10^{-6}$	2,2

На рис. 4 приведена вся гамма формируемых структур при таких оборотах.

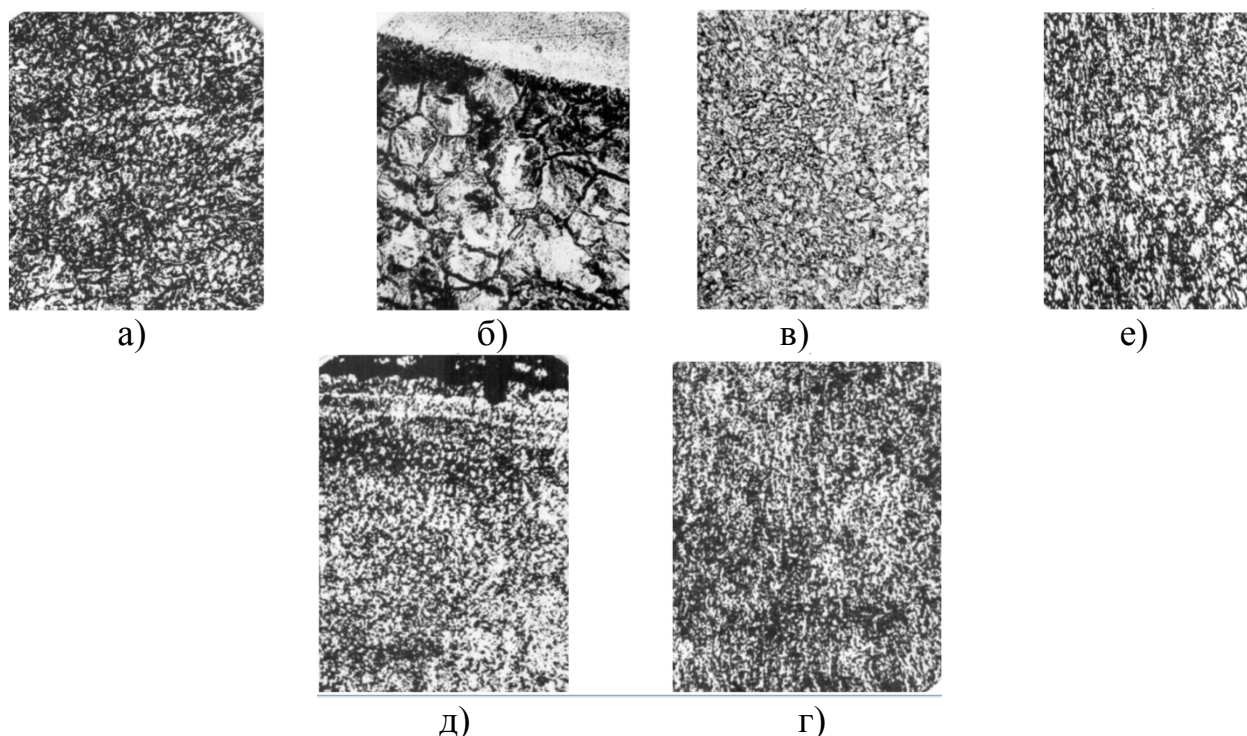


Рисунок 4 - Микроструктура рабочего слоя деталей после различных обработок: а,б – после наплавки; в,г – после ВТМО; д,е – после ВТМО и НТМО; а,в,д –  $\times 100$ ; г,е –  $\times 200$ ; б –  $\times 1000$

Исследование микрошлифов и измерение микротвердости по образующей и по глубине наплавленных образцов свидетельствует о том, что ВТМО и НТМО не только выравнивают и измельчают структуру, но и повышают твердость, соответственно, на 70... 100 МПа и 180...200 МПа.

При проведении исследований выполнили рентгеноструктурный анализ. Физическое уширение дифракционных линий обуславливается наличием

дефектов, а угловая зависимость уширения связана с распределением дислокаций по объему.

Упрочнение металла пропорционально до определенной степени концентрации дефектов и в том числе плотности дислокаций. Однако оценка дислокационной структуры только изменением плотности представляется недостаточной, так как при любой плотности дислокаций возможны такие скопления последних, которые приведут к образованию микротрещин, способных к дальнейшему росту. Высокая износостойкость должна определяться большей плотностью дефектов, однако она не сумеет реализоваться вследствие преждевременного разрушения поверхностного слоя. Поэтому, большое значение для реализации высокой износостойкости имеет значение не только величина плотности дислокаций, но и их распределение по объему субзерен в малоугловых границах.

В случае больших степеней деформации для анализа дислокационной структуры более приемлем рентгеноструктурный анализ, при помощи которого можно получить усредненные характеристики тонкой структуры по значительным объемам и поэтому не требуется исследование большого количества однотипных участков образца. Получаемое с помощью рентгеновского анализа усреднение обеспечивает корреляцию субструктурных характеристик и физических свойств.

Полученные данные о субструктуре поверхностного слоя, наплавленного проволоками Нп-ЗОХГСА и ПП-АН 122 в исходном состоянии и после вибронакатывания (ВН), алмазного выглаживания (АВ) и термомеханического упрочнения (ТМУ), а также их комбинации при совместном совмещенном способе приведены в табл. 3.

Видно, что уже в исходном состоянии дислокационная структура довольно развита: отношение физической ширины линий (220) и (110) для наплавов обеими проволоками примерно одинаковое и свидетельствует о том, что наряду с хаотическим распределением дислокации наблюдается и блочная структура, сформированная при термическом цикле процесса наплавки. Обращает внимание более четко сформированная блочная структура для серии

образцов с ТМУ (отношение  $\beta_{220}/\beta_{110} = 4,05$ ), что свидетельствует о благоприятном его воздействии не только на качество наплавленного слоя, но и на интенсификацию процесса полигонизации.

Отделочно-упрочняющая обработка приводит как к увеличению плотности дислокаций в поверхностном слое детали, так и к изменению их распределения: наблюдается переход из преимущественно хаотического распределения дислокаций что является следствием пластической деформации поверхность в процессе вибронакатывания или алмазного выглаживания. При этой обработке устойчиво образуются полигональные структуры, обеспечивающие как повышенную стабильность, так и достаточно высокие физико-механические свойства деталей в процессе их работы

Таблица 3- Результаты исследования субструктуры поверхностного слоя после отделочно-упрочняющих обработок

Материал наплавки	Вид отделочно- упрочняющей обработки	$\beta_{110}^*$	$\beta_{220}^*$	$\frac{\beta_{220}^*}{\beta_{110}^*}$	$\varepsilon \cdot 10^3$	$D, \text{Å}$
НП– 30ХГСА	Наплавка	5,2	23,1	4,44	1,2	840
	Наплавка+ВН <sub>II</sub>	5,7	28,7	5,03	1,8	1260
	Наплавка+ВН <sub>IV</sub>	8,3	48,4	5,80	3,7	6680
	Наплавка+АВ	6,05	35,2	5,81	2,6	8170
	Наплавка	17,7	83,6	4,72	4,8	300
	Наплавка+ВН <sub>II</sub>	19,1	100,7	5,27	6,9	510
	Наплавка+ВН <sub>IV</sub>	27,1	158,8	5,85	11,3	2690
	Наплавка+АВ	21,4	122,3	5,72	9,6	1300
ПП– АН122	Наплавка+ТМУ	18,8	76,2	4,05	3,1	180
	Наплавка+ТМУ+ВН <sub>II</sub>	21,2	108,7	5,12	7,0	380
	Наплавка+ТМУ+ВН <sub>IV</sub>	25,5	148,4	5,82	11,3	1070
	Наплавка+ТМУ+АВ	23,3	134,6	5,78	10,6	1640

ВН<sub>II</sub> – вибронакатывание (количество проходов II);

ВН<sub>IV</sub> – вибронакатывание (количество проходов IV);

АВ – алмазное выглаживание;

ТМУ –упрочнение (ВПД+НПД).

\* для эталона  $\beta_{110} = 2,4$  мрад

$\beta_{220} = 8,3$  мрад

\* – теоретическое значение  $\frac{tgU_{220}}{tgU_{110}} = 5,84$ ,  $\frac{secU_{220}}{secU_{110}} = 2,92$

В случае, когда обрабатывается 30...40% площади поверхности "степень хаотичности" дислокаций ниже, чем при регулярном микрорельефе или алмазном выглаживании, когда вся поверхность подвергается силовому воздействию. В последнем случае все дислокации расположены хаотично, не образуют больших скоплений. Такая субструктура не очень устойчива, но она позволяет избежать при последующих нагревах в процессе работы образования опасных скоплений, приводящих к образованию микротрещин и разрушению поверхности

Следует учитывать тот факт, что физическое уширение рентгеновской линии обуславливается не только субструктурой металла или сплава, но и его химической неоднородностью, которая также приводит к уширению линий  $tgU$ . В связи с этим вполне возможно, что большое различие в ширине рентгеновских линий для покрытия при наплавке проволоками НП-30ХГСА и ПП-АН122 обусловлено в значительной мере большой химической неоднородностью последней, а не значительными различиями в плотности дислокаций.



Эксплуатационные испытания осей поворотных кулачков, упрочненных предлагаемым способом (наплавка + ВТМО + НТМО + чистовое точение + вибронакатка) показали, что средняя износостойкость покрытий, с комбинированной обработкой увеличилась в 2,2 раза по сравнению с известным способом (табл. 4). Эти испытания проводили на десяти тракторах, на которых были установлены по одной детали упрочненные базовым и предлагаемым способами.

Таблица 4 - Эксплуатационные испытания осей поворотных кулачков трактора Т-25, восстановленных известным и предлагаемым способом

№ детали	Известный способ			Предлагаемый способ		
	Диаметр цапф оси кулачка до эксплуатации, мм	Диаметр цапф оси кулачка после эксплуатации, мм	Износ деталей, восстановленных базовым способом, х) мкм	Диаметр цапф оси кулачка до эксплуатации, мм	Диаметр цапф оси кулачка после эксплуатации, мм	Износ деталей, восстановленных базовым способом, мкм
1	34,97	34,71	0,26	34,98	34,85	0,13
2	34,98	34,75	0,23	34,98	34,86	0,12
3	34,99	34,72	0,27	34,98	34,86	0,11
4	34,98	34,74	0,24	34,99	34,89	0,10
5	34,97	34,72	0,25	34,98	34,87	0,11
6	34,98	34,73	0,25	34,97	34,97	0,10
7	34,98	34,72	0,26	34,97	34,85	0,12
8	34,97	34,73	0,24	34,99	34,88	0,11
9	34,98	34,76	0,22	34,96	34,86	0,10
10	34,97	34,74	0,23	34,98	34,87	0,11
Средняя величина износа, мм			0,245	–		0,111
Увеличение износостойкости				в 2,2 раза		

Примечание: х) – базовый способ, наплавка + точение и шлифование

## Список літератури

1. Лившиц Л.Г. Восстановление автотракторных деталей // Л.Г. Лившиц, А.В.Поляченко - М.: Колос, 1966. – 478 с.
- 2.. Бабусенко С.М. Современные способы ремонта машин. // В.А. Степанов, С.М. Бабусенко - М.: Колос, 1977. - 324с.
3. Практикум з ремонту машин. / О.І. Сідашенко, Т.С. Скобло, В.А. Войтов та ін. За ред. О.І.Сідашенко та А.В.Тіхонова. – Харків: ХНТУСГ, 2007. – 415 с.
4. Ремонт машин. / За ред. О.І. Сідашенка та А.Я. Поліського. – Київ: Урожай, 1994. – 400 с.
5. Ремонт машин та обладнання. // За ред. О.І. Сідашенка та О.А. Науменка. – Харків, 2010. – 744 с.

## Анотація

**Розробка технологічного процесу механізованого наплавлення з додатковим термомеханічним зміцненням**  
Сайчук О.В.

*Випробувана технологія та обрані оптимальні параметри комбінованого технологічного процесу наплавлення поворотних кулачків в середовищі CO<sub>2</sub> з подальшими зміцнюючими обробками (VTMO і HTMO), чистовим точінням і вібронакатуванням.*

## Abstract

**Development process mechanized melting with additional thermomechanical strengthening**  
Saychuk A.

*Technology was tested and selected the optimal parameters of the combined process of surfacing rotary cams in CO<sub>2</sub> followed by hardening treatment (VTMO and LTMT), finish turning and vibration by rolling.*