

УДК: 629.114.2.01

DOI: 10.53816/20753608\_2022\_4\_86

## К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛЫХ ПАЛЬЦЕВ В ТРАКАХ ВОЕННО-ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

## TO THE QUESTION OF THE APPLICATION OF HOLLOW FINGERS IN TRACKS MILITARY TRACKED VEHICLES

*Академик РАРАН А.М. Липанов, чл.-корр. РАРАН В.Б. Дементьев, А.Д. Засыпкин*

*УдмФИЦ УрО РАН*

*A.M. Lipanov, V.B. Dementiev, A.D. Zasyppkin*

Рассмотрен экспериментально-аналитический подход к разработке технологического процесса изготовления полых пальцев траков гусеничных машин широкого спектра назначения с использованием упрочняющей высокотемпературной термомеханической обработки для восполнения поперечной прочности пальца с трубчатым профилем взамен сплошного.

**Ключевые слова:** гусеничная лента, палец, трак, высокотемпературная термомеханическая обработка, горячекатаная заготовка, долговечность.

An experimental-analytical approach to the development of a technological process for manufacturing hollow track pins for tracked vehicles for a wide range of purposes using hardening high-temperature thermomechanical treatment to replenish the transverse strength of a pin with a tubular profile instead of a solid one is considered.

**Keywords:** track, pin, track, high temperature thermomechanical processing, hot-rolled billet, durability.

Применение трубчатой конструкции пальцев траков гусеничной ленты в отечественной практике весьма ограничено. В настоящее время горячекатаные трубные заготовки применяются в гусеничных машинах с открытым шарниром, где площадь поперечного сечения пальцев обеспечивает поперечную прочность с запасом в 2–3 раза при отсутствии требований по ограничению их веса (пальцы тракторов Т-330, Т-500).

Значительное увеличение нагруженности современных военно-гусеничных машин (ВГМ), связанное с требованиями по повышению их маневренности, скоростных параметров и ходимости, обуславливает высокие нагрузки на детали ходовой части. При этом одной из наиболее часто выходящих из строя деталей ходовой части явля-

ется палец трака гусеничной ленты, который лимитирует ходимость всей машины. Применение полых пальцев в этих изделиях решает ряд проблем обеспечения эксплуатационных свойств изделий, однако отсутствие внутренних слоев металла в полых пальцах приводит к снижению их поперечной прочности. Одним из путей восполнения поперечной прочности и эксплуатационных свойств полых пальцев в целом является использование в технологическом процессе их изготовления упрочняющей высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) с деформацией горячекатаной (г/к) заготовки винтовым обжатием (ВО) с одновременным повышением качества поверхности, как наружной, так и внутренней. Процесс ВТМО ВО включает в себя непрерывно-последовательный комплекс

воздействия на трубную заготовку, состоящий из нагрева токами высокой частоты до температур выше температуры аустенизации, деформацию в трех тангенциально расположенных неприводных роликах и охлаждение в спрейерном устройстве [1].

В решении теоретических и практических задач использования ВТМО для упрочнения полых пальцев существенные результаты получили такие исследователи процесса, как Бернштейн М.Л., Шаврин О.И., Дементьев В.Б., Гладышев С.А., Легкодух А.М., Бащенко А.П., Янковский В.М. и др.

Известно положительное влияние ВТМО на многие механические характеристики сталей (статическую и циклическую прочность, вязкость и пластичность, износостойкость и т.д.). К сожалению, применение этой высокоэффективной обработки для повышения эксплуатационной надежности деталей машин затруднено из-за некоторых ее особенностей: анизотропия свойств и высокая твердость материала затрудняют обработку деталей резанием [1, 3]. Создание технологии упрочнения ВТМО возможно при учете этих особенностей на стадии технологической подготовки производства.

Особый интерес к упрочняющим технологиям на основе ВТМО ВО вызван еще и тем, что они позволяют без замены материала повысить качество изделий за счет упрочнения рабочих поверхностей, повышения их точности и снижения шероховатости до уровня холоднокалиброванного проката. Повышение эффективности процессов формообразования, упрочнения и повышения качества изделий при ВТМО с деформацией винтовым обжатием определяется эволюцией подходов к управлению режимами обработки, разработкой новых схем деформирования и их комбинированием в зависимости от требуемых параметров эксплуатации.

В основном все исследования проводились ранее для пальцев сплошного сечения [1–2]. С использованием эффекта ВТМО возникла необходимость применения конструкции полого пальца с получением и использованием г/к особотолстенной заготовки взамен сплошной.

Широкий спектр задач связан с получением упрочненной особотолстенной ( $D_H / S_T \leq 5,5$ , где  $D_H$  — наружный диаметр трубы;  $S_T$  — толщина стенки) заготовки высокого качества для

полых пальцев траков ВГМ. В настоящее время заготовки такой толстостенности отечественной промышленностью не выпускаются. Выпуск такой продукции осуществляется лишь на уровне стандарта предприятий (СТП) отдельных заводов (Курганский машиностроительный завод, ОАО «ИЖСталь» и др.). Однако их качество не соответствует требованиям, предъявляемым к заготовкам для высоконагруженных деталей [1–2]. Применение оправочного деформирования при калибровке с ВТМО выводит этот вид заготовок на качественно новый уровень. Это направление является важным и актуальным, его следует совершенствовать и развивать.

Движитель — совокупность агрегатов ходовой части, непосредственно взаимодействующих с окружающей средой для создания внешнего тягового усилия, движущего машину. Современные гражданские гусеничные машины имеют только сухопутный движитель. Машины специального назначения кроме сухопутного могут иметь и водоходный движитель. Сухопутный движитель, кроме основной задачи по обеспечению движения машины, используется для передачи на грунт веса машины. Гусеничная лента применяется в гусеничном движителе. По материалу изготовления гусеницы подразделяются на металлические, резино-металлические и резиновые. По типу используемого шарнира: с параллельным шарниром; с последовательным шарниром. В настоящей работе исследовались пальцы резино-металлической гусеницы с параллельным шарниром (рис. 1).

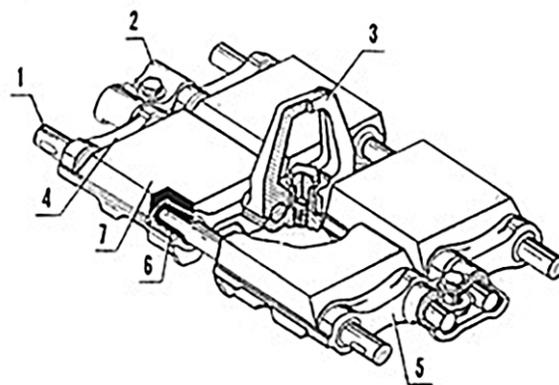


Рис. 1. Звено гусеницы параллельного резино-металлического шарнира: 1 — палец; 2 — скоба; 3 — гребень; 4, 5 — звенья трака; 6 — резиновая втулка; 7 — резиновая подушка

Практический опыт предшествующих исследований в области повышения долговечности пальцев траков показал следующее:

- в современных условиях эксплуатации ВГМ пальцы траков выходят из строя до момента исчерпания гарантированной долговечности всей машины и, являясь слабым звеном, требуют повышения их эксплуатационных характеристик;

- применение толстостенных полых заготовок с ВТМО для пальцев взамен сплошных позволяет снизить вес гусеницы на 10–15 % и повысить их долговечность в 1,5–2 раза по сравнению с деталями, изготовленными по штатной технологии;

- существующие методы обеспечения надежности, основанные на термическом, упругом и термопластическом воздействии, а также пластическое деформирование с целью упрочнения лишь частично решают вопросы повышения работоспособности высоконагруженных деталей, так как не связаны со значительным (до 2 раз) повышением конструктивной прочности и поэтому малоэффективны;

- ВТМО цилиндрических полых заготовок, полученных в металлургическом цикле, не дает желаемых результатов (повышения долговечности при циклическом изгибе в одной плоскости) из-за наличия дефектов на внутренней поверхности, однако показана принципиальная возможность их упрочнения в режиме ВТМО на существующем и специализированном оборудовании (О.И. Шаврин, В.М. Янковский, А.П. Башенко) [4–5];

- ВТМО ВО является эффективным и технологичным методом повышения всего комплекса свойств материала пальцев при различных видах нагружения, и применение этой обработки является весьма полезным. Однако существует необходимость удаления дефектного слоя с поверхности г/к труб перед ВТМО ВО и применение различных видов отделочных операций после;

- анализ качественных характеристик влияния различных факторов на усталостную долговечность полых деталей определил оптимальную величину их толстостенности ( $D_H / S_T = 3,6 \dots 4,0$  или  $a = d/D = 0,4 \dots 0,6$ );

- оценка эффективности упрочнения полых пальцев после ВТМО проводилась ранее по комплексу механических характеристик материала, что недостаточно для оценки надежности изделий при высоких циклических нагрузках [6];

- отсутствие научного подхода к разработке технологии деформирования винтовым обжатием толстостенной г/к трубной заготовки на оправке, схем ее реализации и интенсификации, экспериментального и теоретического исследования влияния основных технологических факторов на силовые параметры процесса винтового обжатия и показатели качества изделий, включая повышение качества поверхностного слоя, не дало возможности сделать комплексную оценку зависимости долговечности полых пальцев от технологии [1, 7].

На основании изложенного можно заключить, что разработанный экспериментально-аналитический подход к проблеме разработки технологии производства полых пальцев ВГМ позволит наметить основные направления повышения работоспособности и ресурсосбережения при изготовлении полых пальцев [8] (рис. 2).

Для обоснования связей параметров качества поверхности и долговечности пальцев проведены стендовые испытания.

Показанные на рис. 3 результаты испытаний, включающие наряду с высотой микронеровностей  $R_{\max}$  параметры разностенности (точности)  $\Delta S$  и степени деформации (прочности)  $\lambda$  дают более полную и точную картину взаимосвязи технологических факторов с эксплуатационными свойствами [9].

Обработка данных эксперимента (рис. 3) по методике построения аппроксимационных математических моделей определила следующую зависимость:

$$N = A_0 + A_1 \exp \left( - \frac{\Delta S^2 + R_{\max}^2 + (\lambda - 30)^2}{300} \right),$$

где  $A_0 = -285,72$  и  $A_1 = 2290,34$ .

Полученная формула позволяет прогнозировать эксплуатационные свойства (долговечность) готовых деталей, изготовленных по определенной схеме обработки в зависимости от качественных характеристик поверхности заготовок и режимов упрочняющей (окончательной) обработки (ВТМО ВО), что позволяет, в свою очередь, определить наиболее оптимальный вариант маршрута их изготовления [1].

Взяв за основу схему калибровки труб на короткой оправке в режиме ВТМО (рис. 4)

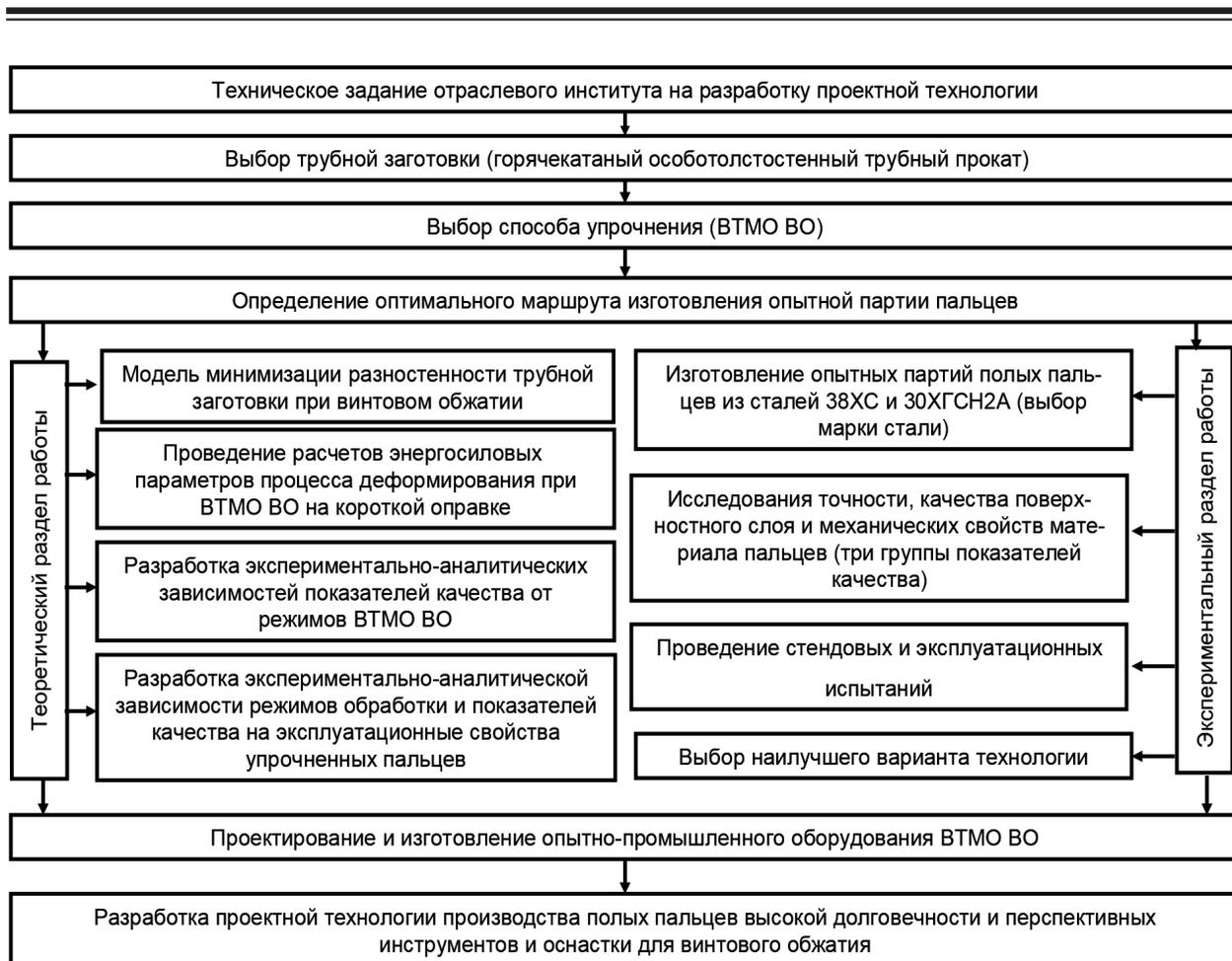


Рис. 2. Экспериментально-теоретический подход к проблеме разработки технологии производства полых пальцев ВГМ

и существующую классификацию видов зачистки поверхности г/к проката (рис. 5), были разработаны способы повышения качества заготовок и самих полых пальцев (а.с. №№ 279863, 296796, 325357, 1569208, 1646712, 1666238, 1761319) и уникальное оборудование для их реализации (патент РФ № 2320731).

Анализ разработанных методов показал, что сложность и недостаточная их практическая освоенность, а также отсутствие единого методического подхода затрудняют их применение в промышленных условиях при внедрении прогрессивной технологии изготовления полых пальцев с повышенным ресурсом работы и сниженным весом.

В целом на основании проведенных исследований технологического процесса изготовления полых изделий с использованием VTMO BO [10–11] можно отметить, что применение упрочненных трубчатых заготовок повышенного качества позволяет:

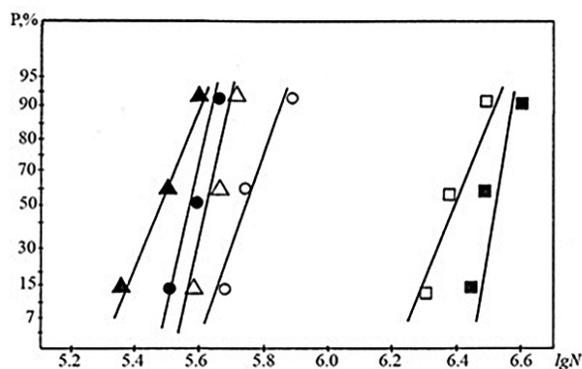


Рис. 3. Долговечность  $N$  в зависимости от технологических факторов ( $\Delta S$ ,  $R_{max}$ ,  $\lambda$ ) по испытаниям пальцев из стали 30ХГСН2А по схемам: ▲ — ТМО на длинной оправке; ● — ТМО на короткой оправке; Δ — рассверливание + ТМО на длинной оправке; ○ — рассверливание + ТМО на короткой оправке; □ — ТМО на длинной оправке + зачистка отверстия абразивом; ■ — ТМО на короткой оправке + зачистка отверстия абразивом

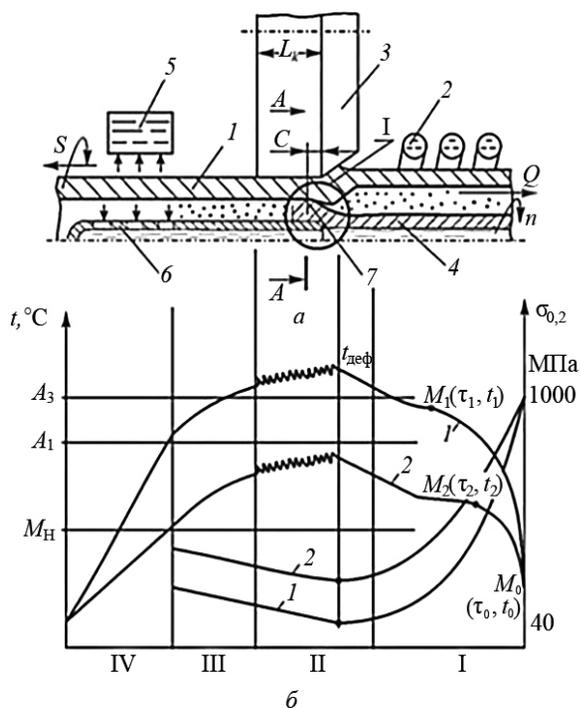


Рис. 4. Схема ВТМО ВО труб на оправке (а) и кривые изменения температуры заготовки, определяющие вид обработки по классификации М.Л. Бернштейна (б): а) 1 — заготовка; 2 — индуктор; 3 — оправка; 4 — три неприводных ролика; 5, 6 — наружный и внутренний спрейеры; б)  $M_0$  — начальная температура заготовки;  $M_{1,2}$  — температура и время нагрева ТВЧ; I — нагрев; II — деформация; III — последеформационная выдержка; IV — охлаждение

- снизить металлоемкость деталей в машиностроении до 15 %;
- повысить долговечность изделий в 2–5 раз;
- применять менее легированные марки сталей;
- снизить трудоемкость изготовления деталей и затраты на обслуживание техники в эксплуатации.

### Выводы

Разработан процесс ВТМО ВО полых изделий как техническая система, которая отражает совокупность функциональных связей между элементами: режимы ВТМО ВО — точность геометрических размеров — качество обрабатываемых поверхностей — механические свойства материала — эксплуатационная долговечность детали, т.е. установлена взаимосвязь параметров качества деталей с эксплуатационными свойствами. Установлено, что наибольшее влияние на состояние технической системы процесса ВТМО ВО оказывают температурно-деформационные режимы обработки в очаге деформации и в зоне охлаждения. Изготовлены опытно-промышленные и установочные партии полых пальцев, проведены их стендовые и эксплуатационные испытания. Установлено, что применение в штатной технологии горячекатаных особотолстоуственных трубных заготовок, их высокотемпе-



Рис. 5. Классификация методов зачистки металлических поверхностей

ратурная термомеханическая обработка с деформацией винтовым обжатием с наружным поверхностным упрочнением и зачисткой отверстия позволяет повысить эксплуатационную долговечность пальцев гусеницы в 2–5 раз с одновременным снижением веса гусеницы на 10...15 %.

### Литература

1. Шаврин О.И., Маслов Л.Н. и др. Качество поверхности цилиндрических изделий с термомеханическим упрочнением. — Ижевск: ИПМ УрО РАН, 2006. 178 с.

2. Шаврин О.И., Маслов Л.Н. и др. Качество пальцев траков — основа надежности и долговечности гусеницы. — Ижевск: ИПМ УрО РАН, 2009. 224 с.

3. Дементьев В.Б., Засыпкин А.Д. Теория и практика обработки глубоких отверстий в горячекатаной трубной заготовке. — Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. 175 с.

4. Засыпкин А.Д., Дементьев В.Б. Исследование процесса винтового обжатия труб на оправке в двухклетевой установке ВТМО // Изв. вуз. Черная металлургия. № 1. 2009. С. 22–27.

5. Способ высокотемпературной термомеханической обработки цилиндрических заготовок переменного сечения и устройство для его реализации: патент РФ № 2320731, (RU 2320731 С2, МПК С21D 8/00) / Дементьев В.Б., Засыпкин А.Д.; опубл. 27.03.2008, Бюл. № 9.

6. Дементьев В.Б., Засыпкин А.Д. Исследование структуры и механических свойств стали

30ХГСН2А в технологиях прошивки, редуцирования и высокотемпературной термомеханической обработки осеболлостостенных трубных заготовок // Химическая физика и мезоскопия. 2015. Т. 17. № 3. С. 372–379.

7. Дементьев В.Б., Засыпкин А.Д. О некоторых методах улучшения качества проката в металлургии и машиностроении // Наука Удмуртии. 2019. № 5 (90). С. 22–27.

8. Dement'ev V.B., Zasyppkin A.D., Sterkhov M.U. High-temperature termomechanical treatment of hollow track pins of track-type machines // MATEC Web Conf. Vol. 129, 2017. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment. Sevastopole. (ICMTMTE 2017). Web of Science and Scopus.

9. Дементьев В.Б., Засыпкин А.Д. Прогнозирование долговечности полых валов и осей изделий сельхозмашиностроения // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 5. С. 58–64.

10. Шаврин О.И., Маслов Л.Н. и др. Повышение долговечности гусеничного движителя за счет упрочнения пальцев трака // Современные тенденции развития военной техники и вооружений: Материалы II Международного конгресса «Военная техника, вооружение и технологии двойного применения в XXI веке». — Омск: Омск. Госуниверситет, 2003. С. 10–20.

11. Гладышев С.А., Кудрявцева Н.С., Гавзе А.Л., Финасова Е.И. Подвижность и надежность деталей и узлов ходовой части гусеничных машин // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 11. С. 21–23.