

**Б.А. Гижевский<sup>1</sup>,  
М.В. Дегтярев<sup>2</sup>,  
Н.Н. Мельников<sup>3</sup>**  
*Екатеринбург*

## **БРОНЕВАЯ СТАЛЬ СРЕДНИХ ТАНКОВ И САМОХОДНЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ УСТАНОВОК КРАСНОЙ АРМИИ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ**

В статье представлены результаты исследования металлургических характеристик брони самоходных артиллерийских установок СУ-122, СУ-85, СУ-100, произведенных на Уралмаше, и танков Т-34, произведенных Харьковским заводом №183 и Сталинградским тракторным заводом. Установлены химический состав, твердость, характер изломов, микроструктура стали отдельных элементов бронирования исследованных объектов. Полученные данные в целом соответствуют марочным параметрам броневой стали 8С. Показана эффективность переносных приборов неразрушающего контроля металлов при работе на музейных экспозициях.

*Ключевые слова:* броня, сталь, танк Т-34, самоходная артиллерийская установка, химический состав, твердость.

**B.A. Gizhevsky,  
M.V. Degtyarev,  
N.N. Melnikov**  
*Yekaterinburg*

## **ARMOR STEEL OF MEDIUM TANKS AND SELF-PROPELLED ARTILLERY INSTALLATIONS OF THE RED ARMY IN THE YEARS OF THE GREAT PATRIOTIC WAR**

The article presents the results of a study of the metallurgical characteristics of the armor of self-propelled artillery installations SU-122, SU-85, SU-100, produced at Uralmash, and T-34 tanks, produced by the Kharkov plant No. 183 and the Stalingrad tractor plant. The chemical composition, hardness, the nature of fractures, and the microstructure of the steel of individual armor elements of the investigated objects have been established. The data obtained, in general, correspond to the brand parameters of 8C armor steel. The effectiveness of portable devices for non-destructive testing of metals is shown when working at museum expositions.

*Keywords:* armor, steel, T-34 tank, self-propelled artillery unit, chemical composition, hardness.

Военно-стратегические проблемы, вставшие перед противоборствующими сторонами в период приближающейся Второй мировой

<sup>1</sup> *Гижевский Борис Александрович* – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия. E-mail: gizhevskii@imp.uran.ru

<sup>2</sup> *Дегтярев Михаил Васильевич* – доктор технических наук, зав. лабораторией, Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия. E-mail: highpress@imp.uran.ru

<sup>3</sup> *Мельников Никита Николаевич* – кандидат исторических наук, доцент, старший научный сотрудник. Институт истории и археологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия. E-mail: meln2011kit@gmail.com

войны, настоятельно требовали не только количественного увеличения военного потенциала, но качественного скачка во многих видах вооружения и переосмысливания подходов к ведению военных действий. Война в Испании показала значение танков на поле боя и в то же время указала на их уязвимость от действия даже малокалиберной артиллерии. Броневая защита танков начала 1930-х гг. состояла из бронелистов толщиной 10-30 мм, подвергнутых термообработке, и являлась, по существу, противопулевой.

Задача создания противоснарядной брони для массового производства танков в конце 1930-х гг. являлась, несомненно, актуальной. Требуемая катанная гомогенная броня высокой твердости под маркой 8С (первоначальное название МЗ-2), предназначенная для средних танков Т-34, была создана советскими металлургами перед началом Великой Отечественной войны. Отечественным специалистам удалось создать экономно легированную броневую сталь, относительно дешевую, пригодную к сварочным работам, но при этом обеспечивающую проектный уровень защиты<sup>4</sup>.

Наряду с достоинствами стали 8С были присущи недостатки: склонность к трещинообразованию и отколам вследствие высоких внутренних напряжений<sup>5</sup>. Для более поздних моделей танков и самоходных артиллерийских установок (САУ), а также для литых деталей использовались другие марки стали, однако основой броневой защиты отечественных средних танков и САУ периода Великой Отечественной войны следует признать броневую сталь 8С, в чем и заключается ее значение в бронепроизводстве в годы войны. Краткие сведения по истории создания брони 8С содержатся в работе<sup>6</sup>.

Среди многочисленных публикаций, посвященных бронетанковым войскам Великой Отечественной войны, почти отсутствуют исследования качества брони с точки зрения металлургических характеристик и технологических особенностей ее производства. Исключение составляет основательный труд группы авторов «Сила брони», в котором рассмотрены основные металлургические параметры отечественных и зарубежных броневых сталей с учетом технологии их производства и проанализированы служебные характеристики раз-

<sup>4</sup> Устьянцев С.И., Колмаков Д.Г. Боевые машины Уралвагонзавода. Танк Т-34. Нижний Тагил: Издательский дом «Медиа-Принт», 2005. 232 с.

<sup>5</sup> Военная приемка Управления самоходной артиллерии ГАБТУ РККА на Уралмашзаводе. Отчет о работе за период Великой Отечественной войны. Свердловск, 1945. (Рукопись). Л.126, 129 // Музей истории УЗТМ.

<sup>6</sup> История создания противоснарядной танковой брони 8С. Н. Н. Мельников, Б. А. Гижевский, В. Вас. Запарий, В. Вл. Запарий // Черные металлы. 2019. №5. С. 70-76.

личных видов брони периода Великой Отечественной войны<sup>7</sup>. Однако эти сведения основаны на результатах исследований военного времени и архивных данных.

В настоящее время имеется большое число сохранившихся экземпляров бронетехники периода Великой Отечественной войны. Современные методы металловедения, использование переносных приборов для анализа металла, электронной микроскопии позволяют получить обширную, в том числе ранее недоступную информацию о состоянии и развитии бронепроизводства военного времени, основанную на современных междисциплинарных подходах. Мы полагаем, что такие работы, помимо получения конкретных данных, необходимы для выяснения путей становления и развития в годы войны крупномасштабного броневого производства – важнейшей составляющей оборонной промышленности страны. На решение этих задач и направлено наше исследование.

В настоящей работе рассматривались следующие конкретные задачи: экспериментальное определение состава и выяснение основных металловедческих характеристик броневой стали танков Т-34 и САУ на их основе; анализ и сравнение полученных характеристик с архивными и литературными данными; в качестве методической задачи рассматривалась разработка и внедрение неразрушающих методов определения металловедческих характеристик бронетехники непосредственно на экспозиции с использованием современных переносных приборов. Экспериментальные исследования проводились на экземплярах исторической бронетехники, представленных в экспозиции Музея военной техники УГМК (г. Верхняя Пышма).

Особое внимание было уделено сохранности музейных экспонатов. Определение химического состава и измерение твердости броневой стали проводились после зачистки от краски участков брони размером 30×30 мм. Химический состав определялся с помощью переносных рентгенофлуоресцентного и оптико-эмиссионного спектрометров. Для определения твердости бронелистов использовался компактный баллистический твердомер. Толщина бронелистов измерялась с помощью ультразвукового дефектоскопа. Эти измерения проводились непосредственно на экспонируемых объектах. С целью более подробного выяснения металловедческих характеристик проведены лабораторные исследования шлифов и изломов образцов брони двух САУ с использованием сканирующего электронного и оптического микроскопов.

<sup>7</sup> Сила брони / А.С. Орыщенко, В.В. Цуканов, О.Э. Нигматулин и др. СПб.: ЛА Проффессионал, 2019. 326 с.

Образцы брони небольших размеров (~10 мм) отбирались преимущественно с внутренней стороны бронелистов. В качестве объектов исследования выбраны танк Т-34, произведенный Харьковским заводом в 1940 г., и Т-34 Сталинградского завода выпуска 1941-1942 гг.; самоходные артиллерийские установки на основе танка Т-34 СУ-122, СУ-85, СУ-100, выпущенные УЗТМ – главным производителем средних самоходок. СУ-122 производилась в 1943 г. Выпуск СУ-85 – самой массовой советской средней самоходки – осуществлялся с 1943 г. по 1944 г. СУ-100 производилась с конца 1944 г. и некоторое время после окончания войны. Как видно, исследованные образцы бронетехники отражают широкий период с 1940 г. по 1945 г. и во всех этих моделях броневая сталь 8С являлась основой бронирования.

Один из важных вопросов, возникающих при изучении броневоего производства в годы войны, заключается в том, в какой мере удавалось выдерживать марочный состав и необходимую технологию для обеспечения качества брони, удовлетворительную для боевых машин, отправляемых на фронт. Сам этот вопрос носит несколько неопределенный диалектический характер. Приемлемым можно считать качество брони, удовлетворяющее военную приемку. Однако хорошо известно, что брак бронекорпусов на Уралмаше в отдельные моменты доходил до 80% и на фронт отправлялись танки и САУ с трещинами в бронелистах<sup>8</sup>.

Этот факт вполне понятен и почти очевиден, если принять во внимание огромные трудности, связанные с потерей крупных промышленных центров на западе страны, эвакуацией и созданием новых центров танковой промышленности и бронепроизводства на Урале и в Сибири, о чем неоднократно сообщалось в литературе. Современные металловедческие исследования могут указать на качественные характеристики броневой стали военного времени и их соответствие проектным показателям.

Использованные спектрометры позволяли определять содержание 15-18 элементов. Содержание ряда элементов (V, W, Sn) не приводится по причине их малой концентрации (тысячные доли процента), что близко к погрешности прибора. Содержание углерода для САУ не определено ввиду методических трудностей использования оптико-эмиссионного спектрометра на этих объектах. Мы полагаем, что в случае уралмашевских самоходок содержание углерода находится в пределах марочного состава стали 8С. Для Т-34(Х) концентрация углерода составляет 0.22%, для Т-34(С) – 0.47%. В качестве сравнения приведены данные по химическому составу «исходной» броневой стали

<sup>8</sup> Мельников Н.Н. Модернизация танковой промышленности СССР в условиях Великой Отечественной войны. Екатеринбург: Изд-во «Сократ», 2017. 416 с.

МЗ-2 от 1939 г., модифицированные составы стали И-8С и 8С соответственно от 1940 и 1942 г. Здесь же приведены химические составы брони немецких танков Pz. III, Pz. IV и английского танка Matilda Mk II.

Данные по советской броне получены из архивных материалов<sup>9</sup>. Химический состав брони танка Pz. IV и Matilda воспроизводится по книге С.И. Устьянцева, Д.Г. Колмакова<sup>10</sup>. Состав брони немецкого танка Pz. III установлен авторами по измерениям брони САУ-76И, изготовленной на базе трофейного танка Pz. III. Обращает на себя внимание различный состав брони правого и левого борта. Различная броня использовалась и для люков и командирской башенки. Такая ситуация возможна вследствие поставок брони на завод-изготовитель Pz. III от разных поставщиков или при изготовлении СУ-76И. В целом видно различие состава немецкой и советской брони по содержанию углерода и легирующих элементов: марганца, хрома, никеля, кремния. По совокупности этих данных немецкая броня должна быть более хрупкой.

Основными легирующими элементами, определяющими свойства брони 8С, являются хром, марганец, никель, молибден. Важное значение имеет также содержание углерода и кремния. Составы исследованных броневых сталей соответствуют или близки к марочному составу броневой стали 8С. Это один из существенных результатов настоящей работы. Химический состав брони предвоенного танка Т-34 Харьковского завода полностью соответствует составу брони И-8С. Броня для производства первых танков Т-34 поставлялась с Мариупольского завода им. Ильича, где и была разработана броневая сталь МЗ-2 (8С) при участии специалистов «броневоего института» ЦНИИ 48.

Исключение составляет лобовая броня СУ-100, имеющая состав с повышенным содержанием хрома, отличный от 8С. Толщина лобовой брони СУ-100 75 мм отличается от толщины ее бортовой брони и бронелистов других рассмотренных машин, имеющих толщину 45 мм. Для литых деталей, в частности башен и оружейных масок, также использовалась специальная сталь. Крыша рубок САУ изготавливалась из брони толщиной 20 мм, близкой по составу к противопулевой брони. В броне сталинградского танка отмечено повышенное содержание углерода и фосфора, что может привести к охрупчиванию брони. Действительно, при осмотре этого танка в борту обнаружена пробоина от снаряда вместе с выломанным куском брони. Толщина бортовой брони этого танка составляет 40 мм. Броневая сталь для Сталинградского тракторного завода поставлялась с завода «Баррикада».

<sup>9</sup> РГАЭ. Ф.8752. Оп.7. Д.67.Л.39.

<sup>10</sup> Устьянцев С.И., Колмаков Д.Г. Боевые машины Уралвагонзавода. Танк Т-34. Нижний Тагил: Издательский дом «Медиа-Принт», 2005. С.36.

На Уралмаш поставки броневой стали осуществлялись с Новотажинского металлургического комбината (в настоящее время – НТМК), а также с Магнитогорского и Новокузнецкого заводов. В довоенное время на этих предприятиях броня не производилась. Помимо основных легирующих элементов, о которых говорилось выше, в броневой стали присутствуют естественные микролегирующие элементы, обусловленные химическим составом железных руд. Видно, например, что в броне уралмашевских самоходок содержание меди заметно выше, чем в броне танков харьковского и сталинградского заводов. Это связано с повышенным содержанием меди в уральских рудах. Уровень микролегирования различными элементами может указывать на происхождение руды, из которой выплавлена сталь.

При достаточно широкой базе данных по легированию броневых сталей определенных марок на различных металлургических предприятий вместе с другими параметрам брони совокупность металлургических данных может способствовать атрибуции неизвестной брони по месту ее производства. При сравнительно узком наборе исследованных объектов видно различие в химическом составе брони разных заводов, выпускавших бронетехнику. Незначительное снижение содержания марганца и кремния в броне СУ-85 по сравнению с таковым в марочном составе стали 8С не должно сказаться на качестве брони. Заметим, что в годы войны броневое производство испытывало нехватку качественного ферромарганца. Никопольское месторождение марганца на Украине было утрачено. Полуночный рудник марганцевой руды на Северном Урале выдавал руду, не соответствующую ГОСТу, с сильным загрязнением фосфором, от которой металлурги отказывались<sup>11</sup>.

Возможно, с этим связано снижение требований по содержанию марганца в броневой стали 8С по ТУ 1942 г. Следует отметить, что броневая сталь 8С являлась удачно сбалансированной по содержанию основных легирующих элементов и допускала варьирование концентрации легирующих элементов в довольно широких пределах без существенного ухудшения основных свойств брони. Брак бронекорпусов был связан не столько с отклонениями состава стали, сколько с нарушением технологии термомодеформационной обработки бронели-

---

<sup>11</sup> *Осетрова Г.А.* К вопросу о производстве ферромарганца на Нижнетагильском заводе им. В.В. Куйбышева в годы Великой Отечественной войны. // ТАНКПРОМ, век XX: Ведомственный музей – центр сохранения, исследования и популяризации отечественной индустриальной культуры (к 100-летию отечественной танковой промышленности): материалы научно-практической конференции. Нижний Тагил, 10-12 сентября 2020 г. С.65-77.

стов: закалка, отпуск, прокатка, резка и сварка бронелистов. Это требовало жесткого выполнения необходимых технологических условий, что не всегда удавалось осуществить. За время войны состав и технология броневой стали 8С неоднократно корректировались с целью упрощения технологии и адаптации к условиям конкретного предприятия. Эти работы велись под научным руководством ЦНИИ 48 и при непосредственном участии в работе предприятия сотрудников института. Отметим, что на исследованных экземплярах бронетехники мы не обнаружили явных следов брака брони, за исключением погрешностей в сварных швах (неравномерность толщины, щели).

Оптимальная твердость брони 8С толщиной 40-50 мм при ее создании определялась в пределах 2.9-3.3 мм по диаметру отпечатка Бринелля, что соответствует значениям по шкале Бринелля 444-341 НВ, при этом она трактовалась как броня высокой твердости. Такая твердость по замыслам ее создателей обеспечивала высокую противоснарядную стойкость при достаточной вязкости металла. Наши измерения твердости показали, что в целом твердость броневых листов исследованных САУ соответствует проектным показателям. Наибольшая твердость отмечена для бортовой брони СУ-100 – 410-435 НВ; лобовой бронелист СУ-100 толщиной 75 мм имеет твердость 270 НВ. Твердость брони СУ-122 составляет 380-405 НВ; твердость брони СУ-85 несколько ниже и лежит в пределах 310-340 НВ. В то же время твердость немецкой брони танка Pz. III толщиной 30 мм значительно выше и составляет 580-590 НВ, что связано с цементацией или закалкой поверхности слоя.

Важным требованием к противоснарядной танковой броне является должное сочетание твердости и пластичности, с тем чтобы она противостояла попаданию снаряда и не давала расслоений и отколов, способных поражать экипаж. Требуемые свойства брони обеспечиваются подбором оптимального состава и соответствующего режима термообработки. Эти качества брони могут быть оценены без проведения обстрелов в лабораторных условиях путем изучения под микроскопом вида изломов. Характер изломов свидетельствует о качестве выплавки, пластической деформации, термической обработке стали.

Изучение вида изломов проведено с помощью сканирующего электронного микроскопа на небольших образцах порядка 10 мм, отобранных от брони СУ-85 и СУ 100. Изломы производились при комнатной температуре и после охлаждения в жидком азоте. Микрофотографии, которые мы здесь не приводим, явно свидетельствуют о преимущественно вязком характере изломов. Вместе с этим обнаружены

микровключения сульфидов марганца, около которых образуются хрупкие сколы. Кроме этого, выявлены частицы шлака, которые не дают хрупкого разрушения стали. Имея в виду показатели твердости, можно говорить о приемлемом сочетании твердости и вязкости измеренных образцов броневой стали. Рентгенофазовый анализ образцов, отобранных от бортовой брони СУ-85 и лобовой брони СУ-100, показал, что обе стали находятся в двухфазном структурном состоянии: помимо основной  $\alpha$ -фазы железа, присутствует также  $\gamma$ -фаза железа в количестве 5-10%.

Из микроскопических исследований шлифов следует, что образец броневой стали СУ-85 имеет структуру отпущенного пакетного мартенсита, размер пакета 20-30 мкм, содержание остаточного аустенита 5%; структура стали СУ-100 представляет собой отпущенный бейнит и также содержит 5% остаточного аустенита. Микротвердость стали первого образца составляет 3500 МПа, а второго образца – 2280 МПа. Структурные различия указывают, что броневая сталь СУ-85 отпущена при более высоких температурах, чем в случае лобовой брони СУ-100. На шлифах обоих образцов выявлены в довольно большом количестве поры округлой или вытянутой формы размером 5-30 мкм, а также микротрещины длиной до 30 мкм. Эти микродефекты, по нашему мнению, не должны сказываться на общем качестве брони.

В ходе выполнения настоящей работы показана эффективность применения современных переносных приборов для неразрушающего контроля металлов, таких как рентгеновские и оптические спектрометры, баллистические твердомеры, ультразвуковые дефектоскопы, непосредственно на музейных экспозициях. Разработанные методы и подходы позволяют значительно ускорить и удешевить получение существенных данных о металлических артефактах и облегчить их атрибуцию. Предложенные методы могут быть использованы и в полевых условиях при археологических работах. Полученные в работе экспериментальные данные по составу и свойствам брони показывают, что, несмотря на все трудности военного времени, в броне изученных образцов бронетехники содержание основных легирующих элементов – хрома, марганца, никеля, молибдена, кремния – при некоторых отклонениях концентраций в основном соответствует марочному составу броневой стали 8С. Это же относится и к показателям твердости и требуемому сочетанию твердости и вязкости броневой стали.

В целом металловедческая информация, полученная на современном научном уровне, и основанные на ней выводы являются важными для установления конкретных фактов, характеризующих свойства и

особенности производства брони и выяснения процессов становления и развития броневое производство. Необходимым условием успешной деятельности в этом междисциплинарном направлении является плодотворное сотрудничество металлургов, металлургов, историков и представителей музейного сообщества. Броневая сталь 8С, несмотря на некоторые дефекты, в частности склонность к трещинообразованию, что связано с погрешностями технологии, являлась главной составляющей для системы бронирования средних САУ и танков Т-34, выпускаемых в годы Великой Отечественной Войны. Учитывая объемы массового производства танков Т-34 и самоходных артиллерийских установок на его основе, можно утверждать, что броневая сталь 8С являлась наиболее важным и значительным по объему производства продуктом отечественных производителей брони в годы Великой Отечественной войны. И в этом заключается ее весомая роль в отечественном танкостроении.

Авторы статьи выражают благодарность ООО «ЭЛНК ГРУПП» за содействие в проведении ряда измерений, сотрудникам Института физики металлов УрО РАН, Института истории и археологии УрО РАН, Музея военной техники УГМК за плодотворное сотрудничество.

Работа выполнена при поддержке программ «Спин» Г.р. № ААА-А-А18-118020290104-2, «Давление» № АААА-А18-118020190104-3.

#### **Библиография**

1. *Мельников Н.Н.* Модернизация танковой промышленности СССР в условиях Великой Отечественной войны. Екатеринбург: Изд-во «Сократ», 2017. 416 с.
2. История создания противоснарядной танковой брони 8С / *Н. Н. Мельников, Б. А. Гилевский, В. Вас. Запарий, В. Вл. Запарий* // Черные металлы. 2019. №5. С. 70-76.
3. Сила брони / *А.С. Орыщенко, В.В. Цуканов, О.Э. Нигматулин и др.* СПб.: ЛА Проффессионал, 2019. 326 с.
4. *Осетрова Г.А.* К вопросу о производстве ферромарганца на Нижнетагильском заводе им. В.В. Куйбышева в годы Великой Отечественной войны // ТАНКПРОМ, век XX: Ведомственный музей – центр сохранения, исследования и популяризации отечественной индустриальной культуры (к 100-летию отечественной танковой промышленности): материалы научно-практической конференции. Нижний Тагил, 10-12 сентября 2020 г. Нижний Тагил, 2020. С.65-77.
5. *Устьянцев С.И., Колмаков Д.Г.* Боевые машины Уралвагонзавода. Танк Т-34. Нижний Тагил: Издательский дом «Медиа-Принт», 2005. 232 с.