

УДК: 621.78.01; 623.445.1

**ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ ТИПА ХВГ И 9ХС
ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ БРОНЕЗАЩИТЫ**
**HEAT TREATMENT OF STEEL TYPES 9CRSI AND CRWMN
FOR USE IN ARMOR PROTECTION ELEMENTS**

Ф.А. Демидов, А.С. Пучков

АО «НПО Спецматериалов»

F.A. Demidov, A.S. Puchkov

В статье рассматривается возможность использования инструментальных сталей типа ХВГ и 9ХС, обладающих высокими механическими свойствами, в элементах бронезащиты для разработки высокоэффективных средств индивидуальной защиты. Для достижения данной цели приведены химический состав и характеристика сталей ХВГ и 9ХС, и исследовано влияние легирующих элементов на механические свойства сталей, проанализированы патенты на использование инструментальных сталей типа ХВГ и 9ХС в элементах бронезащиты, представлены значения твердости (HRC) после проведения термической обработки по стандартным для данных сталей и скорректированным режимам с изменением температуры отпуска и закалочной среды, а также произведен анализ полученных значений твердости сталей.

Ключевые слова: термическая обработка, закалка, отпуск, закалочная среда, инструментальная сталь, твердость, свойства, бронезащита, структура.

The article discusses the possibility of using tool steels of the type CrWMn and 9CrSi, which have high mechanical properties, in elements of armor protection for the development of highly effective personal protective equipment. To achieve this goal, the chemical composition and characteristics of the CrWMn and 9CrSi steels are given and the influence of alloying elements on the mechanical properties of steels is investigated, patents for the use of CrWMn and 9CrSi type tool steels in armor protection elements are analyzed, the hardness values (HRC) are presented after heat treatment according to standard of these steels and corrected modes with a change in tempering temperature and quenching medium, as well as an analysis of the obtained values of steel hardness.

Keywords: heat treatment, quenching, tempering, the quenching medium, tool steel, hardness, properties, armor protection, structure.

В связи с постоянным совершенствованием огнестрельного оружия и других средств поражения вопрос разработки высокоэффективной брони актуален и сегодня. Основными способами улучшения защитных характеристик средств индивидуальной защиты являются такие методы, как разработка новых структур бронезащиты, корректировка технологии изготовления су-

ществующих структур бронезащиты, применение новых современных материалов в средствах индивидуальной защиты (СИБ).

Для разработки структуры, соответствующей классу защиты Бр4 [1], взамен броневым сталям были предложены инструментальные стали типа ХВГ и 9ХС, толщиной 4 мм, после проведения термической обработки по стандарт-

ному и скорректированному режимам. Инструментальные стали были выбраны, так как они обладают высокими механическими характеристиками, особенно твёрдостью.

Данные стали являются аналогами друг друга и были выбраны по двум критериям:

- 1) широкое распространение сталей;
- 2) высокая твердость после термической обработки (61–63 HRC) [2].

В основном стали ХВГ и 9ХС применяются для изготовления режущего и измерительного инструментов. Возможность применения указанных сталей в бронезащите уже была рассмотрена в патентах № 2388986 и № 2431108 [3, 4]. Авторы проанализировали использование сталей ХВГ и 9ХС в многослойной бронепреграде как для защиты военной техники, так и для средств индивидуальной защиты. Однако многослойная броня получается большой толщины, что делает ее очень тяжелой. Это снижает подвижность сотрудников силовых структур. Также процесс создания такой брони очень трудоемкий. Поэтому стоит рассмотреть возможность использования сталей ХВГ и 9ХС толщиной 4 мм в структуре брони.

Для придания исследуемым сталям необходимых прочностных свойств (твердости) стали подвергались термической обработке по стандартным и, с целью получения более высоких показателей механических свойств, скорректированным режимам. Относительно стандартной термической обработки были изменены температура отпуска и закалочная среда. Отпуск проводился при более низкой температуре ($T_{\text{отп}} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$) и вместо охлаждения в масле после закалки, охлаждение образцов производилось в воде.

На свойства сталей после термической обработки существенное влияние оказывает их химический состав [5].

Сталь ХВГ относится к заэвтектидным сталям перлитного класса. Химический состав стали ХВГ представлен в табл. 1.

Основной химический элемент, повышающий прочность и твердость стали — углерод. Он

располагается в металлической решетке и образует карбиды, размеры, форма и расположение которых оказывает основное влияние на свойства стали.

Атомы хрома уплотняют решетку стали, придавая ей еще большую плотность и стабильность. Также хром оказывает положительное влияние на прокаливаемость и твердость стали [6].

На прокаливаемость стали положительно влияет наличие в составе вольфрама и молибдена. Эти два элемента образуют более прочные карбиды, чем углерод, что повышает твердость и красностойкость стали. Вольфрам и молибден препятствуют росту зерна, что повышает пластичность стали, твердость при этом не снижается. Также вольфрам способствует устранению хрупкости стали при отпуске.

Также на прочность стали положительно влияет наличие в составе кремния. Сам кремний не образует карбидов, он выталкивает карбиды к границам зерен, тем самым повышая прочность стали [5, 6].

Наличие в составе марганца положительно сказывается на вязкости и пластичности стали, так как марганец снижает температуру конца мартенситного превращения и увеличивает содержание остаточного аустенита в структуре стали [7].

Все легирующие элементы, за исключением кобальта, снижают температуру конца мартенситного превращения. При содержании в составе стали марганца в количестве 1 % температура конца мартенситного превращения (M_c) снижается на $45\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом увеличивается содержание остаточного аустенита, который снижает твердость и прочность стали, но при этом повышает пластические характеристики стали [7].

Сталь 9ХС, как говорилось ранее, является аналогом стали ХВГ, и также относится к инструментальным заэвтектидным сталям перлитного класса. Химический состав стали 9ХС представлен в табл. 2.

Углерод и хром оказывают аналогичное влияние на структуру и свойства, как и у стали ХВГ.

Таблица 1

Химический состав стали ХВГ [2]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	W	Cu	Fe
0,9–1,05	0,1–0,4	0,8–1,1	0,35	до 0,03	до 0,03	0,9–1,2	до 0,3	1,2–1,6	до 0,3	~94

Химический состав стали 9ХС [2]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	W	V	Ti	Cu	Fe
0,85–0,95	1,2–1,6	0,3–0,6	до 0,35	до 0,03	до 0,03	0,95–1,25	до 0,2	до 0,2	до 0,15	до 0,03	до 0,3	~94

Добавление в состав титана и ванадия положительно сказывается на твердости и прочности стали. Они образуют прочные карбиды.

Как и в случае со сталью ХВГ, в стали 9ХС кремний упрочняет сталь путем выталкивания карбидов к границам зерен. Ввиду меньшей концентрации марганца и большей концентрации кремния сталь 9ХС получается более прочная чем ХВГ, однако при этом немного снижаются пластичность и вязкость стали [7, 8].

Стандартный режим термической обработки стали ХВГ состоит из закалки при $T = 840$ °С, выдержки в течение 4 минут, охлаждения в масле и последующего отпуска при $T = 210$ °С, выдержки в течение 40 минут, охлаждения на воздухе.

Стандартный режим термической обработки стали 9ХС состоит из закалки при $T = 850$ °С, выдержки в течение 4 минут, охлаждения в масле и последующего отпуска при $T = 250$ °С, выдержки в течение 40 минут, охлаждения на воздухе [2].

Закалка с охлаждением в масле проводится с целью предотвращения появления трещин и коробления образцов [5].

Твердость стали измерялась по шкале Роквелла (HRC), согласно [9], на каждом образце по 5 раз. Результаты твердости (HRC) после проведения стандартной термической обработки каждой стали приведены в табл. 3.

Из данных табл. 3 видно, что даже максимальное значение твердости стали ХВГ не достигает значений твердости, полученных у стали 9ХС.

У стали 9ХС среднее значение твердости составляет порядка 60,5 HRC. Значение твердости стали ХВГ 57 HRC выпадает из ряда полученных значений. Данное значение может являться результатом погрешности и для анализа твердости учитываться не будет.

Меньшая твердость стали ХВГ может быть связана, в первую очередь, с положительным влиянием марганца на пластичность и вяз-

Таблица 3

Значения твердости сталей после стандартной термической обработки

Марка стали	Размер образца, мм	Номер образца	Твердость, HRC
9ХС	50×50	1	61
		2	60,5
		3	60
		4	60,5
		5	57
ХВГ	50×50	1	53
		2	59
		3	57
		4	53
		5	54,5
9ХС	50×25	1	60
		2	60
		3	60
		4	61
		5	60
ХВГ	50×25	1	53
		2	58
		3	54
		4	58
		5	53

кость стали, а также с меньшим содержанием кремния. Также меньшая твердость стали ХВГ может быть связана с большим содержанием в структуре остаточного аустенита, что положительно сказывается на пластичности стали. Стоит отметить, что для брони и защитных структур важно сочетание двух противоположных свойств: вязкости и твердости. Исследование пластических характеристик данных сталей не проводилось. Поэтому в дальнейшем стали будут сравниваться только по значению твердости.

Скорректированный режим термической обработки стали ХВГ состоит из закалки при $T = 840$ °С, выдержки в течение 4 минут, охлаждения в воде и последующего отпуска при $T = 200$ °С, выдержки в течение 40 минут, охлаждения на воздухе.

Скорректированный режим термической обработки стали 9ХС состоит из закалки при $T = 850$ °С, выдержки в течение 4 минут, охлаждения в воде и последующего отпуска при $T = 200$ °С, выдержки в течение 40 минут, охлаждения на воздухе.

Значения твердости сталей 9ХС и ХВГ после проведения термообработки по скорректированному режиму представлены в табл. 4.

Из данных табл. 4 видно, что значения твердости у двух сталей примерно равны. Максимальное значение твердости 62,4 HRC достигается у стали ХВГ. При этом стоит отметить, что и минимальное значение твердости 54,1 HRC также наблюдается у стали ХВГ.

У стали 9ХС при проведении термической обработки по скорректированному режиму существенного изменения твердости не произошло, что свидетельствует о том, что стандартный режим термообработки обеспечивает оптимальное сочетание механических свойств данной стали.

Изменение закалочной среды и понижение температуры отпуска положительно повлияло на твердость стали ХВГ. Это может быть связано с тем, что избыточный углерод искажает решетку, вызывает появление больших внутренних напряжений и, как следствие, твердость и прочность растут. Также в данном случае на твердость стали ХВГ положительное влияние могли оказать вольфрам, молибден и кремний.

При сравнении данных представленных в табл. 3 и 4 можно сделать вывод, что изменение режима термической обработки практически не оказало влияния на твердость стали 9ХС. При этом, с изменением режима термообработки у стали ХВГ твердость значительно возросла, од-

Таблица 4

Значения твердости сталей 9ХС и ХВГ после проведения скорректированной термической обработки

Марка стали	Размер образца, мм	Номер образца	Твердость, HRC
9ХС	50×50	1	61,3
		2	61,2
		3	58,6
		4	57,2
		5	60,6
		6	58,2
		7	59,8
		8	59,0
		9	60,6
		10	60,4
ХВГ	50×50	1	60,2
		2	60,9
		3	59,0
		4	60,1
		5	54,1
		6	59,0
		7	59,0
		8	60,4
		9	62,4
		10	56,2

нако вероятнее всего снизились пластичность и вязкость стали.

При стандартном режиме термической обработки твердость стали 9ХС больше чем у ХВГ, что может быть связано с большим содержанием марганца и меньшим содержанием кремния в стали ХВГ.

По результатам проведенных экспериментов однозначно сделать выбор в пользу стали 9ХС или ХВГ для использования в элементах бронезащиты невозможно, также, как и выбрать наиболее подходящий режим термической обработки. Для ответа на данный вопрос необходимо комплексное исследование свойств данных сталей или проведение испытаний образцов бронезащиты. Однако, если проанализировать значения твердости обеих сталей при различных режимах термической обработки, можно отметить большую твердость стали 9ХС. При достаточно высоких значениях пластичности и вязкости, данную сталь можно рекомендовать для использования в элементах бронезащиты.

Литература

1. ГОСТ 34286-2017 Бронеодежда. Классификация и общие технические требования. — М.: Стандартинформ. 2019-03-01. 12 с.
2. ГОСТ 5950-2000 Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия. — М.: Издательство стандартов. 2002-01-01. 33 с.
3. Сильникова Е.Ф., Сильников М.В., Сильников Н.М. Броня стальная текстурированная // Патент РФ № 2431108. 2010.
4. Сахаров С.А., Камаев Е.А., Ховрич М.В. Многослойная бронепреграда // Патент РФ № 2388986. 2008.
5. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И. Материаловедение: учебник для вузов. — М.: Химиздат, изд. 2-е перераб. и доп. 2007. 696 с.
6. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. — М.: Металлургия. 1983. 526 с.
7. Лисовская О.Б., Владыкин А.В. Остаточный аустенит в высокоуглеродистых сталях и способы его устранения в структуре стали //

Общество. Наука. Инновации (НПК-2017): Всерос. Конф. (Киров, 01–29 апр. 2017 г.). — Киров. 2017. С. 1467–1472.

8. Раскатов М.В. Краткий справочник по машиностроительным материалам / М.В. Раскатов, А.А. Кохтев, В.А. Лелянов и др. 3-е изд. перераб. и доп. — М.: Машиностроение. 1980. 511 с.

9. ГОСТ 9013-59 (ИСО 6508-86) Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу (с Изменениями № 1, 2, 3, с поправкой). — М.: Издательство стандартов. 1969-01-01. 10 с.

References

1. GOST 34286-2017 Armored clothing. Classification and general technical requirements. — Moscow: Standartinform. 2019-03-01. 12 p.
2. GOST 5950-2000 Bars, strips and skeins of tool alloy steel general technical conditions. — Moscow: Publishing House of standards. 1969-01-01. 10 p.
3. Silnikova E.F., Silnikov M.V., Silnikov N.M. Textured steel armor // RF patent № 2431108. 2010.
4. Sakharov S.A., Kamaev E.A., Khovrich M.V. Multilayered armored barrier // Patent of the Russian Federation 2388986. 2008.
5. Solntsev Yu.P., Pryakhin E.I. Material Science: textbook for universities. — М.: Khimizdat, ed. 2nd reprint. and add. 2007. 696 p.
6. Geller Yu. A. Tool steels. — М.: Metallurgy, 1983. 526 p.
7. Lisovskaya O. B., Vladykin A.V. Residual austenite in high-carbon steels and methods of its elimination in the structure of steel. The science. Innovation (NPK-2017): vseros. Conf. (Kirov, 01–29 Apr. 2017). — Kirov. 2017. P. 1467–1472.
8. Raskatov M.V. Short reference book on machine-building materials / M.V. Raskatov, A.A. Kokhtev, V.A. Lelyanov et al. 3rd ed. reslave. and additional. — М.: Mechanical Engineering. 1980. 511 p.
9. GOST 9013-59 (ISO 6508-86) Metals. Rockwell hardness measurement method (with Changes № 1, 2, 3, with correction). — Moscow: Publishing House of Standards. 1969-01-01. 10 p.