



## ПОВЫШЕНИЕ ТВЁРДОСТИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ЗА СЧЁТ ЖИДКОСТНОГО ЦИАНИРОВАНИЯ И ЗАКАЛКИ

**Касилов О.А., Малыгин Б.В.**

*Херсонская государственная морская академия*

*В работе исследовался эффект повышения поверхностной твёрдости 20 марок легированных конструкционных и инструментальных сталей путём жидкостного цианирования в изотермическом режиме при 800°C и ступенчатом при 820-870°C с закалкой в масле непосредственно из соляной ванны в сравнении со стандартной закалкой от оптимальных температур.*

*Для всех сталей получен упрочняющий эффект. Низкий отпуск, назначаемых для снижения внутренних напряжений, уменьшает твёрдость на 2-4ед. HRCэ.*

*Ключевые слова: легированная сталь, цианирование, упрочнение, поверхностная твёрдость, износостойкость.*

**Вступление.** В процессе эксплуатации судовых систем и механизмов детали машин, изготовленные из углеродных и легированных сталей, подвергаются большим механическим нагрузкам, приводящим к износу и преждевременному выходу из строя как отдельных деталей, так и узлов.

Для повышения износостойкости и работоспособности деталей узлов и механизмов в машиностроении, судостроении, транспорте и инструментальном производстве применяют различные виды химико-термического упрочнения изделий – цементацию, азотирование, цианирование. Последний вид химико-термической обработки имеет преимущество в производительности процесса, поэтому он выбран нами для исследования как быстрейший способ достижения эффекта поверхностного упрочнения изделий из легированных сталей.

**Анализ публикаций.** Цианирование стали заключается в одновременном насыщении поверхности изделия углеродом и азотом, характеризуется большой производительностью и обеспечивает повышение поверхностной твёрдости, износостойкости, предела выносливости при изгибе и контактной выносливости [1, 2, 3, 4, 6]. Твёрдое цианирование осуществляют аналогично твёрдой цементации, только карбюризатор содержит цианистые соли, например: 30-40%  $K_4Fe(CN)_6$  (жёлтая кровяная соль), 10%  $Na_2CO_3$  (сода), остальное – древесный уголь. Процесс по производительности значительно менее эффективен, чем жидкое и газообразное цианирование. Газовое цианирование осуществляют в смеси науглероживающих и азотируемых газов (например, смесь светильного газа и аммиака).

Жидкое цианирование проводят в расплавленных цианистых солях в смеси с нейтральными солями, например, состав (смеси) солей: цианистые –  $NaCN$ ,  $KCN$ ,  $Ca(CN)_2$ ,  $K_4Fe(CN)_6$ , и нейтральные –  $NaCl$ ,  $Na_2CO_3$ ,  $BaCl_2$ ,  $CaCl_2$  и другие. В зависимости от соотношения количества цианистых и нейтральных солей составы ванн подразделяются на высокопроцентные (~50% цианида), среднепроцентные (~25% цианида) и низкопроцентные (~10% цианида). Основным компонентом в солях является группа циана (CN), за счёт которой происходит диффузионное насыщение стали азотом и углеродом, химизм процесса описан в [1-6]. Высокотемпературное (среднетемпературное) цианирование проводят в среднепроцентных цианистых ваннах с  $NaCN$  (20-25%),  $NaCO_3$  (25-50%) и  $NaCl$ (25-50%) при 820-870°C для получения диффузионного слоя 0,15-0,45мм в течение 40-120 мин. [4, 6].

Глубокое цианирование проводят в низкопроцентных ваннах, содержащих до расплавления 8%  $NaCN$ , 82%  $BaCl_2$  и 10%  $NaCl$ , при 900-950°C в течение 1,5-6 ч. для получения слоя большой толщины (0,5-2,0 мм) с высоким содержанием углерода (0,8-1,2 %) и низким содержанием азота (~0,2%) [6].



Низкотемпературному цианированию подвергают в основном инструмент из быстрорежущей стали при 550-570°C с последующим медленным охлаждением. Твёрдость цианированной быстрорежущей стали составляет 1000-1100 HV, а при более длительном цианировании достигает 1150-1200 HV и 70-72 HRC, что повышает твёрдость нецианированного инструмента на 150-200HV [1]. Важно, что цианирование повышает стойкость инструмента при нагреве. При цианировании в ванне с 35-50% NaCN (остальное – NaCO<sub>3</sub> и NaCl), при температуре 560°C и выдержке 5-30 минут получают глубину слоя 0,02-0,04мм [4].

Низкотемпературному цианированию при 570°C в течение 0,5-3 ч. подвергают среднеуглеродистые стали в высокопроцентных цианистых ваннах, через которые пропускают сухой воздух (тенифер-процесс) с целью насыщения поверхности стали в большой степени азотом и меньшей степени углеродом. В результате такой обработки возникает тонкий (10-15 мкм) карбонитридный слой Fe<sub>3</sub>(N,C), обладающий хорошим сопротивлением износу и менее хрупкий, чем чистые карбиды (Fe<sub>3</sub>C) и нитриды (Fe<sub>3</sub>N). Под этим слоем лежит слой азотистого феррита (на легированных сталях HV600-1000) толщиной 0,2-0,5 мм [5].

Вышеуказанные режимы жидкостного цианирования относятся к изотермическому процессу насыщения стали азотом и углеродом, а сведения о ступенчатых режимах практически отсутствуют. Тем не менее известно, что при пониженных температурах идёт интенсивное насыщение стали азотом, а при повышенных углеродом [5]. Поэтому представляет интерес исследовать эффективность ступенчатого цианирования (нижняя ступень – 800 °C, верхняя – 870 °C) с последующей закалкой.

**Цель работы** – исследовать эффект повышения твёрдости (следовательно, износостойкости) деталей из легированных конструкционных и инструментальных сталей за счёт кратковременного (1,5-2 ч.) жидкостного цианирования в цианистой ванне в изотермическом (при 800°C) и ступенчатом (820-870°C) режимах и закалки в масле.

**Изложение основного материала.** В условиях электромашиностроительного завода исследовали возможность повышения поверхностной твёрдости деталей из легированных сталей марок 18X2H4BA, 25X2Г2H2MФC, 20X3BMФ, 30X2MФ, 35X2MT, 30XГCНА, 38XНЗMФА, 36Г2C, 40X, 35X5BMФC, 4X5B2ФC, 5XHM, 5XHB, 5XB2C, 5X2MФ, 55XГMT, 6XГ2MФ, 6XCMТ, 55XГCНMФ, 55XГCНM2Ф путём жидкостного цианирования с последующей закалкой непосредственно из соляной ванны в масле и заключительного отпуска для снятия напряжений.

Для опытов использовали стандартное заводское оборудование: соляная ванна для цианирования В20 (низкопроцентная – 10% цианидов, состав: 45% NaCO<sub>3</sub>, 45% NaCl, 10% K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>·3H<sub>2</sub>O), инструментальная корзина OM-196, закалочный масляный бак (масло H20A ГОСТ-20799), шахтная и камерная электрические печи для отпуска деталей, твердомеры Роквелл и Виккерс, оптический микроскоп МИМ-7 для контроля микроструктуры до и после цианирования, а также для определения глубины цианированного слоя на образцах-свидетелях. Исследовали два режима цианирования:

1) изотермический – 800°C 1,5-2 ч., закалка в масле, отпуск при 100-120°C 1 ч. и 150-170°C 1 ч.

2) ступенчатый – 820°C 1 ч – 870°C 1 ч, закалка в масле, отпуск 2 ч при 200, 400, 500, 550, 600°C, а также при 170°C 1,5 ч.

Исследуемые стали обладают различной закаливаемостью (максимальной поверхностной твёрдостью, зависящей главным образом от концентрации углерода) и прокаливаемостью (глубиной закалённого слоя, зависящего в основном от содержания углерода и легирующих элементов – хрома, никеля, марганца, молибдена, вольфрама и других факторов). Готовые детали и образцы размером 20x20x100 мм нагревали в электрической камерной печи до оптимальных температур, выдерживали в течение 15-20 мин. и охлаждали в масле.



В табл. 1 представлені результати замера твёрдості, из которой видно, что стали 20X3BMФ, 18X2H4BA и 25X2Г2H2MФC обладают пониженной закаливается, хотя комплекс легирующих компонентов указывает на их высокую прокаливаемости. Среднеуглеродистые стали 30XГCНА, 36Г2C, 40X и 38XНЗMФА обладают средней закаливается, а прокаливаемости их различна, наибольшая – у 38XНЗMФА. Полутеплостойкие штамповые стали 5XНМ, 5XНВ, 5XB2C, 5X2MФ, 552XГMТ, 55XГCНMФ и 55XГCНM2Ф обладают повышенной закаливается и достаточной провалывается, возрастающей с увеличением концентрации легирующих элементов.

Таблица 1 – Твёрдость на деталях исследуемых сталей после стандартной закалки в масле от оптимальных температур (без отпуска)

№	Марка стали	$T_3$ °C	№	Марка стали	$T_3$ °C
		HRC <sub>3</sub>			HRC <sub>3</sub>
1	18X2H4BA	850/48	11	5X2MФ	900/60
2	25X2Г2H2MФC	1000/47	12	5XНВ	850/60
3	30XГCНА	860/54	13	5XB2C	900/59
4	36Г2C	870/57	14	55XГCНMФ	950/61
5	40X	860/58	15	55XГCНM2Ф	1050/60
6	38XНЗMФА	850/56	16	4X5B2ФC	1050/59
7	5XНМ	840/60	17	35X5BMФC	1050/58
8	55XГMТ	850/60	18	35X2MТ	1000/49
9	6XГ2MФ	850/62	19	30X2MФ	1000/49
10	6XCMT	850/62	20	20X3BMФ	1050/43

Низколегированные инструментальные стали 6XCMT и 6XГ2MФ характеризуются высокой закаливается и средней прокаливаемости. Стали 30X2MФ и 35X2MТ, содержащие 2% Cг, 1,2% Мо, 0,3% V и 0,1% Ti разработаны как универсальные, хорошо поддающиеся химико-термической обработке – цементации, азотированию, цианированию и предназначены для изготовления деталей (вставок) полутеплостойких штампов, а также для машиностроительных деталей, работающих при температурах до 500-550°C.

До химико-термической обработки они характеризуются средней закаливается и прокаливаемости, а после неё их закаливается резко возрастает.

В табл. 2 приведены результаты изотермического цианирования на глубину 0,15-0,30 мм с последующей закалкой из соляной ванны в масло и низким отпуском. Для всех сталей получен упрочняющий эффект – повышение поверхностной твердости деталей, закалённых после цианирования, по сравнению с деталями, прошедшими стандартную закалку, составляет для стали №1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 соответственно 8, 10, 5, 2, 3, 6, 4, 3, 3, 3 ед. HRC<sub>3</sub>. Таким образом, изотермический режим цианирования при 800°C эффективен для конструкционных сталей 18X2H4BA, 25X2Г2H2MФC, 30XГCНА, 38XНЗMФА, содержащих 0,18-0,38% C, и менее эффективен для инструментальных 5XНМ, 55XГMТ, 6XГ2MФ, 6XCMT, содержащих 0,5-0,6% C.

В табл. 3 даны результаты ступенчатого цианирования на глубину 0,2-0,4 мм с последующей закалкой в масле и отпуска в течение 2 ч при температуре 200, 400, 500, 550, 600°C. Ступенчатый режим цианирования при 820-870 °C более эффективен, чем изотермический при 800°C. Повышение твёрдости деталей после ступенчатого цианирования с закалкой непосредственно из соляной ванны по сравнению с деталями, прошедшими обычную стандартную закалку, составляет для стали № 1, 2, 5, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 соответственно 11, 16, 6, 5-6, 5, 6, 6, 2, 6, 6, 6, 15, 15, 21 ед. HRC<sub>3</sub>. Следовательно, для конструкционных сталей 18X2H4BA, 25X2Г2H2MФC, 30XГCНА, 35X2MТ, 20X3BMФ получен высокий упрочняющий эффект, для инструментальных сталей 5XНМ, 5X2MФ, 5XНВ, 5XB2C, 55XГCНMФ, 55XГCНM2Ф, 4X5B2ФC, 35X5BMФC он несколько ниже. После ступенчатого цианирования, закалки и отпуска при



170°C 1,5 ч. получили для стали 20X3BMФ, 30X2MФ, 35X2MT, 55XГСНМ2Ф, 5X2MФ, 5XB2C, 5XНВ и 5XНМ твердость соответственно 60, 62, 62,5, 63, 62,5, 62, 61,5 и 61 HRC<sub>Э</sub>. Для всех сталей после цианирования и закалки повышается твёрдость, низкий отпуск при 200°C снижает уровень упрочнённой стали на 2-4 ед. HRC<sub>Э</sub>, а при высоком отпуске твёрдость снижается тем сильнее, чем выше температура отпуска и менее легирована сталь карбидообразующими элементами – хромом, молибденом, вольфрамом, ванадием. На снижение твёрдости цианированного слоя могут оказывать влияние легирующие элементы – никель, марганец, хром, которые понижают точку мартенситного превращения и увеличивают процент остаточного аустенита (мягкой составляющей фазы).

Таблица 2 – Твёрдость стали после цианирования на глубину 0,15-0,30 мм при температуре 800 °C 1,5-2 ч, закалки в масле и отпуска при 100-120°C 1ч (числитель) и 150-170 °C 1ч (знаменатель)

№	Марка стали	HRC <sub>Э</sub>	№	Марка стали	HRC <sub>Э</sub>
1	18X2H4BA	56/54	6	38XH3MФА	62/59
2	25X2Г2H2MФC	57/55	7	5XНМ	63,5/61
3	30XГCНА	59/57	8	55XГМТ	62,5/59
4	36Г2C	59/57	9	6XГ2MФ	65/63
5	40X	61/58	10	6XCMT	65/63

Таблица 3 – Твёрдость стали после цианирования на глубину 0,2-0,4 мм по ступенчатому режиму (820°C 1ч-870°C 1ч), закалки в масле и отпуска 2ч при разных температурах

№	Марка стали	T <sub>отп.</sub> , °C	Твёрдость		№	Марка стали	T <sub>отп.</sub> , °C	Твёрд. HRC <sub>Э</sub>
			HRC <sub>Э</sub>	HV <sub>30</sub>				
1	18X2H4BA	20	59	724	2	25X2Г2H2MФC	20	63
		200	54	628			200	57
		400	47	517			400	54
		500	44	505			500	54
		550	42	503			550	52
		600	35	-			600	47
17	35X5BMФC	20	64	797	18	35X2MT	20	64-65
		200	61	730			200	61,5
		400	58	657			400	56
		500	55	620			550	54
		600	42	506				
14	55XГCНМФ	20	63	-	15	55XГCНМ2Ф	20	65-66
		200	60,5	720			500	55
		400	55	604			550	53
		500	54	604			600	50
20	20X3BMФ	20	64-65	769	16	4X5B2ФC	20	64-65
		550	47	523			200	59
19	30X2MФ	20	64-65	824	11	5X2MФ	20	65
		550	53	612			550	50
12	5XНВ	20	65	744	13	5XB2C	20	65
		550	53	488			550	50
5	40X	20	64-65	723	7	5XНМ	20	65-66
		200	56	653			550	43
		550	42	461				

#### Выводы:

1. Для исследованных марок стали получили упрочняющий эффект за счёт цианирования с последующей закалкой из цианистой ванны в масло.



2. Изотермический режим при 800°C 1,5-2ч. обеспечивает для стали получение диффузионного слоя глубиной 0,15-0,30 мм с твёрдостью от 56 до 65 ед. HRC<sub>Э</sub>.

3. Ступенчатый режим при 820°C 1ч. – 870°C 1ч. позволяет получить при глубине диффузионного слоя 0,20-0,40 мм высокую твёрдость: для стали № 1, 2, 14, 17, 20, 19, 18, 5, 16, 12, 11, 13, 7, 15 соответственно 59, 63, 63, 64, 64,5, 64,5, 64,5, 64,5, 65, 65, 65, 65,5, 65,5 ед. HRC<sub>Э</sub>. Для снижения внутренних напряжений следует назначать низкий отпуск при 170-200°C 1,5-2 ч., при этом твёрдость может снизиться на 2-4 ед. HRC<sub>Э</sub>.

4. Результаты исследования будут полезны для выбора легированной стали и рационального режима жидкостного цианирования, закалки и отпуска для изделий транспорта и флота, для деталей машин, инструмента, штамповочной оснастки, испытывающих в работе истирающие нагрузки, для повышения их работоспособности и износостойкости.

5. Перспективы дальнейшего исследования – оптимизация химического состава легированной стали для жидкостного цианирования и корректировка режима ступенчатого цианирования.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конторович И. Е. Термическая обработка стали и чугуна / И. Е. Конторович. – М. : Металлургиздат, 1950. – С. 291-301.
2. Вязников Н.Ф. Термическая обработка стали / Н. Ф. Вязников. – М. : Металлургиздат, 1961. – С. 216-220.
3. Металловедение и термическая обработка стали : справочник. – Том 2. – М. : Металлургиздат, 1962. – С. 1016-1024.
4. Самохоцкий А. И. Технология термической обработки металлов / А. И. Самохоцкий. – М. : Машгиз, 1962. – С. 172-185.
5. Гуляев А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. – М. : Металлургия, 1977. – С. 336-338.
6. Лахтин Ю. М. Химико-термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. – М. : Металлургия, 1985. – С. 138-141.

#### **Касілов О.О., Малигін Б.В. ПІДВИЩЕННЯ ТВЕРДОСТІ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ЗА РАХУНОК РІДИННОГО ЦІАНУВАННЯ І ГАРТУВАННЯ**

*У роботі досліджувався ефект підвищення поверхневої твердості 20 марок конструкційних та інструментальних сталей шляхом рідинного ціанування в ізотермічному режимі при 800°C і ступінчастому при 820-870°C з гартуванням у маслі безпосередньо із соляної ванни в порівнянні зі стандартним гартуванням від оптимальних температур. Для усіх сталей отриманий зміцнювальний ефект. Низьке відпускання, яке назначають для зменшення внутрішніх напружень, зменшує твердість на 2-4 од. HRC<sub>Э</sub>.*

*Ключові слова: легована сталь, ціанування, зміцнення, поверхнева твердість, зносостійкість.*

#### **Kasilov O.O., Malyhin B.V. HARDENING THE ALLOY STEEL BY CYANIDING AND WATER QUENCHING**

*Hardening of 20 grades of structural and instrumental steels by liquid cyaniding in isothermal conditions at 800°C and by stepped oil quenching at 820-870 °C in salt bath have been compared with standard quenching of optimum temperatures. Hardening effect has been obtained for all steel grades. Slow releasing to reduce internal hardening stress softens the steel by 2-4 units HRC<sub>Э</sub>.*

*Keywords: alloy steel, cyaniding, hardening, surface hardness, wear resistance.*