

УДК 621.785.4

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ НА ТВЕРДОСТЬ И СТРУКТУРУ СТАЛИ 30ХГСА

Анастасия Андреевна Красуля⁽¹⁾, Никита Евгеньевич Шкляр⁽²⁾

*Студентка 5 курса,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Аспирант,
кафедра «Материаловедение»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: В.И. Гришин,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

Представлено исследование по сравнительной оценке традиционной (закалка 880 °С + отпуск 540 °С) и изотермической закалке (закалка 880 °С + изотермический отпуск при 375 °С и 400 °С с разной изотермической выдержкой) на твердость и структуру стали 30ХГСА. Показано преимущество изотермической закалки по уровню механической свойств и экономическим показателям.

Ключевые слова: изотермическая обработка, бескарбидный бейнит, твердость.

Введение

В настоящее время существует проблема повышения прочности и ударной вязкости для ответственных деталей в узлах самолетов и вертолетов.

Решений это проблемы несколько:

- выбор более дорогостоящей марки материала, из которого будет изготавливаться ответственная деталь;
- выбор рационального режима термической обработки для используемых марок сталей, для повышения пластических и прочностных свойств.

Если выбирать первый вариант, существенно увеличится стоимость производства таких деталей, что совершенно нецелесообразно. Выбрав второй вариант, была предложена другая термическая обработка стали 30ХГСА(хромансиль), состоящая из изотермической закалки при температуре 880 °С и выдержкой при температуре 375 °С или 400 °С и различным временем. Режимы для изотермической закалки подбирались на основании данных работы [2], где показана возможность получения структуры бескарбидного бейнита на сталях 30ХГСА, 60С2,9ХС. Отсутствие большого количества карбидов в структуре бескарбидного бейнита обеспечивает повышенную ударную вязкость при высокой твердости.

В авиации широко используется сталь 30ХГСА для деталей, используемых в узлах, подверженных высоким нагрузкам и неблагоприятным условиям: крепежные детали, детали, работающие при низких температурах, в сварных конструкциях, испытывающих знакопеременные нагрузки и т.д.

Помимо упомянутых выше авиационных деталей, в машиностроении этот материал используется для лопаток компрессорных машин, эксплуатируемых при температуре до 400 °С, различных валов, осей, деталей обшивки и многое другое.

Сортамент выпускаемой из стали 30ХГСА продукции охватывает различные виды проката, листа, поковок, штамповок и труб.

Сталь 30ХГСА отличается хорошей свариваемостью и стоит сравнительно недорого, так как не содержит дефицитных легирующих элементов.

Цель работы

Сравнить традиционную термическую обработки стали 30ХГСА и изотермическую закалку. Получить комплекс механических свойств, включающий в себя высокую твердость (40HRC) и повышенную, по сравнению с традиционным способом термообработки, ударную вязкость. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Отработать режим термической обработки для получения структуры бескарбидного бейнита.
2. Провести металлографические и дюрOMETрические исследования образцов.

Материалы и методики

Сталь 30ХГСА

Объекты исследований изготавливали из стали ферритного класса 30ХГСА (хромансиль), состав которой приведен в табл. 1. Сталь 30ХГСА содержит в качестве легирующих элементов: кремний, марганец, хром (в количестве примерно одного процента), при этом содержание углерода в 30ХГСА равно ~ 0,30 %, а серы и фосфора – не более 0,025 %.

Таблица 1. Химический состав стали 30ХГСА

Сталь	Химический состав, %							
	C	Si	Mn	Ni	Mo	Al	Cu	Cr
30ХГСА	0,32	1,06	0,87	0,06	0,005	0,026	0,16	0,92

Традиционная термическая обработка производилась в камерной печи фирмы Durferit и состояла из нагрева под закалку при температуре 880 °С с выдержкой 5 минут и отпуска при температуре 540 °С 2 часа в печи-ванне той же фирмы.

Нагрев под изотермическую закалку стали проводили при температуре 880 °С в соляной ванне, изотермическую выдержку проводили в селитровой ванне при температуре 375 °С и 400 °С (время выдержки 10,15 и 20 мин.).

Оборудование для нагрева под закалку и изотермической выдержки показаны на рис.1 и 2 соответственно.



Рис.1 Печь-ванна для нагрева под закалку образцов из стали 30ХГСА



Рис.2 Печь-ванна для изотермической выдержки в расплаве селитры

Чтобы обеспечить требуемую твердость и структуру, необходимо было установить время и температуру выдержки для получения оптимальной твердости и пластичности образцов из стали 30ХГСА.

Сравнение традиционной обработки и изотермической закалки стали 30ХГСА

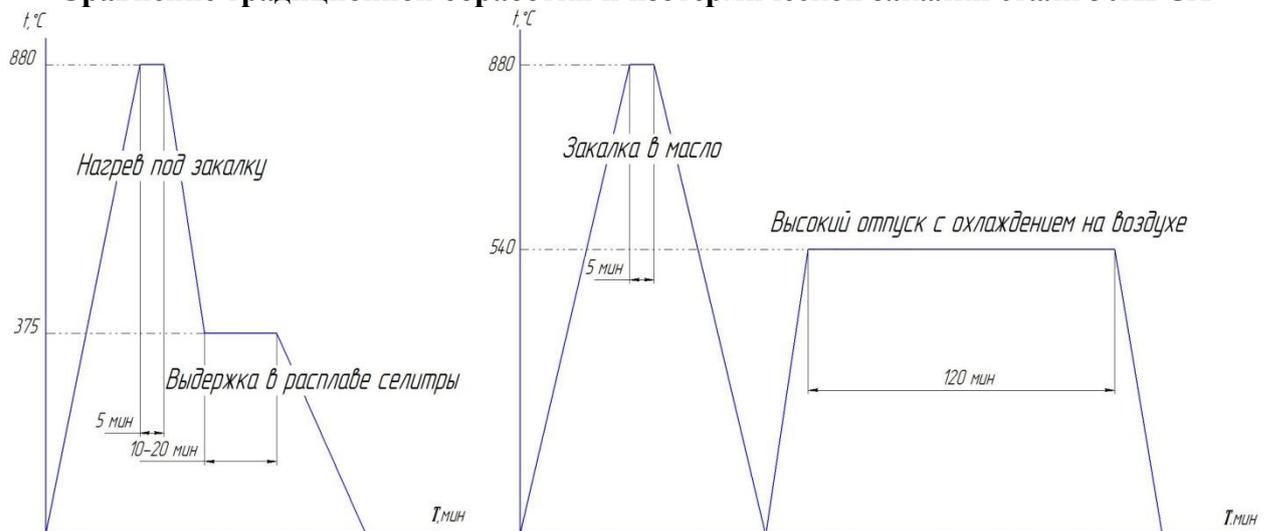


Рис.3 Сравнение способов проведения термической обработки стали 30ХГСА

Бейнитное превращение является промежуточным между перлитным и мартенситным. Время выдержки в горячей среде должно быть больше времени изотермического превращения аустенита, и его можно ориентировочно выбрать, руководствуясь С-диаграммой. При одинаковой твердости вязкость нижнего бейнита больше, чем у стали, отпущенной после закалки на мартенсит. Одной из причин получения высокой вязкости это более однородное распределение карбидных частиц в бейните. При бейнитном превращении сохраняется большое количество остаточного аустенита [3], который не превращается в мартенсит при охлаждении после изотермической выдержки.

Изотермическая закалка обеспечивает высокую ударную вязкость, резко уменьшает чувствительность к надрезу и деформациям по сравнению с закаленной на мартенсит и отпущенной сталью. Следовательно, изотермическая закалка позволяет повысить конструктивную прочность стали.

В результате бейнитного превращения образуется смесь α -фазы (феррита) и карбида, которая называется бейнитом. Карбид в бейните не имеет пластинчатого строения, свойственного перлиту. Карбидные частицы в бейните очень дисперсны, и их можно обнаружить только под электронным микроскопом.

Различают «верхний» и «нижний» бейнит, образующиеся соответственно в верхней и нижней части промежуточного интервала температур. Верхний бейнит имеет перистое строение, а нижний — игольчатое, мартенситоподобное. Нижний бейнит по виду микроструктуры бывает трудно отличить от отпущенного мартенсита. Указанные микроструктурные особенности, связанные с формой кристаллов феррита, не обязательны для бейнита во всех сталях. При традиционной закалке в стали присутствуют структурные напряжения из-за полиморфного превращения и термические напряжения из-за перепада температур, которые в меньшей мере присутствуют в большом количестве при изотермической закалке. Также существенное различие двух термических обработок во времени проведения процесса, при традиционной обработке время процесса составляет более двух часов, так при изотермической закалке всего 25 минут.

Авторами работ [1 - 3] была проведена отработка режимов по получению структуры верхнего бейнита. Сделан вывод о невозможности получения бескарбидного бейнита при непрерывном охлаждении и образования этой структуры при изотермической выдержке в бейнитном интервале температур. По результатам этих исследований были предложены режимы термообработки и исследованы свойства образцов.

Методика исследования

Исследовали образцы после изотермической выдержки при температурах 375 °С и 400 °С и с временем выдержки 10, 15 и 20 мин и образцы после термической обработки состоящей из закалки и высокого отпуска.

Металлографические исследования проводили на микроскопе Olympus GX-51 при увеличениях $\times 500$. Микрошлифы изготавливали по традиционной методике. Для выявления микроструктуры образца используют травители. Травление проводилось в 3-4 % растворе HNO_3 этилового спирта. Затем шлиф быстро промывают водой и высушивают фильтровальной бумагой.

ДюрOMETрические исследования состояли в измерении твердости поверхности образцов по методу Роквелла на приборе TP5006-02 при нагрузке 150 кг и в измерение микротвердости на приборе DuraScan при нагрузке 0,1 кг.

Результаты исследований

Микроструктура и свойства стали 30ХГСА после изотермической закалки

Исследовали микроструктуру стали после изотермической закалки при 375 °С и 400 °С в течение 10, 15 и 20 мин (рис. 4 - 9).

После выдержки 10 минут и при 400 °С (рис. 7) можно увидеть двухфазную область, участки сохранившегося после охлаждения аустенита и мелкие пластины бейнитного феррита. Увеличение времени выдержки до 20 мин характеризуется появлением контраста между областями аустенита, находящимся рядом с карбидами и на некотором расстоянии от карбидов. Вероятно, это объясняется обеднением более светлых областей (бескарбидный бейнит) по углероду, что объясняет падение твердости образцов.

При температуре выдержки 375 °С к 10 минуте заканчивается первая фаза бейнитного превращения, проходящая по бескарбидному механизму, то есть сдвиговое γ - α превращение с предварительным диффузионным перераспределением атомов углерода, но без образования карбидной фазы. Последующие 10 мин выдержки являются инкубационным периодом для процессов карбидообразования.

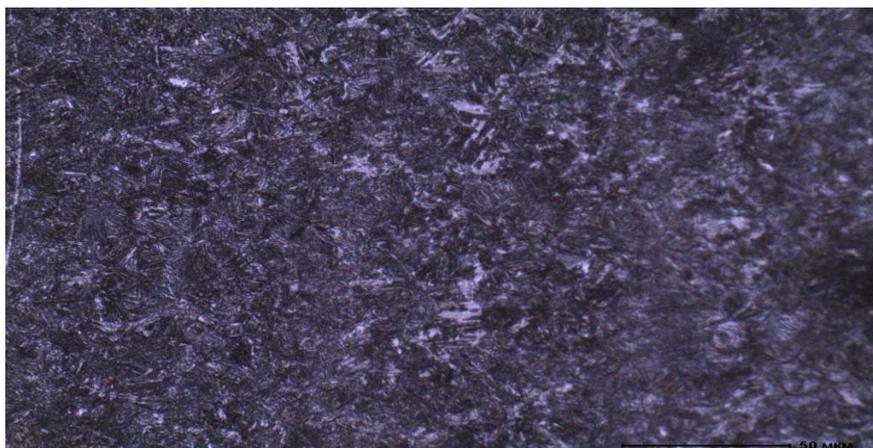


Рис. 4. Микроструктура стали 30ХГСА после закалки с изотермической выдержкой при температуре 375 °С в течение 10 мин. х 500

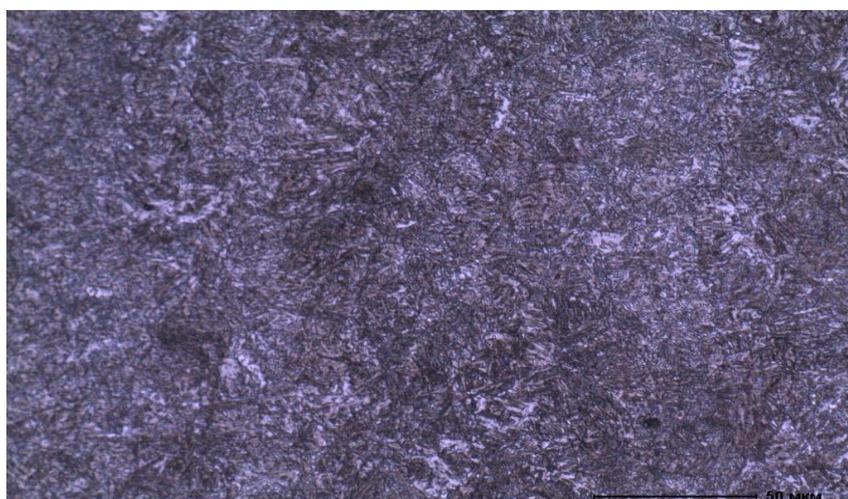


Рис. 5. Микроструктура стали 30ХГСА после закалки с изотермической выдержкой при температуре 375 °С в течение 15 мин. х 500

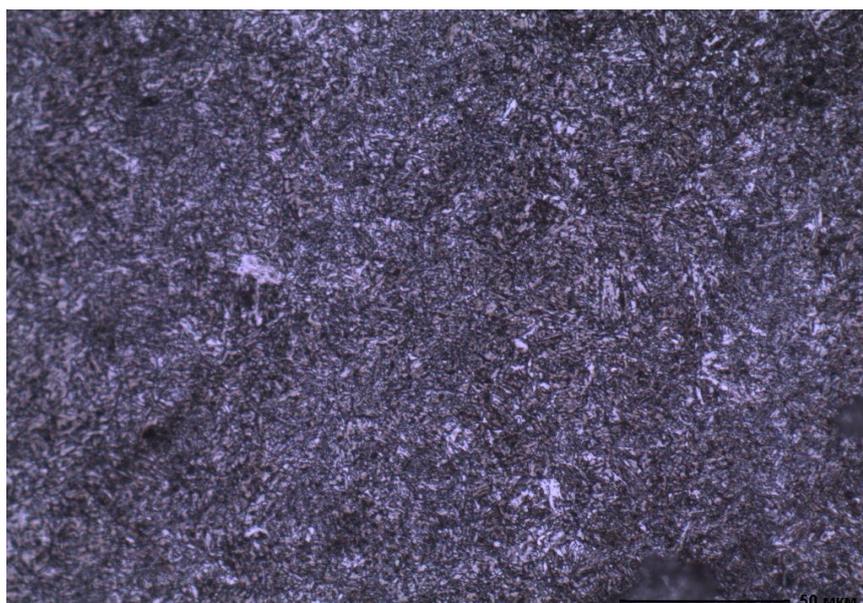


Рис. 6. Микроструктура стали 30ХГСА после закалки с изотермической выдержкой при температуре 375 °С в течение 20 мин. х 500

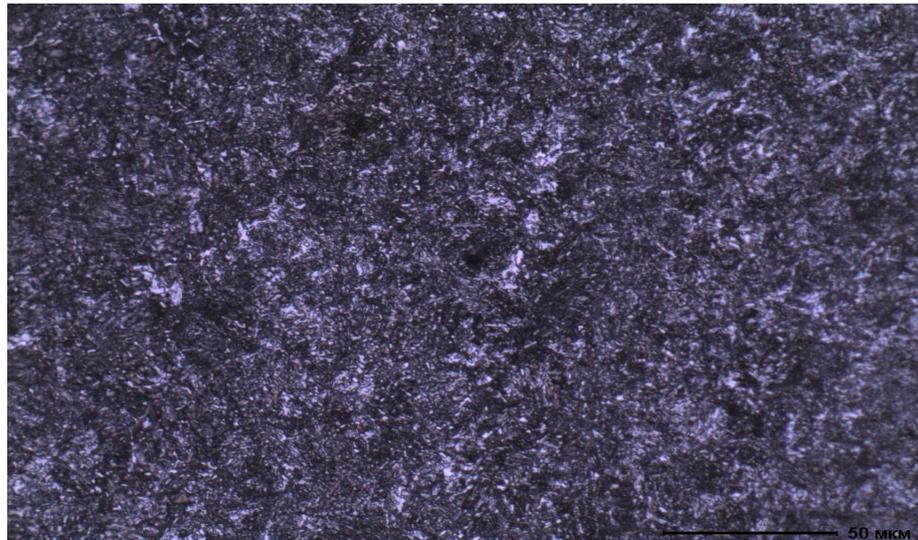


Рис. 7. Микроструктура стали 30ХГСА после закалки с изотермической выдержкой при температуре 400 °С в течение 10 мин. х 500

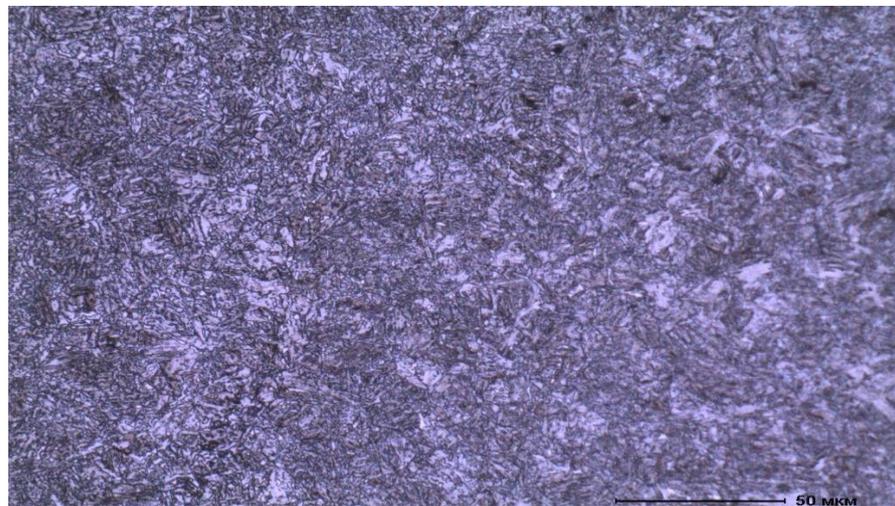


Рис. 8. Микроструктура стали 30ХГСА после закалки с изотермической выдержкой при температуре 400 °С течение 15 мин. х 500

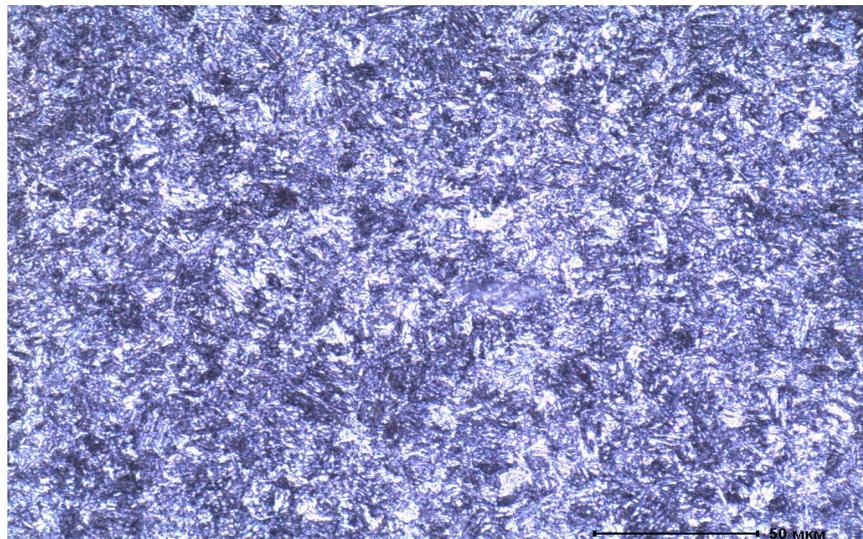


Рис. 9. Микроструктура стали 30ХГСА после закалки с изотермической выдержкой при температуре 400 °С в течение 20 мин. х 500



Рис.10 Твердость стали 30ХГСА с температурой изотермической выдержки 375 °С

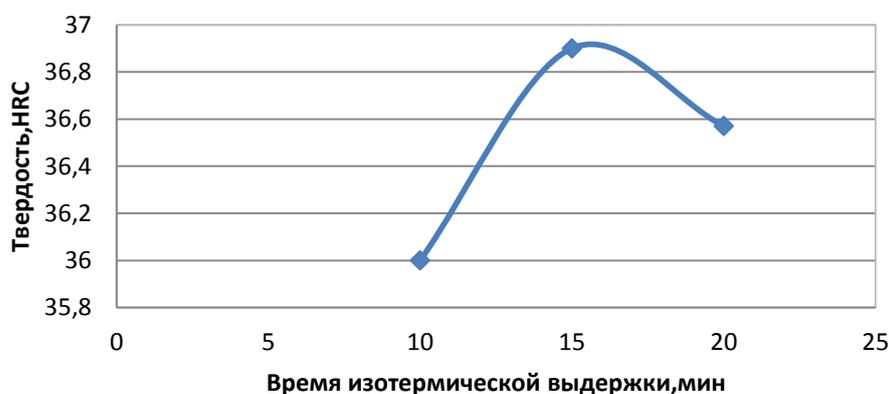


Рис.11 Твердость стали 30ХГСА с температурой изотермической выдержки 400 °С

При температуре 400 °С после выдержки в 10 мин количество аустенита падает, уровень твёрдости практически постоянен (36 HRC), твердость не меняется вследствие того, что сдвиговое превращение аустенита с образованием высокодисперсной α -фазы компенсирует уменьшение твердости, связанное с отпускными процессами.

Твердость, полученная после традиционной термической обработки 31-33 HRC, а после изотермической закалки 40-41 HRC.

Выводы

1. Установлено существенное различие в твердости стали 30ХГСА после улучшения (закалка +высокий отпуск) и изотермической закалки.
2. Твердость после улучшения 33 HRC, а после изотермической закалки 41HRC.
3. Показана возможность получения на стали 30ХГСА структуры бескарбидного бейнита. Для обоснования рационального режима изотермической закалки, требуется проведение дальнейших исследований структуры и фазового состава стали во взаимосвязи с уровнем полученных механических свойств.
4. Применение изотермической закалки позволяет существенно сократить технологический цикл термической обработки.

Литература

1. *Леонтьев П.А., Симонов Ю.Н., Иванова А.С.* Исследование фазовых превращений и структуры кремнистых сталей с различным содержанием углерода при непрерывном охлаждении // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. - 2013. - Т.15. - № 4. - С.33-39.

2. *Леонтьев П.А., Симонов Ю.Н., Иванова А.С.* Исследование фазовых превращений и структуры кремнистых сталей с различным содержанием углерода при изотермической обработке в диапазоне температур с низкой диффузионной подвижностью атомов железа // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. - 2014. - Т.16 - № 1. - С.16-22.

3. *Леонтьев П.А., Симонов Ю.Н., Иванова А.С.* Влияние режима изотермической закалки на долю остаточного аустенита и твердость стали 30ХГСА // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. - 2014.

4. *Бернштейн М.Л., Рахштадт А.Г.*, *Металловедение и термическая обработка стали.* Справочник. - Т. 2. – С. 1173-1176.

5. *Попов А.А., Попова А.Е.* Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлаждения аустенита. Урало-Сибирское отделение МАШГИЗа, 1961. – С. 208-210.