

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2023-39-102-106>

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

Рябичева Л.А., Дудник Ю.Ю.

Луганский государственный университет имени Владимира Даля, Луганск

Ключевые слова: сталь, закалка, отпуск, микроструктура, троостит, сорбит, твердость, упругий изгиб.

Аннотация. В статье выполнено исследование влияния закалки и отпуска низколегированной стали 60С2А при изготовлении клинков фехтовального оружия на микроструктуру и механические свойства. Нагрев клинков под закалку осуществляли в соляных ваннах разного состава. Установлено, что при одинаковой продолжительности выдержки в соляной ванне с содержанием хлористого бария и буры увеличивается равномерность прогрева, получается тонкодисперсный троостит отпуска, что приводит к повышению упругих свойств стали 60С2А. Применение повторного отпуска головки клинка меняет микроструктуру на сорбит отпуска с более низкой величиной твердости. Разница в микроструктурах средней части клинка и головки обеспечивает увеличение упругих напряжений при работе клинков.

THE EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE FORMATION AND MECHANICAL PROPERTIES OF LOW-ALLOY STEEL

Ryabicheva L.A., Dydnik Yu.Yu.

Vladimir Dahl Lugansk State University, Lugansk

Keywords: steel, quenching, tempering, microstructure, troostite, sorbitol, hardness, elastic bending.

Abstract. The article investigates the effect of quenching and tempering of low-alloy steel 60C2A in the manufacture of fencing weapon blades on microstructure and mechanical properties. The blades were heated for quenching in salt baths of various compositions. It was found that with the same duration of exposure in a salt bath containing barium chloride and borax, the uniformity of heating increases, a finely dispersed tempering troostite is obtained, which leads to an increase in the elastic properties of steel 60C2A. The application of repeated tempering of the blade head changes the microstructure to a sorbitol tempering with a lower hardness value. The difference in the microstructures of the middle part of the blade and the head provides an increase in elastic stresses during blade operation.

В машиностроении применяются упругие элементы, основным свойством которых является способность упруго деформироваться под нагрузкой. Основным материалом для изготовления таких деталей служат рессорно-пружинные стали типа 60С2А. Сталь 60С2А применяется для тяжело нагруженных деталей, работающих в условиях жестких деформаций и нагрузок циклического типа [1]. По этим причинам к рессорно-пружинному металлу предъявляются особые требования по уровню пластичности, истираемости, стойкости к изнашиванию. Механические свойства стали являются основой при изготовлении пружинных деталей.

Сталь 60С2А вследствие высоких упругих свойств используется для изготовления клинков фехтовального оружия. Технологический процесс

изготовления клинков состоит из следующих основных операций: отрезка заготовки, нагрев, ковка, отжиг, обдирка, шлифовка, отжиг, рихтовка, фрезеровка, закалка и отпуск [2].

Стандартный технологический процесс термообработки включает закалку при 860°C , охлаждение в масле, отпуск при 460°C , охлаждение на воздухе. После такой термообработки твердость деталей составляет 47-50 HRC. Получена структура сорбит отпуска, которая благоприятная для изготовления пружин.

К клинкам предъявляются более высокие требования по твердости для увеличения упругих свойств материала.

Целью работы является исследование влияния термообработки низколегированной стали 60С2А при изготовлении клинков фехтовального оружия на микроструктуру и механические свойства.

Нагрев под закалку клинков вели в соляных ваннах двух составов. Способ нагрева клинков в соляной ванне позволяет достичь большей равномерности закалки в сравнении с закалкой в воде или на воздухе. Кроме этого, соль является великолепным кондиционирующим агентом, который продлевает срок службы раствора и обеспечивает его чистоту. Использование соли позволяет получить более высокие показатели твердости и прочности закаленного металла, что важно для производства качественных изделий.

В первом составе соляной ванны объемом 120 литров использовали поваренную соль NaCl. Закалку вели в шахтной соляной ванне модели СВС-60 при температуре 880°C с выдержкой при температуре нагрева 2 мин.

Во втором составе в соляную ванну к поваренной соли NaCl добавляли 36 кг хлористого бария BaCl_2 и 1,5 кг буры $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$. Известно, что хлористый барий применяется для повышения температуры ванны и увеличения скорости нагрева [3], бура способствует удалению кислорода и препятствует обезуглероживанию при закалке [4].

Охлаждение после нагрева клинков в ваннах разного состава осуществляли в масле марки И-20 (ГОСТ 20799-88) с выдержкой 3 мин.

После закалки выполняли отпуск в селитровой ванне (50% NaNO_3 + 50% KNO_3) при температуре $415\text{-}420^{\circ}\text{C}$. Время выдержки 20 мин. Охлаждение в воде. Отпуск позволяет устранить внутренние напряжения в металле, которые негативно влияют на его микроструктуру и свойства, а также снизить твердость и получить высокие упругие свойства.

Твердость клинков по всей длине 880 мм колебалась в пределах 47-49 HRC, что сказывалось на способности клинков испытывать малую упругую деформацию. Поэтому осуществляли второй отпуск головки клинков при температуре 450°C в течение 15 мин. Твердость после такого отпуска составила 27 HRC.

После термообработки исследовали микроструктуру на оптическом микроскопе МИМ-8. Травление шлифов производили 4% раствором азотной кислоты в спирте. Твердость определяли на приборе Роквелла.

В процессе закалки низколегированная сталь 60С2А упрочняется в результате мартенситного превращения. В стали возникают значительные поля напряжений у внедренных атомов углерода, происходит измельчение величины зерна, резко увеличивается плотность дислокаций, образуются сегрегации из атомов углерода на дислокациях и избыточные фазы в виде цементита [1]. При закалке происходит изменение механизма взаимодействия дислокаций с цементитом. введение кремния и хрома в стали изменяет фазовое состояние и влияет на структуру. Образуются избыточные карбидные фазы, оказывающие влияние на развитие сдвиговых микродеформаций при мартенситном превращении.

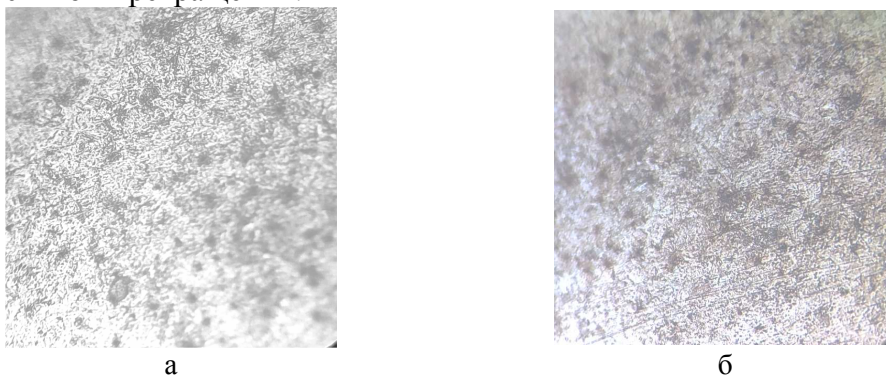


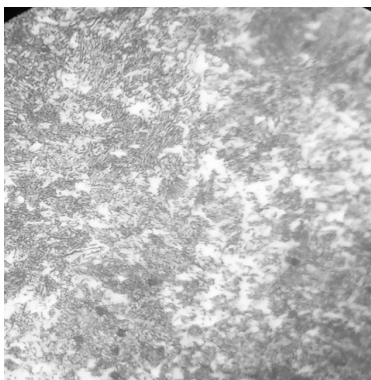
Рис. 1. Микроструктура стали 60С2А в средней части клинка после закалки и отпуска: а – в ванне состава 1; б – в ванне состава 2, х360

На рисунке 1 показана микроструктура середины клинка после закалки в ваннах обоих составов и отпуска. Особых отличий в структуре не наблюдается. Образуется троостит отпуска в виде колоний перлита и вкраплений феррита, имеющих сфероидизованную форму.

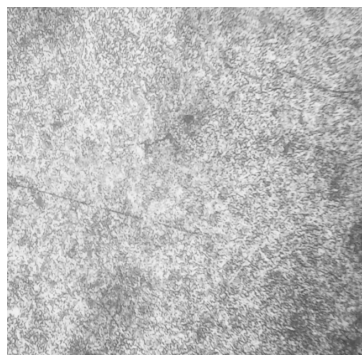
Для уменьшения твердости головки клинка подвергали вторичному отпуску с получением структуры сорбита отпуска с твердостью 27 HRC. На рисунке 2 показана структура после повторного отпуска головки клинка. Как видно, структуры отличаются. В структуре рисунке 2,а видны колонии сорбита, имеющего пластинчатую форму. В структуре рисунке 2,б образовавшийся сорбит имеет округлую форму, что приводит к снижению твердости.

Разница в твердости равная 22 HRC обеспечивает упругость клинков в процессе их работы.

Величину действительного зерна аустенита после термообработки определяли методом окисления на образцах диаметром 15 мм и высотой 20 мм и сравнивали с результатами стандартной обработки [2]. Шлифы нагревали на 50-60⁰С выше температуры закалки, выдерживали в этиловом спирте и оценивали величину зерна по шкале ГОСТ 5039-82. Величина зерна по шкале составила для первого состава 6 баллов, для второго – 7 баллов. Проявляется положительное влияние кремния на измельчение зерна аустенита.



а



б

Рис. 2. Микроструктура стали 60С2А в головке клинка после закалки и повторного отпуска: а – в ванне состава 1; б – в ванне состава 2, $\times 1080$

Учитывая условия работы клинков, выполняли испытание на упругий прогиб. Исследования показали, что нагрев под закалку в сложном составе солей позволяет увеличить число упругих прогибов до 11 тыс., в то время как нагрев в поваренной соли позволил получить количество упругих прогибов равное 8 тыс. Следует иметь в виду, что по требованиям ФИЕ количество упругих прогибов должно составлять 7 тыс.

Таким образом, нагрев клинков под закалку в соляных ваннах состава $\text{NaCl} + \text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ позволяет улучшить качественные характеристики стали, а также повысить область упругих напряжений.

Выводы

Исследования показали, что нагрев клинков под закалку в соляных ваннах оказывает влияние на микроструктуру. При одинаковой продолжительности выдержки (2 мин.) в соляной ванне с содержанием поваренной соли, хлористого бария и буры увеличивается равномерность прогрева, получается тонкодисперсный троостит отпуска, что приводит к повышению упругих свойств стали 60С2А. Применение повторного отпуска головки клинка в той же соляной ванне меняет микроструктуру на сорбит отпуска с более низкой величиной твердости. Разница в микроструктурах средней части клинка и головки обеспечивает увеличение упругих напряжений при работе клинков.

Список литературы

1. Гуляев А.П. *Металловедение*. – М.: Металлургия, 1978. – 648 с.
2. Рахштадт А.Г. *Пружинные стали*. – М.: Металлургия, 1978. – 400 с.
3. Двучичанский П.Н., Дудник Ю.Ю., Рябичева Л.А. *Технологияковки длинномерных поковок // Проблемы технического и технологического обеспечения инновационного развития машиностроения*. – Махачкала: ДГТУ, 2023. – С. 56-60.
4. Арзамасов Б.Н., Соловьева Т.В., Герасимов С.А. и др. *Справочник по конструкционным материалам*. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 640 с.

References

1. Gulyaev A.P. Metallovedenie. – M.: Metallurgy, 1978. – 648 p.
2. Rachstadt A.G. Spring steels. – M.: Metallurgy, 1978. – 400 p.
3. Dvulichansky P.N., Dudnik Yu.Yu., Ryabicheva L.A. Technology of forging long forgings // Problems of technical and technological support for innovative development of mechanical engineering. Collection of articles. – Makhachkala: DSTU, 2023. – P. 56-60.
4. Arzamasov B.N., Solovyova T.V., Gerasimov S.A., etc. Handbook of structural materials. – M.: Publ. house of Bauman Moscow State Technical University, 2006. – 640 p.

Рябичева Людмила Александровна – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой	Ryabicheva Lyudmila Alekcandrovna – doctor of technical sciences, professor, head of the department
Дудник Юлия Юрьевна – старший преподаватель	Dydnik Yulia Yurievna – senior lector
ryabic80@mail.ru	

Received 12.12.2023