

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМОУЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 40Х

А.М. Бадамшин¹, Д.А. Седых¹, З.Ю. Руппель¹, А.Е. Шевченко¹, А.С. Белоусова¹

¹*Омский государственный технический университет г. Омск, Россия*

Аннотация: в статье рассматриваются особенности проведения термоультразвуковой закалки образцов из стали 40Х. В исследовании проведен опыт, в ходе которого проводилась закалка стали с охлаждением в масло и в масло с воздействием ультразвука. У исследуемых образцов была определена микроструктура и микротвердость по диаметральному сечению. По полученным результатам сделан вывод о том, что кавитация в жидкой среде, вызванная распространением ультразвуковых колебаний, увеличивает охлаждающую способность закалочной среды и повышает микротвердость и прокаливаемость образцов.

Ключевые слова и словосочетания: закалка, термическая обработка, термоультразвуковая обработка, ультразвук, паровая рубашка.

Назначение режимов упрочняющей термической обработки доэвтектоидных сталей, в частности для производства тонкостенных изделий и изделий малого сечения является сложной задачей. С одной стороны, необходимо обеспечить сочетание высоких механических характеристик, поскольку основная цель закалки – упрочнение, повышение твердости и износостойкости деталей. С другой стороны, при значительном упрочнении существует высокий риск образования закалочных микротрещин и коробления формы изделий, что является недопустимым фактором [1].

Для повышения твердости и износостойкости изделий из доэвтектоидных сталей проводят полную закалку, при которой исходная перлитно-ферритная структура в результате нагрева преобразуется в аустенитную, а после, при охлаждении выше критических скоростей – в пересыщенную углеродом мартенситную, что и служит причиной повышения механических характеристик. На фазовый состав сплава, механические и физические свойства после закалки в общем случае влияют следующие факторы:

- температура нагрева под закалку;
- время выдержки деталей в печи;
- скорость охлаждения в процессе закалки.

Оптимальная температура нагрева под закалку и время выдержки определяется по справочным данным. Наибольший интерес представляет выбор охлаждающей среды. С точки зрения структурных превращений, процесс охлаждения при закалке делится на две зоны: минимальной устойчивости переохлажденного аустенита, при котором происходит полиморфное $\gamma \rightarrow \alpha$ и

зерна аустенита стремятся к распаду на феррито-цементитную смесь и мартенситного превращения, при котором в результате повышенной концентрации углерода в α -железе происходят сдвиговые процессы и тип решетки из кубического преобразуется в тетрагональный. При замедленном охлаждении в области минимальной устойчивости переохлажденного аустенита происходит процесс диффузионного перераспределения углерода, который снижает механические свойства и глубину прокаливаемости, в результате чего значительно снижается эффект закалки [2]. В мартенситной области скорость превращения весьма слабо зависит от скорости охлаждения, однако ускоренное охлаждение в значительной мере способствует образованию внутренних напряжений. Так, например, в работе [3] установлено, что при закалке образцов из стали 40X в масле уровень остаточных микронапряжений составляет 200 МПа, в то время как в водный раствор – 650 МПа, причиной чего, по всей видимости, является затруднение протекания релаксационных процессов. Удельный объем мартенсита на порядок выше, чем у аустенита, в результате чего при ускоренном охлаждении тонкостенных изделий сложной формы происходит коробление и образуются микротрещины.

Таким образом, для сочетания оптимальных механических свойств и качества изделия необходимо обеспечить быстрое охлаждение в зоне минимальной устойчивости переохлажденного аустенита, и медленное охлаждение в области мартенситного превращения, для чего наиболее часто применяют закалку в двух средах, при которой деталь сначала помещают в воду, тем самым предотвращая диффузию углерода из аустенита, после чего производят перенос в масло – в результате чего образование зерен мартенсита сопровождается значительно меньшим уровнем напряжений, чем при традиционной закалке в воду, при сохранении высокого значения твердости. Тем не менее, у данного способа есть существенный недостаток: сложность определения момента переноса изделия из одной среды в другую, в результате чего образуется большое количество брака.

Прогрессивным способом обеспечения быстрого охлаждения в зоне наименьшей устойчивости аустенита и замедленного в области мартенситного превращения является закалка с применением ультразвука. Микрокавитационные пузыри, образовавшиеся в жидкой среде при подводе ультразвуковых колебаний, контактируя с поверхностью закаливаемой детали взрываются и разрушают при этом паровую рубашку (рис. 1.) [5], которая образуется на стадии плёночного охлаждения и снижает интенсивность теплообмена. В результате её разрушения повышается охлаждающая способность среды на этапе наименьшей устойчивости переохлажденного аустенита, что способствует повышению эффективности термической обработки.

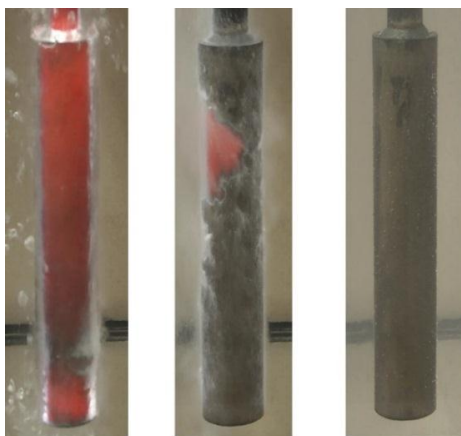


Рисунок 1 – паровая рубашка

Предыдущие исследования в области термоультразвуковой закалки [4, с. 72] свидетельствуют о том, что данный метод повышает твердость и глубину прокаливаемости материала. Тем не менее, данная технология не является достаточно изученной и не нашла широкого применения по причине того, что пик развития ультразвука в промышленности и науке пришелся на 70-ые годы прошлого столетия, после чего исследования практически прекратились, а их потенциал так и не был раскрыт. В работе проведено изучение воздействия ультразвуковых колебаний на структуру и свойства образцов из стали 40X в процессе закалки.

Для исследования влияния воздействия ультразвуковых колебаний в процессе закалки на структуру и свойства образцов из стали 40X был проведен ряд экспериментов. Диаметр изготовленных образцов составлял $d=16$ мм, высота $h=20$ мм. Суммарное время нагрева и выдержки под закалку при температуре $T=850^{\circ}\text{C}$ составило 20 минут.

Для проведения ультразвуковой закалки была собрана установка, состоящая из ультразвукового генератора марки УЗГ-5М, работающего в диапазоне частот от 7 до 30 кГц, ультразвукового преобразователя ПМС15-А-18 с резонансной частотой 17 кГц и ультразвукового стакана-инструмента, который являлся ёмкостью для охлаждающей жидкости (рис.2.).



Рисунок 2 – установка для проведения ультразвуковой закалки

Для оценки эффективности ультразвуковой закалки на твердомере 200HVS-5-1 была определена микротвердость образцов по сечению. Полученные результаты приведены на рисунке 3.

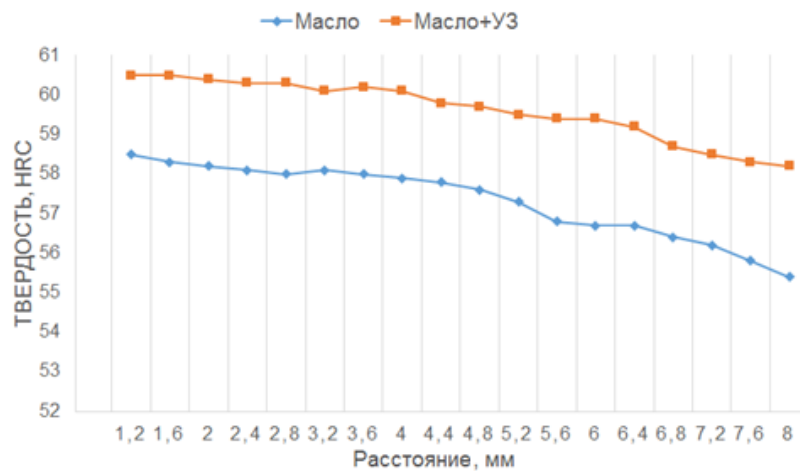
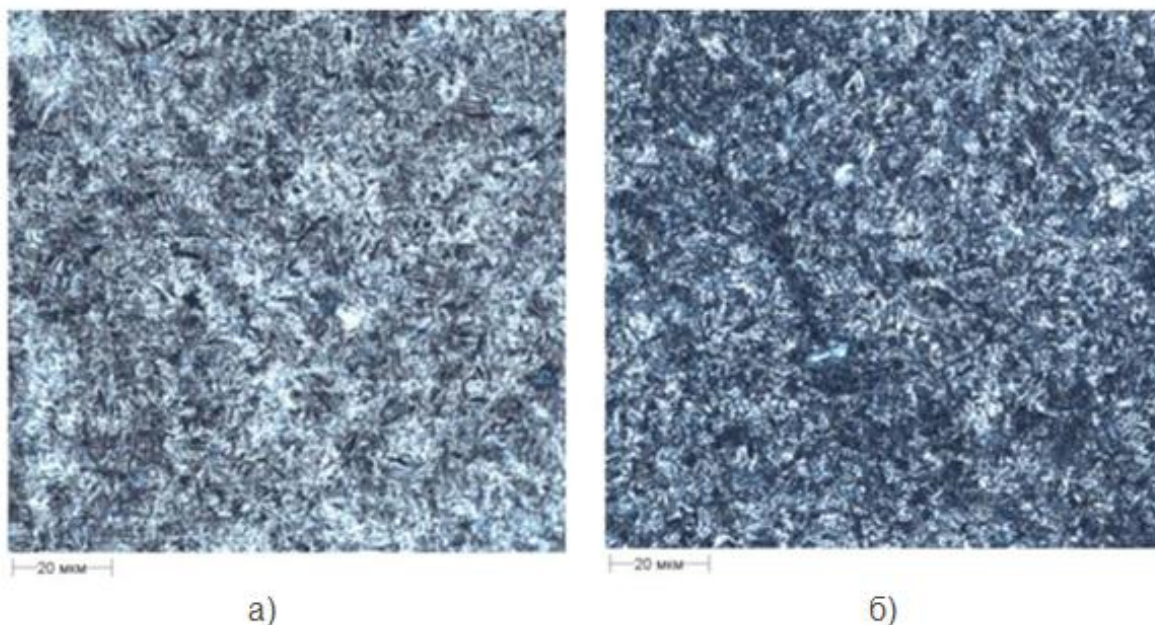


Рисунок 3 – распределение твердости по диаметральному сечению

В результате исследования было установлено: у образцов, на которые воздействовал ультразвук твердость выше на 2-2,5 единицы, что составляет порядка 5% по сравнению с образцами, которые закаливались традиционным способом, кроме того, высокое значение твердости сохранилось на большую глубину по диаметральному сечению.

В ходе проведения исследования образцы подвергались микроанализу. Микроструктура шлифов после травления 4% раствором азотной кислоты исследовалась на металлографическом микроскопе ST-VS-340 EC, результаты исследования приведены на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Микроструктура исследуемых образцов
а) – закалка в масле б) – закалка в масле+ УЗ**

Как видно по изображению, при ультразвуковой закалке в результате большей степени переохлаждения образовался более мелкодисперсный мартенсит, что и являлось причиной повышения механических характеристик и эффективности закалки.

В результате проведенных исследований было установлено, что воздействие энергии ультразвуковых колебаний в процессе закалки стали 40Х в масло оказывает влияние на структурообразование, вследствие чего повышаются механические характеристики. Изделия, подвергнутые термоультразвуковой закалке в масло, обладают большей твердостью, при меньшем размере «мартенситных игл», вследствие чего можно предположить о снижении закалочных напряжений.

Список литературы

[1] Соловьянова И. П., Шабунин С. Н. Теория волновых процессов. Акустические волны. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 142 с

[2] Алексеев А.А. Влияние скорости охлаждения при закалке на кинетику низкотемпературного распада мартенсита среднеуглеродистой стали / А.А. Алексеев, Е.М. Гринберг // Физика металлов и металловедение. – 2014. - №10. - с. 1086–1089.

[3] Влияние условий охлаждения на уровень остаточных напряжений и перераспределение углерода в аустените и мартенсите при закалке среднеуглеродистых сталей / Е.М. Гринберг [и др.] // Известия тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. - №12-1. – с. 104-112.

[4] Сущих В.А. Влияние ультразвуковой обработки на свойства быстрорежущих сталей и стойкость металлорежущих инструментов. Красноярск – 1983. – 199 с.

[5] Термообработка в расплаве солей [Электронный ресурс]: сайт. – URL: <https://petrofer.ru/articles/tehnicheskie-stati/termoobrabotka-v-rasplave-soley/> (дата обращения: 12.10.2019)