

Влияние нетрадиционных режимов термической обработки на износостойкость стальных изделий

Магистрант гр. 82М-21 Маматкулов Р.Ш.

Научный руководитель - Бердиев Д. М.

Ташкентский государственный технический университет им. И.Каримова.

г. Ташкент

Стандартные режимы термической обработки (ТО) металлических изделий обеспечивают, как правило, достаточно высокие механические свойства, однако в ряде случаев этого недостаточно. В частности, это касается вязкости металла изделия [1], которая определяет его надежность.

Исследованиями установлено, что все нетрадиционные режимы ТО стали базируются на фундаментальных закономерностях фазовых превращений [2]. Суть нетрадиционных режимов ТО заключается в том, что путем предварительной высокотемпературной ТО достигается высокий уровень дефектности кристаллического строения стали, что при повторном нагреве позволяет в зависимости от завершенности структурных превращений сильно измельчить зерно стали [3]. При этом вязкость стали увеличивается при одновременном повышении прочности. При сохранении высокой плотности дислокаций (ПД) повышается износостойкость [4-5].

Цель данной работы – изучить особенности структурообразования стали при нетрадиционных режимах ТО, которые повышают износостойкость стальных изделий без существенных дополнительных затрат. Исследовали образцы сталей 35, 45, 40Х, 65Г, У8 и У12А промышленной выплавки, регламентируемых ГОСТ 3541–79. В качестве эталонного материала использовали образцы армко-железа.

Образцы для ТО испытывали при разных температурах: для каждой стали выбирали начальную температуру из расчета выше критической точки температуры нагрева – A_{c3} (или A_{c1}) + 30÷50, а затем при температурах около 900, 1000, 1100, 1150 и 1200 °С. Образцы охлаждали на воздухе, в воде или масле, а также вместе с печью при её остывании. Таким образом создавали термическую предысторию стали. Повторную фазовую перекристаллизацию всегда проводили с нагревом до точки A_{c3} (или A_{c1}) + 30÷50 °С для каждой стали.

Провели анализы: металлографический – на микроскопе МИМ-8М [6]; рентгеноструктурный – на установке ДРОН-2,0. Определили состояние тонкой структуры стали (ПД), количество остаточного аустенита, период кристаллической решетки, количество углерода в фазах закаленной стали [7].

Испытания на износостойкость проводили при трении скольжения по закрепленному абразивному материалу на машине Х4-Б, по незакрепленному абразивному материалу на машине ПВ-7, при скольжении металл-по-металлу на машине трения СМЦ-2, при трении качения с проскальзыванием на машине трения МИ-1 [8]. Эти виды трения встречаются практически при движении всех деталей машин и инструментов.

Из работ [9] известно, что с повышением температуры нагрева наблюдается рост аустенитного зерна. Однако во всех случаях имеет место экстремальная температура нагрева – 1100 °С, при которой после охлаждения можно зафиксировать максимальную ПД. Изменяется ПД при повышении температуры отпуска. При отпуске выше 200 °С наблюдается общее резкое снижение ПД, но при закалке с экстремальной температурой 1100 °С это снижение намного меньше [10]. Чем выше температура отпуска после закалки стали (от 200 до 600 °С), тем больше разность ПД в образцах, закаленных при экстремальной и принятой для данной стали температурах. Следовательно, дислокации после закалки при экстремальной температуре термически более устойчивы [10].

Плотность дислокаций в кристаллической структуре стали увеличивается при ТО с предварительным нагревом до экстремальных температур. При такой нормализации ПД конструкционных сталей увеличивается в 1,5÷2,5 раза (стали 40Х от 150 до 258 %). Однако по

абсолютному значению ($\rho, 10^9 \text{ см}^{-2}$) это на два порядка меньше, чем после закалки [9]. В закаленном состоянии ($\rho, 10^{14} \text{ см}^{-2}$) эта разница достигает от 28 до 50÷60 %. Однако с ростом аустенитного зерна снижаются пластичность и вязкость стали. Вместе с тем после нормализации всегда следует упрочняющая закалка с отпуском. При повторной фазовой перекристаллизации при нагреве под закалку температура составляла A_{c3} (или A_{c1}) + 30÷50 °С.

Исследовали ранее не изученные закономерности:

соответствует ли увеличение ПД в кристаллическом строении сталей при их ТО с экстремальными температурами нагрева повышению износостойкости сталей;

какова эффективность режимов ТО с экстремальными температурами при разных видах трения: скольжению по закрепленному и незакрепленному абразивному материалу, металла по металлу и качению с проскальзыванием.

Трение скольжения по закрепленному абразивному материалу – самый жесткий способ испытания [8]. Испытывали образцы сталей с очень малым содержанием остаточного аустенита. Предварительно нормализованные при разных температурах нагрева образцы повторно нагревали до одной температуры A_{c3} (или A_{c1}) + 30÷50 °С, проводили закалку и низкий отпуск. Установили, что при предварительной нормализации с температурой 1150 °С сравнительное повышение ПД составило от 20 до 39 %, а износ уменьшился на 10÷15 %.

Трение скольжения по незакрепленному абразивному материалу – трение, присущее работе всех почвообрабатывающих сельскохозяйственных машин [8]. Образцы сталей предварительно нормализовали выше температуры нагрева A_{c3} (или A_{c1}) + 30÷50 °С, а далее стали нагревали от 900 до 1200 °С. Время нагрева 20 мин. Повторный нагрев образцов всех сталей – до температуры A_{c3} (или A_{c1}) + 30÷50 °С вне зависимости от температуры предварительной нормализации, далее закалка и отпуск.

Уменьшение износа при предварительной нормализации с экстремальной температурой нагрева (1150 и 1100 °С) по сравнению с температурой первого нагрева оказалось значимым. В зависимости от температуры отпуска для стали 35 износ уменьшился на 14÷23 %, для стали 45 на 19÷32 %, для стали 65Г на 20÷40 %, для стали У8 на 20÷50 %.

При трении скольжения металла по металлу исследовали прямую закалку после нагрева стали с разными температурами. Прямую закалку можно использовать, если величина аустенитного зерна не имеет большого значения или используется быстрый нагрев.

Испытания при трении скольжения роликов из стали 40Х по буксе из серого чугуна со смазкой выявило износ Q после закалки с экстремальной температурой $T_3 = 1100$ °С по сравнению с закалкой при обычной температуре ($A_{c3} + 30÷50$ °С) уменьшился на 40÷68 % (рис.).

Испытания образцов (роликов) из сталей 45, 40Х и У8 без смазки при их трении по закаленной буксе показали уменьшение износа после закалки с экстремальной температурой нагрева (при одинаковой твердости) для стали 45 на 41÷52 %, для стали 40Х на 50÷53 %, для стали У8 на 32÷50 %.

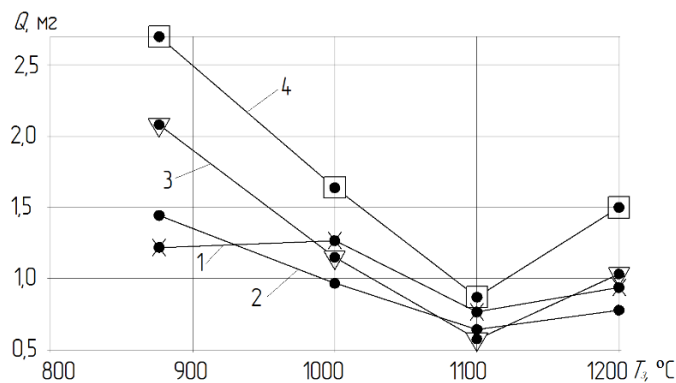


Рис. Зависимости износа Q стали 40Х при трении со смазкой от температуры T_3 закалки при температуре отпуска $T_0 = 200$ (1), 350 (2), 450 (3) и 600 °С (4)

Результаты испытаний при трении скольжения со смазкой и без смазки полностью соответствовали закономерностям изменения тонкой структуры, приведенным в работе [8].

Уменьшение износа образцов, термически обработанных по экстремальным режимам, было значительным: при трении скольжения со смазкой 57÷67 %, без смазки – 49÷51 %.

При трении качения с проскальзыванием заготовки образцов прямой закалки для исследования их изнашивания нагревали выше температуры нагрева A_{c3} (или A_{c1}) + 30÷50 °С до 1200 °С с временем выдержки соответственно 20÷30 мин и 2 ч. После механической обработки отпуск части образцов осуществляли при 200 °С, а части – при 600 °С.

Испытания показали, что после закалки с экстремальными температурами (1100 °С при выдержке 20 мин и 1000 °С при выдержке 2 ч) и отпуска при 200 °С наблюдалось снижение износа соответственно на 32÷39 и 13÷16 %. После отпуска при 600 °С с ростом аустенитного зерна износ увеличивался.

При разработке режимов ТО с двойной фазовой перекристаллизацией приходится учитывать время нагрева предварительных закалки и нормализации в зависимости от размеров детали. Если предварительная ТО включает в себя закалку с разных температур и промежуточный отпуск при 450 °С, то после повторной закалки при обычно принимаемой температуре нагрева (870 °С для стали 40Х), минимальный износ наблюдается при температуре первой закалки 1200 °С. Износ уменьшился на 53 %.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о целесообразности применения нетрадиционных режимов ТО для упрочнения деталей машин и инструментов, а следовательно, для повышения их износостойкости, что позволит исключить использование высоколегированных сталей, снизить расходы на материалы и будет способствовать локализации производства.

Список использованных источников

1. Гребенков С. К., Шацев А. А., Ряпосов И. В. Деформационное упрочнение низкоуглеродистых мартенситных сталей с выраженной структурной наследственностью // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2013. № 11. С. 34–36.
2. Sadovski V. D. Correction of the Course – Grained Structure During Thermal Treatment of Steel // *Heat Treatment and technology of surface coatings. Proceedings of the 7th International Congress on Heat treatment of Materials*. 1990. V. 1. December 11–14. P. 10–14.
3. Dyuchenko S. S. Heredity in phase transformation: mechanism of the phenomenon and effect on the properties // *Metall Science and heat treatment*. 2000. V. 42. N. 3–4. P. 122–126.
4. Structural heredity in the U – 6 Nb Alloy and Conditions for its Elimination / V. V. Sagaradze, Yu.N. Zuev, S. V. Bondarchuk, et. al. // *The Physics of Materials and Metallography*. 2013. V. 114. N. 4. P. 299–307.
5. Structural heredity in low-carbon martensitic steels / S. S. Yugai, L.M. Kleiner, A.A. Shatsov and N.N. Mitrokhovich // *Metall Sciens and teat treatment*. 2004. V. 46. N. 11–12. P. 539 – 542.
6. Батаев В. А., Батаев А. А., Алхимов А. П. Методы структурного анализа материалов и контроля качества деталей. М.: Наука, 2007. 224 с.
7. Горелик С. С., Скаков Ю. А., Расторгуев Л. Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. М.: МИСИС, 1994. 328 с.
8. Гаркунов Д. Н. Триботехника. М.: Изд-во МСХА, 2005. 356 с.
9. Бердиев Д. М., Юсупов А. А. Повышение износостойкости стальных изделий методом нестандартных режимов термической обработки // *Литье и металлургия*, 2021. №2. С. 100–104.
10. Бердиев Д. М., Юсупов А. А. Нестандартные режимы термической обработки и их влияние на износостойкость стальных изделий // *Вестник машиностроения*, №5. 2021. С. 61–63