

нагрева – охлаждения за счет выделения из аустенита высокодисперсных частиц карбидов типа $(Cr,Fe)_{23}C_6$, уменьшения содержания углерода и хрома в аустените и, как результат, повышения мартенситных точек (M_n и M_k). Соответственно, после 2 и 5 циклов структура поверхностного слоя становится аустенитно-мартенситной, декорированной частицами карбидов, а после 8 и 11 циклов – количество мартенсита закалки и карбидных частиц больше. Микротвердость поверхностного слоя образцов находится в пределах 270...345 HV, по глубине цементованного слоя она снижается до 160...180 HV.

Ударная вязкость образцов цементованной стали 20X14Г7 с увеличением числа циклов НТЦО от 2 до 11 изменяется от $KCU = 55$ Дж/см² до $KCU = 78$ Дж/см² по кривой с максимумом ($KCU = 160$ Дж/см²), соответствующем 8 циклам. Относительная износостойкость при сухом трении – скольжении изменяется от числа циклов НТЦО по кривой с максимумом ($\varepsilon_T = 4,6$), соответствующем 5 циклам, а после 8 и 11 циклов она снижается до $\varepsilon_T = 1,3 \dots 1,0$. Наибольшие показатели относительной абразивной износостойкости цементованной стали 20X14Г7 достигнуты после 5 и 11 циклов НТЦО, соответственно, $\varepsilon_a = 3,25$ и $\varepsilon_a = 3,0$. Различия в параметрах НТЦО, соответствующих наибольшим показателям износостойкости для разных условий испытаний на изнашивание объясняются разницей схем напряженно-деформационных состояний и, соответственно, различием развития и объема реализации $\gamma_{ост} \rightarrow \alpha'$ ДМПИ в тонком поверхностном слое.

Повышенная износостойкость образцов стали 20X14Г7 объясняется оптимальными фазово-структурным состоянием и развитием $\gamma_{ост} \rightarrow \alpha'$ ДМПИ под деформирующим действием контр-тела (для условий сухого трения-скольжения) и абразивного. Это вызывает эффекты самоупрочнения, поглощения подводимой механической энергии и релаксации напряжений, синергизма всех фазово-структурных и кинетических факторов, что способствует самоадаптации материала к условиям испытаний и, очевидно, к соответствующим условиям эксплуатации реальных деталей машин.

Чейлях А.П.¹, Чейлях Я.А.¹, Були С.А.², Звонарева М.И.², Нофенко О.В.²
(¹ГВУЗ «ЛГТУ»; ²ООО «МАГМА», г. Мариуполь)

**ВЛИЯНИЕ ЗАКАЛКИ С НАГРЕВОМ ТВЧ НА СТРУКТУРУ,
МЕТАСТАБИЛЬНОСТЬ ОСТАТОЧНОГО АУСТЕНИТА И
СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОВАННОЙ СТАЛИ 25ХГТ**

E-mail: aleksandr.cheylyakh@gmail.com

Работа посвящена решению актуальной задачи – совершенствованию технологии термической обработки с целью повышения износостойкости цементуемых сталей.

Образцы стали 25ХГТ размером 10x10x55 мм подвергали газовой цементации (смеси метана (5...10%) и эндогаза (90...95%)) в технологическом комплексе "Uttis" при температуре 940 °С в течение 12 часов. Закалка проводилась с нагревом

ТВЧ (от тиристорного генератора) до температур от 800 до 1100 °С с охлаждением в растворе полимера Aquasool, после чего проводился отпуск 200 °С.

Микроструктура науглероженного слоя (глубина до 1,9 мм) после закалки с нагревом ТВЧ представляет бесструктурный мартенсит, цементит и остаточный аустенит ($A_{ост}$). С увеличением температуры нагрева от 800 до 1100 °С количество мартенсита и цементита уменьшается, а $A_{ост}$ – увеличивается, о чем свидетельствует снижение твердости с HRC 58 до HRC 50 (с 735 HV до 450 HV).

После закалки с 800 °С микротвёрдость по глубине слоя уменьшается с 760 до 650 HV. После закалки с температур 900...1100 °С характер изменения микротвёрдости по глубине цементованного слоя изменяется на противоположный рассмотренному: микротвёрдость увеличивается. Чем выше температура нагрева, тем шире диапазон повышения микротвёрдости. Так, если после закалки с 900 °С микротвёрдость возростала с 660 HV до 760 HV (на 100 HV), то после закалки с 1100 °С она увеличилась с 450 HV до 770 HV, то есть на 320 HV. Это обусловлено растворением цементита в аустените, повышением концентрации углерода, что обуславливает понижение температуры точек M_n и M_k .

Относительная износостойкость при сухом трении скольжения образцов от температуры нагрева ТВЧ изменяется экстремально с максимумом ($\varepsilon = 1,44$) при температуре 1000 °С. При этом характер изменения износостойкости в целом противоположен характеру изменения твёрдости: более высокой твёрдости соответствуют наименьшие показатели износостойкости, и наоборот. Например, после закалки с нагревом ТВЧ до 800 °С при максимальной твёрдости 730 HV относительная износостойкость составляет 1,31, а после закалки 1000 °С при значительно меньшей твёрдости 510 HV она составила $\varepsilon = 1,44$. Это несоответствие можно объяснить сохранением наряду с мартенситом и цементитом повышенного количества $A_{ост}$ после закалки с более высоких температур 1000 и 1100 °С. Это происходит вследствие увеличения степени растворения частиц цементита в аустените при нагреве под закалку. Положительная роль более мягкой фазы – остаточного аустенита – заключается в его деформационной метастабильности. Под действием деформирующее-изнашивающего влияния контр-тела в тонком поверхностном слое в зоне контакта развивается деформационное мартенситное превращение $\gamma_{ост} \rightarrow \alpha'$ непосредственно при изнашивании (ДМПИ).

Оно сопровождается образованием мартенсита деформации, который отличается от мартенсита закалки повышенными твёрдостью, плотностью дислокаций, величиной микроискажений. Это вызывает эффект деформационного самоупрочнения и одновременно релаксации микронапряжений. Более того, на реализацию этого $\gamma_{ост} \rightarrow \alpha'$ ДМПИ и связанных с ним структурных изменений расходуется значительная часть механической энергии, подводимой к образцу от контр-тела. При этом, согласно энергетическому балансу, меньшая её доля остаётся на разрушение поверхности и отделение частиц металла. В результате износостойкость стали 25ХГТ с метастабильной структурой в поверхностном насыщенном слое существенно возрастает.