

Марьина Н.Л.

Кандидат технических наук, доцент, Балаковский институт техники, технологии и управления, г. Балаково, Россия

АЗОТИРОВАНИЕ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ

Повышение усталостной прочности коленчатых валов высокофорсированных дизелей достигается улучшением их конструкции и материалов, повышением жесткости до оптимальной, устранением концентраторов напряжений, применением полноопорных схем, гасителей крутильных колебаний, прогрессивных методов термической обработки и покрытий.

Наиболее распространенным методом поверхностного пластического деформирования коленчатых валов является химико – термический (азотирование), обеспечивающий повышение износостойкости и предела выносливости. Физические основы азотирования – процесс диффузионного насыщения поверхностных слоев шеек вала азотом. В качестве азотосодержащей среды используется аммиак NH_3 . При нагреве аммиак разлагается



Атомарный азот N_{AT} диффузирует в коленчатый вал и образует на поверхности с легирующими элементами стали нитриды, которые обладают высокой твердостью.

Существует три принципиально разных способа азотирования коленчатых валов: газовое в аммиаке, ионное (в тлеющим разряде) и азотирование в жидких средах. Технология газового азотирования коленчатых валов на ОАО «Волжский дизель им. Маминых» включает в себя следующие операции:

- предварительная механическая обработка с припуском под окончательную обработку;
- термическая обработка – улучшение (закалка + высокий отпуск) для получения необходимой усталостной прочности и ударной вязкости сердцевины коленчатого вала ($\sigma_A \approx 1000$ МПа, твердость 28 – 30 HRC);
- окончательная механическая обработка, включающая шлифование коренной и шатунной шеек;
- азотирование;
- доводка (при необходимости).

Азотирование коленчатых валов по изложенной технологии проводят в шахтной электрической печи сопротивления с герметичным муфелем из жаростойкой стали, снабженным вентилятором и трубками для ввода и вывода газов, выполняют при соблюдении следующих технологических требований:

- для получения высоких механических свойств сердцевины и наименьших начальных технологических остаточных напряжений штамповки коленчатых валов из хромомолибденоалюминиевой стали 38X2MЮА подвергают термической обработке;

- азотирование выполняется в печи при горизонтальном положении одновременно пяти заготовок. Загружают печь при температуре 150 – 250°C с постепенным повышением температуры до 600 – 650°C (55 – 65°C в 1 час). При этой температуре заготовки выдерживают в течении 35 – 40 ч при диссоциации аммиака 35 – 45%. В дальнейшем температуру поднимают постепенно до 580 - 590°C и коленчатые валы выдерживают в течение 115 – 130 ч при диссоциации аммиака 40 – 70%. При достижении заданной выдержки печь с валами охлаждается до температуры 450 - 500°C, затем валы охлаждаются до температуры 220 - 250°C, после чего их охлаждение заканчивается на открытом воздухе;
- штамповки коленчатых валов нормализуют путём загрузки их в печь при температуре $\leq 295^\circ\text{C}$ с последующим повышением её в течении 16 ч до температуры $(900 \pm 10)^\circ\text{C}$ и выдержке в течении 6 – 7 ч;
- коленчатые валы, прошедшие нормализацию, охлаждают вентиляторами в течение 2,5 – 3 часов, а затем на воздухе в течение 5 часов;
- после нормализации производится отпуск в той же печи при температуре не более 290°C. Нагрев печи до температуры 595 – 605°C длится не менее 5 – 7 ч с последующей выдержкой в течение 9 ч;
- охлаждение печи с валами ведётся до температуры 305°C. Затем валы подвергаются химико – термической обработке и снова стабилизации, для чего заготовки снова загружают в печь при температуре до 105°C с дальнейшим её повышением до 605 - 655°C и выдержке в течение 11 ч и последующим охлаждением до температуры 295°C. Темп охлаждения до 605°C должен быть не более 75°C в 1 ч. В дальнейшем валы охлаждаются на воздухе;
- валы, прошедшие стабилизацию, вторично подвергаются механической обработке с сохранением припуска на всех шейках под азотирование, равного 0,5мм на диаметр.

Разработанная технология изготовления стальных коленчатых валов высокофорсированных дизелей приводит к тому, что в готовом коленчатом валу глубина азотированного слоя на коренных и шатунных шейках становиться не менее 0,4мм.

Азотированный слой имеет ряд преимуществ в сравнении, например, с цементованным:

- очень высокая твердость (на стали 38X2MЮА она достигает 1150 – 1250HV или 73 – 75 HRC, тогда как на цементованных деталях - 63 – 65 HRC);
- сохранение твёрдости при нагревании до 500 - 600°C (после цементации – лишь до 250°C);
- высокая коррозионная стойкость.

При исследовании микротвёрдости и износостойкости азотированных образцов – свидетелей шеек коленчатых валов по мере постепенного износа их поверхностного слоя было выявлено изменение свойств трущейся поверхности. Из стали 38X2MЮА коленчатых валов вырезались образцы – свидетели размером 12×4×5мм, которые закаливались от температуры $(900 \pm 10)^\circ\text{C}$ до комнатной температуры в воде с последующим отпуском при температуре 595 - 605°C. После этого образцы подвергают высокому отпуску при температуре 505 и 655°C в течение 7 ч с последующей выдержкой в течение 9 ч. Затем поверхности образцов шлифовались

до точного размера и удаления обезуглероженного слоя. Перед азотированием образцы зачищались тонким абразивным кругом и обезжиривались. Азотирование проводилось в среде аммиака в лабораторной шахтной печи с газовой системой – баллоном с аммиаком. Температура в печи регулировалась потенциометром и контролировалась хромель – копелевой термопарой. Процесс азотирования образцов – свидетелей проводился при температуре 505°C в течение 40 ч в атмосфере диссоциированного аммиака.

Объектом исследования была выбрана распространенная пара реверсивного трения - сталь 38Х2МЮА, свинцовистая бронза БрОС1 – 22, содержащая 22 – 25% свинца, 1 – 2% олово и остальное медь, обеспечивает повышение твердости контртела до 50 – 60 НВ, допускает нагрузку до 35МПа при максимальной скорости до 12 м/с в среде смазки дизельного масла, обеспечивающая характерные условия трения для сложнонагруженных пар. Схема исследования приведена на рис. 1. Образец – свидетель с меньшей поверхностью выполнялся из азотированной стали 38Х2МЮА и является неподвижным. Контртело изготовлялось из свинцовистой бронзы БрОС1 и являлось подвижным со средней скоростью скольжения 0,2 м/с и ходом $H = 0,04$ м. Триботехнические испытания проводились на машине трения МТ – 8.

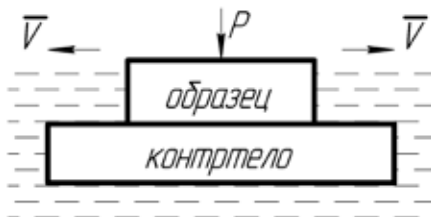


Рис. 1. Схема триботехнических исследований

Как показали результаты триботехнических исследований, приведенные на рис. 2 зависимость интенсивности изнашивания азотированной стали 38Х2МЮА от времени исследований, четко выявляется роль предварительного отпуска стали в характере изнашивания.

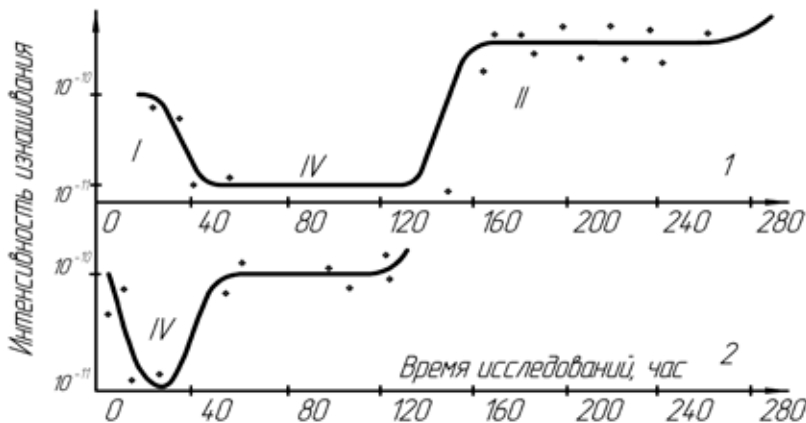


Рис. 2. Зависимость интенсивности изнашивания азотированной стали 38Х2МЮА от времени исследований:

$$1 - T_{\text{отп.}} = 655^{\circ}\text{C}; 2 - T_{\text{отп.}} = 505^{\circ}\text{C}$$

На графиках по рисунку 2 зависимостей выявляются четыре зоны: I – зона приработки; II – зона установившегося режима трения; III – участок повреждаемости; IV – участок безыносного трения. На кривых изнашивания кроме зоны приработки и безыносного трения имеются зона высокой износостойкости, характеризующаяся низким (10^{-10}) и стабильным значением интенсивного износа. Для температуры отпуска 505°C длительность этой зоны составляет 65 ч, а при температуре отпуска 655°C – 140 ч. С повышением температуры отпуска время испытаний до задира возрастает ($T_{\text{отп.}} = 505^{\circ}\text{C}$ – 140 ч; $T_{\text{отп.}} = 655^{\circ}\text{C}$ – 280 ч).

Одним из основных факторов, обеспечивающих максимальную износостойкость трущейся поверхности, является пластичность поверхностной зоны. Однако если на поверхности трения имеется низкая пластичность, образованная при азотировании высокоазотными соединениями, – это может привести к развитию усталостных трещин при упругом деформировании и к выкрашиванию поверхностного слоя. Износостойкость азотированного слоя определяется режимом азотирования и химическим составом материала трущейся поверхности.

При циклических знакопеременных нагрузках на коленчатый вал накопление повреждений происходит в поверхностных слоях. Последние начинают деформироваться раньше, чем сердцевина из – за интенсивного накопления дислокаций. После достижения критической плотности дислокаций в поверхностных слоях начинают образовываться усталостные трещины.

Повышение запаса усталостной прочности металла коленчатых валов (стали 38Х2МЮА) при азотировании объясняется возникновением начальных технологических остаточных напряжений сжатия (рис.3), определенных по технологическому методу определения начальных остаточных напряжений в поверхностном слое детали.

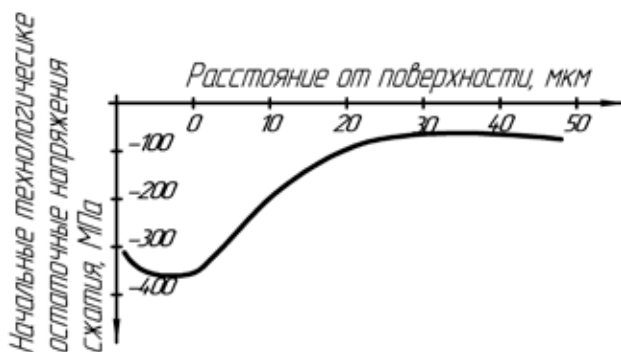


Рис. 3. Распределение начальных технологических остаточных напряжений сжатия по толщине азотированного слоя образца

Результаты исследования начальных технологических остаточных напряжений сжатия при азотировании показали, что уровень последних определяется режимами химико – термической обработки и химическим составом металла.

На основе проведенного исследования химико – термической обработки

коленчатых валов высокофорсированных дизелей и триботехнических характеристик, отражающих механизм трибологического контактного взаимодействия азотированной стали 38Х2МЮА, можно сделать следующие выводы.

1. Разработана технология химико – термической обработки (азотирования) коленчатого вала высокофорсированного дизеля. Которая имеет ряд преимуществ – очень высокую твёрдость и износостойкость коренных и шатунных шеек по сравнению с другими методами ХТО, например, цементацией.

2. На зависимости интенсивности изнашивания азотированной стали 38Х2МЮА – материала коленчатого вала от времени исследований выявлено четыре характерных участка: зона приработки; зона установившегося режима трения; участок повреждаемости; участок безыносного трения.

3. С увеличением температуры предварительного отпуска $T_{\text{отп}}$ стали 38Х2МЮА увеличивается зона безыносного трения, зона износостойкости и общий путь трения до задира.

4. Повышение усталостной прочности металла коленчатых валов при азотировании объясняется возникновением начальных технологических остаточных напряжений сжатия.

5. Разработанные методы по химико – термической обработке коленчатых валов азотированием позволяет обобщить комплексный метод поверхностного пластического деформирования, например, азотированием, накаткой галтелей коренных и шатунных шеек и упрочнением ультразвуком.