

УДК 621.785; 621.831

Д-р техн. наук А. Я. Качан, В. В. Кравцов

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

ВЛИЯНИЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ГЛАВНЫХ ВЕРТОЛЕТНЫХ РЕДУКТОРОВ

В работе, на основе результатов экспериментальных исследований, показано влияние химико-термической обработки на механические свойства, геометрические размеры и микроструктуру поверхностного слоя зубчатых колес главных вертолетных редукторов из стали 16ХЗНВФМБ-Ш.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, цементация, зубчатые колеса, механические свойства стали, экспериментальные данные.

Введение

Изготовление зубчатых колес – многооперационный технологический процесс, где операции горячей пластической деформации и механической обработки сочетаются с операциями термической обработки заготовок и химико-термической обработки (ХТО) деталей. Зубчатые колеса вертолетных редукторов относятся к числу наиболее сложных в технологическом отношении деталей. При их изготовлении число операций и переходов достигает нескольких десятков. Сложная и ажурная конфигурация зубчатых колес, минимальные припуски существенно усложняют процессы термической и механической обработки, требуют тщательного их выполнения [1].

Работоспособность зубчатых колес в решающей степени зависит от точности изготовления и качества поверхностного слоя зубьев, которое должно быть высоким, чтобы в условиях действия больших контактных напряжений, сил трения и контактных температур рабочие поверхности могли противостоять повреждению и усталостному разрушению [2, 3].

Цель работы – оценка влияния химико-термической обработки на механические свойства зубчатых колес главных вертолетных редукторов.

Объект исследования

В качестве объекта исследования, для ХТО приняты колеса зубчатые (рис. 1) из стали 16ХЗНВФМБ-Ш. Массовая доля элементов в химическом составе стали, %: С – 0,18; Mn – 0,5; Si – 0,73; S – 0,009; Cr – 2,66; Ni – 1,22; W – 1,21; V – 0,49; Mo – 0,43; Nb – 0,18; Ce – 0,01.

Методика проведения исследований

Детали поступают частично механически обработанные после меднения, чистые, без забоин и заусенцев.

ХТО подвергались детали из двух плавков:

- 1-я плавка (индивидуальные номера: 007Б, 008Б)
- 2-я плавка (индивидуальные номера: 001Б, 002Б, 003Б, 004Б, 005Б, 006Б)

Схема химико-термической обработки представлена на рис. 2.

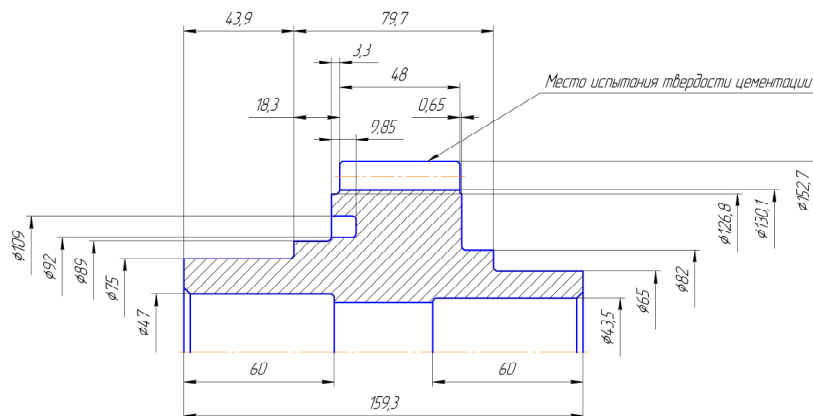


Рис. 1. Эскиз обрабатываемой детали типа «колесо зубчатое» из стали 16ХЗНВФМБ-Ш

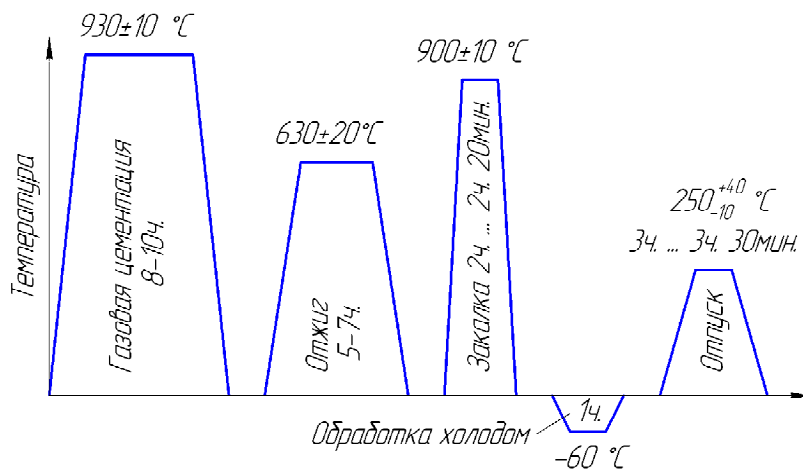


Рис. 2. Схема химико-термической обработки сталей



а



б

Рис. 3. Электрическая шахтная цементационная муфельная печь СШЦМ (а) и установка контроля и регулирования печных атмосфер КРПА-Ж (б)



Рис. 4. Электрическая шахтная печь для отжига СШЗ Ц-105



Рис. 5. Холодильная установка УТИ-1150-Х-2/-80

Газовая цементация. Оборудование – эл. печь СШЦМ (рис. 3). Температура $T = 930 \pm 10$ °С. Время выдержки в газовой цементации 810 ч.

Отжиг. Оборудование – электрическая шахтная печь для отжига СШЗ Ц-105 (рис. 4). Температура $T = 630 \pm 20$ °С. Время выдержки 57 ч, среда защитная.

Закалка. Оборудование – электрическая печь для закалки Unitherm UGKUQ 70/65/110 (рис. 6). Температура $T = 900 \pm 10$ °С. Время выдержки 2 ч...2 ч 20 мин. Охлаждение – масло.

Обработка холодом. Оборудование – холодильная установка УТИ-1150-Х-2/-80 (рис. 5). Температура $T = -60$ – -80 °С, время выдержки 1 ч 30 мин.

Отпуск. Оборудование – электрическая печь для отпуска Unitherm UHAF 70/65/110 (рис. 7).

Температура $T = 250 \pm 10$ °С, время выдержки 3 ч...3 ч 30 мин.

Результаты исследований и их обсуждение

После ХТО проведены испытания механических свойств материала зубчатых колес. Вырезка образцов хордовая, направление волокон поперечное. Механические свойства стали 16ХЗНВФМБ-Ш после ХТО зубчатых колес представлены в табл. 1.

До и после ХТО выполнены измерения геометрических размеров деталей. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Микроструктура поверхностного слоя стали 16ХЗНВФМБ-Ш после газовой цементации и закалки представлена на рис. 8.



Рис. 6. Электрическая печь для закалки Unitherm UGKUQ 70/65/110



Рис. 7. Печь для отпуска Unitherm UHAF 70/65/110

Таблица 1 – Механические свойства стали 16ХЗНВФМБ-Ш после ХТО зубчатых колес

Параметры	1-я плавка	2-я плавка	Нормы по ТУ 27-ТУ-135
Слой цементации h , мм	1,4	1,4	1,2...1,4
Твердость цементированного слоя, HRC	60	60	59...66
Предел прочности σ_B , МПа	1298,4	1363,2	1275
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	1197,4	1262,2	1130
Удлинение δ_5 , %	8,4	8	6,5
Поперечное сужение ψ , %	36	36	35
Ударная вязкость KCU, Дж/см ²	42,36	42,36	41
Твердость сердцевины, HRC	40	40,5	35...43,5
Структура поверхностного слоя	удовлетворительная	удовлетворительная	

Таблица 2 – Геометрические размеры деталей до и после ХТО

Инд. №	Длина общей нормали до цементации ТУ (50,378 _{-0,038}), мм	Длина общей нормали после цементации ТУ (50,378 _{-0,038}), мм	Длина общей нормали после закалки ТУ (50,4 _{-0,08}), мм
001Б	50,33...50,35	50,36...50,38	50,33...50,35
002Б	50,33...50,38	50,38...50,43	50,27...50,42
003Б	50,35...50,36	50,37...50,39	50,35...50,37
004Б	50,35...50,37	50,38...50,41	50,36...50,38
005Б	50,36...50,39	50,40...50,43	50,36...50,40
006Б	50,30...50,32	50,34...50,36	50,31...50,35
007Б	50,33...50,35	50,35...50,38	50,34...50,36
008Б	50,36...50,37	50,39...50,42	50,34...50,39

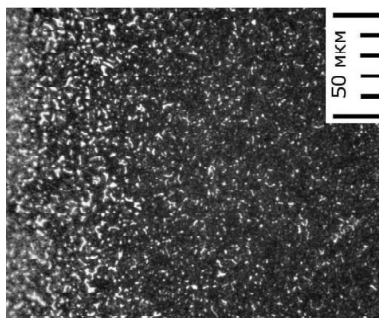


Рис. 8. Микроструктура поверхностного слоя стали 16Х3НВФМБ-Ш после газовой цементации и заковки

Выводы

Проведенные исследования показали влияние ХТО на механические свойства деталей из стали 16Х3НВФМБ-Ш, а именно:

- предел прочности σ_B увеличился на 4,38%;
- предел текучести $\sigma_{0,2}$ увеличился на 8,83%;
- относительное удлинение δ_5 увеличилось на 26,15%;
- поперечное сужение Ψ увеличилось на 2,86 %;
- ударная вязкость КСУ увеличилась на 3,32%.

Длина общей нормали после ХТО увеличилась на 0,01%.

Список литературы

1. Елисеев Ю. С. Научные основы совершенствования технологии изготовления зубчатых колес ГТД / Елисеев Ю. С. // Двигатель. – 2001. – №4 (16). – С. 10–13.
2. Производство зубчатых колес газотурбинных двигателей: Произв.-практ. издание / Ю. С. Елисеев, В. В. Крымов, И. П. Нежури и др. ; Под ред. Ю. С. Елисеева. – М. : Высш. шк., 2001. – 493 с.
3. Повышение триботехнических свойств зубчатых колес газотурбинного двигателя путем совершенствования технологии их изготовления / Л. П. Фомина // Технология металлов. – 2014. – №8. – С. 43–47.

Поступила в редакцию 14.02.2017

Качан О.Я., Кравцов В.В. Вплив хіміко-термічної обробки на механічні властивості зубчастих коліс головних вертольотних редукторів

У роботі, на основі результатів експериментальних досліджень, показано вплив хіміко-термічної обробки на механічні властивості, геометричні розміри та мікроструктуру поверхневого шару зубчастих коліс головних вертольотних редукторів із сталі 16Х3НВФМБ-Ш.

Ключові слова: хіміко-термічна обробка, цементация, зубчасті колеса, механічні властивості сталі, експериментальні дані.

Kachan A., Kravtsov V. Influence of chemical-heating treatment on the mechanical characteristics of gearwheels of helicopter main gearboxes

The article, based on the results of experimental studies, shows the influence of chemical-heating treatment on the mechanical characteristics, geometric dimensions and microstructure of gearwheels surface layer of helicopter main gearboxes made of steel 16H3NBFMB-Sh.

Key words: chemical-heating processing, cementation, gearwheels, mechanical characteristic of steel, experimental data.