

УДК 621.78.011

Д.Н. Токаев¹, А.С. Горбунов¹, Е.В. Кузнецова², Н.С. Подкина²

¹АО «Редуктор-ПМ», Пермь, Россия

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ КОНИЧЕСКОГО ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА В ПРОЦЕССЕ ТЕРМООБРАБОТКИ

Проведен анализ геометрических изменений заготовки спирально-конического зубчатого колеса, возникающих при проведении термообработки. Предложена новая геометрия заготовки перед операцией термообработки с целью получения максимально приближенной геометрии к конструкторской документации после термообработки. Это позволит улучшить показатели ремонтпригодности, надежности деталей, снизить потерю металла, а значит, повысить экономичность изготовления деталей, что является актуальным и важным в машиностроении. Выполнено сравнение изменения размеров после термообработки детали по данным контроля, построены кривые распределения отклонений размеров, предложен метод компенсации деформации после термообработки.

Ключевые слова: деформация, спирально-коническое колесо, термообработка, ремонтпригодность, надежность, отклонения от геометрических размеров, коробление, компенсация деформаций.

D.N. Tokaev¹, A.S. Gorbunov¹, E.V. Kuznetsova², N.S. Podkina²

¹JSC "Reductor-PM", Perm, Russian Federation

²Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

CALCULATION OF STRAIN BEVEL GEARS DURING HEAT TREATMENT

In the work the analysis of geometrical changes of the workpiece spiral bevel gears which arise in the course of heat treatment. The proposed new geometry of the workpiece before performing a heat treatment with the aim of getting as close as possible to the geometry of the design documentation after heat treatment. This will allow to improve indicators of maintainability, durability, also to reduce the loss of metal, and thus to increase the efficiency of manufacturing parts that is relevant and important questions of engineering. The comparison of the change of size after heat treatment of the part according to the control, the curves of the distribution of the size of the deviations, the proposed method of compensation of deformation after heat treatment.

Keywords: deformation, spiral-bevel, heat treatment, maintainability, reliability, deviations from geometric dimensions, warping, compensation of deformations.

В данной работе проведен анализ изменений геометрических размеров спирально-конического зубчатого колеса промежуточного редуктора вертолета МИ-28Н в процессе термообработки. Для этого были выбраны две наблюдаемые величины: внутренняя длина (рис. 1, а)

и монтажный размер (рис. 1, б) как величины, определяющие изменение размеров всей детали.

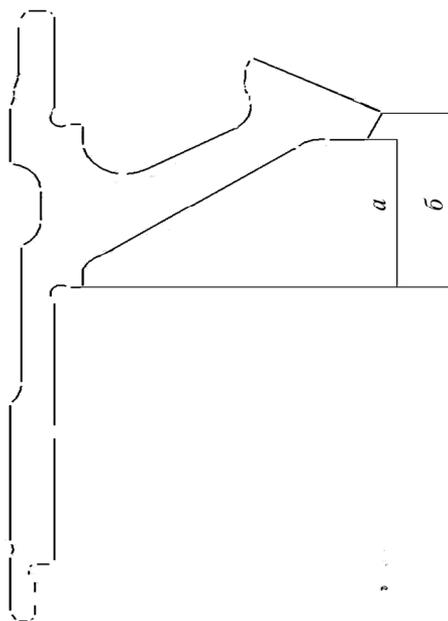


Рис. 1. Эскиз спирально-конического зубчатого колеса с обозначением наблюдаемых размеров:
а – внутренняя длина; б – монтажный размер

Спирально-коническое зубчатое колесо выполнено из конструкционной легированной стали марки 12Х2Н4А-Ш. Ее используют в промышленности для изготовления зубчатых колес, валов, роликов, поршневых пальцев и других крупных особо ответственных цементуемых деталей, к которым предъявляются требования высокой прочности, пластичности, вязкости сердцевины и поверхностной твердости, работающих под действием ударных нагрузок или при отрицательных температурах до $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1].

Термообработку спирально-конического колеса условно можно разделить на три этапа. На первом этапе проводится предварительная закалка при температуре $870\text{ }^{\circ}\text{C}$ с отпуском при температуре $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2, а). Затем заготовка отправляется на меднение, целью которого является защита нецементируемых поверхностей детали. После деталь отправляется на цементацию при температуре $870\text{ }^{\circ}\text{C}$ с отпуском при $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2, б). Перед третьим этапом деталь размедняют и отправ-

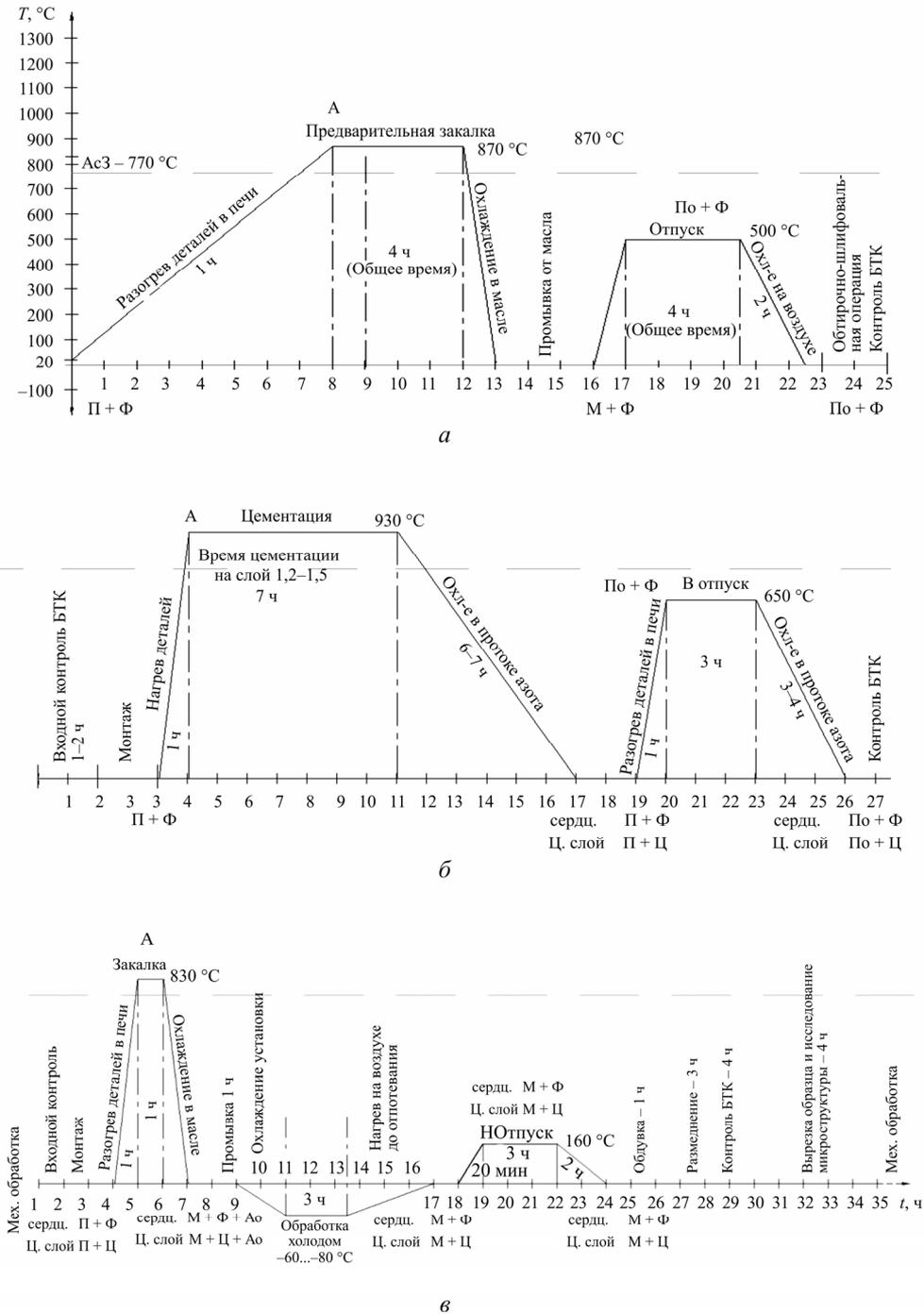


Рис. 2. Процесс термообработки зубчатого колеса: а – первый этап термообработки; б – цементация; в – закалка

ляют на закалку при температуре 830 °С с последующей обработкой холодом и отпуском (рис. 2, в) [2].

При термообработке происходит деформация деталей, которая заключается в изменении их геометрической формы и размеров. Такая деформация может возникать как при нагреве, так и при охлаждении в процессе [3]. Деформация при охлаждении вызывается двумя причинами: во-первых, термическими напряжениями, во-вторых, структурными превращениями (см. рис. 2, а–в) [4].

В отделе технического контроля на предприятии АО «Редуктор-ПМ» после термообработки (цементации и закалки) были произведены замеры интересующих нас размеров на контрольно-измерительной машине и вручную. По результатам замеров было выявлено отклонение длин от заданных технологической документацией (табл. 1, 2).

Был проведен анализ отклонений измеренных величин от требований технологической документации. На рис. 3 показаны эмпирические кривые распределения результатов измерений в зависимости от частоты появления количественного результата в ходе измерений.

Таблица 1

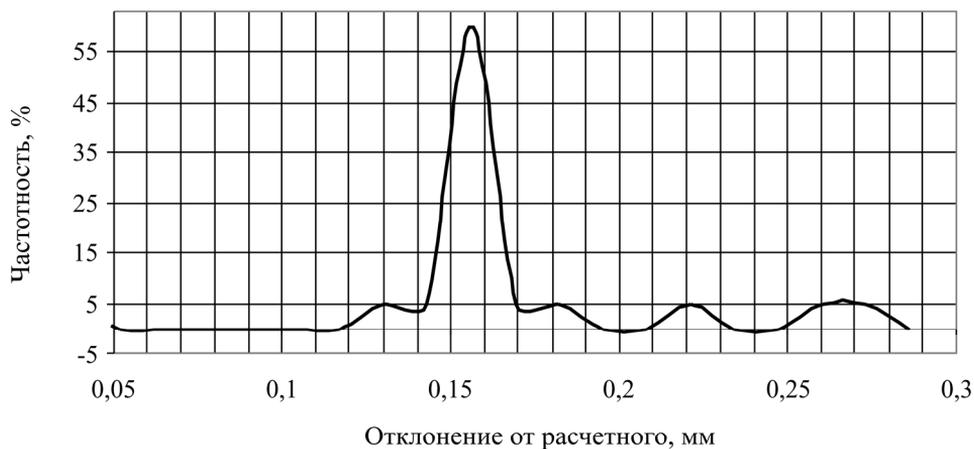
Результаты измерений монтажного размера

| Номер измерения | Монтажный фактический размер, мм | Отклонение от расчетного монтажного размера, мм |
|-----------------|----------------------------------|---|
| 1 | 48,1843 | 0,1357 |
| 2 | 48,1952 | 0,1248 |
| 3 | 48,1779 | 0,1421 |
| 4 | 48,2041 | 0,1159 |
| 5 | 48,2307 | 0,0893 |
| 6 | 48,1817 | 0,1383 |
| 7 | 48,2178 | 0,1022 |
| 8 | 48,1984 | 0,1216 |
| 9 | 48,2122 | 0,1078 |
| 10 | 48,0338 | 0,2862 |
| 11 | 48,281 | 0,039 |
| 12 | 48,2652 | 0,0548 |
| 13 | 48,2614 | 0,0586 |
| 14 | 48,2101 | 0,1099 |
| 15 | 48,2533 | 0,0667 |
| 16 | 48,2482 | 0,0718 |
| 17 | 48,2462 | 0,0738 |
| 18 | 48,2189 | 0,1011 |
| 19 | 48,2376 | 0,0824 |

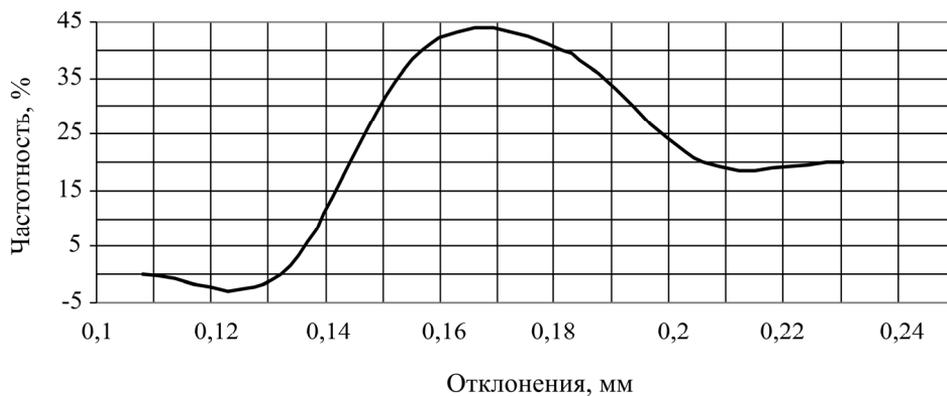
Таблица 2

Результаты измерений внутреннего размера

| Номер измерения | Внутренний фактический размер, мм | Отклонение от расчетного внутреннего размера, мм |
|-----------------|-----------------------------------|--|
| 1 | 33,8848 | 0,1152 |
| 2 | 33,8351 | 0,1649 |
| 3 | 33,7695 | 0,2305 |
| 4 | 33,8417 | 0,1583 |
| 5 | 33,8922 | 0,1078 |



a



б

Рис. 3. Эмпирические кривые распределения результатов:
a – для монтажной длины; *б* – для внутренней длины

Как видно из рис. 3, а, отклонения монтажного размера от расчетного распределены по нормальному закону, где средним отклонением с самой высокой частотой является отклонение $\approx 1,57$ мм. На рис. 3, б видно, что отклонения внутренней длины составляют $\approx 1,68$ мм.

Исходя из полученных данных, становится очевидным, что при термообработке спирально-конического колеса уменьшается внутренний размер совместно с монтажным размером, т.е. происходит «раскрытие» зубчатого венца, уменьшается угол конуса конического зубчатого колеса (рис. 4). Геометрические изменения зубчатого колеса, возникающие после проведения термообработки, приводят к увеличенным съемам металла с поверхностей на последующих шлифовальных операциях, что, в свою очередь, сказывается на качестве поверхностного слоя детали, снижению твердости контактных поверхностей зубьев, увеличению трудоемкости на последующих операциях [5].

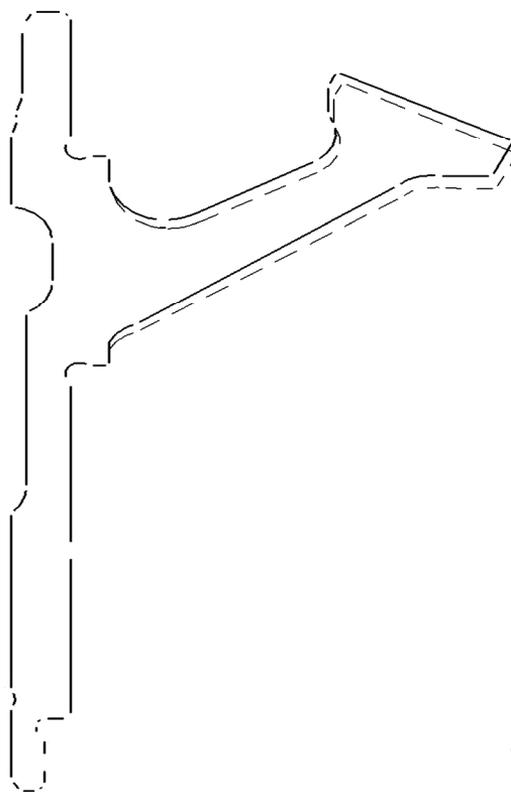


Рис. 4. Эскиз конического зубчатого колеса:
— — до термообработки; - - - после термообработки

Для компенсации коробления зубчатых колес при закалке применяются следующие меры:

– специальные способы закалки (прерывистая, ступенчатая, изотермическая и др.);

– специальные закалочные прессы.

Наиболее экономически целесообразным является направленное изменение геометрических размеров заготовки зубчатого колеса перед термообработкой с учетом последующих деформаций детали при термообработке. Таким образом, деформацию детали или отклонения размеров, получаемых при термообработке, учитывают в геометрии заготовки до этапа термообработки для упреждения при последующей деформации на операции термической обработки [6].

Список литературы

1. Александров В.Г. Справочник по авиационным материалам. – М.: Транспорт, 1972. – 328 с.

2. Производство зубчатых колес / А.С. Калашников, С.Н. Калашников, Г.И. Коган [и др.]; под общ. ред. Б.А. Тайца. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 464 с.

3. Першин В.П. Методические указания к лабораторной работе «Цементация». – Томск, 2008. – 14 с.

4. Решетилов Д.Н. Детали машин. – М.: Машиностроение, 1974. – 656 с.

5. Сагарадзе В.С. Повышение надежности цементуемых деталей. – М.: Машиностроение, 1975. – 216 с.

6. Томсен Э., Янг Ч., Кобаяши Ш. Механика пластических деформаций при обработке металлов. – М.: Машиностроение, 1968. – 504 с.

References

1. Aleksandrov V.G. Spravochnik po aviatsionnym materialam [Handbook of aviation materials]. Moscow, 1972. 328 p.

2. Kalashnikov A.S., Kalashnikov S.N., Kogan G. [et al.]. Proizvodstvo zubchatykh koles [Manufacture of gears]. Moscow: Mashinostroenie, 1990. 464 p.

3. Pershin V.P. Metodicheskie ukazaniia k laboratornoi rabote “Tsementatsiia” [Methodical instructions to laboratory work-hardening]. Tomsk, 2008. 14 p.

4. Reshetilov D.N. Detali mashin [Machine parts]. Moscow: Mashinostroenie, 1974. 656 p.

5. Sagaradze V.S. Povyshenie nadezhnosti tsementuemykh detalei [Improving the reliability of carburized parts]. Moscow: Mashinostroenie, 1975. 216 p.

6. Tomsen E., Iang Ch., Kobaiashi Sh. Mekhanika plasticheskikh deformatsii pri obrabotke metallov [Mechanics of plastic deformation in the processing of metals]. Moscow: Mashinostroenie, 1968. 504 p.

Получено 16.08.2016

Об авторах

Токаев Денис Николаевич (Пермь, Россия) – заместитель главного технолога, АО «Редуктор-ПМ», холдинг «Вертолеты России» (614025, г. Пермь, ул. Героев Хасана, 105/10, e-mail: tokaev@reductor-pm.com).

Горбунов Александр Сергеевич (Пермь, Россия) – ведущий специалист-конструктор по проектированию режущего инструмента для обработки зуба, АО «Редуктор-ПМ», холдинг «Вертолеты России» (614025, г. Пермь, ул. Героев Хасана, 105/10, e-mail: Gorbunov-AS@reductor-pm.com).

Кузнецова Елена Владимировна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Динамика и прочность машин», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: mellen75@mail.ru).

Подкина Наталья Сергеевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Динамика и прочность машин», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: mellen75@mail.ru).

About the authors

Denis N. Tokaev (Perm, Russian Federation) – Deputy Chief Technologist of JSC “Reductor-PM”, holding “Helicopters of Russia” (105/10, Geroev Hasana st., Perm, 614025, Russian Federation, e-mail: tokaev@reductor-pm.com).

Aleksandr S. Gorbunov (Perm, Russian Federation) – Leading Specialist Designer for Designing a Cutting Tool for Dental Treatment, JSC “Reductor-PM”, holding “Helicopters of Russia” (105/10, Geroev Hasana st.,

Perm, 614025, Russian Federation, e-mail: Gorbunov-AS@reductor-pm.com).

Elena V. Kuznetsova (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Department of Dynamics and Strength of Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: mellen75@mail.ru).

Natal'ia S. Podkina (Perm, Russian Federation) – Master Student, Department of Dynamics and Strength of Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: podkina_ns@mail.ru).