

## ДЕФОРМАЦИЯ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ШЕСТЕРЕН МАЛОГО МОДУЛЯ

В. М. КОНДРАТОВ, Б. А. ПОТЕХИН  
УРАЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

При термической обработке шестерен высокой точности одним из основных недостатков является деформация внутреннего отверстия и изменение геометрии зуба.

В настоящей работе обобщен опыт завода по термической обработке шестерен малого модуля (1,5—2), изготовленных по 2-му классу точности. Поковки шестерен изготовляли из проката стали 40Х штамповкой в подкладных штампах. Предварительная термическая обработка — нормализация на *HV* 210 — 228. Нагревали под закалку в электрической течи камерного типа. Для определения величины деформации в зависимости от величины  $\frac{h}{d}$  ( $h$  — высота,  $d$  — диаметр шестерни) и толщины стенки  $s$  были выбраны четыре вида шестерен с внутренним диаметром 20 мм. Результаты исследований даны в табл. 1.

Таблица 1

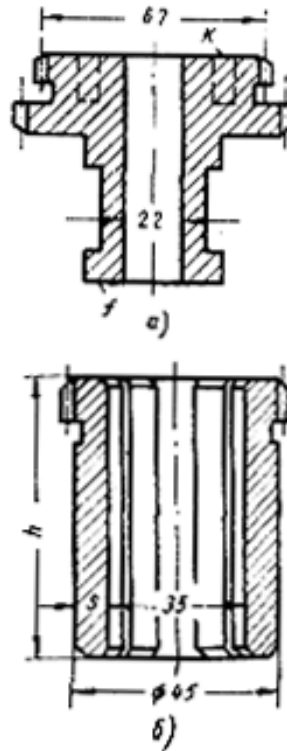
**Зависимость деформации при термической обработке от толщины стенки и отношения  $\frac{h}{d}$**

| $\frac{h}{d}$ | Деформация отверстия в мм |              |   |                 |                                    | Толщина стенки в мм |
|---------------|---------------------------|--------------|---|-----------------|------------------------------------|---------------------|
|               | Улучшение                 |              | После улучшения закалка в воде + отпуск 200°C | Закалка в масле | Отпуск 200°C после закалки в масле |                     |
|               | Закалка в воде            | Отпуск 600°C |   |                 |                                    |                     |
| 1:1           | 0,16                      | 0,15         | 0,02  | 0,02            | 0,03                               | 10                  |
| 1:2           | 0,18                      | 0,16         | 0,01  | 0,01            | 0,015                              | 10                  |
| 1:4           | 0,16                      | 0,13         | 0,01  | 0,01            | 0,015                              | 10                  |
| 1:6           | 0,23                      | 0,20         | 0,06  | 0,05            | 0,06                               | 30                  |

Величина деформации отверстия взята как среднеарифметическое от замера пяти шестерен. Из табл. 1 видно, что отношение  $\frac{h}{d}$  при одинаковой толщине стенки не влияет на величину деформации внутреннего отверстия. Деформация отверстия при охлаждении в воде значительно больше, чем при охлаждении в масле. Предварительное улучшение (закалка в воде + отпуск 600°C в течение 40 мин) значительно уменьшает деформацию отверстия.

По данным табл. 1 и 2 можно назначить технологический припуск на последующую механическую обработку для шестерен, у которых деформация незначительна и стабильна, а для некоторых видов шестерен можно не давать технологического припуска.

Шестерню (фиг. 1, а) со стенкой толщиной 5 мм можно закаливать в масле без припуска, так как деформация внутреннего отверстия незначительна и стабильна.



Фиг. 1. Эскизы шестерен:

а — после закалки незначительная деформация внутреннего отверстия;  
б — деформация больше допускаемой.

При термической обработке шестерен сложной формы, с резкими переходами от одного диаметра к другому, деформация по длине отверстия неравномерна (фиг. 1, б).

Со стороны поверхности *K* внутренне отверстие шестерни увеличивается, со стороны *f* посадка уменьшается (фиг. 1, б). Во избежание получения такого вида деформации следует изменить форму шестерни так, чтобы толщина стенки по всей длине отверстия была одинаковой. На фиг. 1, б пунктиром показана толщина стенки, при которой деформация постоянна по всей длине отверстия и соответствует допуску. В этом случае исключается операция окончательной обработки после объемной закалки — шлифование.

Деформация внутреннего отверстия при нагреве т.в.ч. под закалку также зависит от толщины стенки шестерни. При нагреве на установке ЛПЗ-67 (частота 60—70 кгц) пучили разную деформацию внутреннего отверстия. Закалка с 900 — 980°C в воде (спрейерное охлаждение).

По характеру деформаций внутреннего отверстия все шестерни, указанные в табл. 2, можно разделить на три группы. К первой группе относятся шестерни с толщиной стенки до 7 мм.

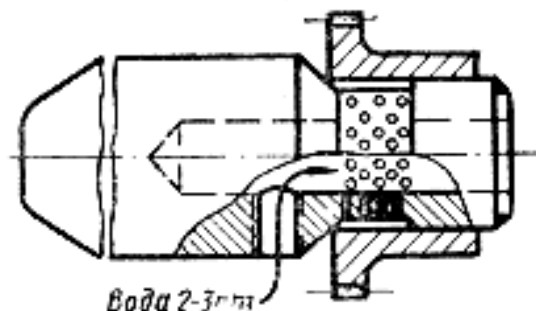
Зависимость деформации от толщины стенки шестерни

| Наружный диаметр в мм | Толщина стенки в мм | Деформация в мм |                               |                 |                                |
|-----------------------|---------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|--------------------------------|
|                       |                     | Закалка в воде  | Закалка в воде + отпуск 200°C | Закалка в масле | Закалка в масле + отпуск 200°C |
| 40                    | 5                   | 0,07            | 0,06                          | -0,01           | 0,00                           |
| 44                    | 7                   | 0,11            | 0,10                          | -0,007          | -0,006                         |
| 50                    | 10                  | 0,18            | 0,17                          | 0,00            | +0,01                          |
| 70                    | 20                  | 0,21            | 0,19                          | +0,01           | +0,02                          |
| 90                    | 30                  | 0,23            | 0,20                          | +0,03           | +0,04                          |
| 110                   | 40                  | 0,25            | 0,23                          | +0,035          | +0,04                          |

В таблице даны значения деформации внутреннего отверстия при объемной закалке в зависимости от толщины стенки шестерни при высоте 15 мм и внутреннем диаметре 29 мм.

Внутреннее отверстие в результате деформации увеличивается. Ко второй группе относятся шестерни с толщиной стенки 9 — 12 мм; внутреннее отверстие после деформации уменьшается. Шестерни третьей группы с толщиной стенки более 17 мм деформации почти не имеют; для шестерен этой группы после термической обработки не требуется прошивки или калибровки отверстия.

Величина и знак деформации, внутреннего отверстия зависит от соотношения тепловых и структурных напряжений по сечению стенки шестерни, которые возникают при нагреве и охлаждении. Следовательно, изменяя напряженное состояние детали при нагреве, можно изменить характер деформации отверстия и даже совсем устранить ее. Так, при закалке шестерен (второй группы) на установке ГЗ-46 с частотой 400 — 500 кгц внутреннее отверстие получило деформацию в пределах допуска.



Фиг. 2. Оправка для спрейерного охлаждения внутреннего отверстия шестерни.

Для шестерен первой группы повышения частоты недостаточно для устранения деформации отверстия, необходимо охлаждение отверстия во время нагрева. Для этого изготовили специальные оправки (фиг. 2).

Таким образом, при правильном подборе скорости индукционного нагрева и спрейерного охлаждения внутреннего отверстия можно полностью избежать деформации отверстия.