

УТВЕРЖДАЮ  
Главный конструктор  
по испытаниям

\_\_\_\_\_ Р.Н. Гиниятуллин  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

## **ПРОТОКОЛ № 17-17300-**

исследований вибрации, уровня шума и температуры  
редуктора двухступенчатого 5Ц2-125-12,5 и испыта-  
ний его на изгибно-циклическую долговечность

### **1 ОСНОВАНИЕ**

1.1 Служебная записка № 17750-291 от 03.10.2018 г.

### **2 ЦЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ**

2.1 Исследование вибрации, уровня шума и температуры редуктора двух-  
ступенчатого 5Ц2-125-12,5.

2.2 Оценка изгибной циклической долговечности редуктора двухступенча-  
того 5Ц2-125-12,5.

### **3 ОБЪЕКТ ИСПЫТАНИЙ**

3.1 Редуктор двухступенчатый 5Ц2-125-12,5, укомплектованный шестерня-  
ми с эксцентриково-циклоидальным (ЭЦ) зубчатым зацеплением, имеющий пере-  
даточное число  $i = 12,40$ .

3.2 Редуктор двухступенчатый 5Ц2-125-12,5, укомплектованный шестерня-  
ми с эвольвентным зубчатым зацеплением, имеющий передаточное число  
 $i = 12,42$ .

П р и м е ч а н и е – шестерни были изготовлены фирмой ЗАО «Технология  
маркет» (г. Томск). На рисунках А.1-А.8 приложения А представлены чертежи  
шестерен с ЭЦ и эвольвентным зубчатым зацеплением.

### **4 УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ**

4.1 Испытания в лабораторных условиях проводились конструкторско-  
исследовательским бюро зубчатых передач и агрегатов конструкторско-  
исследовательского отдела агрегатов и систем НТЦ ПАО «КАМАЗ» в апреле-  
июне 2019 г., при температуре окружающей среды – от 18 до 25 °С, атмосферном

давлении – от 90 до 102 кПа и относительной влажности воздуха – от 56 до 76 %, т.е. с соблюдением требований по обеспечению нормальных климатических условий испытаний изделий по ГОСТ 15150-69, а именно:

- температура окружающей среды –  $(25 \pm 10)$  °С;
- относительная влажность воздуха – от 45 до 80 %;
- атмосферное давление – от 84 до 106,7 кПа.

## **5 ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

5.1 Испытания по определению долговечности МКД в составе ведущего моста проводили на стенде фирмы «В.І.А» (Франция) для испытаний мотор-колес, инв. № 170260 (протокол аттестации № 50/2015/А-08 от 25.12.2018 г., срок действия – 12 месяцев).

5.2 Барометр-анероид БАММ-1, инв. № 501, диапазон измерений от 80 до 106 кПа, погрешность  $\pm 0,2$  кПа, свидетельство о поверке № 5924651 – до 16.05.2020 г.

5.3 Прибор-комбинированный мод. ТКА-ПКМ (60), зав. № 60 1627, диапазон измерения температуры от -30 до 60 °С, диапазон измерения относительной влажности от 5 до 98 %, погрешность  $\pm 0,2$  °С и  $\pm 3,0$  %, паспорт годен до 17.10.2019 г.

## **6 МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ**

6.1 Исследование вибрации, уровня шума и температуры редукторов проводилось после 10 минут вращения ведущего вала с моментами 0 Н·м, 60 Н·м, 120 Н·м и 180 Н·м, и при частоте вращения 500 мин<sup>-1</sup>, 1000 мин<sup>-1</sup> и 1500 мин<sup>-1</sup> – на переднем ходу, и при частоте вращения 500 мин<sup>-1</sup> – на заднем ходу(з.х.).

Уровень шума замерялся на расстоянии 500 мм от оси входного вала (см. рисунок А.1 приложения А).

Далее продолжилось исследование температуры при моменте 180 Н·м и частоте вращения 1500 мин<sup>-1</sup> вплоть до установившейся.

6.2 Испытания на изгибно-усталостную долговечность редукторов проводили при моменте 450 Н·м и частоте вращения 1500 мин<sup>-1</sup>.

Перед испытаниями редукторов выполняли измерения бокового зазора в зацеплении выходной цилиндрической паре шестерен. Измерения боковых зазоров выполняли с помощью магнитной стойки с индикатором часового типа № 52476\52126 (свидетельство о пригодности – до 27.01.2020 г.).

Испытания проводили на минеральном трансмиссионном масле Rosneft Kinetic Nuroid 80W-90 класса API GL-5 в количестве 3,7 л.

6.3 После испытаний все шестерни редукторов подвергали металлографическим исследованиям по типовой методике в центральной лаборатории металловедения ТЦ.

## 7 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

7.1 Результаты исследования вибрации, уровня шума и температуры редукторов приведены в таблицах 1 и 2.

Т а б л и ц а 1 – Результаты исследования вибрации, уровня шума и температуры редуктора, укомплектованного шестернями с ЭЦ зубчатым зацеплением

| Момент, Н·м | Частота вращения, мин <sup>-1</sup> | Вибрация, мм/с | Максимальный уровень звукового давления, дБА | Общий уровень звука, дБА | Температура, °С | КПД трансмиссии |
|-------------|-------------------------------------|----------------|--|--------------------------|-----------------|-----------------|
| 0           | 0                                   | -              | -  | -                        | 17,5            | -               |
| 0           | 500                                 | 0,656          | 81,8   | 85,4                     | 20,9            | -               |
| 0           | 1000                                | 2,1            | 78,7   | 84,5                     | 22,9            | -               |
| 0           | 1500                                | 4,72           | 77,3   | 84,9                     | 27,8            | -               |
| 0           | 500(з.х.)                           | 0,582          | 81,3   | 85,2                     | 29,2            | -               |
| 60          | 500(з.х.)                           | 0,852          | 81,5   | 85,2                     | 29,9            | 0,59...0,64     |
| 120         | 500(з.х.)                           | 0,952          | 82,8   | 86,2                     | 31,9            | 0,76...0,78     |
| 180         | 500(з.х.)                           | 1,1            | 82,4   | 85,9                     | 36,4            | 0,82...0,83     |
| 60          | 500                                 | 0,83           | 81,4   | 85,1                     | 35,8            | 0,50...0,57     |
| 120         | 500                                 | 0,941          | 81,5   | 85,3                     | 35,9            | 0,70...0,73     |
| 180         | 500                                 | 1,08           | 82,4   | 86,1                     | 36,2            | 0,80...0,83     |
| 60          | 1000                                | 3,99           | 76,3   | 84,0                     | 37,3            | 0,40...0,46     |
| 120         | 1000                                | 4,91           | 76,6   | 83,9                     | 38,2            | 0,70...0,71     |
| 180         | 1000                                | 4,94           | 77,7   | 84,6                     | 41,7            | 0,79...0,81     |
| 60          | 1500                                | 7,88           | 81,4   | 86,8                     | 43,2            | 0,40...0,45     |
| 120         | 1500                                | 8,48           | 81,3   | 86,7                     | 44,4            | 0,70...0,72     |
| 180         | 1500                                | 7,72           | 78,3   | 85,7                     | 49,4            | 0,78...0,80     |

Т а б л и ц а 2 – Результаты исследования вибрации, уровня шума и температуры редуктора, укомплектованного шестернями с эвольвентным зубчатым зацеплением

| Момент, Н·м | Частота вращения, мин <sup>-1</sup> | Вибрация, мм/с | Максимальный уровень звукового давления, дБА | Общий уровень звука, дБА | Температура, °С | КПД трансмиссии |
|-------------|-------------------------------------|----------------|--|--------------------------|-----------------|-----------------|
| 0           | 0                                   | -              | -  | -                        | 18,1            | -               |
| 0           | 500                                 | 0,669          | 80,8   | 85,2                     | 19,4            | -               |
| 0           | 1000                                | 2,14           | 76,9   | 84,0                     | 22,6            | -               |
| 0           | 1500                                | 4,45           | 78,3   | 85,1                     | 26,8            | -               |
| 60          | 500                                 | 0,893          | 80,7   | 85,7                     | 29,2            | 0,46...0,56     |
| 120         | 500                                 | 1,22           | 81,5   | 86,0                     | 30,5            | 0,70...0,72     |
| 180         | 500                                 | 1,57           | 82,4   | 86,4                     | 32,1            | 0,80...0,83     |
| 0           | 500(з.х.)                           | 0,905          | 80,1   | 84,7                     | 34,8            | -               |
| 60          | 500(з.х.)                           | 0,744          | 80,3   | 85,1                     | 34,6            | 0,46...0,59     |
| 120         | 500(з.х.)                           | 0,871          | 81,7   | 85,7                     | 35,0            | 0,70...0,75     |
| 180         | 500(з.х.)                           | 1,05           | 82,8   | 86,4                     | 36,6            | 0,78...0,82     |
| 60          | 1000                                | 2,5            | 76,3   | 83,7                     | 37,3            | 0,43...0,47     |
| 120         | 1000                                | 3,22           | 78   | 84,3                     | 38,4            | 0,70...0,72     |
| 180         | 1000                                | 4,2            | 78   | 84,8                     | 41,4            | 0,80...0,81     |
| 60          | 1500                                | 5,91           | 78,4   | 85,0                     | 43,2            | 0,40...0,47     |
| 120         | 1500                                | 6,68           | 78,7   | 85,3                     | 44,0            | 0,69...0,73     |
| 180         | 1500                                | 7,5            | 78,8   | 85,3                     | 49,0            | 0,80...0,83     |

Результаты продолжения исследования температуры редукторов приведены в таблицах 3 и 4.

Т а б л и ц а 3 – Результаты исследования температуры редуктора, укомплектованного шестернями с ЭЦ зубчатым зацеплением

| Момент, Н·м | Частота вращения, мин <sup>-1</sup> | Температура, °С | КПД трансмиссии | Момент, Н·м | Частота вращения, мин <sup>-1</sup> | Температура, °С | КПД трансмиссии |
|-------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|
| 180         | 1500                                | 53,8            | 0,73...0,79     | 180         | 1500                                | 66,8            | 0,78...0,81     |
| 180         | 1500                                | 57,5            | 0,74...0,79     | 180         | 1500                                | 67,9            | 0,78...0,81     |
| 180         | 1500                                | 60,7            | 0,75...0,80     | 180         | 1500                                | 68,8            | 0,78...0,81     |
| 180         | 1500                                | 63,2            | 0,76...0,80     | 180         | 1500                                | 69,8            | 0,77...0,81     |
| 180         | 1500                                | 65,4            | 0,77...0,81     | 180         | 1500                                | 70,5            | 0,77...0,81     |
| 180         | 1500                                | 67,2            | 0,78...0,81     | 180         | 1500                                | 71,1            | 0,77...0,82     |
| 0           | 0                                   | 15,9            | 0,73...0,78     | 180         | 1500                                | 71,6            | 0,77...0,82     |
| 0           | 500                                 | 17,4            | 0,74...0,79     | 180         | 1500                                | 72,1            | 0,78...0,81     |
| 0           | 1000                                | 20,6            | 0,75...0,80     | 180         | 1500                                | 72,4            | 0,77...0,81     |
| 0           | 1500                                | 26,1            | 0,76...0,81     | 180         | 1500                                | 72,8            | 0,78...0,81     |
| 180         | 1500                                | 36,4            | 0,77...0,81     | 180         | 1500                                | 73,0            | 0,77...0,81     |
| 180         | 1500                                | 43,8            | 0,77...0,81     | 180         | 1500                                | 73,2            | 0,77...0,81     |
| 180         | 1500                                | 48,4            | 0,78...0,81     | 180         | 1500                                | 73,5            | 0,77...0,81     |
| 180         | 1500                                | 52,1            | 0,77...0,82     | 180         | 1500                                | 73,8            | 0,77...0,81     |
| 180         | 1500                                | 55,7            | 0,77...0,82     | 180         | 1500                                | 74,1            | 0,77...0,81     |
| 180         | 1500                                | 59,0            | 0,78...0,81     | 180         | 1500                                | 74,3            | 0,77...0,81     |
| 180         | 1500                                | 61,5            | 0,78...0,81     | 180         | 1500                                | 74,4            | 0,77...0,81     |
| 180         | 1500                                | 63,5            | 0,77...0,82     | 180         | 1500                                | 74,4            | 0,78...0,81     |
| 180         | 1500                                | 65,3            | 0,77...0,82     | 180         | 1500                                | 74,4            | 0,77...0,81     |

*Продолжение таблицы 3*

| Момент, Н·м | Частота вращения, мин <sup>-1</sup> | Температура, °С | КПД трансмиссии | Момент, Н·м | Частота вращения, мин <sup>-1</sup> | Температура, °С | КПД трансмиссии |
|-------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|
| 180         | 1500                                | 74,5            | 0,77...0,81     | 180         | 1500                                | 50,9            | 0,77...0,81     |
| 180         | 1500                                | 74,4            | 0,77...0,82     | 180         | 1500                                | 53,9            | 0,78...0,83     |
| 180         | 1500                                | 74,2            | 0,77...0,81     | 180         | 1500                                | 56,8            | 0,79...0,83     |
| 180         | 1500                                | 73,9            | 0,77...0,82     | 180         | 1500                                | 59,2            | 0,79...0,83     |
| 180         | 1500                                | 73,7            | 0,77...0,82     | 180         | 1500                                | 61,1            | 0,80...0,84     |
| 180         | 1500                                | 73,6            | 0,78...0,81     | 180         | 1500                                | 63,0            | 0,80...0,85     |
| 180         | 1500                                | 73,5            | 0,78...0,82     | 180         | 1500                                | 64,8            | 0,79...0,82     |
| 180         | 1500                                | 73,4            | 0,77...0,82     | 180         | 1500                                | 65,9            | 0,77...0,81     |
| 180         | 1500                                | 73,2            | 0,78...0,82     | 180         | 1500                                | 66,7            | 0,76...0,81     |
| 180         | 1500                                | 73,1            | 0,78...0,82     | 180         | 1500                                | 67,5            | 0,76...0,80     |
| 180         | 1500                                | 73,0            | 0,78...0,82     | 180         | 1500                                | 68,1            | 0,76...0,80     |
| 180         | 1500                                | 73,2            | 0,78...0,82     | 180         | 1500                                | 68,6            | 0,77...0,80     |
| 180         | 1500                                | 73,2            | 0,77...0,82     | 180         | 1500                                | 69,0            | 0,77...0,80     |
| 180         | 1500                                | 73,4            | 0,77...0,83     | 180         | 1500                                | 69,4            | 0,77...0,80     |
| 180         | 1500                                | 73,5            | 0,77...0,82     | 180         | 1500                                | 69,7            | 0,77...0,80     |
| 180         | 1500                                | 73,6            | 0,78...0,82     | 180         | 1500                                | 70,1            | 0,77...0,81     |
| 0           | 0                                   | 17,6            | -               | 180         | 1500                                | 70,4            | 0,77...0,81     |
| 180         | 1500                                | 26,7            | 0,68...0,73     | 180         | 1500                                | 70,6            | 0,77...0,81     |
| 180         | 1500                                | 36,7            | 0,72...0,76     |             |                                     |                 |                 |
| 180         | 1500                                | 43,3            | 0,75...0,78     |             |                                     |                 |                 |
| 180         | 1500                                | 47,6            | 0,76...0,81     |             |                                     |                 |                 |

Т а б л и ц а 4 – Результаты исследования температуры редуктора, укомплектованного шестернями с эвольвентным зубчатым зацеплением

| Момент, Н·м | Частота вращения, мин <sup>-1</sup> | Температура, °С | КПД трансмиссии | Момент, Н·м | Частота вращения, мин <sup>-1</sup> | Температура, °С | КПД трансмиссии |
|-------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|
| 180         | 1500                                | 59,3            | 0,80...0,84     | 180         | 1500                                | 76,6            | 0,75...0,79     |
| 180         | 1500                                | 63,0            | 0,80...0,85     | 180         | 1500                                | 76,9            | 0,76...0,80     |
| 180         | 1500                                | 69,0            | 0,75...0,79     | 180         | 1500                                | 77,2            | 0,75...0,81     |
| 180         | 1500                                | 70,0            | 0,75...0,79     | 180         | 1500                                | 77,3            | 0,76...0,80     |
| 180         | 1500                                | 71,0            | 0,75...0,80     | 180         | 1500                                | 77,4            | 0,75...0,80     |
| 180         | 1500                                | 71,8            | 0,75...0,79     | 180         | 1500                                | 77,5            | 0,76...0,80     |
| 180         | 1500                                | 72,4            | 0,75...0,78     | 180         | 1500                                | 77,7            | 0,76...0,79     |
| 180         | 1500                                | 73,1            | 0,76...0,80     | 180         | 1500                                | 78,0            | 0,76...0,80     |
| 180         | 1500                                | 73,5            | 0,75...0,80     | 180         | 1500                                | 78,2            | 0,76...0,80     |
| 180         | 1500                                | 73,9            | 0,75...0,79     | 180         | 1500                                | 78,3            | 0,76...0,80     |
| 180         | 1500                                | 74,3            | 0,75...0,79     | 180         | 1500                                | 78,1            | 0,76...0,80     |
| 180         | 1500                                | 74,6            | 0,76...0,80     | 0           | 0                                   | 19,5            | -               |
| 180         | 1500                                | 74,8            | 0,76...0,80     | 180         | 1500                                | 20,4            | 0,66...0,70     |
| 180         | 1500                                | 75,2            | 0,76...0,79     | 180         | 1500                                | 26,9            | 0,70...0,73     |
| 180         | 1500                                | 75,5            | 0,75...0,80     | 180         | 1500                                | 35,6            | 0,73...0,76     |
| 180         | 1500                                | 75,8            | 0,76...0,80     | 180         | 1500                                | 43,3            | 0,75...0,79     |
| 180         | 1500                                | 76,1            | 0,76...0,80     | 180         | 1500                                | 49,1            | 0,75...0,80     |
| 180         | 1500                                | 76,3            | 0,75...0,80     | 180         | 1500                                | 53,8            | 0,76...0,80     |
| 180         | 1500                                | 76,4            | 0,75...0,80     | 180         | 1500                                | 58,1            | 0,76...0,81     |
| 180         | 1500                                | 76,5            | 0,76...0,80     | 180         | 1500                                | 60,8            | 0,77...0,81     |

*Продолжение таблицы 4*

| Мо-<br>мент,<br>Н·м | Частота<br>враще-<br>ния, мин <sup>-1</sup> | Темпе-<br>ратура,<br>°С | КПД<br>трансми-<br>сии |
|---------------------|---|-------------------------|------------------------|
| 180                 | 1500  | 63,1                    | 0,77...0,81            |
| 180                 | 1500  | 65,1                    | 0,77...0,81            |
| 180                 | 1500  | 66,6                    | 0,77...0,80            |
| 180                 | 1500  | 68,0                    | 0,77...0,81            |
| 180                 | 1500  | 69,0                    | 0,78...0,80            |
| 180                 | 1500  | 69,9                    | 0,76...0,81            |
| 180                 | 1500  | 70,7                    | 0,76...0,81            |
| 180                 | 1500  | 71,4                    | 0,77...0,80            |
| 180                 | 1500  | 72,2                    | 0,77...0,80            |
| 180                 | 1500  | 72,9                    | 0,77...0,80            |
| 180                 | 1500  | 73,5                    | 0,77...0,81            |
| 180                 | 1500  | 74,1                    | 0,77...0,81            |
| 180                 | 1500  | 74,5                    | 0,76...0,80            |
| 180                 | 1500  | 74,9                    | 0,76...0,81            |
| 180                 | 1500  | 75,3                    | 0,77...0,80            |
| 180                 | 1500  | 75,3                    | 0,77...0,80            |
| 180                 | 1500  | 75,3                    | 0,77...0,80            |

7.2 Результаты измерения бокового зазора в выходной цилиндрической паре редукторов.

Боковой зазор в выходной цилиндрической паре редуктора с ЭЦ зубчатым зацеплением составил от 0,00 до 0,25 мм, редуктора с эвольвентным зубчатым зацеплением – от 0,01 до 0,03 мм.

7.3 Результаты испытаний редукторов на изгибную циклическую долговечность представлены в таблице 5.



**Т а б л и ц а 5 – Результаты испытаний редукторов на изгибную циклическую долговечность**

| Наименование редуктора                       | Наработка            | Характер разрушения   |
|--|----------------------|---|
| Редуктор с ЭЦ зубчатым зацеплением           | 6 часов<br>44 минуты | Искривление вал-шестерни входной. Разрушение вал-шестерни.  |
| Редуктор с эвольвентным зубчатым зацеплением | 6 часов              | Разрушение 1 зуба вал-шестерни входной. Разрушение 4 зубьев колеса первой ступени. Разрушение 3 зубьев колеса выходного. Разрушение вал-шестерни. |

Внешний вид разрушенных шестерен редукторов представлен на рисунках А.9-А.15 приложения А.

7.4 Результаты металлографического исследования шестерен редукторов представлены в протоколах №№ 243-250 в приложении Б.

## **8 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ**

8.1 Результаты проведенных исследований вибрации, шума и температуры редукторов с шестернями с ЭЦ и эвольвентным зубчатым зацеплением показали, что они примерно на одном уровне.

Максимальная температура редуктора с шестернями с ЭЦ зубчатым зацеплением, до которой происходила их приработка, составила 74,5 °С, редуктора с шестернями с эвольвентным зубчатым зацеплением – 78,3 °С.

8.2 Результаты проведенных измерений бокового зазора в выходной цилиндрической паре редукторов показали, что колебание бокового зазора в выходной цилиндрической паре редуктора с ЭЦ зубчатым зацеплением в несколько раз выше, чем колебание бокового зазора в выходной цилиндрической паре редуктора с эвольвентным зубчатым зацеплением.

Также следует отметить, что редуктор с шестернями с ЭЦ зубчатым зацеплением имел отсутствие бокового зазора, что в свою очередь могло отрицательно сказаться на показателях уровня шума и долговечности.

8.3 Результаты проведенных испытаний на изгибную циклическую долговечность показали, что долговечность редуктора с шестернями с ЭЦ зубчатым зацеплением на 12,2 % выше долговечности редуктора с шестернями с эвольвентным зубчатым зацеплением.

Также следует отметить, что редуктор с шестернями с ЭЦ зубчатым зацеплением не имел разрушений зубьев.

8.4 Проведенным металлографическим анализом вал-шестерни входной, изд. ТМ.202.00.00.001, с ЭЦ зубчатым зацеплением (см. протокол исследований № 243 приложения Б), было установлено следующее:

- материал шестерни по составу соответствовал стали марки 20ХН3А ГОСТ 4543-2016;
- твердость по вершине зуба шестерни составила 57 HRC;
- твердость в сердцевине шестерни составила 37 HRC;
- толщина поверхностного цементованного слоя по рабочей поверхности и по галтели зуба шестерни составила 0,95 мм.

8.5 Проведенным металлографическим анализом колеса выходного, изд. ТМ.202.00.00.002, с ЭЦ зубчатым зацеплением (см. протокол исследований № 244 приложения Б), было установлено следующее:

- материал колеса по составу соответствовал стали марки 12ХН3А ГОСТ 4543-2016;
- твердость по вершине зуба колеса составила 59 HRC;
- твердость в сердцевине колеса составила 30 HRC;
- толщина поверхностного цементованного слоя колеса по рабочей поверхности составила 1,7 мм и по галтели зуба – 1,5 мм;
- в структуре поверхностного цементованного слоя по галтели колеса было выявлено наличие трооститной сетки на глубину до 0,014 мм;
- при микроструктурном исследовании в поверхностном цементованном слое по галтели зуба колеса было выявлено наличие окислов на максимальную глубину до 0,01 мм.

8.6 Проведенным металлографическим анализом вал-шестерни, изд. ТМ.202.00.01.001, с ЭЦ зубчатым зацеплением (см. протокол исследований № 245 приложения Б), было установлено следующее:

- материал шестерни по составу соответствовал стали марки 20ХН3А ГОСТ 4543-2016;
- твердость по вершине зуба шестерни составила 59 HRC;
- твердость в сердцевине шестерни составила 30 HRC;
- толщина поверхностного цементованного слоя шестерни по рабочей поверхности составила 2,10 мм и по галтели зуба – 1,85 мм;
- в структуре поверхностного цементованного слоя по галтели шестерни выходного было выявлено наличие окислов на максимальную глубину до 0,026 мм, а также трооститной полосы с включениями феррита на глубину до 0,038 мм.

8.7 Проведенным металлографическим анализом колеса первой ступени, изд. ТМ.202.00.01.002, с ЭЦ зубчатым зацеплением (см. протокол исследований № 246 приложения Б), было установлено следующее:

- материал колеса по составу соответствовал стали марки 20ХН3А ГОСТ 4543-2016;
- твердость по вершине зуба колеса составила 59,5 HRC;
- твердость в сердцевине колеса составила 44,0 HRC;

- толщина поверхностного цементованного слоя колеса по рабочей поверхности составила 2,7 мм и по галтели зуба – 2,1 мм.

8.8 Проведенным металлографическим анализом вал-шестерни входной, изд. ТМ.202.00.00.001, с эвольвентным зубчатым зацеплением (см. протокол исследований № 247 приложения Б), было установлено следующее:

- материал шестерни по составу соответствовал стали марки 25ХГМ ГОСТ 4543-2016;

- твердость по вершине зуба шестерни составила 62 HRC;

- твердость в сердцевине шестерни составила 41 HRC;

- толщина поверхностного цементованного слоя шестерни по рабочей поверхности составила 1,5 мм и по галтели зуба – 1,0 мм.

8.9 Проведенным металлографическим анализом колеса выходного, изд. ТМ.202.00.00.002, с эвольвентным зубчатым зацеплением (см. протокол исследований № 248 приложения Б), было установлено следующее:

- материал колеса по составу соответствовал стали марки 18ХГТ ГОСТ 4543-2016;

- твердость по вершине зуба колеса составила 60 HRC;

- твердость в сердцевине колеса составила 31 HRC;

- толщина поверхностного цементованного слоя колеса по рабочей поверхности составила 1,5 мм и по галтели зуба – 1,1 мм.

8.10 Проведенным металлографическим анализом вал-шестерни, изд. ТМ.202.00.01.001, с эвольвентным зубчатым зацеплением (см. протокол исследований № 249 приложения Б), было установлено следующее:

- материал шестерни по составу соответствовал стали марки 18ХГТ ГОСТ 4543-2016;

- твердость по вершине зуба шестерни составила 60 HRC;

- твердость в сердцевине шестерни составила 29 HRC;

- толщина поверхностного цементованного слоя шестерни по рабочей поверхности составила 1,0 мм и по галтели зуба – 0,7 мм.

8.11 Проведенным металлографическим анализом колеса первой ступени, изд. ТМ.202.00.01.002, с эвольвентным зубчатым зацеплением (см. протокол исследований № 250 приложения Б), было установлено следующее:

- материал колеса по составу соответствовал стали марки 25ХГТ ГОСТ 4543-2016;

- твердость по вершине зуба колеса составила 60 HRC;

- твердость в сердцевине колеса составила 51 HRC;

- толщина поверхностного цементованного слоя колеса по рабочей поверхности составила 1,7 мм и по галтели зуба – 1,2 мм.

## **9 ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

9.1 Изгибная циклическая долговечность редуктора двухступенчатого 5Ц2-125-12,5, укомплектованного шестернями с эксцентриково-циклоидальным зубчатым зацеплением, составила 6 часов 44 минуты.

9.2 Изгибная циклическая долговечность редуктора двухступенчатого 5Ц2-125-12,5, укомплектованного шестернями с эвольвентным зубчатым зацеплением, составила 6 часов.

## **10 РЕКОМЕНДАЦИИ**

10.1 Фирме-изготовителю рекомендуется провести мероприятия по улучшению состояния бокового зазора шестерен с эксцентриково-циклоидальным зубчатым зацеплением.

Начальник КИО АС

А.И. Плаксин

Главный специалист зубчатых передач  
и спецагрегатов – руководитель группы

Р.И. Гарипов

Ведущий инженер-исследователь

Э.Х. Зарипов

## **СОГЛАСОВАНО:**

Ведущий инженер ОТД

Л.Р. Галишина

***ПРИЛОЖЕНИЕ А***  
*(обязательное)*

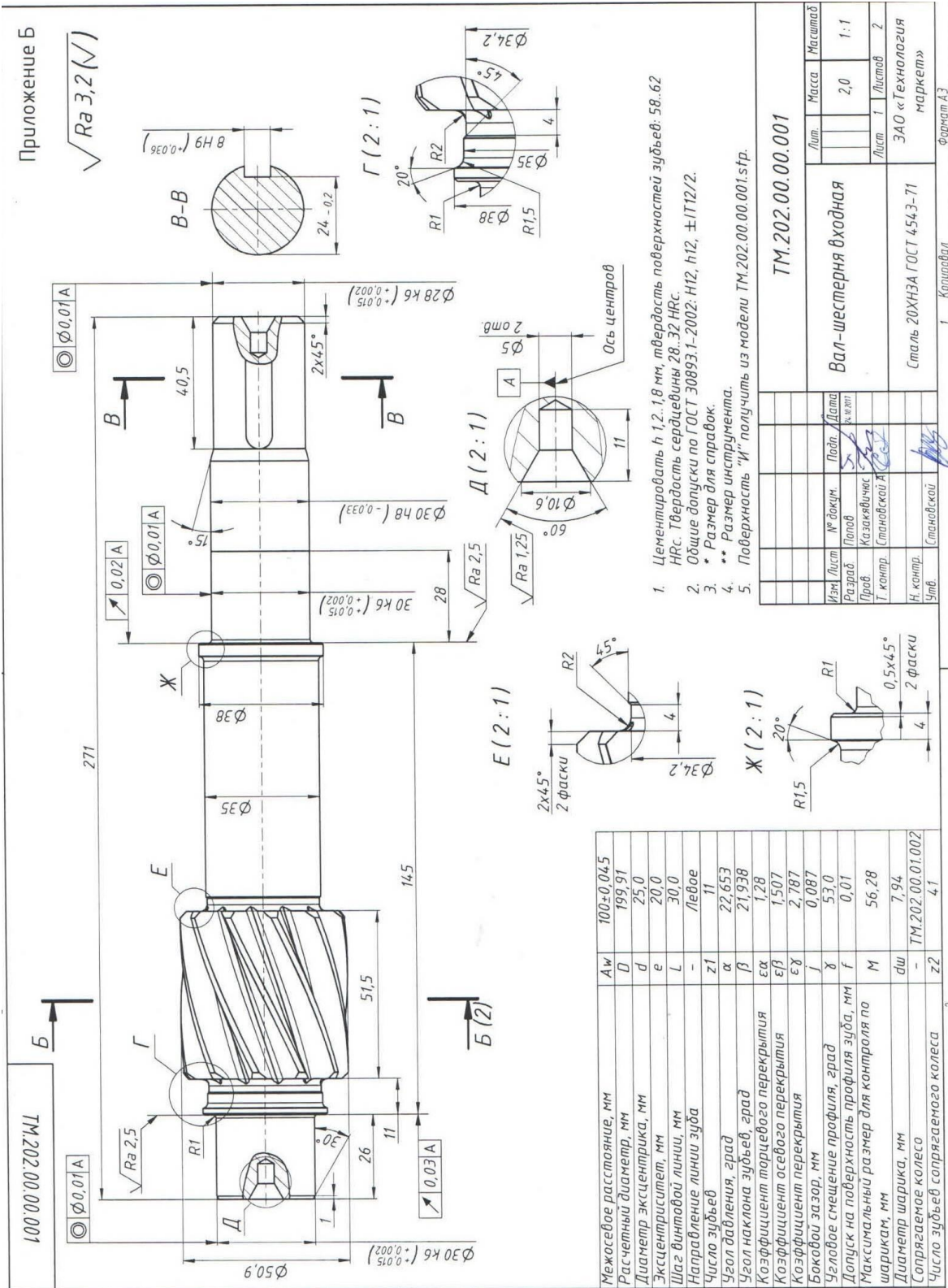
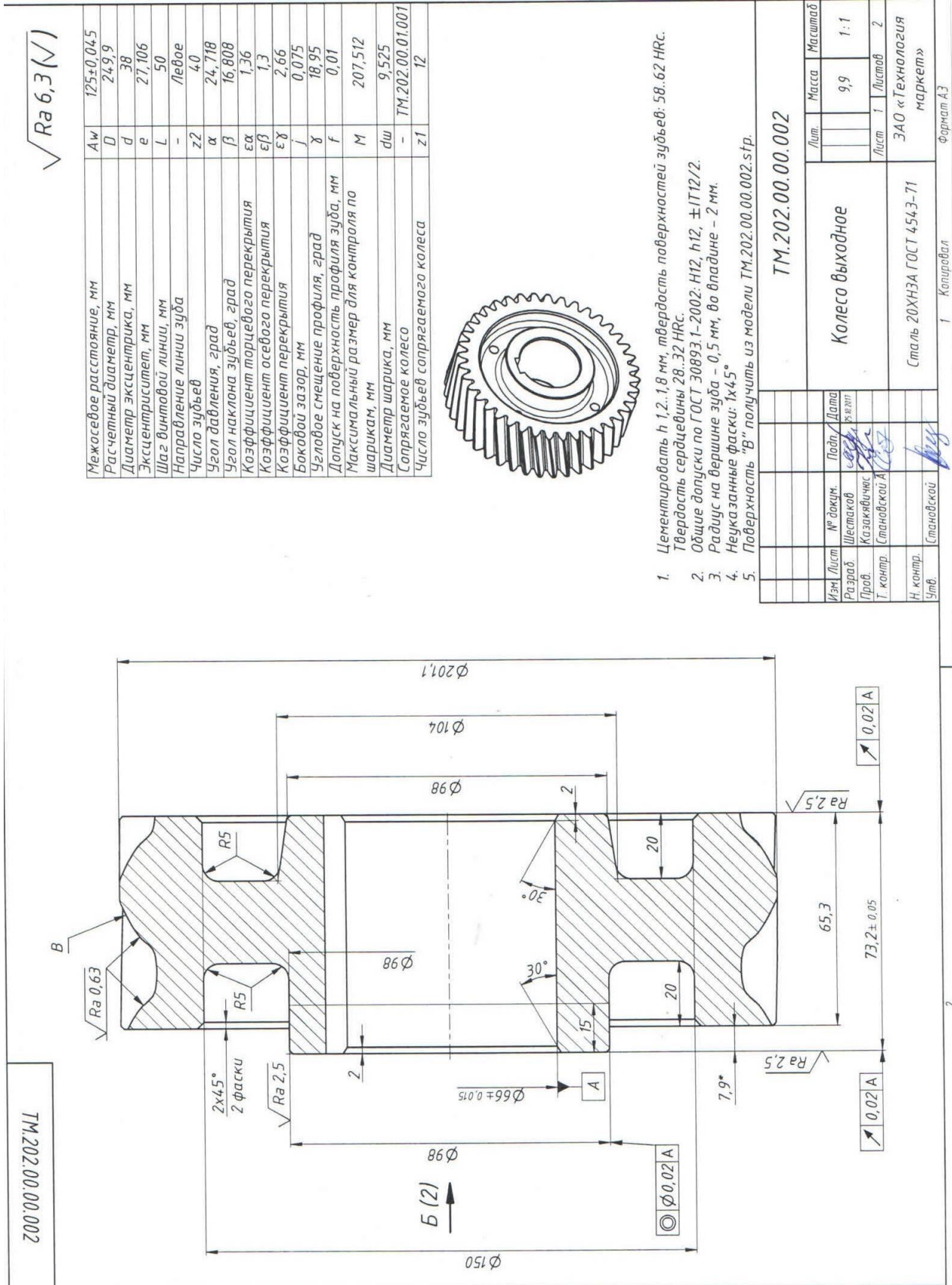


Рисунок А.1 – Чертеж вала-шестерни входной редуктора с ЭЦ зубчатым зацеплением



ТМ.202.00.00.002

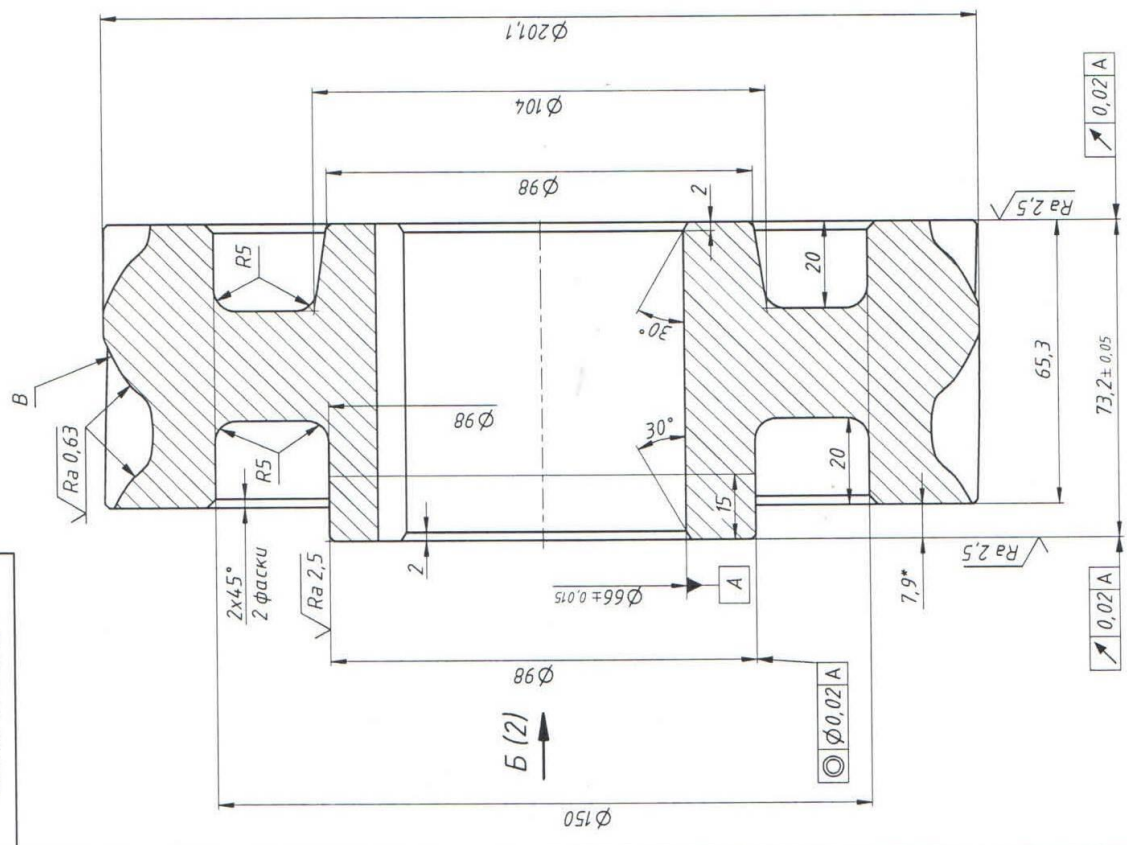


Рисунок А.2 – Чертеж колеса выходного редуктора с ЭЦ зубчатым зацеплением

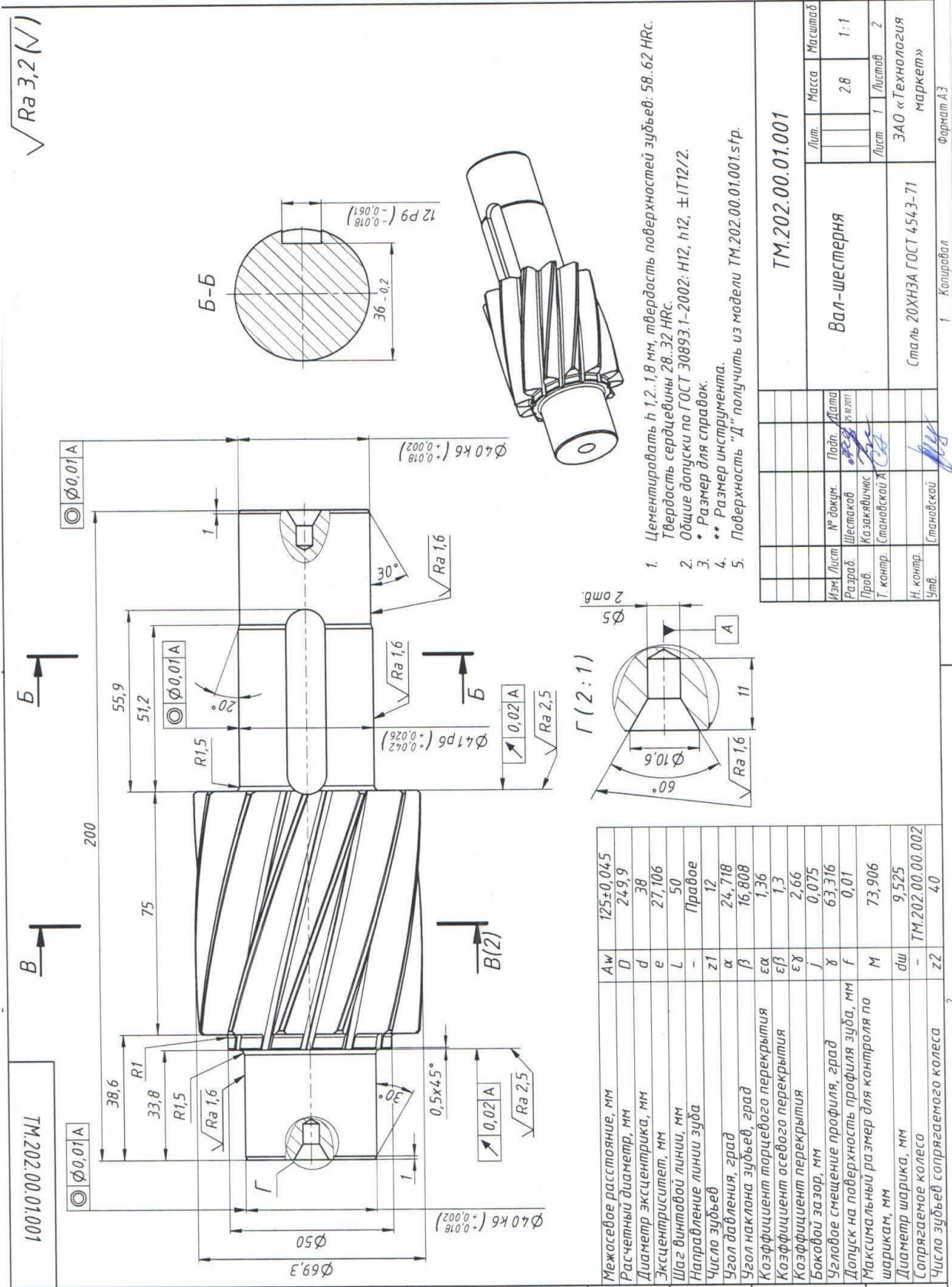


Рисунок А.3 – Чертеж вала-шестерни редуктора с ЭЦ зубчатым зацеплением



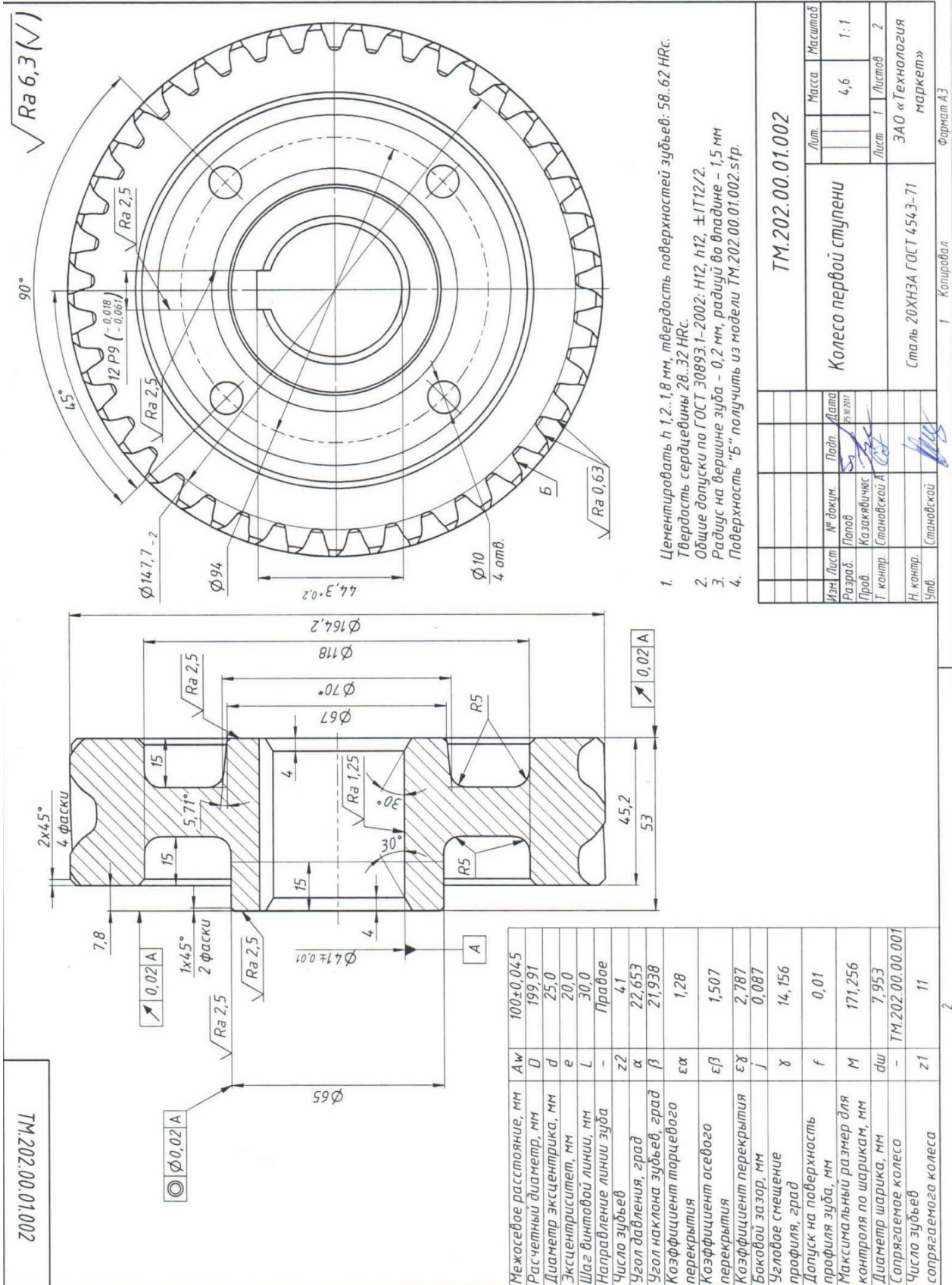


Рисунок А.4 – Чертеж колеса первой ступени редуктора с ЭЦ зубчатым зацеплением

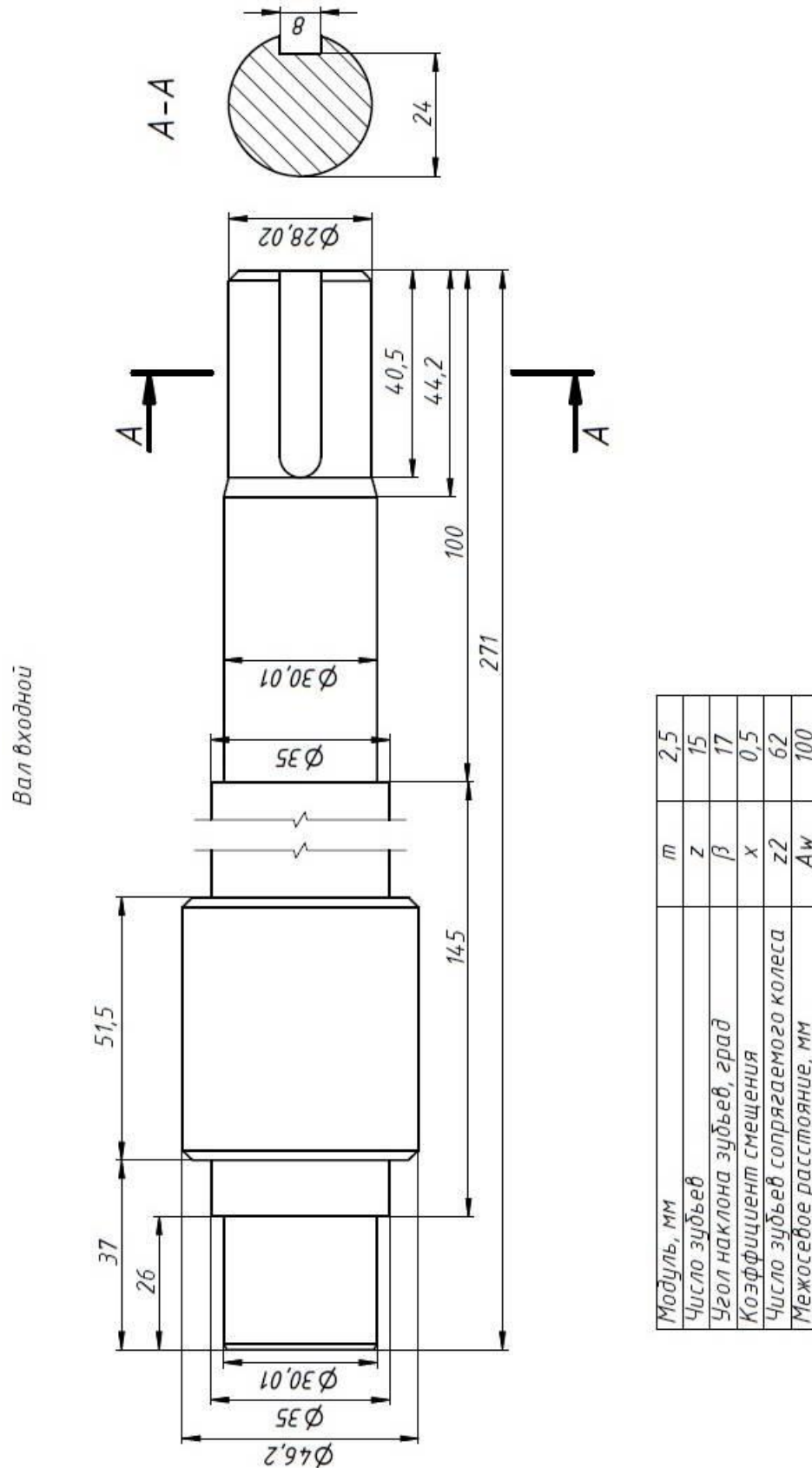


Рисунок А.5 – Чертеж вала-шестерни входной редуктора с эвольвентным зубчатым зацеплением

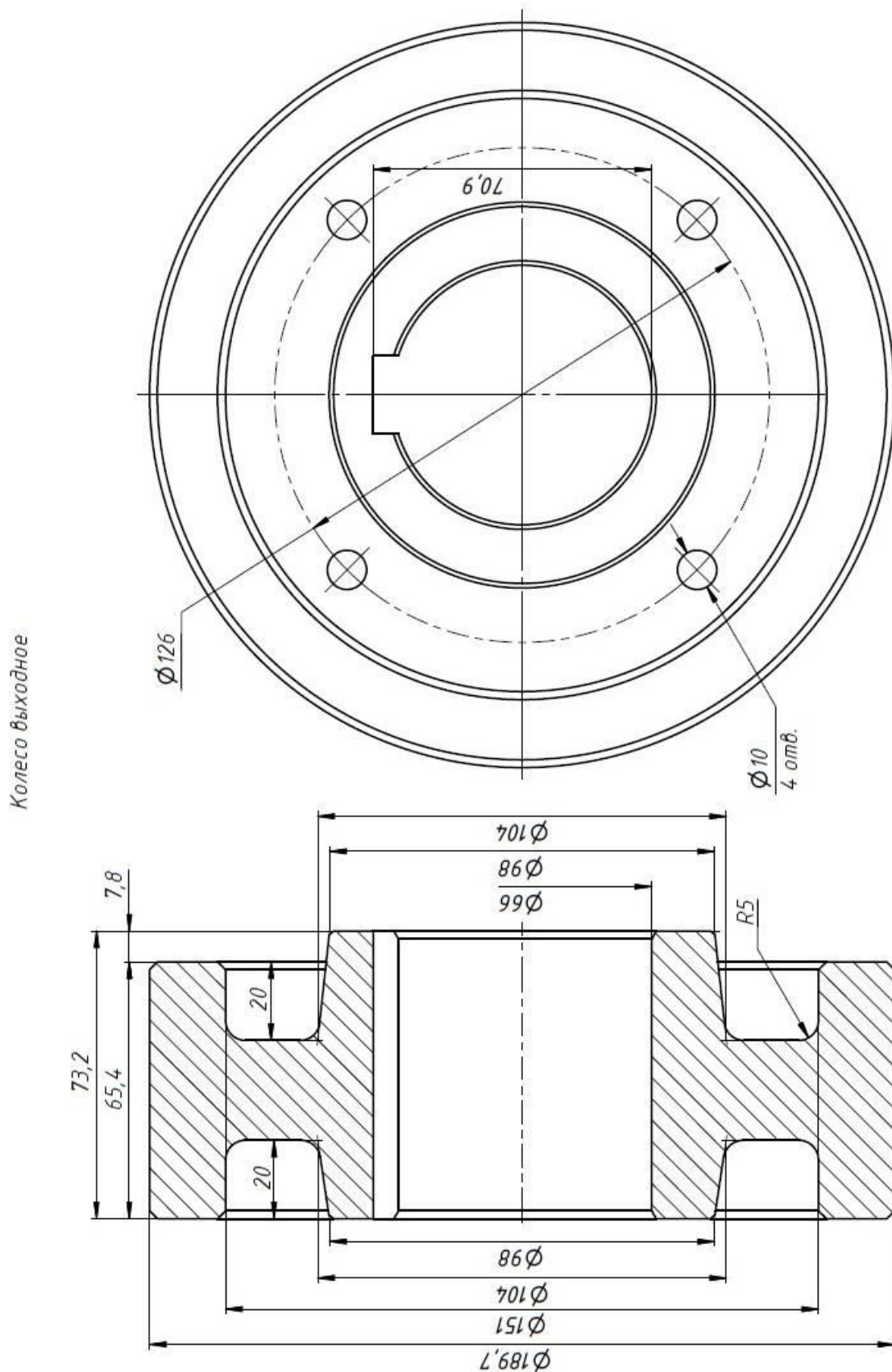


Рисунок А.6 – Чертеж колеса выходного редуктора с эвольвентным зубчатым зацеплением

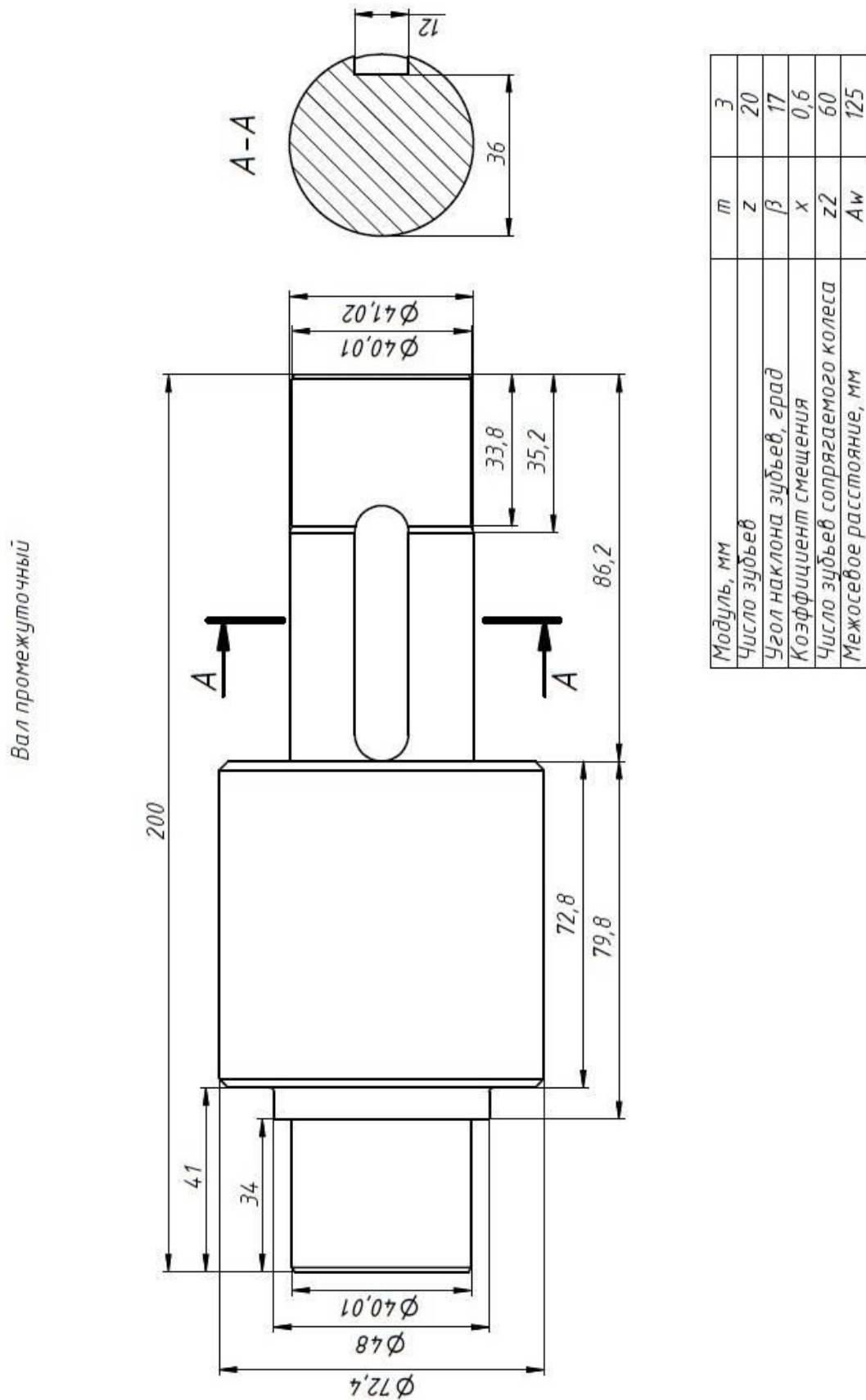


Рисунок А.7 – Чертеж вала-шестерни редуктора с эвольвентным зубчатым зацеплением

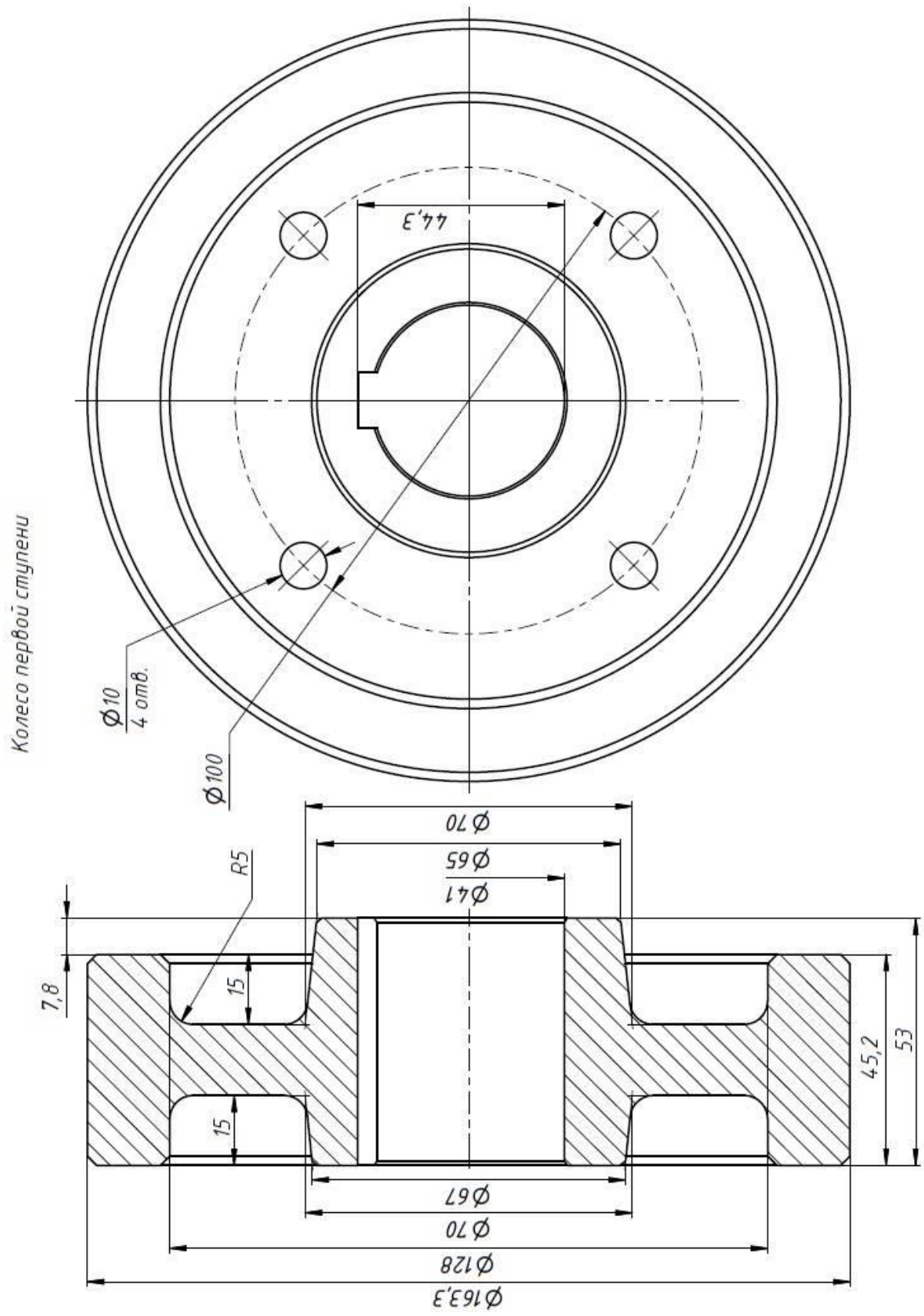


Рисунок А.8 – Чертеж колеса первой ступени редуктора с эвольвентным зубчатым зацеплением



Рисунок А.9 – Внешний вид входного вала-шестерни редуктора с ЭЦ зубчатым зацеплением после испытаний



Рисунок А.10 – Внешний вид вала-шестерни редуктора с ЭЦ зубчатым зацеплением после испытаний



Рисунок А.11 – Внешний вид колеса первой ступени редуктора с ЭЦ зубчатый зацеплением после испытаний

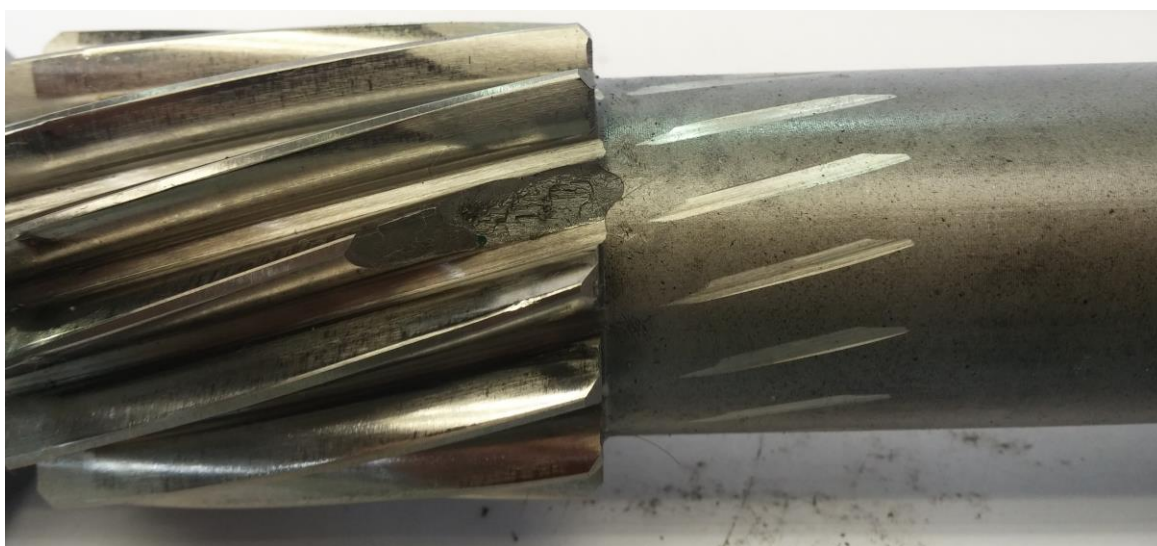


Рисунок А.12 – Внешний вид входного вала-шестерни редуктора с эвольвентным зубчатый зацеплением после испытаний



Рисунок А.13 – Внешний вид вала-шестерни редуктора с эвольвентным зубчатым зацеплением после испытаний

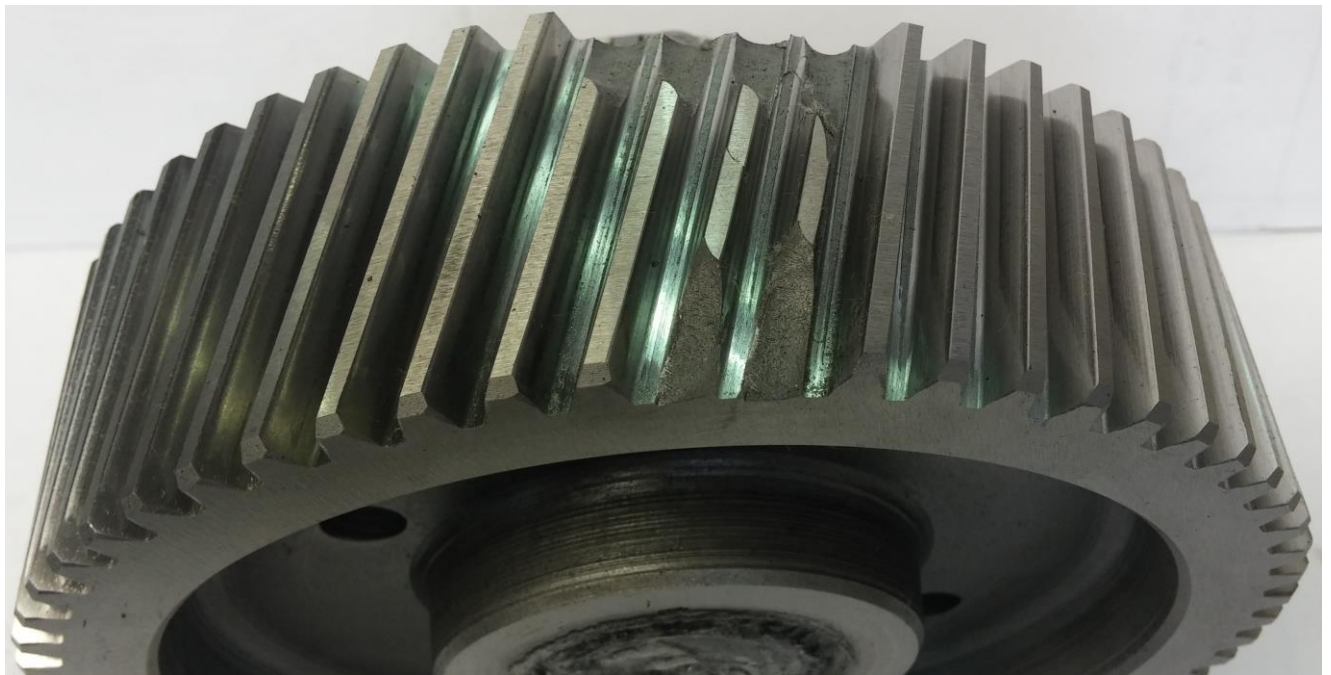


Рисунок А.14 – Внешний вид колеса первой ступени редуктора с эвольвентным зубчатым зацеплением после испытаний



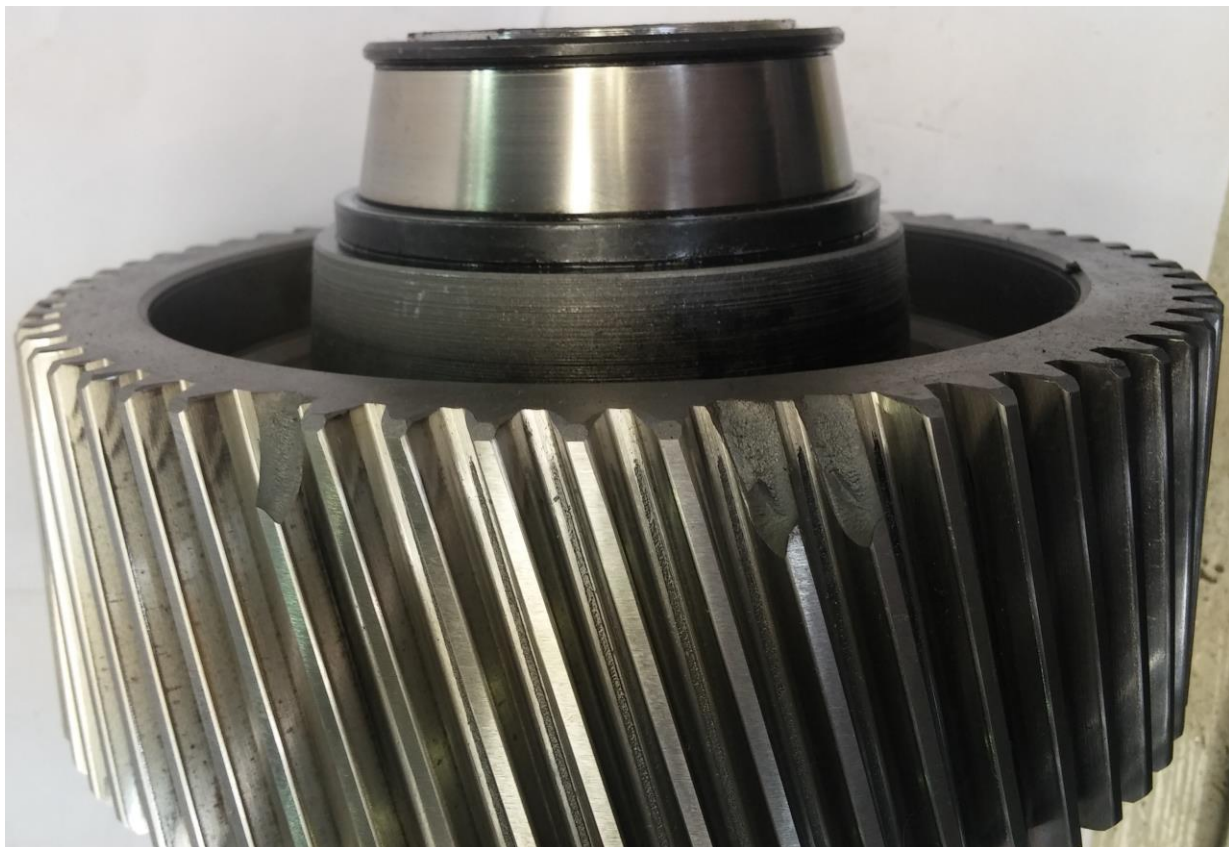


Рисунок А.15 – Внешний вид выходного колеса редуктора с эвольвентным зубчатым зацеплением после испытаний

***ПРИЛОЖЕНИЕ Б***  
*(обязательное)*

**ЛАБОРАТОРИЯ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ  
ТЦ ПАО «КАМАЗ»  
ПРОТОКОЛ ИССЛЕДОВАНИЯ № 243  
от « 22 » июля 2019 г.**

**Заказчик** НТЦ, главный специалист зубчатых передач и спецагрегатов – руководитель группы Р.И. Гарипов

**Предмет исследования** «Вал-шестерня входная» чертеж ТМ.202.00.00.001

**Цель исследования** металлографический анализ на соответствие требованиям чертежа, основание: служебная записка о проведении сравнительных испытаний двухступенчатого редуктора, исх. № 17-17300-1-71 от 17.04.2019 г., вх. № 148 от 24.05.2019 г.

**Требования чертежа ТМ.202.00.00.001:**

1 Материал: Сталь 20ХН3А ГОСТ 4543-2016.

2 Цементировать h 1,2...1,8 мм; твердость поверхностей зубьев: 58...62

HRC. Твердость сердцевины 28...32 HRC.

Исследования проводились при следующих параметрах окружающей среды:

- температура воздуха - 21°C;
- влажность воздуха - 43%;
- атмосферное давление – 745 мм.рт.ст.

На исследование представлен фрагмент детали редуктора двухступенчатого 5Ц2-125-12,5 после испытаний на долговечность. Долговечность редуктора двухступенчатого укомплектованного шестернями с эксцентриково-циклоидальным зубчатым зацеплением составила 6 часов 44 минуты.

**1 Внешний осмотр**

На исследование представлен фрагмент детали, в соответствии с рисунком 1.1.



Рисунок 1.1 – Внешний вид фрагмента детали.

## 2 Химический анализ

Химический состав металла детали определялся по ГОСТ Р 54153-2010 на эмиссионном спектрометре «SPECTROMAXx», зав. № 12003985, свидетельство поверки прибора № 5489 от 05.09.2018 г., действительно до 04.09.2020 г.

Результаты химического анализа материала детали в процентах представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

| Содержание элементов, %                     |       |      |      |      |      |      |       | Установленная марка стали |
|---|-------|------|------|------|------|------|-------|---------------------------|
| C   | S     | Si   | Mn   | Cr   | Ni   | Cu   | P     | 20ХН3А                    |
| 0,18  | 0,002 | 0,22 | 0,35 | 0,64 | 2,74 | 0,21 | 0,019 | ГОСТ 4543-2016            |
| Примечание. Протокол № 332 от 29.05.2019 г. |       |      |      |      |      |      |       |                           |

## 3 Твердость

Измерения твердости детали проводились по методу Роквелла ГОСТ 9013-59 при нагрузке 150 кгс на приборе ТР 5006, зав. № 559, свидетельство о поверке прибора от 24.05.2019 г., действительно 12 месяцев.

Твердость детали составляет:

- по вершине зуба – 57 HRC;
- в сердцевине на 2/3 от вершины зуба – 37 HRC.

## 4 Микроструктурный анализ

Исследование микроструктуры проводилось на микрошлифе, вырезанном в поперечном сечении относительно оси симметрии зуба детали.

При просмотре слаботравленного шлифа в 0,4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте в структуре поверхностного цементованного слоя по рабочей поверхности и галтели зуба детали наличия трооститной сетки и полосы не выявлено.

Микроструктура цементованного слоя детали представляет собой среднеигльчатый мартенсит 5 балла ГОСТ 8233-56 и остаточный аустенит 1 балла СТП 37.104.1387-2017, в соответствии с рисунком 4.1.

Микроструктура сердцевины зуба детали представляет собой малоуглеродистый мартенсит, в соответствии с рисунком 4.2.



Рисунок 4.1 – Микроструктура цементованного слоя детали, х 1000.

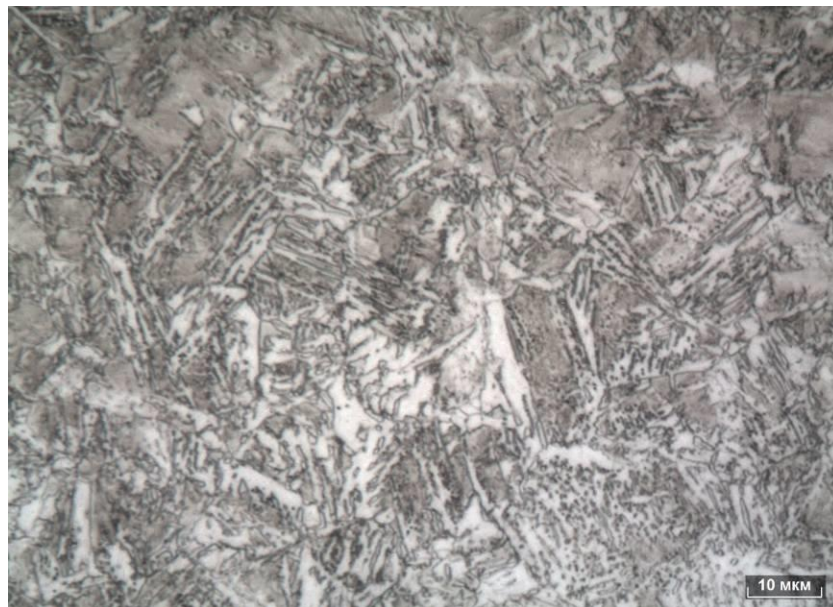


Рисунок 4.2 – Микроструктура сердцевины зуба детали, х 1000.

Толщина поверхностного цементованного слоя детали измерялась по методу Виккерса ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007 до эффективной условной микротвердости 550 HV 0,1 согласно требованиям СПП 37.104.1387-2017 на микротвердомере MicroMet 5104 при нагрузке 100 гс, зав. № 680-МІТ4-00338, свидетельство проверки прибора от 24.06.2019 г., действительно 12 месяцев.

Толщина поверхностного цементованного слоя по рабочей поверхности и по галтели зуба детали идентична и составляет 0,95 мм.

## 5 Заключение

5.1 Химический состав металла детали «Вал-шестерня входная» чертеж ТМ.202.00.00.001 соответствует стали марки 20ХН3А ГОСТ 4543-2016, что удовлетворяет требованиям чертежа.

5.2 Твердость детали составляет:

- по вершине зуба – 57 HRC;  
- в сердцевине на 2/3 от вершины зуба – 37 HRC, что не удовлетворяет требованиям чертежа.

5.3 В структуре поверхностного цементованного слоя по рабочей поверхности и галтели зуба детали наличия трооститной сетки и полосы не выявлено.

5.4 Микроструктура цементованного слоя детали представляет собой среднеигльчатый мартенсит 5 балла ГОСТ 8233-56 и остаточный аустенит 1 балла, что удовлетворяет требованиям СПП 37.104.1387-2017.

5.5 Микроструктура сердцевины зуба детали представляет собой малоуглеродистый мартенсит.

5.6 Толщина поверхностного цементованного слоя по рабочей поверхности и по галтели зуба детали идентична и составляет 0,95 мм, что не удовлетворяет требованиям чертежа.

Начальник ЛМ ТЦ  
33-82-94



Д.Р. Валиахметова

Исполнители:



А. Р. Исмагилова

Согласовано:  
Главный специалист  
по исследованию металлов ТЦ



Г. Р. Исламова

Л.Т. Свистунова

**ЛАБОРАТОРИЯ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ**  
**ТЦ ПАО «КАМАЗ»**  
**ПРОТОКОЛ ИССЛЕДОВАНИЯ № 244**  
**от « 30 » июля 2019 г.**

**Заказчик** НТЦ, главный специалист зубчатых передач и спецагрегатов – руководитель группы Р.И. Гарипов

**Предмет исследования** «Колесо выходное» чертеж ТМ.202.00.00.002

**Цель исследования** металлографический анализ на соответствие требованиям чертежа, основание: служебная записка о проведении сравнительных испытаний двухступенчатого редуктора, исх. № 17-17300-1-71 от 17.04.2019 г., вх. № 148 от 24.05.2019 г.

**Требования чертежа ТМ.202.00.00.002:**

1 Материал: Сталь 20ХН3А ГОСТ 4543-2016.

2 Цементировать h 1,2...1,8 мм; твердость поверхностей зубьев 58...62 HRC. Твердость сердцевины 28...32 HRC.

Исследования проводились при следующих параметрах окружающей среды:

- температура воздуха – 22°C;
- влажность воздуха – 46 %;
- атмосферное давление – 750 мм.рт.ст.

На исследование представлена деталь редуктора двухступенчатого 5Ц2-125-12,5 после испытаний на долговечность. Долговечность редуктора укомплектованного шестернями с эксцентриково-циклоидальным зубчатым зацеплением составила 6 часов 44 минуты.

**1 Внешний осмотр**

На исследование представлена деталь, в соответствии с рисунком 1.1.



Рисунок 1.1 – Внешний вид детали.

## 2 Химический анализ

Химический состав металла детали определялся:

- по ГОСТ Р 54153-2010 на эмиссионном спектрометре «СПЕКТРОМАХ», зав. № 12003985, свидетельство поверки прибора № 5489 от 05.09.2018 г., действительно до 04.09.2020 г.;

- углерода и серы – методом инфракрасной абсорбции на анализаторе «LECO CS-230», зав. № 3874, свидетельство поверки прибора № 9822632 от 23.01.2019 г., действительно до 22.01.2020 г.

Результаты химического анализа материала детали в процентах представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

| Содержание элементов, %                     |       |      |      |      |      |      |       | Установленная марка стали |
|---|-------|------|------|------|------|------|-------|---------------------------|
| C   | S     | Si   | Mn   | Cr   | Ni   | Cu   | P     |                           |
| 0,14  | 0,016 | 0,27 | 0,40 | 0,74 | 2,78 | 0,18 | 0,004 | 12ХН3А<br>ГОСТ 4543-2016  |
| Примечание. Протокол № 352 от 06.06.2019 г. |       |      |      |      |      |      |       |                           |

## 3 Твердость

Измерения твердости детали проводились по методу Роквелла ГОСТ 9013-59 при нагрузке 150 кгс на приборе ТР 5006, зав. № 559, свидетельство о поверке прибора от 24.05.2019 г., действительно 12 месяцев.

Твердость детали составляет:

- по вершине зуба – 59 HRC;
- в сердцевине на 2/3 от вершины зуба – 30 HRC.

## 4 Микроструктурный анализ

Исследование микроструктуры проводилось на микрошлифе, вырезанном в поперечном сечении относительно оси симметрии зуба детали.

При просмотре слаботравленного шлифа в 0,4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте в структуре поверхностного цементованного слоя детали по галтели выявлено наличие трооститной сетки на глубину до 0,014 мм, в соответствии с рисунком 4.1.

Микроструктура цементованного слоя детали представляет собой среднеигльчатый мартенсит 5 балла ГОСТ 8233-56 и остаточный аустенит 1 балла СТП 37.104.1387-2017, в соответствии с рисунком 4.2.

Микроструктура сердцевины зуба детали представляет собой малоуглеродистый мартенсит, в соответствии с рисунком 4.3.



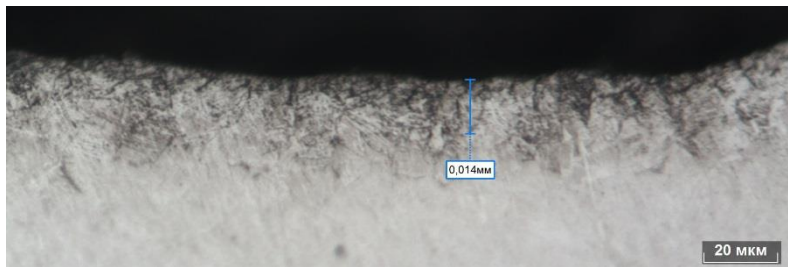


Рисунок 4.1 – Трооститная сетка в поверхностном цементованном слое по галтели зуба детали, x 500.

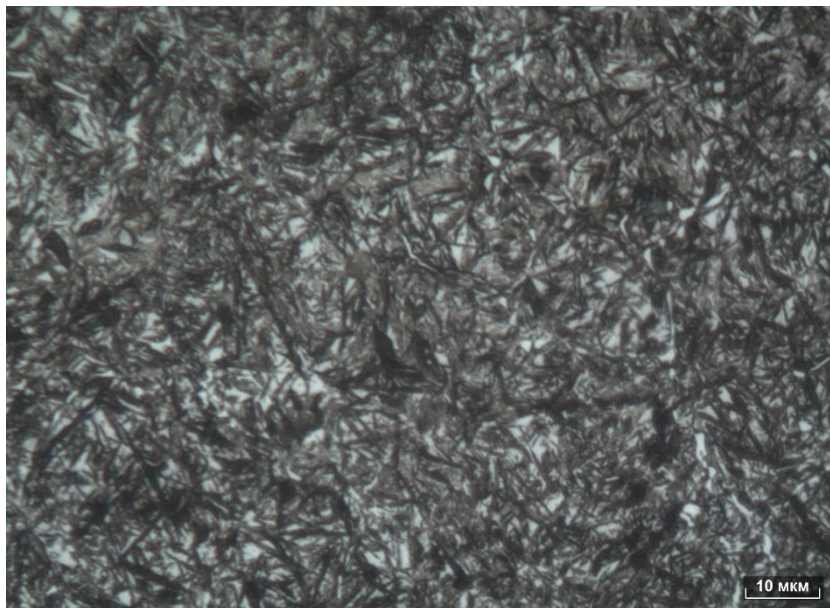


Рисунок 4.2 – Микроструктура цементованного слоя детали, x 1000.

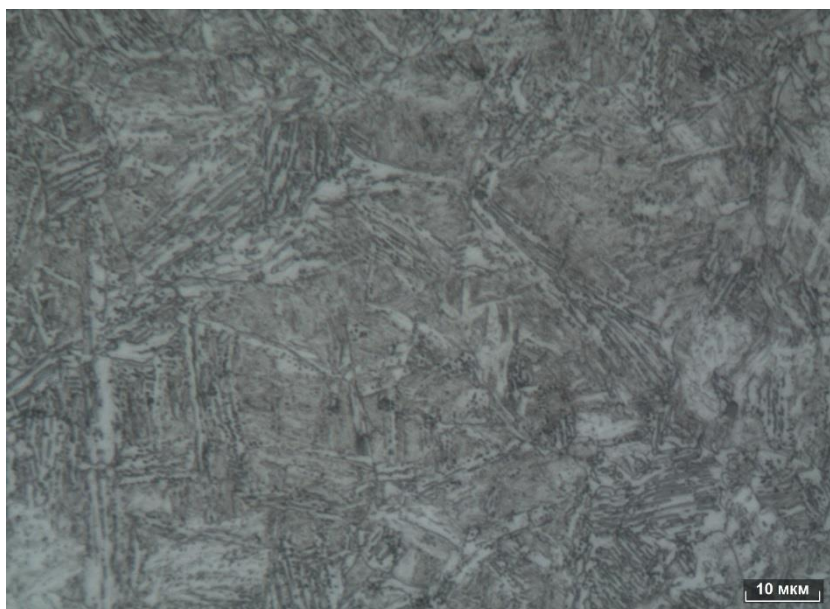


Рисунок 4.3 – Микроструктура сердцевины зуба детали, x 1000.

Толщина поверхностного цементованного слоя детали измерялась по методу Виккерса ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007 до эффективной условной микротвердости 550 HV 0,1 согласно требованиям СП 37.104.1387-2017 на микротвердомере MicroMet 5104 при нагрузке 100 гс, зав. № 680-МП4-00338, свидетельство поверки прибора от 24.06.2019 г., действительно 12 месяцев.

Толщина поверхностного цементованного слоя детали составляет:

- по галтели зуба – 1,5 мм;
- по рабочей поверхности зуба – 1,7 мм.

При микроструктурном исследовании в поверхностном цементованном слое детали выявлено наличие:

- по галтели зуба - окислов на максимальную глубину до 0,01 мм, в соответствии с рисунком 4.4;
- по рабочей поверхности зуба - карбидов 6 балла СП 37.104.1387-2017, в соответствии с рисунком 4.5.

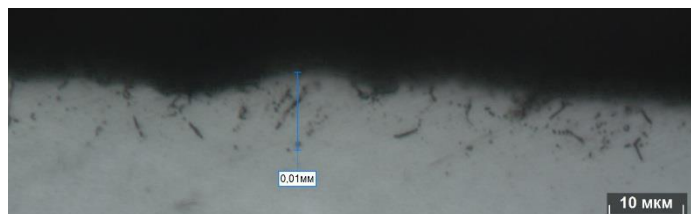


Рисунок 4.4 – Окислы в поверхностном цементованном слое по галтели зуба детали, x 1000.

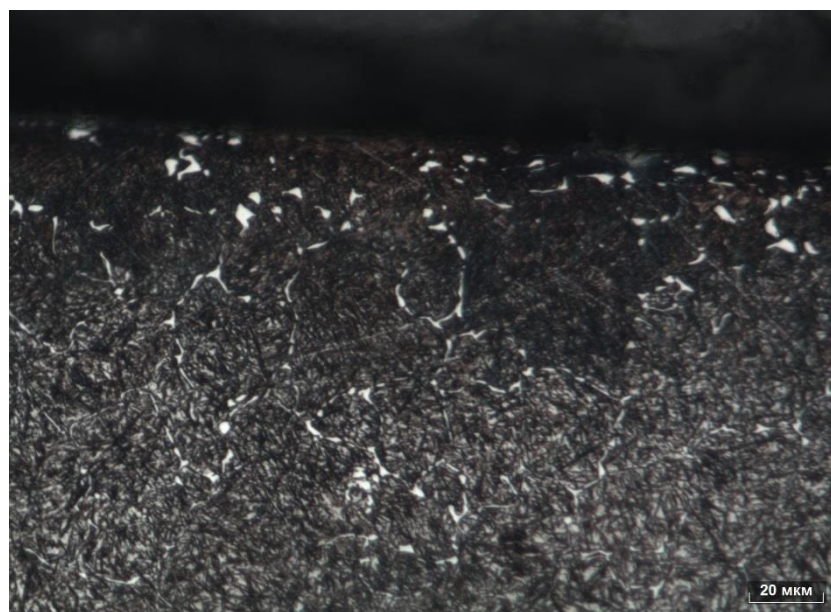


Рисунок 4.5 – Карбиды в поверхностном цементованном слое по рабочей поверхности зуба детали, x 500.

## 5 Заключение

5.1 Химический состав металла детали «Колесо выходное» чертеж ТМ.202.00.00.002 соответствует стали марки 12ХН3А ГОСТ 4543-2016, что не удовлетворяет требованиям чертежа.

5.2 Твердость детали составляет:

- по вершине зуба – 59 HRC;

- в сердцевине на 2/3 от вершины зуба – 30 HRC, что удовлетворяет требованиям чертежа.

5.3 В структуре поверхностного цементованного слоя по галтели детали выявлено наличие трооститной сетки на глубину до 0,014 м, что удовлетворяет СТП 37.104.1387-2017.

5.4 Микроструктура цементованного слоя детали представляет собой среднеигольчатый мартенсит 5 балла ГОСТ 8233-56 и остаточный аустенит 1 балла, что удовлетворяет требованиям СТП 37.104.1387-2017.

5.5 Микроструктура сердцевины зуба детали представляет собой малоуглеродистый мартенсит.

5.6 Толщина поверхностного цементованного слоя детали составляет:

- по галтели зуба – 1,5 мм;

- по рабочей поверхности зуба – 1,7 мм.

5.7 При микроструктурном исследовании в поверхностном цементованном слое по галтели зуба детали выявлено наличие окислов на максимальную глубину до 0,01 мм.

5.8 При микроструктурном исследовании в поверхностном цементованном слое по рабочей поверхности зуба детали выявлено наличие карбидов 6 балла, что не удовлетворяет требованиям СТП 37.104.1387-2017

Начальник ЛМ ТЦ  
33-82-94



Д.Р. Валиахметова

Исполнители:



А. Р. Исмагилова

Согласовано:



Г. Р. Исламова

Главный специалист  
по исследованию металлов ТЦ



Л.Т. Свистунова

**ЛАБОРАТОРИЯ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ  
ТЦ ПАО «КАМАЗ»  
ПРОТОКОЛ ИССЛЕДОВАНИЯ № 245  
от « 30 » июля 2019 г.**

**Заказчик** НТЦ, главный специалист зубчатых передач и спецагрегатов – руководитель группы Р.И. Гарипов

**Предмет исследования** «Вал-шестерня» чертеж ТМ.202.00.01.001

**Цель исследования** металлографический анализ на соответствие требованиям чертежа, основание: служебная записка о проведении сравнительных испытаний двухступенчатого редуктора, исх. № 17-17300-1-71 от 17.04.2019 г., вх. № 148 от 24.05.2019 г.

**Требования чертежа ТМ.202.00.01.001:**

1 Материал: Сталь 20ХН3А ГОСТ 4543-2016.

2 Цементировать h 1,2...1,8 мм; твердость поверхностей зубьев 58...62 HRC.

Твердость сердцевины 28...32 HRC.

Исследования проводились при следующих параметрах окружающей среды:

- температура воздуха - 21°C;
- влажность воздуха - 43%;
- атмосферное давление – 745 мм.рт.ст.

На исследование представлена деталь редуктора двухступенчатого 5Ц2-125-12,5 после испытаний на долговечность. Долговечность редуктора укомплектованного шестернями с эксцентриково-циклоидальным зубчатым зацеплением составила 6 часов 44 минуты.

**1 Внешний осмотр**

На исследование представлен фрагмент детали, в соответствии с рисунком 1.1.



Рисунок 1.1 – Внешний вид фрагмента детали.

## 2 Химический анализ

Химический состав металла детали определялся по ГОСТ Р 54153-2010 на эмиссионном спектрометре «SPECTROMAXx», зав. № 12003985, свидетельство поверки прибора № 5489 от 05.09.2018 г., действительно до 04.09.2020 г.

Результаты химического анализа материала детали в процентах представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

| Содержание элементов, %                     |       |      |      |      |      |      |       | Установленная марка стали |
|---|-------|------|------|------|------|------|-------|---------------------------|
| C   | S     | Si   | Mn   | Cr   | Ni   | Cu   | P     | 20ХН3А                    |
| 0,18  | 0,006 | 0,22 | 0,35 | 0,65 | 2,80 | 0,20 | 0,019 | ГОСТ 4543-2016            |
| Примечание. Протокол № 342 от 30.05.2019 г. |       |      |      |      |      |      |       |                           |

## 3 Твердость

Измерения твердости детали проводились по методу Роквелла ГОСТ 9013-59 при нагрузке 150 кгс на приборе ТР 5006, зав. № 559, свидетельство о поверке прибора от 24.05.2019 г., действительно 12 месяцев.

Твердость детали составляет:

- по вершине зуба – 59 HRC;
- в сердцевине на 2/3 от вершины зуба – 30 HRC.

## 4 Микроструктурный анализ

Исследование микроструктуры проводилось на микрошлифе, вырезанном в поперечном сечении относительно оси симметрии зуба детали.

При просмотре нетравленного шлифа в структуре поверхностного цементованного слоя по галтели и впадине детали выявлено наличие окислов на максимальную глубину до 0,026 мм, в соответствии с рисунком 4.1.

При просмотре слаботравленного шлифа в 0,4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте в структуре поверхностного цементованного слоя по галтели зуба детали выявлено наличие трооститной полосы с включениями феррита на глубину до 0,038 мм, в соответствии с рисунком 4.2.

Микроструктура цементованного слоя детали представляет собой среднеигльчатый мартенсит 5 балла ГОСТ 8233-56 и остаточный аустенит 1 балла СТП 37.104.1387-2017, в соответствии с рисунком 4.3.

Микроструктура сердцевины зуба детали представляет собой малоуглеродистый мартенсит с сохранившейся ориентировкой мартенситных игл, соответствующих грубоигльчатому мартенситу более 10 балла ГОСТ 8233-56 (длина игл до 0,027 мм), в соответствии с рисунком 4.4.

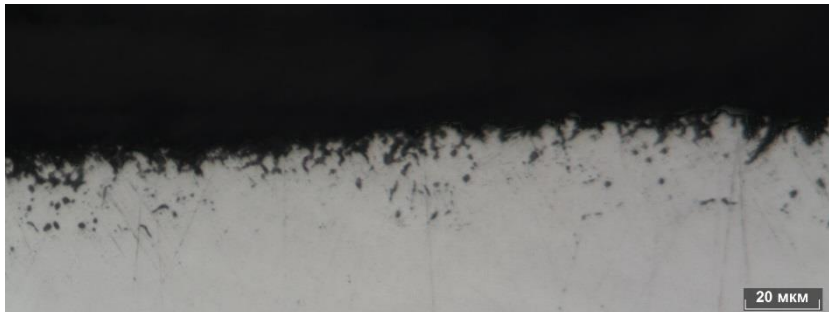


Рисунок 4.1 – Окислы в поверхностном цементованном слое по галтели зуба детали, х 500.

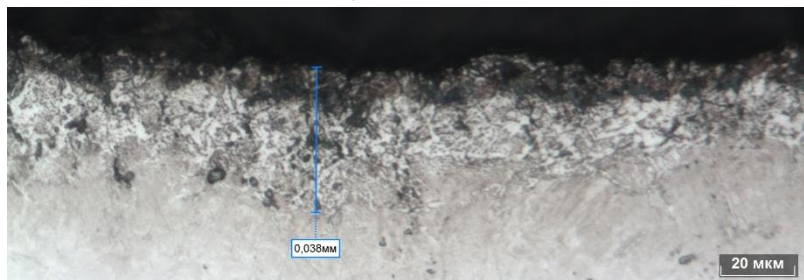


Рисунок 4.2 – Трооститная полоса в поверхностном цементованном слое по галтели зуба детали, х 500.

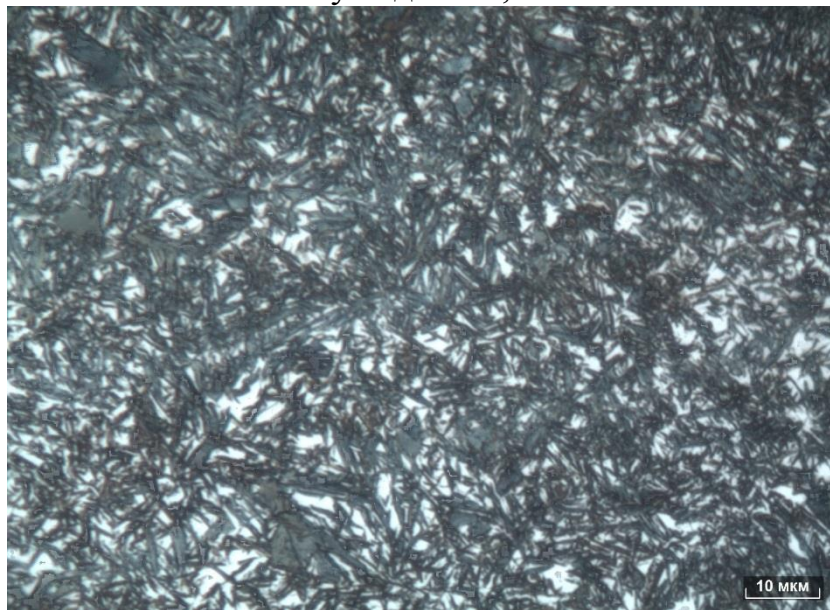


Рисунок 4.3 – Микроструктура нитроцементованного слоя детали, х 1000.

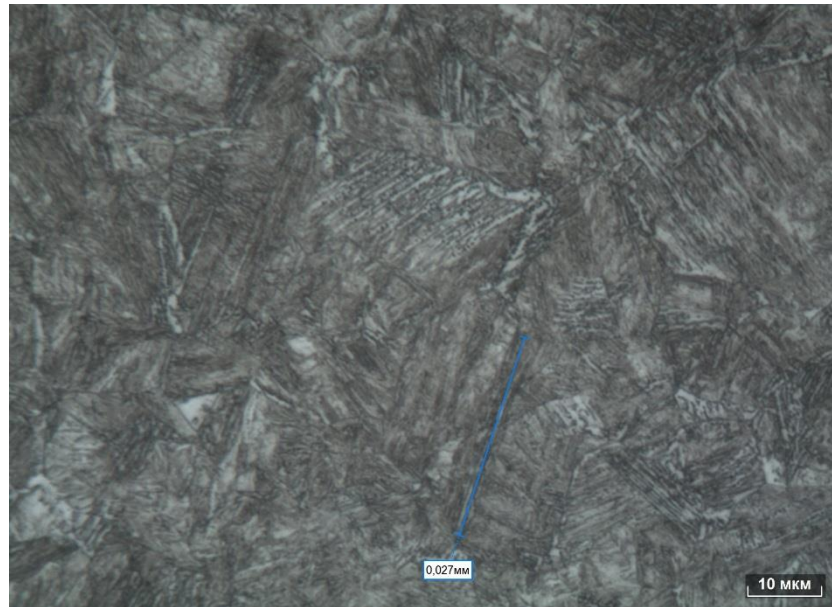


Рисунок 4.4 – Микроструктура сердцевины зуба детали, x 1000.

При микроструктурном исследовании по рабочей поверхности зуба в металле детали выявлено наличие карбонитридов и карбидов 6 балла СТП 37.104.1387-2017, в соответствии с рисунком 4.5.



Рисунок 4.5 – Карбонитриды и карбиды в поверхностном цементованном слое по рабочей поверхности зуба детали, x 500.

Толщина поверхностного цементованного слоя детали измерялась по методу Виккерса ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007 до эффективной условной микротвердости 550 HV 0,1 согласно требованиям СТП 37.104.1387-2017 на микротвердометре MicroMet 5104 при нагрузке 100 гс, зав. № 680-МП4-00338, свидетельство поверки прибора от 24.06.2019 г., действительно 12 месяцев.

Толщина поверхностного цементованного слоя детали составляет:

- по галтели зуба – 1,85 мм;
- по рабочей поверхности зуба – 2,10 мм.

## 5 Заключение

5.1 Химический состав металла детали «Вал-шестерня» чертеж ТМ.202.00.01.001 соответствует стали марки 20ХН3А ГОСТ 4543-2016, что удовлетворяет требованиям чертежа.

5.2 Твердость детали составляет:

- по вершине зуба – 59 HRC;
- в сердцевине на 2/3 от вершины зуба – 30 HRC, что удовлетворяет требованиям чертежа.

5.3 В структуре поверхностного цементованного слоя по галтели зуба детали выявлено наличие окислов на максимальную глубину до 0,026 мм, что не удовлетворяет требованиям СТП 37.104.1387-2017.

5.4 В структуре поверхностного цементованного слоя по галтели зуба детали выявлено наличие трооститной полосы с включениями феррита на глубину до 0,038 мм, что не удовлетворяет требованиям СТП 37.104.1387-2017.

5.5 Микроструктура цементованного слоя детали представляет собой среднеигльчатый мартенсит 5 балла ГОСТ 8233-56 и остаточный аустенит 1 балла, что удовлетворяет требованиям СТП 37.104.1387-2017.

5.6 Микроструктура сердцевины зуба детали представляет собой малоуглеродистый мартенсит с сохранившейся ориентировкой мартенситных игл, соответствующих грубоигльчатому мартенситу более 10 балла ГОСТ 8233-56 (длина игл до 0,027 мм).

5.7 При микроструктурном исследовании по рабочей поверхности зуба в металле детали выявлено наличие карбонитридов и карбидов 6 балла, что не удовлетворяет требованиям СТП 37.104.1387-2017.

5.8 Толщина поверхностного цементованного слоя детали составляет:

- по галтели зуба – 1,85 мм;
- по рабочей поверхности зуба – 2,10 мм, что не удовлетворяет требованиям чертежа.

Начальник ЛМ ТЦ  
33-82-94



Д.Р. Валиахметова

Исполнители:



А. Р. Исмагилова

Согласовано:  
Главный специалист  
по исследованию металлов ТЦ



Г. Р. Исламова

Л.Т. Свистунова



**ЛАБОРАТОРИЯ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ  
ТЦ ПАО «КАМАЗ»  
ПРОТОКОЛ ИССЛЕДОВАНИЯ № 246  
от « 30 » июля 2019 г.**

**Заказчик** НТЦ, главный специалист зубчатых передач и спецагрегатов – руководитель группы Р.И. Гарипов

**Предмет исследования** «Колесо первой ступени» чертеж ТМ.202.00.01.002

**Цель исследования** металлографический анализ на соответствие требованиям чертежа, основание: служебная записка о проведении сравнительных испытаний двухступенчатого редуктора, исх. № 17-17300-1-71 от 17.04.2019 г., вх. № 148 от 24.05.2019 г.

**Требования чертежа ТМ.202.00.01.002:**

- 1 Материал: Сталь 20ХН3А ГОСТ 4543-2016.
- 2 Цементировать h 1,2...1,8 мм; твердость поверхностей зубьев 58...62 HRC. Твердость сердцевины 28...32 HRC.

Исследования проводились при следующих параметрах окружающей среды:

- температура воздуха - 22°С;
- влажность воздуха - 46 %;
- атмосферное давление – 750 мм.рт.ст.

На исследование представлена деталь редуктора двухступенчатого 5Ц2-125-12,5 после испытаний на долговечность. Долговечность редуктора укомплектованного шестернями с эксцентриково-циклоидальным зубчатым зацеплением составила 6 часов 44 минуты.

**1 Внешний осмотр**

На исследование представлена деталь, в соответствии с рисунком 1.1.



Рисунок 1.1 – Внешний вид детали.

## 2 Химический анализ

Химический состав металла детали определялся по ГОСТ Р 54153-2010 на эмиссионном спектрометре «SPECTROMAXx», зав. № 12003985, свидетельство поверки прибора № 5489 от 05.09.2018 г., действительно до 04.09.2020 г.

Результаты химического анализа материала детали в процентах представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

| Содержание элементов, %                     |       |      |      |      |      |      |       | Установленная марка стали |
|---|-------|------|------|------|------|------|-------|---------------------------|
| C   | S     | Si   | Mn   | Cr   | Ni   | Cu   | P     |                           |
| 0,20  | 0,009 | 0,26 | 0,44 | 0,75 | 2,90 | 0,29 | 0,004 | 20ХН3А<br>ГОСТ 4543-2016  |
| Примечание. Протокол № 354 от 05.06.2019 г. |       |      |      |      |      |      |       |                           |

## 3 Твердость

Измерения твердости детали проводились по методу Роквелла ГОСТ 9013-59 при нагрузке 150 кгс на приборе ТР 5006, зав. № 559, свидетельство о поверке прибора от 24.05.2019 г., действительно 12 месяцев.

Твердость детали составляет:

- по вершине зуба – 59,5 HRC;
- в сердцевине на 2/3 от вершины зуба – 44,0 HRC.

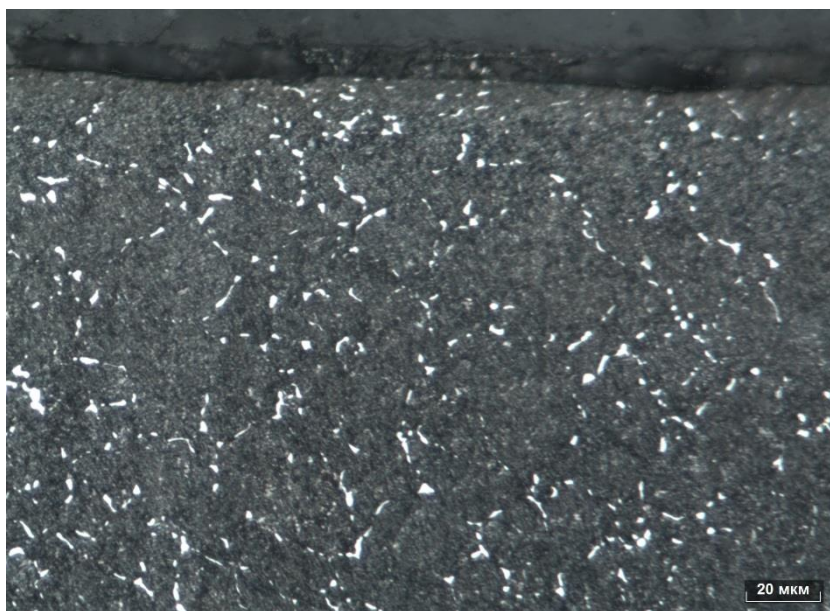
## 4 Микроструктурный анализ

Исследование микроструктуры проводилось на микрошлифе, вырезанном в поперечном сечении относительно оси симметрии зуба детали.

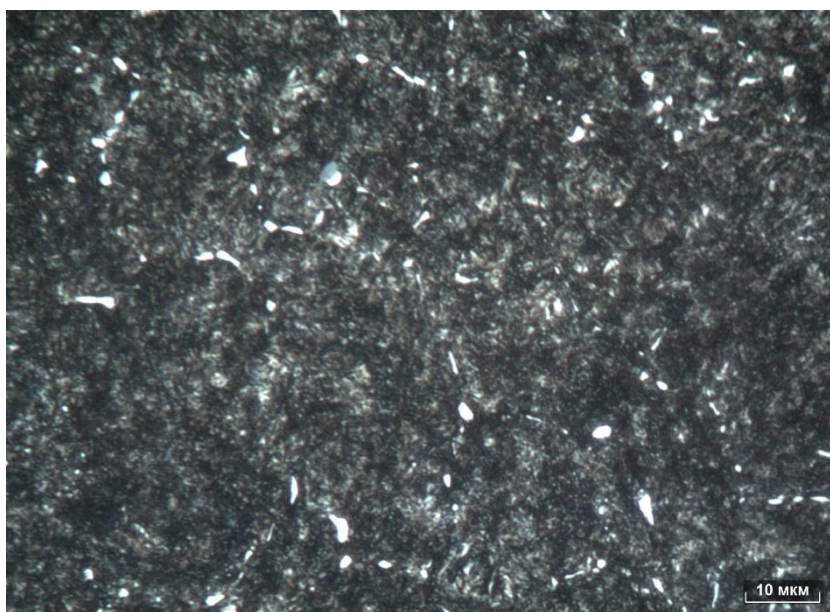
При просмотре слаботравленного шлифа в 0,4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте в структуре поверхностного цементованного слоя по рабочей поверхности и галтели зуба детали наличия трооститной сетки и полосы не выявлено.

Микроструктура цементованного слоя детали представляет собой мелко-игольчатый мартенсит 3 балла ГОСТ 8233-56 и карбиды 6 балла СТП 37.104.1387-2017, в соответствии с рисунком 4.1.

Микроструктура сердцевины зуба детали представляет собой малоуглеродистый мартенсит, в соответствии с рисунком 4.2.



x 500



x 1000

Рисунок 4.1 – Микроструктура цементованного слоя детали.

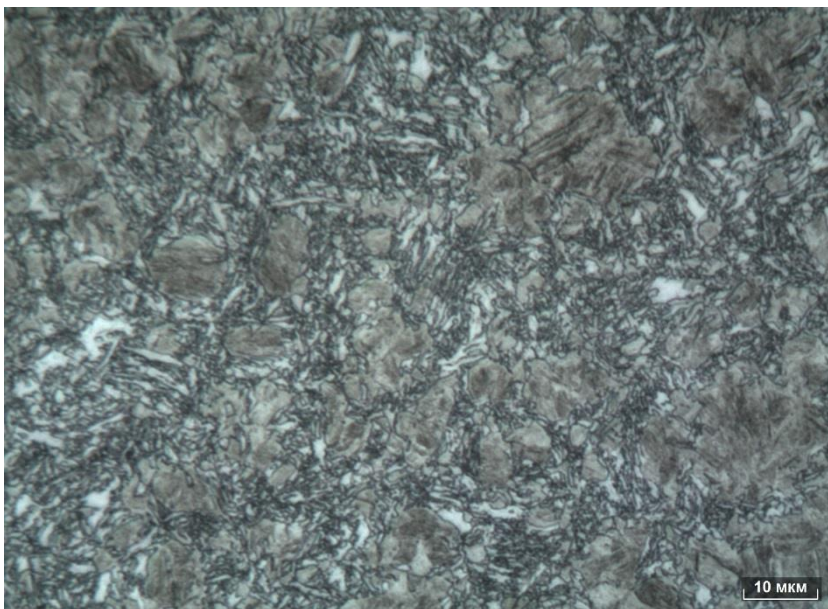


Рисунок 4.2 – Микроструктура сердцевины зуба детали, х 1000.

Толщина поверхностного цементованного слоя детали измерялась по методу Виккерса ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007 до эффективной условной микротвердости 550 HV 0,1 согласно требованиям СПП 37.104.1387-2017 на микротвердометре MicroMet 5104 при нагрузке 100 гс, зав. № 680-МП4-00338, свидетельство поверки прибора от 24.06.2019 г., действительно 12 месяцев.

Толщина поверхностного цементованного слоя детали составляет:

- по галтели зуба – 2,1 мм;
- по рабочей поверхности зуба – 2,7 мм.

## 5 Заключение

5.1 Химический состав металла детали «Колесо первой ступени» чертеж ТМ.202.00.01.002 соответствует стали марки 20ХН3А ГОСТ 4543-2016, что удовлетворяет требованиям чертежа.

5.2 Твердость по вершине зуба детали составляет 59,5 HRC, что удовлетворяет требованиям чертежа.

5.3 Твердость в сердцевине на 2/3 от вершины зуба детали составляет 44,0 HRC, что не удовлетворяет требованиям чертежа.

5.3 В структуре поверхностного цементованного слоя по рабочей поверхности и галтели зуба детали наличия трооститной сетки и полосы не выявлено.

5.4 Микроструктура цементованного слоя детали представляет собой мелкоигольчатый мартенсит 3 балла ГОСТ 8233-56 и карбиды 6 балла, что не удовлетворяет требованиям СПП 37.104.1387-2017.

5.5 Микроструктура сердцевины зуба детали представляет собой малоуглеродистый мартенсит.

5.6 Толщина поверхностного цементованного слоя детали составляет:

- по галтели зуба – 2,1 мм;
- по рабочей поверхности зуба – 2,7 мм, что не удовлетворяет требованиям чертежа.

Начальник ЛМ ТЦ  
33-82-94



Д.Р. Валиахметова

Исполнители:



А. Р. Исмагилова

Согласовано:  
Главный специалист  
по исследованию металлов ТЦ



Г. Р. Исламова



Л.Т. Свистунова

**ЛАБОРАТОРИЯ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ  
ТЦ ПАО «КАМАЗ»  
ПРОТОКОЛ ИССЛЕДОВАНИЯ № 247  
от « 22 » июля 2019 г.**

**Заказчик** НТЦ, главный специалист зубчатых передач и спецагрегатов – руководитель группы Р.И. Гарипов

**Предмет исследования** «Вал-шестерня входная» чертеж-аналог  
ТМ.202.00.00.001

**Цель исследования** металлографический анализ, основание: служебная записка о проведении сравнительных испытаний двухступенчатого редуктора, исх. № 17-17300-1-71 от 17.04.2019 г., вх. № 148 от 24.05.2019 г.

**Требования чертежа-аналога ТМ.202.00.00.001:**

- 1 Материал: Сталь 20ХН3А ГОСТ 4543-2016.
- 2 Цементировать h 1,2...1,8 мм; твердость поверхностей зубьев: 58...62 HRC. Твердость сердцевины 28...32 HRC.

Исследования проводились при следующих параметрах окружающей среды:

- температура воздуха - 21°C;
- влажность воздуха - 43%;
- атмосферное давление – 745 мм.рт.ст.

На исследование представлен фрагмент детали редуктора двухступенчатого 5Ц2-125-12,5 после испытаний на долговечность. Долговечность редуктора двухступенчатого укомплектованного шестернями с эвольвентным зубчатым зацеплением составила 6 часов.

**1 Внешний осмотр**

На исследование представлен фрагмент разрушенной детали. Разрушение детали произошло в виде скола одного зуба, в соответствии с рисунком 1.1. Очаг разрушения расположен по галтели зуба.



Рисунок 1.1 – Внешний вид фрагмента детали.

## 2 Химический анализ

Химический состав металла детали определялся по ГОСТ Р 54153-2010 на эмиссионном спектрометре «SPECTROMAXx», зав. № 12003985, свидетельство поверки прибора № 5489 от 05.09.2018 г., действительно до 04.09.2020 г.

Результаты химического анализа материала детали в процентах представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

| Содержание элементов, %                     |       |      |      |      |      |      |      |       | Установленная марка стали |
|---|-------|------|------|------|------|------|------|-------|---------------------------|
| C   | S     | Si   | Mn   | Cr   | Ni   | Cu   | Mo   | P     |                           |
| 0,23  | 0,020 | 0,25 | 0,95 | 1,01 | 0,12 | 0,18 | 0,21 | 0,023 | 25ХГМ<br>ГОСТ 4543-2016   |
| Примечание. Протокол № 333 от 29.05.2019 г. |       |      |      |      |      |      |      |       |                           |

## 3 Твердость

Измерения твердости детали проводились по методу Роквелла ГОСТ 9013-59 при нагрузке 150 кгс на приборе ТР 5006, зав. № 559, свидетельство о поверке прибора от 24.05.2019 г., действительно 12 месяцев.

Твердость детали составляет:

- по вершине зуба – 62 HRC;
- в сердцевине на 2/3 от вершины зуба – 41 HRC.

## 4 Микроструктурный анализ

Исследование микроструктуры проводилось на микрошлифе, вырезанном в поперечном сечении относительно оси симметрии зуба детали.

При просмотре слаботравленного шлифа в 0,4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте в структуре поверхностного цементованного слоя по рабочей поверхности и галтели зуба детали наличия трооститной сетки и полосы не выявлено.

Микроструктура цементованного слоя детали представляет собой мелко-игольчатый мартенсит 4 балла ГОСТ 8233-56 и остаточный аустенит 1 балла СТП 37.104.1387-2017, в соответствии с рисунком 4.1.

Микроструктура сердцевины зуба детали представляет собой малоуглеродистый мартенсит, в соответствии с рисунком 4.2.

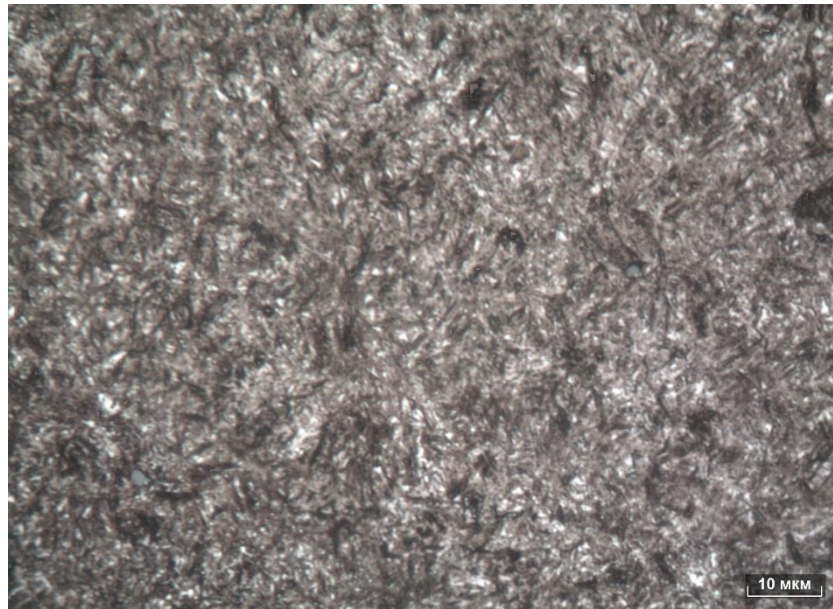


Рисунок 4.1 – Микроструктура цементованного слоя детали, х 1000.



Рисунок 4.2 – Микроструктура сердцевины зуба детали, х 1000.

Толщина поверхностного цементованного слоя детали измерялась по методу Виккерса ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007 до эффективной условной микротвердости 550 HV 0,1 согласно требованиям СТП 37.104.1387-2017 на микротвердомере MicroMet 5104 при нагрузке 100 гс, зав. № 680-МІТ4-00338, свидетельство поверки прибора от 24.06.2019 г., действительно 12 месяцев.

Толщина поверхностного цементованного слоя детали составляет:

- по галтели зуба – 1,0 мм;
- по рабочей поверхности зуба – 1,5 мм.



## 5 Заключение

5.1 Химический состав металла детали «Вал-шестерня входная» чертеж-аналог ТМ.202.00.00.001 соответствует стали марки 25ХГМ ГОСТ 4543-2016.

5.2 Твердость детали составляет:

- по вершине зуба – 62 HRC;
- в сердцевине на 2/3 от вершины зуба – 41 HRC.

5.3 В структуре поверхностного цементованного слоя по рабочей поверхности и галтели зуба детали наличия трооститной сетки и полосы не выявлено.

5.4 Микроструктура цементованного слоя детали представляет собой мелкоигльчатый мартенсит 4 балла ГОСТ 8233-56 и остаточный аустенит 1 балла, что удовлетворяет требованиям СТП 37.104.1387-2017.

5.5 Микроструктура сердцевины зуба детали представляет собой малоуглеродистый мартенсит.

5.6 Толщина поверхностного цементованного слоя детали составляет:

- по галтели зуба – 1,0 мм;
- по рабочей поверхности зуба – 1,5 мм.

Начальник ЛМ ТЦ  
33-82-94

Д.Р. Валиахметова

Исполнители:

А. Р. Исмагилова

Согласовано:  
Главный специалист  
по исследованию металлов ТЦ

Г. Р. Исламова

Л.Т. Свистунова

**ЛАБОРАТОРИЯ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ  
ТЦ ПАО «КАМАЗ»  
ПРОТОКОЛ ИССЛЕДОВАНИЯ № 248  
от « 30 » июля 2019 г.**

**Заказчик** НТЦ, главный специалист зубчатых передач и спецагрегатов – руководитель группы Р.И. Гарипов

**Предмет исследования** «Колесо выходное» чертеж-аналог ТМ.202.00.00.002

**Цель исследования** металлографический анализ, основание: служебная записка о проведении сравнительных испытаний двухступенчатого редуктора, исх. № 17-17300-1-71 от 17.04.2019 г., вх. № 148 от 24.05.2019 г.

**Требования чертежа-аналога ТМ.202.00.00.002:**

1 Материал: Сталь 20ХНЗА ГОСТ 4543-2016.

2 Цементировать h 1,2...1,8 мм; твердость поверхностей зубьев 58...62 HRC.

Твердость сердцевины 28...32 HRC.

Исследования проводились при следующих параметрах окружающей среды:

- температура воздуха - 22°C;
- влажность воздуха - 46 %;
- атмосферное давление – 750 мм.рт.ст.

На исследование представлена деталь редуктора двухступенчатого 5Ц2-125-12,5 после испытаний на долговечность. Долговечность редуктора укомплектованного шестернями с эвольвентным зубчатым зацеплением составила 6 часов.

**1 Внешний осмотр**

На исследование представлена деталь, в соответствии с рисунком 1.1. Разрушение детали произошло в виде скола трех зубьев, в соответствии с рисунком 1.2. Очаги разрушения расположены по галтели вблизи острой кромки зубьев детали.



Рисунок 1.1 – Внешний вид детали.

очаги разрушения

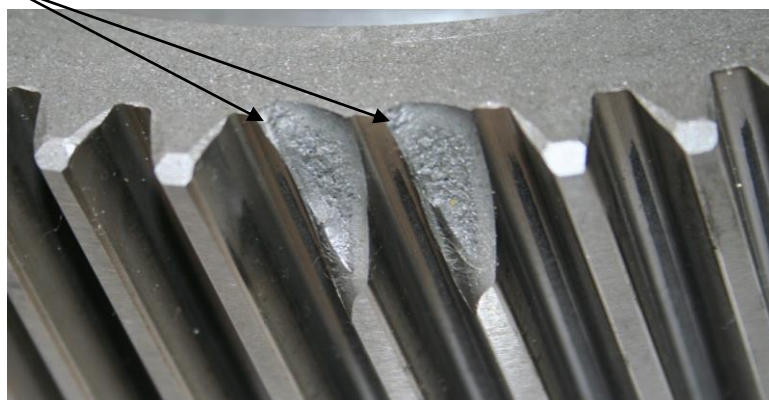


Рисунок 1.2 – Поверхность излома разрушенной детали.

## 2 Химический анализ

Химический состав металла детали определялся по ГОСТ Р 54153-2010 на эмиссионном спектрометре «SPECTROMAX», зав. № 12003985, свидетельство поверки прибора № 5489 от 05.09.2018 г., действительно до 04.09.2020 г.

Результаты химического анализа материала детали в процентах представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

| Содержание элементов, %                     |       |      |      |      |      |      |      |       | Установленная марка стали |
|---|-------|------|------|------|------|------|------|-------|---------------------------|
| С   | S     | Si   | Mn   | Cr   | Ni   | Ti   | Cu   | P     | 18ХГТ<br>ГОСТ 4543-2016   |
| 0,20  | 0,014 | 0,26 | 0,89 | 1,09 | 0,10 | 0,08 | 0,20 | 0,020 |                           |
| Примечание. Протокол № 353 от 05.06.2019 г. |       |      |      |      |      |      |      |       |                           |

## 3 Твердость

Измерения твердости детали проводились по методу Роквелла ГОСТ 9013-59 при нагрузке 150 кгс на приборе ТР 5006, зав. № 559, свидетельство о поверке прибора от 24.05.2019 г., действительно 12 месяцев.

Твердость детали составляет:

- по вершине зуба – 60 HRC;
- в сердцевине на 2/3 от вершины зуба – 31 HRC.

## 4 Микроструктурный анализ

Исследование микроструктуры проводилось на микрошлифе, вырезанном в поперечном сечении относительно оси симметрии зуба детали.

При просмотре слаботравленного шлифа в 0,4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте в структуре поверхностного цементованного слоя по рабо-

чей поверхности и галтели зуба детали наличия трооститной сетки и полосы не выявлено.

Микроструктура цементованного слоя детали представляет собой мелко-игольчатый мартенсит 3 балла ГОСТ 8233-56 и остаточный аустенит 1 балла СП 37.104.1387-2017, в соответствии с рисунком 4.1.

Микроструктура сердцевины зуба детали представляет собой малоуглеродистый мартенсит и феррит, в соответствии с рисунком 4.2.

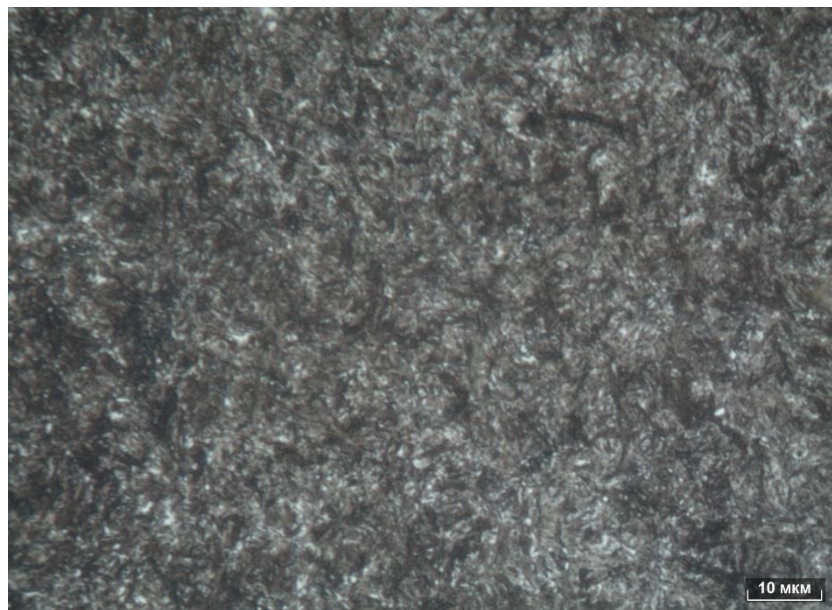


Рисунок 4.1 – Микроструктура цементованного слоя детали, х 1000.

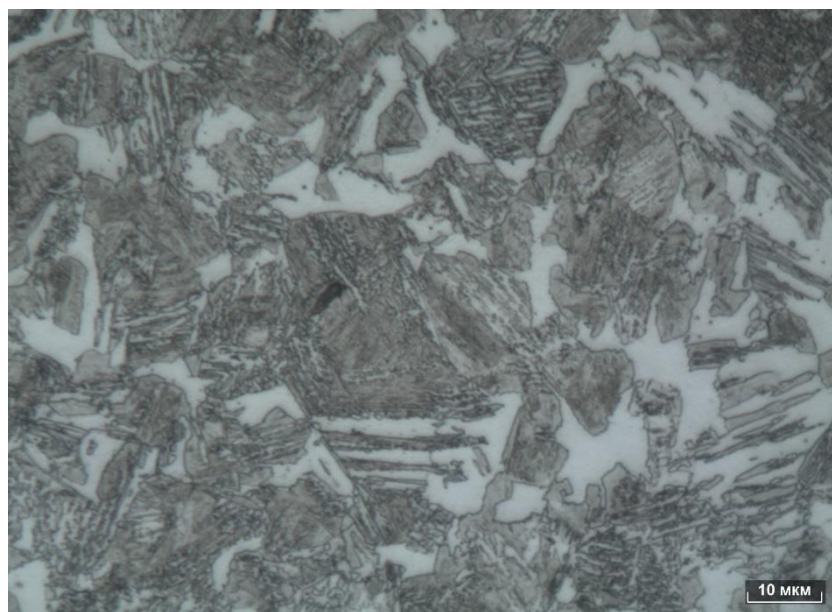


Рисунок 4.2 – Микроструктура сердцевины зуба детали, х 1000.

Толщина поверхностного цементованного слоя детали измерялась по методу Виккерса ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007 до эффективной условной микротвердо-

сти 550 HV 0,1 согласно требованиям СТП 37.104.1387-2017 на микротвердометре MicroMet 5104 при нагрузке 100 гс, зав. № 680-МІТ4-00338, свидетельство поверки прибора от 24.06.2019 г., действительно 12 месяцев.

Толщина поверхностного цементованного слоя детали составляет:

- по галтели зуба – 1,1 мм;
- по рабочей поверхности зуба – 1,5 мм.

## 5 Заключение

5.1 Химический состав металла детали «Колесо выходное» чертеж ТМ.202.00.00.002 соответствует стали марки 18ХГТ ГОСТ 4543-2016.

5.2 Твердость детали составляет:

- по вершине зуба – 60 HRC;
- в сердцевине на 2/3 от вершины зуба – 31 HRC..

5.3 В структуре поверхностного цементованного слоя по рабочей поверхности и галтели зуба детали наличия трооститной сетки и полосы не выявлено.

5.4 Микроструктура цементованного слоя детали представляет собой мелкоигльчатый мартенсит 3 балла ГОСТ 8233-56 и остаточный аустенит 1 балла, что удовлетворяет требованиям СТП 37.104.1387-2017.

5.5 Микроструктура сердцевины зуба детали представляет собой малоуглеродистый мартенсит и феррит.

5.6 Толщина поверхностного цементованного слоя детали составляет:

- по галтели зуба – 1,1 мм;
- по рабочей поверхности зуба – 1,5 мм.

Начальник ЛМ ТЦ  
33-82-94



Д.Р. Валиахметова

Исполнители:



А. Р. Исмагилова

Согласовано:  
Главный специалист  
по исследованию металлов ТЦ



Г. Р. Исламова

Л.Т. Свистунова

**ЛАБОРАТОРИЯ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ  
ТЦ ПАО «КАМАЗ»  
ПРОТОКОЛ ИССЛЕДОВАНИЯ № 249  
от « 30 » июля 2019 г.**

**Заказчик** НТЦ, главный специалист зубчатых передач и спецагрегатов – руководитель группы Р.И. Гарипов

**Предмет исследования** «Вал-шестерня» чертеж-аналог ТМ.202.00.01.001

**Цель исследования** металлографический анализ, основание: служебная записка о проведении сравнительных испытаний двухступенчатого редуктора, исх. № 17-17300-1-71 от 17.04.2019 г., вх. № 148 от 24.05.2019 г.

**Требования чертежа-аналога ТМ.202.00.01.001:**

1 Материал: Сталь 20ХН3А ГОСТ 4543-2016.

2 Цементировать h 1,2...1,8 мм; твердость поверхностей зубьев 58...62 HRC.

Твердость сердцевины 28...32 HRC.

Исследования проводились при следующих параметрах окружающей среды:

- температура воздуха - 21°С;
- влажность воздуха - 49%;
- атмосферное давление – 754 мм.рт.ст.

На исследование представлен фрагмент детали редуктора двухступенчатого 5Ц2-125-12,5 после испытаний на долговечность. Долговечность редуктора укомплектованного шестернями с эвольвентным зубчатым зацеплением составила 6 часов.

**1 Внешний осмотр**

На исследование представлен фрагмент детали, в соответствии с рисунком 1.1.



Рисунок 1.1 – Внешний вид фрагмента детали.

## 2 Химический анализ

Химический состав металла детали определялся по ГОСТ Р 54153-2010 на эмиссионном спектрометре «SPECTROMAXx», зав. № 12003985, свидетельство поверки прибора № 5489 от 05.09.2018 г., действительно до 04.09.2020 г.

Результаты химического анализа материала детали в процентах представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

| Содержание элементов, %                     |       |      |      |      |      |      |      |       | Установленная марка стали |
|---|-------|------|------|------|------|------|------|-------|---------------------------|
| C   | S     | Si   | Mn   | Cr   | Ni   | Cu   | Ti   | P     | 18ХГТ<br>ГОСТ 4543-2016   |
| 0,18  | 0,018 | 0,30 | 0,84 | 1,04 | 0,08 | 0,22 | 0,03 | 0,017 |                           |
| Примечание. Протокол № 345 от 31.05.2019 г. |       |      |      |      |      |      |      |       |                           |

## 3 Твердость

Измерения твердости детали проводились по методу Роквелла ГОСТ 9013-59 при нагрузке 150 кгс на приборе ТР 5006, зав. № 559, свидетельство о поверке прибора от 24.05.2019 г., действительно 12 месяцев.

Твердость детали составляет:

- по вершине зуба – 60 HRC;
- в сердцевине на 2/3 от вершины зуба – 29 HRC.

## 4 Микроструктурный анализ

Исследование микроструктуры проводилось на микрошлифе, вырезанном в поперечном сечении относительно оси симметрии зуба детали.

При просмотре слаботравленного шлифа в 0,4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте в структуре поверхностного цементованного слоя по рабочей поверхности и галтели зуба детали наличия трооститной сетки и полосы не выявлено.

Микроструктура цементованного слоя детали представляет собой мелкоигольчатый мартенсит 4 балла ГОСТ 8233-56 и остаточный аустенит 1 балла СТП 37.104.1387-2017, в соответствии с рисунком 4.1.

Микроструктура сердцевины зуба детали представляет собой малоуглеродистый мартенсит и феррит, в соответствии с рисунком 4.2.

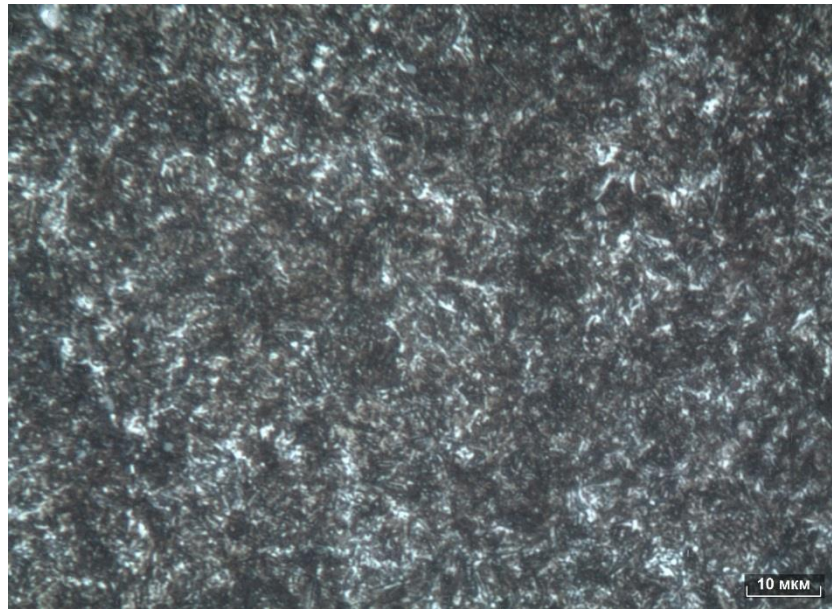


Рисунок 4.1 – Микроструктура цементованного слоя детали, x 1000.

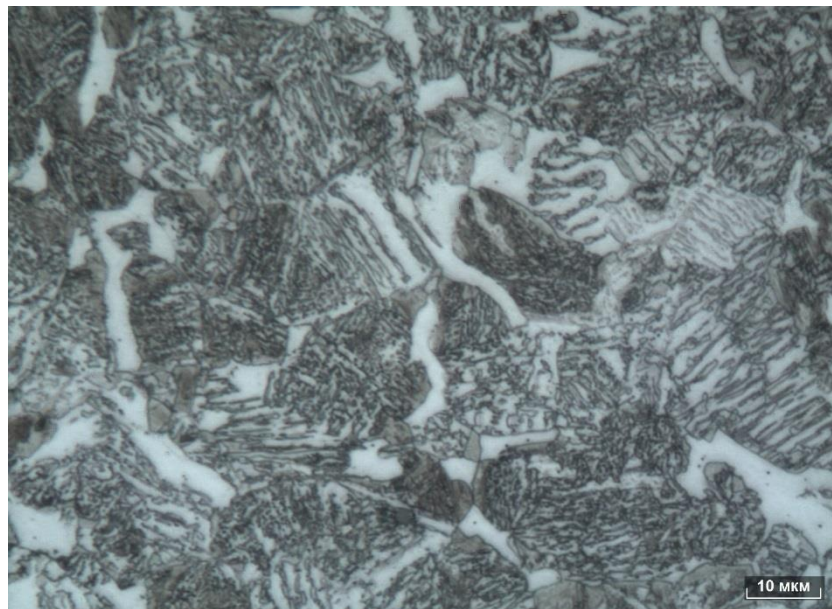


Рисунок 4.2 – Микроструктура сердцевины зуба детали, x 1000.

Толщина поверхностного цементованного слоя детали измерялась по методу Виккерса ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007 до эффективной условной твердости 550 HV 0,1 согласно требованиям СТП 37.104.1387-2017 на микротвердомере MicroMet 5104 при нагрузке 100 гс, зав. № 680-МП4-00338, свидетельство поверки прибора от 24.06.2019 г., действительно 12 месяцев.

Толщина поверхностного цементованного слоя детали составляет:

- по галтели зуба – 0,7 мм;
- по рабочей поверхности зуба – 1,0 мм.



## 5 Заключение

5.1 Химический состав металла детали «Вал-шестерня» чертеж-аналог ТМ.202.00.01.001 соответствует стали марки 18ХГТ ГОСТ 4543-2016.

5.2 Твердость детали составляет:

- по вершине зуба – 60 HRC;
- в сердцевине на 2/3 от вершины зуба – 29 HRC.

5.4 В структуре поверхностного цементованного слоя по рабочей поверхности и галтели зуба детали наличия трооститной сетки и полосы не выявлено.

5.5 Микроструктура цементованного слоя детали представляет собой мелко-игольчатый мартенсит 4 балла ГОСТ 8233-56 и остаточный аустенит 1 балла, что удовлетворяет требованиям СТП 37.104.1387-2017.

5.6 Микроструктура сердцевины зуба детали представляет собой малоуглеродистый мартенсит и феррит.

5.7 Толщина поверхностного цементованного слоя детали составляет:

- по галтели зуба – 0,7 мм;
- по рабочей поверхности зуба – 1,0 мм.

Начальник ЛМ ТЦ  
33-82-94

Д.Р. Валиахметова

Исполнители:

А. Р. Исмагилова

Согласовано  
Главный специалист  
по исследованию металлов ТЦ

Г. Р. Исламова

Л.Т. Свистунова

**ЛАБОРАТОРИЯ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ  
ТЦ ПАО «КАМАЗ»  
ПРОТОКОЛ ИССЛЕДОВАНИЯ № 250  
от « 30 » июля 2019 г.**

**Заказчик** НТЦ, главный специалист зубчатых передач и спецагрегатов – руководитель группы Р.И. Гарипов

**Предмет исследования** «Колесо первой ступени» чертеж-аналог  
ТМ.202.00.01.002

**Цель исследования** металлографический анализ, основание: служебная записка о проведении сравнительных испытаний двухступенчатого редуктора, исх. № 17-17300-1-71 от 17.04.2019 г., вх. № 148 от 24.05.2019 г.

**Требования чертежа-аналога ТМ.202.00.01.002:**

- 1 Материал: Сталь 20ХН3А ГОСТ 4543-2016.
- 2 Цементировать h 1,2...1,8 мм; твердость поверхностей зубьев 58...62 HRC. Твердость сердцевины 28...32 HRC.

Исследования проводились при следующих параметрах окружающей среды:

- температура воздуха - 22°C;
- влажность воздуха - 46 %;
- атмосферное давление – 750 мм.рт.ст.

На исследование представлена деталь редуктора двухступенчатого 5Ц2-125-12,5 после испытаний на долговечность. Долговечность редуктора укомплектованного шестернями с эвольвентным зубчатым зацеплением составила 6 часов.

**1 Внешний осмотр**

На исследование представлена деталь, в соответствии с рисунком 1.1. Разрушение детали произошло в виде скола несколько зубьев, в соответствии с рисунком 1.2. Очаги разрушения расположены по галтели зубьев детали.



Рисунок 1.1 – Внешний вид детали.

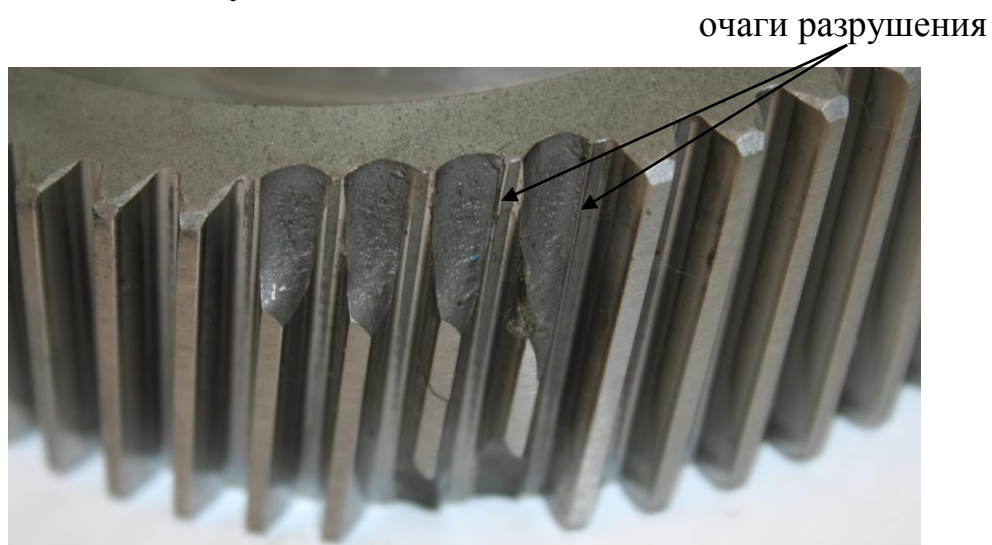


Рисунок 1.2 – Поверхности излома зубьев разрушенной детали.

## 2 Химический анализ

Химический состав металла детали определялся по ГОСТ Р 54153-2010 на эмиссионном спектрометре «SPECTROMAX», зав. № 12003985, свидетельство поверки прибора № 5489 от 05.09.2018 г., действительно до 04.09.2020 г.

Результаты химического анализа материала детали в процентах представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

| Содержание элементов, %                     |       |      |      |      |      |      |      |       | Установленная марка стали |
|---|-------|------|------|------|------|------|------|-------|---------------------------|
| C   | S     | Si   | Mn   | Cr   | Ni   | Ti   | Cu   | P     | 25ХГТ<br>ГОСТ 4543-2016   |
| 0,26  | 0,024 | 0,33 | 0,91 | 1,16 | 0,07 | 0,08 | 0,23 | 0,019 |                           |
| Примечание. Протокол № 355 от 10.06.2019 г. |       |      |      |      |      |      |      |       |                           |

### 3 Твердость

Измерения твердости детали проводились по методу Роквелла ГОСТ 9013-59 при нагрузке 150 кгс на приборе ТР 5006, зав. № 559, свидетельство о поверке прибора от 24.05.2019 г., действительно 12 месяцев.

Твердость детали составляет:

- по вершине зуба – 60 HRC;
- в сердцевине на 2/3 от вершины зуба – 51 HRC;
- у основания зуба – 45 HRC.

### 4 Микроструктурный анализ

Исследование микроструктуры проводилось на микрошлифе, вырезанном в поперечном сечении относительно оси симметрии зуба детали.

При просмотре слаботравленного шлифа в 0,4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте в структуре поверхностного цементованного слоя по рабочей поверхности и галтели зуба детали наличия трооститной сетки и полосы не выявлено.

Микроструктура цементованного слоя детали представляет собой мелко-игольчатый мартенсит 4 балла ГОСТ 8233-56 и остаточный аустенит 1 балла СТП 37.104.1387-2017, в соответствии с рисунком 4.1.

Микроструктура сердцевины зуба детали представляет собой малоуглеродистый мартенсит, в соответствии с рисунком 4.2.

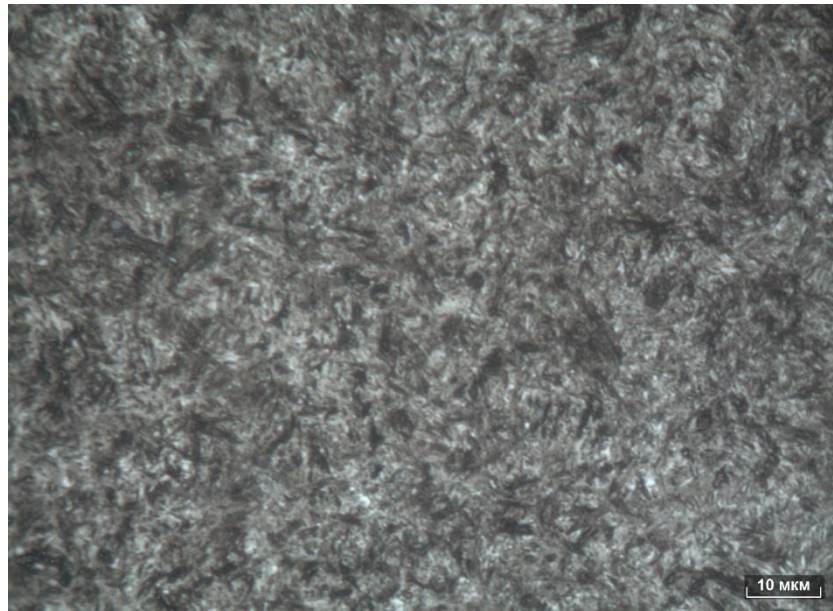


Рисунок 4.1 – Микроструктура цементованного слоя детали, х 1000.

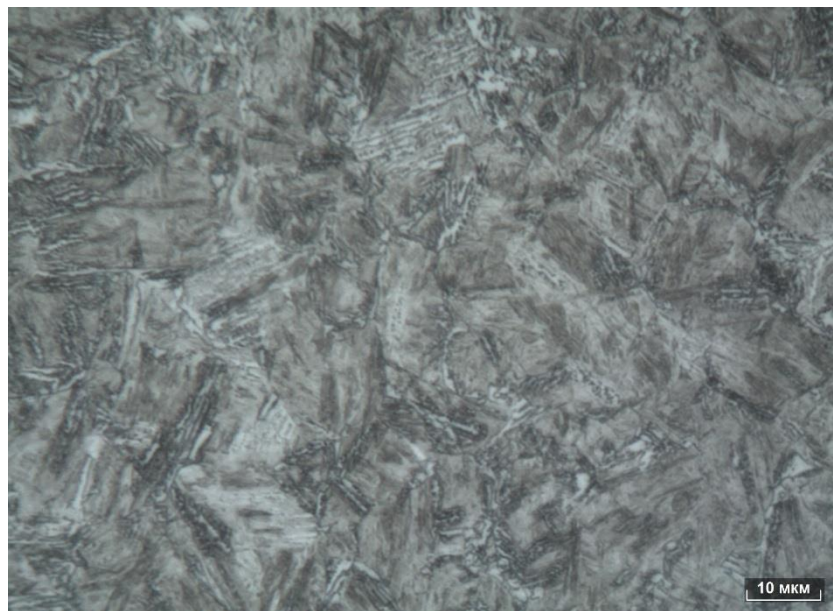


Рисунок 4.2 – Микроструктура сердцевины зуба детали, х 1000.

Толщина поверхностного цементованного слоя детали измерялась по методу Виккерса ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007 до эффективной условной микротвердости 550 HV 0,1 согласно требованиям СПП 37.104.1387-2017 на микротвердометре MicroMet 5104 при нагрузке 100 гс, зав. № 680-МПТ4-00338, свидетельство поверки прибора от 24.06.2019 г., действительно 12 месяцев.

Толщина поверхностного цементованного слоя детали составляет:

- по галтели зуба – 1,2 мм;
- по рабочей поверхности зуба – 1,7 мм.

## 5 Заключение

5.1 Химический состав металла детали «Колесо первой ступени» чертеж-аналог ТМ.202.00.01.002 соответствует стали марки 25ХГТ ГОСТ 4543-2016.

5.2 Твердость детали составляет:

- по вершине зуба – 60 HRC;
- в сердцевине на 2/3 от вершины зуба – 51 HRC.

5.3 В структуре поверхностного цементованного слоя по рабочей поверхности и галтели зуба детали наличия трооститной сетки и полосы не выявлено.

5.4 Микроструктура цементованного слоя детали представляет собой мелкоигльчатый мартенсит 4 балла ГОСТ 8233-56 и остаточный аустенит 1 балла, что удовлетворяет требованиям СТП 37.104.1387-2017.

5.5 Микроструктура сердцевины зуба детали представляет собой малоуглеродистый мартенсит.

5.6 Толщина поверхностного цементованного слоя детали составляет:

- по галтели зуба – 1,2 мм;
- по рабочей поверхности зуба – 1,7 мм.

Начальник ЛМ ТЦ  
33-82-94

Д.Р. Валиахметова

Исполнители:

А. Р. Исмагилова

Согласовано  
Главный специалист  
по исследованию металлов ТЦ

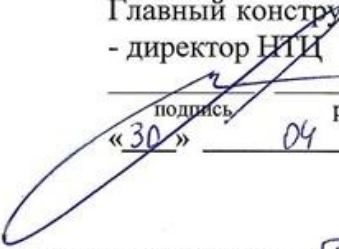
Г. Р. Исламова

Л.Т. Свистунова

Ф-06 СТО КАМАЗ 02.01

**УТВЕРЖДАЮ**


Главный конструктор ПАО «КАМАЗ»  
- директор НИЦ

  
\_\_\_\_\_ Д.Х. Валеев  
подпись \_\_\_\_\_ расшифровка подписи  
« 30 » \_\_\_\_\_ 04 \_\_\_\_\_ 20 19 г.


**СЛУЖЕБНАЯ ЗАПИСКА** №17750-191 от 30.04.2019

[О проведении сравнительных испытаний  
двухступенчатого редуктора]

1. Директору ОПШ НИЦ:

|                  |   |
|------------------|---|
| Выполнить:       | Получить двухступенчатый редуктор Ц2-125 с ЭЦ-шестернями и комплект эвольвентных шестерен (4 шестерни) от ЗАО «Технология маркет».<br>После проведения испытаний заменить комплект ЭЦ-шестерен на комплект эвольвентных шестерен. |
| Срок:            | 15.09.2019 г.   |
| Затраты отнести: | На пункт 1.3.6.1.9 плана НИОКР-2019, ШПЗ 570-1.3.6.1.9-80.    |

2. Главному конструктору по испытаниям:

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Выполнить:                    | Разработать и подготовить оснастку для проведения стендовых испытаний.  |
| Провести стендовые испытания: | Двухступенчатого редуктора Ц2-125 с ЭЦ-шестернями и эвольвентными шестернями по программе-методике ЗАО «Технология маркет».<br>По результатам испытаний оформить отчет. |
| Срок:                         | 15.12.2019 г.   |
| Цель:                         | Измерить параметры вибрации, шума и температуры масла редуктора при различных режимах нагрузки. Оценка изгибно-усталостной и контактной прочности редуктора.            |
| Затраты отнести:              | На пункт 1.3.6.1.9 плана НИОКР-2019, ШПЗ 570-1.3.6.1.9-60.                         |

Согласовано:

Руководитель проекта

Директор ОПШ НИЦ

Главный конструктор  
по испытаниям

Кинзин Р.Х., 3-82-88

  
\_\_\_\_\_ подпись  
  
\_\_\_\_\_ подпись  
  
\_\_\_\_\_ подпись

С.В. Назаренко  
\_\_\_\_\_ расшифровка подписи

А.В. Зорин  
\_\_\_\_\_ расшифровка подписи

Р.Н. Гиниятуллин  
\_\_\_\_\_ расшифровка подписи

