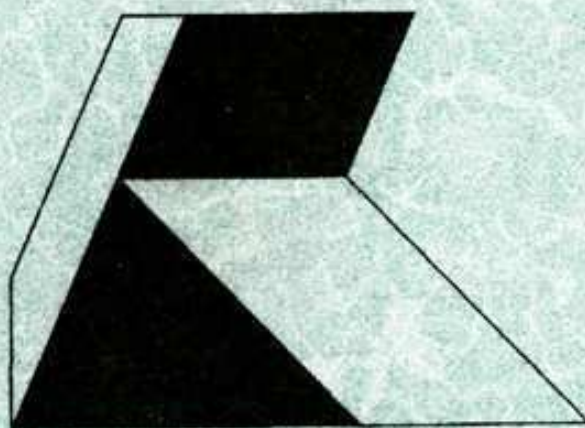


**Б. И. Коган**

# **Технология изготовления конических зубчатых колес**

**Учебное пособие**



**Кемерово, 2003**

Министерство образования Российской Федерации  
Государственное учреждение  
Кузбасский государственный технический университет

Кафедра технологии машиностроения

Б. И. Коган

## Технология изготовления конических зубчатых колес

Учебное пособие

Кемерово  
Кузбассвузиздат  
2003

УДК 621.833.002:658.527.011.56

ББК 34.68

K57

**Р е ц е н з е н т ы:**

кафедра технологии металлов и ремонта машин Кемеровского  
сельскохозяйственного института (заведующий кафедрой профессор, доктор  
технических наук **М. В. Чибряков**);  
заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор, доктор  
технических наук, член-корреспондент РАН **В. Ф. Горбунов**

Печатается по решению редакционно-издательского совета ГУ «Кузбасский  
государственный технический университет»

**Коган Б. И.**

K57      Технология изготовления конических зубчатых колес: Учеб. пособ. /  
ГУ Кузбасск. гос. техн. ун-т. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2003. – 79 с.

ISBN 5-202-00585-7.

Изложены современные методы изготовления конических зубчатых колес и вал-шестерен на всех стадиях производственного процесса. Подробно рассмотрены прогрессивные методы получения рациональных заготовок и обработки зубчатого венца.

Пособие предназначено для студентов технических вузов при решении ими задач технологического обеспечения качества.

К 2704090000 Без объявл.  
T45(03)-2003

ББК 34.68  
УДК 621.833.002:658.527.011.56

ISBN 5-202-00585-7

© Б. И. Коган, 2003  
© Издательство  
«Кузбассвуиздат», 2003



Конические зубчатые колеса и вал-шестерни являются представителями деталей общемашиностроительных классов, широко применяемых в редукторах и кинематических парах машин различных отраслей. Комплекс конструктивных особенностей, технические требования предопределяют особенности технологического обеспечения их качества: кинематической погрешности, накопленной погрешности шага, биения зубчатого венца, погрешности обката, отклонения шагов по 12 степеням точности (ГОСТ 1758-81) и нормам трех видов: кинематической точности, плавности работы, контакта зубьев. Конические зубчатые колеса являются объектами курсового и дипломного проектирования. Данное учебное пособие должно дополнить классические учебники и помочь студентам в освоении методологии разработки технологических процессов на современном уровне с решением задач технологического обеспечения качества.

В пособии даны сведения о методах обработки зубчатых венцов обкатным, полуобкатным методами, дисковой протяжкой круговым протягиванием.

### **1. Конструктивные разновидности конических зубчатых колес**

Конические зубчатые колеса по конструктивным признакам можно классифицировать на три основных вида: колеса-диски, колеса-валы и колеса со ступицей. Колеса-диски (рис. 1, а) диаметром свыше 175 мм подвергают термической обработке. Колеса-диски (рис. 1, а, б) применяют в одноступенчатых редукторах. Колеса-диски с выточкой (рис. 1, в) обычно применяют в передачах с малым передаточным числом, например, в двухступенчатых редукторах. Конструкция колеса-вала (рис. 1, г) является типичной для ведущих шестерен редукторов.

Колеса с короткой ступицей имеют гладкое отверстие со шпоночным пазом (рис. 1, д). На рис. 1, е показано коническое зубчатое колесо с длинной ступицей и оптимальным расположением шлиц — под зубчатым венцом. Расположения шлиц на конце ступицы (рис. 2, г) следует избегать, особенно для зубчатых колес, подвергаемых закалке. У колес такого типа вследствие деформирования при термической обработке невозможно достичь концентричности шлиц и зубьев колеса при окончательном шлифовании базовых поверхностей.





рекомендуется конструировать колеса с большим числом отверстий, малого диаметра, небольшой глубины и резьбой малого шага. Диаметр посадочного отверстия зубчатого колеса должен быть максимально возможным, а длина отверстия – достаточной для точного и надежного центрирования заготовки. Для колес диаметром 200-400 мм рекомендуется длина отверстия не менее 10-15 мм.

В табл. 1 приведены рекомендуемые допуски на размеры отверстий и шеек заготовок конических и гипоидных колес (см. рис. 1) с прямыми и криволинейными зубьями, широко применяемых в различных отраслях машиностроения. Эти допуски назначают в зависимости от степени точности зубчатого колеса.

Таблица 1

Допуски, мм, на размеры базовых отверстий А и шейки Б, В заготовок конических зубчатых колес в незакаленном и закаленном виде (см. рис. 1)

| Номинальный посадочный диаметр, мм | Прецизионные зубчатые колеса делительных механизмов <sup>1</sup> |             | Повышенной точности зубчатые колеса самолетостроения, станкостроения <sup>2</sup> |             | Точные зубчатые колеса автомобилестроения, тракторостроения <sup>3</sup> |             | Зубчатые колеса общего машиностроения <sup>4</sup> |             |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------|-------------|
|                                    | Шейки Б и В                                                      | Отверстие А | Шейки Б и В                                                                       | Отверстие А | Шейки Б и В                                                              | Отверстие А | Шейки Б и В                                        | Отверстие А |
| До 25                              | -0,0025                                                          | +0,0025     | ---                                                                               | ---         | ---                                                                      | ---         | ---                                                | ---         |
| От 25 до 100                       | -0,0025                                                          | +0,0025     | -0,005                                                                            | +0,005      | -0,015                                                                   | +0,015      | -0,025                                             | +0,025      |
| От 100 до 250                      | ---                                                              | ---         | -0,0075                                                                           | +0,0075     | -0,025                                                                   | +0,025      | -0,050                                             | +0,050      |
| От 250 до 500                      | ---                                                              | ---         | ---                                                                               | ---         | -0,025                                                                   | +0,025      | -0,075                                             | +0,075      |
| Св. 500                            | ---                                                              | ---         | ---                                                                               | ---         | -0,050                                                                   | +0,050      | -0,10                                              | +0,10       |

<sup>1</sup> 4-5-я степень точности; зубья шлифованные.

<sup>2</sup> 4-6-я степень точности; зубья шлифованные.

<sup>3</sup> 7-8-я степень точности; зубья нарезанные и притертые.

<sup>4</sup> 8-9-я степень точности; зубья нарезанные.

Другие размеры заготовок, которые ограничивают допуски, следующие: внешний диаметр вершин зубьев  $d_{ae}$  и расстояние от базовой поверхности до плоскости внешней окружности вершин зубьев  $S$  (табл. 2), угол конуса вершин зубьев  $\delta_a$  и угол заднего конуса  $\delta_d$  (табл. 3). Допуск на угол конуса вершин задается положительным для увеличения радиального зазора.

Таблица 2

Допуски на внешний диаметр вершин зубьев  $d_{ae}$  и расстояние от базовой поверхности до плоскости внешней окружности вершин зубьев  $C$  (см. рис. 1, а), мм

| Внешний окружной модуль, мм | $d_{ae}$ | $C$   |
|-----------------------------|----------|-------|
| Менее 1                     | -0,075   | -0,05 |
| От 1 до 10                  | -0,15    | -0,05 |
| 10 и более                  | -0,25    | -0,10 |

Таблица 3

Допуски ( $'$ ) на угол конуса вершин зубьев  $\delta_a$  и угол заднего  $\delta_d$  конуса (см. рис. 1, а)

| Внешний окружной модуль $m_{te}$ , мм | $\delta_a$ | $\delta_d$ |
|---------------------------------------|------------|------------|
| Менее 0,75                            | +30        | $\pm 60$   |
| От 0,75 до 1,5                        | +15        | $\pm 30$   |
| 1,5 и более                           | +8*        | $\pm 15^*$ |

\* Когда конус вершин зубьев или задний конус используют в качестве баз при термической и механической обработках, допуск ужесточают.

Передние торцы заготовок, с которыми соприкасаются прижимные шайбы, гайки и другие детали, должны быть плоскими и параллельными задним базовым торцам, допуск плоскостности и параллельности 0,02-0,04 мм.

Для колеса-вала (рис. 1, г) максимальное биение поверхностей  $T_4$ ,  $D_1$  и  $D_2$  относительно оси в незакаленном и закаленном виде составляет 0,0005-0,01 мм (5-7-я степень точности). Биение поверхности  $D_3$  ограничивается допуском в том случае, если она используется для зажима во время зубонарезания и контроля. Максимальное биение до и после термической обработки не более 0,03 мм. После термической обработки центровые фаски тщательно зачищают и деталь правят в прессе. Максимальное биение поверхности  $D_1$  после правки до шлифования не должно превышать 0,025 мм, а поверхности  $D_2$  — 0,04 мм.

Для колес со ступицей (рис. 1, д) максимальное биение торца  $T_5$  относительно оси до и после термической обработки при диаметре ступицы ниже 75 мм, не должно превышать 0,0075 мм, при диаметре 75-100 мм — 0,015 мм, при диаметре 150 мм — 0,025 мм. Опорные торцы  $T_4$  и  $T_5$  шлифуют после термической обработки в том случае, если шлифуют



зубья. Если зубья после термической обработки не шлифуют, торцы шлифовать не рекомендуется, чтобы не вносить дополнительные отклонения формы и расположения пятна контакта на зубьях. Когда поверхности  $T_3$  используют для контроля точности установки колеса в редукторе, их необходимо точно обрабатывать и ограничивать допуском.

В процессе термической обработки у колес-дисков деформируются отверстие и опорный торец, что значительно снижает качество зубчатых колес. Чтобы снизить деформации при термической обработке, зубчатые колеса закаливают в штампах. Размеры и расположения поверхностей заготовки  $T$  (рис. 1, б), обычно соприкасающихся с поверхностями штампа, должны иметь малый допуск, максимальное биение конуса вершин зубьев и фланца в незакаленном виде должно быть не более 0,075 мм. Овальность отверстия до термической обработки не должна превышать 0,025 мм, после термической обработки - 0,08 мм.

В табл. 4 приведены допуски плоскостности опорного торца колес-дисков после термической обработки, обычно проверяемые щупом на плите. До термической обработки щуп толщиной 0,025 мм не должен проходить при проверке на плите в любой точке со стороны отверстия или внешнего диаметра.

Таблица 4

Допуски\*, мкм, плоскостности опорного торца колеса-диска после термической обработки (см. рис. 1, а, б)

| Внешний диаметр вершин зубьев, мм | Толщина щупа, мм |               | Внешний диаметр вершин зубьев, мм | Толщина щупа, мм |               |
|-----------------------------------|------------------|---------------|-----------------------------------|------------------|---------------|
|                                   | см. рис. 1, а    | см. рис. 1, б |                                   | см. рис. 1, а    | см. рис. 1, б |
| 150-200                           | 0,025/0,05       | 0,025/0,08    | 250-330                           | 0,05/0,10        | 0,05/0,13     |
| 200-250                           | 0,04/0,08        | 0,04/0,10     | 330-450                           | 0,08/0,13        | 0,08/0,15     |

\* В числителе для  $T_1$ , в знаменателе для  $T_2$ .

Опорный торец у колес-дисков (рис. 1, а, б) шлифуют после термической обработки в том случае, если шлифуют зубья. В процессе термической обработки опорный торец с внутренней стороны в точке  $T_2$  деформируется больше, чем с внешней стороны в точке  $T_1$ , вследствие чего пятно контакта на зубьях смещается ближе к пятке. Для конических зубчатых колес диаметром свыше 500 мм допуски увеличиваются пропорционально размеру.

Приведенные допуски на заготовки конических зубчатых колес обеспечивают изготовление зубчатых колес высокой точности (табл. 5).

Отклонение, мм, параметров зубьев зубчатых колес

| Параметр                  | Прецизионные зубчатые колеса делительных механизмов <sup>1</sup> | Повышенной точности зубчатые колеса само-летостроения <sup>2</sup> | Точные зубчатые колеса автотомобилестроения, тракторостроения <sup>3</sup> | Зубчатые колеса общего машиностроения <sup>4</sup> |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Радиальное биение         | 0,013                                                            | 0,025                                                              | 0,038-сырые;<br>0,076-каленные                                             | 0,127                                              |
| Отклонение окружного шага | 0,005                                                            | 0,005                                                              | 0,01-сырые;<br>0,015-каленные                                              | 0,02                                               |

<sup>1</sup> 4-5-я степень точности; зубья шлифованные.

<sup>2</sup> 4-6-я степень точности; зубья шлифованные.

<sup>3</sup> 7-8-я степень точности; зубья нарезаны и притерты; окружная скорость до 10 м/с.

<sup>4</sup> 8-9-я степень точности; зубья нарезаны.

**П р и м е ч а н и е.** Внешний диаметр прецизионных зубчатых колес - от 50 до 450 мм, общего назначения - до 650 мм.

## 2. Выбор базовых поверхностей

Наиболее важными поверхностями заготовки конического колеса являются те поверхности, по которым устанавливают зубчатое колесо в радиальном и осевом направлениях при обработке зубьев. К таким поверхностям относятся посадочные отверстия, шейки и опорные торцы. Если позволяет форма и размер колеса, то все операции, связанные с обработкой и контролем зубьев, следует производить с использованием тех же баз, которые являются базами при сборке. Однако иногда в качестве баз при зубонарезании выбирают те поверхности, которые обеспечивают более устойчивое положение заготовки в процессе нарезания зубьев (рис. 3, б, г). В этих случаях поверхности, принятые за технологические базы 2 (см. рис. 3, б) и 4 (см. рис. 3, г), должны быть точно расположены относительно баз 1 (см. рис. 3, а) и 3 (см. рис. 3, в), используемых при сборке, и посадочных отверстий (рис. 3, а, в). Независимо от принятых баз при зубонарезании контроль во всех случаях

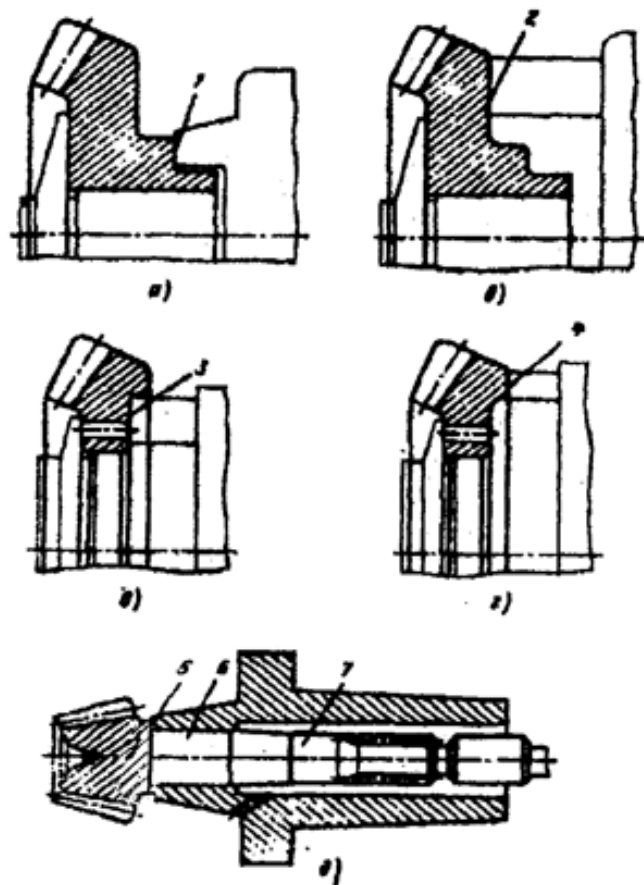


Рис.3. Виды базирования:  
а, б – колеса со ступицей;  
в, г – колеса-диски;  
д – колеса-валы.

нужно производить с использованием (см. рис. 3, а) сборочных баз 1 и 3 (см. рис. 3, в). При базировании колеса вала по торцу 5 (рис. 3, д) и одной шейке 6 в процессе зубонарезания жесткость и точность недостаточны, поэтому необходимо базировать колесо-вал на торец 5 и две шейки 6, 7.

### 3. Рациональные заготовки

В настоящее время поковки типа конических шестерен с зубом получают двумя методами:

1) Штамповкой с такой точностью и такой поверхностью зуба, при которых не требуется дальнейшая механическая обработка по зубу.

2) Штамповкой шестерен с зубом, требующим только чистовой обработки (строжки).

Выбор второго метода дает возможность значительно упростить технологию изготовления штампов. Кроме того, он позволяет изучить процесс штамповки шестерен с зубом с тем, чтобы использовать накопленный опыт для получения поволокон конических шестерен с зубом, не требующим дальнейшей механической обработки.

Выбрана технология штамповки шестерен с зубом с последующей механической обработкой, так как получение требуемой чистоты и качества обработки методом горячей штамповки представляет значительную трудность.

Чертежи поволокон составлялись с учетом припуска на механическую обработку профиля зуба за исключением дна впадин зуба, для чего был увеличен радиальный зазор. Это необходимо для того, чтобы при механической обработке резцы не касались дна впадины и не затуплялись. Чернота по дну несколько не ухудшает качества шестерен. Ведь и при черновой фрезеровке впадин рекомендуется с той же целью делать их глубину на 0,3-0,5 мм больше, чем при окончательной обработке. В табл. 6 показаны экономические показатели, полученные минским заводом «Запчасть».

**Экономические показатели, полученные при изготовлении конических шестерен со штампованным зубом**

| Наименование деталей | Марка стали | По старой технологии |                               | По новой технологии |                               | Экономия металла на 1 изделие в кг | Экономия металла на 1 изделие в руб | Экономия по зарплате на механической обработке в руб | Итого экономия в руб. на 1 изделие |
|----------------------|-------------|----------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------|
|                      |             | Вес заготовки в кг   | Коэффициент использования в % | Вес заготовки в кг  | Коэффициент использования в % |                                    |                                     |                                                      |                                    |
| Шестерня полуоси МАЗ | 12ХНЗА      | 8,952                | 46                            | 7,2                 | 58                            | 2,752                              | 5,57                                | 0,53                                                 | 6,1                                |
|                      | 18ХГТ       | 8,952                | 46                            | 7,2                 | 58                            | 2,752                              | 2,88                                | 0,53                                                 | 3,41                               |
| Сателлит МАЗ         | 12ХНЗА      | 2,53                 | 45                            | 1,82                | 62                            | 0,710                              | 1,44                                | 0,075                                                | 1,515                              |
|                      | 18ХГТ       | 2,53                 | 45                            | 1,82                | 62                            | 0,710                              | 0,743                               | 0,075                                                | 0,818*                             |
| Сателлит МТЗ         | 18ХГТ       | 2,13                 | 44                            | 1,35                | 69                            | 0,780                              | 0,816                               | 0,16                                                 | 0,976                              |
| Сателлит ГАЗ-51      | 20ХНМ       | 0,665                | 33                            | 0,413               | 53                            | 0,252                              | 0,475                               | Данных нет                                           | 0,475                              |

Рассмотрим технологию изготовления конических шестерен с зубом на примере штамповки сателлита автомашины МАЗ-200 (рис. 4)

Сателлит автомашины МАЗ-200 штампуется из стали 12ХНЗА или 18ХГТ из заготовки диаметром  $52 \times 105^{+2}$ .

Разделка прутка на заготовки производится на пресс-ножницах типа «Пельс».

Заготовки нагреваются в индукционном нагревателе типа КИН-18 токами высокой частоты (2500 периодов в секунду). Нагрев ведется методически, период толкания 10—12 сек., при этом потребляемая мощность составляет 160—165 кВт.

Штамповка сателлита производится на механическом ковочном прессе с усилием 1500 т, хотя согласно расчетам для

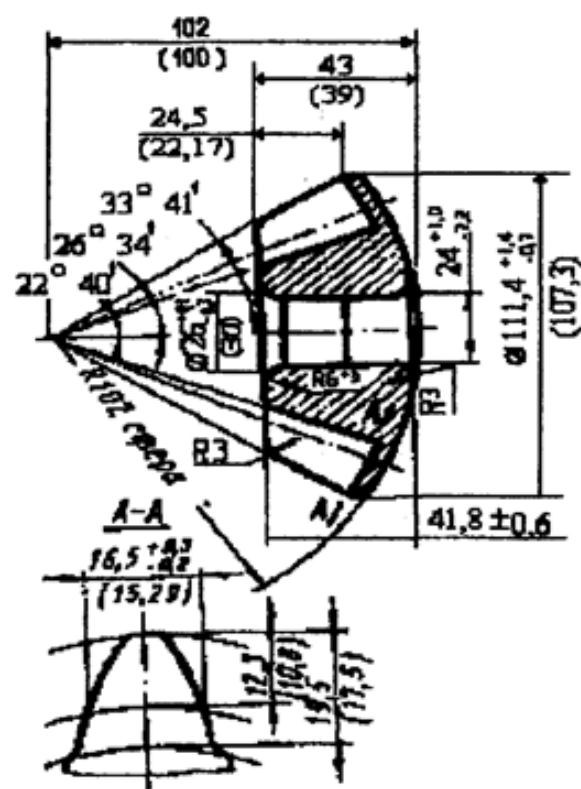


Рис.4. Чертеж поковки сателлита автомашины МАЗ-200.



этой цели достаточно усилия 908 т. (Пресс в 1500 т выбран из-за отсутствия механических ковочных прессов меньшей мощности.)

Как показывает практика других заводов, штамповка шестерен с зубом возможна не только на механических ковочных прессах. В Чехо-

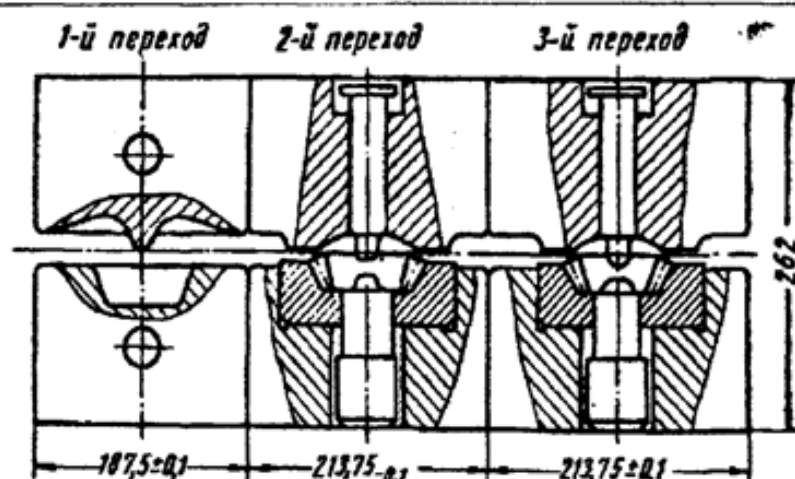


Рис.5. Штамп для поковки сателлита трактора «Беларусь».

словакии штамповку сателлитов  $m = 6,5$  мм,  $z = 11$  производят на фрикционных прессах мощностью 250 т.

Возможна штамповка конических шестерен с зубом и на горизонтально-ковочных машинах. Сателлит штампуется в три ~~перехода~~ перехода.

Как видно из эскиза (рис. 5), ковочный штамп

состоит из трех частей, которые соответствуют количеству переходов. Все три части крепятся в ковочном пакете, установленном на прессе и имеющем систему выталкивания.

Кубик для первого перехода применяется из стали 5ХНВ с твердостью НВ 363-415 и служит для осадки заготовки. Стойкость этого кубика высокая и составляет примерно 10—15 тысяч поковок.

Нижний кубик для второго перехода состоит из двух частей: самого кубика и вкладыша. Кубик изготавливается из стали 40Х с твердостью НВ 321-363.

Вкладыш представляет собой цилиндр с выштампованным обратным профилем конической шестерни и нагорячо посажен в нижний кубик. Верхний кубик имеет весьма простую фигуру, поэтому изготавливается из стали 5ХНВ с твердостью НВ 363-415.

В средней части фигуры как в верхнем, так и в нижнем штампе имеются надшиватели — «бонки», которые одновременно являются выталкивателями.

Аналогично изготовлен комплект окончательного ручья. Комплекты предварительного и окончательного ручья изготавливаются взаимозаменяемыми, что дает возможность увеличить срок службы штампа, так как после потери размеров окончательного ручья его зачищают и ставят на место предварительного ручья.

Как показал опыт, наибольшую стойкость дают вкладыши, изготовленные из стали 3Х2В8 с твердостью НВ 444—514.

Суммарная стойкость вкладыша, т. е. стойкость его в предварительном и окончательном переходах, доходит до 3000 шт.

Как видно из рис. 5, зубья в штампе расположены в нижних кубиках. Это сделано для того, чтобы при переносе поковки из предварительного ручья в окончательный зубья поковки легче попадали во впадины вкладыша. Отрицательной стороной такого расположения ручьев является длительное соприкосновение горячего металла с тонкими выступающими частями вкладыша, а также затруднительная очистка ручьев от окалины.

Для охлаждения вкладышей и выдувки окалины подается сжатый воздух из системы охлаждения и смазки штампов. В качестве смазки в настоящее время применяется обычное машинное масло. Ведутся работы над применением более прогрессивной смазки, а также над механизацией подачи ее в штамп.

Производительность при штамповке этого сателлита доходит до 800—1000 шт. в смену. Основной износ штампа идет за счет получения поперечных разгарных трещин (рис. 6, а), а также происходит «слизывание» радиуса  $R$ , что приводит к неполному открытию профиля зуба при токарной обработке поковок.

Осадка и утолщение вершин зубьев (рис. 6, б) ведет к утонению ножки зуба поковок, и при механической обработке в этих местах остаются черноты по ножке зуба.

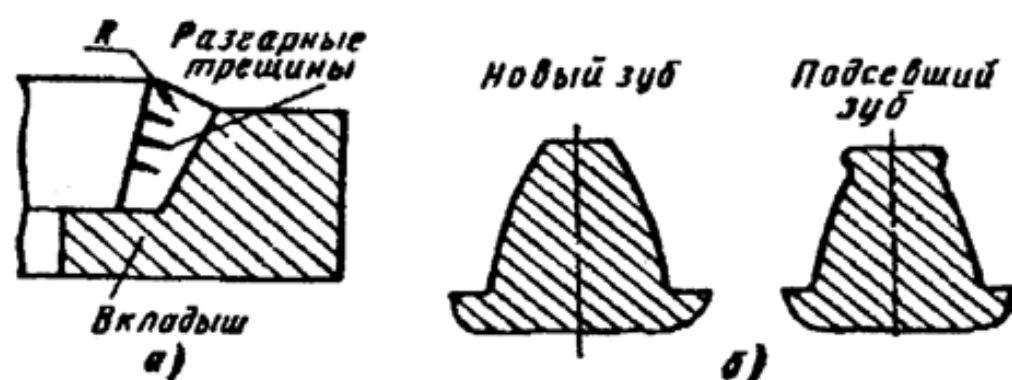


Рис. 6. Разрушение вершины зубьев вкладыша: Образование разгарных трещин — а, деформация зуба вкладыша — осадка вершины зуба — б.

Для увеличения стойкости штампа и уменьшения брака по черноте, который остается после строжки в результате подсадки зуба вставки при штамповке, припуск по профилю зуба необходимо давать переменный по сечению с увеличением его к ножке зуба.

После штамповки поковка сателлита поступает по траковому транспортеру к обрезающему штампу. В обрезающем комбинированном штампе (рис. 7) производится обрезка облоя по диаметру  $111,4^{+1,4}_{-0,7}$  и прошивка отверстия диаметром  $26^{+0,5}_{-1,3}$ .

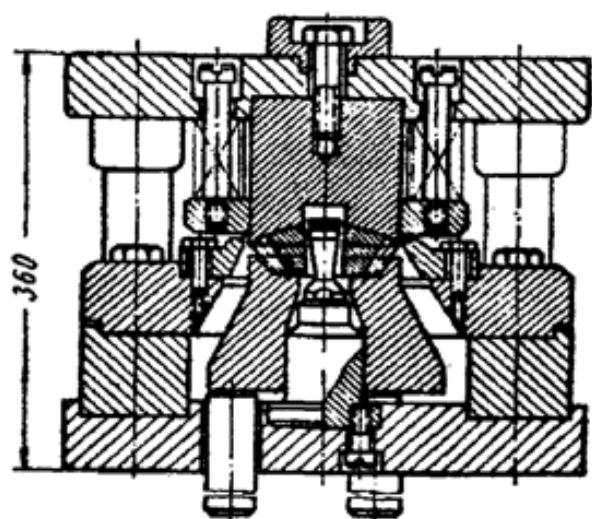


Рис. 7. Обрезающий штамп сателлита автомашины МАЗ-200 в первоначальном виде.

На верхней плите обрезающего штампа крепится пуансон с пружинным съемником.

Поковка укладывается на фиксатор нижней части штампа, который проходит через отверстие матрицы и опирается своей нижней частью на три шпильки пружинного буфера; через фиксатор проходит стойка со сменными прошивниками.

Как показал опыт работы, фиксатор необходимо изготавливать из двух частей: из самого фиксатора и его основания.

Основание фиксатора имеет форму, подобную форме, показанной на рис. 7. Фиксатор представляет собой штампованную вставку (большей частью использованную), обточенную до диаметра обрезаемой поковки и навинченную на основание.

После обрезки и прошивки поковка возвращается в исходное положение.

Пружинные буфера специально сконструированы и смонтированы во все обрезающие прессы цеха, так как при обрезке облоя и прошивке цилиндрических шестерен в комбинированном штампе производится и правка поволоков за счет того, что обрезка и прошивка поволоков ведется в сжатом состоянии. Пружинные буфера развивают усилие до 25 т на 160-тонных обрезающих прессах и до 30 т на 250-тонных обрезающих прессах.

При обрезке сателлита от неточности установки прошивника получается смещение отверстия, а при наличии небольшого облоя и затупленного инструмента облой заворачивается и требуется зачистка заусенца.

После штамповки, обрезки и прошивки сателлит подвергается термообработке (нормализации) в мазутных нормализационных печах при температуре  $960 \pm 10^\circ$  с выдержкой 180 мин. Твердость после нормализации  $HB\ 229-170$ .

За нормализацией следует тщательная очистка в дробеметном барабане до серого цвета и отправка в механический цех.

Подобная технология применяется и при изготовлении шестерни полуоси автомашины МАЗ-200 (рис.8), которая штампуется из стали 12ХНЗА или 18ХГР из заготовки диаметром  $80 \times 180^{+2}_{-1}$  на прессе МКП-2500 т в три перехода.

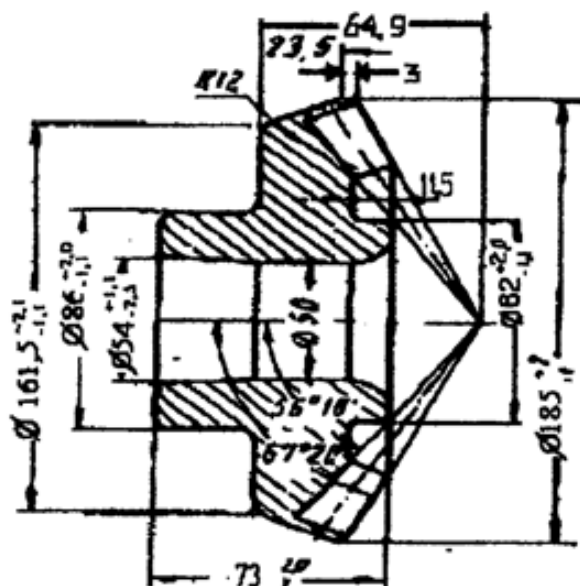


Рис.8. Чертеж поковки шестерни полуоси автомашины МАЗ-200.

Штамповка сателлита трактора «Беларусь» производится так же, как и штамповка сателлита автомашины МАЗ-200; отличаются только вкладыши в штампе из-за различных параметров сателлитов.

Для проверки и контроля поковок, штампуемых с зубом, применяются два приспособления. Первое приспособление (рис. 9) имеет вращающуюся шайбу со штырями, на которые укладываются поковки. На устанавливаемую поковку подводится индикатор для определения отклонений, учитывающих недоштамповку, и изменений по толщине зуба. Предельные отклонения индикатора указываются в техусловиях на поковку.

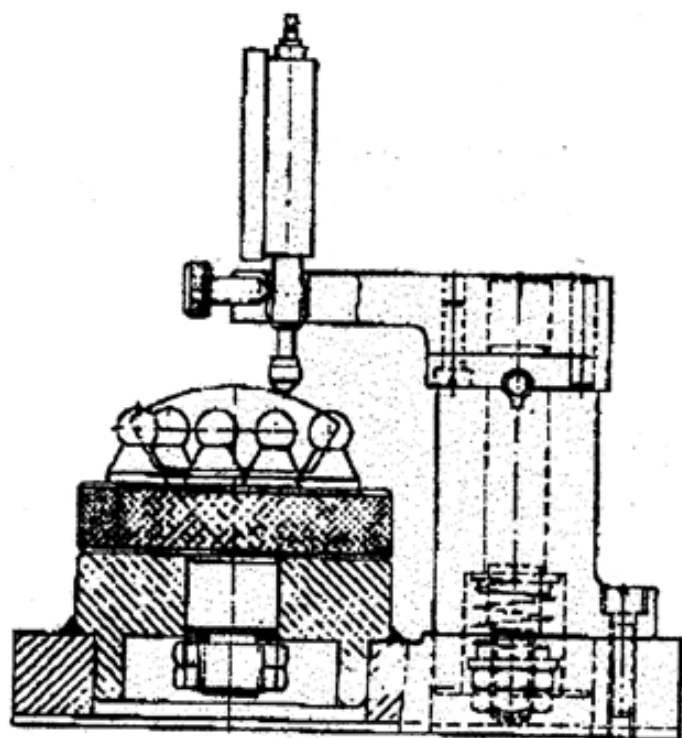


Рис.9. Контрольное приспособление для определения фактического припуска.

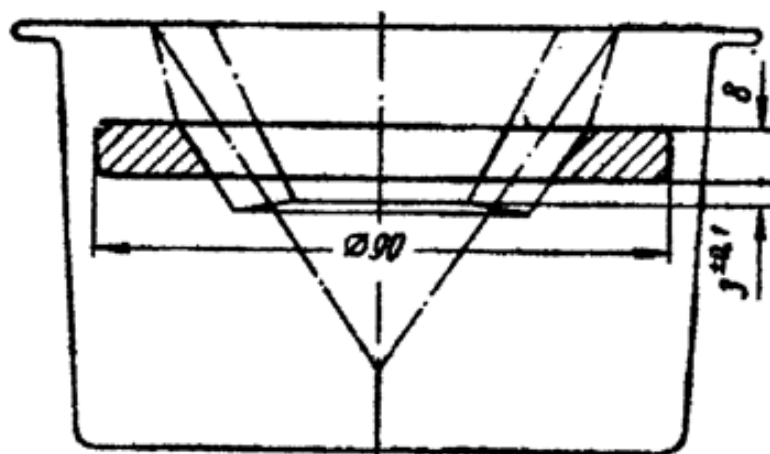


Рис.10. Контрольное кольцо для проверки профиля зуба и равномерности шага поковки сателлита.



Вторым приспособлением является контрольное кольцо (рис. 10), которое позволяет проверить равномерность шага и позволяет судить о толщине зуба по высоте опускания кольца. Кольцо вырезается из отштампованной и термообработанной вставки с последующей доводкой зубьев.

На заводе «Запчасть» опробована штамповка конических шестерен с зубом на горизонтально-ковочных машинах. Была отштампована партия сателлитов автомашины ГАЗ-51 на горизонтально-ковочной машине 226 т (2,0"). Штамповка производилась из прутка диаметром 28 мм на высадочном штампе, представленном на рис. 11. Как видно из эскиза, штамп состоит из четырех переходов - набор конуса, предварительная штамповка, окончательная штамповка, прошивка и отсечка выдры. Как показала практика, на ковочной машине необходимо отказаться от предварительной штамповки зуба, так как нет точной фиксации прутка при перекладке из предварительного ручья в окончательный, что приводит к несовпадению выступов ручья с впадинами шестерни. Теперь предварительный ручей используется как запасной окончательный ручей, а вновь спроектированный штамп имеет только три перехода.

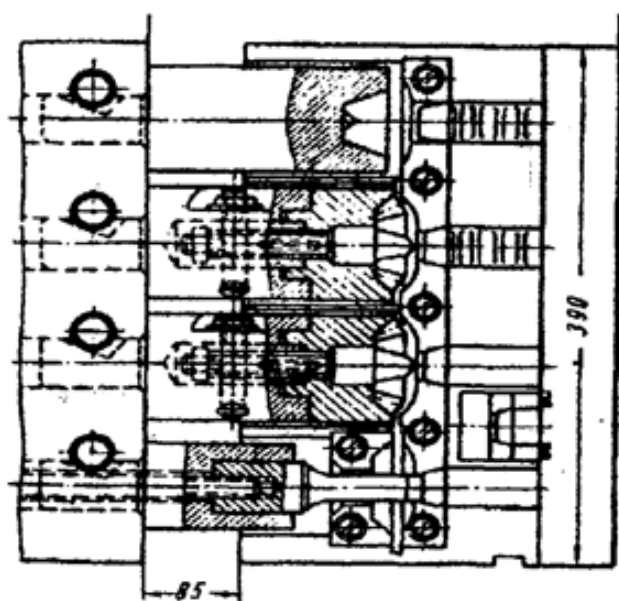


Рис. 11. Штамп на сателлит автомашины ГАЗ-51.

Сателлит штампуется с небольшим развернутым заусенцем, который обрезается при механической обработке, и с прошитым отверстием диаметром 18 мм.

Вставки окончательных переходов пуансона штампуются на механическом ковочном прессе 2500 т; технология изготовления вставок для горизонтально-ковочной машины ничем не отличается от технологии изготовления вставок для прессов.

При штамповке сателлита на горизонтально-ковочной машине выяснилось, что условия работы инструмента, особенно для вставки-пуансона при формировании зуба, значительно лучше, так как он находится в соприкосновении с горячим металлом только в момент удара. Как видно из эскиза, применены быстросъемные составные пуансоны, что значительно облегчает переналадку штампа.

Улучшаются условия удаления окалины из штампа и условия его охлаждения.

Ведется разработка штампов для валиков, имеющих на конце конические шестерни с прямым зубом, для штамповки их на горизонтально-ковочной машине от заднего упора. С вводом в эксплуатацию МКП – 4000 т намечается перевести на штамповку с зубом ведомую коническую шестерню главной передачи трактора ДТ-54 ( $z=41$ ,  $m=7$  мм).

Ввиду того что мощность прессы недостаточна для штамповки вставок на эту шестерню (для этого необходим пресс мощностью 8000-10000 т), матрица будет изготовлена путем механической обработки. Для данной шестерни это будет возможно вследствие большой развернутости конуса.

#### **4. Типовые технологические маршруты механической обработки конических зубчатых колес**

**Материал.** Состояние стали (твердость, предел прочности на растяжение, структура материала) оказывает большое влияние на прочность зубчатого колеса, обрабатываемость резанием, стойкость режущего инструмента, производительность станка, деформирование при термической обработке, параметр шероховатости поверхности. При обработке цементуемых сталей хороших результатов достигают, когда заготовки перед механической обработкой подвергают изотермическому отжигу. Заготовки должны иметь перлитно-ферритную структуру и твердость HB 170-200. Для заготовок из углеродистых сталей применяют нормализацию.

Заготовки должны обрабатываться по малоотходной или безотходной технологии. Малые припуски, помимо экономии металла, позволяют работать на повышенных режимах резания с высокой производительностью, обеспечивая при этом высокую точность обработки.

Размер колеса является определяющим фактором при выборе метода нарезания и модели станков для обработки зубьев и заготовки. Обычно зубчатые колеса с модулем примерно до 4 мм нарезают за одну операцию, если достигается необходимое качество. Колесо с модулем 4-10 мм нарезают за две операции – черновую и чистовую.

**Оборудование.** Для изготовления небольших партий зубчатых колес выбирают универсальное оборудование, простейшие методы обработки и режущий инструмент. При выпуске большого числа деталей необходимо применять автоматизированное оборудование. Станки должны обеспечивать высокую производительность, должны иметь повышенные жесткость и мощность главного электродвигателя. Зуборезные станки, на которых выполняются наиболее трудоемкие операции

зубообработки, должны иметь резерв жесткости и мощности по сравнению с модулем обрабатываемого колеса в 2-4 модуля.

Требования к качеству изготовления существенно влияют на выбор метода нарезания зубьев и структуру технологического процесса. Высокая точность, плавность вращения и низкий параметр шероховатости поверхности зубьев зубчатых колес требуют дополнительных отделочных операций при обработке базовых поверхностей и профиля зубьев.

Технологический процесс обработки зубчатого колеса условно можно разделить на две основные части: механическую обработку заготовки до и после зубообработки и непосредственно зубообработку. Основное время, затрачиваемое на зуборезные операции (нарезание зубьев, снятие фасок, подбор в пары и удаление забоин, притирка зубьев), достаточно велико и составляет 70-75 % времени суммарного технологического процесса. Ниже даны рекомендации по выбору наиболее эффективных технологических процессов обработки заготовок и методов нарезания зубьев.

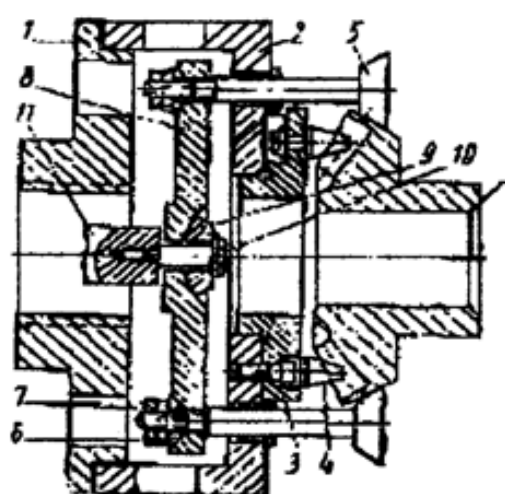


Рис.12 Патрон на первой операции механической обработки шестерен полуоси автомашины МАЗ-200.

Решающей в механической обработке поковок с зубом является первая операция. Она определяет дальнейшую судьбу заготовки. Поэтому важно обработать отверстие и базовый торец отштампованного зуба.

В соответствии с этим и сконструированы патроны для первых операций обработки всех подобных поковок. Во всех случаях опорой для зуба служат штифты с конической или сферической головкой.

Опыт показывает необходимость базирования таких поковок на жестких штифтах, а не на шариках, как делают на некоторых заводах.

Кроме того, нельзя ограничиваться тремя штифтами. Лучшие результаты получаются при 5-9 штифтах. Количество штифтов выбирается в зависимости от числа зубьев обрабатываемой шестерни.

Сателлит автомашины МАЗ-200 имеет 11 зубьев. Схема патрона для него изображена на рис. 12. Патрон (рис. 12) имеет 7 базовых конических штифтов.



К планшайбе 1 крепится корпус патрона 2. В проточенной на месте выточке сидит шайба 3 с штифтами 4. Три кулачка 5 к штифтам прижимается заготовка. При помощи сферической шайбы 6, гаек и контргаек 7 кулачки соединяются с крестовиной 8. Последняя, в свою очередь, при помощи сферической шайбы 9 и болта 10 соединена с тягой 11 пневматического цилиндра. (Разрез дан по радиусам, угол между которыми—  $120^{\circ}\text{C.}$ )

Отверстия под штифты 4 расточены на координатно-расточном станке. В передней стенке патрона после установки на револьверный станок типа 1Е365Б делают обточку для корпуса патрона 2. Это обеспечивает большую точность.

Зажим заготовки производится по заднему конусу тремя кулачками 5, опирающимися на сферические выточки крестовины 8 через сферические шайбы 6. Сама крестовина шаровым шарниром связана с тягой 11 пневматического цилиндра. Это позволяет кулачкам самоустанавливаться по поковке, не смещая ее с штифтов. Применявшийся в начале испытаний байонетный патрон себя не оправдал, и от него отказались.

У шестерни на первой операции подрезается торец венца, являющийся базовым при протягивании эвольвентных шлицев. Отверстие растачивается резцом, закрепленным в оправке револьверной головки. Вторым резцом, установленным в той же оправке, снимается фаска.

Зенкеровать отверстие не рационально, так как зенкер не обеспечивает перпендикулярности оси отверстия к подрезанному торцу, — зенкер «уводит» вследствие неравномерности припуска.

Протягивание отверстия у этой детали ведется с базой на подрезанный торец венца на жесткой опоре.

При обработке этой шестерни отпадают три операции: сверление отверстия, проточка выточки и черновое фрезерование зуба. Обточка заднего конуса идет по пленке, которая образуется при штамповке. Это создает непрерывную, а не ударную нагрузку при снятии большей части припуска и улучшает условия работы резцов.

Заготовка полуосевой шестерни имеет припуск по эвольвенте 0,8 мм на сторону, а по наружному конусу 1,8 мм. По дну впадины, так же как и у сателлита, при строжке остается необработанная канавка глубиной 0,5 мм, что разгружает резцы.

Обработка наружного конуса шестерни по зубу (ударная нагрузка) не представляет особых затруднений. Для этого применяют резец с пластинкой твердого сплава Т14К8 (форма 0828; скорость  $V=130$  м/мин; подача  $s=0,15$  мм/об).



Остальные операции ничем не отличаются от операций при обычной технологии.

На рис. 13, а показана схема обработки заготовки конического колеса со ступицей за две операции. На первой операции производят чистовое протачивание опорного торца, внешнего диаметра ступицы ( $\varnothing 60,5_{-0,06}^{+0,06}$  мм) и черновое зенкерование отверстия. Заготовку закрепляют по внешней поверхности. На второй операции производят чистовое протачивание конуса вершин зубьев, заднего конуса, переднего торца и растачивание отверстия. Заготовка имеет диаметр 122 мм,  $l=65$  мм, время обработки на каждой операции  $T_{шт}=1,5$  мин.

Схема обработки заготовки конического колеса-диска за две операции показана на рис. 13, б. На первой операции производят чистовое растачивание базового отверстия и протачивание опорного торца, на второй операции – чистовое протачивание конуса вершин зубьев, заднего конуса и переднего торца. Заготовка имеет диаметр 165 мм, время обработки на каждой операции  $T_{шт}=0,67$  мин.

Шлифование двух базовых торцов и отверстия заготовки конического колеса со ступицей за один установ в трехкулачковом патроне показано на рис. 14. Одновременная обработка конструкторской и технологической баз заготовки профильным шлифовальным кругом позволяет обеспечить высокую точность взаимного расположения обрабатываемых поверхностей при высокой производительности. Правка шлифовального круга для обработки базовых торцов осуществляется алмазным роликом 1 и алмазным наконечником 2. Время шлифования, включая правку круга,  $T_{шт} = 1,25$  мин.

С целью большей эффективности и мобильности автоматизации в мелко- и среднесерийном производстве созданы токарные и токарно-фрезерные гибкие производственные модули (ГПМ). Благодаря возможности комплексной обработки заготовок с одного станка значительно возрастает эффективность ГПМ. Станки с ЧПУ, управляемые от ЭВМ, снабжаются инструментальной револьверной головкой, благодаря чему они могут выполнять токарные, фрезерные и сверлильные работы.

На токарных операциях широко применяют неплетачиваемые твердосплавные пластины с механическим креплением. Трехслойное покрытие твердосплавных пластин (верхнее покрытие — нитрид титана, среднее — окись алюминия, нижнее — карбид титана) позволяет повысить период стойкости инструмента на 50 % по сравнению со стойкостью инструмента, имеющего покрытия других видов.

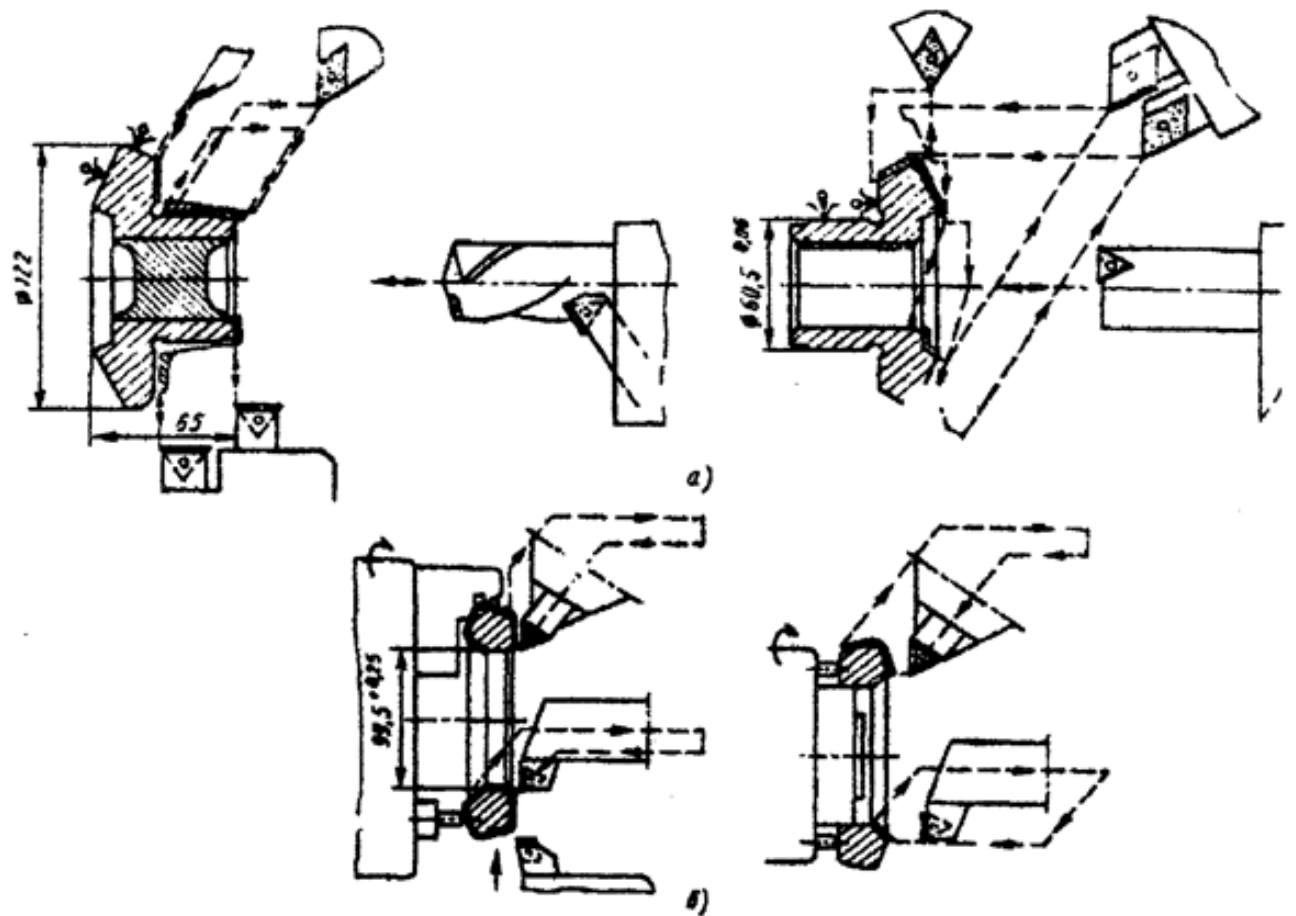


Рис.13. Схемы обработки заготовок:

а — конического колеса со ступицей; б — конического колеса-диска.

При обработке базовых поверхностей заготовок конических колес типа диска и вала в последнее время шлифование заменяют точением. Высокая и стабильная точность достигается с применением на станке устройств активного контроля. Автоматические измерения диаметра заготовки в процессе обработки и подналадка станка обеспечивают более высокую точность диаметра, чем точность, достигаемая другими методами обработки.

При обработке прямозубых конических колес замена строгания зуба двумя резцами фрезерованием двумя дисковыми фрезами методом обката позволяет повысить производительность примерно в 4 раза при одинаковом качестве и сохранении взаимозаменяемости. Замена нарезания зубьев двумя дисковыми фрезами круговым протягиванием позволяет повысить производительность станка более чем в 4,5 раза.

Черновое нарезание конических и гипоидных колес с круговыми зубьями является самой трудоемкой зуборезной операцией, поэтому на этой операции зубья нарезают на специальных высокопроизводительных станках специальными зуборезными головками. Зубья колеса (большого из пары) нарезают методом врезания трехсторонней

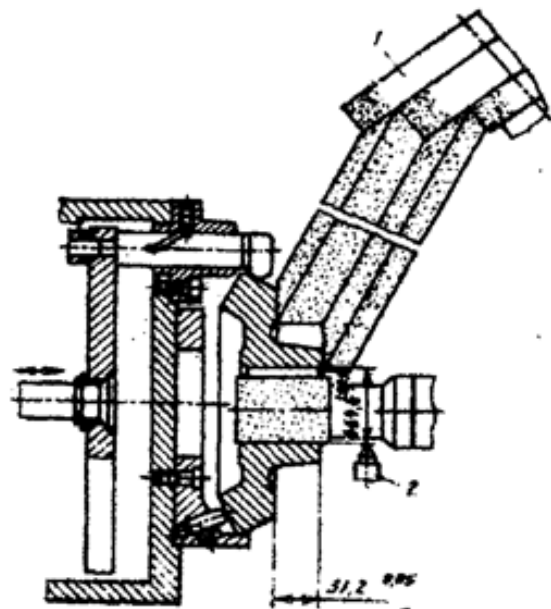


Рис.14. Схема шлифования базовых поверхностей конического колеса со ступицей.

резцовой головкой, зубья шестерни — методом обкатки двусторонней зуборезной головкой. Зуборезные головки имеют повышенную жесткость и увеличенное число резцов по сравнению со стандартными.

При нарезании зубьев колеса направление вращения зуборезных головок целесообразно выбирать одинаковым с направлением линии зуба. Резание производится от внутреннего конца зуба к наружному, что способствует удержанию заготовки в зажимном приспособлении. Нарезание зубьев шестерни производят с попутной подачей, когда направление вращения зуборезной головки противоположно направлению линии зуба.

При чистовом нарезании зубьев колеса методом копирования (полуобкатная передача) производительность в 3 - 4 раза выше, чем при обкатке. Чистовое нарезание зубьев шестерни осуществляют односторонними зуборезными головками методом обкатки с попутной подачей.

Применение твердосплавных зуборезных головок при обработке колес со штампованными и закаленными зубьями повышает производительность и период стойкости инструмента. Покрытие резцов из быстрорежущей стали нитридом титана повышает период стойкости примерно в 2 раза по сравнению с периодом стойкости резцов без покрытия. Значительное повышение производительности периода стойкости достигается при замене зуборезных головок с затылованными резцами головками с острозаточенными резцами.

Применение станков-автоматов и автоматических линий по сравнению со станками с ручной загрузкой позволяет повысить производительность, качество обработки, высвободить производственных рабочих и т. д. У станков-автоматов при работе методом кругового протягивания производительность выше на 30-40 %, чем у станков с ручной загрузкой. У станков для чернового и чистового нарезания круговых зубьев колес-дисков, соединенных попарно в автоматические линии, производительность на 20—25 % выше, чем станков с ручной загрузкой. Черновое и чистовое нарезание зубьев шестерни на многоцелевых

станках, состоящих из специальных четырех станков (два для чернового и два для чистового нарезания), позволяет повысить производительность в 4 раза по сравнению с производительностью обычных станков.

В мелко- и среднесерийном производстве конических зубчатых колес целесообразно применять зуборезные станки с ЧПУ. Быстрая, удобная и надежная наладка с помощью отработанной программы и цифрового управления значительно сокращает время на переналадку и повышает точность обработки. Зуборезные станки с ЧПУ при ограниченном числе осей координат находят применение в автоматических линиях массового производства.

На рис. 15 дан чертеж конической шестерни с  $Z = 28$  и  $m_n = 12$  мм, материал – сталь 30ХГТ, а на рис. 16 – два варианта ее заготовки.

Все поверхности подвергаются технической обработке, зубья цементируют на глубину 0,8 – 1,2 мм, закаливают и отжигают до твердости HRC 56 и выше. Биение поверхности А относительно поверхности В допускается не более 0,05 мм, биение поверхности Б на диаметре 200 мм — не более 0,1 мм. Восемь равномерно расположенных отверстий диаметром 18Н8 мм сверлят и развертывают вместе, с парной деталью — фланцем малой цилиндрической шестерни. Свободные размеры на чертеже обрабатываются по 14-му качеству точности.

На рис. 16, а приведен чертеж штампованной заготовки с радиусами закругления 8 - 10 мм. Смещенность оси отверстия диаметром  $115 \pm 4$  мм относительно диаметра  $348^{+3}_{-1}$  мм допускается до 3 мм. Для сравнения на рис. 16, б приведен чертеж заготовки данной шестерни, полученной ковкой. Из сопоставления рисунков видны величины припусков на механическую обработку и допуски при разных видах заготовок.

Технологическая обработка детали следующая.

*На первом этапе*, при черновой обточке, штамповку устанавливают в трехкулачковый патрон со специальными кулачками токарно-винторезного станка 163. В случае применения заготовки, показанной на рис. 11, б, ее устанавливают в четырехкулачковый патрон и выверяют на радиальное и торцовое биение, доводя его до нормы. Обычно выверка и окончательная установка детали требуют больших затрат времени. Подрезают торец II (рис. 17) до размера 60 мм, растачивают отверстие диаметром 135Н8 мм под размер оправки, имеющейся при станке, и снимают фаску  $2 \times 45^\circ$ . Допускается биение торца относительно оси отверстия не более 0,05 мм.





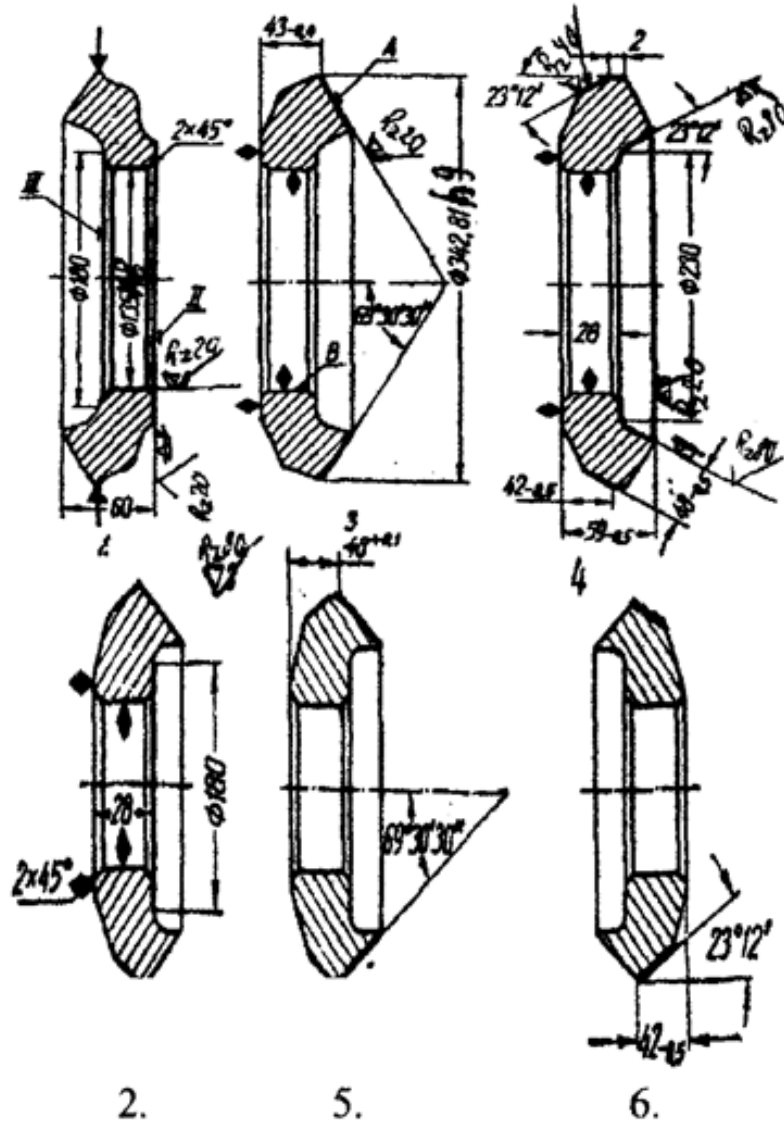


Рис. 17. Первый этап изготовления шестерни:

1, 2, 3 и 4— черновая токарная обточка; 5 и 6 - чистовая токарная обточка.

После этого заготовку поворачивают на  $180^\circ$  и зажимают в трехкулачковом патроне с мягкими кулачками изнутри по поверхности расточенного отверстия к торцу. Подрезают торец III на диаметр 180 мм, выдержав размер 28 мм, и снимают фаску  $2 \times 45^\circ$  с другой стороны. Протачивают поверху начерно поверхность до диаметра 342,81 h8 мм и конус под углом  $69^\circ 30' 30''$ , выдержав размер  $43_{-0,4}$  мм. При этом допускается биение поверхности A относительно поверхности B не более 0,05 мм. Угол конуса проверяют шаблоном. Деталь снимают со станка для контроля размеров. Затем деталь устанавливают на станке аналогично предыдущему, подрезают торец от обработанной поверхности до диаметра 230 мм, выдержав размер  $59_{-0,5}$  мм. Протачивают внутренний конус под углом  $23^\circ 12'$ , выдержав размер  $48_{-0,5}$  мм, и наружный конус под углом  $23^\circ 12'$ , выдержав размер  $42_{-0,5}$  мм.

При чистовом обтачивании деталь устанавливают на консольную оправку, а последнюю — в шпиндель токарно-винторезного станка 163. Протачивают начисто конус под углом  $69^{\circ}30'30''$ , выдерживая размер  $48^{+0,1}$  мм. Деталь поворачивают на оправке на  $180^{\circ}$  и протачивают начисто задний конус под углом  $23^{\circ}12'$ , выдерживая размер  $42_{-0,5}$  мм.

На втором этапе обработки деталь устанавливают на оправку специального делительного приспособления которое, в свою очередь, устанавливают на стол горизонтально-фрезерного станка для чернового нарезания зубьев. При этом делительная окружность зубьев должна находиться в горизонтальной плоскости (рис. 18). Дисковой модульной фрезой фрезеруют зубья начерно до размеров  $h = 8,64$  мм и  $b = 19,9^{+0,4}$  мм (по большому конусу). Контроль производят при помощи зубомера.

Для чистовой обработки зубьев деталь устанавливают на оправку зубострогального станка. Зубья строгают методом обкатки до размеров:  $h = 8,64$  мм;  $b = 16,41_{-0,4}^{+0,2}$  мм специальными резцами для  $m = 12$  мм типа IV. Стандартные зубострогальные резцы изготавливаются по ГОСТу 5392-80 четырех типов и предназначены для нарезания конических шестерен с прямым зубом.

Каждый из типов отличается габаритными размерами и способом крепления к резцедержателю. Резцы I типа охватывают модули от 0,3 до 3,25 мм, II типа - от 0,5 до 5,5 мм, III типа - от 1 до 10 мм и IV типа - от 3 до 20 мм. Резцы изготавливают сварными, при этом режущую часть - из быстрорежущей стали P18, P9 и 9ХВГ, державочную часть - из стали 45Х. Каждая из этих частей термически обрабатывается: первая до HRC 62—65, вторая до HRC 30—40. Заточку резцов контролируют специальным шаблоном.

После нарезания зубьев зачищают заусенцы.

При проверке зубьев изготовленной шестерни с парной (эталонной) шестерней на специальном приборе величина пятна контакта зубьев (рис. 19, а) должна быть не менее 30% по высоте и 40% по длине зуба. Большие размеры пятна касания должны быть у более тонкой части зуба и меньшие - у более толстой.

Ввиду того что на предыдущих операциях в качестве базирующих и зажимных поверхностей использовались торец и отверстие шестерни, третий этап ее изготовления начинают с повторной обработки этих поверхностей. Деталь устанавливают по внутреннему отверстию в патроне токарного станка 163 на разжим и подрезают торец до размера 26 мм по диаметру 230 мм, выдержав радиус  $R = 5$  мм (рис.20).

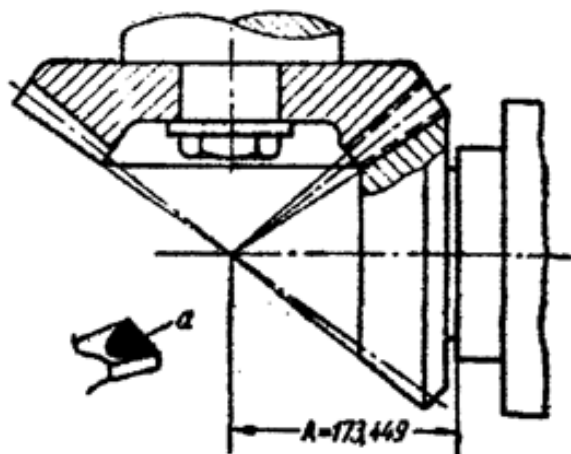


Рис.19. Контроль пятна контакта зубьев изготовленной шестерни

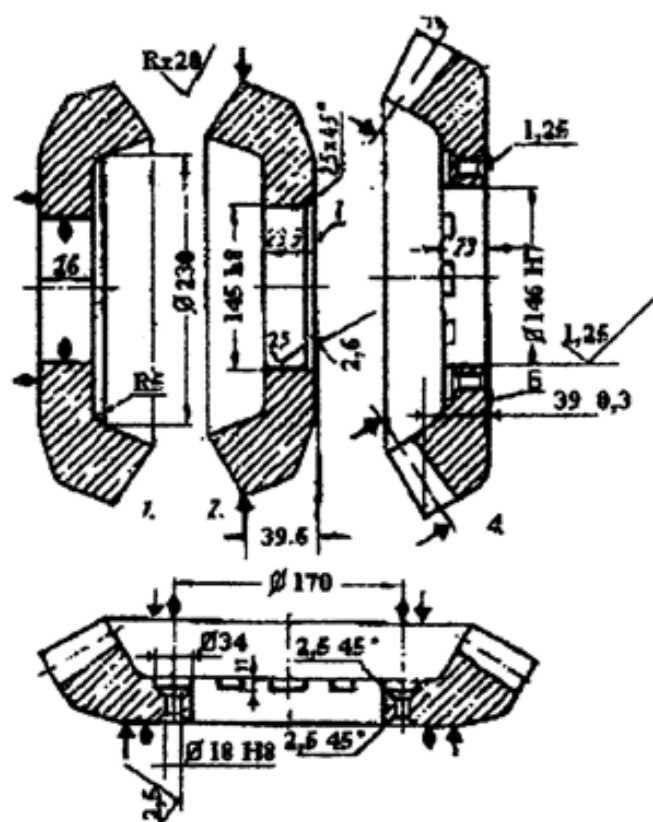


Рис.20. Третий этап изготовления шестерни: 1 и 2 — повторная обработка технологических баз; 3 -обработка отверстий; 4 - окончательная отделка базовых поверхностей

Деталь устанавливают по наружному диаметру в специальных кулачках, растачивают отверстие диаметром 145H8 мм на проход, снимают фаску  $2,5 \times 45^\circ$ , подрезают торец I, выдержав размер 23,5 мм. Затем деталь устанавливают на стол радиально-сверлильного

станка 2Н55\* и по кондуктору сверлят восемь отверстий диаметром 16,25 мм и зенковкой диаметром 22 мм снимают с них фаску  $2,5 \times 45^\circ$ . После этого коническую шестерню устанавливают в сборе со смежной деталью (фланцем малой цилиндрической шестерни), зенкеруют отверстия до диаметра 17,8 мм и развертывают до диаметра 18H8 мм.

Пользуясь обработанными отверстиями как базой, при помощи специальной зенковки с направляющим хвостовиком в восьми отверстиях зенкеруют углубления диаметром 34 мм на глубину  $h = 11$  мм и снимают фаску  $1,5 \times 45^\circ$ . После этого проводят контроль механической обработки, цементацию, закалку и отпуск шестерни до твердости, указанной в рабочем чертеже. При этом отверстие и наружный торец шестерни предохраняют от цементации для окончательной механической обработки.

\* В настоящее время предпочтительнее применение станка с ЧПУ мод. 600V.



При контроле проверяют чистоту обработки поверхностей, указанную в чертеже и на технологических эскизах, диаметральные линейные размеры, зубомерные размеры, отсутствие забоин, заусениц и следов черновой обработки.

Закалку венцовых шестерен (без ступиц) больших диаметров целесообразно проводить на закалочных прессах (рис.21).

Здесь закаливаемую шестерню укладывают на сменную втулку матрицы 4, благодаря чему увеличивается ее опорная поверхность, и центрируют относительно штампа 5 сменным пуансоном, изготовленным по размеру отверстия шестерни. Нагретую для закалки шестерню укладывают в пресс, где она зажимается между штампом и матрицей, после чего подают закалочную жидкость. При этом происходит равномерное охлаждение закаливаемой детали для предупреждения ее коробления.

Для окончательной отделки сборочной базовой поверхности деталь устанавливают по наружному диаметру в специальные кулачки и растачивают центральное отверстие до диаметра 146H7 мм (см. рис.22), подрезают торец 1, выдерживая размер 23 мм и  $39 \pm 0,3$  мм. При этом биение поверхности Б на диаметре 200 мм должно составлять не более 0,1 мм. При указанной обработке базой является делительная окружность зубьев шестерни (специальные кулачки заходят между зубьями). Аналогично приспособление для обработки внутреннего отверстия шестерен шлифованием (рис.22).

Предварительное центрирование детали осуществляется прикрепленными к корпусу тремя планками 13. Окончательное базирование детали производится по начальной окружности зубьев при помощи шести шариков 12, которые при помощи лент 10 удерживаются в конических гнездах стоек 9. Концы лент проходят через пазы стоек и

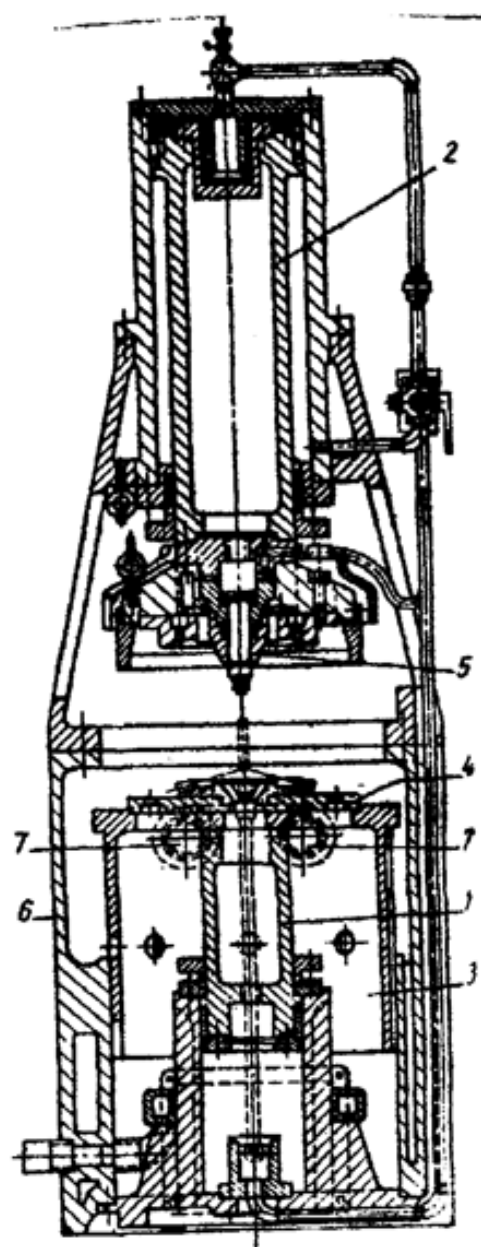


Рис.21. Закалочный пресс для шестерен:  
1 - нижний плунжер;  
2 - верхний плунжер;  
3 - цилиндр; 4 - матрица со втулкой; 5 - штамп с пуансоном; 6 - резервуар;  
7 - сливные трубы

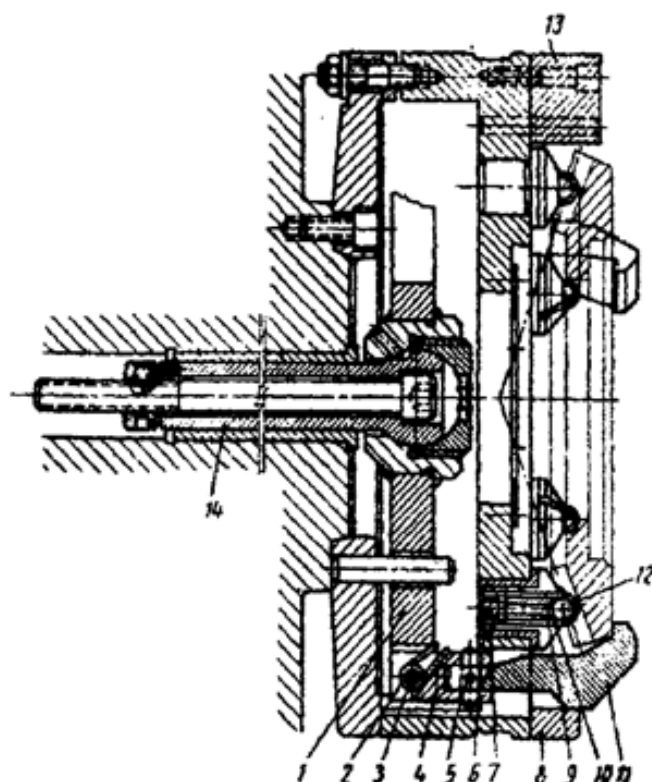


Рис.22. Патрон для окончательной обработки отверстия и торца конической шестерни

закрепляются в гайках 7, которые натягивают ленты винтами 6. К центрирующим элементам деталь прижимается тремя прихватами 11, качающимися вокруг осей 3 и 5. До закрепления детали прихваты вводятся в крайнее правое положение пружинами 4. При закреплении детали усилие от пневматического или механического привода передается прихватам 11 через шток 14 со сферической головкой и самоустанавливающимся коромыслом 1, что способствует равномерному прижиму детали в трех точках. Для предотвращения отклонения прихватов в сторону служат упоры 8. После растачивания отверстия у шестерни снимают заусенцы и отправляют на контроль, где проверяют биение поверхностей А и Б относительно поверхности В (см. рис.15).

## 5. Обработка конических вал-шестерен

На рис.23 приведен рабочий чертеж шестерни-вала с числом зубьев  $Z=12$  и нормальным модулем 12 мм.

Кроме зубьев шестерня имеет 16 равномерно расположенных по окружности шлицев с модулем  $m = 4,25$  мм. Материал шестерни - сталь 18ХГТ, подвергается цементации на глубину 1,5—1,9 мм, закалке и отпуску до твердости HRC 56 и выше. Все поверхности подвергаются механической обработке. Допускается биение поверхностей А, В и С относительно оси детали не более 0,03 мм, наружного конуса - не более 0,10 мм, внутреннего диаметра шлицев — не более 0,08 мм. Биение

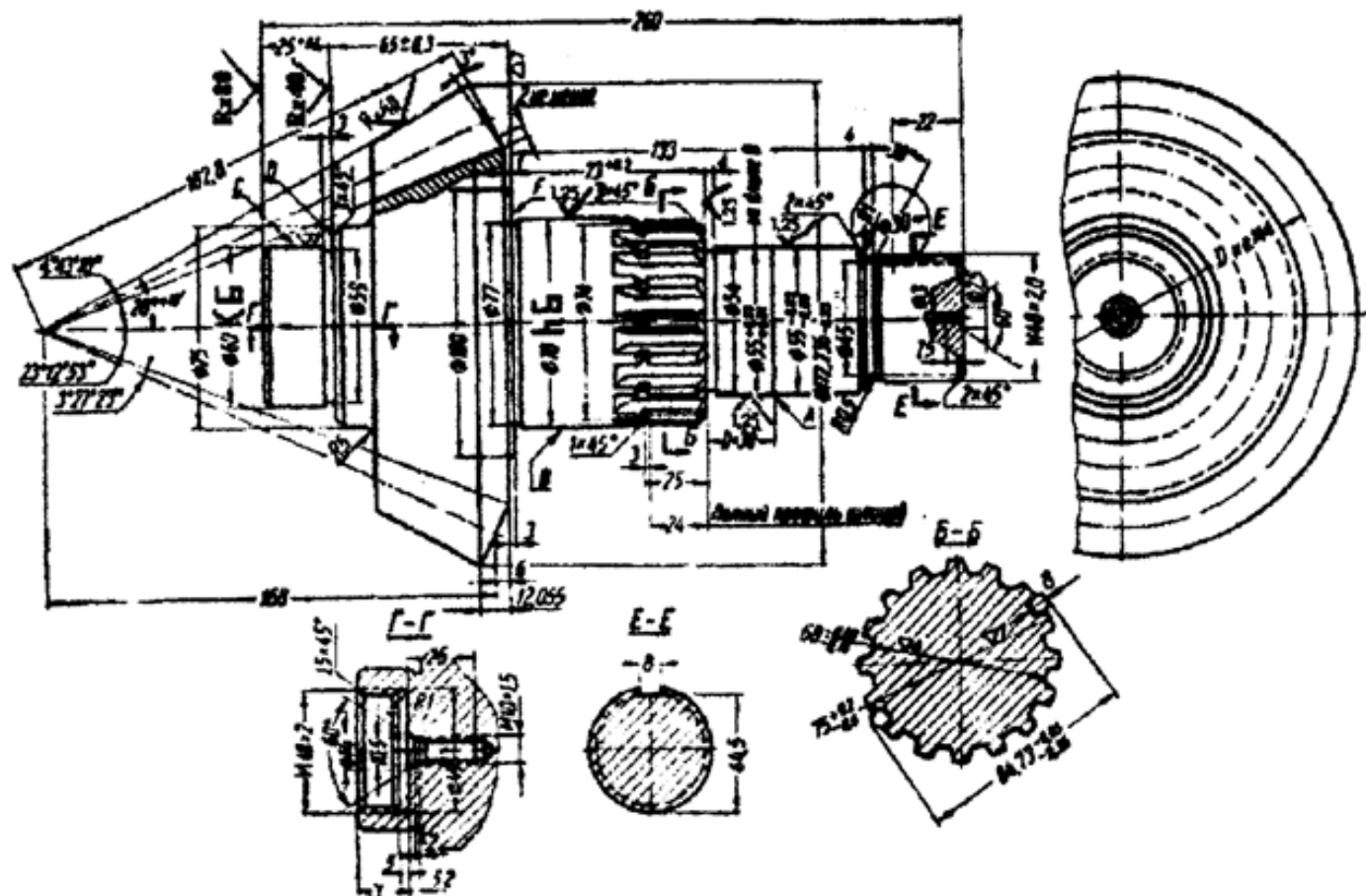


Рис.23. Рабочий чертеж конической вала – шестерни

поверхности  $P$  допускается не более 0,04 мм на радиусе 48 мм и биение поверхности  $B$  - не более 0,04 мм.

Заготовка детали выполняется из прутка штамповкой в подкладном штампе или на горизонтально-ковочной машине.

На первом этапе в крупносерийном производстве подрезку и зацен-

тровку торцов вала производят одновременно специальной инструментальной головкой 1 (рис. 10.4, а). Головку 3 (рис. 24, б) и хвостовик 4 конического колеса-вала обрабатывают резцом 5 за один установ заготовки на специальном токарном гидрокопировальном полуавтомате. Центр 1 - подвижной, вращение заготовки передается от шпинделя станка через острые стержни 2, которые внедряются в торец головки колеса под действием заднего центра.

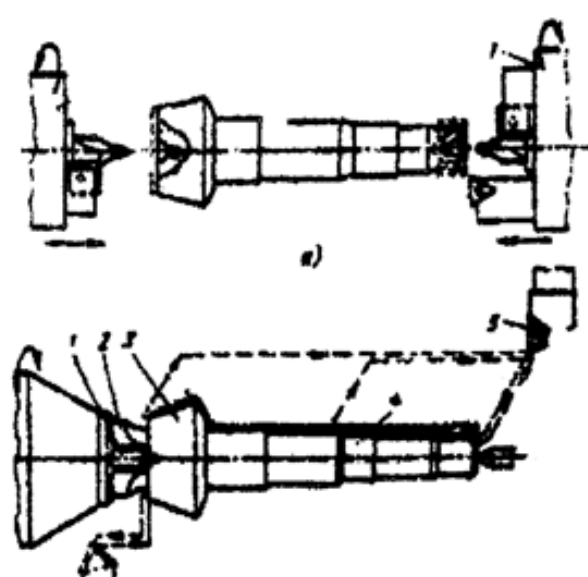


Рис.24. Схемы обработки заготовки конического колеса-вала

На первом этапе обработки при мелкосерийном производстве производят





на длине 260 мм. Обтачивают поверхность до диаметра 175 мм, выдерживая размер  $l = 58$  мм, и пятую шейку до диаметра 63 мм, выдерживая размеры  $l = 70$  и 23 мм.

Обтачивают конусную поверхность шестерни под углом  $85^{\circ}11'50''$ , выдерживая размер  $l = 14$  мм и угол  $28^{\circ} \pm 10'$ .

После этого в торце сверлят отверстие диаметром 8,4 мм на глубину 51 мм, рассверливают его до диаметра 10,5 мм на глубину 26 мм и до диаметра 40 мм на глубину 20 мм. Отверстие рассчитывают до диаметра 45,7H11 мм, подрезая торец в размер  $l = 20$  мм, растачивают канавку диаметром 49 мм,  $l = 5$  мм и фаску  $30^{\circ}$ . Фаску зенкеруют под углом  $60^{\circ}$  на длину 3 мм (для центра станка) и растачивают размером  $1,5 \times 45^{\circ}$  в отверстии; нарезают резцом резьбу M48x2 мм на длине 20 мм и калибруют.

Деталь, в отличие от предыдущего перехода, устанавливают в центрах станка, подрезают торец до размера  $l = 38$  мм, протачивают поверхность до диаметра 60,5h9 мм, выдержав длину 24,9 мм, протачивают канавку диаметром 59 мм, шириной 3 мм, протачивают буртик до диаметра 75 мм на длине 38 мм и снимают две фаски  $1 \times 45^{\circ}$ . Деталь поворачивают на  $180^{\circ}$ , снова устанавливают в центре станка, базируя по центровым отверстиям и производя чистовую обточку. Подрезают торец в размер  $65,4_{-0,3}$  мм, обтачивают буртик до диаметра 100 мм,  $l = 1$  мм, первую шейку до диаметра 78,5h9 мм, вторую шейку до диаметра  $75_{-0,6}$  мм на длине 25 мм, третью шейку – до диаметра 55,5h11 мм в размер  $l = 73^{+0,3}$  мм и четвертую шейку – до диаметра 48h11 мм в размер  $l = 133$  мм. Подрезают торец и канавку диаметром 77 мм в размер  $l = 65,4_{-0,3}$  мм; подрезают торцы и канавки диаметром 54 мм, глубиной 4 мм в размер  $73^{+0,3}$  мм и диаметром 45 мм, глубиной 4 мм в размер  $l = 133$  мм; протачивают канавки диаметром 74 мм, глубиной 3 мм в размер  $l = 25$  мм, снимают четыре фаски под углом  $45^{\circ}$ , нарезают и калибруют резьбу M48x2.

После этого деталь снова поворачивают на  $180^{\circ}$ , устанавливают в центрах станка и протачивают начисто конусные поверхности: диаметром  $172,236_{+0,25}$  мм на проход, конус под углом  $28^{\circ} \pm 10'$ , обратный конус под углом  $85^{\circ} 11' 50''$ , выдержав размеры  $l = 12,355$  и 182,8 мм. Затем деталь устанавливают в призмы на горизонтально-фрезерном станке и прорежают шпоночную канавку шириной 8 мм в размер 44,5 мм.

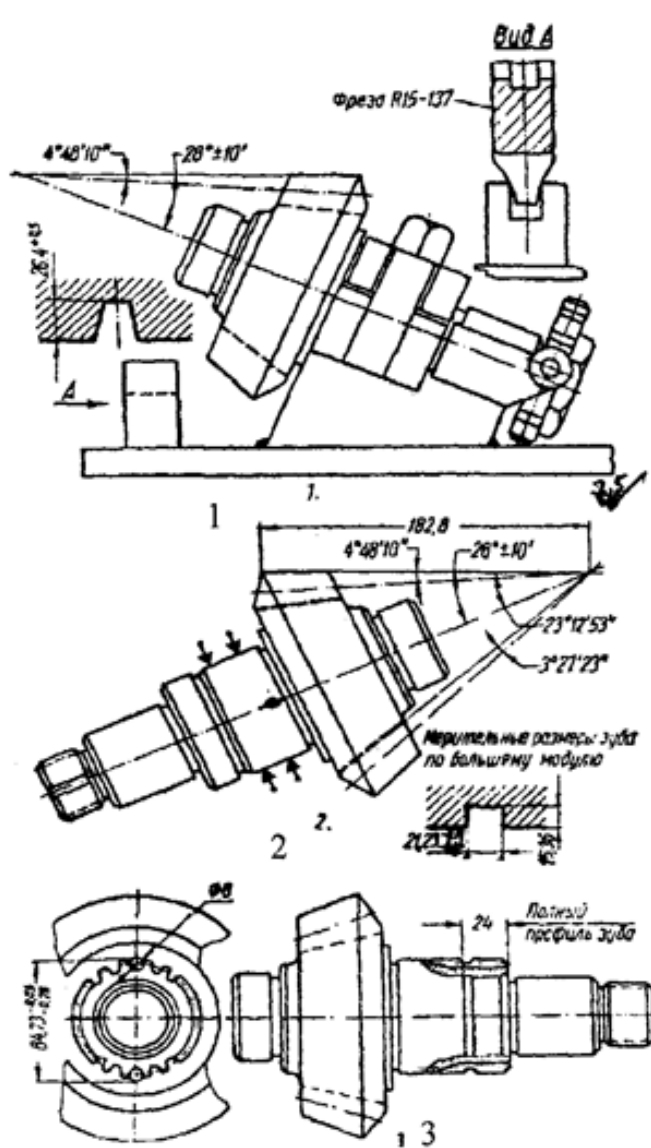


Рис.26. Второй этап изготовления шестерни:

1 - черновое фрезерование зубьев; 2 - чистовое строгание зубьев; 3 — нарезание шлицев

высота ножки 11,04 мм, толщина зуба по дуге делительной окружности 21,2954 мм, угол зацепления  $20^\circ$ .

Деталь устанавливают на шлицефрезерный станок и производят нарезание модульных шлицев:  $m = 4,25$  мм;  $m = 16$  шлицев;  $\alpha = 15^\circ$ . Толщина шлица по делительной окружности должна составлять  $8,863_{-0,12}^{+0,06}$  мм; при этом взаимное расположение шлицев и зубьев безразлично. После этого при помощи напильника зачищают заусенцы на зубьях, шлицах и в шпоночной канавке, калибруют резьбовым кольцом резьбу  $M48 \times 2$  мм, нарезают резьбу  $M10 \times 1,5$  мм, зачищая шабером на токарном станке центровые отверстия.

На втором этапе изготовления шестерни ее устанавливают в специальное делительное приспособление (рис.26), которое, в свою очередь, устанавливается на горизонтально-фрезерный станок. Опуская стол, доводят модульную дисковую фрезу до соприкосновения с деталью по большому конусу; при этом образующая конуса должна располагаться горизонтально. Затем производят черновое нарезание зубьев, фрезеруя их впадины на глубину 26,4 мм; при этом дисковая фреза устанавливается точно по пазу приспособления. Для чистовой обработки зубьев деталь останавливают на оправку зубострогального станка и строгают зубья методом обкатки до размеров по большому модулю  $21,230_{-0,45}^{+0,19}$  и 15,36 мм (рис.26). Проверка профиля названных зубьев производится специальным шаблоном. При этом высота зуба по делительной окружности должна составлять 26,40 мм, высота головки 15,36 мм,

На третьем этапе изготовления производят цементацию шестерни на глубину 1,5 -1,9 мм, объемную закалку и отпуск до твердости HRC 56 и выше.

Деталь устанавливают в центры шлифовального станка и шлифуют: шейку - до диаметра 60K6 мм, торец - до размера  $\ell = 25_{-0,2}^{+0,2}$  мм (рис.27).

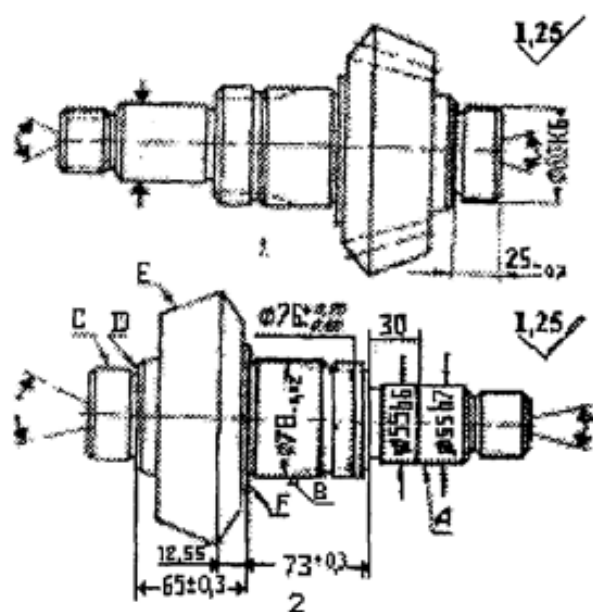


Рис.27. Третий этап изготовления шестерни:  
1 и 2 — шлифование шеек.

Затем деталь поворачивают на  $180^\circ$ , шлифуют шейки до диаметров  $78_{-0,02}^{+0,2}$ ,  $75_{-0,06}^{+0,2}$ ,  $55_{-0,1}^{+0,3}$  p6 и 55f7 мм и торцы, выдерживая длины шеек равными  $65_{-0,3}^{+0,3}$ , 30 и 73 мм и размер 12,055 мм. При этом биение наружного конуса E должно быть в пределах 0,10 мм, внутреннего диаметра шлицев — в пределах 0,08 мм, биение шеек A, B и C (см. рис.27) - в пределах 0,03 мм и поверхностей D и F - в пределах 0,04 мм на радиусе 48 мм. После шлифования производят зачистку заусенцев.

## 6. НАРЕЗАНИЕ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС СО СПИРАЛЬНЫМИ ЗУБЬЯМИ

Косые и спиральные зубья образуются в результате обкатки производящего воображаемого колеса с заготовкой, аналогично рассмотренному способу образования зубьев конических прямозубых колес. В промышленности наибольшее применение имеют три способа нарезания конических колес с косыми и спиральными зубьями. Схемы обработки их изображены на рис.28.

Косые зубья конических колес со скрещивающимися осями (рис. 28, а) выполняют по методу обкатки на обычном зубострогальном полуавтомате так же, как и радиально расположенные зубья.

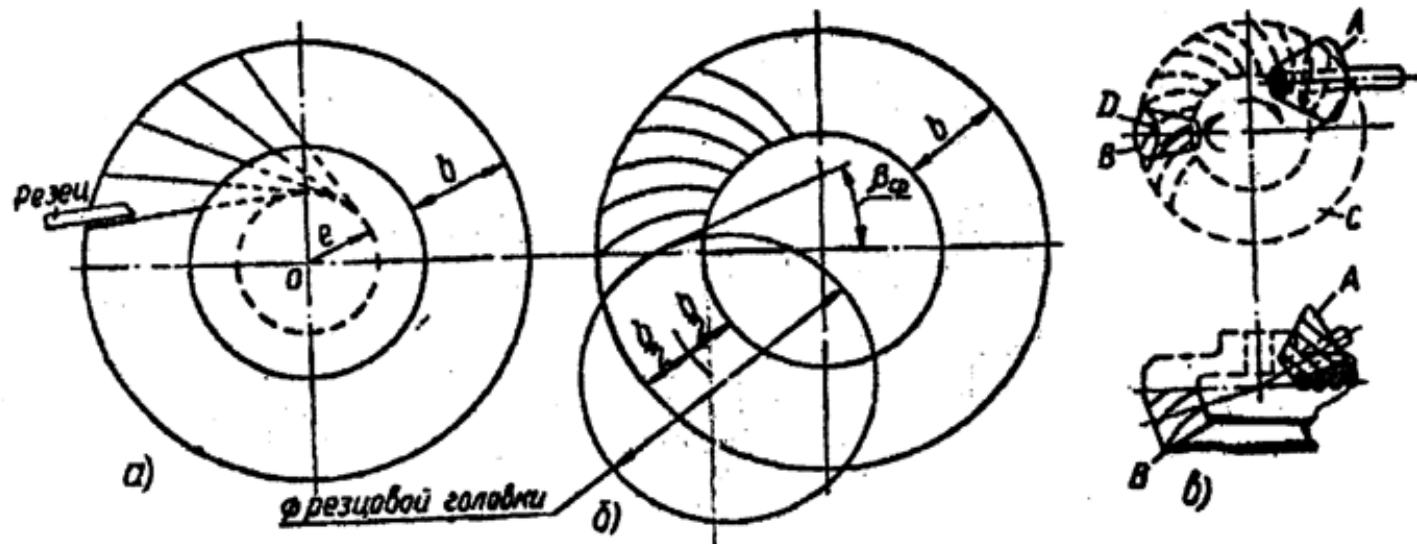


Рис.28. Схемы образования зубьев конических колес:  
 а—косозубых; б—с криволинейными зубьями; в—конической червячной фрезой.

Нарезание конических зубчатых колес со спиральными (круговыми) зубьями производится на зуборезном полуавтомате мод. 528, принципиальная схема которого изображена на рис. 29.

Инструментом служит вращающаяся резцовая головка, которая представляет собой один зуб производящего колеса. Обкатываясь с конической заготовкой, резцы образуют на последней криволинейные зубья, продольный профиль которых представляет собой дугу окружности. Угол спирали  $\beta_{ср}$  между радиусом, проходящим через середину зубца, и касательной к окружности резцовой головки в этой точке зависит от взаимного расположения осей нарезаемого колеса и резцовой головки (рис. 28,б).

Резцовая головка, вращающаяся со скоростью 21—300 об/мин, закреплена в шпинделе, расположенном в люльке станка. При помощи червяка люлька вместе с вращающейся головкой может поворачиваться по часовой стрелке и против нее с одинаковой скоростью. Обрабатываемое зубчатое колесо закрепляется на оправке в шпинделе делительной бабки станка. Вращение заготовки и качание люльки согласованы кинематической цепью.

Вращение резцовой головки осуществляется от отдельного электродвигателя. По конструкции резцовые головки делятся на односторонние и двусторонние. Двусторонние головки прорезают сразу обе стороны впадины, они производительны. Эти головки целесообразно применять для чернового прорезания зубьев с последующим чистовым нарезанием в две установки односторонними головками. При этом нарезается сначала отдельной головкой одна сторона впадины зуба, а затем — другая.



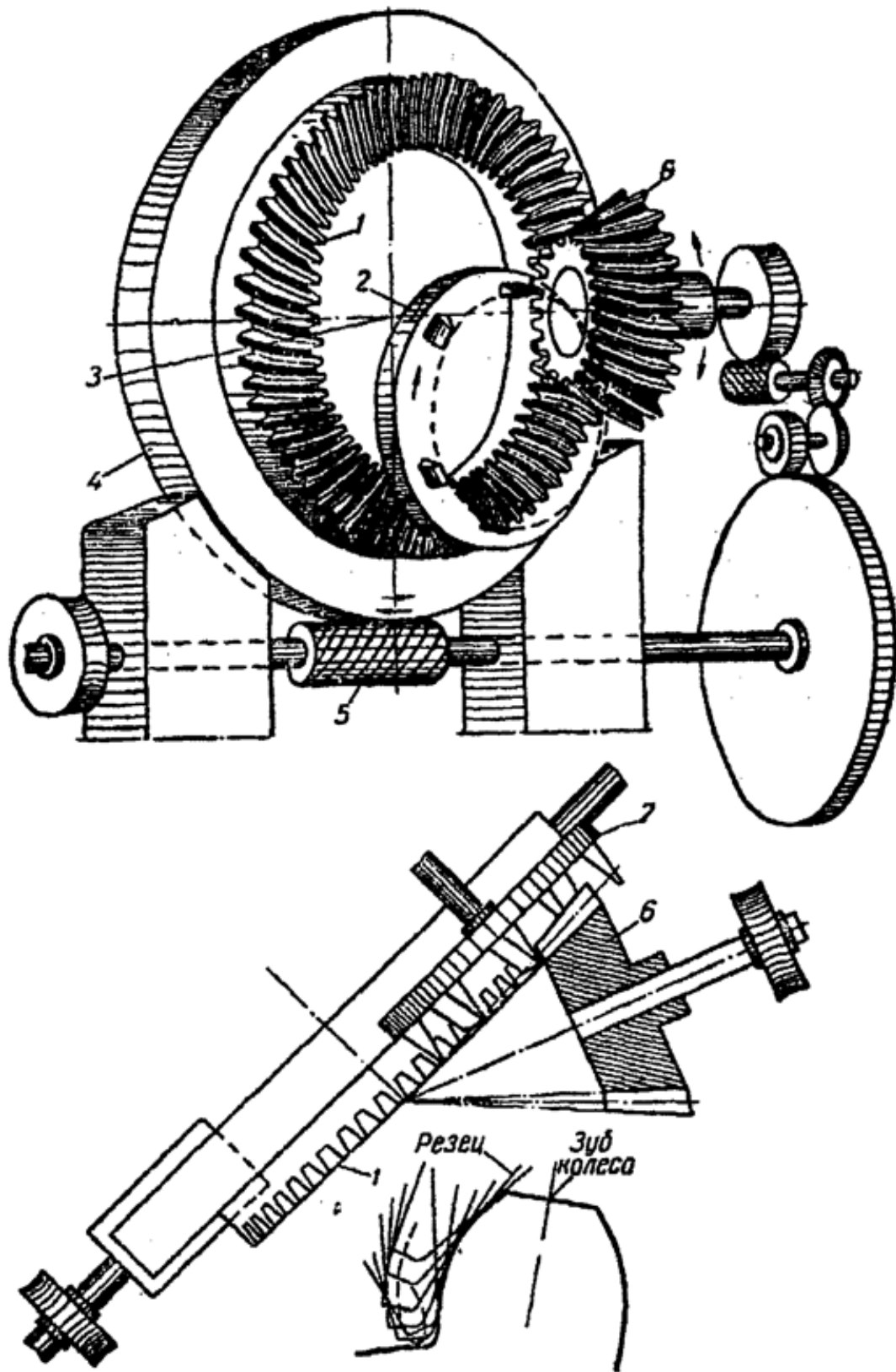


Рис.29. Принципиальная схема нарезания конических колес со спиральными зубьями: 1 — плоское колесо; 2 — резцовая головка; 3 — центр плоского колеса; 4 — червячное колесо люльки; 5 — червяк; 6 — заготовка.

В зависимости от требований к точности передачи и производительности обработки различают: односторонний, простой двусторонний и двойной двусторонний способы чистового нарезания зубьев.

Самым точным является односторонний способ, характеризующийся тем, что выпуклые и вогнутые стороны зубьев обоих колес па-

ры нарезаются раздельно. При этом нарезание обоих конических колес пары производится либо на одном станке со сменой резцовых головок, либо на двух станках разными резцовыми головками. Производительность при этом способе небольшая.

При простом двустороннем способе малое колесо нарезается двумя односторонними головками последовательно. Сначала нарезается одна сторона зубьев, затем — другая. Большое колесо нарезается двусторонней головкой. Такой способ обеспечивает хорошее сопряжение зубьев и высокую производительность.

При двойном двустороннем способе, когда обе стороны зубьев у каждого из колес пары нарезаются одновременно двусторонними головками, получается недостаточная точность сопряжения. Такой способ можно применять при изготовлении зубчатых колес для тихоходных передач.

Главной особенностью полуавтомата мод. 528 является его оригинальная кинематическая схема, по которой движение обкатки и деления осуществляются при вращении колеса в одну и ту же сторону. Практически это достигается благодаря применению реверсивного механизма с составным подковообразным зубчатым колесом.

Станок совершает цикл движений, необходимых для образования зуба в минимальный промежуток времени (до 12 сек/с), это дает возможность эффективно использовать повышенные скорости резания (до 250—300 м/мин).

На рис. 28, в представлен способ нарезания криволинейного зуба методом обкатки червячной конической фрезой, рис. 30. Сечение зубьев фрезы плоскостью, параллельной оси ее вращения, образует гребенку воображаемого производящего колеса. В результате обкатки фрезы по поверхности заготовки на последней образуются криволинейные зубья (на схеме заготовка условно показана с противоположной стороны червячной фрезы).

Процесс образования зубьев на станке осуществляется непрерывно: вращением фрезы, вращением колеса и круговой подачей фрезы, получаемой при вращении планшайбы со шпинделем фрезы. Планшайба воспроизводит движение воображаемого плоского колеса.

Недостатком метода обработки конических колес со спиральными зубьями червячной конусной фрезой является невозможность обеспечить высокую точность и чистоту, а также то, что после термической обработки профиль зубьев таких колес нельзя шлифовать. Поэтому наибольшее распространение в промышленности получил метод нарезания конических спиральнозубых колес с помощью резцовых головок на станках мод. 528 (рис.30)

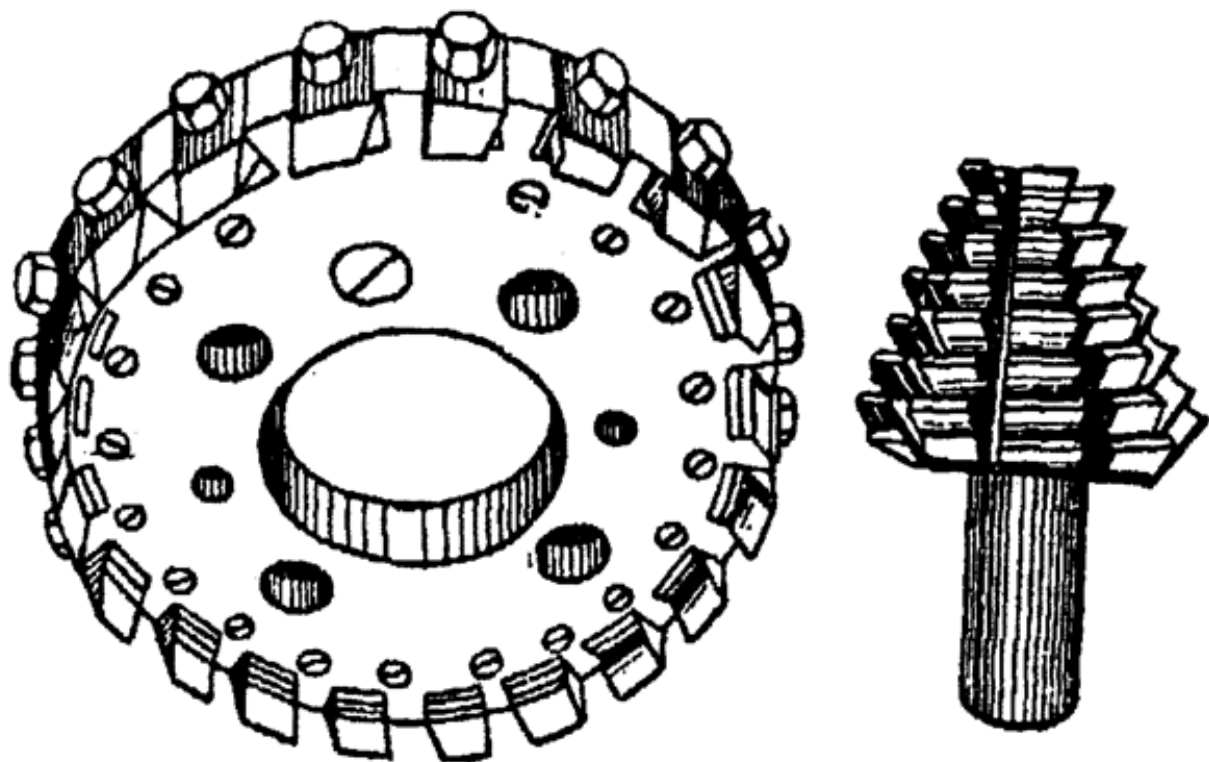


Рис.30. Инструмент для зубонарезания.

Зубонарезание методом обкатки (огибания) на станках мод. 528, 525, 5A27C1, «Глисон № 26» и др. имеет ряд недостатков: низкая производительность, невысокая точность зубообработки, низкое качество боковых поверхностей зубьев, повышенный расход инструментов, большая номенклатура режущего инструмента, частый ремонт станков из-за ударных нагрузок при колебательных движениях люльки.

Указанных недостатков не имеет так называемый «полуобкатный» метод, применяемый на автомобильном заводе в Нижнем Новгороде. Этот метод заключается в том, что профиль зубьев большого ведомого колеса обрабатывается методом копирования, а малого — методом обкатки (огибания). В полуобкатных конических передачах зубья ведомого колеса в нормальном сечении имеют прямолинейный профиль в форме равнобедренной трапеции (рис. 31).

В продольном направлении они имеют форму дуг, наклоненных в средней точке зубчатого венца под углом  $\beta$  к образующей делительного конуса.

Прямолинейный профиль зубьев колеса образуется без огибающего движения методом копирования, что позволяет использовать для чистового нарезания высокопроизводительный способ протягивания зубопротяжной головкой (круговой протяжкой) или шлифова-

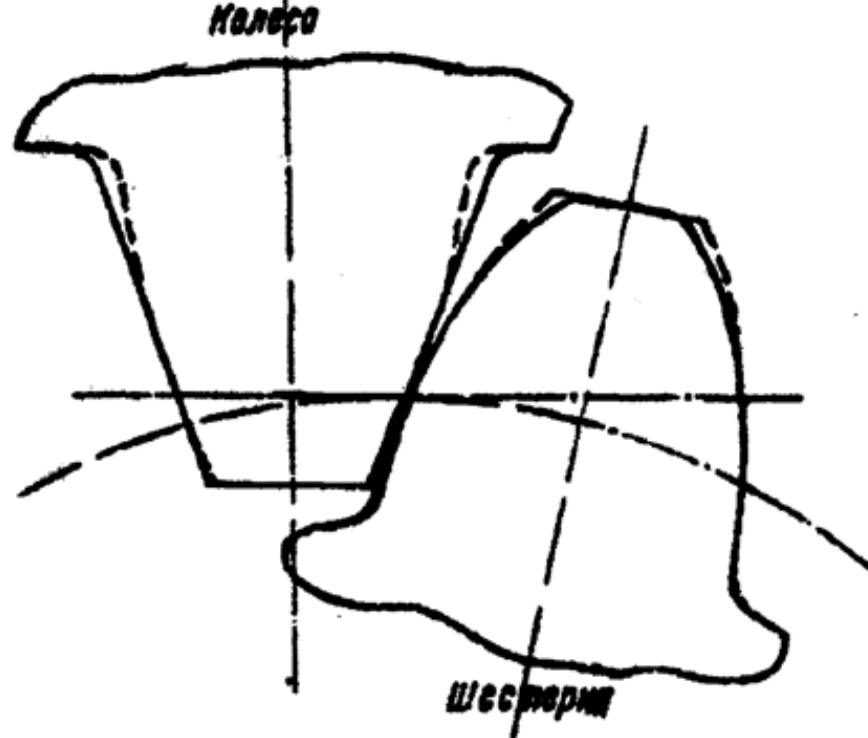


Рис.31. Профили зубьев колеса и шестерни, обработанные полуобкатным методом (сплошные линии) и методом огибания (пунктирные линии)

ние. Производящим колесом в том и другом случае служит коническое колесо 1 (рис. 32) с внутренним зубом прямобочного профиля. Роль одного зуба этого колеса в первом случае выполняет зубопротяжная головка 2, во втором — шлифовальный круг 3, который работает эквивалентно зубопротяжной головке. Ось шлифовального круга наклонена к оси эквивалентной ему зубопротяжной головки под углом  $30^\circ$ .

Для шлифования зуба по всей длине круг, кроме вращения вокруг своей оси, имеет колебательные движения относительно горизонтальной оси станка (или оси зубопротяжной головки). Чтобы было возможно воспроизвести коническое производящее колесо с внутренним зубом, на зубопротяжном и зубошлифовальном станках имеются устройства для установки зубопротяжной головки и нарезаемой заготовки в необходимые расчетные положения.

Предварительная обработка зубьев шестерни производится методом огибания на обычных зуборезных станках двухсторонним способом. Чистовая же обработка — также огибанием, но односторонним способом. В качестве режущего инструмента применяются две односторонние головки: одна с внутренними, а другая с наружными резцами для отдельной обработки вогнутой и выпуклой сторон зубьев. Форма зубьев шестерни определяется выбранной формой зубьев колеса. Если при чистовом нарезании зубьев шестерни осуществить на зуборезном станке производящее колесо, которое явилось бы копией



конического колеса, то получим сопряженный профиль на зубьях шестерни.

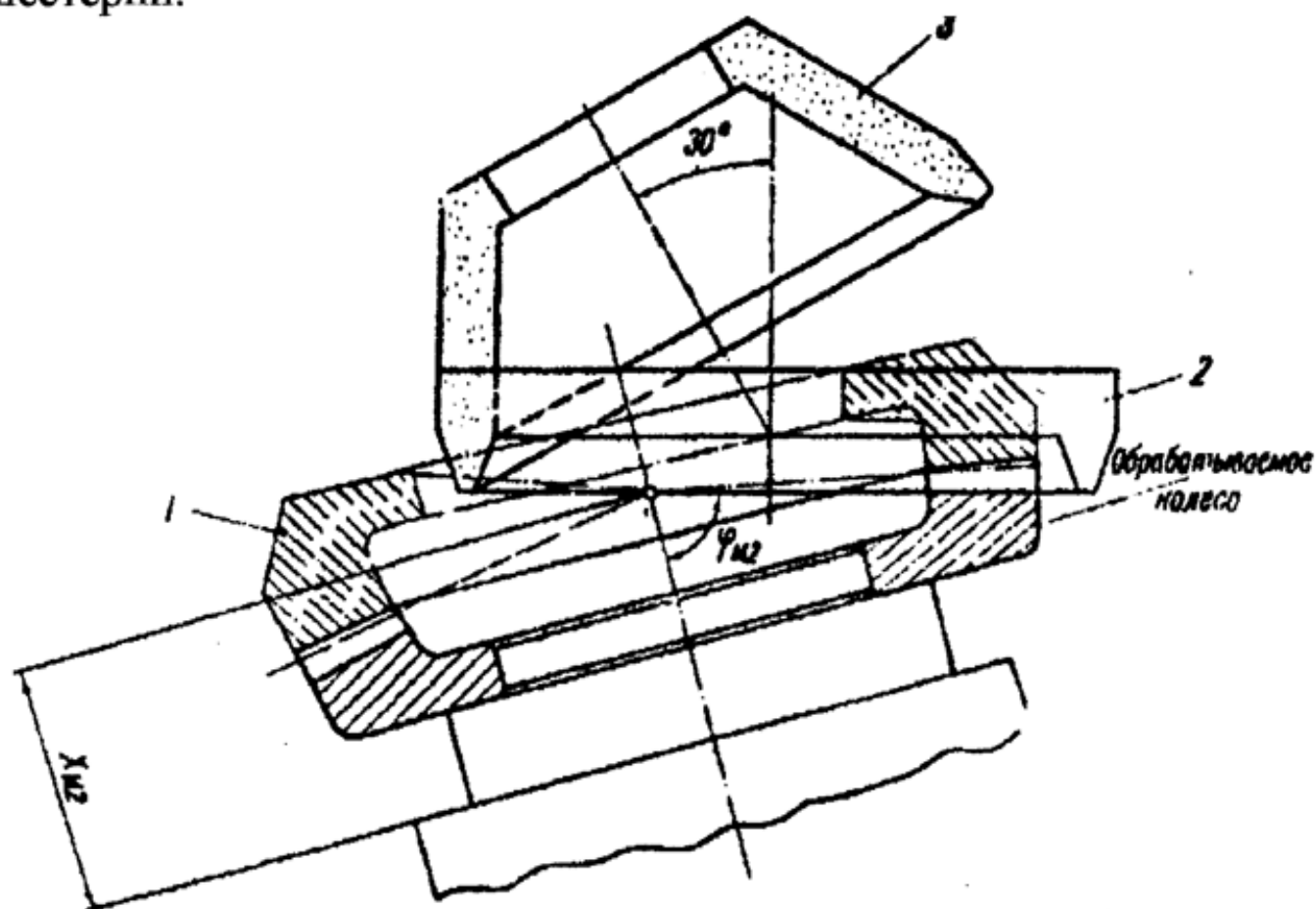


Рис.32. Схема установки заготовки и режущего инструмента при нарезании и шлифовании колеса полуобкатной передачи

Для того чтобы воспроизвести такое коническое производящее колесо, на станках имеется устройство, позволяющее наклонять и поворачивать резцовую головку, смещать ее в радиальном направлении, а также устанавливать заготовку под требуемым углом и смещать ее вдоль оси по отношению к плоскости качания люльки.

На рис. 33 показана схема расположения инструмента 1 и нарезаемой шестерни 2 на станке.

Станок воспроизводит зацепление конического производящего колеса 3 с нарезаемой шестерней 2. Воображаемое производящее коническое колесо имитируется обкаткой люльки станка, на которой расположена резцовая головка так, что ее режущая поверхность совпадает с поверхностью зуба производящего колеса. Вращение заготовки связано с вращением люльки посредством постоянно зацепляющихся зубчатых передач и сменных шестерен гитары обкатки. Расчет наладочных данных на станки для обработки шестерен сводится к определению взаимного расположения резцовой головки, воспроизводящей один зуб производящего колеса, и заготовки, их

положения по отношению к центру станка, а также к расчету сменных шестерен гитары обкатки.

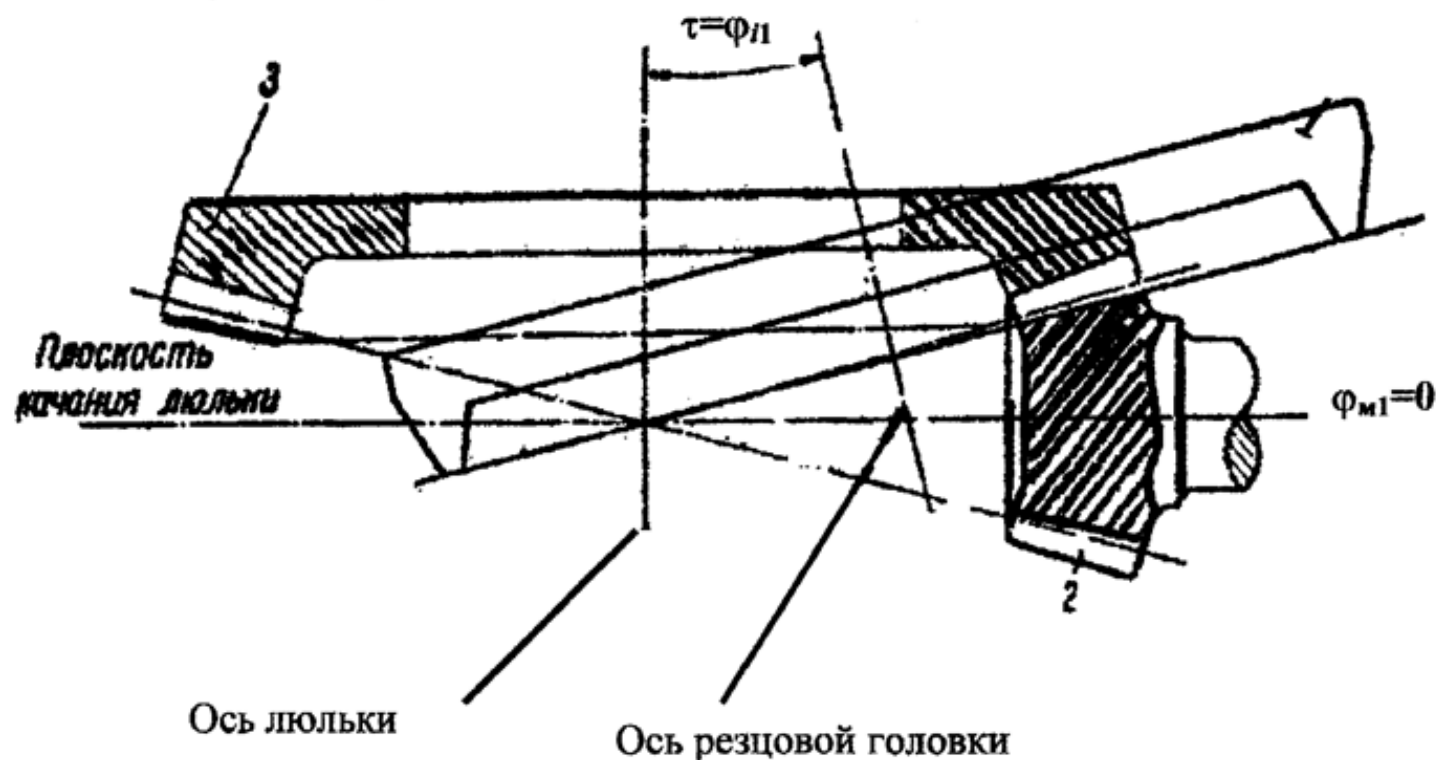


Рис.33. Схема установки режущего инструмента и нарезаемой шестерни при полуобкатном методе

**Нарезание колес.** Предварительное нарезание зубьев колеса производится трехрезцовой головкой без обкаточного движения на обычных черновых зуборезных станках, применяемых для нарезания конических колес с круговыми зубьями. Резцовая головка имеет наружные средние и внутренние резцы. Режущие лезвия наружных и внутренних резцов расположены под углом профиля  $\alpha$  к оси резцовой головки. Вершины средних резцов расположены выше вершин наружных и внутренних резцов на 0,25-0,4 мм (в зависимости от модуля), а боковые их лезвия занижены примерно на ту же величину относительно боковых режущих кромок наружных и внутренних резцов. Благодаря этому средние резцы обрабатывают только дно впадины зуба, что уменьшает нагрузки на наружные и внутренние резцы. Чистовое протягивание зубьев производится на специальных станках мод. 5255А зубопротяжной головкой (рис. 34).

Для увеличения числа режущих кромок и получения большей жесткости инструмента применяют сблокированные (сдвоенные) резцы 1 с конусной посадкой сегмента на корпус 2 головки. Каждый сегмент с наружным и внутренним резцом крепится двумя болтами 3. Для обеспечения более плавного резания последние — калибрующие сегменты 4 имеют по одному резцу.

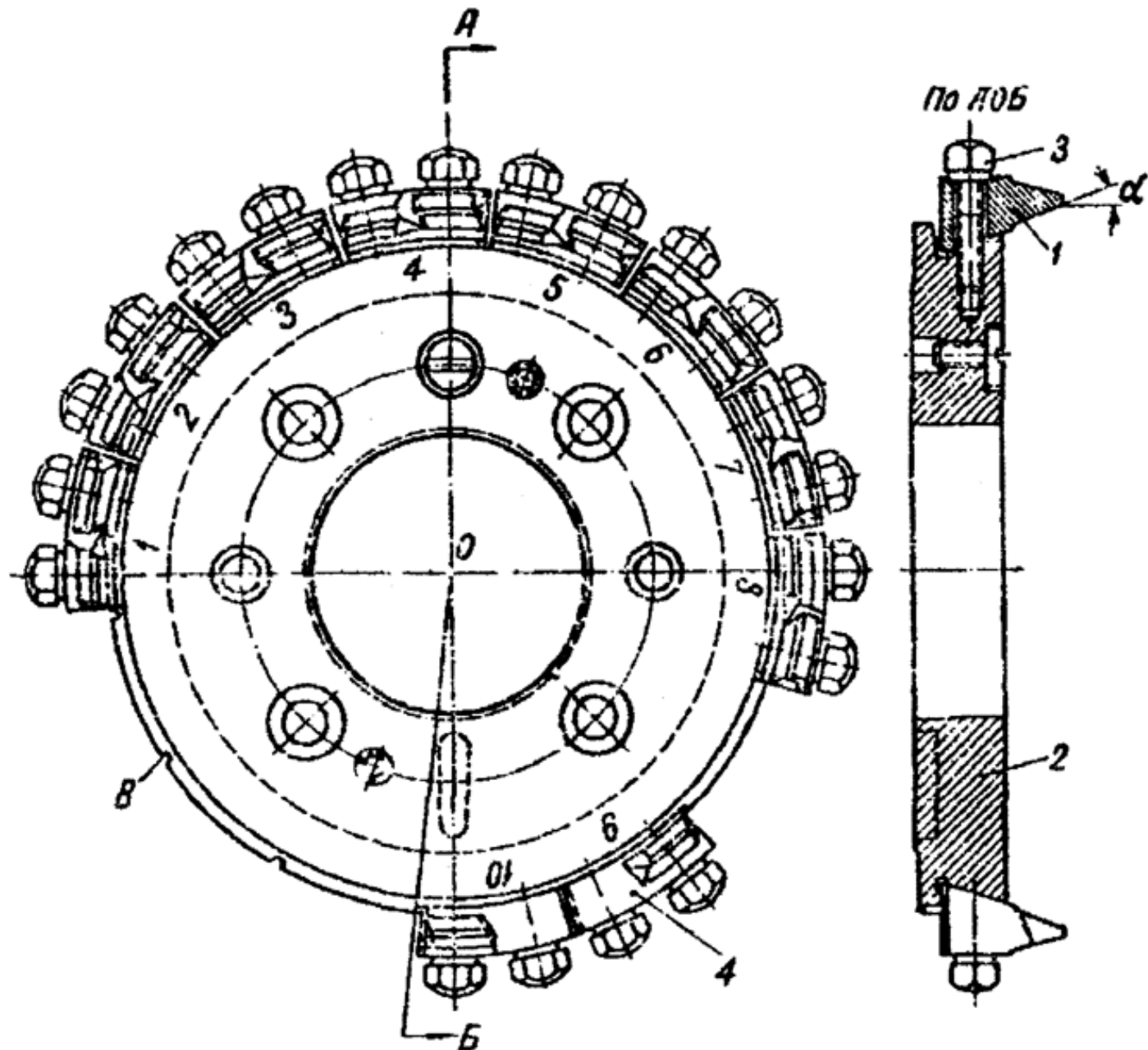


Рис.34. Зубопротяжная головка

Для осуществления делительного поворота заготовки зубопротяжная головка имеет свободный от резцов сектор *В*. За каждый оборот зубопротяжной головки обрабатывается одна впадина и осуществляется делительный поворот заготовки без отвода режущего инструмента в тот момент, когда против заготовки оказывается свободный от резцов сектор головки.

Режущие лезвия наружных и внутренних резцов расположены так же, как и у черновых головок, под углом  $\alpha$  к оси головки. В радиальном направлении лезвие каждого последующего наружного резца удалено от лезвия предыдущего резца на 0,07 – 0,08 мм. Кромки же внутренних резцов последовательно приближаются к центру головки на такую же величину.

Зубопротяжные станки имеют простую конструкцию, короткую кинематическую цепь, обладают большой жесткостью, просты в обслуживании и поэтому обеспечивают получение зуба высокой точности чистоты профиля.

Цикл работы зубопротяжного станка следующий.

Зажим заготовки, подвод бабки с заготовкой в рабочее положение, фиксация рабочей головки, отвод рабочей головки с обработанным колесом в положение загрузки и отжим детали осуществляются при помощи гидравлики; управление этими операциями осуществляется одной рукояткой. Обработка зубьев и поворот заготовки на шаг после обработки каждой впадины производится автоматически с помощью делительного устройства, управляемого копиром барабана. Фиксация заготовки после поворота осуществляется при помощи делительного диска. После нарезания последнего зуба станок автоматически выключается.

Рабочая цепь станка состоит всего лишь из одной конической и двух цилиндрических пар колес, которые не оказывают существенного влияния на точность обработки зубьев колеса. Точность обработки здесь не зависит от неточности кинематической цепи станка, как у станков, работающих по методу обкатки, она зависит только от точности делительного диска, который имеет диаметр в два раза больший, чем диаметр обрабатываемого колеса, и высокую точность расположения пазов по шагу. Это дает возможность получить колеса с погрешностью соседних окружных шагов в пределах 0,002—0,015 мм, что в 2—3 раза выше точности колес, обработанных методом огибания.

Точность обработки зубьев колес методом протягивания повышается еще и вследствие того, что рабочая головка не отходит после обработки каждого зуба для осуществления делительного поворота заготовки. Она прочно крепится на станке и остается в неизменном положении на протяжении обработки всех зубьев. Это обеспечивает высокую жесткость системы «станок—инструмент—деталь».

При обработке колес методом огибания низкая чистота поверхностей зубьев вызывает повышенный шум колес, для устранения которого требуется длительная их приработка с абразивом на притирочных станках. Однако в результате длительной притирки искажается профиль зубьев шестерни и нарушается сопряженность профилей.



Процесс протягивания обеспечивает более высокую чистоту обрабатываемой поверхности. В результате не только сокращается время на притирку пары, но и уменьшается шум.

Для шлифования колес после термической обработки применяется специальный зубошлифовальный станок, на котором без обкаточного движения шлифуются одновременно выпуклая и вогнутая стороны зубьев. Шлифованием зубьев обеспечивается получение колес высокой точности по всем элементам с чистотой поверхности в пределах 1 мкм. При этом требуется мало времени для приработки колес на притирочных станках.

### **Вывод формул для расчета наладочных данных на настройку станков**

Для настройки зубопротяжного станка необходимо определить следующие данные:

1. Угловую установку зубопротяжной головки (корневой угол)  $\varphi_{м2}$  (см. рис.32).

2. Координаты центра зубопротяжной головки по отношению к центру станка  $H_s$  и  $\delta_m$ .

3. Монтажное расстояние на станке  $X_{м2}$  (см. рис.32). При полуобкатном методе зубонарезания имеется возможность применять внутренние и наружные резцы черновой резцовой головки и зубопротяжной головки с одинаковыми профильными углами нулевого номера. Известная разница в углах наклона боковых поверхностей зуба колеса  $\Delta\alpha_2$  обеспечивается за счет изменения корневого угла заготовки при черновой и чистовой обработках зубьев колеса. При нарезании конических колес методом огибания корневой угол на станке равен углу конуса впадин колеса  $\varphi_{i2}$ . При нарезании же колес полуобкатным методом рабочая головка с заготовкой устанавливается на угол  $\varphi_{м2}$  отличный от угла  $\varphi_{i2}$ . Значение этого угла можно определить из рассмотрения рис.38, на котором изображено относительное положение зубопротяжной головки и нарезаемого конического колеса в ортогональной проекции (фиг.38,а) и в пространстве (фиг.38,б).

Здесь  $O—O_1$  — ось нарезаемого колеса;

$O$  — вершина делительного конуса колеса;

$\varphi_{i2}$  — угол конуса впадин;

$C$  — центр зубопротяжной головки при установке рабочей головки станка под углом  $\varphi_{i2}$ ;

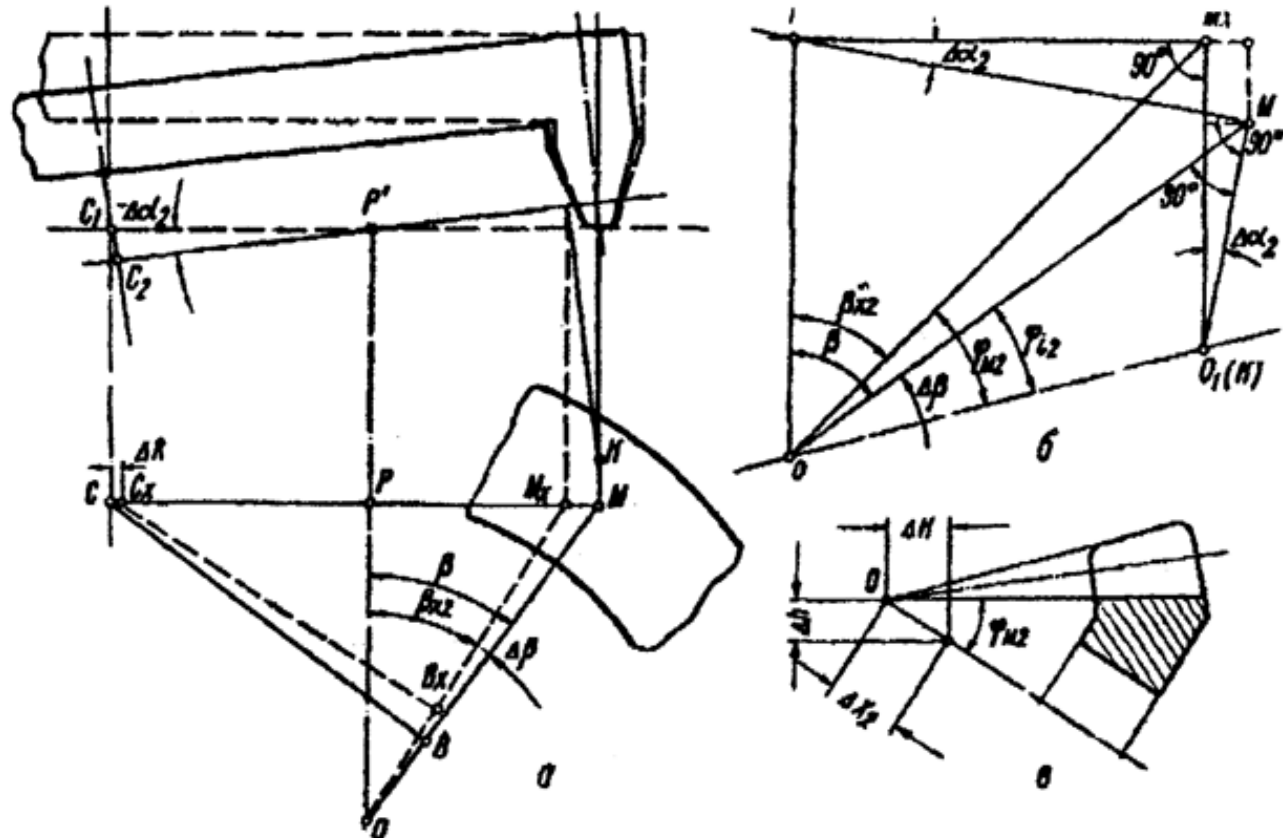


РИС.38. Схема относительного расположения инструмента и заготовки на зубопротяжном станке: а — в ортогональной проекции; б — в пространстве; в — изменения в установках колеса (заготовки)

$C_x$  — положение центра  $C$  при установке рабочей головки станка под углом  $\varphi_{M2}$ ;

$M$  — точка, находящаяся на поверхности конуса впадин посередине венца колеса;

$M_x$  — положение точки  $M$  при корневом угле на станке  $\varphi_{M2}$ ;

$\Delta\alpha_2$  — разница между профильными углами на противоположных сторонах зуба и номинальным углом зацепления передачи;

$\beta$  — угол наклона зуба в точке  $M$ ;

$\beta_{x2}$  — угол наклона зуба в точке  $M_x$ ;

$\Delta\beta$  — разница в углах наклона зуба в точках  $M$  и  $M_x$ . Из треугольника  $OMO_1$  находим, что

$$OO_1 = \frac{OM}{\cos \varphi_{i2}}$$

Но из прямоугольного треугольника  $OMP$

$$OM = \frac{OP}{\cos \beta}$$

Откуда

$$OO_1 = \frac{OM_x}{\cos \varphi_{i2} \cos \beta} \quad (1)$$

Теперь определим значение  $OO_1$  из прямоугольного треугольника  $OM_xO_1$

$$OO_1 = \frac{OM_x}{\cos \varphi_{m2}}$$

Но из прямоугольного треугольника  $OM_xP$

$$OM_x = \frac{OP}{\cos \beta_{x2}}$$

Тогда

$$OO_1 = \frac{OP}{\cos \varphi_{m2} \cos \beta_{x2}} \quad (2)$$

Приравнявая уравнения (1) и (2), получим:

$$\cos \varphi_{m2} = \frac{\cos \varphi_{i2} \cdot \cos \beta}{\cos \beta_{x2}} \quad (3)$$

Угол наклона зуба в точке  $M_x$  определим следующим образом. Из прямоугольного треугольника  $PM_xO$  находим

$$\operatorname{tg} \beta_{x2} = \frac{PM_x}{OP} \quad (4)$$

а из рис. 38,б

$$PM_x = PM \cos \Delta \alpha_2 \quad O_1M \sin \Delta \alpha_2 \quad (5)$$

Из прямоугольного треугольника  $OMO_1$

$$O_1M = OM \operatorname{tg} \varphi_{i2} \quad (6)$$

Из треугольника  $OPM$

$$OM = \frac{PM}{\sin \beta} \quad \text{и} \quad OP = \frac{PM}{\operatorname{tg} \beta}$$

Подставляя значение  $OM$  в формулу (6), получим

$$O_1M = \frac{PM \operatorname{tg} \varphi_{i2}}{\sin \beta} \quad (7)$$

Подставив это значение  $O_1M$  в уравнение (5), а значение  $PM_x$  и  $OP$  в уравнение (4), получим

$$\operatorname{tg} \beta_{x2} = \operatorname{tg} \beta \cos \Delta\alpha_2 - \frac{\operatorname{tg} \varphi_{i2} \sin \Delta\alpha_2}{\cos \beta} \quad (8)$$

$$\Delta\alpha_2 = \gamma_2'' \sin \beta, \quad (9)$$

где  $\gamma_2$  — угол ножки зуба обрабатываемого колеса.

Угол наклона зуба колеса  $p$  определяется положением центра  $C$  зубопротяжной головки по отношению к центру  $O$  станка (рис. 39).

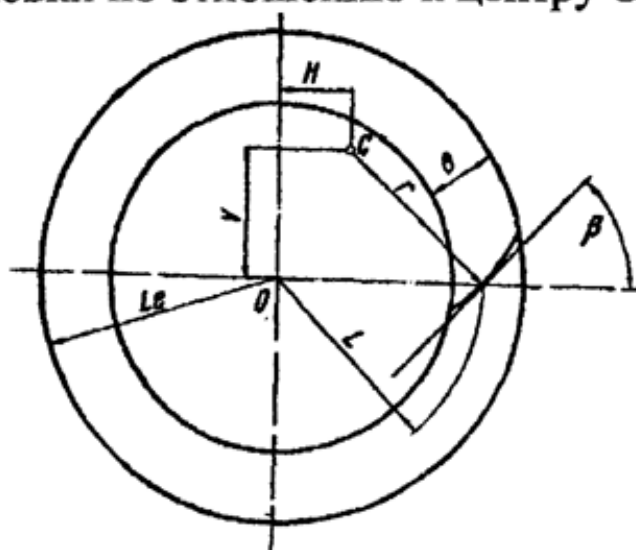


Рис.39. Координаты центра зубопротяжной головки

Если бы установка заготовки на станке производилась под углом  $\varphi_{i2}$  конуса впадин колеса по отношению к плоскости вращения зубопро-



тяжной головки, то координаты центра зубопротяжной головки определялись бы по общеизвестным формулам:

$$H=L-r \sin \beta; \quad (10)$$

$$V=r \cos \beta, \quad (11)$$

где  $H$ —горизонтальная координата;  
 $V$ —вертикальная координата;  
 $L=L_e - b/2$  — длина образующей делительного конуса нарезаемого колеса до середины зубчатого венца;  
 $L_e$  — длина образующей делительного конуса колеса;  
 $r$ —средний радиус зубопротяжной головки;  
 $b$ —ширина венца колеса.

Ввиду установки каретки с заготовкой под углом  $\varphi_{м2}$  вместо  $\varphi_{i2}$  изменяются и координаты центра зубопротяжной головки. Точка  $M$  (см. рис.38) при этом перемещается в положение  $M_x$ , а центр зубопротяжной головки из положения  $C$  в положение  $C_x$ . Значение новых координат  $H_1$  и  $V_1$  можно определить из рассмотрения рис.40, проектируя ломаную линию  $OBCC_x$  на оси  $OX_1$  и  $OZ_1$ .

Так как

$$H_1=OB_1+B_1C_1+C_1B_x$$

$$B_1C_1=BD; \text{ и } C_1B_x=EC_x,$$

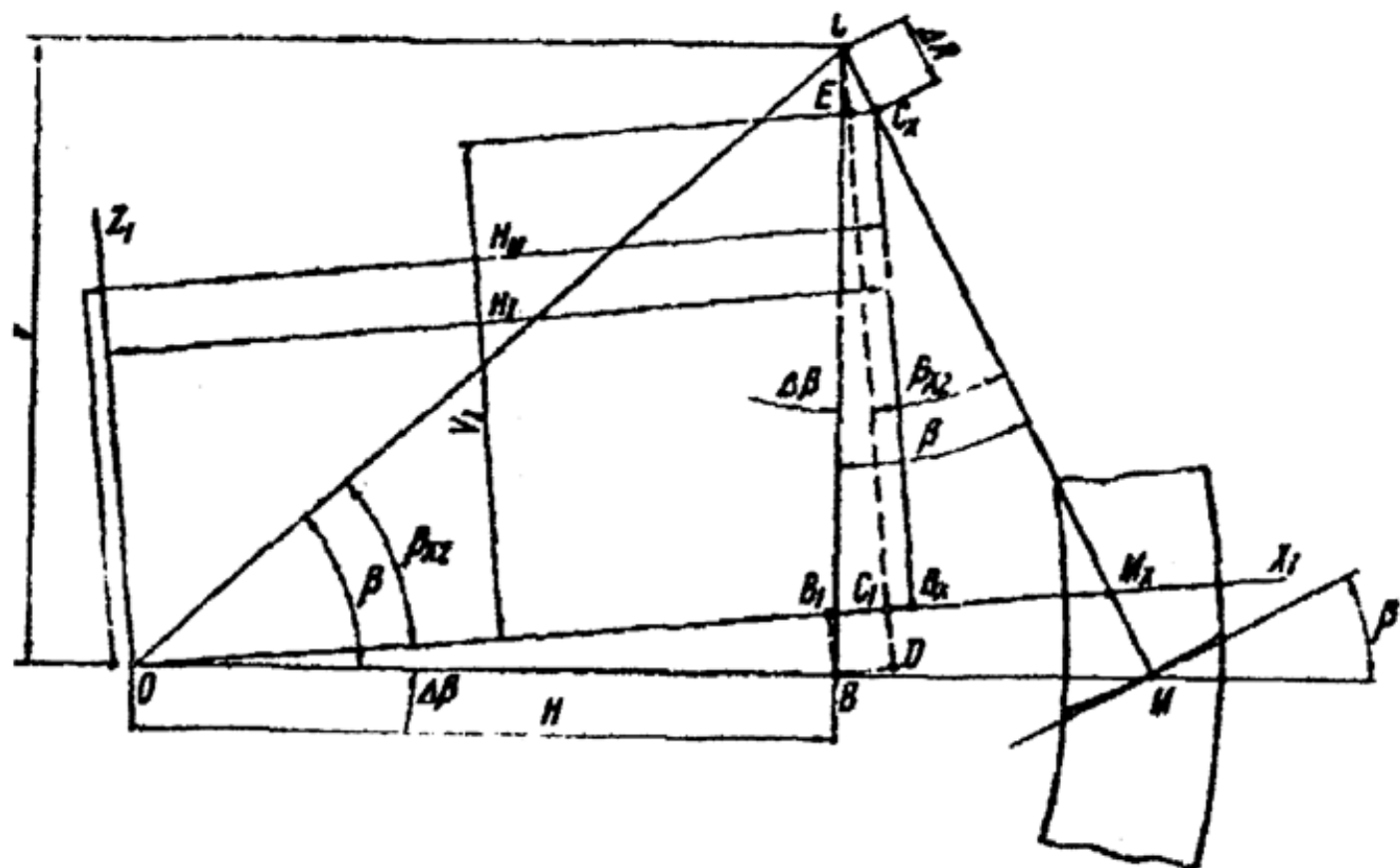


Рис.40. Изменение координат центра зубопротяжной головки



$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2$$

$$\Delta h_1 = L \sin \beta \sin \Delta \alpha_2; \Delta h_2 = h''_{c2} (1 - \cos \Delta \alpha_2).$$

Отсюда

$$\Delta h = h''_{c2} (1 - \cos \Delta \alpha_2) + L \sin \beta \sin \Delta \alpha_2. \quad (17)$$

В связи с установкой рабочей головки с заготовкой на угол  $\varphi_{м2}$  изменяется монтажное расстояние на станке на величину

$$\Delta X_2 = \frac{\Delta h}{\sin \varphi_{м2}} \quad (18)$$

и увеличивается соответственно горизонтальная координата на  $\Delta h$  (см. рис.38):

$$\Delta H = \Delta X_2 \cos \varphi_{м2}. \quad (19)$$

Окончательно координаты центра круговой протяжки будут равны (рис.42):

$$\left. \begin{aligned} H_m &= H_1 + \Delta H \\ V_m &= V_1 \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

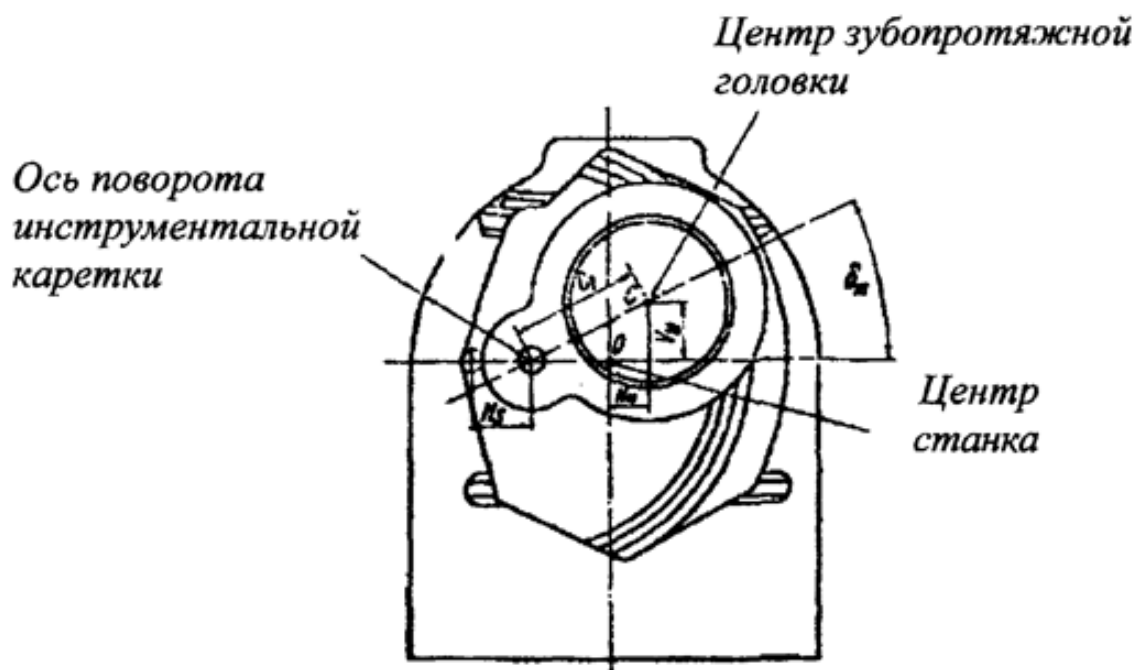


Рис.42. Схема установки зубопротяжной головки





$H_1$  — определяется по формуле (12).

Из рис. 43 определяем

$$\Delta X_{ш} = \frac{K - (h + \Delta h)}{\sin \varphi_{м2}} \quad (24)$$

где  $K$  — подъем кулачка для отвода шлифовальной головки с кругом во время делительного поворота детали

$$h = \frac{W_2}{2 \operatorname{tg} \alpha}, \quad (25)$$

где  $W_2$  — ширина вершины профиля круга;

$\alpha$  — угол зацепления передачи;

$\Delta h$  — определяется по формуле (17).

Угол качания шлифовального круга  $\theta$  (рис.42) равен

$$\theta = \theta_i + \theta_e + 2^0, \quad (26)$$

где  $\theta_i$  — минимальный угол качания шлифовального круга от средней точки до внутреннего конца зуба, причем

$$\theta_i = \xi - \xi_e. \quad (27)$$

Из треугольника  $OCM$  определяем

$$\cos \xi = \frac{r^2 + S^2 - L^2}{2rS}, \quad (28)$$

где  $S$  — радиальная установка:

$$S = \sqrt{H^2 + V^2}. \quad (29)$$

Из треугольника  $OCE$  определяем

$$\cos \xi_e = \frac{r_e^2 + S^2 - L_i^2}{2r_e L_i}, \quad (29, a)$$

где  $L_i$  — длина образующей делительного конуса колеса до внутреннего торца зуба;

$r_0$  — радиус шлифовального круга (наружный).

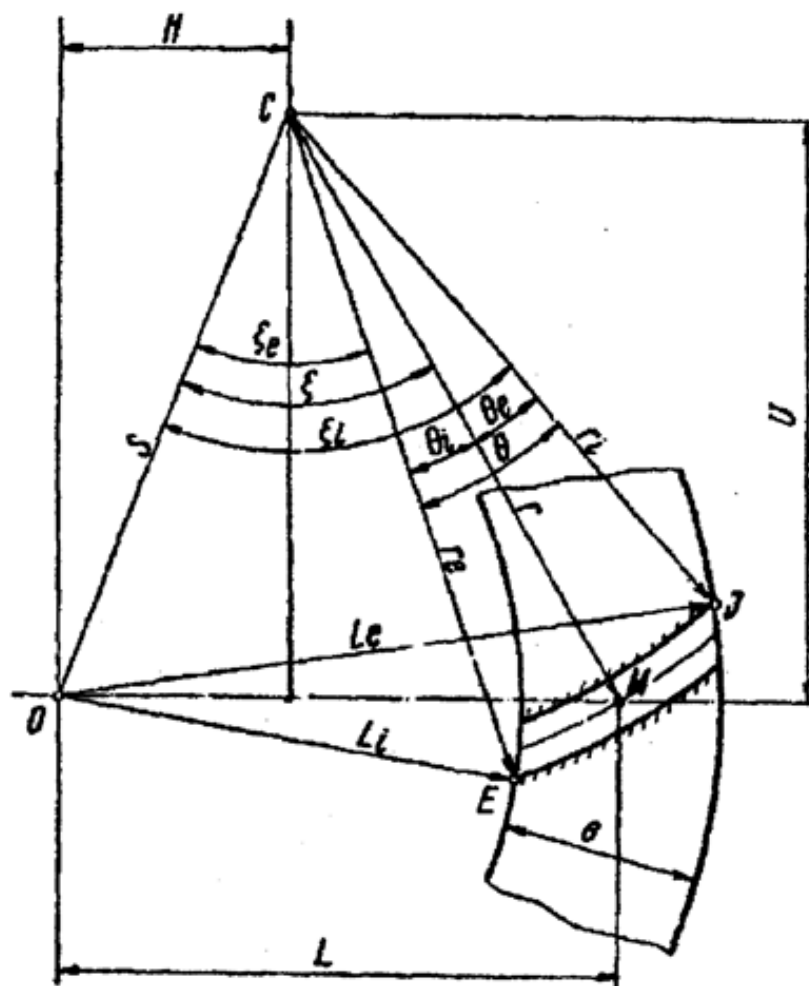


Рис.44. Координаты заготовки и шлифовального круга на станке

В формуле (26)  $\theta_e$  – минимальный угол качания от средней точки до наружного конца зуба,

$$\theta_e = \xi_i - \xi. \quad (30)$$

Из треугольника  $O C I$  определяем

$$\cos \xi_i = \frac{r_i^2 + S^2 - L_e^2}{2r_i S}, \quad (31)$$

где  $r_i$  – радиус шлифовального круга (внутренний);  $L_e$  – длина образующей делительного конуса колеса.

Черновая обработка зубьев ведущей шестерни производится на зуборезных станках мод. 5A27C1, «Глисон № 16»; расчет наладочных данных – по тем же формулам, что и обычных конических шестерен.

Чистовая обработка производится на зуборезных станках мод. 5A27C2, «Глисон № 16», «Модуль» (Германия), имеющих устройство для наклона и поворота резцовой каретки.

Для настройки станков указанного типа требуется определить следующие наладочные данные:

Наклон резцовой головки  $\Delta_x$ , поворот резцовой каретки 1, корневой угол  $\varphi_{m1}$  на станке, положение заготовки  $X_1$  (монтажное расстояние) сменные шестерни гитары обкатки, радиальную установку резцовой головки  $S$ , угол люльки  $Q$  и положение рабочей головки  $W_B$  (рис. 45) для обработки вогнутой и выпуклой сторон зуба.

Расчет наладок на станки для обработки шестерен полуобкатным методом значительно усложняется в связи с унификацией резцов и устранением диагонального касания профилей зубьев, неизбежно получающегося в рассматриваемой системе зацепления.

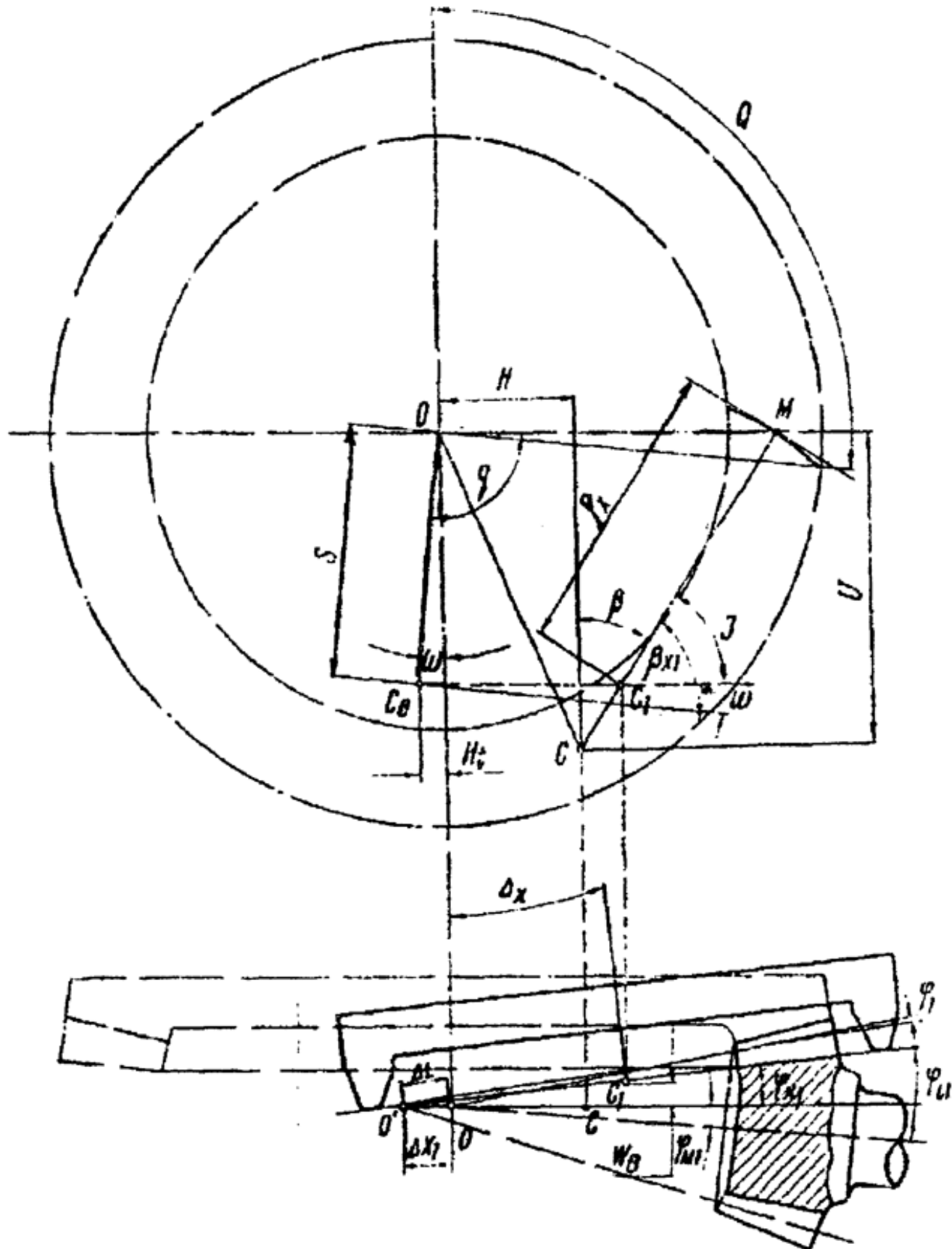


Рис.45. Координаты заготовки и резцовой головки при чистовой обработке шестерни

С целью унификации режущего инструмента заготовка на станке устанавливается так, что ее ось расположена не в плоскости качания люльки (см. рис. 33), а под углом  $\varphi_{m1}$  (см. рис. 45).

Резцовая головка наклоняется на угол  $\Delta_x$  в горизонтальной плоскости станка и поворачивается в вертикальной плоскости станка на угол  $I$

$$\sin \Delta_x = \frac{\sin \Delta n \cos \beta}{\cos \beta_{x1}} \quad (32)$$

или

$$\sin \Delta_x = \frac{\sin \Delta n \cos \beta}{\sin \varphi_{x1}}, \quad (33)$$

где

$$\psi_{x1} = \beta_{x1} + 90^\circ; \quad (34)$$

$$\Delta n = a_2 - a_1 - \Delta a_1; \quad (35)$$

$\Delta n$  — угол наклона резцовой головки по нормали к зубу;

$a_1$  — угол наклона режущей кромки резцов для обработки колеса;

$a_2$  — угол наклона режущей кромки резцов для обработки шестерни;

$\Delta a_1$  — разница между углом зацепления (в нормальном сечении к зубу) вогнутой и выпуклой сторон зубьев шестерни и номинальным углом исходного контура инструмента,

$$\Delta a_1 = \gamma_1'' \sin \beta; \quad (36)$$

где  $\gamma_1''$  — угол ножки зуба нарезаемой шестерни в мин.

$$\operatorname{ctg} \psi_{x1} = \cos \varphi_{x1} \cos \beta - \frac{\sin \varphi_{x1} \operatorname{ctg} \Delta n}{\cos \beta}, \quad (37)$$

где  $\psi_{x1}$  — угол, определяющий направление наклона оси резцовой головки;

$\varphi_{x1}$  — разница между углом конуса впадин нарезаемой шестерни и углом установки заготовки на станке (рис. 46),

$$\varphi_{x1} = \varphi_{i1} - \varphi_{m1}; \quad (38)$$

где  $\varphi_{m1}$  — корневой угол на станке (обычно принимается от  $+3^\circ$  до  $-8^\circ$ ). Этот угол влияет на величину угла наклона резцовой головки. Знак минус или плюс при значении  $\Delta_x$  указывает на направление наклона. При отрицательном значении  $\Delta_x$  угол наклона резцовой головки будет равен:

$$I = 360^\circ - \Delta_x. \quad (39)$$



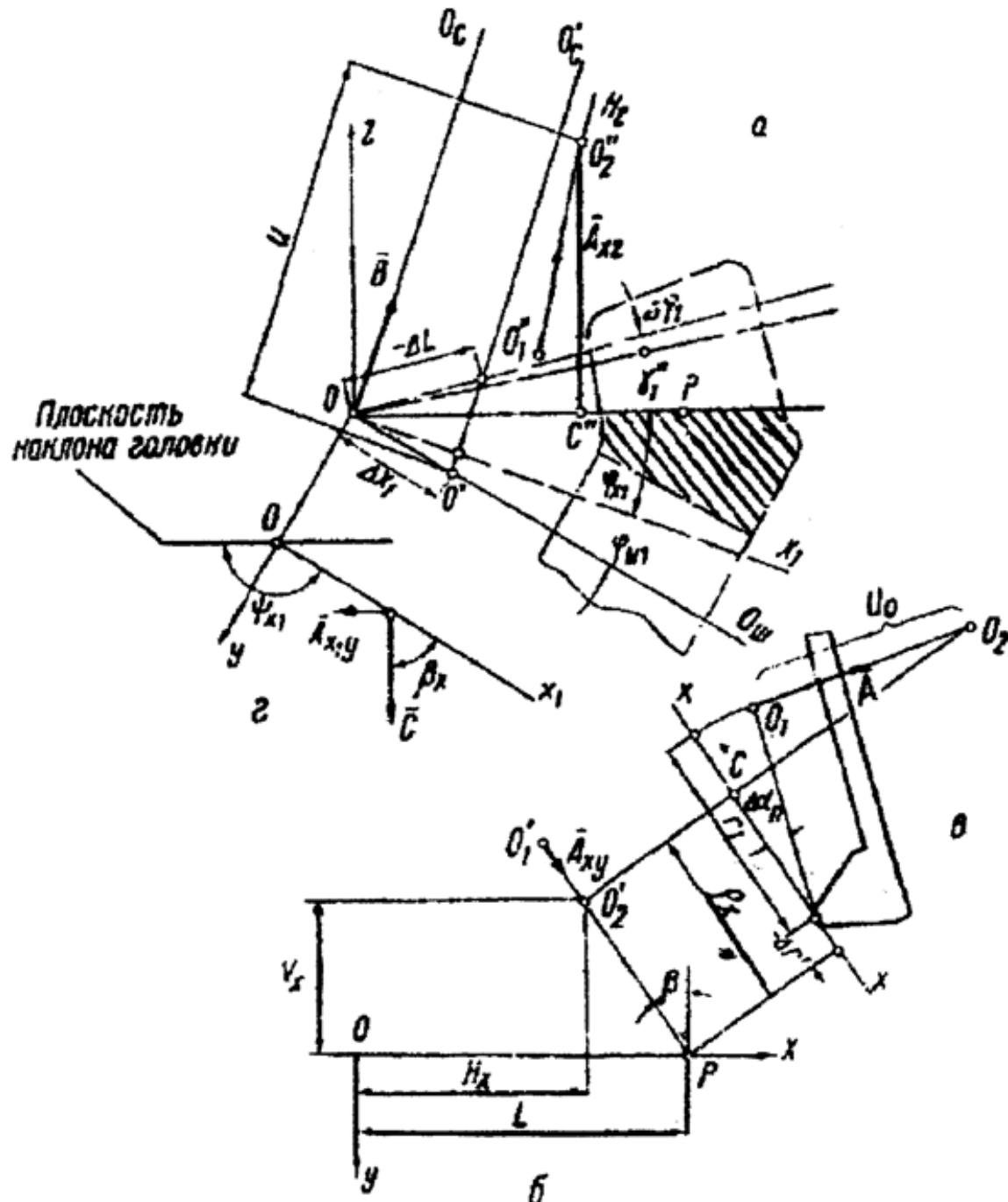


Рис. 46. Схема относительного расположения инструмента и заготовки на станке при нарезании зубьев шестерни

На станках 5A27C2 и «Глисон № 16» наклон резцовой головки колеблется в пределах  $+12$  до  $-20^\circ$ , т. е. угол резцовой головки, считая от нуля, может быть равен  $12$  и  $340^\circ$ . Если угол наклона при расчете получится более  $12^\circ$  или менее  $340^\circ$ , то необходимо изменить корневой угол на станке или угол режущей кромки резца и произвести перерасчет установок.

Формулы (33) и (37) выводятся из рассмотрения рис. 46, где плоскость  $XOY$  является касательной к впадинам заготовки,  $O - O_c$  — ось люльки, нормальная к плоскости качания люльки  $OYX_1$ .

Пусть единичный вектор  $\bar{A}$  направлен по оси резцовой головки, наклоненной к плоскости  $OYX$  под углом  $\Delta n$  по нормали к зубу.  $\bar{A}_{xz}$ ;  $\bar{A}_{yz}$ ;  $\bar{A}_{xy}$  — проекции вектора  $\bar{A}$  на координатные плоскости.

Единичный вектор  $\bar{B}$  направлен по оси люльки. Угол между вектором  $\bar{A}$  и  $\bar{B}$  является углом наклона резцовой головки к оси люльки.

$$\cos \Delta_x = \frac{(\bar{A} \cdot \bar{B})}{ab} . \quad (40)$$

Координаты векторов легко находятся из рис. 44.

$$\left. \begin{array}{ll} \bar{A}_x = \sin \Delta n \sin \beta & \bar{B}_x = \sin \varphi_{x1} \\ \bar{A}_y = \sin \Delta n \cos \beta & \bar{B}_y = 0 \\ \bar{A}_z = \cos \Delta n & \bar{B}_z = \cos \varphi_{x1} \end{array} \right\} \quad (41)$$

$$a=b=1.$$

Подставив значение (41) в уравнение (40), получим

$$\cos \Delta_x = \cos \Delta n \cos \varphi_{x1} + \sin \Delta n \sin \varphi_{x1} \sin \beta. \quad (42)$$

Введем вектор  $\bar{C}$ , перпендикулярный к векторам  $\bar{A}$  и  $\bar{B}$ , и единичный вектор  $\bar{D}$ , направленный по оси  $OX_1$ .

Угол между этими векторами  $\beta_{x1}$  определяет направление наклона оси резцовой головки в плоскости вращения люльки.

$$\cos \beta_{x1} = \frac{\overline{CD}}{cd} .$$

Так как

$$\bar{C} = \bar{A} \cdot \bar{B}, \quad \bar{D} = \frac{d\bar{B}}{d\varphi_{x1}},$$

$$\bar{C} = \sin(\bar{B}\bar{A}) = \sin \Delta_x ; d=1$$

$$\cos \beta_{x1} = \frac{\overline{D} \cdot \overline{(A \cdot B)}}{\sin \Delta_x}$$

или

$$\cos \beta_{x1} \sin \Delta_x = \frac{B_x B_y B_z}{\sin \Delta_x} \left| \begin{array}{c} D_x D_y D_z \\ A_x A_y A_z \\ B_x B_y B_z \end{array} \right| = D_x A_y B_z + A_x B_y D_z + B_x D_y A_z - D_z A_y B_x - A_z B_y D_x - B_z D_y A_x. \quad (43)$$

Координаты векторов

$$\begin{array}{lll} D_x = \cos \varphi_{x1} & A_x = \sin \Delta n \sin \beta & B_x = \sin \varphi_{x1} \\ D_y = 0 & A_y = \sin \Delta n \cos \beta & B_y = 0 \\ D_z = -\sin \varphi_{x1} & A_z = \cos \Delta n & B_z = \cos \varphi_{x1}, \end{array}$$

подставив в формулу (43) получим:

$$\cos \beta_{x1} \sin \Delta_x = \cos \beta \sin \Delta n \quad (44)$$

$$\sin \Delta_x = \frac{\cos \beta \sin \Delta n}{\cos \beta_{x1}} = \frac{\cos \beta \sin \Delta n}{\sin \varphi_{x1}}$$

см. формулу (33).

Можно найти  $\sin \beta_{x1}$ , как угол между единичным вектором  $\vec{i}$ , направленным по оси  $Y$ , и вектором  $\vec{C}$ :

$$\sin \beta_{x1} = \frac{d\vec{C}}{c} = \begin{matrix} 0 & 1 & 0 \\ A_x & A_y & A_z \end{matrix}$$

или

$$\sin \beta_{x1} \sin \Delta_x = -\sin \Delta n \cos \varphi_{x1} \sin \beta_{x1} + \cos \Delta n \sin \varphi_{x1}. \quad (45)$$

Поделим (45) на (44), тогда

$$\operatorname{tg} \beta_{x1} = -\cos \varphi_{x1} \operatorname{tg} \beta + \frac{\sin \varphi_{x1} \operatorname{ctg} \Delta n}{\cos \beta}$$

или

$$\operatorname{ctg} \psi_{x1} = \cos \varphi_{x1} \operatorname{tg} \beta - \frac{\sin \varphi_{x1} \operatorname{ctg} \Delta n}{\cos \beta},$$

(см. формулу (37)),

где  $\psi_{x1}$ —угол, составленный направлением наклона головки с положительным направлением оси  $OX_1$ .

Изменение угла начального конуса производящего колеса (изменение положения оси мгновенного вращения) при нарезании шестерни, учитывающее толщину зуба  $\Delta \varphi_1$ , определяется из рассмотрения рис. 47:

$$\frac{S_s}{2} = \frac{\pi L}{Z_c},$$

где  $Z_c$ —число зубьев производящего колеса;

$S_s$ —толщина зуба колеса.

Ось мгновенного вращения в сечении на длине  $L$  отклоняется на величину  $dR$ :

$$dR = \frac{S_s}{2} \operatorname{tg} a_s = \frac{S_s \operatorname{tg} a}{2 \cos \beta}, \quad (46)$$

где  $a_s$ —угол давления в торцовой плоскости;

$a$ —угол давления в нормальной плоскости.

$$\frac{R}{L} = \operatorname{ctg} \varphi_{x1}.$$

Дифференцируя, получим:

$$\frac{dR}{L} = -\frac{d\varphi_{x1}}{\sin^2 \varphi_{x1}}; \quad (47)$$

где  $\varphi_{x1}$ —угол начального конуса шестерни.

Соединяя уравнения (46) и (47), получим:

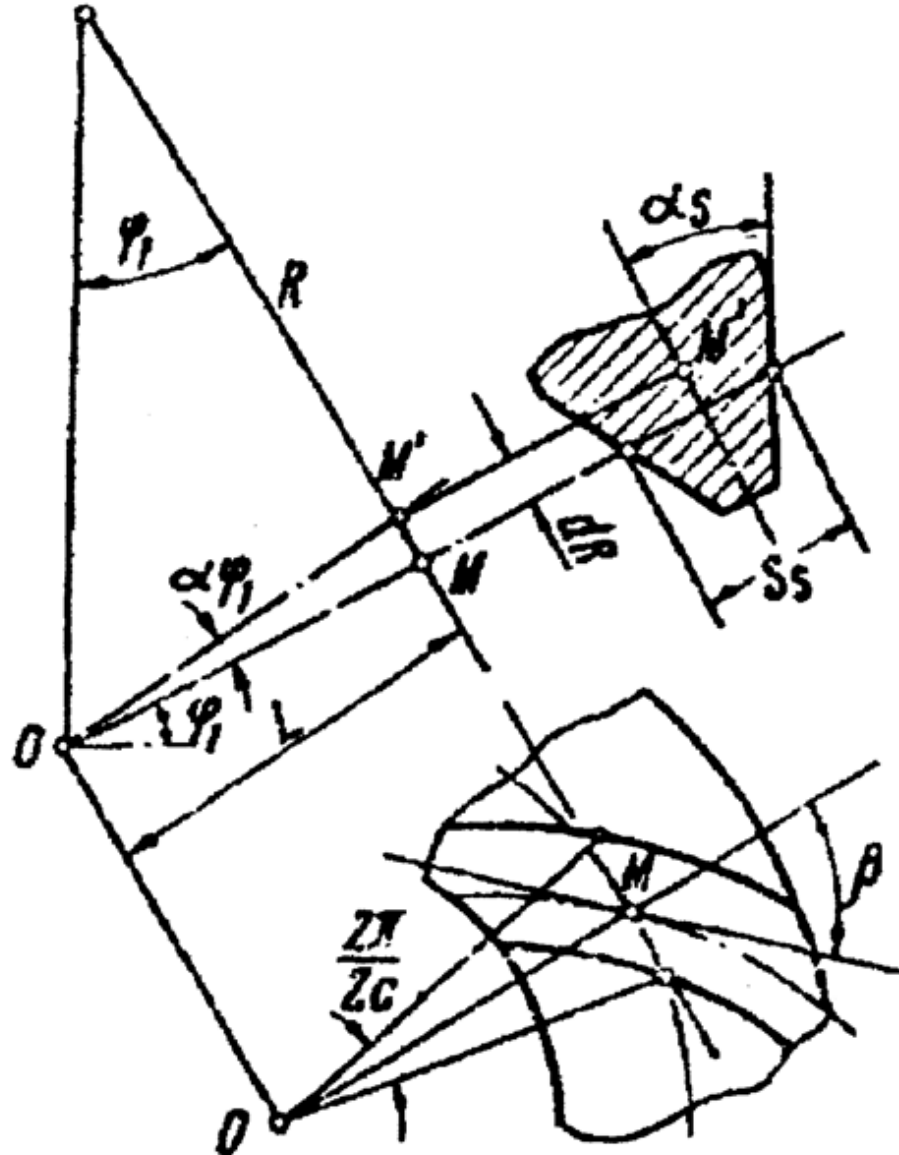


Рис. 47. Торцовое сечение зуба производящего колеса для обработки шестерни

$$d\varphi_{x1} = -\frac{\pi}{Z_c} = \frac{\operatorname{Tg} a}{\cos \beta} \sin^2 \varphi_{x1};$$

$$Z_c = \sqrt{Z_1^2 + Z_2^2}.$$

$$d\varphi_{x1} = d\varphi_{x1} \frac{360 \cdot 60}{2\pi} = d\varphi_{x1} \cdot 3440, \text{ в мин.}$$

Следовательно

$$D\varphi_{x1} = -\frac{108000}{\sqrt{Z_1^2 + Z_2^2}} \frac{\operatorname{tg} a}{\cos \beta} \sin^2 \varphi_{x1}. \quad (48)$$



Отношение  $\frac{\Delta L}{L}$  для полуобкатных шестерен равно:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{H}{V} \frac{(\gamma_1'' + \gamma_2'') \operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta} (1+D), \quad (49)$$

где  $\Delta L$  — изменение длины образующей начального конуса производящего колеса для исправления диагонального касания профилей зубьев полуобкатных передач;

$D$  — коэффициент, учитывающий исправление диагональности полуобкатной передачи,

$$D_k = \frac{\sin \beta}{L \operatorname{tg} \varphi_2} + \frac{\gamma_2''}{r}, \quad (50)$$

где  $D_k$  — коэффициент диагональности колеса полуобкатной передачи,

$r$  — радиус инструмента.

$$D_k = \frac{\sin \beta}{L \operatorname{tg} \varphi_2} - \frac{\gamma_2''}{r}, \quad (51)$$

$D_n$  — коэффициент диагональности для производящего колеса.

$$D_n = - \frac{\sin \beta}{L \sin^2 \varphi_2} d\varphi_2, \quad (52)$$

где  $\Delta D_n$  — изменение диагональности при изменении угла начального конуса производящего колеса (вследствие выбора произвольной установки корневого угла на станке при нарезании шестерни); получаем из (47) дифференцированием  $D_n$  по  $\varphi_2$ .

Суммарная диагональность определяется коэффициентом

$$D_\Sigma = D_k - (D_n - \Delta D_n) = \frac{\gamma_2'' + \gamma_1''}{r} + \frac{\sin \beta}{L \sin^2 \varphi_2} d\varphi_2. \quad (53)$$

Коэффициент диагональности контакта при осевом смещении и изменении передаточного отношения обкатки

$$D_{L1} = - \frac{K_L}{L} \frac{\cos^2 \beta}{\operatorname{tg} a} . \quad (54)$$

Для устранения диагонали контакта необходимо, чтобы

$$D_{\Sigma} + D_{L1} = 0 \quad (55)$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} \frac{K_L}{L} \frac{\cos^2 \beta}{\operatorname{tg} a} &= \frac{\gamma_1'' + \gamma_2''}{r} + \frac{\sin \beta}{L \sin^2 \varphi_2} d\varphi_2 ; \\ K_L &= \frac{\Delta L}{L} = \frac{L \operatorname{tg} a}{\cos^2 \beta} \left( \frac{\gamma_1'' + \gamma_2''}{r} + \frac{\sin \beta}{L \sin^2 \varphi_2} d\varphi_2 \right). \end{aligned} \quad (56)$$

Равенство (56) можно преобразовать следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta L}{L} &= \frac{L \operatorname{tg} a}{\cos^2 \beta} \left[ \frac{\gamma_1'' + \gamma_2''}{r} - \frac{\sin \beta}{L} (\gamma_1'' + \gamma_2'') + \frac{\sin \beta}{L} (\gamma_1'' + \gamma_2'') + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\sin \beta}{L \sin^2 \varphi_2} d\varphi_2 \right] = \frac{L \operatorname{tg} a}{\cos^2 \beta} \left[ (\gamma_1'' + \gamma_2'') \frac{L - r \sin \beta}{L r \cos \beta} \cos \beta + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\sin \beta}{L} (\gamma_1'' + \gamma_2'') \left( 1 + \frac{d\varphi_2}{(\gamma_1'' + \gamma_2'') \sin^2 \varphi_2} \right) \right]. \end{aligned}$$

Но так как  $L - r \sin \beta = H$ ; (см. формулы (10) и (11))

$r \cos \beta = V$ , то

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{H \operatorname{tg} a}{V \cos \beta} (\gamma_1'' + \gamma_2'') \left[ 1 + \frac{V \operatorname{tg} \beta}{H} \left( 1 + \frac{d\varphi_2}{(\gamma_1'' + \gamma_2'') \sin^2 \varphi_2} \right) \right].$$

Обозначим

$$\frac{V}{H} \operatorname{tg} \beta \left( 1 + \frac{d\varphi_2}{(\gamma_1'' + \gamma_2'') \sin^2 \varphi_2} \right) = D \quad (57)$$

$D$  — коэффициент, учитывающий особенности полуобкатной передачи;

Получим окончательно

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{H}{V} \frac{(\gamma_1'' + \gamma_2'') \operatorname{tg} a}{\cos \beta} (1+D) \quad (\text{см. формулу (49)}),$$

где  $\gamma_1''$  и  $\gamma_2''$  в радианах.

Поскольку углы ножек малы, можно пользоваться следующей формулой:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{H}{V} \frac{(\operatorname{tg} \gamma_1'' + \operatorname{tg} \gamma_2'') \operatorname{tg} a}{\cos \beta} (1+D). \quad (58)$$

При больших передаточных отношениях полуобкатной пары  $\sin^2 \varphi_2$  близок к единице; поэтому на практике формулы (57) и (58) приводят к виду:

$$D' = \frac{90^\circ - (\varphi_{x1} - \varphi_{x2})}{\gamma_1'' + \gamma_2''} \frac{V}{H} \operatorname{tg} \beta. \quad (59)$$

$$K_L = \frac{\Delta L}{L} = \frac{H}{V} \frac{(\operatorname{tg} \gamma_1'' + \operatorname{tg} \gamma_2'') \operatorname{tg} a}{\cos \beta} (1+D'+X), \quad (60)$$

где  $X$  — коэффициент, регулирующий величину диагональности контакта. При первом расчете  $X$  берется равным нулю. Практика показала, что необходимости во втором обычно не имеется.

Удовлетворительные результаты обычно получаются при  $X=0$ .

Для более точного нахождения коэффициентов диагональности контакта во всех приведенных формулах в качестве углов давления и спирали ( $a$  и  $\beta$ ) следует брать их истинные значения на начальном конусе для той или другой стороны зуба.

Определение истинных значений  $a$  и  $\beta$  [см. 1].

Изменение радиуса резцовой головки складывается из двух поправок:

$\Delta r_1$  — изменение радиуса резцовой головки при переходе из плоскости впадин колеса в плоскость впадин шестерни;

$\Delta r_2$  — изменение радиуса кривизны линии зуба вследствие влияния осевого смещения заготовки.

Для вывода первой поправки воспользуемся теоремой Менье (рис. 48):

$O-I$  — плоскость, касательная к впадинам зуба колеса;

$O-II$  — плоскость, касательная к впадинам зуба шестерни;

$r_1$  — радиус средней точки  $a$  в плоскости.

При переходе в плоскость  $II$  радиус  $r_1$  изменяется и определяется согласно теореме Менье по следующей формуле:



$$\Delta r_2 = \frac{r^2}{L} \frac{H}{V} \frac{\operatorname{tg} a \sin \beta}{\cos \beta} (\gamma_1'' + \gamma_2'') (1+D).$$

Суммарная поправка

$$\Delta r_{\Sigma} = \Delta r_1 + \Delta r_2 = r \operatorname{tg} a \sin \beta (\gamma_1'' + \gamma_2'') \left[ 1 + \frac{H}{L \cos^2 \beta} (1+D) \right]. \quad (63)$$

Изменение радиуса резцовой головки для создания локализованного контакта  $\Delta r_m$  определяется по известной формуле:

$$\Delta r_r = 0,0635 \left( \frac{U}{K \cdot B} \right)^2, \quad (64)$$

где 0,0635—постоянное число, характеризующее отход профилей;

$K$ —коэффициентная локализация, принимается в пределах 0,4—0,5;

$B$ —ширина венца шестерни;

$U$ —вертикальная координата центра резцовой головки. Величину радиуса резцовых головок по вершинам резцов для обработки вогнутой и выпуклой сторон зуба шестерни определим из рассмотрения рис. 49.

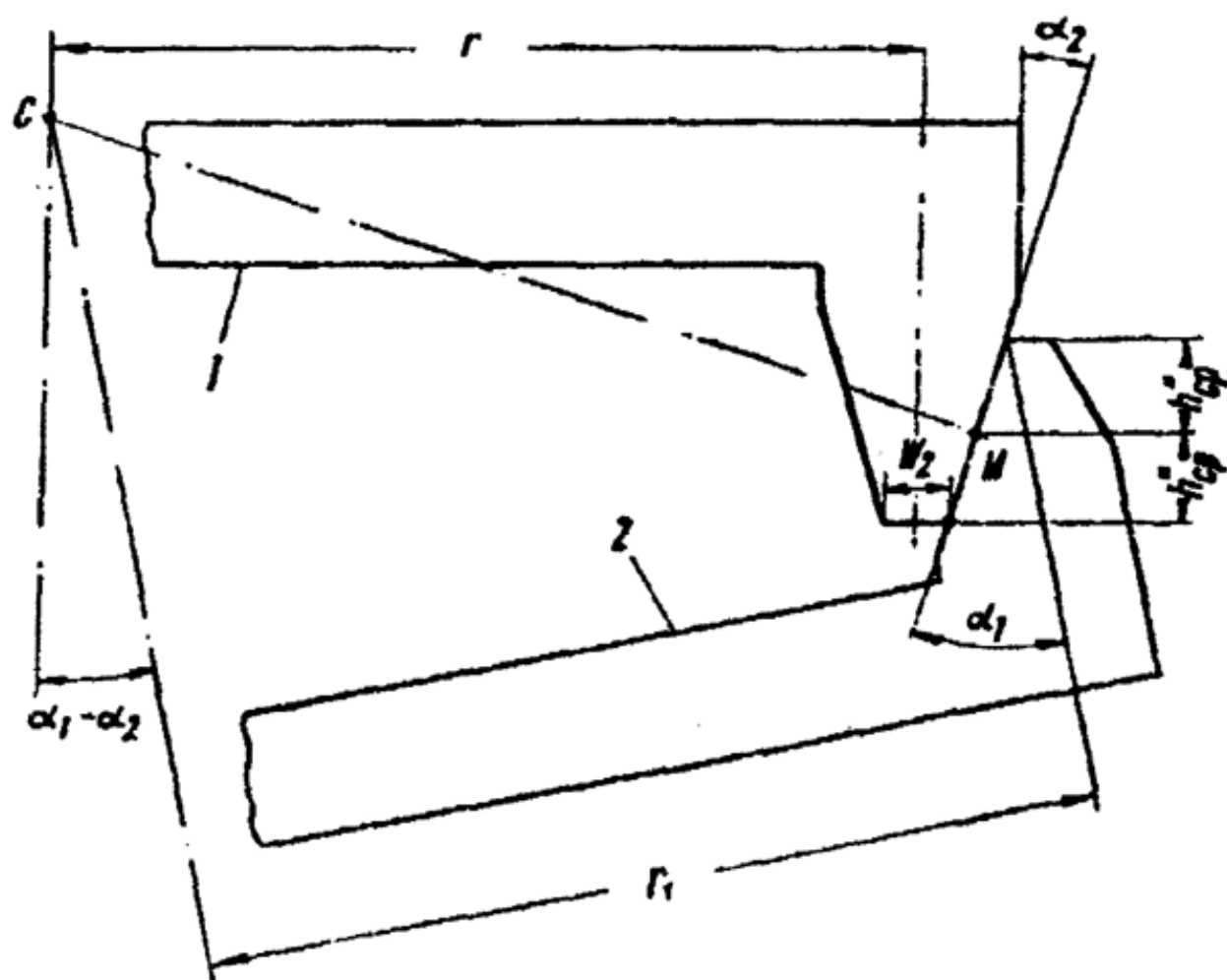


Рис. 49. Радиальное сечение зубопротяжной головки и обычной резцовой головки: 1—круговая протяжка; 2—резцовая головка



Допустим, что сопряжение радиусов головок должно быть примерно в среднем сечении зуба.

Из рис. 47 имеем:

$$r_1 = [r \pm \frac{W_2}{2} + h''_{cp} \operatorname{tg} a_2] \frac{\cos a_1}{\cos a_2} \pm h''_{cp} \frac{\sin a_1}{\cos a_2} =$$

$$= (r \pm \frac{W_2}{2}) \frac{\cos a_1}{\cos a_2} \pm h''_{cp} \frac{\sin (a_2 - a_1)}{\cos^2 a_2},$$

где  $W_2$  — ширина развода резцов круговой протяжки.

Так как

$$h''_{cp} = L \frac{\operatorname{tg} \gamma_1'' + \operatorname{tg} \gamma_2''}{2}, \text{ то}$$

$$r_1 = (r \pm) \frac{W_2}{2} \frac{\cos a_1}{\cos a_2} \pm \frac{L \sin(a_1 + a_2)}{2 \cos^2 a_2} (\operatorname{tg} \gamma_1'' + \operatorname{tg} \gamma_2'').$$

Учитывая поправки на радиус резцовой головки, приведенные в формулах (63) и (64), будем иметь:

$$r_1 = \frac{[r \pm (\frac{W_2}{2} - \Delta r_T + \Delta r)] \cos a_1}{\cos a_2} \pm \frac{L \sin(a_1 + a_2)}{2 \cos^2 a_2} (\operatorname{tg} \gamma_1'' + \operatorname{tg} \gamma_2''). \quad (65)$$

В формуле (65) знак минус — для вогнутой стороны зуба, знак плюс — для выпуклой.

Как известно, при переходе из плоскости  $I$  в плоскость  $II$  (см. рис. 48) изменяются координаты центра резцовой головки на некоторую величину  $\Delta U$  и  $\Delta H$ . Изменяется также и угол наклона зуба на величину  $\Delta \beta$  и радиус резцовой головки на  $\Delta r'$ .

$$\Delta \beta \approx \operatorname{tg} \alpha \cos \beta (\gamma_1'' + \gamma_2''); \quad (66)$$

$$\Delta r = \frac{W_2}{2} + L \operatorname{tg} \alpha (\gamma_1'' + \gamma_2''). \quad (67)$$

Эти изменения можно компенсировать изменением радиальной установки  $S$  на величину  $\Delta S$ , которую определим из рис. 50.

Из треугольника  $OCM$  имеем:

$$S^2 = L^2 + r^2 - 2L \sin \beta. \quad (68)$$

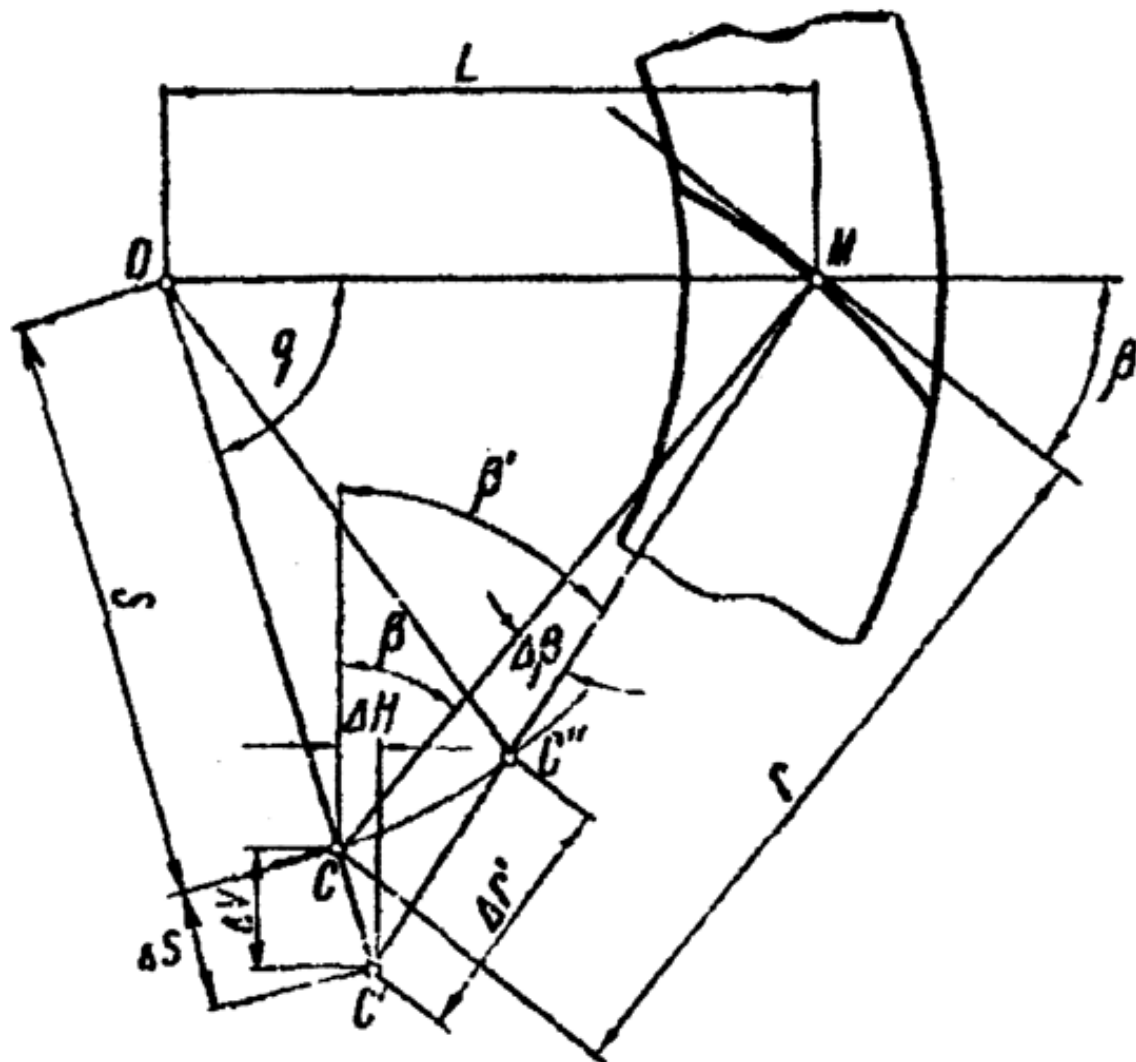


Рис. 50. Изменение координат центра резцовой головки:  
 $C$  – центр резцовой головки;  $O$  – вершина делительного конуса  
 шестерни;  $M$  – точка, расположенная посередине зуба

Продифференцируем формулу по переменным  $S$ ;  $r$  и  $\beta$ .

$$2SdS = 2r dr - 2L \sin \beta dr - 2r L \cos \beta d\beta.$$

Отсюда

$$dS = \frac{r - L \sin \beta}{S} dr - \frac{UL}{S} d\beta.$$

Вместо дифференциалов можно взять приращения,  
 тогда

$$\Delta S = \frac{(r - L \sin \beta) \Delta r - UL \Delta \beta}{S}. \quad (69)$$

радиальная установка  $S'$  с поправкой будет равна:

$$S' = S \pm \Delta S.$$

Такое изменение координат центра резцовой головки можно осуществить, сохраняя угол наклона зуба и не изменяя величины радиальной установки  $S$ , следующим образом.

Центр резцовой головки из точки  $C$  переносим в точку  $C'$ , сохраняя расстояние  $S$  от вершины начального конуса  $O$  до точки  $C''$ . Как видно из рис. 50, кривизна зуба при этом изменится дополнительно на величину  $\Delta r$ . Общее изменение кривизны зуба при  $\Delta S = 0$  будет равно сумме поправок  $\Delta r + \Delta r'$ .

Подставляя в формулу (69) значение  $\Delta S$  и поправки на радиус кривизны, получим

$$\Delta r + \Delta r' = \frac{UL}{r - L \sin \beta} \Delta \beta; \quad (70)$$

$$\Delta r' = \frac{UL}{r - L \sin \beta} \Delta \beta - \Delta r; \quad (71)$$

Подставив в формулу (71) значение величин  $\Delta \beta$  и  $\Delta r$ , получим

$$\begin{aligned} \Delta r' &= \frac{UL}{r - L \sin \beta} \left[ \operatorname{tg} \alpha \cos \beta (\gamma_1'' + \gamma_2'') - \frac{W_2}{2} L \operatorname{tg} \alpha (\gamma_1'' + \gamma_2'') \right] = \\ &= L \operatorname{tg} \alpha (\gamma_1'' + \gamma_2'') \left[ \frac{U \cos \beta}{r - L \sin \beta} - 1 \right] - \frac{W_2}{2}. \end{aligned}$$

Но 
$$V - H \operatorname{tg} \beta = \frac{r - L \sin \beta}{\cos \beta},$$

поэтому

$$L \operatorname{tg} \alpha (\gamma_1'' + \gamma_2'') \left[ \frac{V}{V - H \operatorname{tg} \alpha} - 1 \right] - \frac{W_2}{2} = \frac{LH \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}{V - H \operatorname{tg} \beta} (\gamma_1'' + \gamma_2'') - \frac{W_2}{2}$$

и окончательно

$$\Delta r' = \frac{LH \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}{V - H \operatorname{tg} \alpha} (\operatorname{tg} \gamma_1'' + \operatorname{tg} \gamma_2'') - \frac{W_2}{2} \quad (72)$$

Для определения положения центра резцовой головки на станке и других наладочных данных обратимся к рис. 46, на котором представлены взаимные положения резцовой головки, заготовки и производящего колеса. Точка  $O_2$ , вокруг которой производится наклон резцовой головки, расположена в станках 5A27C2, 5A27C3 и «Глисон №16» на расстоянии  $U_0=368,3$  мм от плоскости вершин резцов. Поэтому при наклоне головки в нормальной плоскости и направлении зуба на угол  $\Delta a_n$  (так, как показано на фигуре) центр наклона спроектируется на расчетную плоскость, касательную к впадинам зубьев в точку  $O'_2$ , координаты которой будут:

$$H_x = L - p_x \sin \beta;$$

$$V_x = p_x \cos \beta,$$

где

$$p_x = r_1 \cos \beta \Delta a_n - U_0 \sin \Delta a_n \pm \Delta r'. \quad (73)$$

Координаты центра наклона в плоскости  $OXY$  вращения люльки, в которой производится их установка на станке:

$$H_t = H_x \cos \varphi_{x1} - h \sin \varphi_{x1} + \cos \Delta a_n, \quad (74)$$

где

$$h = O_2C = r_1 \sin \Delta a_n + U_0 \cos \Delta a_n;$$

$\Delta X_1$  — осевое смещение заготовки для исправления диагональности контакта,

$$\Delta X_1 = \pm \Delta L \frac{\cos (\varphi_{x1} + \gamma_1'' + \Delta \varphi_1)}{\cos \varphi_{m1}} \quad (75)$$

(на фигуре изображено отрицательное смещение, при котором заготовка перемещается вперед для вогнутой стороны зуба. Для выпуклой стороны делается обратное смещение).

Подставив в равенство (66) все промежуточные величины, получим:

$$\begin{aligned} H_t = & (L - p_x \sin \beta) \cos \varphi_{x1} - (r_1 \sin \Delta a_n + U_0 \cos \Delta a_n) \sin \varphi_{x1} \pm \\ & \pm \Delta L \cos (\varphi_{x1} + \gamma_1'' + \Delta \varphi_1). \end{aligned} \quad (76)$$

Вертикальная координата остается без изменения, т. е.

$$V_t = V_x \quad (77)$$

Все остальные установки, связанные с положением резцовой головки, определяются по следующим простым формулам:

1. Угол, определяющий поворот резцовой головки и люльки:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{H_t}{V_x} . \quad (78)$$

2. Радиальная установка:

$$S = \frac{V_x}{\cos \omega} . \quad (79)$$

3. Угол поворота барабана:

$$I = \psi_{x1} - \omega . \quad (80)$$

4. Угол люльки для правоспиральной шестерни:

$$\alpha = 90^\circ - \omega . \quad (81)$$

5. Угол люльки для левоспиральной шестерни:

$$Q = 360^\circ - \omega . \quad (82)$$

6. Положение скользящей базы (см. рис. 46):

$$\begin{aligned} W_B = U - U_o &= H_x \sin \varphi_{x1} + h \cos \varphi_{x1} - \Delta X_1 \sin \varphi_{x1} - U_o = \\ &= (L - p_x \sin \sin \beta) \sin \varphi_{x1} + (r_1 \sin \Delta a_n + U_o \cos \Delta a_n) \cos \varphi_{x1} - \\ &\quad - \Delta X_1 \sin \varphi_{M1} - U_o . \end{aligned} \quad (83)$$

Передаточное отношение сменных шестерен обкатки определяется по формуле:

$$i_o = \frac{Z_c}{75} , \quad (84)$$

где  $Z_c$  — число зубьев производящего колеса.



При отсутствии осевого смещения согласно данным рис. 46. получим:

$$\frac{Z_c}{Z_1} = \frac{\sin \varphi_c}{\sin \varphi_1},$$

где

$$\varphi_c = 90^\circ - (\varphi_{x1} + \gamma_1'' + \Delta\varphi_1);$$

$$\varphi_1' = \varphi_1 + \Delta\varphi_1.$$

Поэтому

$$Z_c = Z_1 \frac{\cos(\varphi_{x1} + \gamma_1'' + \Delta\varphi_1)}{\sin(\varphi_{x1} + \Delta\varphi_1)}. \quad (85)$$

При исправлении диагональности контакта комбинацией осевого смещения с изменением передаточного отношения обкатки необходимую поправку к передаточному отношению можно найти, воспользовавшись рис. 51 ( $O-O_c$ —ось производящего колеса;  $O-O_{ш}$ —ось нарезаемой зубчатки,  $O-P$ —мгновенная ось вращения в относительном движении;  $R$  и  $r$ —радиусы точки  $P$ ).

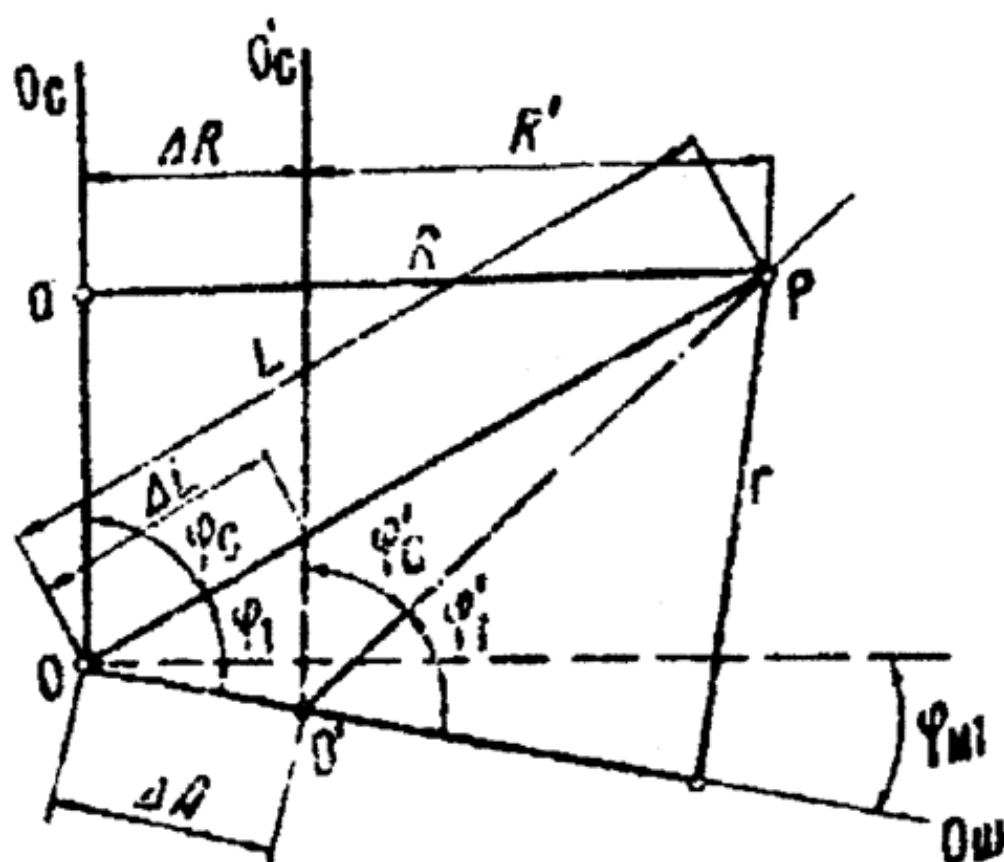


Рис. 51. Радиальное сечение производящего и нарезаемого колес

Произведем смещение заготовки на величину  $\Delta A$  вдоль оси. Ось производящего колеса окажется в положении  $O'—O'_c$ . Для того чтобы угол зацепления в средней точке зуба  $P$  остался без изменения, необходимо, чтобы новая ось зацепления проходила через эту точку, т. е. углы начальных производственных конусов должны быть  $\varphi'_c$  и  $\varphi'_1$ .

Передаточное отношение обкатки до смещения:

$$i_0 = \frac{Z_c}{Z_1} = \frac{R}{r} = \frac{\sin \varphi_c}{\sin \varphi_1}. \quad (86)$$

После смещения оно должно быть:

$$i' = \frac{Z'_c}{Z_1} + \frac{R'}{r} = \frac{\sin \varphi'_c}{\sin \varphi'_1}. \quad (87)$$

Поделив (87) на (86) и сделав преобразования, получим:

$$\frac{i'}{i_0} = \frac{R'}{R}; \quad \frac{i' - i_0}{i_0} = \frac{R' - R}{R} = - \frac{\Delta R}{R};$$

$$i' = i_0 \left( 1 - \frac{\Delta R}{R} \right).$$

Но из треугольника  $OAP$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L}.$$

Поэтому окончательно:

$$i' = i_0 \left( 1 \pm \frac{\Delta L}{L} \right),$$

где знак берется в зависимости от направления смещения. Учитывая найденную поправку, а также равенства (84) и (85), окончательно можно написать:

$$i_0 = \frac{Z_1}{75} \frac{\cos(\varphi_{x1} + \gamma_1'' + \Delta\varphi_1)}{\sin(\varphi_{x1} + \Delta\varphi_1)} \left(1 \pm \frac{\Delta L}{L}\right). \quad (88)$$

Примерный расчет наладочных данных для обработки зубьев конической передачи, расчет наладок и режимы резания даны в приложениях 1, 2, 3, 4 и 5.

На рис. 52 показана новая конструкция зубопротяжной головки.

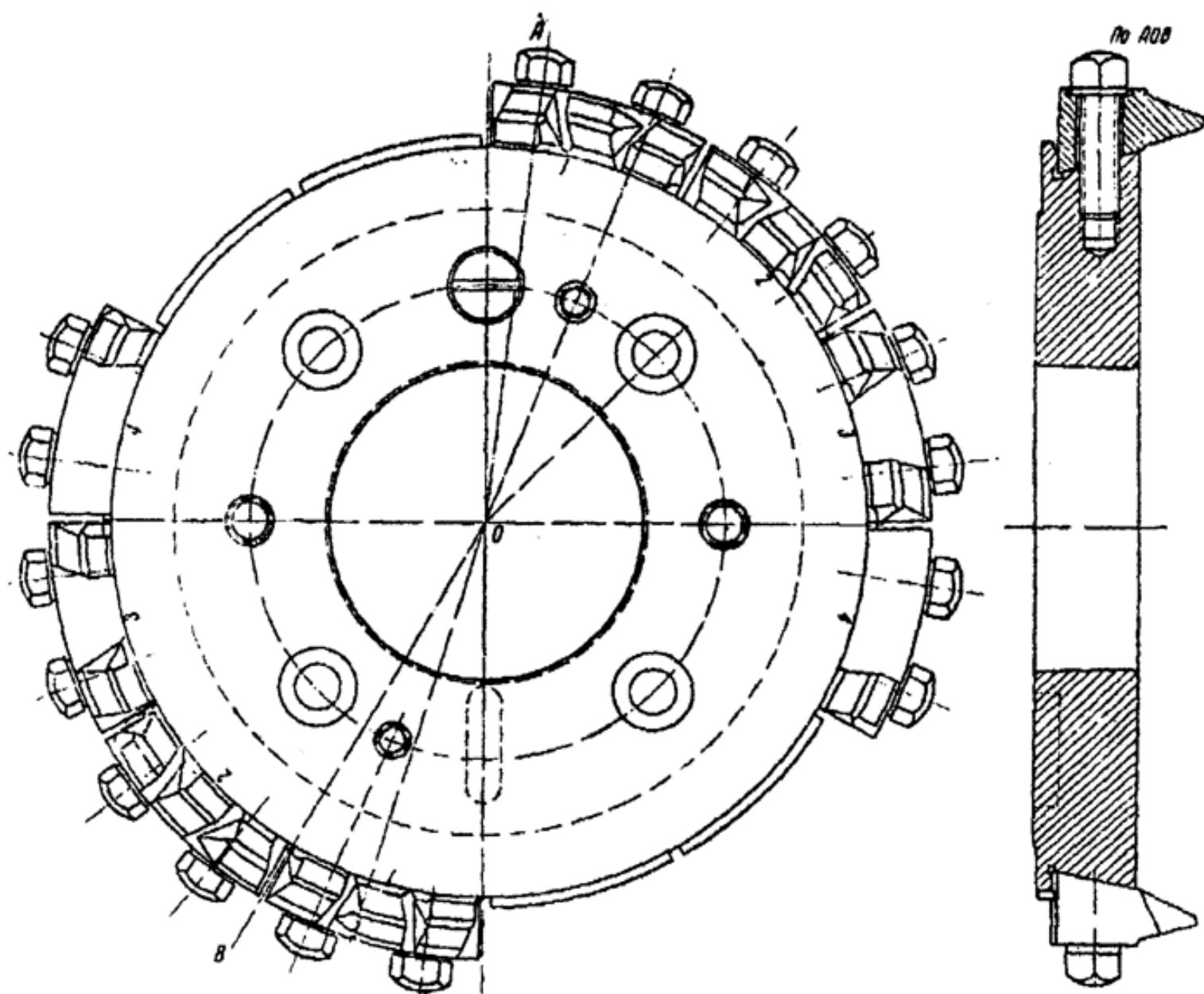


Рис.52. Зубопротяжная головка новой конструкции

Головки имеют два промежутка, свободных от резцов. При увеличении передаточного отношения делительной цепи зубопротяжных станков № 5255А, «Глисон №22» в два раза делительный поворот заготовки будет осуществляться не за один оборот головки, а за 1/2 оборота в то время, когда против заготовки будут находиться свободные от резцов секторы головки.

Увеличение передаточного отношения в цепи деления осуществляется путем увеличения числа заходов эвольвентного червяка червячной передачи на станке с 4 до 8. Скорость резания, подача на зуб и общий припуск на обработку остаются без изменения. Очень важно, чтобы последние калибрующие резцы находились в работе последовательно по одному. Это обеспечивает получение лучшей чистоты профиля, точности шага и однородности контакта на зубьях.

Приложение № 1

**Примерный расчет наладочных данных на зуборезные станки для обработки зубьев конических колес главной передачи заднего моста автомобиля ГАЗ-63 полуобкатным методом.**  
**Исходные данные (по фигурам)**

| №№<br>п.п. | Наименование величин                                      | Обозначение и величина       |                            |
|------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------|
|            |                                                           | ведущая<br>шестерня          | ведомое колесо             |
| 1          | Угол ножки зуба                                           | $\gamma_1'' = 1^\circ 36'$   | $\gamma_2'' = 3^\circ 31'$ |
| 2          | Угол наклона зуба                                         | $\beta = 3^\circ 31'$        |                            |
| 3          | Длина образующей делительного конуса, мм                  | $L = 161,722$                |                            |
| 4          | Ширина венца, мм                                          |                              | $b = 42,5$                 |
| 5          | Угол конуса впадин                                        | $\varphi_{i1} = 5^\circ 54'$ |                            |
| 6          | Монтажное расстояние, мм                                  | $X_1 = 161,925$              |                            |
| 7          | Вылет оправки, мм                                         | $A_1 = 118$                  |                            |
| 8          | Число зубьев                                              | $Z_1 = 5$                    |                            |
| 9          | Угол делительного конуса                                  | $\varphi_1 = 7^\circ 30'$    |                            |
| 10         | Угол зацепления передачи                                  | $\alpha = 20^\circ$          |                            |
| 11         | Толщина зуба по дуге делительной окружности, мм           | $S_1 = 17,831$               | $S_2 = 8,687$              |
| 12         | Высота ножки зуба, мм                                     | $h_1 = 4,521$                | $h_2 = 9,931$              |
| 13         | Профильный угол резца для обработки вогнутой стороны зуба | $\alpha_1' = 14^\circ$       | $\alpha_2' = 20^\circ$     |
| 14         | Профильный угол резца для обработки выпуклой стороны зуба | $\alpha_1'' = -31^\circ$     | $\alpha_2'' = -20^\circ$   |
| 15         | Полная высота зуба, мм                                    | $h = 13,2$                   |                            |
| 16         | Модуль, мм.                                               | $m = 8,4388$                 |                            |

## Расчет наладки для нарезания зубьев колеса

| №№<br>п.п. | Определяемая величина                                                                                                                                                                                                             | Вычислено<br>по формуле | Результаты<br>вычислений |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1          | 2                                                                                                                                                                                                                                 | 3                       | 4                        |
| 1          | $\Delta\alpha_2$ — изменение в углах наклона режущих кромок резцов зубопротяжной головки в нормальной плоскости к зубу, необходимое для создания одинаковых углов зацепления на вогнутой и выпуклой сторонах зуба ведомого колеса | (9)                     | - 1°57'                  |
| 2          | $H$ — горизонтальная координата центра зубопротяжной головки — исходная                                                                                                                                                           | (10)                    | 56,098 мм                |
| 3          | $V$ — вертикальная координата центра зубопротяжной головки — исходная                                                                                                                                                             | (11)                    | 126,913 мм               |
| 4          | $\beta_{x2}$ — угол наклона зуба колеса в плоскости вращения зубопротяжной головки после установки нарезаемого колеса на угол $\varphi_{m2}$                                                                                      | (8)                     | 24°27'                   |
| 5          | $\Delta\beta_2$ — изменение в угле наклона зубьев колеса вследствие установки заготовки на станке под углом $\varphi_{m2}$ вместо $\varphi_{i2}$                                                                                  | (13)                    | - 9°10'                  |
| 6          | $\varphi_{m2}$ — угол установки головки на зубопротяжном станке при обработке зубьев колеса (корневой угол)                                                                                                                       | (3)                     | 79°56'                   |
| 7          | $h''_{c2}$ — высота ножки в среднем сечении зуба колеса                                                                                                                                                                           | (16)                    | 8,633 мм                 |
| 8          | $\Delta R$ — изменение положения центра зубопротяжной головки в плоскости по нормали к зубу относительно расчетной точки зуба вследствие установки головки с заготовкой на станке под углом $\varphi_{m2}$                        | (16, а)                 | - 0,249 мм               |
| 9          | $\Delta h$ — изменение высоты зуба вследствие установки головки на угол $\varphi_{m2}$                                                                                                                                            | (17)                    | 2,652 мм                 |
| 10         | $\Delta X_2$ — изменение монтажного расстояния заготовки на станке вследствие установки головки на угол $\varphi_{m2}$                                                                                                            | (18)                    | -2,693                   |
| 11         | $X_{m2} = X_2 + A_2 - \Delta X_2$ — монтажное расстояние на станке                                                                                                                                                                |                         | 140,46                   |
| 12         | $H_m$ — горизонтальная координата центра зубопротяжной головки                                                                                                                                                                    | (20)                    | 75,231                   |
| 13         | $V_m = V_1$ — вертикальная координата центра зубопротяжной головки                                                                                                                                                                | (20)                    | 116,129                  |



| 1  | 2                                                                                 | 3    | 4      |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
| 14 | $\delta_2$ — угловая установка инструментальной каретки на зубопротяжном станке   | (22) | 7°45'  |
| 15 | $H_s$ — горизонтальная установка инструментальной каретки на зубопротяжном станке | (22) | 93,370 |

## Приложение № 3

## Расчет наладок для нарезания зубьев шестерни

| №№<br>п.п. | Объект определения                                                                                                                   | Вычислено<br>по формуле | Результаты вычисления        |                              |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|
|            |                                                                                                                                      |                         | для вогнутой<br>стороны зуба | для выпуклой<br>стороны зуба |
| 1          | 2                                                                                                                                    | 3                       | 4                            | 5                            |
| 16         | $\Delta \varphi_1$ — изменение угла начального конуса производящего колеса                                                           | (48)                    | 2'                           |                              |
| 17         | $\varphi_{m1}$ — корневой угол на станке                                                                                             | задаем                  | – 5°                         | + 3                          |
| 18         | $\varphi_{x1}$ — угол между плоскостью вращения люльки зуборезного станка и образующей конуса впадин шестерни                        | (38)                    | 10°51'                       | 2°54'                        |
| 19         | $D'$ — поправка на исправление диагонального касания профилей зубьев сопряженных конических колес                                    | (60)                    | 0,034294                     | 2,385892                     |
| 20         | $\Delta L$ — изменение длины образующей начального конуса производящего колеса для исправления диагонального касания профилей зубьев | (49)                    | 2,507                        | 8,2075                       |
| 21         | $\Delta X_1$ — изменение положения заготовки по оси на станке в связи с исправлением диагонального контакта                          | (75)                    | – 2,447                      | 8,182                        |
| 22         | $i_0$ — передаточное число сменных шестерен гитары обкатки                                                                           | (88)                    | 0,487522                     | 9,536555                     |
| 23         | $\Delta r_T$ — изменение радиуса резцовой головки для получения локализованного контакта поверхностей зубьев по длине                | (64)                    | 6,2917                       |                              |

| 1  | 2                                                                                                                                                                                 | 3                  | 4           | 5           |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------|-------------|
| 24 | $\Delta r$ — изменение радиуса резцовой головки вследствие применения плосковершинных производящих колес и устранения диагональности контакта                                     | (63)               | 4,313       | 8,10145     |
| 25 | $W_2$ — развод резцов зубопротяжной головки                                                                                                                                       | из чертежа головки |             | 6,6179      |
| 26 | $r_1$ — радиус точек нарезания резцов резцовых головок для чистовой обработки зубьев шестерни                                                                                     | (65)               | 151,948     | 149,20646   |
| 27 | $\Delta_{z1}$ — угол наклона резцовой головки (в нормальной плоскости к зубу), необходимый для создания одинаковых углов зацепления на вогнутой и выпуклой сторонах зуба шестерни | (36)               |             | 53'         |
| 28 | $\varphi_{x1}$ — угол, определяющий направление наклона резцовой головки                                                                                                          | (37)               | 27°58'      | 72°3'20"    |
| 29 | $\Delta_x$ — угол, наклона резцовой головки на чистовом зуборезном станке «Глнсон № 16»; 5A27C2; 5A27C3 — или Модуль ГДР                                                          | (33)               | – 9°28'40"  | 4°28'40"    |
| 30 | $\Delta_{r1}$ — изменение радиуса (кривизны зуба) вследствие перехода из плоскости I в плоскость II (см. фиг.19)                                                                  | (72)               | 350°53'20"  |             |
| 31 | $\rho$ — радиус фрезерования в плоскости качания люльки                                                                                                                           | (73)               | – 1,1081    |             |
| 32 | $H_1$ — горизонтальная координата центра резцовой головки                                                                                                                         | (76)               | 119,905     | = 80,7856   |
| 33 | $\omega$ — угол, определяющий величину поворота резцовой каретки и угла люльки на станке (см. фиг. 15,16)                                                                         | (78)               | = – 1,04397 | = 84,04937  |
| 34 | $S$ — радиальная установка резцовой каретки на станке                                                                                                                             | (79)               | = – 0°36'   | = 38°40'30" |
| 35 | $I$ — угол поворота резцовой каретки                                                                                                                                              | (80)               | 100,224     | 67,27864    |
|    |                                                                                                                                                                                   |                    | – 27°22'    | – 33°22'50" |

| 1  | 2                                              | 3    | 4       | 5            |
|----|------------------------------------------------|------|---------|--------------|
| 36 | $q$ — угол люльки для правоспиральной шестерни | (81) | 90°36'  | — 4 1°19'30" |
| 37 | $Q$ — угол люльки для левоспиральной шестерни  | (82) | 269°24' | 318°41'      |
| 38 | $W_B$ — положение каретки                      | (83) | 19,204  | 31,461       |

## Приложение № 4

## Режимы резания при черновом нарезании зубьев

| Характеристика колес                                                              | Модели зуборезных станков     | Режимы резания  |                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------|
|                                                                                   |                               | скорость, м/мин | подача на зуб, сек. |
| Модуль 8,5 мм, материал 20ХНМ, 40Х, длина образующей делительного конуса 160 мм   | Глисон № 22 чернов.           | 38 — 46         | 11 — 14             |
|                                                                                   | Глисон № 20 чернов.           | 37 — 46         | 14 — 17             |
|                                                                                   | Глисон № 26 универс.          | 43 — 49         | 12 — 15             |
|                                                                                   | ЭНИМС 528 универс.            | 40 — 45         | 13 — 14             |
| Модуль 4,5 мм, материал 35ХМА, 20ХНМ, длина образующей делительного конуса 115 мм | Глисон № 11 чернов.<br>5А27С1 | 35,8 — 41       | 11 — 12             |
|                                                                                   |                               | 35 — 45         | 13 — 15             |
| Модуль 8,5 мм, материал 20ХНМ, длина образующей делительного конуса 180 мм        | Глисон № 16 чернов.           | 38,4 — 44       | 47 — 57,5           |
|                                                                                   | Глисон № 15 чернов.           | 36 — 43         | 50                  |
|                                                                                   | 5А27С I                       | 40              | 40                  |
| Модуль 4,5 мм, материал 20ХНМ, длина образующей делительного конуса 115 мм        | Глисон № 16 чернов.           | 37,8 — 43,4     | 47 — 57,5           |
|                                                                                   | Глисон № 15                   | 37 — 43         | 50                  |
|                                                                                   | 5А27С1                        | 40              | 50                  |

## Приложение № 5

## Режимы резания при чистовом нарезании зубьев

| Характеристика колес                                                                                                                 | Модели зуборезных станков | Режимы резания  |                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------|---------------------|
|                                                                                                                                      |                           | скорость, м/мин | подача на зуб, сек. |
| 1                                                                                                                                    | 2                         | 3               | 4                   |
| Ведомые колеса главных передач грузовых автомобилей, модуль 8,5 мм, материал 20ХНМ, 40Х, длина образующей делительного конуса 160 мм | Глисон № 22 чистов.       | 8,2             | 6,9                 |
|                                                                                                                                      | Глисон № 26 универс.      | 56 — 64         | 26 — 31             |
|                                                                                                                                      | ЭНИМС 528 универс.        | 60              | 30                  |

| 1                                                                                                                                      | 2                                                    | 3                     | 4                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Ведомые колеса главных передач легковых автомобилей, модуль 4,5 мм, материал 35ХМА, 20ХНМ, длина образующей делительного конуса 115 мм | Глисон № 11 чистов.<br>5255А<br>Глисон № 16 универс. | 8,2<br>6,2<br>59 — 71 | 6,9<br>6,9<br>25,1—30,2 |
| Ведущие колеса главных передач грузовых автомобилей, модуль 8,5 мм, материал 20ХНМ, длина образующей делительного конуса 160 мм        | Глисон № 16 чистов.<br>5А27С2<br>Модуль (ГДР)        | 60 — 68<br>60<br>60   | 52,8<br>50<br>50        |
| Ведущие колеса главных передач легковых автомобилей, модуль 4,5 мм, материал 20ХНМ, длина образующей делительного конуса 115 мм        | Глисон № 16 чистов.<br>15А27С2<br>Модуль (ГДР)       | 60 — 68<br>60<br>60   | 67,2<br>67,2<br>67,2    |

### Заключение

Приведенная информация позволяет студенту освоить разработку современной технологии изготовления конических зубчатых колес и вал – шестерен по всем операциям с выбором рациональных заготовок.

Особенности обработки колес с двояковыпукловогнутым зацеплением (ДВВ) по РД 12.25.135-89 (а. с. 329966), вопросы уменьшения деформаций и короблений, контроль конических зубчатых колес рассмотрены в [2].

### Литература

1. Кабатов Н.Ф. Нарезание конических зубчатых колес для полуобкатных передач //Станки и инструменты, 1989. – № 7.
2. Коган Б.И. Технологическое обеспечение качества изготовления редукторов горных машин. – Кемерово: 1999. – 276с.
3. Производство зубчатых колес. Справочник/Под ред. проф. Б.А. Тайца. – М.: Машиностроение, 1990. – 464с.

Коган Борис Исаевич

# ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Учебное пособие

Редактор В. И. Труханова

Подписано к печати 20.02.2003. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная № 1.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 4,7. Тираж 500 экз. Заказ № 57.

---

Издательство «Кузбассвуиздат». 650043, Кемерово, ул. Ермака, 7. Тел. 58-34-48.