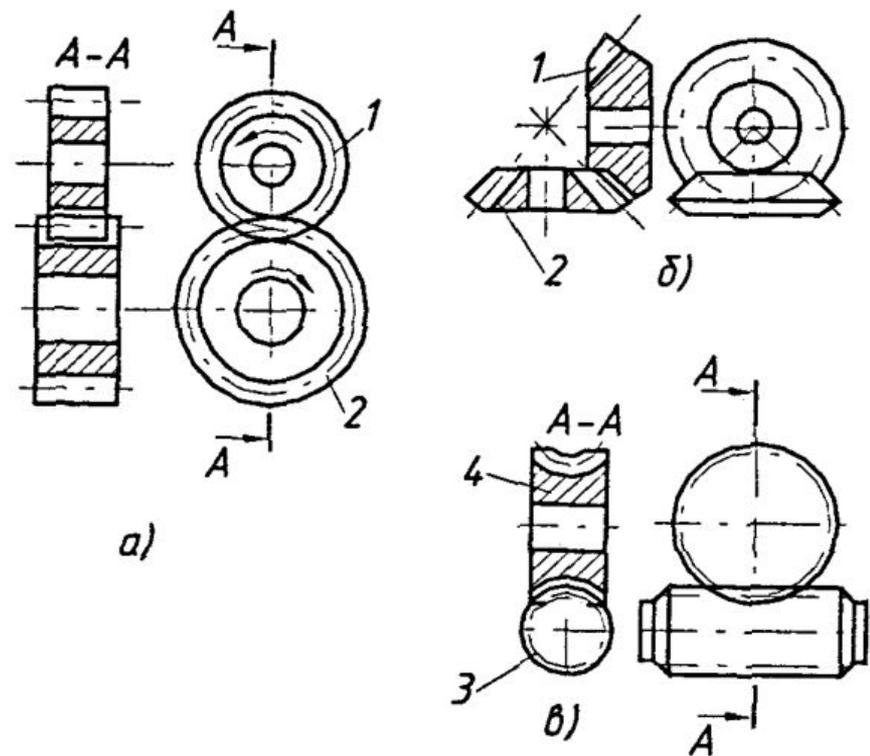




Технология машиностроения

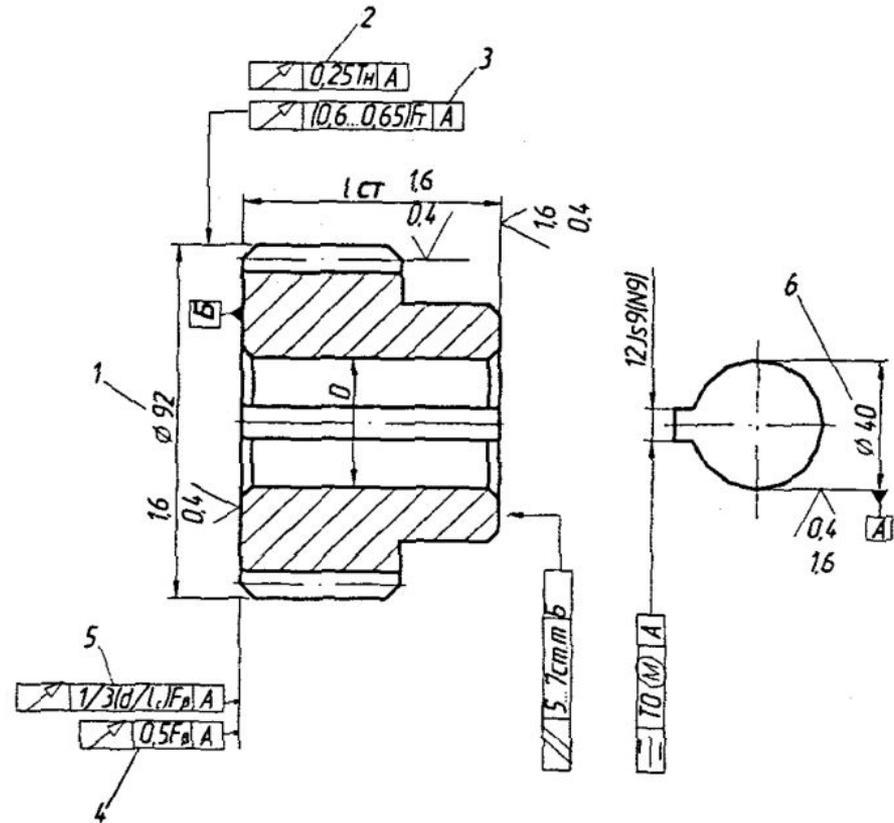
Изготовление зубчатых колес





Р и с. 1.91. Виды зубчатых передач:

a — цилиндрическая; *б* — коническая; *в* — червячная; 1 — шестерня; 2 — зубчатое колесо;
 3 — червяк; 4 — червячное колесо



Р и с. 1.92. Зубчатое колесо с типовыми требованиями к точности его изготовления

**· СТЕПЕНИ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ
ПЕРЕДАЧ**

Окружная скорость м/с				Область применения	Степень точности передачи	Параметры шероховатости, мкм
Прямозубые		Непрямозубые				
Цилиндрич.	Коническ.	Цилиндрич.	Коническ.			
20	12	35	25	Для передач с точной согласованностью вращения или работающих при повышенных скоростях и больших нагрузках плавно и бесшумно. Колеса делительных механизмов, скоростные пары редукторов.	6 высоко- точные	Ra1,25
15	8	25	16	Для передач, работающих при повышенных скоростях и высоких нагрузках. Быстроходные передачи редукторов.	7-8 точные	Ra2,5
6	4	10	8	Для высоконагруженных зубчатых передач.	8-9 средней точности	Ra5
2	1,5	4	3	Для ненагруженных зубчатых передач.	10-12 понижен- ной точ- ности	Rz40

• **Материал и методы получения заготовок**

- В зависимости от служебного назначения зубчатые колеса изготавливают из углеродистых, легированных сталей типа 40, 45, 40Х, 40ХГ, 20Х, из чугуна СЧ15, СЧ21, из цветных сплавов, а в ряде случаев — из неметаллических материалов (пластмасс, текстолита) и др.
-
- Зубчатые колеса редукторов тяжело нагруженных машин изготавливают из высоконикелевых цементуемых сталей 12ХНЗА, 18Х2Н4МА, 20Х2Н4А, 20ХГН2МБФ, 20Х3Н3МФБА, содержание никеля в которых находится в пределах 2.5...4.4%.
-
- Чаще в силовых передачах применяется сталь 20Х2Н4А, 20Х3Н3МФБА.
-
- Твердость после цементации, закалки и низкого отпуска HRC 56...62

Для ответственных колёс применяют также легированные стали 40ХН, 40ХНМА, 35ХГСА, которые после закалке имеют твердость зуба 52...58 HRC.

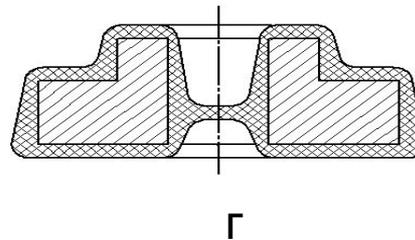
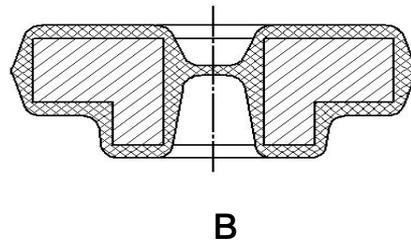
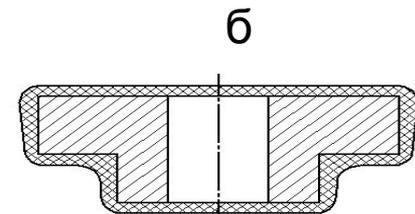
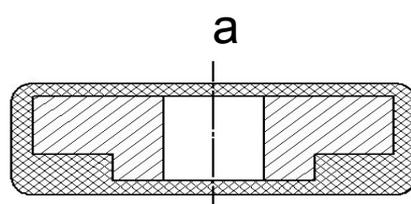
Азотированные зубчатые колеса изготавливают из стали 38Х2МЮА, их деформации после термообработки незначительны, поэтому в ряде случаев отпадает необходимость шлифования зубьев.

Чугуны применяют для неответственных колёс, работающих при малых окружных скоростях.

Крупногабаритные колеса, заготовки которых получают литьем, изготавливают из чугуна или литейных сталей 35Л...55Л, 40ХЛ.

Основные способы получения заготовок зубчатых колес

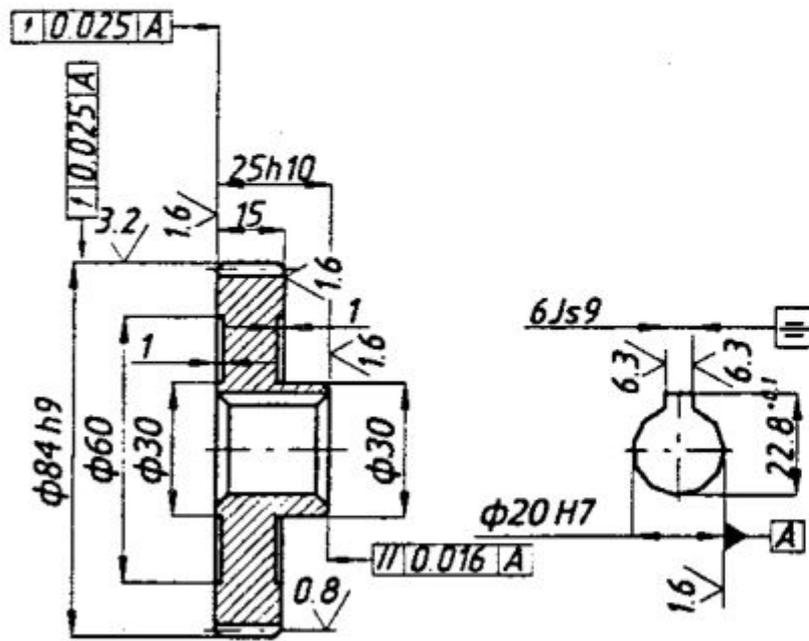
- Для неотчетственных колес:
 - Точное литье
 - Литье в кокиль
 - Литье под давлением
-
- Виды заготовок



- Характеристика методов обработки заготовок зубчатых колес давлением

№ п/п	Метод	Масса	Форма	Точность	Шероховатость	Тип производства
1.	ковка на молотах и прессах	до 350 кг	простая	ГОСТы 7829-70, 7062-79	до12,5	единичное и мелкосер.
2.	в подкладных штампах	до 100 кг	средней сложности	_ . _	до12,5	мелкосерийное
3.	штамповка на молотах и прессах	до 250 кг	средней сложности	ГОСТ 7505-89	12,5-3,2	серийное и массовое

12.5/ (✓)



Модуль	<i>m</i>	2	
Число зубьев	<i>z</i>	40	
Нормальный исходный контур	-	ГОСТ 1315-81	
Коэффициент смещения	ξ	0	
Степень точности ГОСТ 1643-81	-	7-C	
Смещение исходного контура	Наименьшее	E_{ns}	-0.08
	дополнительное		
Допуск	T_H	0.1	
Делительный диаметр	<i>d</i>	80	

$\equiv T 0.02 (M) A$

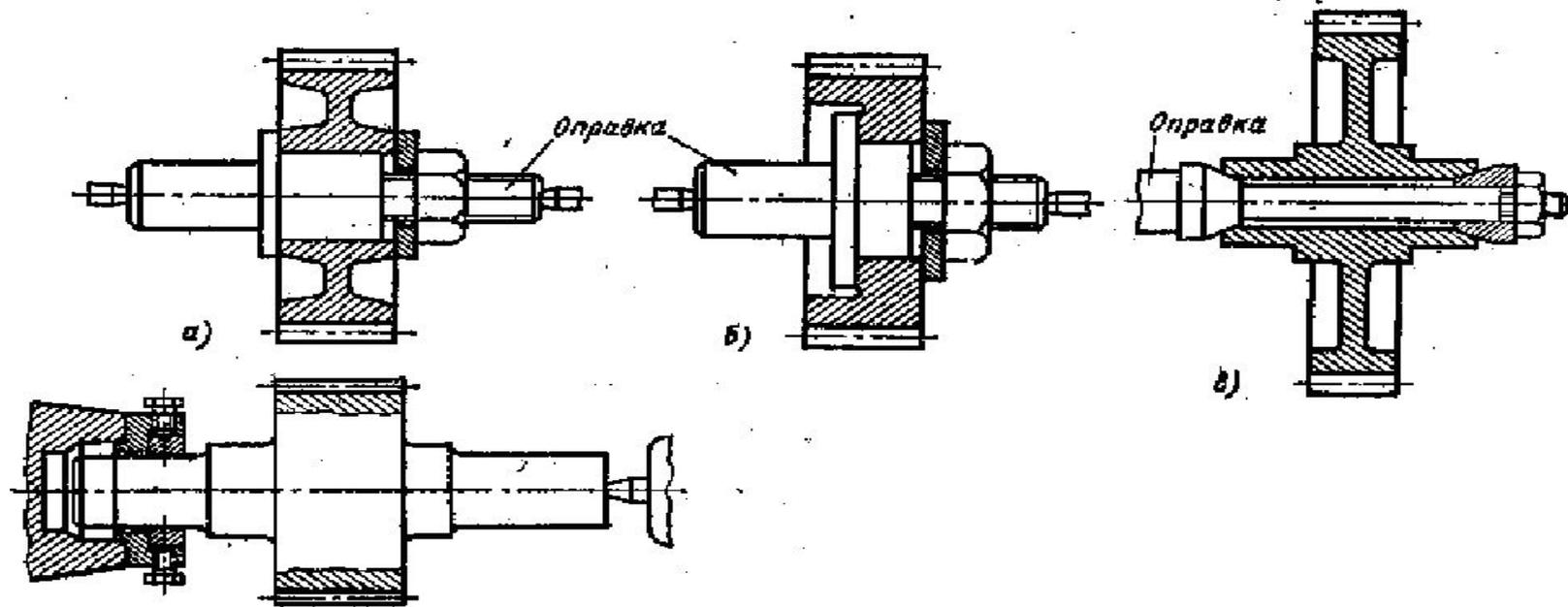
1. Зубчатый венец ТВЧ HRC45...50
2. Фаски $1 \times 5^\circ$
3. Неуказанные предельные отклонения размеров отверстий H14, валов h14, остальных $\pm T14/2$
4. Предельные отклонения углов размеров $\pm ATa15/2$

Р и с. 1.98. Цилиндрическое зубчатое колесо с односторонней ступицей

Базирование зубчатых колес в изделии и при обработке осуществляется по базовому отверстию и торцу. При этом в зависимости от соотношения длины отверстия L и его диаметра D имеют место две схемы базирования:

- Базирование с использованием двойной опорной базы, когда $L/D < 1$. (а, б)
- Базирование с использованием двойной направляющей базы, когда $L/D > 1$, на оправках или на двух конусах (в).

В тех случаях когда зубчатое колесо выполняют за одно целое с валом (колесо-вал). Колесо базируются с использованием двойной направляющей базы в центрах или по опорной шейке и центру как показано на рис.г.



Основные методы формообразования зубьев зубчатых колес

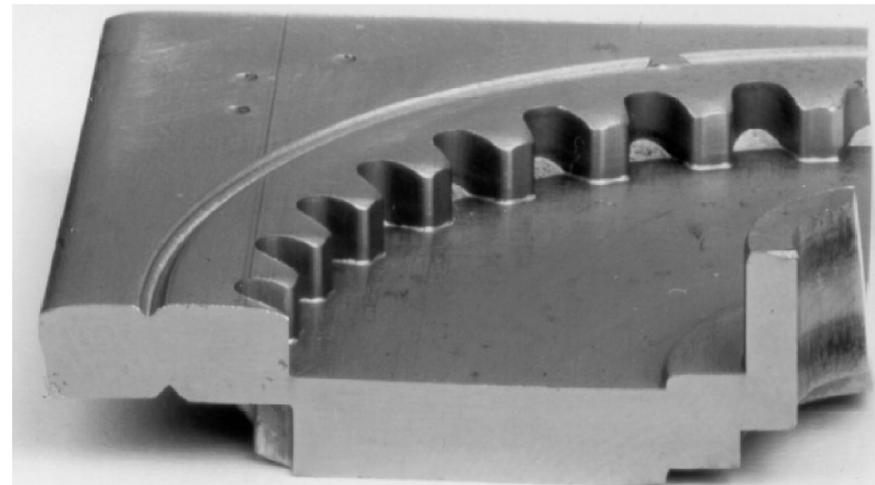
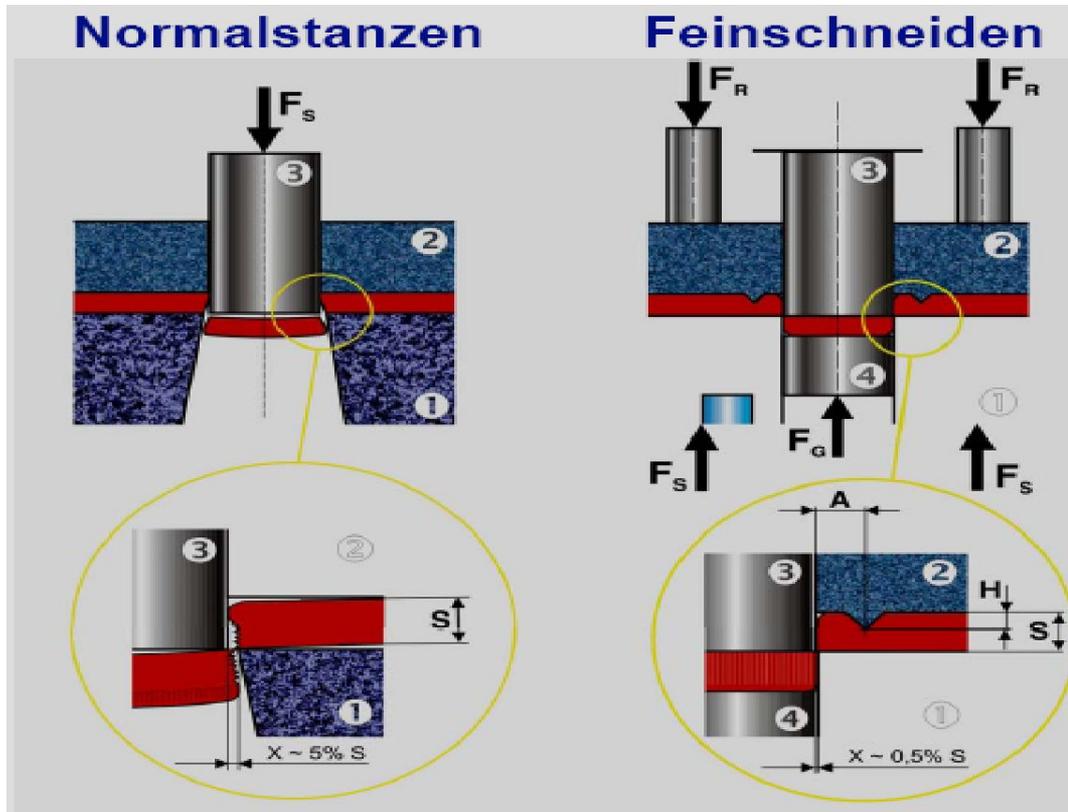
		Зубонарезание		Отделка зубьев		Обработка давлением	
		Зубофрезерование					
		Модульной фрезой	Червячной фрезой				
10...9	Ст. точн.						
12,5...6,3	<i>Ra</i>						
10...8	Ст. точн.						
6,3...3,2	<i>Ra</i>						
8...7	Ст. точн.	Зубодолбление					
3,2...1,6	<i>Ra</i>						
7...6	Ст. точн.	Зубострогание					
3,2...0,8	<i>Ra</i>						
8...7	Ст. точн.	Зуботочение					
3,2...1,6	<i>Ra</i>						
7...8	Ст. точн.	Зубопроотягивание					
3,2...0,8	<i>Ra</i>						
7...6	Ст. точн.	Шевингование зубьев					
1,25...0,63	<i>Ra</i>						
6...5	Ст. точн.	Хонингование зубьев					
0,5...0,1	<i>Ra</i>						
6...5	Ст. точн.	Шлифование зубьев					
1,25...0,5	<i>Ra</i>						
7...5	Ст. точн.	Обкатывание зубьев					
1,0...0,32	<i>Ra</i>						
9...8	Ст. точн.	Накатывание зубьев					
2,0...0,8	<i>Ra</i>						

Существующие методы формообразования зубчатого венца

Получение зубчатого колеса спеканием



Получение зубчатых колес точной вырубкой

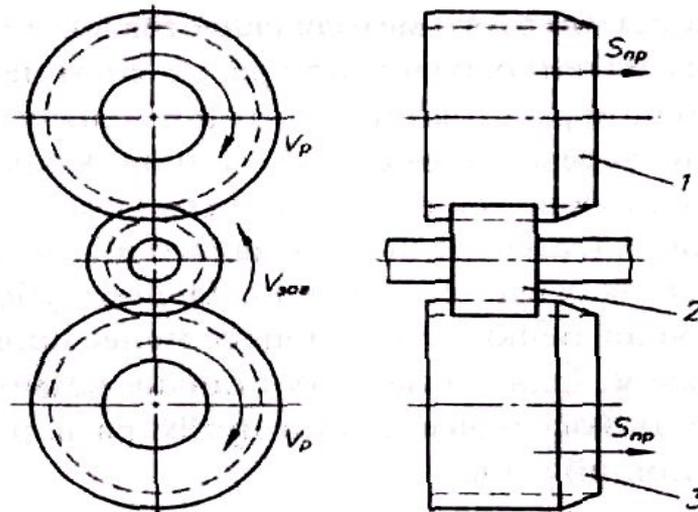


Накатывание зубчатого венца выполняют на специальных установках.

Накатывание представляет собой метод получения зубчатого венца без снятия слоя материала. Формирование требуемого профиля зубьев происходит в результате пластического деформирования металла под действием зубонакатного инструмента – накатника.

При накатке происходит уплотнение металла и ориентация его волокон по профилю зуба. В результате повышаются прочностные характеристики зубьев – износостойкость, усталостная прочность.

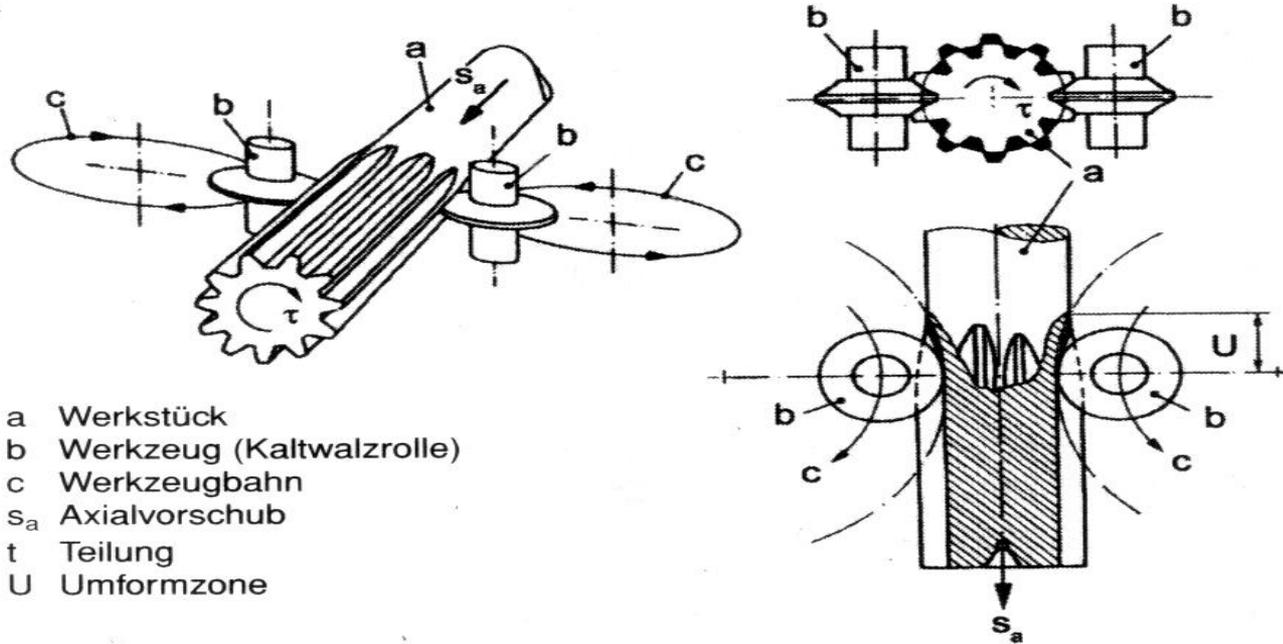
Различают холодное и горячее накатывание.



- **Схема накатывания зубчатого венца: 1,3 – накатные ролики; 2- накатываемое колесо**
-

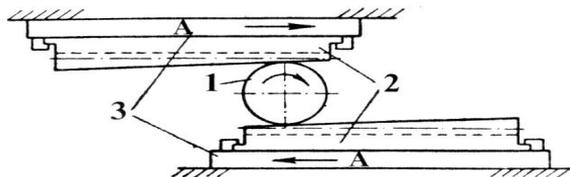
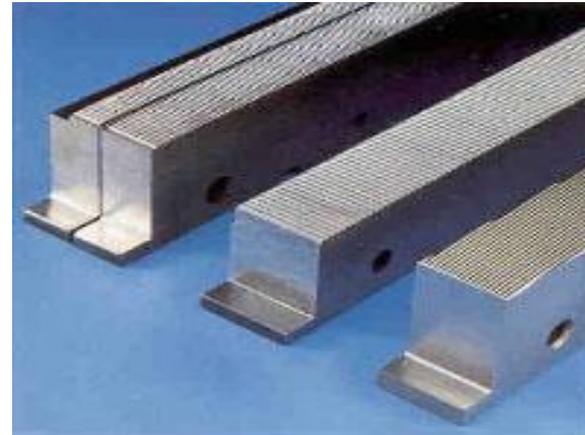
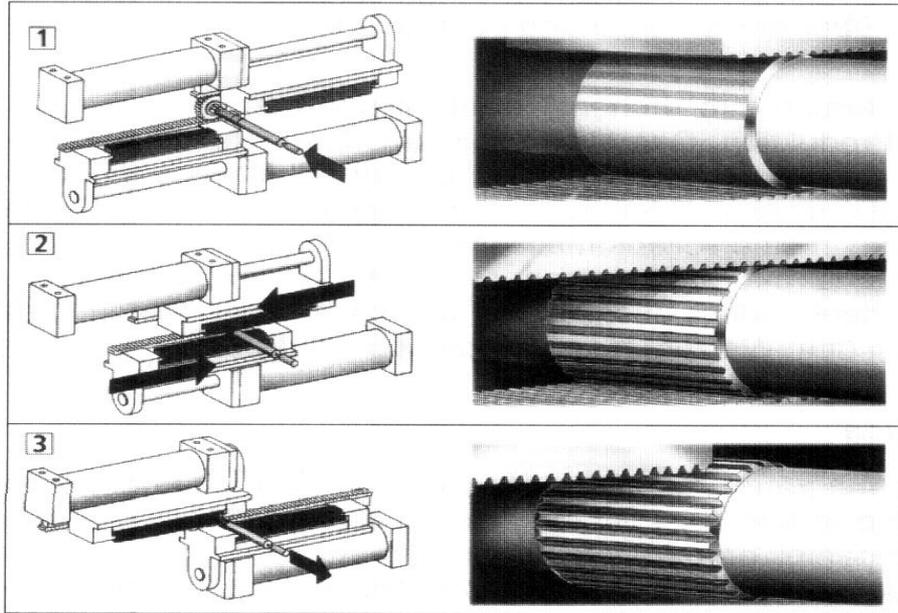
Получение профиля зуба накатыванием

• Импульсное планетарное накатывание (метод фирмы GROB)

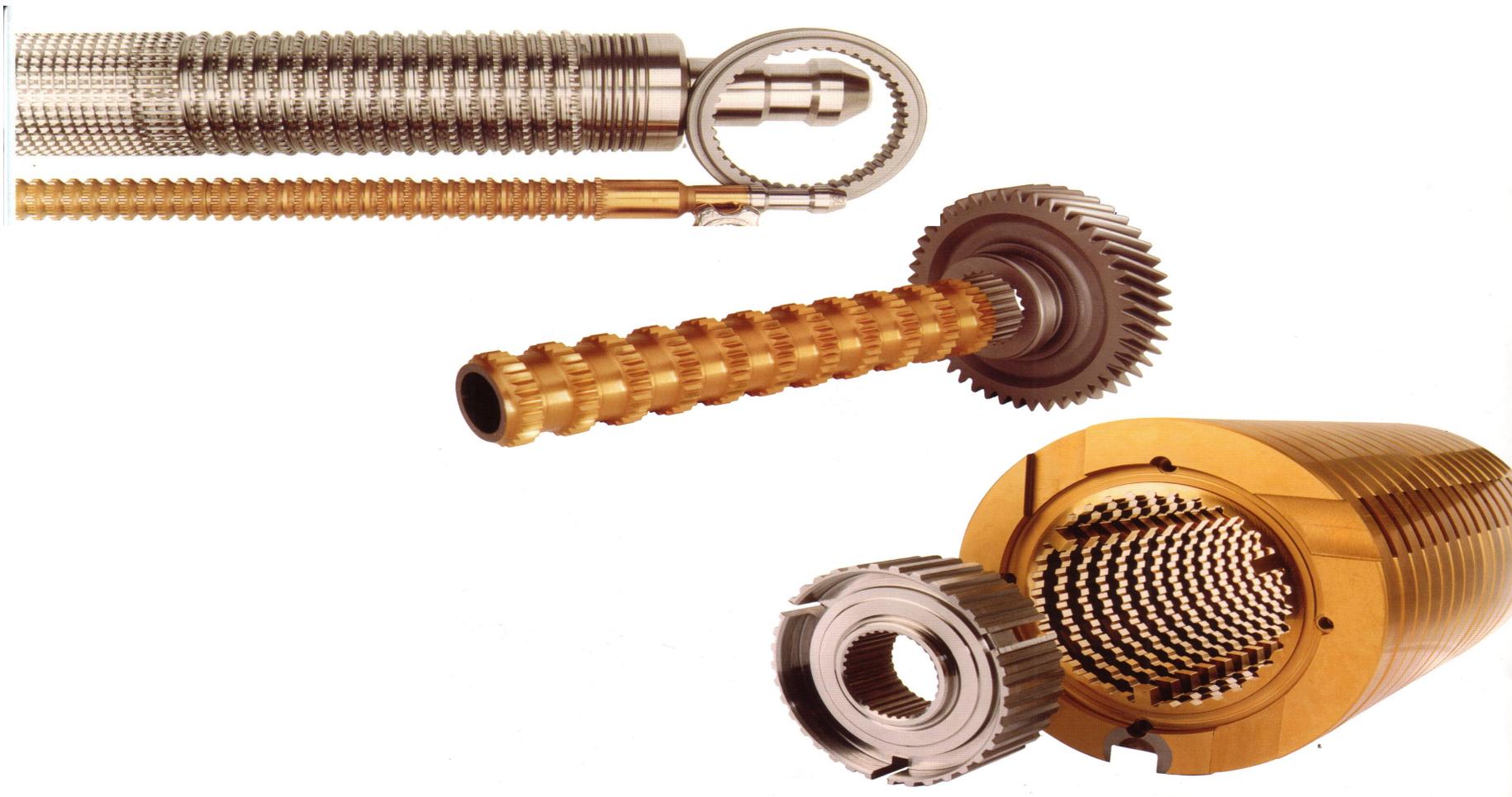


Получение профиля зуба накатыванием

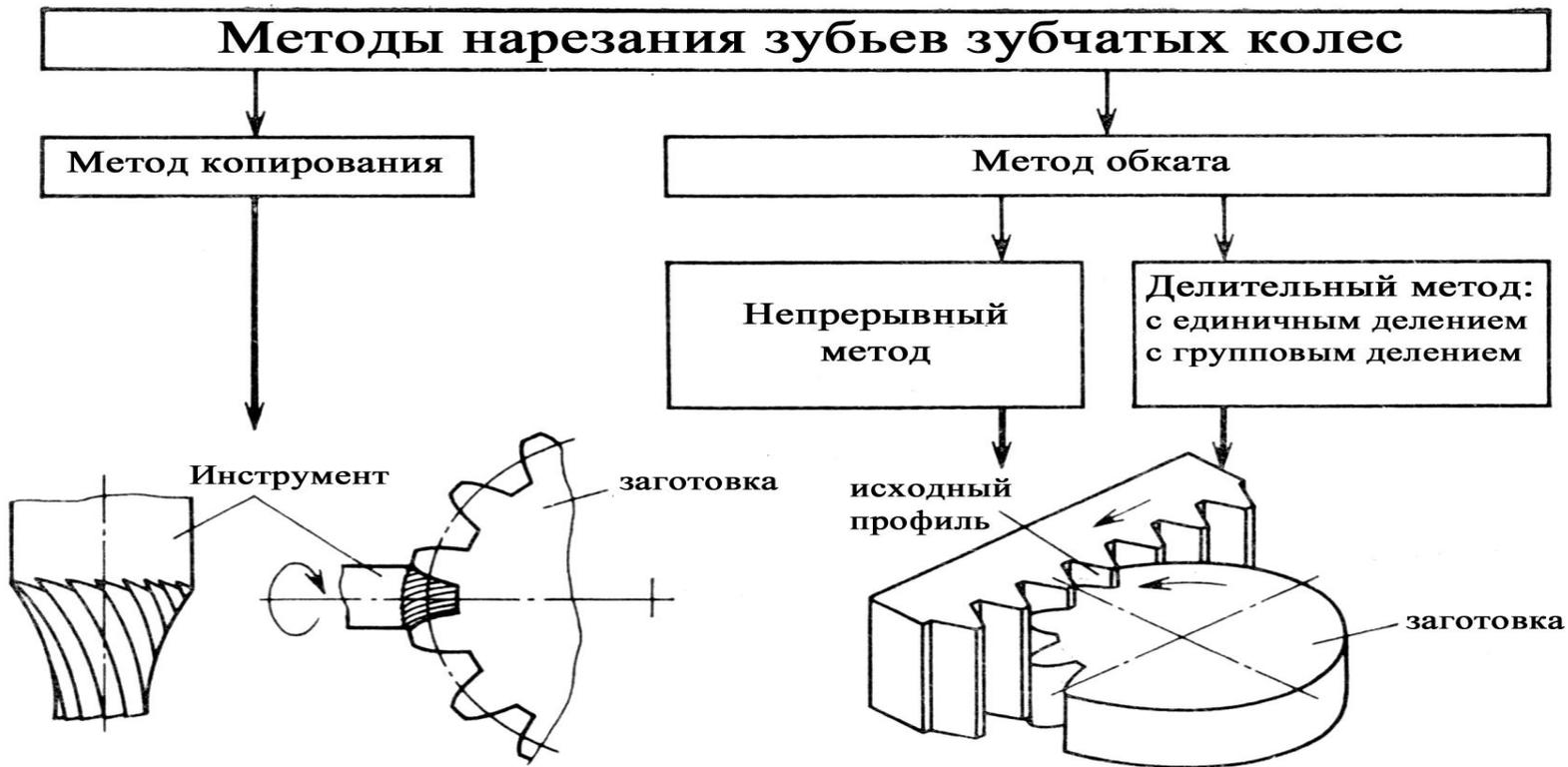
- **Накатывание плоскими рейками (метод ROTO-FLO)**



Обработка зубчатых колес протягиванием



Получение профиля лезвийной обработкой



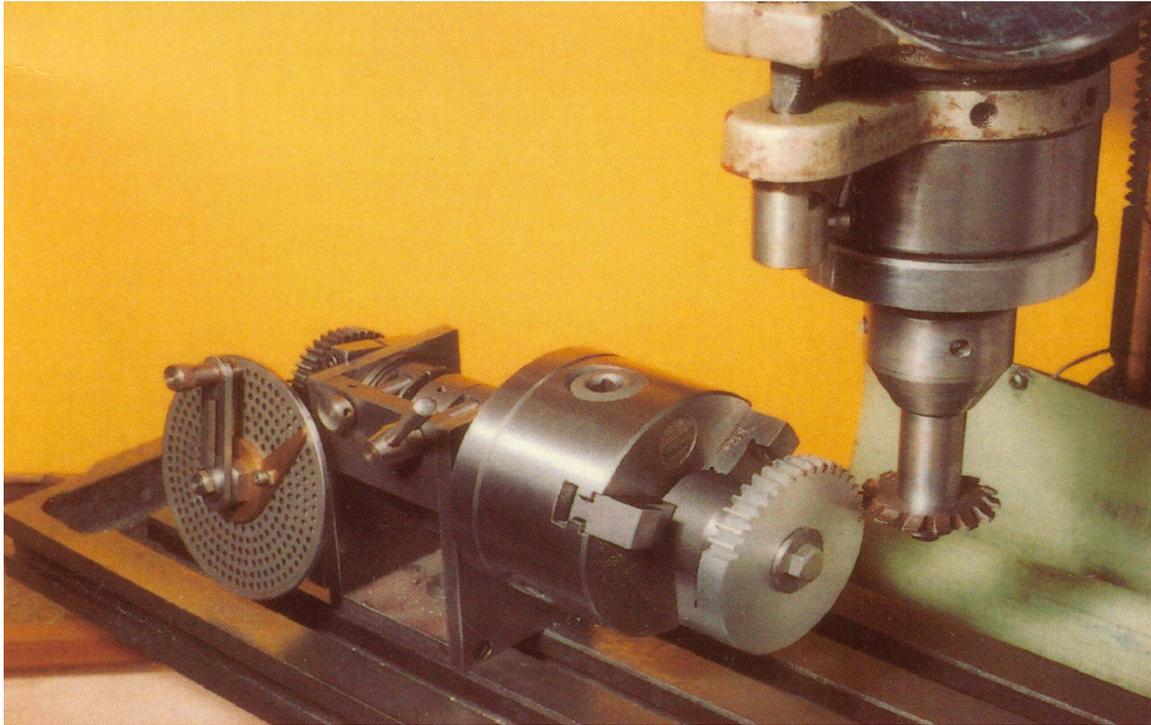
Профилирование зубьев при нарезании зубчатого венца может осуществляться по методу копирования или обката.

При нарезании методом копирования в качестве зуборезного инструмента используют дисковые или пальцевые модульные фрезы.

Нарезание выполняют на горизонтальных и вертикальных универсально-фрезерных станках с использованием делительной головки для периодического поворота зубчатого колёса на шаг между зубьями.

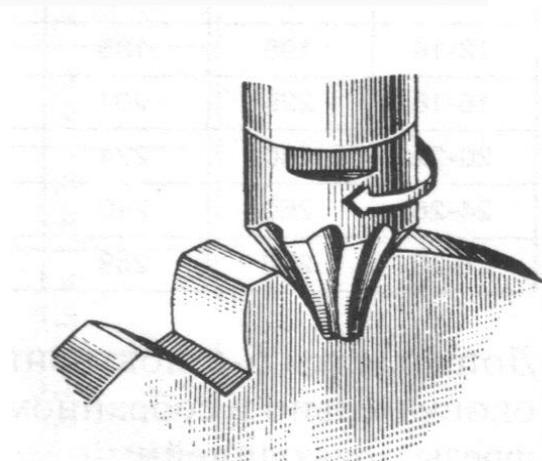
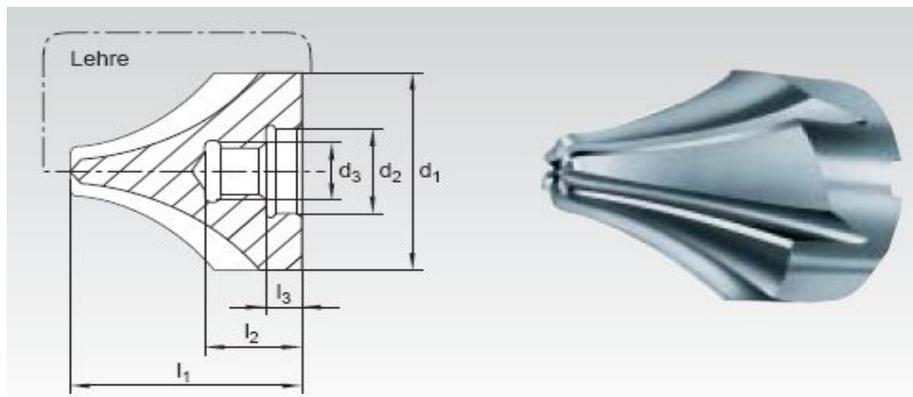
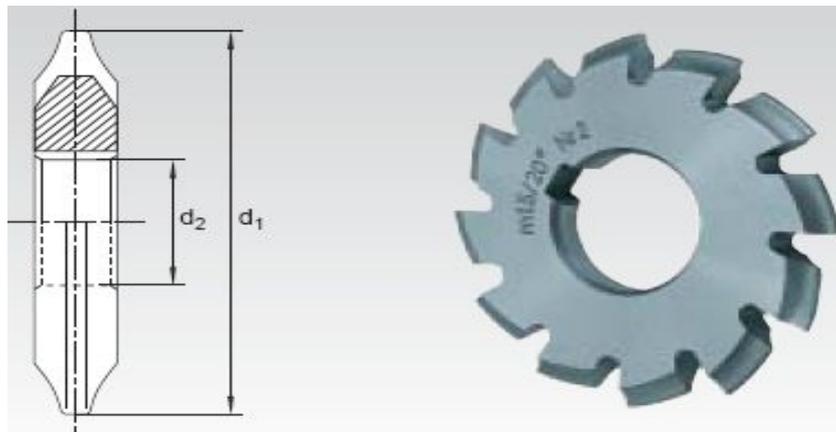
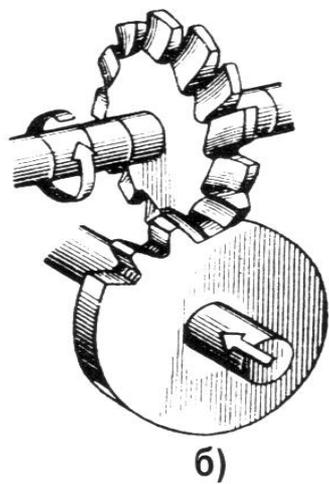
Дисковые модульные фрезы применяют для чернового нарезания зубчатых колёс модулем до 30 мм и для чистовой обработки зубчатых колес модулем до 40 мм. Скорость резания для дисковых фрез из быстрорежущей стали $v = 20 \dots 30$ м/мин, продольная подача на оборот фрезы $s_{пр} = 1, \dots 2,5$ мм/об.

Пальцевые модульные фрезы применяют для черновой и чистовой обработки колес модулем свыше 30 мм, а также для нарезания шевронных зубчатых колёс. Скорость резания для пальцевых модульных фрез из быстрорежущей стали $v = 25 \dots 35$ м/мин, а продольная подача в пределах $s_{пр} = 0,06 \dots 0,25$ мм/об. Этот метод применяют для нарезания зубчатых колёс невысокой 8 - 12 степеней точности.



- Профильное фрезерование
- на вертикально-фрезерном
- станке

Обработка зубчатых колес методом копирования



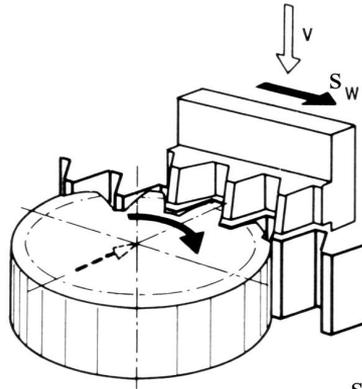
Нарезанию зубчатых колёс по **методу обката** выполняют на специальных **зубофрезерных** и **зубодолбежных** станках, где в качестве зуборезного инструмента используют **червячные фрезы**, **долбяки**, **режущие рейки**, **обкатные резцы**.

При вращении червячная фреза создает геометрию режущей (производящей) рейки, которая, зацепляясь с колесом, осуществляет его нарезание.

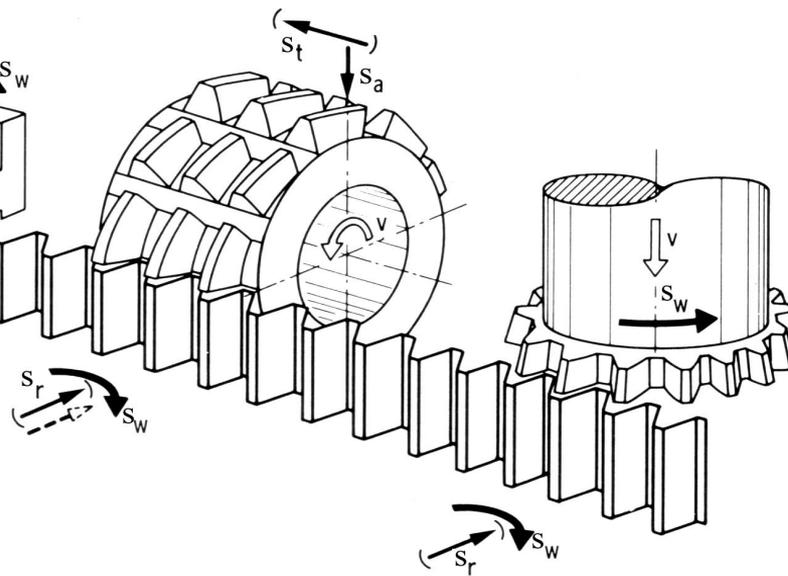
Нарезание червячными фрезами выполняют на зубофрезерных станках с вертикальным или горизонтальным расположением фрезы. нарезаемого колеса.

Долбёж при осевом перемещении и вращении создает геометрию режущего (производящего) колеса, которое, зацепляясь с заготовкой, нарезает зубья.

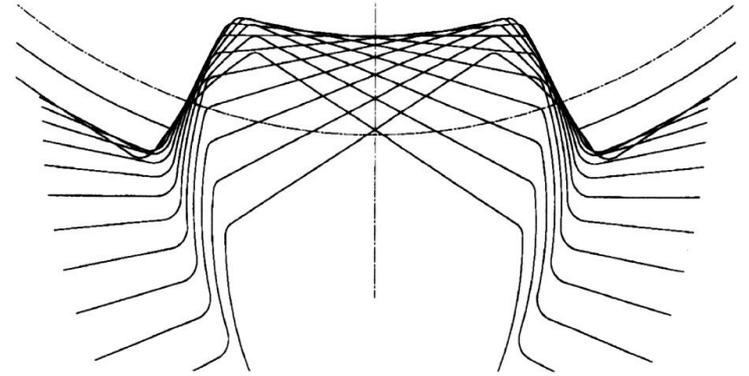
Строгание



Фрезерование



Долбление



Обработка зубчатых колес зубофрезерованием

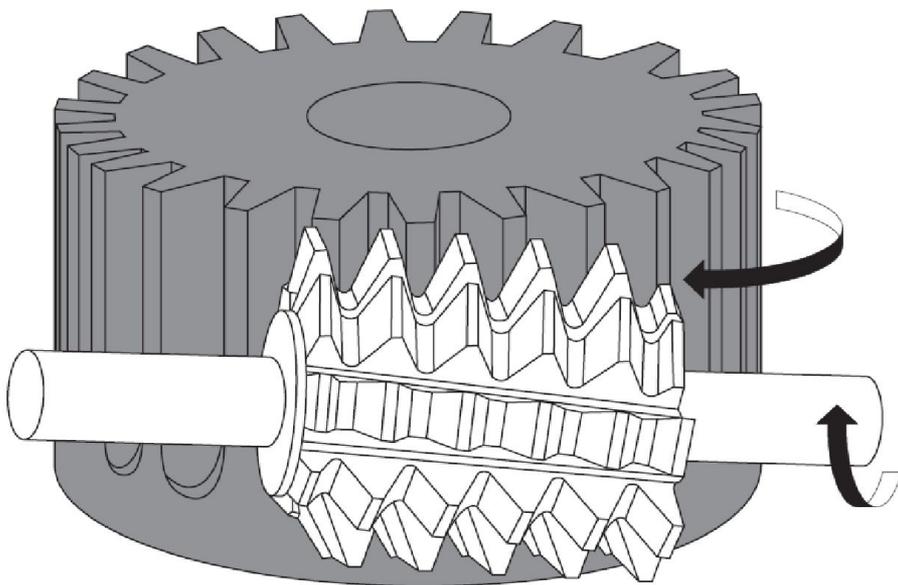
Нарезают цилиндрические зубчатые колеса, как правило, червячными фрезами методом обкатки.

Нарезание зубьев при модулях до 4 - 5 мм допустимо осуществлять в один проход на полную глубину зуба.

При больших модулях обработку зубьев разбивают на два прохода: черновую и чистовую.

Глубину фрезерования при первом проходе выбирают обычно $t = 1,4m$, при втором проходе $t = 0,8m$.

Точность окончательной обработки червячной фрезой, как правило, соответствует 9 - 11 степени точности (у современных фрез до 6 степени точности), шероховатость поверхности $Ra = 5 \dots 1,25$ мкм.



Режимы обработки:

скорость резания при обработке на универсальных станках для фрез из быстрорежущей стали $v=30\dots65$ м/мин, для твердосплавных червячных фрез $v=110\dots200$ м/ми;

продольная подача:

- при предварительном нарезании $s_{пр}=1,5\dots4$ мм на оборот заготовки;

- при чистовой обработке подачу $s_{кр}$ выбирают с учетом требований шероховатости - для $Ra = 1,25$ мкм она составляет $s_{кр}=0,5$ мм/об, а для $Ra = 2,5\dots5$ мкм $s_{кр}=1\dots2$ мм/об.

Гарантированно достигается 8-я, а на новых станках и 7-я степени точности колеса.

Обработка зубчатых колес зубофрезерованием на современных зубофрезерных станках с ЧПУ



Скорости резания при «обычной» обработке:

- До 150 м/мин при применении СОЖ для фрез из быстрорежущей стали
- До 200 м/мин при обработке без СОЖ для фрез из быстрорежущей стали
- До 350 м/мин для фрез из твердого сплава

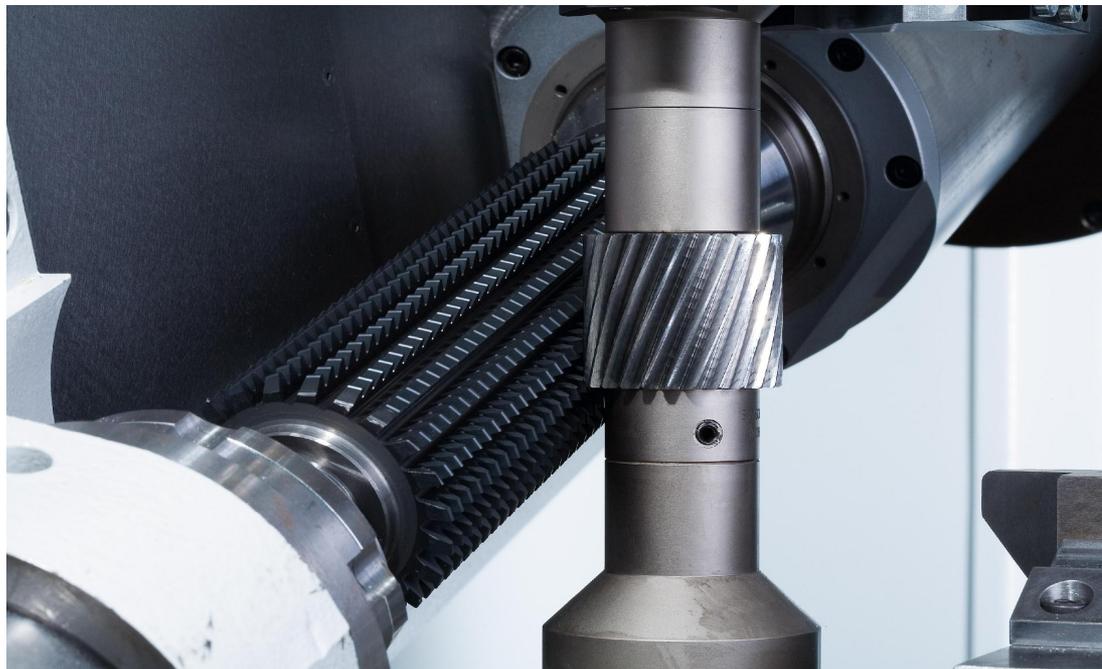
При высокоскоростной чистовой обработке

- До 1000 м/мин

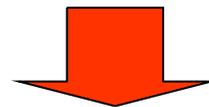
Подача

- Ограничена толщиной стружки на головке зуба (до 0,3 для быстрореза и 0,2 для твердого сплава)
- Ограничена величиной следа от подачи
-

Обработка зубчатых колес зубофрезерованием



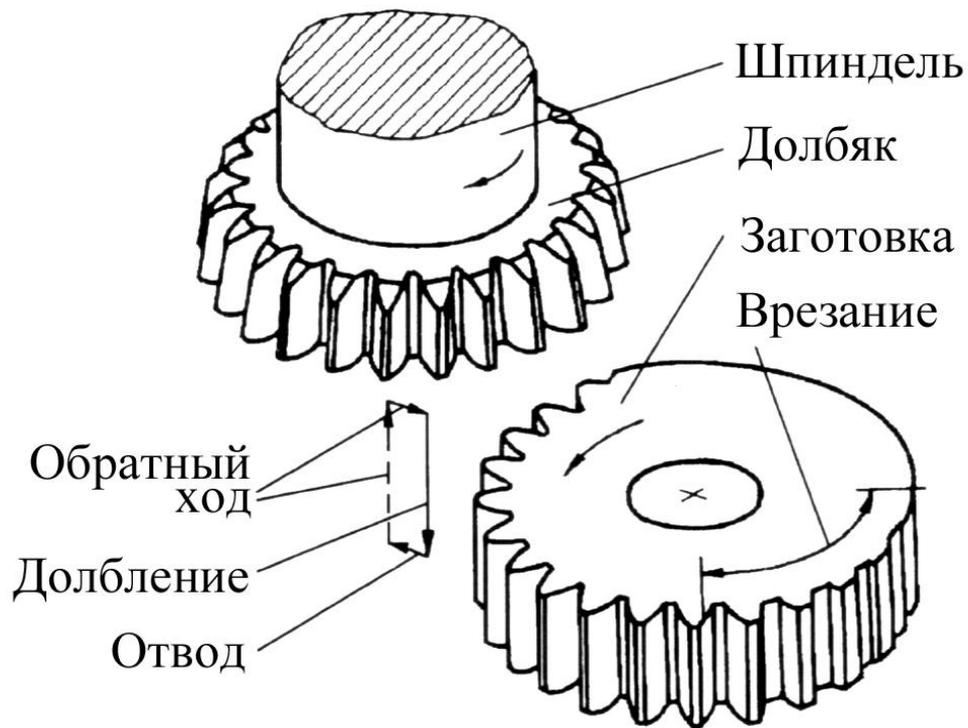
- Отсутствие механических кинематических связей в цепи обката
- Прямые приводы стола изделия и фрезы
- Высокоточные узлы крепления фрезерной оправки
- Червячные фрезы класса точности АА и ААА



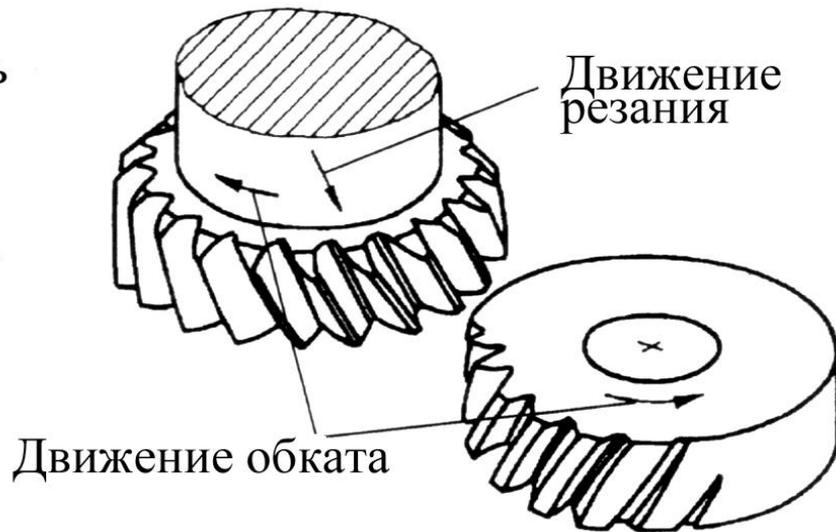
- 6 степень точности при обычном фрезеровании
- 3 степень точности при финишном фрезеровании

Обработка зубчатых колес зубодолблением

Прямой зуб



Косой зуб

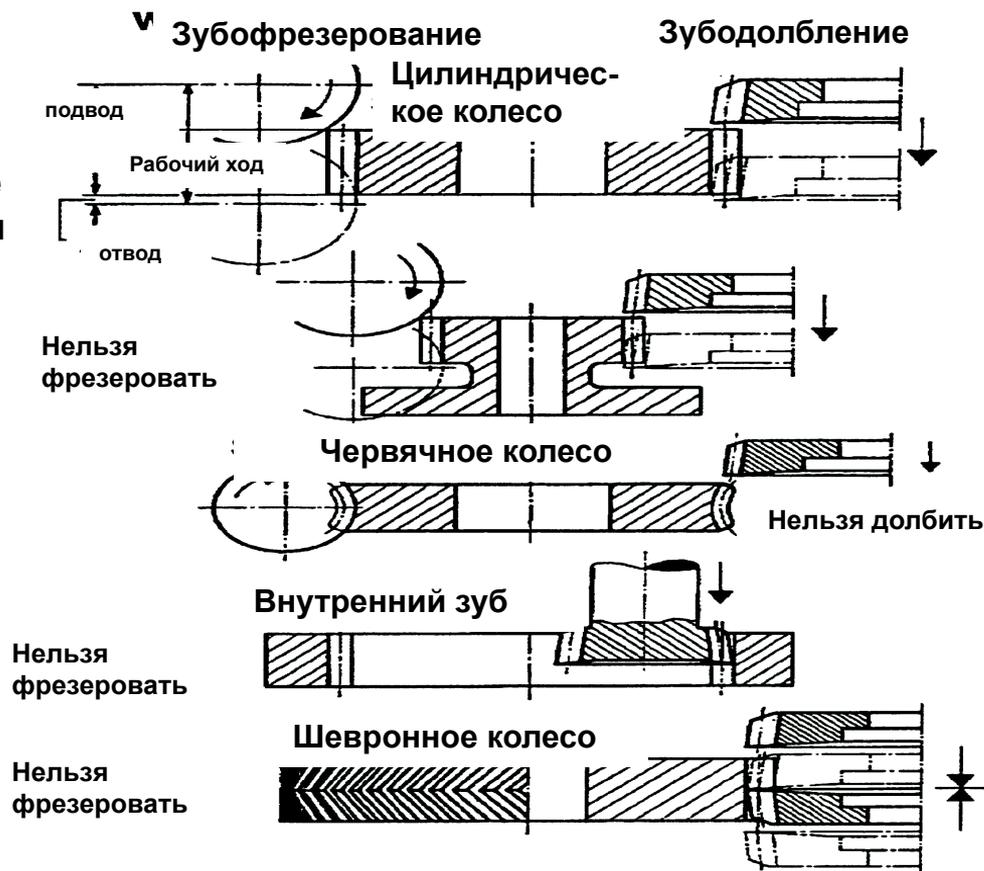


Обработка зубчатых колес зубодолблением

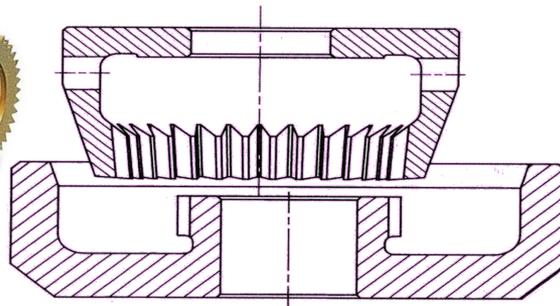
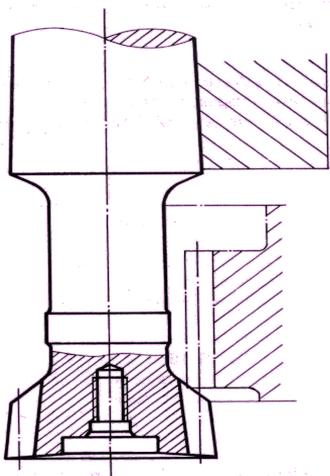
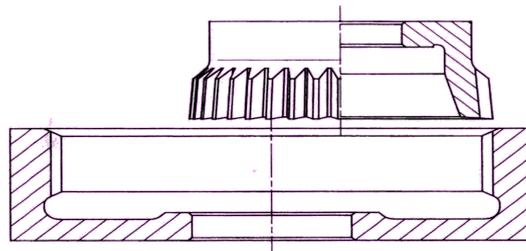
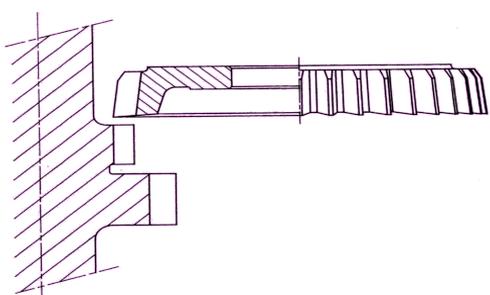
Зубофрезерование и зубодолбление могут рассматриваться как альтернативные процессы.

Для обычных колес фрезерование является более экономичным благодаря более короткому времени обработки, за исключением очень тонких колес, которые нельзя обрабатывать пакетом, поскольку зубодолбление не требует отвода инструмента.

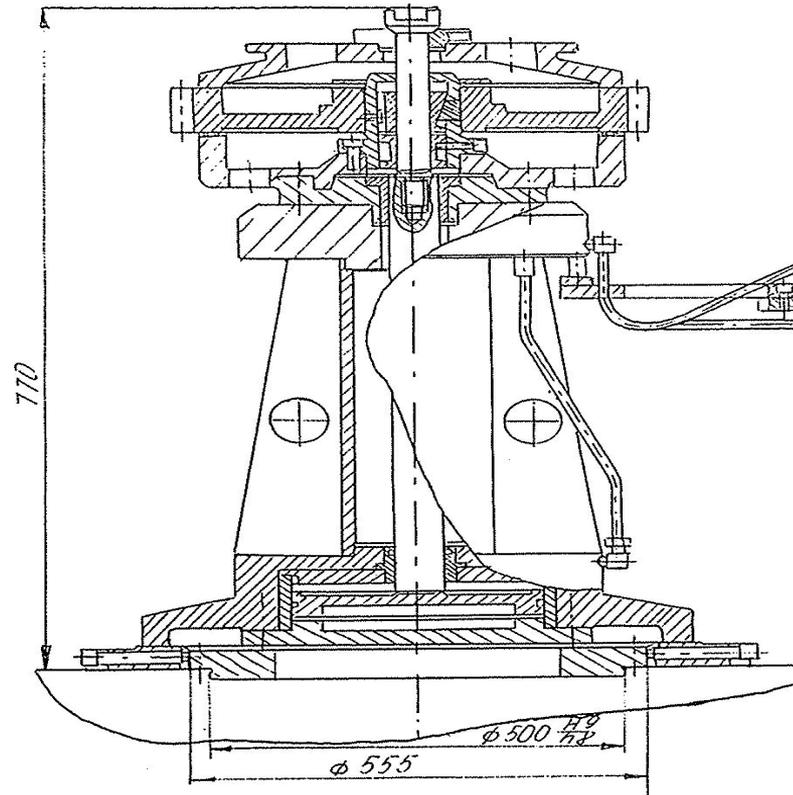
Цилиндрические колеса с буртиком, колеса в внутреннем зацеплении, шевронные колеса, специальные профили с несимметричным шагом могут быть обработаны только зубодолблением.



Обработка зубчатых колес зубодолблением

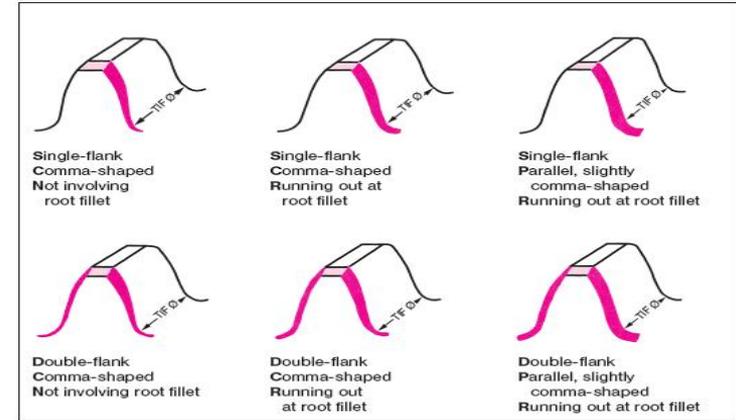


- **Приспособление для чистового зубофрезерования**



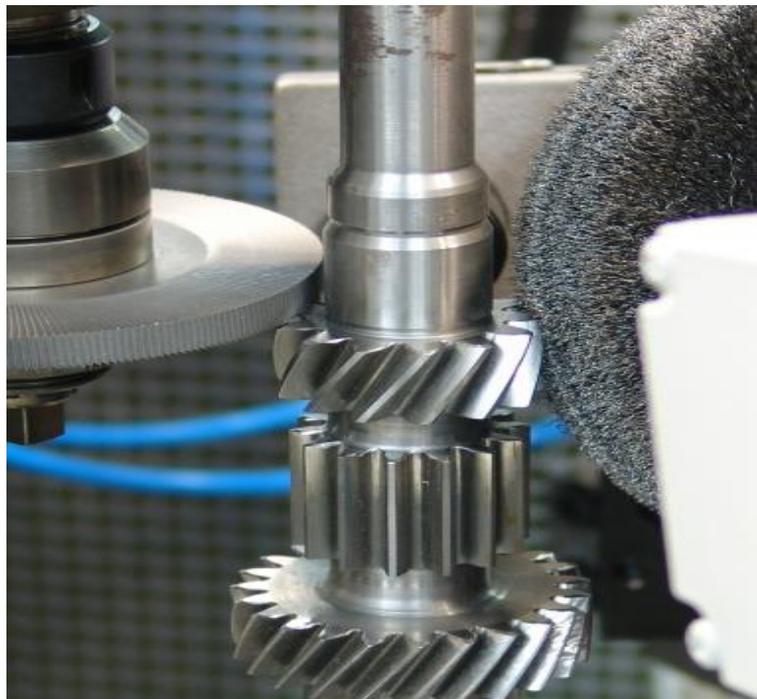
- Для чистового зубофрезерования рекомендуется применять приспособления, обеспечивающие более точное беззазорное центрирование обрабатываемой детали по посадочному отверстию

Снятие фасок и удаление заусенцев на зубьях



- **Предотвращение поломки**
Излишняя цементация на кромке зуба может привести к поломке при больших нагрузках
- **Предотвращение повреждения зубчатых колес и подшипников**
Если заусенцы не удалить своевременно, они могут отколоться и повредить колеса и подшипники внутри редуктора.
- **Предотвращения низкой стойкости инструмента для твердой обработки**
Закаленные заусенцы приводят к преждевременному износу инструментов для финишной твердой обработки.
- **Предотвращение несчастного случая**

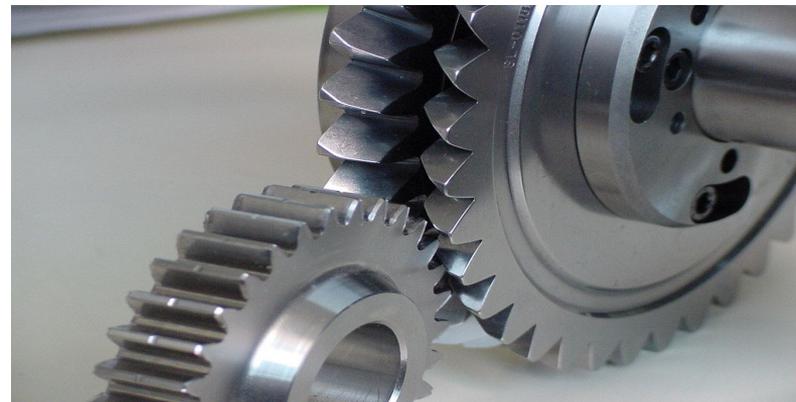
Снятие фасок и удаление заусенцев на зубьях



Снятие фасок и удаление заусенцев на зубьях

Снятие фаски

Движением обката с пластической деформацией

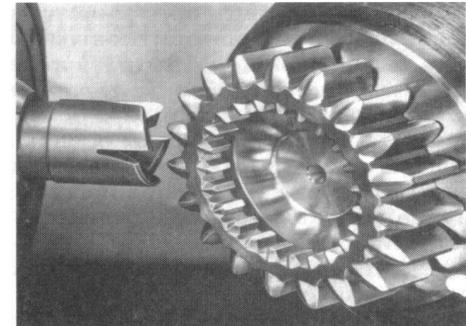
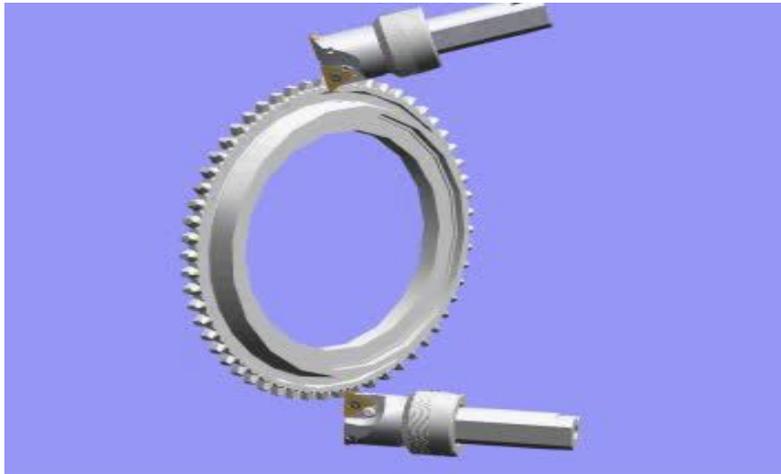
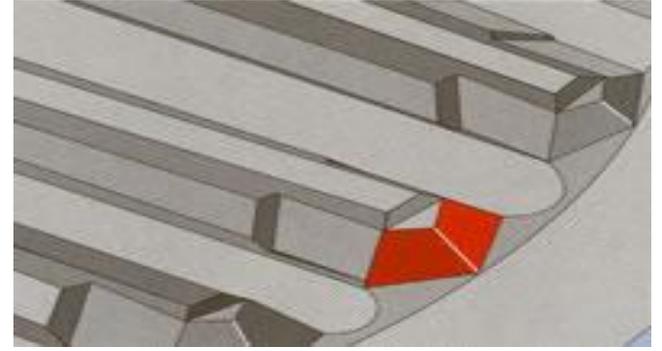
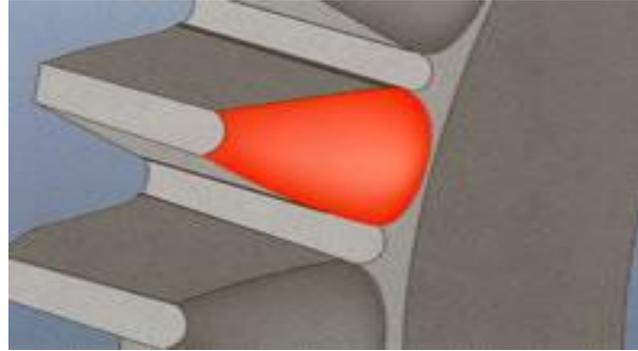
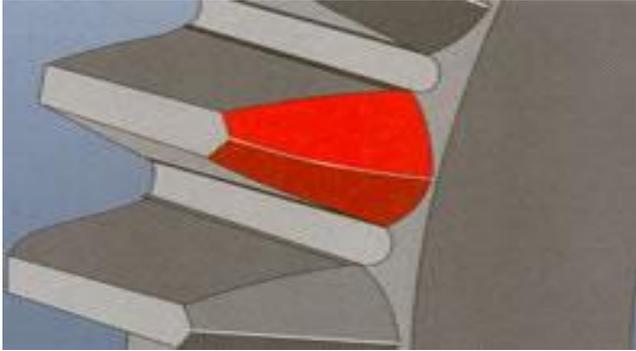


Удаление заусенцев

Необходимо удалить заусенец, образовавшийся на торцовых поверхностях при снятии фаски, фрезеровании, долблении или шевинговании.



Зубозакругление и зубоскашивание



Методы отделки зубчатого венца цилиндрических колёс

- С целью повышения геометрической точности зубчатого венца, предварительно нарезанные рассмотренными выше методами колеса подвергают отделке. Для достижения 7-мой, 6-ой и более высокой точности.

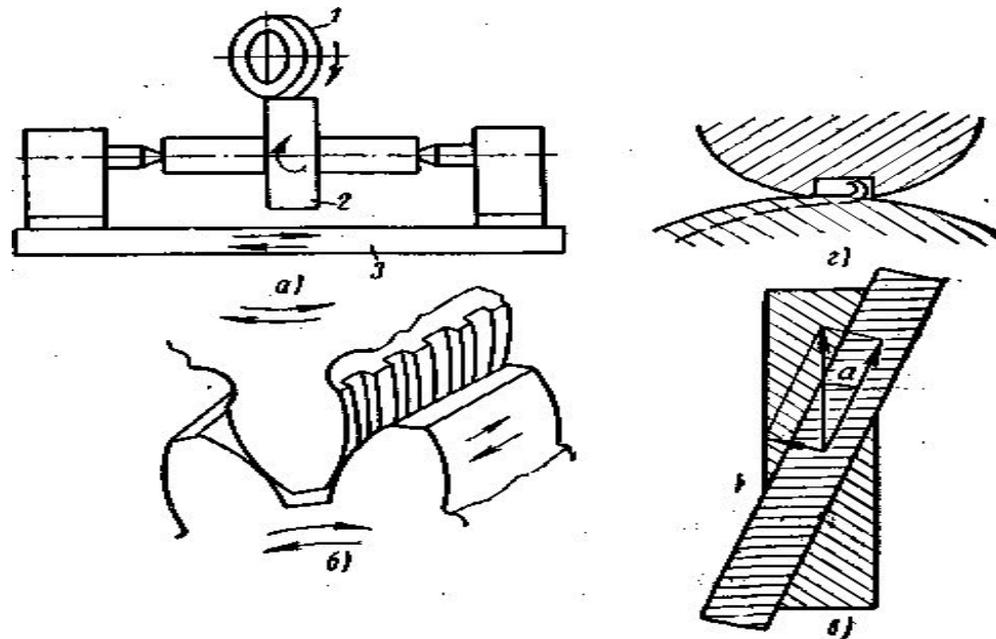
Для отделки незакаленных зубчатых колес применяют процесс зубошевенгования.

Отделку закаленных зубчатых колес выполняют путем зубошлифования.

Отделка незакаленных зубчатых колес шевингованием

Шевингование зубьев производится круглым шевером на специальных шевинговальных станках. Круглый шевер (рис. а) находится в зацеплении с обрабатываемым зубчатым колесом 2, закрепленным на оправке, зажатой в центрах на столе 3 и вместе с деталью получающей вращение от шевера. Стол 3 имеет поступательно-возвратные перемещения. По окончании двойного хода стол 3 подается вверх на $0,02—0,04$ мм за двойной ход. Припуск под шевингование $0,1—0,2$ мм снимается за $5—10$ ходов. Режущие кромки на шевере образованы канавками на профиле зуба шевера (рис. б).

Шевер и деталь устанавливаются со скрещенными осями (рис. в) под углом α , чтобы было скольжение режущих кромок шевера относительно поверхности зуба для снятия стружки (рис. г). Время обработки $1,5—2,5$ сек на один зуб. Диаметр шевера $150—170$ мм, ширина 19 мм. Нормы точности колес после шевингования следующие: радиальное биение $0,01—0,02$ мм, неравномерность окружного шага $0,015$ мм, накопленная ошибка шага $0,04$ мм, отклонение по направлению зуба $0,015$ мм.

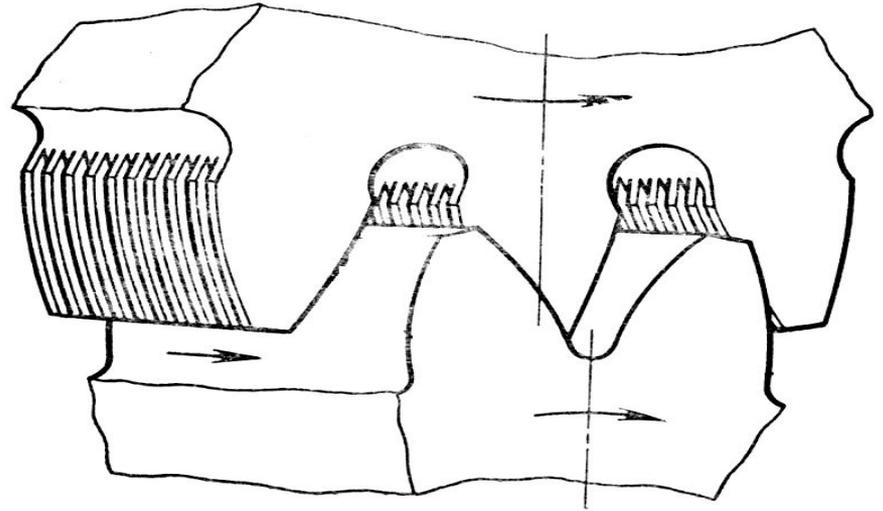
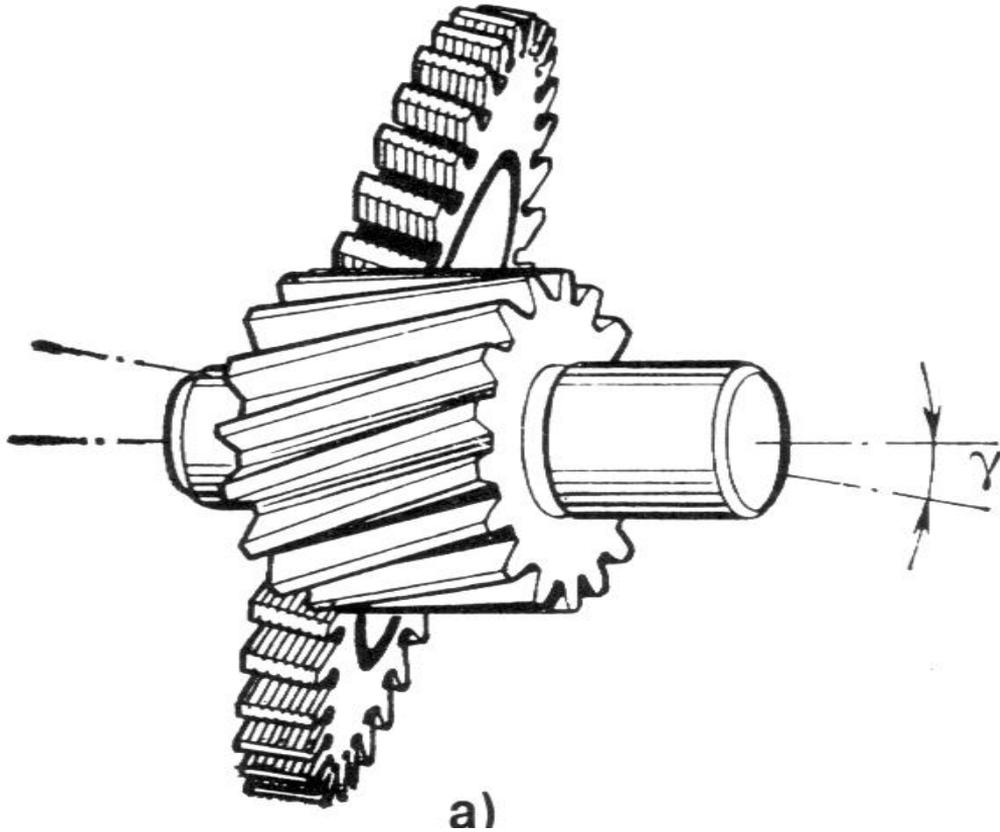


• **Схема шевингования:**

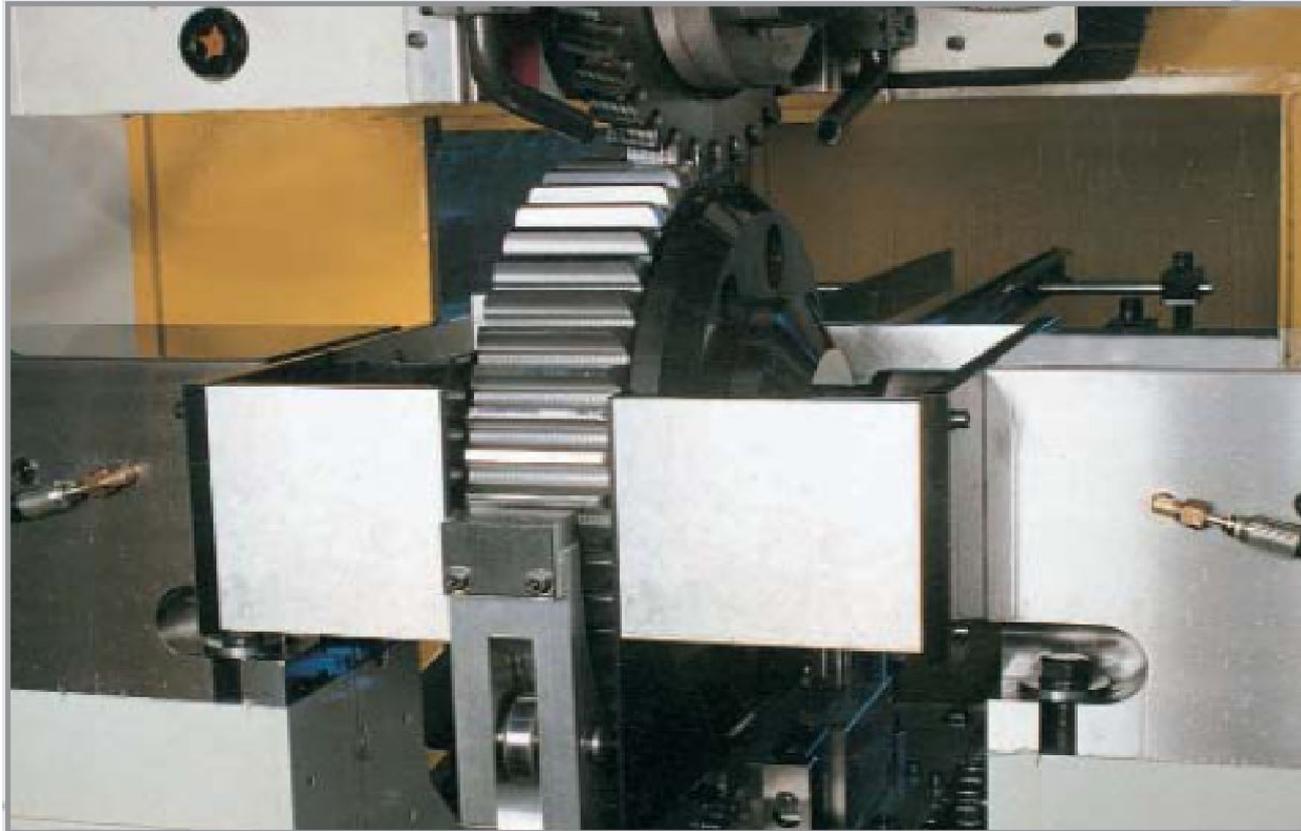
- **а —схема установки детали на столе при шевинговании шевером; б — направление движения инструмента и заготовки; в —угол скрещивания осей; г —формирование стружки**

-
- **Грубо нарезанные зубчатые колеса плохо исправляются шевером.**
-

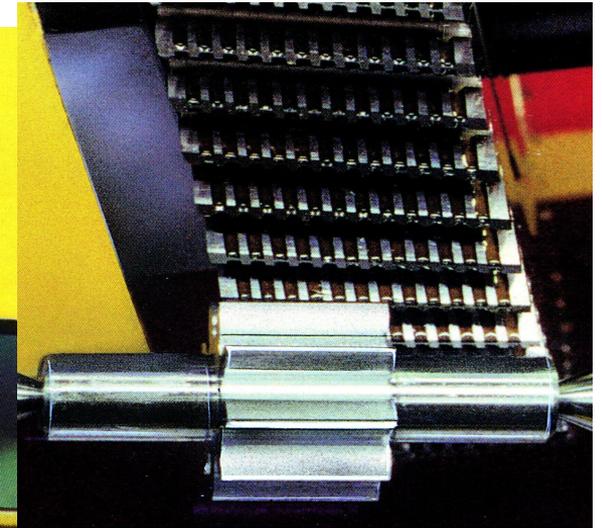
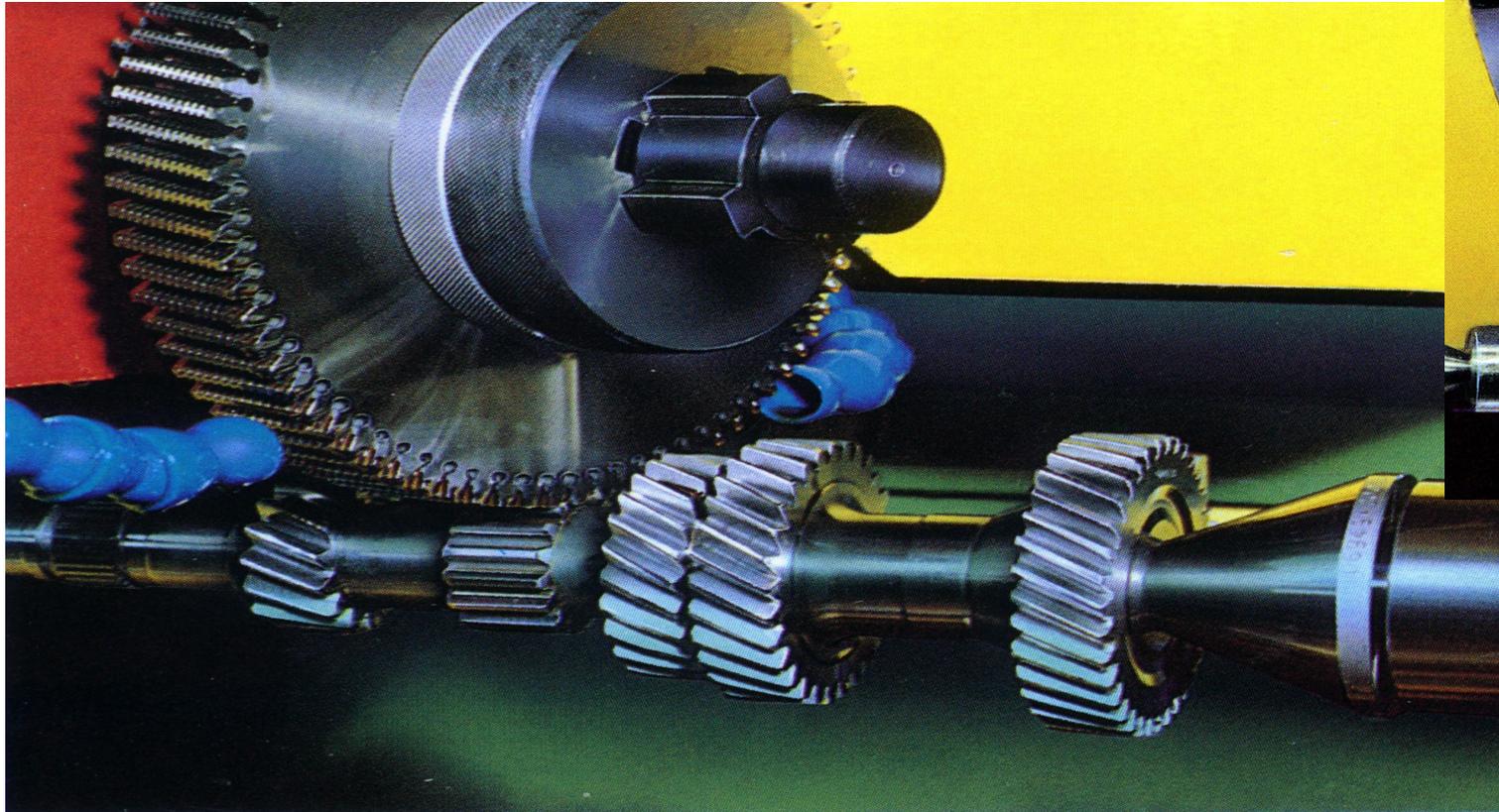
Обработка зубчатых колес шевингованием



Обработка зубчатых колес шевингованием

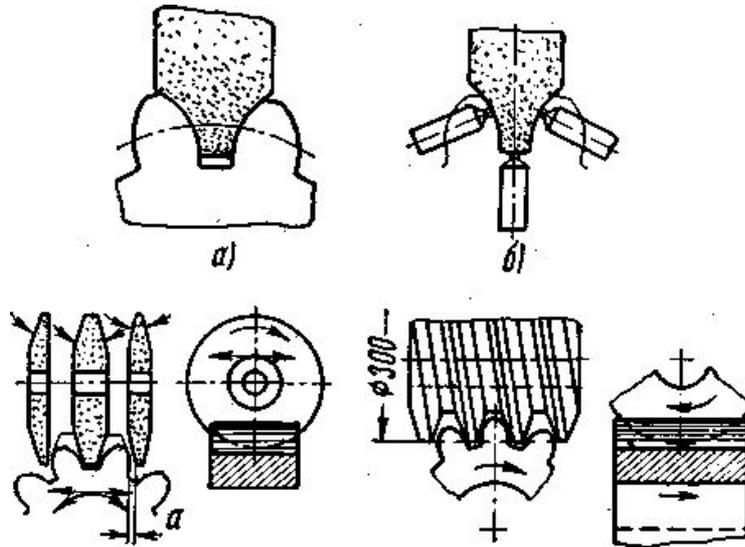


Обработка зубчатых колес шевингованием



Отделка закаленных зубчатых колес зубошлифованием

Зубошлифование является наиболее надежным методом отделки, обеспечивающим гарантированное достижения высокой точности колес, практически не зависимо от погрешности нарезания зубчатого венца на предшествующих переходах. Эту операцию обычно выполняют после термической обработки для изготовления зубчатых колес 6-й, 5-й и более высокой степеней точности, работающих на высоких скоростях.



- Схемы зубошлифования: а – по методу копирования; б – схема правки круга; в – по методу обката 2-я тарельчатыми кругами; г - по методу обката абразивным червяком
-
-

. Зубошлифование по методу копирования

- . выполняют профильным дисковым шлифовальным кругом, контур которого соответствует контуру впадины между зубьями (рис.а). После чернового шлифования всех впадин происходит автоматическая профильная правка шлифовального круга с помощью алмазных карандашей (рис.б). Припуск на сторону боковой поверхности зуба составляет $z = 0,13...0,15$ мм для модулей $m < 2$ мм и $z = 0,16...0,24$ мм для модулей в пределах $m = 2\div 7$ мм. Скорость резания $v_k = 25...30$ м/с. Радиальная подача на проход при предварительном шлифовании $0,05...0,15$ мм, при чистовом $0,02...0,03$ мм. Продольная подача стола при предварительном шлифовании $s_{пр} = 10...13$ м/мин, при чистовом $s_{пр} = 7...9$ м/мин. Число проходов при обработке одной впадины $8...10$.**

Зубошлифование методом обкатки

выполняют двумя тарельчатыми кругами с прямолинейными боковыми сторонами (рис.в). Круги вращаются v_k , а заготовка совершает возвратно-вращательное движение круговой подачи $скр$. Заготовка совершает также возвратно-поступательные перемещения продольной подачи $спр$, а при выходе круга происходит ее поворот, с целью единичного деления $1/z$ для шлифования других зубьев.

Шлифовальные круги при этом методе располагают под углом $\alpha = 15... 20^\circ$, однако возможно также параллельное расположение кругов при угле $\alpha = 0^\circ$.

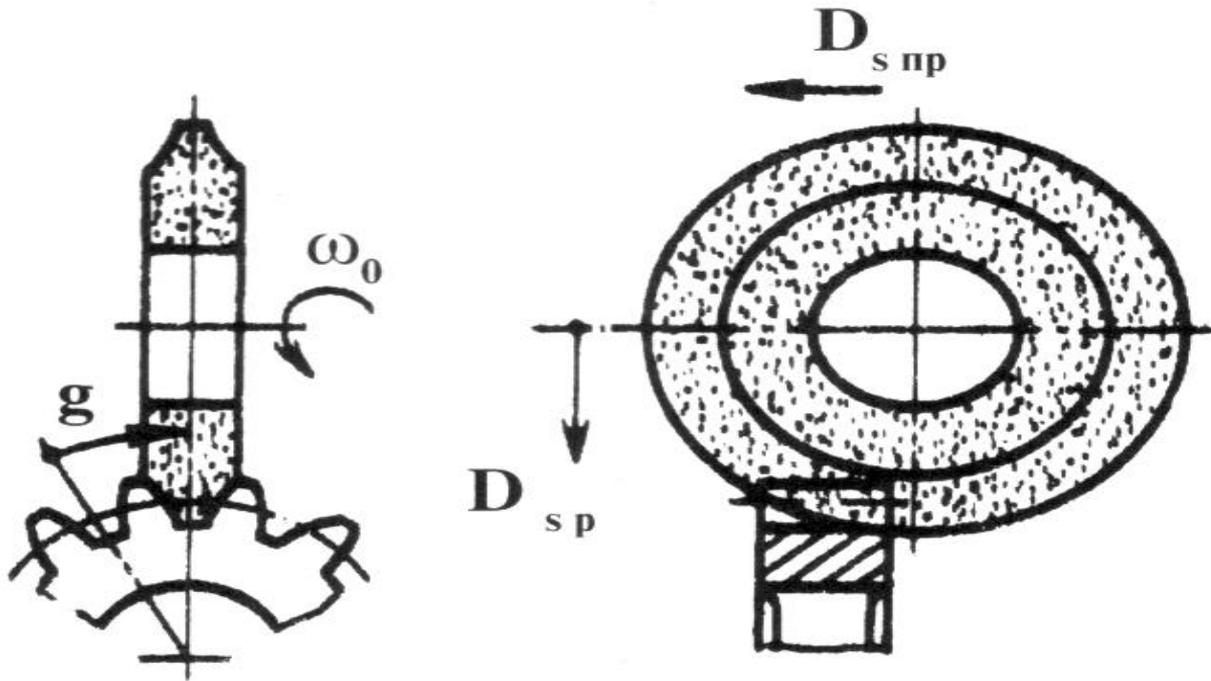
Режимы резания: скорость $v_k = 25...35$ м/с. радиальная подача $0,03...0,1$ мм на двойной ход, продольная подача $спр = 10...20$ м/мин. Круговую подачу $скр$ выбирают в соответствии с требованиями шероховатости боковой поверхности зуба – для $Ra = 0,32$ мкм она составляет $скр = 0,16...0,4$ мм на ход, а для $Ra = 0,63$ мкм, $скр = 0,3...0,9$ мм.

Для колес $t \leq 5$ мм припуск на сторону зуба под шлифование $z = 0,18...0,32$ мм, его снимают за 4...6 ходов. При этом глубина шлифования на последнем проходе составляет $0,01$ мм. В результате шлифования получают колеса 6-й, 5-й и более высокой степени точности - достигаемая точность профиля 2 мкм, погрешность по шагу 3 мкм, биение зубчатого венца 10 мкм.

Зубошлифование абразивным червяком

- выполняется на специальных станках и является наиболее производительным методом отделки зубчатого венца (рис.в). Формирование геометрии зубьев осуществляется по методу обкатки, аналогично зубофрезерованию червячной фрезой. В результате этого производительность обработки в 5 – 6 раз выше способа шлифования двумя кругами.
- При модуле $m = 1$ мм зубья колеса вышлифовывают из цилиндрической заготовки без их предварительного нарезания.
 - Абразивный червяк по геометрии может быть цилиндрическим и глобоидным.
- Скорость резания $v_k = 25...35$ м/с. В результате шлифования получают колеса 6-й, 5-й степени точности - достигаемая точность профиля 2,5 мкм, погрешность по шагу 3 мкм, биение зубчатого венца 15 мкм.

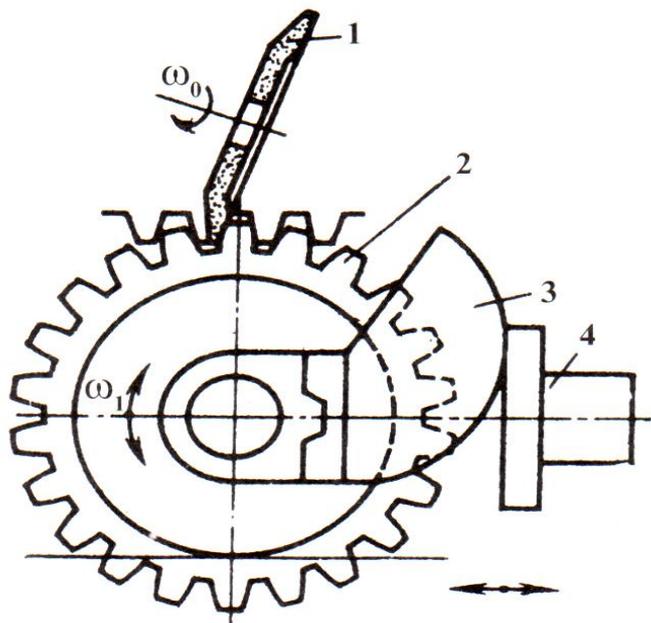
Обработка зубчатых колес профильным шлифованием



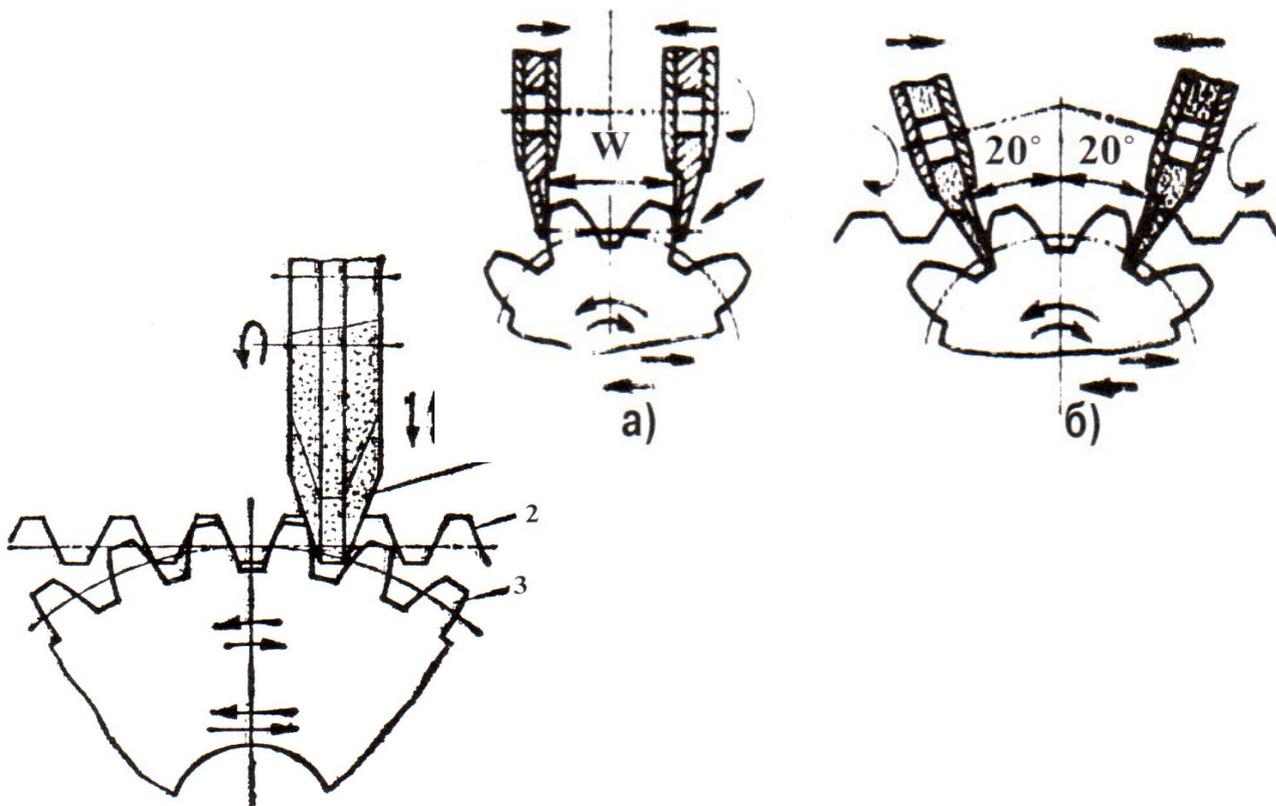
Круги для профильного шлифования



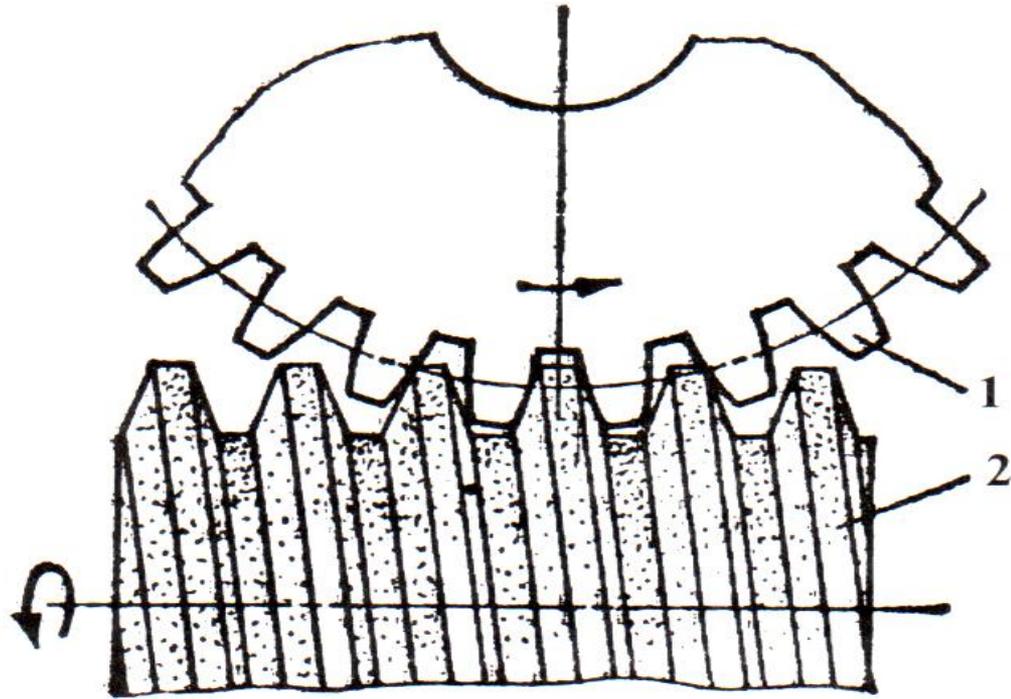
Обработка зубчатых колес обкатным шлифованием



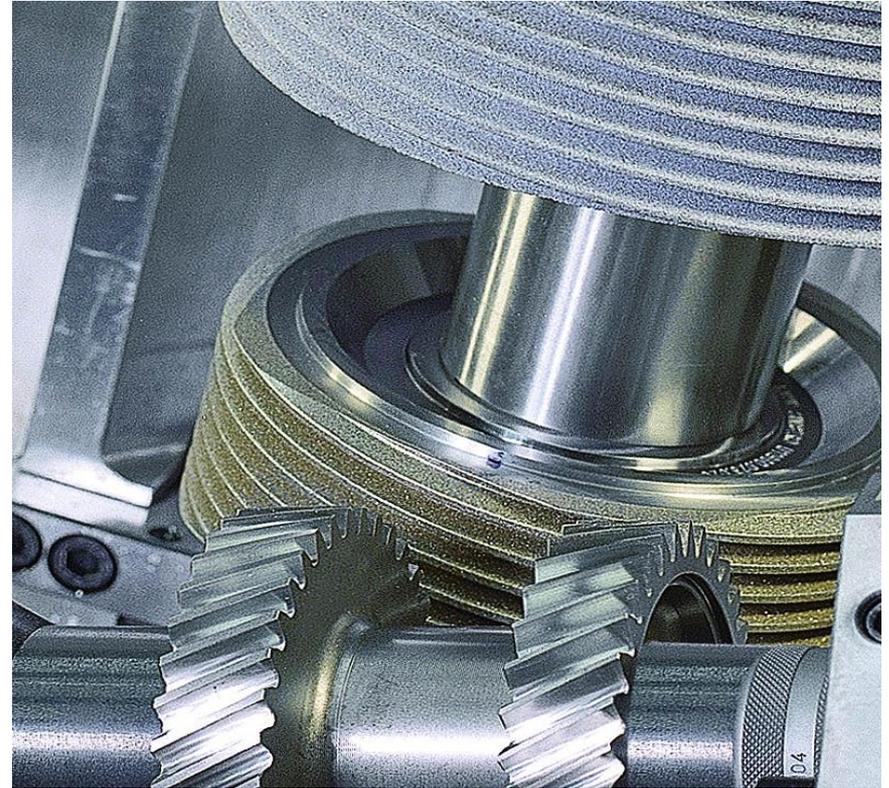
**Прерывистое
обкатное
зубошлифование**



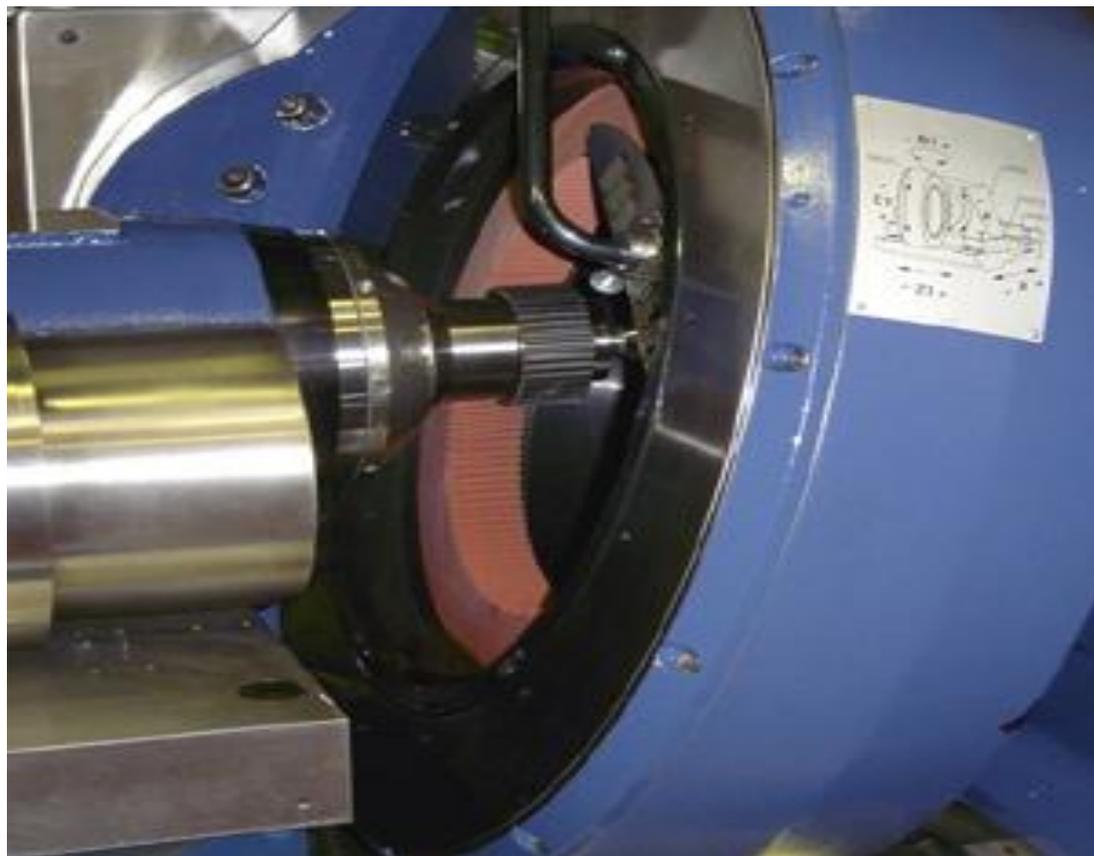
Обработка зубчатых колес обкатным шлифованием



**Непрерывное обкатное
зубошлифование**



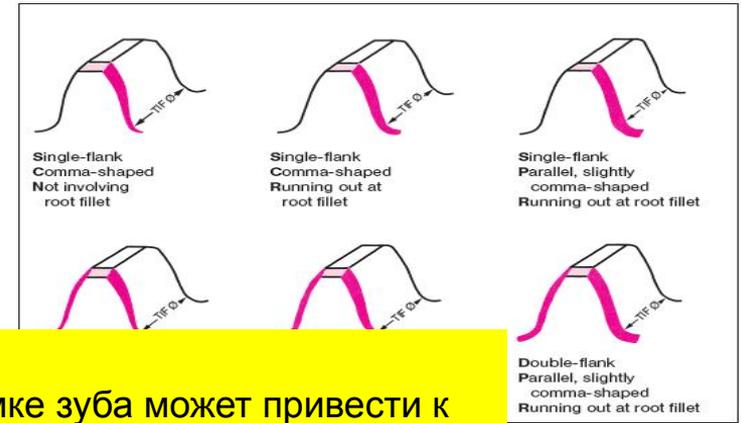
Обработка зубчатых колес хонингованием



Хонингование зубьев

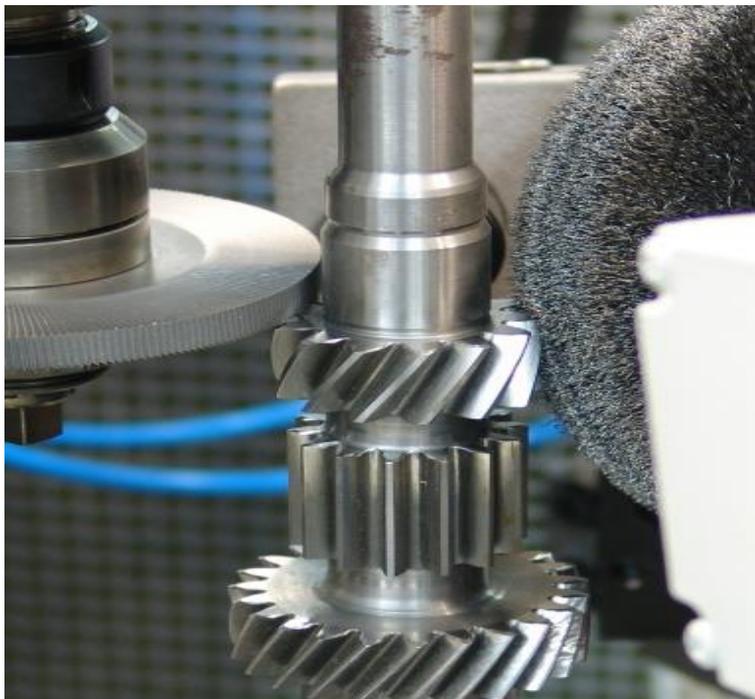
- выполняют на зубохонинговальных станках. В качестве режущего инструмента применяют зубчатый хон, который представляет собой абразивное прямозубое или косозубое колесо на стальной ступице. Зубчатый венец хона имеет тот же модуль, что и обрабатываемое колесо. Его получают из абразивного порошка с использованием бакелитовой связки. По кинематике этот процесс близок к шевингованию. Хон находится в беззазорном зацеплении с обрабатываемым колесом и принудительно вращает его с притормаживанием поочередно в левом и правом направлении. При этом колесо совершает также возвратно-поступательное движение подачи $s_{пр}$ вдоль своей оси. В отличие от шевингования отсутствует радиальная подача. При частоте вращения хона $n = 120...200$ мин⁻¹ его окружная скорость составляет $v = 60...300$ м/мин, скорость подачи стола $s_{пр} = 120...210$ мм/мин. Под хонингование оставляют припуск не более $0,02...0,05$ мм. Хонингование применяют для колес с модулем $m = 1,5\div 6$ мм. Время хонингования одного зубчатого колеса составляет порядка $2,5\div 6$ мин. В результате хонингования происходит исправление профиля зуба, снижается шероховатость боковых поверхностей зубьев, что повышает долговечность зубчатой передачи.

Снятие фасок и удаление заусенцев на зубьях



- **Предотвращение поломки**
Излишняя цементация на кромке зуба может привести к поломке при больших нагрузках
- **Предотвращение повреждения зубчатых колес и подшипников**
Если заусенцы не удалить своевременно, они могут отколоться и повредить колеса и подшипники внутри редуктора.
- **Предотвращения низкой стойкости инструмента для твердой обработки**
Закаленные заусенцы приводят к преждевременному износу инструментов для финишной твердой обработки.
- **Предотвращение несчастного случая**

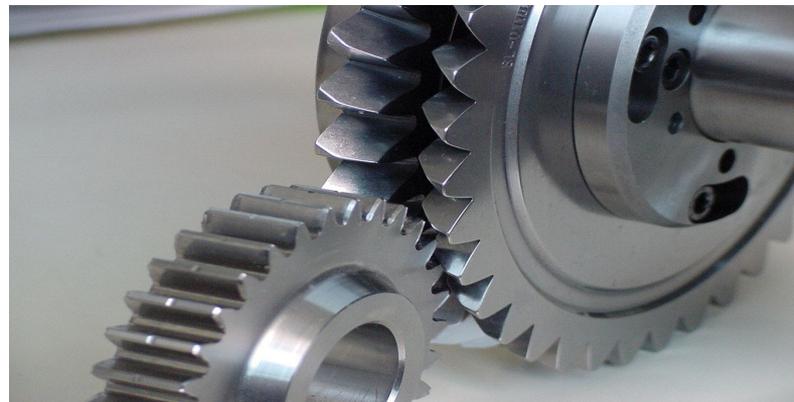
Снятие фасок и удаление заусенцев на зубьях



Снятие фасок и удаление заусенцев на зубьях

Снятие фаски

Движением обката с пластической деформацией

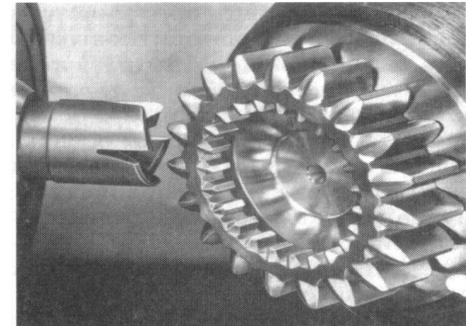
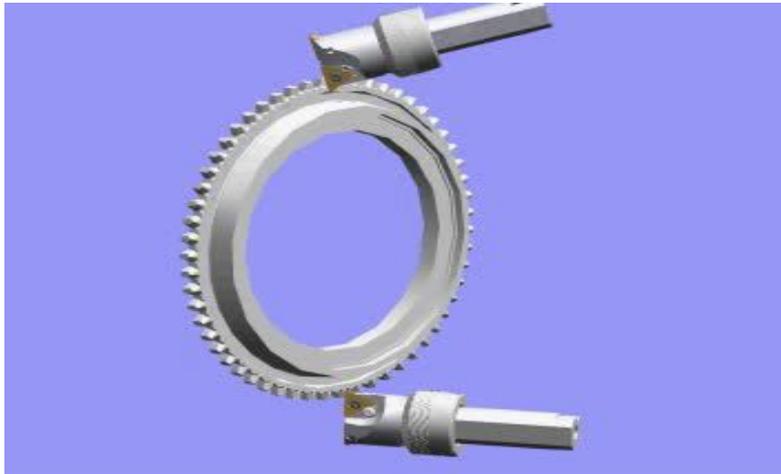
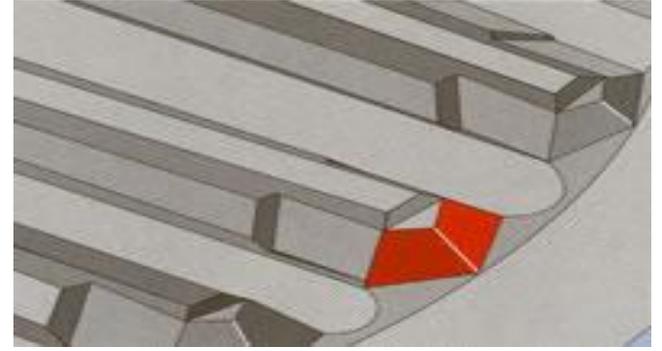
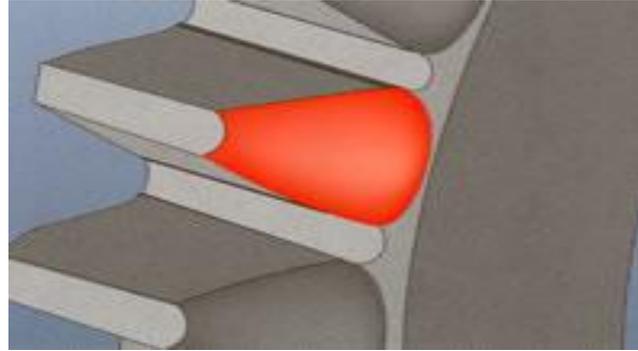
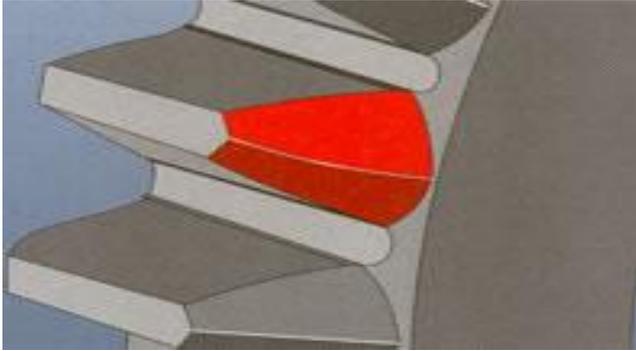


Удаление заусенцев

Необходимо удалить заусенец, образовавшийся на торцовых поверхностях при снятии фаски, фрезеровании, долблении или шевинговании.



Зубозакругление и зубоскашивание



Методы отделки зубчатого венца цилиндрических колёс

- С целью повышения геометрической точности зубчатого венца, предварительно нарезанные рассмотренными выше методами колеса подвергают отделке. Для достижения 7-мой, 6-ой и более высокой точности.

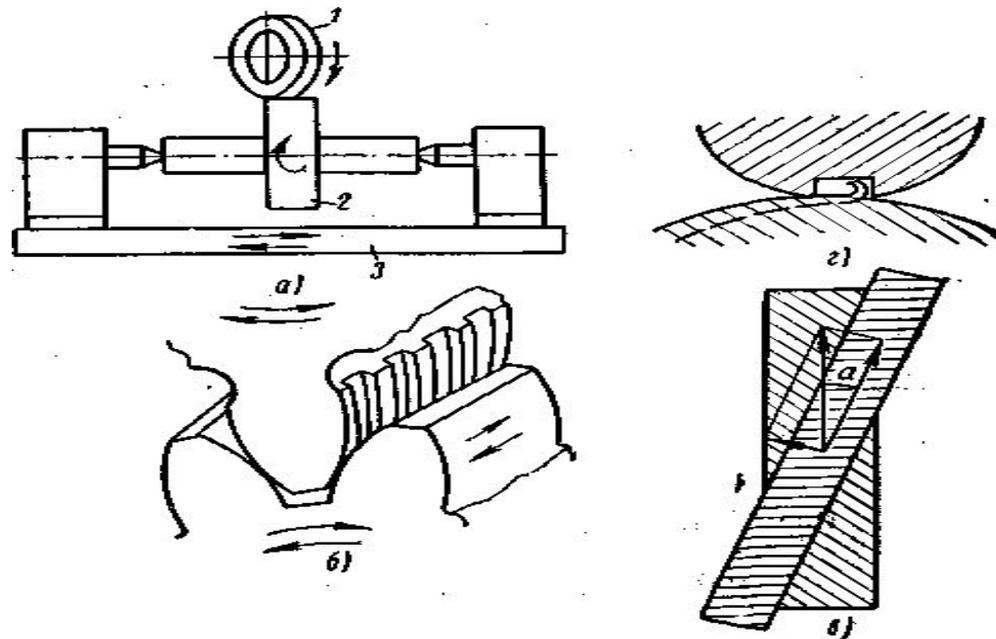
Для отделки незакаленных зубчатых колес применяют процесс зубошевенгования.

Отделку закаленных зубчатых колес выполняют путем зубошлифования.

Отделка незакаленных зубчатых колес шевингованием

Шевингование зубьев производится круглым шевером на специальных шевинговальных станках. Круглый шевер (рис. а) находится в зацеплении с обрабатываемым зубчатым колесом 2, закрепленным на оправке, зажатой в центрах на столе 3 и вместе с деталью получающей вращение от шевера. Стол 3 имеет поступательно-возвратные перемещения. По окончании двойного хода стол 3 подается вверх на $0,02—0,04$ мм за двойной ход. Припуск под шевингование $0,1—0,2$ мм снимается за $5—10$ ходов. Режущие кромки на шевере образованы канавками на профиле зуба шевера (рис. б).

Шевер и деталь устанавливаются со скрещенными осями (рис. в) под углом α , чтобы было скольжение режущих кромок шевера относительно поверхности зуба для снятия стружки (рис. г). Время обработки $1,5—2,5$ сек на один зуб. Диаметр шевера $150—170$ мм, ширина 19 мм. Нормы точности колес после шевингования следующие: радиальное биение $0,01—0,02$ мм, неравномерность окружного шага $0,015$ мм, накопленная ошибка шага $0,04$ мм, отклонение по направлению зуба $0,015$ мм.

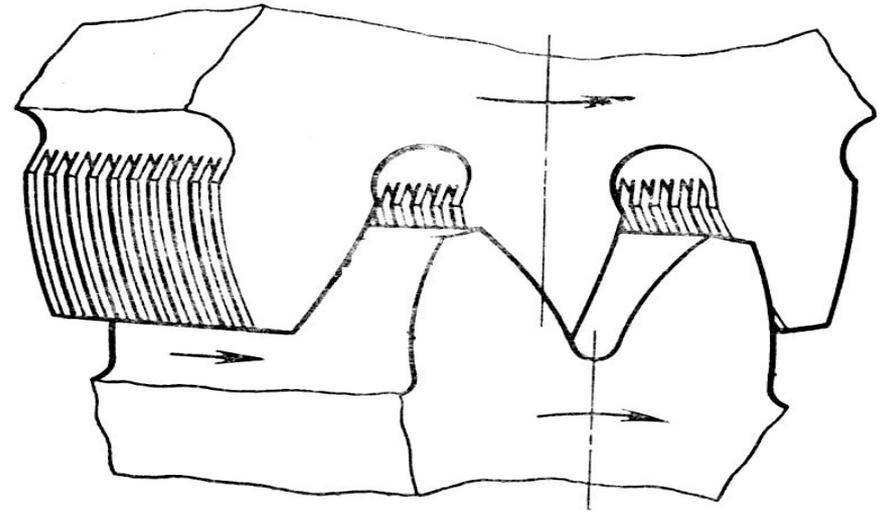
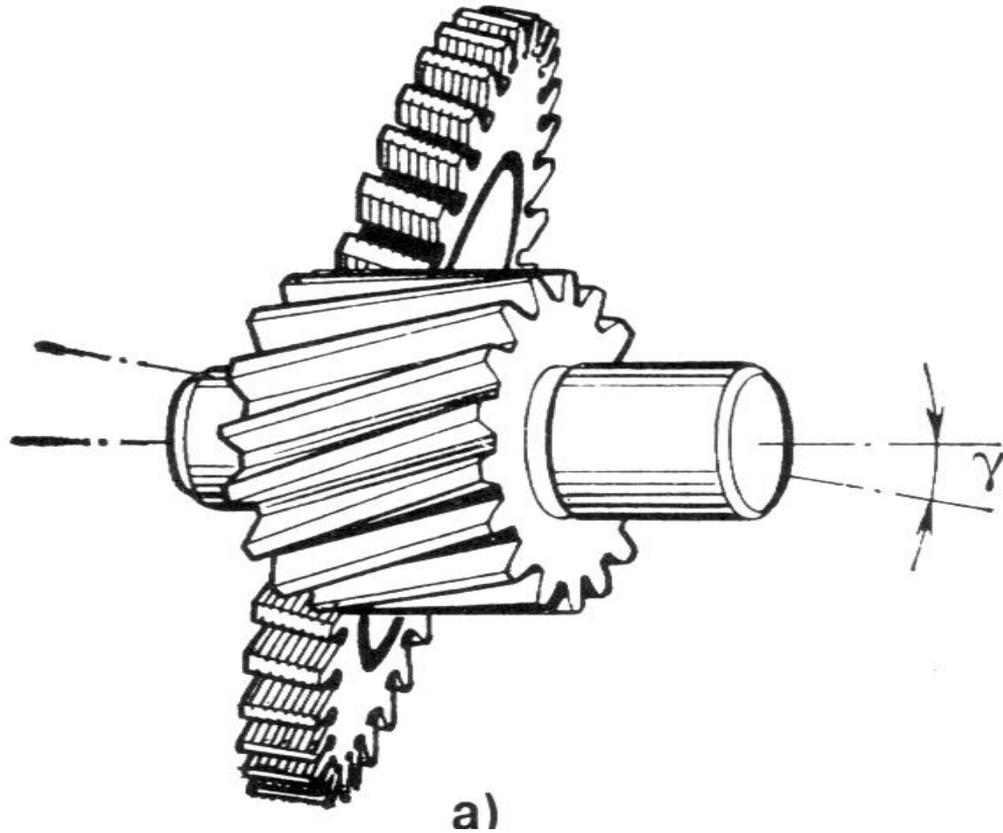


• **Схема шевингования:**

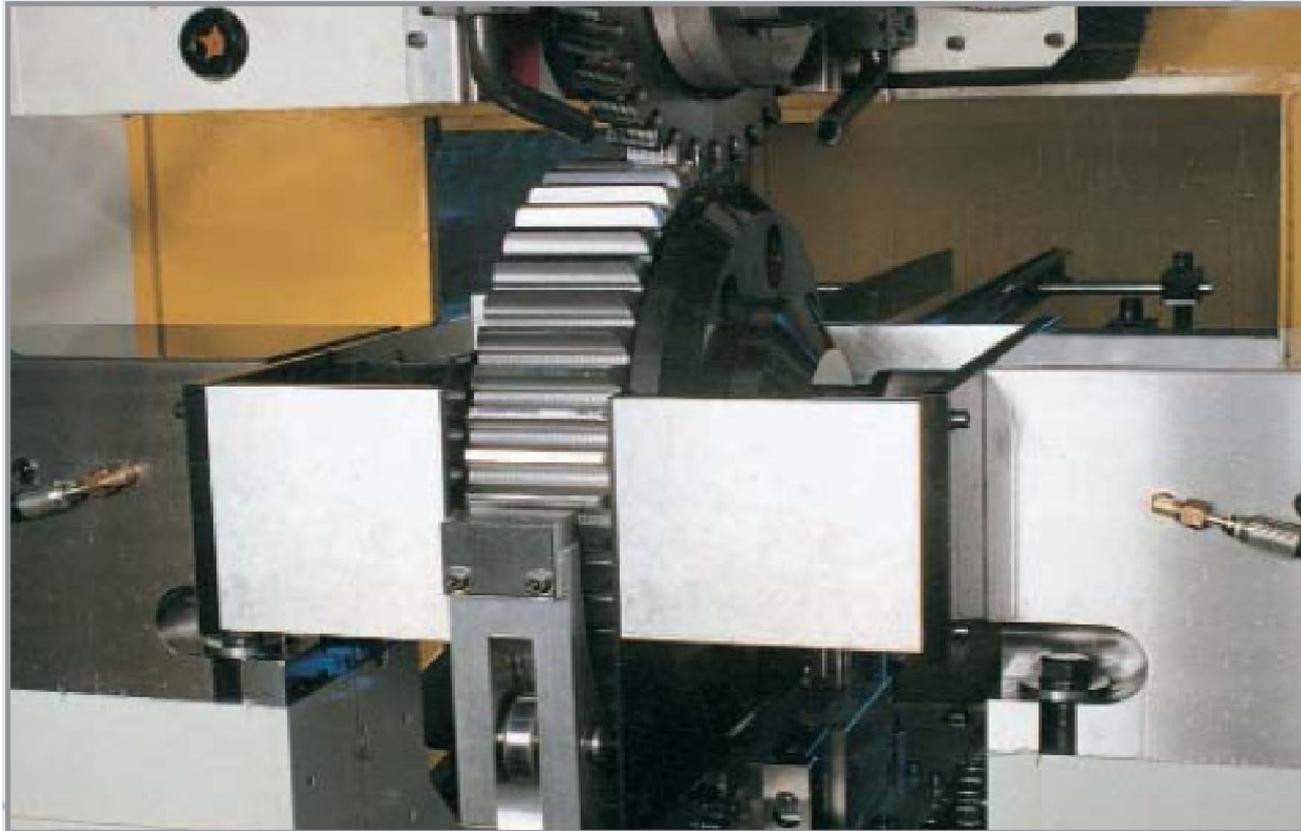
- **а —схема установки детали на столе при шевинговании шевером; б — направление движения инструмента и заготовки; в —угол скрещивания осей; г —формирование стружки**

-
- **Грубо нарезанные зубчатые колеса плохо исправляются шевером.**
-

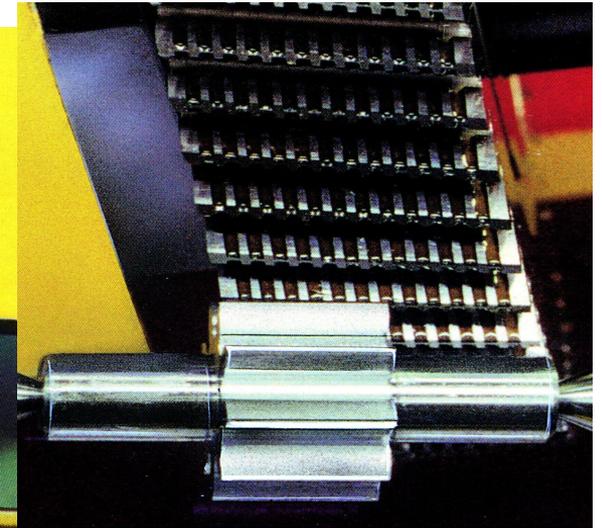
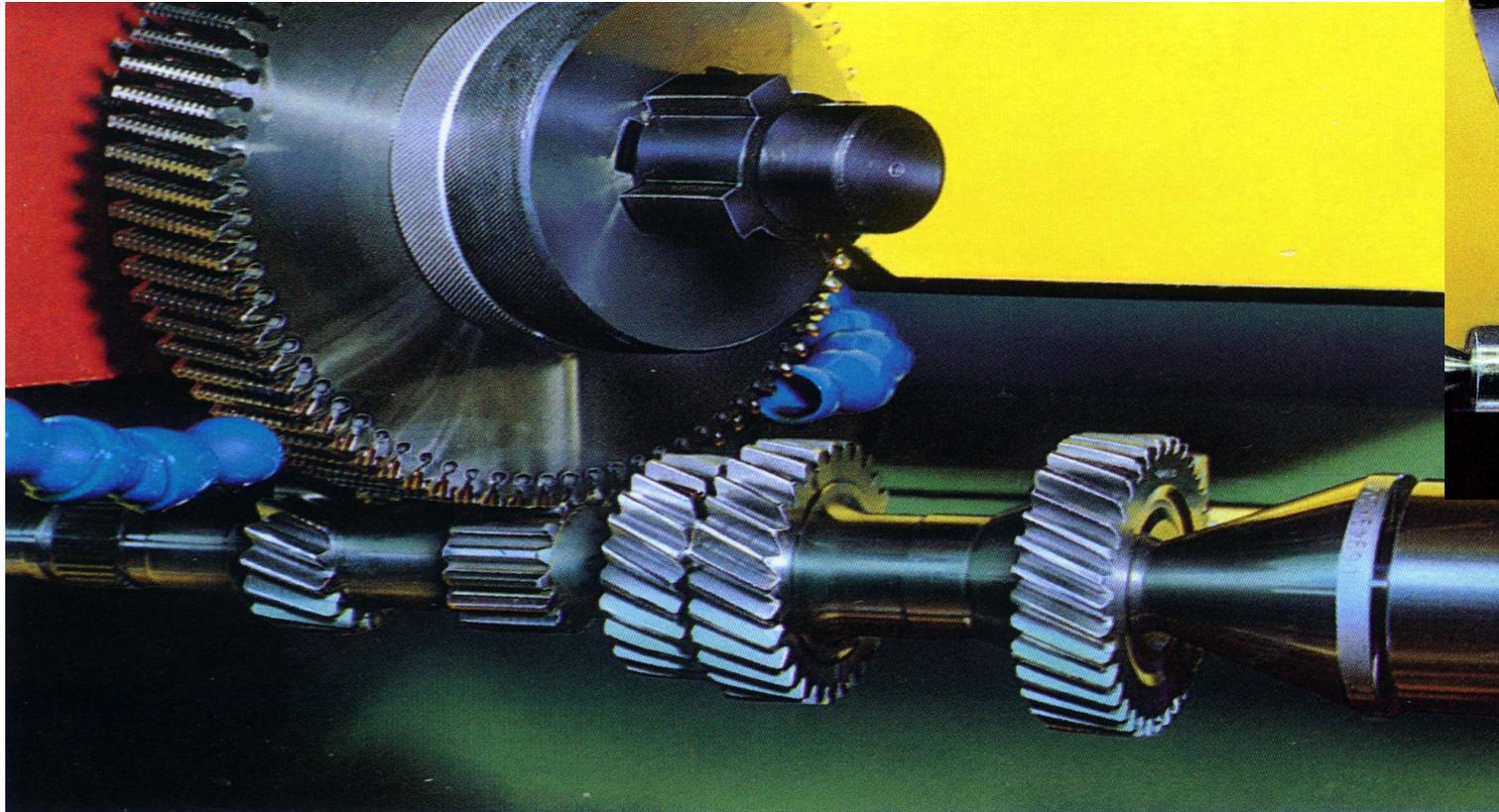
Обработка зубчатых колес шевингованием



Обработка зубчатых колес шевингованием

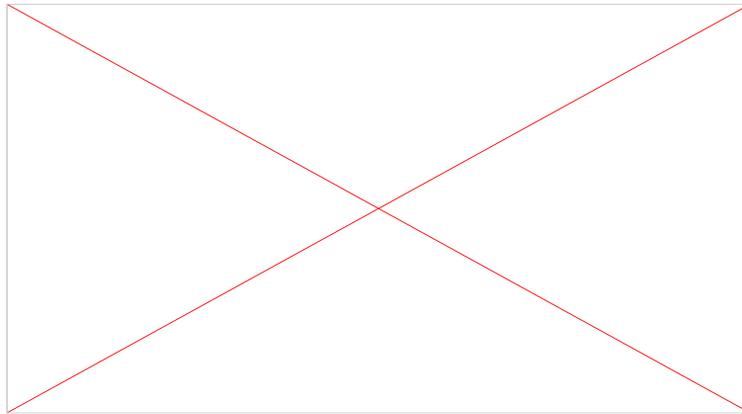


Обработка зубчатых колес шевингованием



Отделка закаленных зубчатых колес зубошлифованием

Зубошлифование является наиболее надежным методом отделки, обеспечивающим гарантированное достижения высокой точности колес, практически не зависимо от погрешности нарезания зубчатого венца на предшествующих переходах Эту операцию обычно выполняют после термической обработки для изготовления зубчатых колес 6-й, 5-й и более высокой степеней точности, работающих на высоких скоростях.



- Схемы зубошлифования: а – по методу копирования; б – схема правки круга; в – по методу обката 2-я тарельчатыми кругами; г - по методу обката абразивным червяком
-
-

. Зубошлифование по методу копирования

- . выполняют профильным дисковым шлифовальным кругом, контур которого соответствует контуру впадины между зубьями (рис.а). После чернового шлифования всех впадин происходит автоматическая профильная правка шлифовального круга с помощью алмазных карандашей (рис.б). Припуск на сторону боковой поверхности зуба составляет $z = 0,13...0,15$ мм для модулей $m < 2$ мм и $z = 0,16...0,24$ мм для модулей в пределах $m = 2\div 7$ мм. Скорость резания $v_k = 25...30$ м/с. Радиальная подача на проход при предварительном шлифовании $0,05...0,15$ мм, при чистовом $0,02...0,03$ мм. Продольная подача стола при предварительном шлифовании $s_{пр} = 10...13$ м/мин, при чистовом $s_{пр} = 7...9$ м/мин. Число проходов при обработке одной впадины $8...10$.**

Зубошлифование методом обкатки

выполняют двумя тарельчатыми кругами с прямолинейными боковыми сторонами (рис.в). Круги вращаются v_k , а заготовка совершает возвратно-вращательное движение круговой подачи $скр$. Заготовка совершает также возвратно-поступательные перемещения продольной подачи $спр$, а при выходе круга происходит ее поворот, с целью единичного деления $1/z$ для шлифования других зубьев.

Шлифовальные круги при этом методе располагают под углом $\alpha = 15... 20^\circ$, однако возможно также параллельное расположение кругов при угле $\alpha = 0^\circ$.

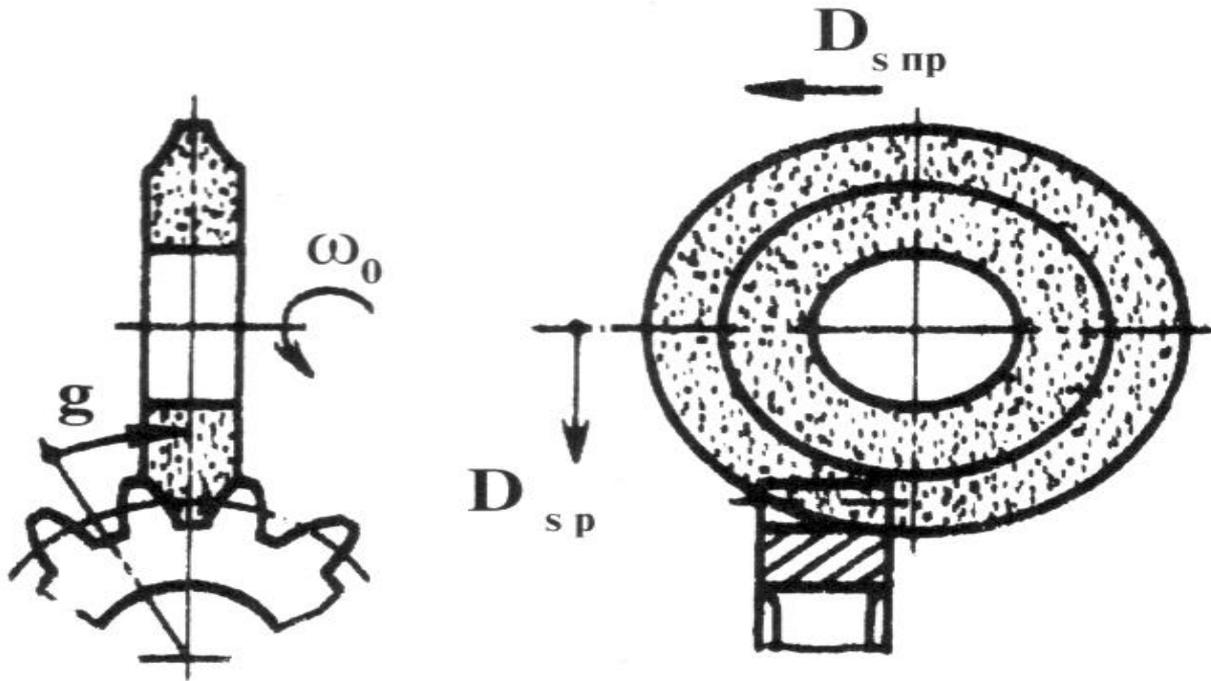
Режимы резания: скорость $v_k = 25...35$ м/с. радиальная подача $0,03...0,1$ мм на двойной ход, продольная подача $спр = 10...20$ м/мин. Круговую подачу $скр$ выбирают в соответствии с требованиями шероховатости боковой поверхности зуба – для $Ra = 0,32$ мкм она составляет $скр = 0,16...0,4$ мм на ход, а для $Ra = 0,63$ мкм, $скр = 0,3...0,9$ мм.

Для колес $t \leq 5$ мм припуск на сторону зуба под шлифование $z = 0,18...0,32$ мм, его снимают за 4...6 ходов. При этом глубина шлифования на последнем проходе составляет $0,01$ мм. В результате шлифования получают колеса 6-й, 5-й и более высокой степени точности - достигаемая точность профиля 2 мкм, погрешность по шагу 3 мкм, биение зубчатого венца 10 мкм.

Зубошлифование абразивным червяком

- выполняется на специальных станках и является наиболее производительным методом отделки зубчатого венца (рис.в). Формирование геометрии зубьев осуществляется по методу обкатки, аналогично зубофрезерованию червячной фрезой. В результате этого производительность обработки в 5 – 6 раз выше способа шлифования двумя кругами.
- При модуле $m = 1$ мм зубья колеса вышлифовывают из цилиндрической заготовки без их предварительного нарезания.
 - Абразивный червяк по геометрии может быть цилиндрическим и глобоидным.
- Скорость резания $v_k = 25...35$ м/с. В результате шлифования получают колеса 6-й, 5-й степени точности - достигаемая точность профиля 2,5 мкм, погрешность по шагу 3 мкм, биение зубчатого венца 15 мкм.

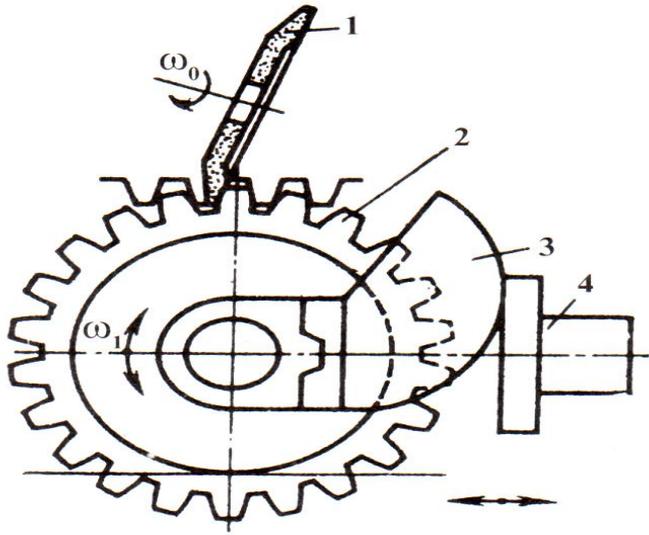
Обработка зубчатых колес профильным шлифованием



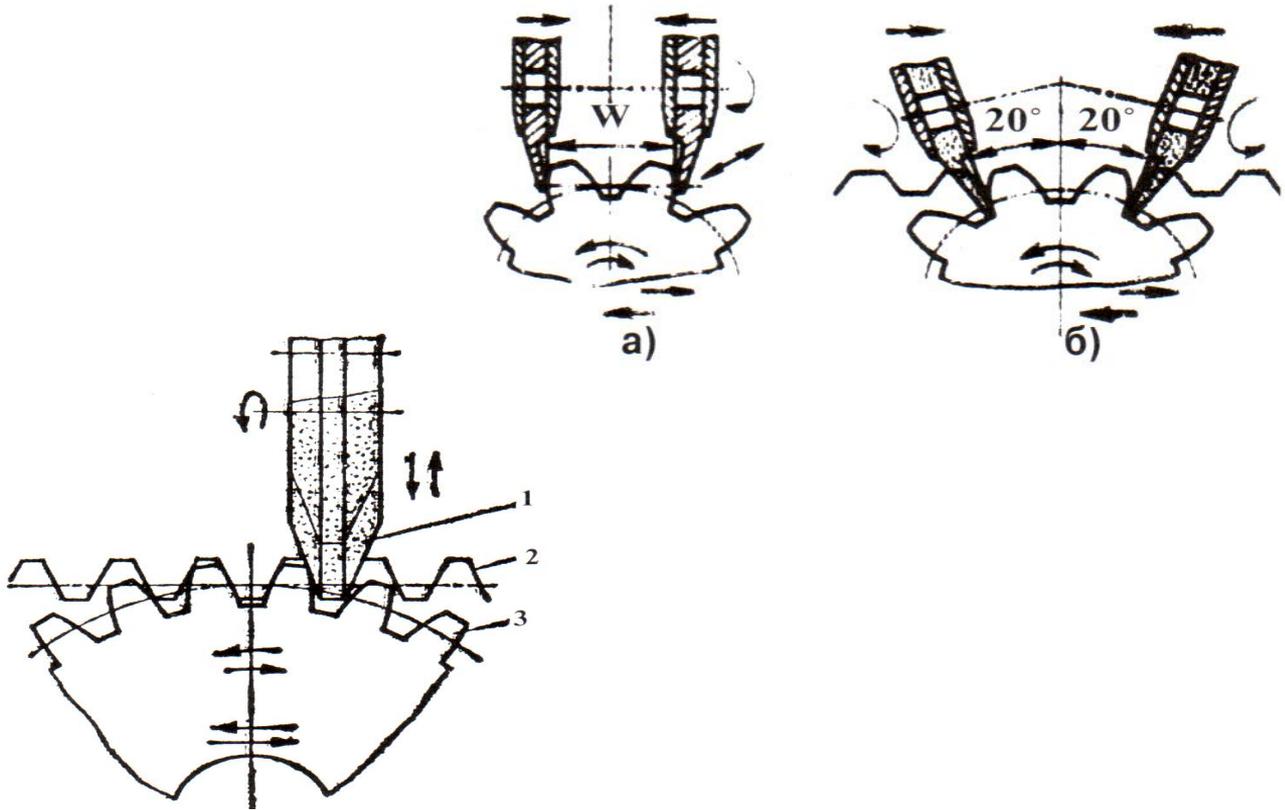
Круги для профильного шлифования



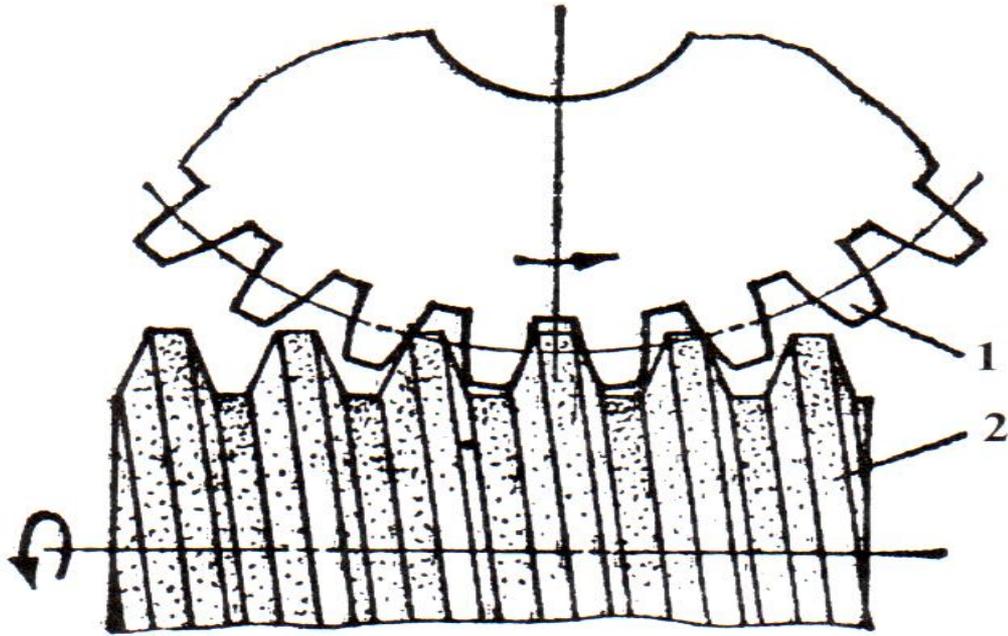
Обработка зубчатых колес обкатным шлифованием



**Прерывистое
обкатное
зубошлифование**



Обработка зубчатых колес обкатным шлифованием



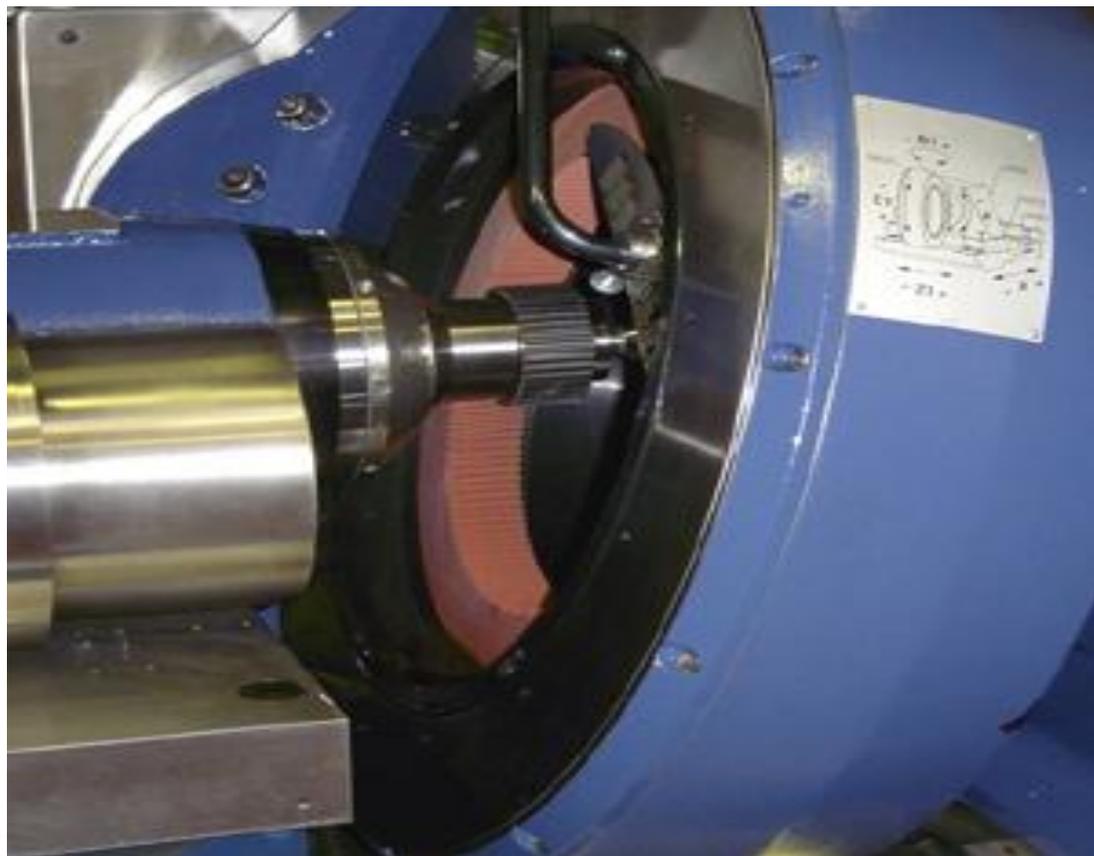
**Непрерывное обкатное
зубошлифование**



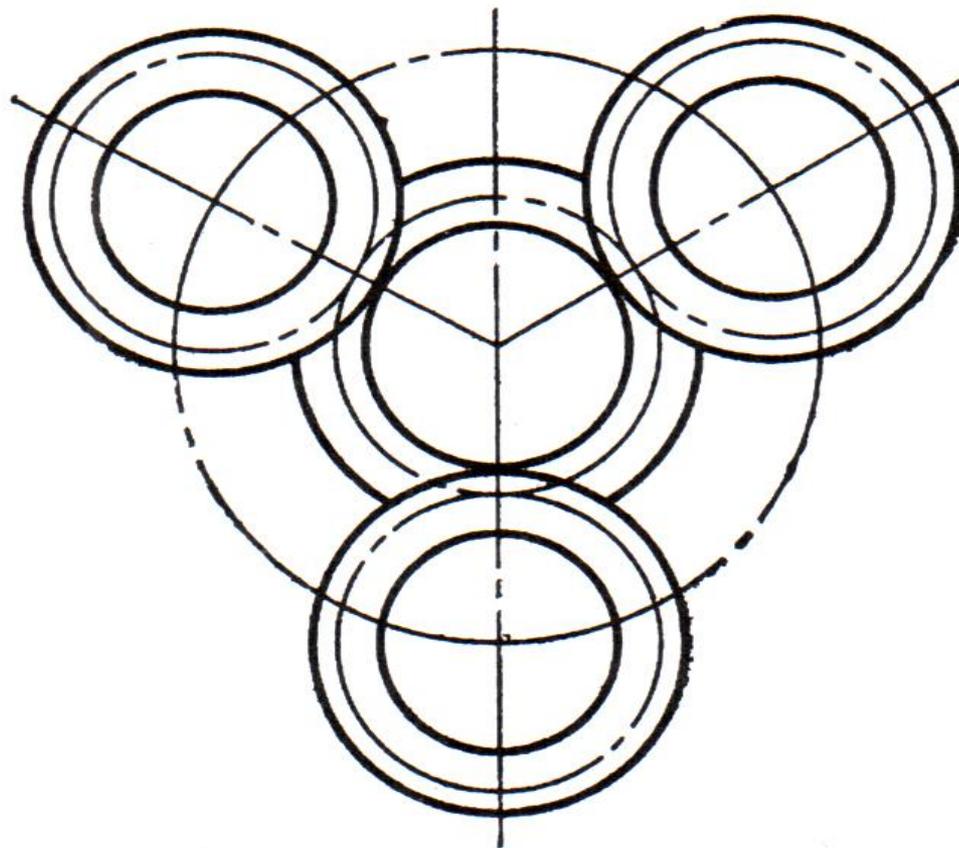
Хонингование зубьев

- выполняют на зубохонинговальных станках. В качестве режущего инструмента применяют зубчатый хон, который представляет собой абразивное прямозубое или косозубое колесо на стальной ступице. Зубчатый венец хона имеет тот же модуль, что и обрабатываемое колесо. Его получают из абразивного порошка с использованием бакелитовой связки. По кинематике этот процесс близок к шевингованию. Хон находится в беззазорном зацеплении с обрабатываемым колесом и принудительно вращает его с притормаживанием поочередно в левом и правом направлении. При этом колесо совершает также возвратно-поступательное движение подачи $s_{пр}$ вдоль своей оси. В отличие от шевингования отсутствует радиальная подача. При частоте вращения хона $n = 120...200$ мин⁻¹ его окружная скорость составляет $v = 60...300$ м/мин, скорость подачи стола $s_{пр} = 120...210$ мм/мин. Под хонингование оставляют припуск не более $0,02...0,05$ мм. Хонингование применяют для колес с модулем $m = 1,5\div 6$ мм. Время хонингования одного зубчатого колеса составляет порядка $2,5\div 6$ мин. В результате хонингования происходит исправление профиля зуба, снижается шероховатость боковых поверхностей зубьев, что повышает долговечность зубчатой передачи.

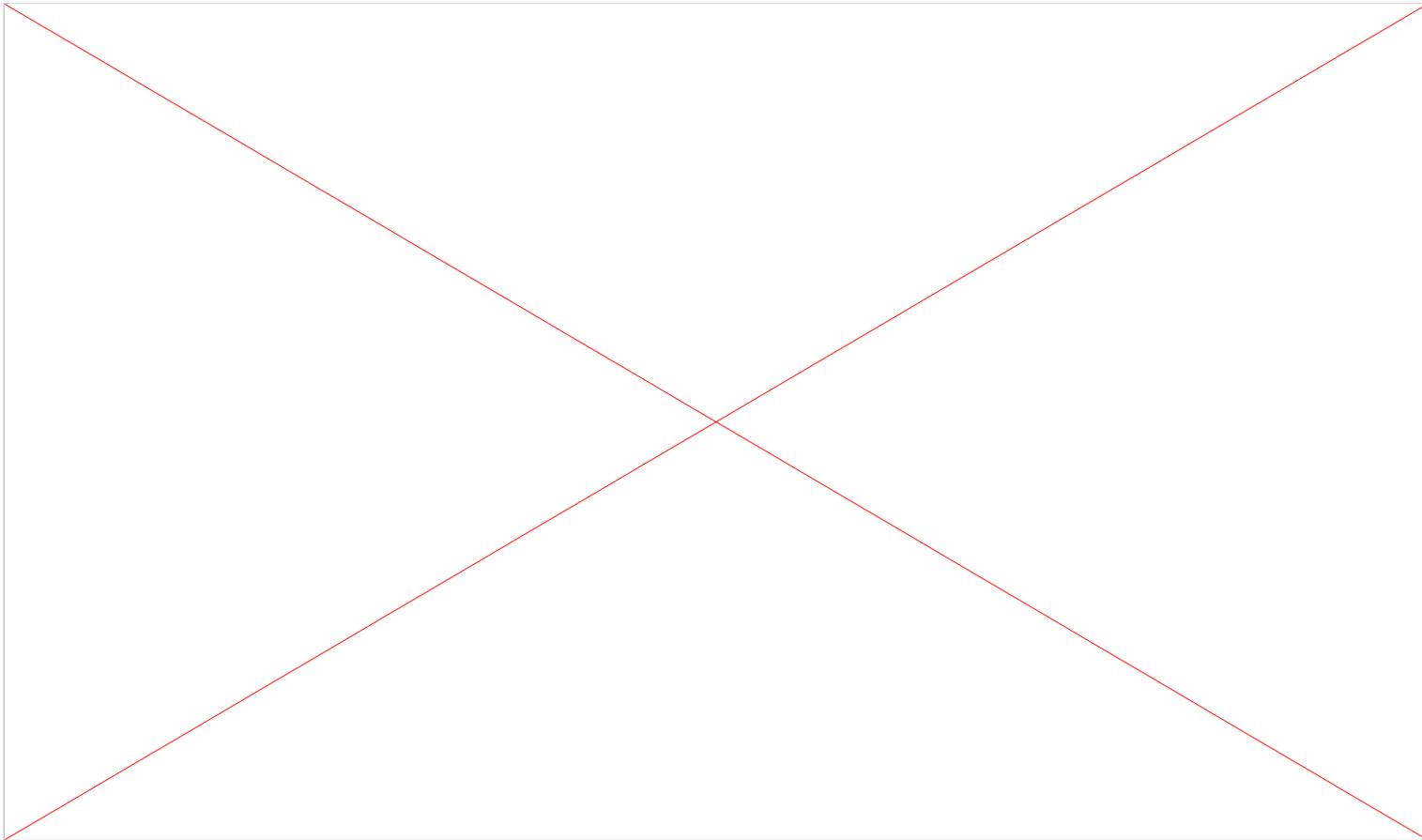
Обработка зубчатых колес хонингованием

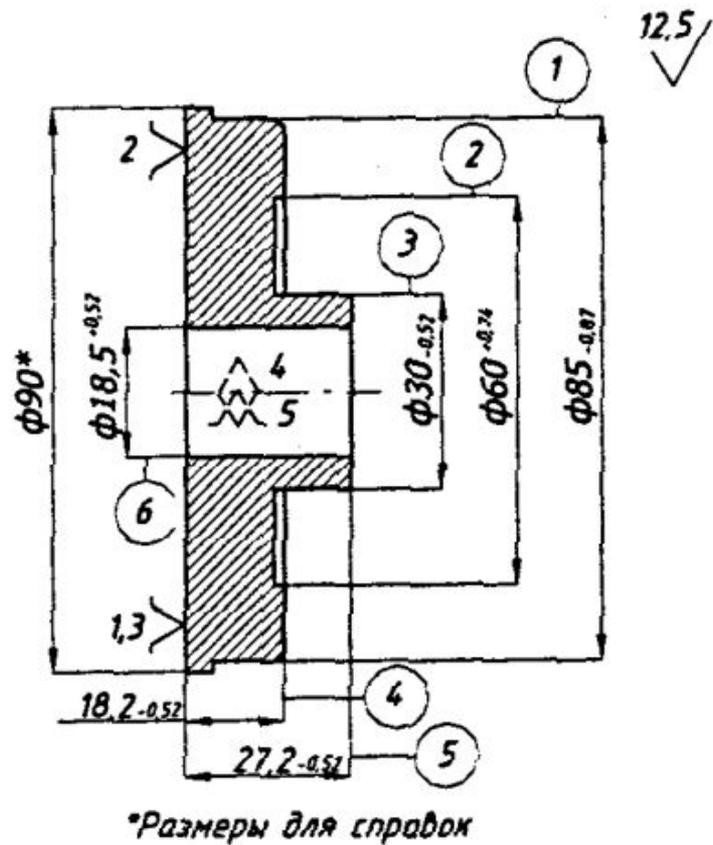


Обработка колес притиркой

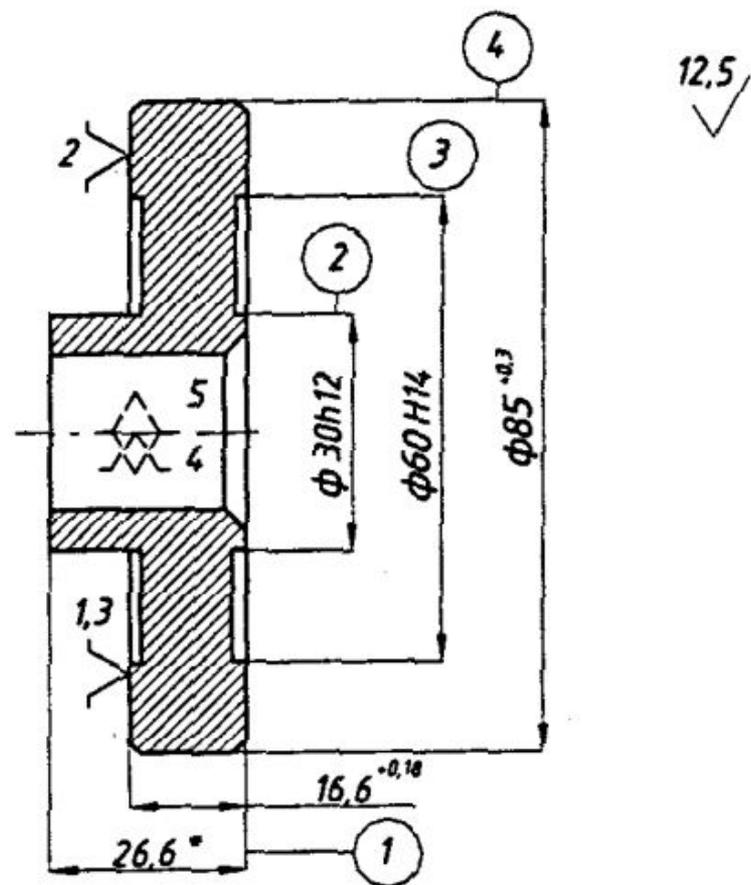


Пример типового маршрута изготовления зубчатого колеса

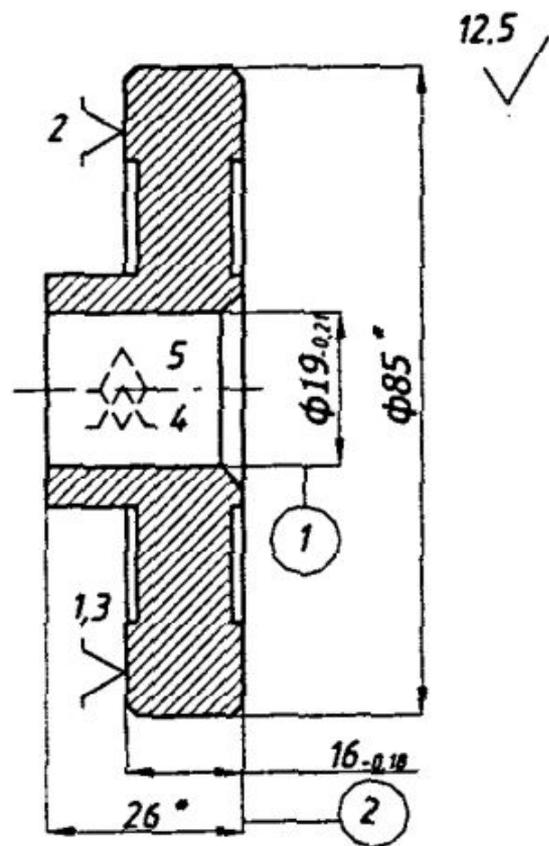




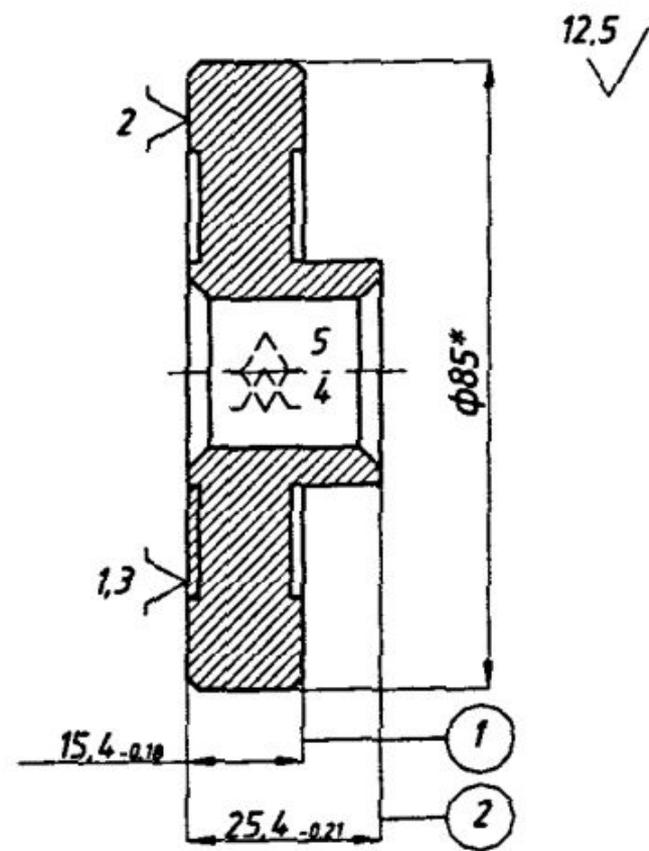
Р и с. 1.99. Операционный эскиз операции 10



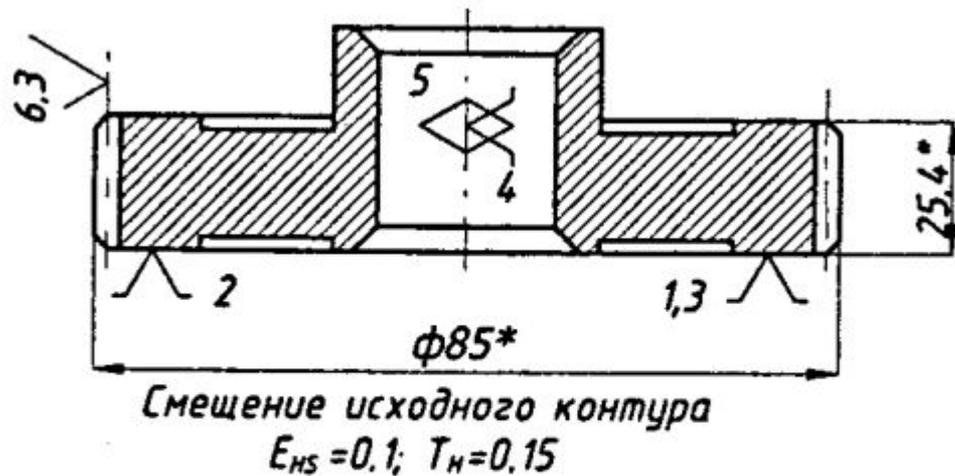
Р и с. 1.100. Операционный эскиз операции 15



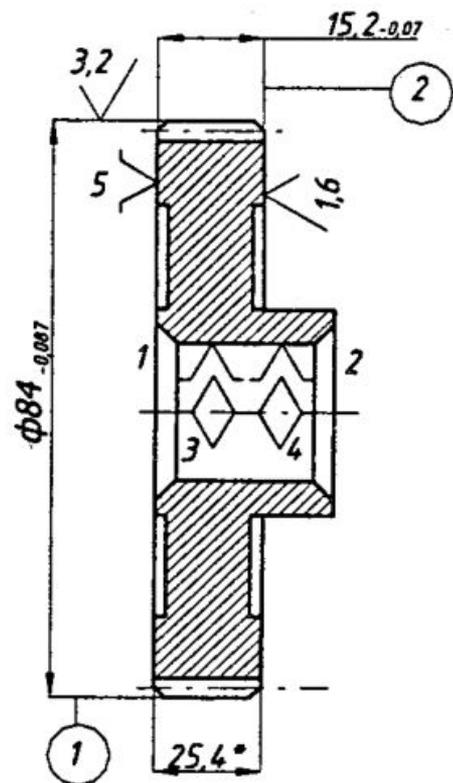
Р и с. 1.101. Операционный эскиз операции 25



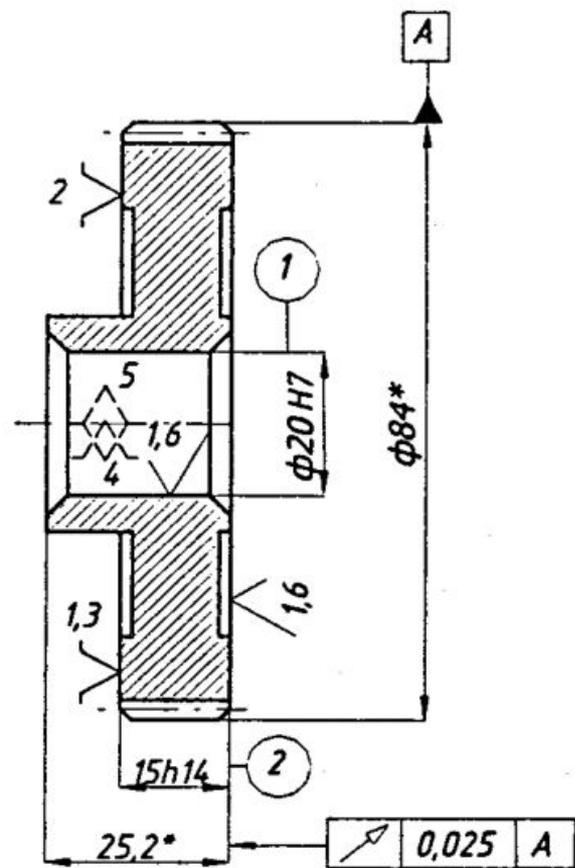
Р и с. 1.102. Операционный эскиз операции 30



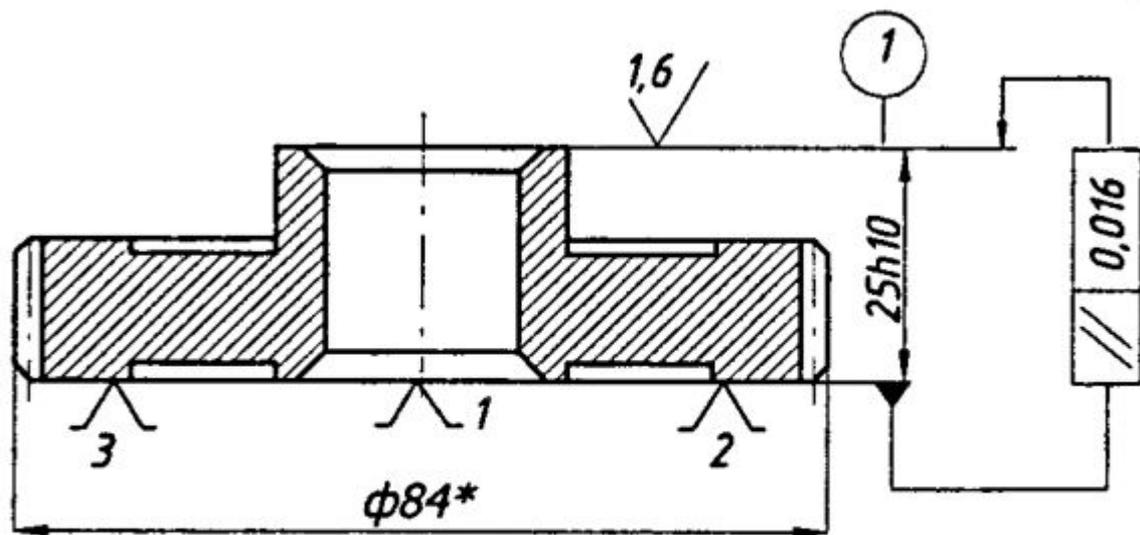
Р и с. 1.103. Операционный эскиз операции 35



Р и с. 1.104. Операционный эскиз операции 50



Р и с. 1.105. Операционный эскиз операции 55



Р и с. 1.106. Операционный эскиз операции 60

. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

1 Вариант

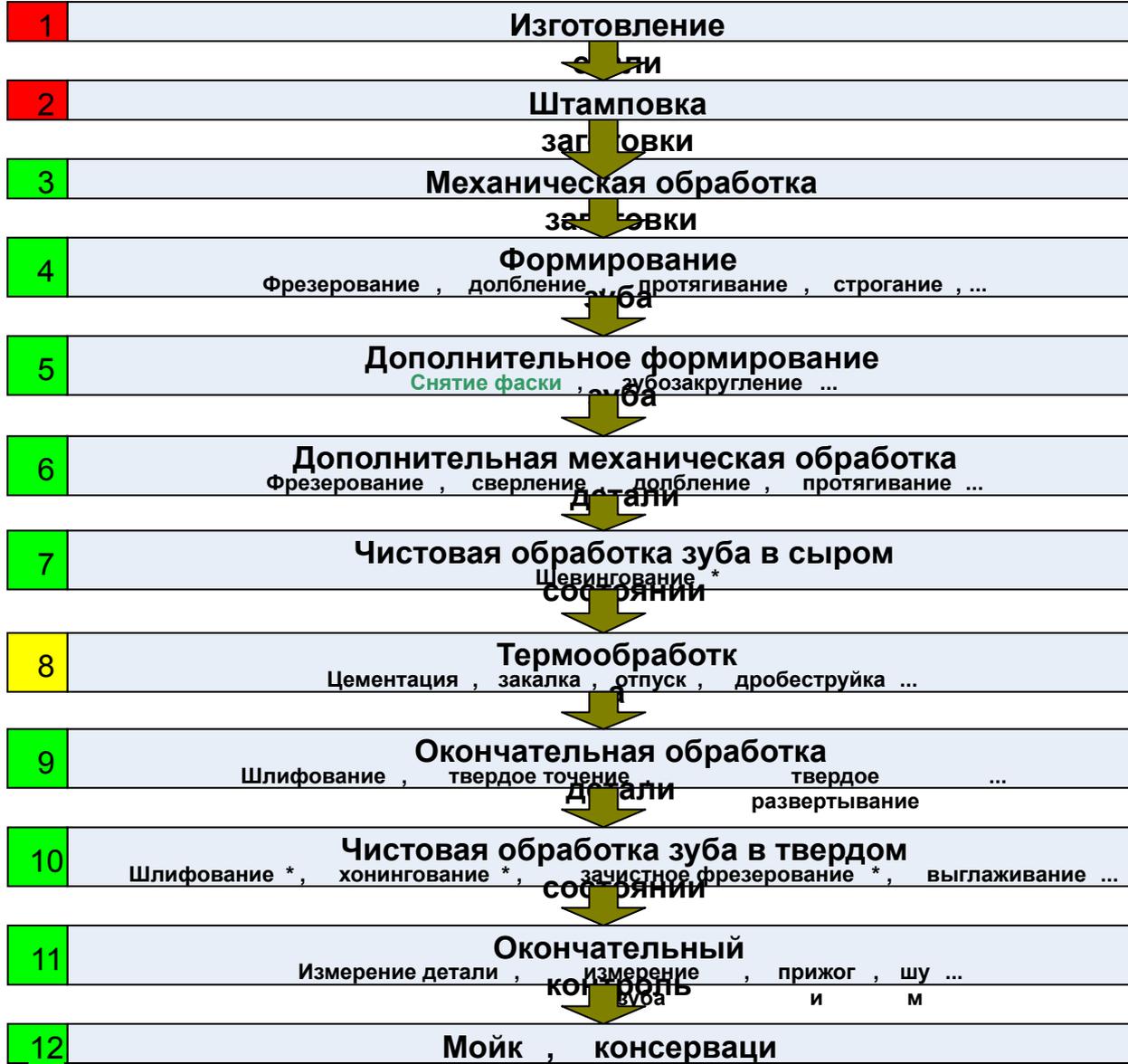
Типовой технологический маршрут изготовления зубчатого колеса типа втулки (заготовка из проката или поковка, полученная в подкладных штампах без отверстия).

1. Сверление и зенкерование базового отверстия. Обработка одного торца на токарно-револьверном станке.
2. Протягивание базового отверстия, шлицевых и шпоночных пазов (базирование по базовому отверстию и торцу).
3. Черновое и чистовое точение по контуру колеса с базированием по отверстию, полученного после протягивания с использованием оправки. После точения биение базового торца не должно превышать 0,03 – 0,04 мм.
4. Нарезание зубьев путем зубофрезерования или зубодолбления с базированием по отверстию и торцу. Нарезание зубьев может быть выполнено за два этапа - черновое и чистовое.
5. Зубозакругление по контуру зубчатого венца.
6. Отделка зубьев шевенгованием с обеспечением 7-ой степени точности (см. далее).
Для незакалённых зубчатых колёс технологический процесс на этом заканчивается, а для закаливаемых продолжается.
7. Термообработка (закалка) зубчатого венца и базового отверстия.
В результате закалки происходит коробление и потеря геометрической точности зубчатого венца на 0,5...1 степень точности, поэтому затем выполняют операции отделки.
8. Шлифование базового отверстия и торца на внутришлифовальном станке.
9. Отделка зубьев зубошлифованием с базированием по окончательно обработанному отверстию и торцу.
Промывка и контроль.

2 Вариант

Общая схема изготовления цементуемых зубчатых колес (заготовка – штамповка, ковка с центральным отверстием) для достижения 8 степени точности и шероховатости Ra 1,25-2,5 зуба состоит из следующих этапов:

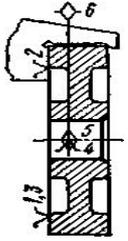
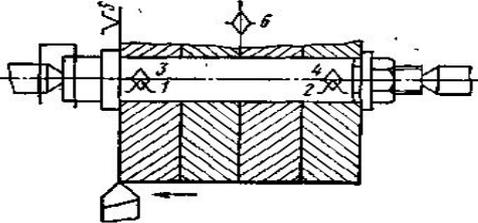
1. Черновая токарная обработка с переустановом (закрепление в патроне);
2. Полуцистовая токарная обработка с переустановом (закрепление в патроне);
3. Протягивание шлицев;
4. Базирование детали по отверстию на оправке и чистовая обработка наружных поверхностей;
5. Черновое зубонарезание (закрепление на оправке с упором в торец);
6. Высокий отпуск;
7. Шлифование базового торца и отверстия;
8. Чистовое зубонарезание (закрепление на оправке с упором в торец);
9. Химико-термическая обработка (цементация);
10. Шлиование отверстия и торцев (закрепление в специальном мембранном патроне);
11. Шлифование зубьев (закрепление на оправке с упором в торец);
12. Стабилизирующий низкий отпуск не позднее 2 часов после шлифования.

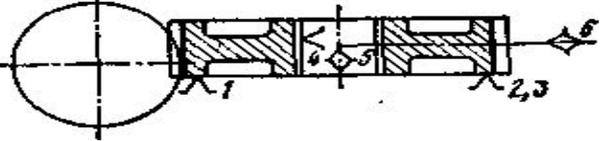


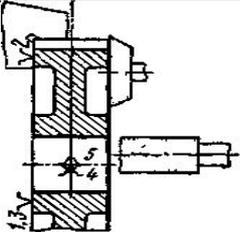
- Технологическая цепочка

Технологический процесс изготовления зубчатого колеса 6 степени точности диаметром 80 - 220 мм с модулем от 2,5 до 5 мм и центрированием по малому диаметру шлицев.

№	Содержание операции	Эскиз обработки, базирования.	Оборудование
1	Изготовление заготовки — штамповка	—	—
2	Черновая токарная обработка с одной стороны и растачивание отверстия		Вертикальный токарный патронный полуавтомат
3	Черновая токарная обработка с другой стороны и повторное растачивание отверстия		То же
4	Термическая обработка — нормализация и отпуск	—	—
5	Шлифование боковых сторон с двух сторон последовательно (с перевертыванием заготовки)	Базирование по торцам	Вертикальный плоскошлифовальный станок

6	<p>Чистовое растачивание отверстия с точностью по 7-му качеству (установка с поджимом к торцу с помощью скошенных кулачков)</p>		<p>Алмазно-расточной или револьверный станок</p>
7	<p>Протягивание шлицев (шлицевая протяжка обрабатывающая только боковые стороны и большой диаметр шлицев)</p>	<p>База - торец и точно расточенное отверстие заготовки зубчатого колеса на операции № 6</p>	<p>Вертикально-протяжной станок</p>
8	<p>Зачистка фасок на торцах шлицев</p>	<p>—</p>	<p>—</p>
9	<p>Чистовое обтачивание по венцам (обработка набора заготовок на круглой оправке с базированием по малому диаметру шлицев)</p>		<p>Токарный станок</p>

10	Зубонарезание под последующее шлифование зуба, производимое после термической обработки на операциях № 18, 19	Базирование на круглой справке по торцу и малому диаметру 	
11	Зубозакругление или снятие фасок	Базирование по малому диаметру шлицев и торцу	
12	Слесарная (зачистка)	—	
13	Мойка	—	
14	Контроль	—	
15	Термическая обработка — цементация, закалка, отпуск	—	
16	Окончательное шлифование противобазового торца и поверхности венца на центральной оправке; биение торца не более 0,015 мм	Базирование по большому диаметру шлицев и базовому торцу 	Торце круглошлифовальный станок с косым кругом

17	Окончательное шлифование базового торца и отверстия с точностью по 6-му качеству (по малому диаметру шлицев). Биение торца 0,01 мм		Внутришлифовальный станок с двумя кругами
18	Предварительное шлифование зубьев червячным шлифовальным кругом на центральной оправке с посадкой по малому диаметру шлицев	Установка на оправке отверстием по малому диаметру шлицев	Зубошлифовальный станок с червячным шлифовальным кругом
19	Окончательное шлифование зубьев на станках высокого класса точности	Базирование на центральной круглой оправке (по малому диаметру шлицев)	То же
20	Мойка	—	Моечная машина
21	Контроль, клеймение, проверка на шум	—	Контр. инструменты, специальный шумоконтрольный станок

КОНЕЦ