

ЗУБОРЕЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Зуборезный инструмент относится к категории наиболее сложного и специфичного в проектировании, изготовлении и эксплуатации, поэтому все вопросы, связанные с его созданием, должны решаться комплексно с учетом его конструктивных особенностей и назначения. Представленный в настоящей главе материал охватывает широкий круг вопросов по методам обработки стандартного и специального зуборезного инструмента, условиям резания, содержит описание наиболее применяемых конструкций. В нем также приведены основные технические требования для их изготовления (допуски и предельные отклонения параметров), особенности изготовления, рекомендации по рациональной эксплуатации.

13.1. Особенности формообразования зубчатых изделий

Зубчатые колеса являются одними из наиболее распространенных деталей в современном машиностроении и применяются в самых различных конструкциях машин и приборов. Разнообразные области применения, общая тенденция повышения точности механизмов, увеличение окружных скоростей, стремление к передаче больших мощностей предъявляют все возрастающие требования к зубчатым передачам, а это, в свою очередь, — к методам обработки зубчатых колес и режущему зуборезному инструменту. От зуборезного инструмента, в первую очередь, зависит образование правильной формы зуба колеса, что в наибольшей степени оказывает влияние на качество зубчатой передачи в отношении плавности и точности работы, контакта зубьев.

Многообразие типов (табл. 13.1) и особенности конструирования зуборезного инструмента предопределяются типами зубчатых передач, применяемых в машиностроении (табл. 13.2).

Существуют следующие типы передач вращательного движения, различаемые по взаимному расположению осей валов: цилиндрическими колесами с параллельным расположением осей валов; коническими колесами с пересекающимися осями валов; червячные и спироидные передачи с перекрещивающимися осями валов.

В свою очередь, передачи цилиндрическими колесами делятся на передачи с эвольвентным, круговинтовым (передача Новикова),

13.1. Структура кодового обозначения зуборезного инструмента по ОКП (класс 39)

Код	Вид инструмента
1811	Фрезы из инструментальных сталей зуборезные дисковые
1812	» » быстрорежущей стали зуборезные пальцевые
1813	» червячные мелко модульные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем
1814	Фрезы червячные модульные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем
1815	Фрезы червячные под шевр, питчевые и другие специальные
1816	» » для шлицевых валов
1817	» » » нарезания зубьев звездочек и колес с зацеплением Новикова, червячных колес и конические
1851	Фрезы твердосплавные зуборезные цельные
2125	Резцы из быстрорежущей стали зубострогальные и обкаточные
2411	Долбяки зуборезные прямозубые хвостовые
2412	» » » дисковые
2413	» » » чашечные
2414	» » » косозубые хвостовые правые
2415	» » » » левые
2416	» » » дисковые правые
2417	» » » » левые
2421	Долбяки шлицевые
2422	» для напильников
2423	» специальные
2431	Шевры дисковые правые
2432	» » левые
2441	» специальные червячные
2442	» » питчевые
2451	Долбяки твердосплавные
2452	Шевры »
2461	Головки зуборезные для конических колес с прямыми зубьями
2462	» » » » и гипоидных колес с круговыми зубьями
2463	Головки зуборезные для специальных зубчатых колес
2464	» зубопротяжные для конических колес
2465	» зубодолбежные
2466	Резцы запасные к головкам зуборезным для конических колес с прямыми зубьями
2467	Резцы запасные к головкам зуборезным для конических и гипоидных колес с круговыми зубьями
2468	Резцы запасные к головкам зубопротяжным
2469	Головки твердосплавные для зубчатых колес и запасные резцы к ним
2471	» повышенной точности для обработки конических колес
2472	» зубопротяжные повышенной точности для конических колес
2476	Резцы запасные к зуборезным головкам повышенной точности для конических колес
2477	Резцы запасные к зубопротяжным головкам повышенной точности для конических колес
2481	Гребенки зуборезные прямозубые чистовые фланкированные
2482	» прямозубые чистовые нефланкированные
2483	» » черновые
2484	» косозубые чистовые правые
2485	» » » левые
2486	» » черновые правые
2487	» » » левые

13.2. Основные способы обработки зубьев и зуборезный инструмент для изготовления зубчатых колес

Тип зубчатых колес	Способ обработки зубьев	Область применения способа	Режущий инструмент	
			Вид	Документация
Цилиндрические колеса передач эвольвентного зацепления	Метод единичного деления	Единичное и мелкосерийное производство зубчатых колес 9—12-й степеней точности	Дисковые модульные фрезы модулей 0,2—16 мм	ГОСТ 13838—68 *; ГОСТ 10996—64 *
			Пальцевые модульные фрезы модулей 8—50 мм	Чертежи заводов-изготовителей
	Зубофрезерование методом обкатки	Мелкосерийное, серийное и массовое производство зубчатых колес 5—11-й степеней точности	Червячные фрезы модулей 0,3—40 мм классов точности AAA, AA, A, B, C и D	ГОСТ 10331—81 Е; ГОСТ 9324—80 Е; ОСТ 2 И41-3—85; техническая документация заводов-изготовителей
	Зубодолбление методом обкатки	Мелкосерийное, серийное и массовое производство преимущественно блочных, а также обычных колес 6—8-й степеней точности	Зуборезные долбяки модулей 0,2÷12 мм классов точности AA, A, B	ГОСТ 10059—80 Е; ГОСТ 9323—79 *
	Зубодолбление контурное	Массовое производство зубчатых колес 9—10-й степеней точности	Зубодолбежные много-резцовые головки для колес модулей 4—8 мм	Чертежи заводов-изготовителей
	Строгание зуборезными гребенками методом обкатки	Производство зубчатых колес 7—9-й степеней точности	Прямозубые и косозубые гребенки модулей 1—20 мм классов точности AA, A и B	Техническая документация заводов-изготовителей
	Шевингование	Массовое производство зубчатых колес 5—7-й степеней точности	Дисковые шеверы модулей 0,3—8 мм классов точности AA, A и B	ГОСТ 10222—81 * Е; ГОСТ 8570—80 * Е

Тип зубчатых колес	Способ обработки зубьев	Область применения способа	Режущий инструмент	
			Вид	Документация
Цилиндрические колеса передач зацепления Новикова	Зубофрезерование методом обкатки	Серийное производство	Фрезы червячные модулей 2—28,0 мм классов А, В и С	ГОСТ 16771—81; ГОСТ 18692—73 *
Конические колеса	Зубострогание методом обкатки	Мелкосерийное, серийное производство прямозубых конических колес модулей 0,3—20 мм	Резцы зубострогальные типов 1—4	ГОСТ 5392—80 Е
	Фрезерование методом обкатки	Серийное и массовое производство прямозубых конических колес модулей до 12 мм	Зуборезные головки диаметрами 150, 278 и 450 мм	ГОСТ 24904—81 Е; ГОСТ 24905—81 Е; ГОСТ 24906—81 Е
		Серийное и массовое производство колес с круговыми зубьями модулей 0,5—30 мм	Зуборезные резцовые головки диаметрами 20—1000 мм	ГОСТ 11902—77 *; ГОСТ 11903—77 *; ГОСТ 11906—77 *; ОСТ 2И45-4—79; ОСТ 2И45-5—79; ОСТ 2И45-12—86; ОСТ 2И45-13—86
Червячные колеса	Зубофрезерование методом обкатки	Серийное и массовое производство колес малых и средних модулей	Червячные фрезы	Специально проектируемые для нарезания червячных колес, сопрягаемых с конвольютными, эвольвентными и архимедовыми червяками
		Индивидуальное и серийное производство колес средних и крупных модулей	Резцы-летучки	—

циклоидальным, часовым зацеплением. В машиностроении применяются главным образом передачи цилиндрическими колесами с эвольвентным зацеплением и передачи Новикова.

Передачи коническими колесами по расположению зуба подразделяются на прямозубые, косозубые и с криволинейными зубьями, а по форме они могут быть самыми разнообразными — эвольвентными, паллоидными, циклоидальными, прямолинейными.

Червячные передачи разделятся на два вида — цилиндрические и глобоидные. При этом цилиндрические червяки имеют несколько разновидностей — конволютные, архимедовы, эвольвентные.

Зубчатые изделия (колеса, шлицевые валы, звездочки, зубчатые секторы и т. п.) могут быть обработаны двумя методами — копирования и обкатки. Метод копирования состоит в обработке зубчатых изделий инструментом, профиль зуба которого соответствует форме впадины зуба. Подобным инструментом являются пальцевые и дисковые зуборезные фрезы, протяжки для прямозубых и косозубых колес, зубодолбежные многорезцовые головки и другой специальный инструмент.

Метод обкатки заключается в создании условий, когда центры и инструменты и нарезаемого изделия катятся друг по другу без скольжения, при этом профиль нарезаемого изделия получается в процессе обработки как огибающая различных положений режущих кромок инструмента. К числу этого инструмента относятся червячные фрезы, долбяки, зуборезные гребенки, шевры, зубострогальные резцы, зуборезные головки, обкаточные резцы, работающие по методу зуботочения.

Метод обкатки является прогрессивным методом обработки зубчатых изделий как в отношении производительности, так и точности. Данный метод обеспечивает нарезание зубчатых колес в диапазоне модулей 0,1—40 мм с достижением точности в пределах 5—11-й степеней точности и применяется в индивидуальном, серийном и массовом производстве. Метод копирования имеет более узкую область применения: индивидуальное (пальцевые и дисковые фрезы) и некоторые случаи массового производства зубчатых колес 9—12-й степеней точности. Особенно приемлем метод в области обработки крупномодульных зубчатых колес (свыше модуля 20 мм), когда затруднено применение и изготовление инструмента, получаемого методом обкатки.

Так как в промышленности наибольшее распространение получили передачи цилиндрическими колесами с эвольвентным зацеплением и зацеплением Новикова, передачи коническими колесами, имеющими прямые и криволинейные зубья, цилиндрические червячные передачи, то далее будут рассмотрены наиболее перспективные стандартные и специальные конструкции, а также принципы проектирования зуборезного инструмента, применяемого для их изготовления. По вопросам проектирования зуборезного инструмента для изготовления зубчатых изделий с неэвольвентным профилем могут быть рекомендованы работы [1, 26, 53, 263].

**13.3. Рекомендуемый класс точности оборудования и инструмента
при нарезании цилиндрических зубчатых колес
различных степеней точности**

Оборудование, инструмент	Степень точности колеса в диапазоне модулей 0,3—25 мм							
	3	4	5	6	7	8	9	10
Зуборезный станок	С	А	В	П	Н			
Червячная фреза	—	—	ААА	—	АА	А	В	С
Долбяк	—	—	—	АА	А	—	В	—
Дисковый шевёр	—	АА	—	А	В	—	—	—
Гребенка	—	—	—	АА	А	В	—	—
Дисковая фреза	—	—	—	—	—	—	+	+

Примечание. Класс точности зуборезного станка установлен исходя из норм кинематической точности и норм контакта, а инструмента — из норм плавности (для прямозубых и узких косозубых колес) или норм контакта для широких косозубых колес.

Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес. Выбор типа и особенности той или иной конструкции зуборезного инструмента непосредственно зависят от принятого построения операций зубообработки зубчатого колеса. В свою очередь, построение операций и качество зубообработки тесно связаны с объемами выпуска обрабатываемых колес, их точностью, формой и размерами, а также выбором зуборезного оборудования и инструмента. Поэтому обеспечить высокоэффективную как в отношении производительности, так и точности обработку зубчатого колеса можно только в случае детального анализа всех этих факторов, что позволит правильно подойти к вопросам выбора, конструирования и изготовления зуборезного инструмента (табл. 13.3).

В настоящее время практически в большинстве случаев при обработке зубчатых колес модулей менее 30 мм наиболее эффективным процессом является зубофрезерование червячными фрезами. Они обеспечивают точность зубчатых колес в пределах требований 5—11-й степеней точности (ГОСТ 1643—81 и ГОСТ 9178—81) и большую производительность по сравнению с зубодолблением, зубостроганием, фрезерованием зубьев.

Особенно эффективна обработка зубчатых колес сборными двух-, четырехзаходными конструкциями червячных фрез с увеличенной длиной рабочей части, что позволяет на специализированных зубофрезерных станках при применении осевых передвижек фрезы добиться высокой производительности обработки. Универсальность метода зубофрезерования привела к созданию большого числа различных конструкций червячных фрез для черновой, получистовой и чистовой обработки зубчатых колес с твердостью до 50—62 HRC₃.

Выбор операции зубодолбления или зубострогания для обработки зубьев колес определяется главным образом формой детали

и наличием оборудования. Поэтому к зубодолблению прибегают главным образом при обработке блочных колес, колес с внутренними зубьями, шевронных колес, когда применение червячных фрез невозможно. Зубострогальные гребенки целесообразно использовать примерно в той же области, где и зуборезные долбяки, однако предпочтительная область их применения — производство крупномодульных зубчатых колес (модули более 10 мм) 6—7-й степеней точности.

Фасонный зуборезный инструмент — дисковые и пальцевые фрезы — наибольшее применение находит в индивидуальном и мелкосерийном производстве, а также в качестве инструмента для

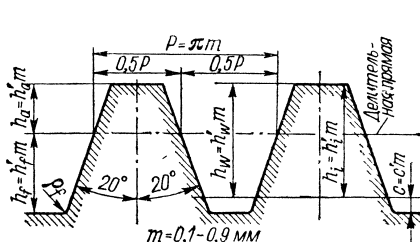


Рис. 13.1. Исходный контур зубчатых передач с $m = 0,1 \div 0,9$ мм по СТ СЭВ 309—76

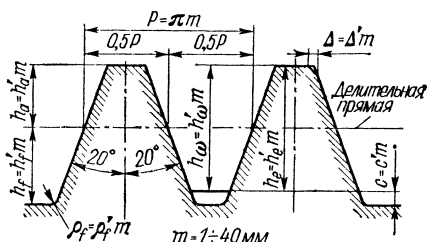


Рис. 13.2. Исходный контур зубчатых передач с $m = 1 \div 40$ мм по СТ СЭВ 308—76

предварительной или окончательной обработки зубчатых колес крупных модулей (в отдельных случаях до модуля 60 мм). При этом дисковые фрезы наиболее распространены главным образом из-за более простой конструкции и возможности выполнения ее сборной с применением быстрорежущих или твердосплавных режущих элементов.

Шевингование применяется при чистовой обработке зубчатых колес различных типов и назначения в условиях крупносерийного и массового производства. Изготовление шевров высокой точности (классов АА и А) позволяет обеспечить обработку зубчатых колес вплоть до 4—6-й степеней точности. Для достижения необходимой точности и долговечности шевров полустрогальной инструмент под шевингование должен иметь модифицированный профиль, обеспечивающий неравномерное распределение припуска по высоте зуба колеса.

В соответствии со СТ СЭВ 309—76 и СТ СЭВ 308—76 основные параметры зубьев цилиндрических колес определяются размерами исходного контура зубчатой рейки (рис. 13.1 и 13.2, табл. 13.4), а размеры зубьев зуборезного инструмента — параметрами исходного контура инструментальной рейки, положенной в основу конструкции инструмента. Форма зуба инструментальной рейки соответствует форме впадины между зубьями обрабатываемого колеса, т. е. зуборезный инструмент работает в паре с обрабатываемым колесом без бокового и радиального зазоров.

13.4. Размеры исходного контура цилиндрических зубчатых колес

Параметры исходного контура	Обозначение	Исходный контур цилиндрических зубчатых колес модулей	
		0,1—0,9 мм (СТ СЭВ 309—76)	1—40 мм (СТ СЭВ 308—76)
Угол главного профиля	α	20°	20°
Коэффициент высоты головки	h'_a	1,0 или 1,1	1
Коэффициент высоты ножек	h'_f	$h'_a + (0,25 \div 0,4)$	1,25
Коэффициент граничной высоты	h'_l	2,0 или 2,2	2
Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой	ρ'_f	—	0,38
Коэффициент глубины захода зубьев в паре исходных контуров	$h'_{\text{св}}$	2,0 или 2,2	2

Примечание. СТ СЭВ 309—76 распространяется также и на мелко-модульные конические зубчатые передачи с прямозубыми колесами.

В связи с этим инструментальная рейка отличается от зубчатой рейки следующим.

1. Высотой головки, которая должна быть больше на размер радиального зазора в передаче.

2. Толщиной зуба, которая должна быть больше на размер обязательного бокового зазора.

3. Расположением фланка: у инструментальной рейки он располагается на ножке зуба, а у зубчатой рейки — на головке зуба.

Нарезание прямых и тангенциальных зубьев конических колес. Распространение получили следующие основные способы обработки:

а) нарезание прямозубых и косозубых колес двумя зубострогальными резцами по методу обкатки — применяется во всех производствах;

б) нарезание прямозубых колес дисковыми фрезами по методу обкатки — применяется в крупносерийном производстве;

в) нарезание прямозубых колес методом кругового протягивания — применяется в массовом производстве;

г) нарезание прямозубых колес дисковыми и пальцевыми модульными фрезами — применяется в условиях единичного производства.

Исходный контур конических зубчатых передач модулей 0,1 мм и более приведен на рис. 13.1 и 13.3 и в табл. 13.4, 13.5.

Нарезание круговых зубьев конических колес. В отечественной промышленности в основном применяют конические зубчатые колеса с круговым зубом трех типов: нулевые (типа Зерол), спирально-конические и гипоидные.

По способу чистового нарезания конические колеса с круговым зубом подразделяют на обкатные и полуобкатные. В обкатной передаче зубья шестерни и колеса нарезаются методом обкатки; в полуобкатной передаче зубья колеса нарезают методом копирования (профиль зубьев прямоблочный), а зубья шестерни — методом обкатки (профиль зубьев криволинейный). Конические колеса общего назначения с модулем до 2,5 мм обычно нарезаются из целой заготовки за одну чистовую операцию. Для получения более высокой точности может применяться также обработка в две операции — черновую и чистовую. Конические колеса с модулем более 2,5 мм обрабатываются в две операции.

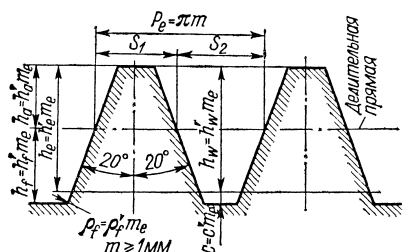


Рис. 13.3. Исходный контур конических зубчатых передач модулей более 1 мм по ГОСТ 13754—81 (СТ СЭВ 516—77)

Черновое нарезание конических колес производится двумя методами — копированием и обкаткой. Метод копирования применяется для чернового нарезания резцовыми головками зубьев

13.5. Размеры исходного контура зубчатых конических передач

Параметры исходного контура	Обозначение	Исходный контур передач зубчатых конических	
		с прямыми зубьями по ГОСТ 13754—81 (СТ СЭВ 516—77) и внешним окружным модулем от 1,0 мм и более	с круговыми зубьями по ГОСТ 16202—81 (СТ СЭВ 515—77) и средним модулем от 1,0 мм и более
Угол главного профиля *	α	20°	20°
Коэффициент высоты головки	h_a^*	1	1
Коэффициент высоты ножки	h_f^*	1,2	1,25
Коэффициент граничной высоты	h_l^*	2	2,08
Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой, являющейся дугой окружности	ρ_f^*	0,3	0,25
Коэффициент глубины захода зубьев в паре исходных контуров	h_w^*	2	2
Коэффициент радиального зазора в паре исходных контуров	C^*	0,2	0,25

* Профиль в пределах граничной высоты прямолинейный.

колеса, а метод обкатки — зубьев шестерни. Метод обкатки из-за его невысокой производительности не рекомендуется применять для нарезания зубьев колес.

Существуют несколько методов чистового нарезания конических колес с круговыми зубьями:

двойной двухсторонний, когда обе стороны зубьев колеса и шестерни обрабатываются одновременно двухсторонней головкой за одну чистовую операцию;

двухсторонний, когда обе стороны зубьев колеса нарезаются одновременно двухсторонней головкой, а зубья шестерни — односторонним способом или методом постоянных установок; применяется в массовом и серийном производствах;

постоянных установок, когда выпуклая и вогнутая стороны зуба шестерни нарезаются в отдельности односторонними головками, а колесо — за одну установку двухсторонней головкой; применяется для нарезания точных колес в массовом производстве;

односторонний, при котором каждая сторона зуба колеса и шестерни нарезается в отдельности двухсторонней головкой; применяется в мелкосерийном производстве.

Нарезание червячных передач. Технология нарезания зубьев червячных колес и червяков зависит непосредственно от геометрической формы червяков, размеров червячных колес, степени точности передачи, масштаба производства.

В наибольшей мере на особенности расчета профиля режущего инструмента оказывают влияние выбранная геометрическая форма червяка передачи, которая может быть следующих типов:

архимедов червяк (ZA), имеющий прямолинейный профиль в осевом сечении;

эвольвентный червяк (ZI), имеющий прямолинейный профиль в сечении плоскостью, касательной к основному цилиндру;

конволютный червяк (ZN), имеющий несколько разновидностей, у которых прямолинейный профиль создается по витку ($ZN1$), по впадине ($ZN2$) или по профилю;

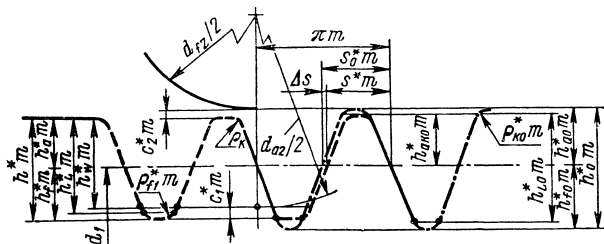
червяк, образованный конусом ZK .

Контуры витков исходного и производящего червяков, а также их основные параметры для модулей 0,1—0,9 мм (СТ СЭВ 1912—79) и модулей 1—20 мм (ГОСТ 19036—73) представлены на рисунках в табл. 13.6 и 13.7.

На выбор инструмента для обработки червяков и червячных колес влияет характер производства и заданная точность передачи. Например, нарезание червяков в зависимости от масштабов производства может производиться профильными и обкаточными резцами, дисковыми и пальцевыми фрезами.

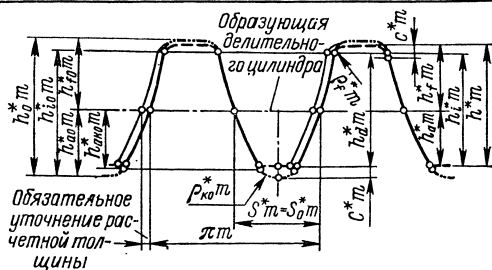
Нарезание цилиндрических червяков дисковыми фрезами обеспечивает возможность получения прямолинейного профиля витков в осевом сечении, а также в нормальных сечениях по впадине, по витку и профилю. Применяется главным образом для черного фрезерования витков и для окончательной обработки червя-

13.6. Передачи червячные цилиндрические (СТ СЭВ 1912—79)
Исходный червяк и исходный производящий червяк
с модулем от 0,1 до 1,0 мм



Параметр витков исходного и исходного производящего червяков	Обозначение и численное значение
Угол профиля: в осевом сечении витка червяка ZA в нормальном сечении зуба рейки, со- пряженной с червяком ZI в нормальном сечении витка червяка $ZN1$ в нормальном сечении впадины чер- вяка $ZN2$ производящего конуса для червяка $ZK1$ и $ZK2$	$\alpha_x = 20^\circ$ $\alpha_n = 20^\circ$ $\alpha_{nT} = 20^\circ$ $\alpha_{ns} = 20^\circ$ $\alpha_0 = 20^\circ$
Коэффициент параметра витков исходно- го червяка: высоты витка высоты головки высоты ножки граничной высоты витка глубины захода расчетной толщины витка радиального зазора у поверхности впадины радиуса кривизны переходной кривой витка	$h^* = 2h_a^* + \dot{C}_1^*$ $h_a^* = 1,0$ или $h_a^* = 1,1$ $h_f^* = h_a^* + C_1^*$ $h_l^* \geq 2h_a^*$ $h_w^* = 2h_a^*$ $S^* = 0,5\pi$ $C_1^* = 0,25 \div 0,45$ $\rho_{f1}^* = 0,35$ при $m \leq 0,5$ мм; $\rho_{f1}^* = 0,45$ при $m > 0,5$ мм
Коэффициент параметра витков исходно- го производящего червяка: высоты головки граничной высоты витка высоты головки до начала скругления радиального зазора у поверхности впа- дин червячного колеса	$h_{a0}^* = h^* + C_2^*$ $h_{f0}^* = 2h_0^* + C_2^*$ $h_{a\kappa 0}^* \geq h_0$ $C_2^* = 0,25$

13.7. Передачи червячные цилиндрические (ГОСТ 19036—81)
Исходный червяк и исходный производящий червяк
с модулем от 1 до 20 мм



Параметр витков исходного и исходного производящего червяков	Обозначение и численное значение
Угол профиля: в осевом сечении витка червяка ZA	$\alpha_x = 20^\circ$
в нормальном сечении зуба рейки, сопря- женной с червяком ZI	$\alpha_n = 20^\circ$
в нормальном сечении витка червяка $ZN1$	$\alpha_{nT} = 20^\circ$
в нормальном сечении впадины червяка $ZN2$	$\alpha_{ns} = 20^\circ$
конической производящей поверхности для червяка $ZK1$	$\alpha_0 = 20^\circ$
Коэффициент параметра витков исходного чер- вяка:	
высоты витка	$h^* = 2,0 + C^*$
высоты головки	$h_a^* = 1,0$
высоты ножки	$h_f^* = 1,0 + C$
граничной высоты, не менее	$h_l^* = 2,0$
расчетной толщины	$S^* = 0,5\pi$
глубины захода	$h_d^* = 2,0$
радиального зазора	$C^* = 0,2$
радиуса кривизны переходной кривой	$\rho_f^* = 0,3$
Коэффициент параметра витков исходного про- изводящего червяка:	
высоты витка	h_0^* — не регламенти- руется
высоты головки	$h_{a0}^* = 1,0 + C^*$
высоты ножки	h_{f0}^* — не регламенти- руется
граничной высоты, не менее	$h_{l0}^* = 2,0 + C^*$
высоты головки до начала притупления, не менее	$h_{ak0}^* = 1,0$
радиуса скругления кромки исходного про- изводящего червяка	$\rho_{k0}^* = 0,3$

ков 9-й степени точности. Обычно дисковые фрезы с криволинейным профилем рассчитываются на один конкретный червяк. В целях облегчения производства червяков типов ZN и ZI возможно использование фрез, имеющих прямолинейный профиль, если получаемая при этом погрешность профиля червяка будет меньше припуска, оставляемого на чистовую обработку.

Нарезание червяков резцами производится на токарно-винторезных и токарно-затыловочных станках. Точность обработки зависит от точности оборудования. Наилучшие условия резания создаются при установке резца по оси детали, что рекомендуется учитывать при черновой обработке червяков.

Резец должен иметь профиль, соответствующий типу выбранного червяка. Так как в осевом сечении прямолинейный профиль имеет только архимедов червяк, то для всех других видов профиль резца должен быть криволинейным.

Черновое нарезание червяков можно производить резцами прямолинейного профиля, оставляя достаточный припуск на чистовую обработку. Чистовое нарезание витков червяков также осуществляют резцом прямолинейного профиля, устанавливая резец с учетом особенностей каждого типа червяков (рис. 13.4—13.9).

Наивысшая точность обработки витков червяков достигается шлифованием на червячно- или резьбошлифовальных станках кругами различной формы — дисковыми, чашечными или пальцевыми за счет соответствующей их установки или фасонной правки.

Наиболее распространенным способом нарезания червячных колес является зубофрезерование червячными фрезами, которые обеспечивают наибольшую точность и производительность обработки. Для обеспечения необходимой точности обработки и сборки передачи фреза должна быть спроектирована на базе того типа исходного производящего червяка, на базе которого сконструирована червячная передача.

Нарезание цилиндрических червячных колес червячными фрезами может производиться двумя способами:

- 1) радиальной подачи, при которой червячная фреза нарезает зубья колес при постепенном уменьшении межосевого расстояния;

- 2) тангенциальной подачи, при которой зубья нарезаются фрезой, перемещающейся вдоль своей оси.

Наибольшая точность обработки достигается в случае применения способа тангенциальной подачи, но при этом снижается производительность зубообработки и требуется специальный тангенциальный суппорт. Нарезание червячными фрезами применяется при любом масштабе производства червячных колес. В единичном и мелкосерийном производстве очень часто червячные колеса нарезают резцом-летучкой. В данном случае используется только тангенциальный способ, иначе не будет обеспечено полное профилирование зубьев.

Отделочной операцией обработки червячных колес может являться шевингование. Оно обеспечивает получение 5—6-й степеней точности колес и производится после чистового зубофрезерования с припуском 0,5—0,1 мм по толщине зуба. Червячный

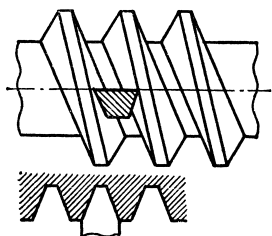


Рис. 13.4. Установка на станке двухстороннего резца при обработке архимедова червяка

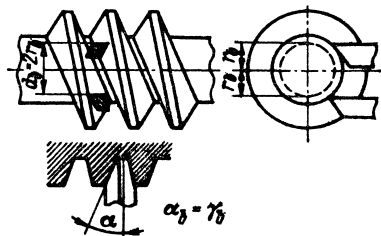


Рис. 13.5. Установка на станке резцов для нарезания правозаходного эвольвентного червяка

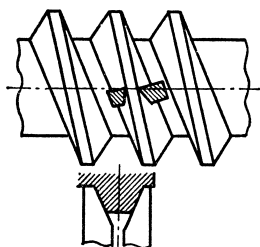


Рис. 13.6. Установка на станке односторонних резцов для обработки архимедова червяка

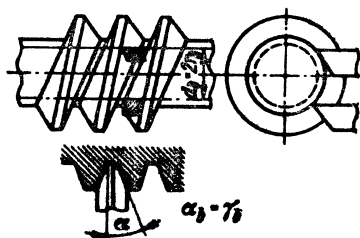


Рис. 13.7. Установка на станке резцов для нарезания левозаходного эвольвентного червяка

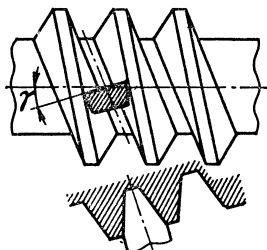


Рис. 13.8. Установка на станке двухстороннего резца для нарезания конволютного червяка с прямолинейным профилем в сечении по впадине

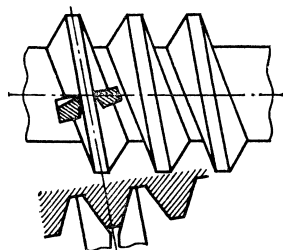


Рис. 13.9. Установка на станке резцов для нарезания конволютного червяка с прямолинейным профилем в сечении по витку

шевер обычно представляет собой червяк, на боковых и вершинных поверхностях витков которого выполнены канавки (насечки) для образования режущих кромок. Шевингование производится двумя методами: радиальной подачи при беззазорном зацеплении или окружной подачи. В обоих случаях вращение колеса осуществляется вращением шевера, так как механизм привода стола

зацепления Новикова



Коэффициент параметра (в долях модуля)
и угловые параметры для модуля m , мм

Исходный контур

Радиус кривизны профиля головки, являющегося дугой окружности ρ_a	1,147	1,150		
Радиус кривизны профиля ножки, являющегося дугой окружности ρ_f	1,307	1,290	1,270	1,250
Радиус кривизны переходной кривой, являющейся дугой окружности ρ_l	0,52246	0,52155	0,50677	0,49785
Расстояние от центра окружности радиуса ρ_a до оси симметрии впадины l_a		0,39270		
Расстояние от центра окружности радиуса ρ_f до оси симметрии впадины l_f	0,50526	0,48994	0,47462	0,45680
Смещение центра окружности радиуса ρ_f от делительной прямой x_f	0,07264	0,06356	0,05448	0,04540
Высота головки h_a		0,90		
Высота ножки h_f		1,05		
Делительная толщина зуба	1,53215	0,53532	1,53945	1,54061
Делительная ширина зуба l	1,60944	1,60627	1,60214	1,60098
Угол профиля в точках касания прямолинейного отрезка с профилем головки и ножки α	8° 10' 30"	7° 39' 47"	8° 23' 02"	8° 34' 37"

Параметр	Коэффициент параметра (в долях модуля) и угловые параметры для модуля m , мм			
	до 3,15	св. 3,15 до 6,3	св. 6,3 до 10	св. 10 до 16
<i>Пара идентичных исходных контуров</i>				
Высота до контактной точки h_k	0,52073		0,52209	
Толщина зуба по контакт-ным точкам S_k	1,25857		1,26392	
Ширина впадины по кон-тактным точкам e_k	1,31857	1,31892		1,31392
Глубина захода зубьев h_w			1,80	
Радиальный зазор C			0,15	
Боковой зазор по прямой, проходящей через контактные точки I_k	0,060	0,055		0,050
Угол профиля в контакт-ной точке α_k			27°	
Примечание. Допускается изменять форму линии сопряжения дуг, образующих профили головки и ножки зуба, не изменяя их суммарной длины.				

при этом не должен работать. При шевинговании методом радиальной подачи зуб шевера по толщине должен иметь те же размеры, что и впадина обрабатываемого колеса.

При шевинговании методом окружной подачи зуб шевера должен иметь в зацеплении с зубом колеса зазор, так как для осуществления процесса шевингования обрабатываемое колесо необходимо подтормаживать. В целях обеспечения наилучшего сопряжения шевингуемого колеса и червяка профиль зубьев шевера рекомендуется шлифовать при такой же установке и на том же станке, что и червяк.

В последнее время в связи с совершенствованием методов расчета профиля инструмента, прецизионного технологического оборудования и средств измерения появилась возможность изготовления червячных колес со столь высокой точностью, что изменение шевингования не требуется.

Нарезание цилиндрических передач зацепления Новикова. Передача состоит из зубчатых колес, у которых выпуклые поверхности головок зубьев шестерни имеют контакт, близкий к линейчатому, с вогнутыми поверхностями ножек колеса. Передача движения обеспечивается только перемещением линий контакта вдоль зубьев сопряженных колес без обкатки профилей, поэтому подобные передачи могут быть выполнены только косозубыми с шириной венца, близкой к осевому шагу.

Наибольшее распространение получили передачи Новикова с двумя линиями зацепления (ДЗЛ), боковые поверхности зубьев

которых имеют одновременно вогнутый и выпуклый профили. Исходный контур зубчатых передач Новикова с ДЗЛ в нормальном к направлению зубьев сечении приведен на рисунке в табл. 13.8, его основные размеры даны там же.

13.2. Зуборезные фасонные фрезы

Для нарезания прямозубых, косозубых и шевронных зубчатых колес 9-й и грубее степеней точности (ГОСТ 1643—81) применяются дисковые и пальцевые фрезы. Каждому конкретному случаю нарезания зубьев изделия соответствует определенный профиль фрезы, зависящий от модуля, угла зацепления, числа зубьев колеса, коэффициента смещения (для корригированных колес). Определение профиля фрезы производится путем нахождения его координат, задающих соответствующие точки впадины зуба колеса на произвольно выбранных окружностях радиусов r_x .

Общие сведения. Применяемые для нарезания некорригированных зубчатых колес дисковые фрезы выполняются в виде наборов из 8 или 15 фрез. При этом набор из 8 фрез рекомендуется для нарезания колес с модулем до 8 мм включительно, набор из 15 фрез — для колес с модулем свыше 8 мм. Каждая фреза из набора предназначается для нарезания колес с определенным числом или группой чисел зубьев (табл. 13.9).

При расчете профилей фасонных фрез (дисковых и пальцевых) для нарезания эвольвентных некорригированных колес рекомендуется пользоваться приложениями к ГОСТ 13838—68* и ГОСТ 10996—64*, в которых приведены координаты точек эвольвентного и неэвольвентного участков профиля зубьев фрез. Основные конструктивные размеры дисковых фрез из быстрорежущей стали (ГОСТ 13838—68*) модулей 0,2—1,0 мм приведены в табл. 13.10 и на рис. 13.10, а модулей 1,125—16 мм (ГОСТ 19996—64*) — в табл. 13.11 и на рис. 13.11; технические условия — в табл. 13.12.

13.9. Число зубьев обрабатываемого колеса в зависимости от номера фрезы

Номер фрезы	Набор		Номер фрезы	Набор	
	из 8 фрез	из 15 фрез		из 8 фрез	из 15 фрез
1	12; 13	12	5	26—34	26—29
1 ^{1/2}	—	13	5 ^{1/2}	—	30—34
2	14—16	14	6	35—54	35—41
2 ^{1/2}	—	15; 16	6 ^{1/2}	—	42—54
3	17—20	17; 18	7	55—134	55—79
3 ^{1/2}	—	19; 20	7 ^{1/2}	—	80—134
4	21—25	21; 22	8	135 и более	135 и более
4 ^{1/2}	—	23—25			

13.10. Основные размеры дисковых мелко модульных фрез, мм

m_0	d_{a0}	d	B	h_0 , нанм.	h_K	K	ρ_K	C	z_0
0,2 0,22 0,25 0,28 0,30 0,35 0,40 0,45 0,50	16	5	2	0,6 0,66 0,75 0,84 0,90 1,05 1,2 1,35 1,5	2,5	0,8	0,2	0,2	12
0,20 0,22 0,25 0,28 0,30 0,35 0,40 0,45 0,50 0,55 0,60 0,70	20	8	3,2	0,60 0,66 0,75 0,84 0,90 1,05 1,20 1,35 1,50 1,48 1,62 1,90	3,2	1	0,3	0,3	12
0,20 0,22 0,25 0,28 0,30 0,35 0,40 0,45 0,50 0,55 0,60 0,70 0,80 0,90 1,00	25	8	3,2	0,60 0,66 0,75 0,84 0,90 1,05 1,20 1,35 1,50 1,48 1,62 1,90 2,16 2,43 2,7	4,4	1,2	0,5	0,3	12
0,20 0,22 0,25 0,28 0,30 0,35 0,40 0,45 0,50 0,55 0,60 0,70 0,80 0,90 1,00	32	13	3,2	0,60 0,66 0,75 0,84 0,90 1,05 1,20 1,35 1,50 1,48 1,62 1,90 2,16 2,43 2,70	4,7	1,5	0,5	0,3	12

13.11. Основные размеры дисковых модульных фрез, мм

m_0	d_{a0}	d	z_0	Ширина B у фрез номеров														
				1	1 $\frac{1}{2}$	2	2 $\frac{1}{2}$	3	3 $\frac{1}{2}$	4	4 $\frac{1}{2}$	5	5 $\frac{1}{2}$	6	6 $\frac{1}{2}$	7	7 $\frac{1}{2}$	8
1,125	50	19	14	4,5	—	4,5	—	4	—	4	—	4	—	4	—	4	—	4
1,25	50	19	14	4	—	5	—	4,5	—	4,5	—	4,5	—	4	—	4	—	4
1,375	50	19	14	5,5	—	5,5	—	5	—	5	—	5	—	5	—	5	—	5
1,5	55	22	14	6	—	6	—	5,5	—	5,5	—	5	—	5	—	5	—	5
1,75	55	22	14	7	—	6,5	—	6,5	—	6,5	—	6	—	6	—	5,5	—	5,5
2	63	22	12	8	—	7,5	—	7	—	7	—	7	—	6,5	—	6,5	—	6
2,25	63	22	12	8,5	—	8	—	8	—	8	—	7,5	—	7,5	—	7	—	7
2,5	70	22	12	9,5	—	9,5	—	9	—	8,5	—	8,5	—	8	—	8	—	7,5
2,75	70	22	12	10,5	—	10	—	10	—	9,5	—	9	—	9	—	8,5	—	8
3	80	27	12	11,5	—	11	—	10,5	—	10,5	—	10	—	9,5	—	9,5	—	9
3,25	80	27	12	12	—	12	—	11,5	—	11	—	10,5	—	10,5	—	10	—	9,5
3,5	80	27	12	13	—	13	—	12,5	—	12	—	11,5	—	11	—	11	—	10,5
3,75	80	27	12	14	—	13,5	—	13	—	12,5	—	12	—	12	—	11,5	—	11
4	90	27	12	15	—	14,5	—	14	—	13,5	—	13	—	12,5	—	12	—	11
4,25	90	27	12	15,5	—	15	—	14,5	—	14	—	13,5	—	13	—	12,5	—	12
4,5	90	27	12	16,5	—	16	—	16,5	—	15	—	14,5	—	14	—	13,5	—	13
5	100	27	12	18	—	17,5	—	17	—	16,5	—	16	—	15,5	—	15	—	14,5
5,5	100	27	12	20	—	19	—	18,5	—	18	—	17,5	—	17	—	16	—	15,5
6	110	32	10	21,5	—	21	—	20	—	19,5	—	19	—	18	—	17,5	—	17
6,5	110	32	10	23	—	22,5	—	22,5	—	21,5	—	20	—	19,5	—	19	—	18
7	110	32	10	24,5	—	24	—	23	—	22	—	21,5	—	21	—	20	—	19,5
8	125	32	10	28	—	27	—	26	—	25	—	24,5	—	24	—	23	—	22
9	125	32	10	31	30	30	29	29	28	28	27	27	27	27	26	26	25	24
10	140	40	10	34	33	33	32	32	31	31	30	30	29	29	29	28	28	27
11	140	40	10	37	37	36	36	35	34	34	33	33	32	32	31	31	30	29
12	160	40	10	41	40	39	39	38	37	37	36	36	35	35	34	34	33	32
14	160	40	10	47	46	45	44	43	43	43	42	41	41	40	39	39	38	37
16	180	50	10	53	52	52	51	50	49	48	48	47	46	45	45	44	43	42

В случаях, когда зубчатое колесо не может быть нарезано другим инструментом, а также в случае нарезания шевронных колес применяются пальцевые фрезы. При нарезании прямозубых колес профиль пальцевой фрезы полностью совпадает с профилем впадины колеса; при нарезании косозубого колеса рассчитывают профиль фрезы по представленной ниже методике. Основные рабочие размеры пальцевых фрез модулей 8—50 мм, централизованно изготавливаемых инструментальными заводами, представлены на рис. 13.12 и 13.13 и в табл. 13.13, а технические условия — в табл. 13.14.

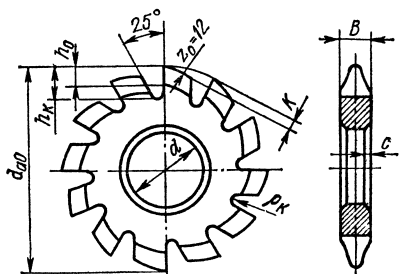


Рис. 13.10. Дисковая мелкозубчатая фреза (ГОСТ 13838—68*)

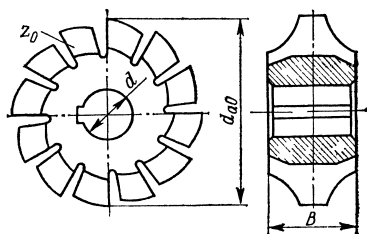


Рис. 13.11. Дисковая фреза (ГОСТ 10996—64*)

В случае необходимости конструирования фасонных фрез для нарезания более точных, а также корригированных прямозубых и косозубых зубчатых колес, следует руководствоваться отдель-

13.12. Допуски и предельные отклонения параметров дисковых зуборезных фрез, мм

Параметр	Обозначение	Допуски и отклонения, мм, при t_0 , мм				
		до 1	св. 1 до 2,5	св. 2,5 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 16
Отклонение от радиальности передней поверхности,	f_v	± 60	± 60	± 45	± 30	± 25
Биеение боковых режущих кромок по нормали	f_t	0,06	0,063	0,08	0,10	0,10
Радиальное биеение по наружному диаметру: двух смежных зубьев за один оборот	f_{rdo}	0,03 0,060	0,032 0,063	0,040 0,080	0,050 0,100	0,05 0,100
Профиль зуба: на участке эвольвенты на вершине зуба и закру- глениях	f_{f0}	0,03 0,06	0,05 0,10	0,063 0,125	0,080 0,160	0,080 0,160

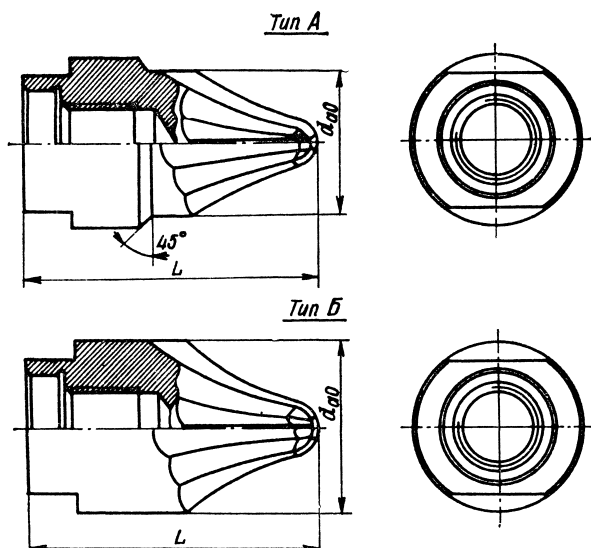


Рис. 13.12. Пальцевая модульная фреза с центрированием по внутреннему диаметру (исполнение 1)

13.13. Основные размеры пальцевых зуборезных фрез, мм

m_0	d_{a0} для типов						L
	1	2	3	4	5	6	
8	28	25	22				65
9	32	28	25				65
10	36	32	28				70
11	40	36	32	—	—	—	70
12	42	40	34				70
14	50	45	40				75
16	55	50	45	—	—	—	85
18	63	60	52	52	—	—	90
20	70	63	55	—	—	—	100
22	75	70	65	—	—	—	105
25	90	85	80	75	70	—	120
28	95	90	85	80	—	—	130
32	110	105	100	95	90	—	140
36	125	120	110	105	100	95	150
40	140	130	125	120	110	—	160
45	160	150	140	130	125	120	170
50	180	170	160	150	140	—	180

m_0	Число зубьев нарезаемого колеса z_1 соответственно каждому типу					
	1	2	3	4	5	6
8 9 10 11 12 14	12—22	23—41	Св. 41	—	—	—
16	12—22	23—54	Св. 54	—	—	—
18	12—18	19—29	30—54	Св. 54	—	—
20 22	12—22	23—54	Св. 54	—	—	—
25	12—14	15—22	23—29	30—54	Св. 54	—
28	12—16	17—29	30—54	Св. 54	—	—
32	12—18	19—25	26—34	35—54	Св. 54	—
36	12—14	15—22	23—24	25—41	42—79	Св. 79
40	12—16	17—22	23—29	30—54	Св. 54	—
45	12—16	17—22	23—34	35—54	55—79	Св. 79
50	12—14	15—18	19—29	30—54	Св. 54	—

13.14. Предельные отклонения размеров пальцевых зуборезных фрез,
мм

Проверяемый параметр	Обозначение	Предельное отклонение, мм, при m_0 , мм				
		≤ 10	св. 10 до 16	св. 16 до 25	св. 25 до 40	св. 40
Профиль зуба: на участке эвольвенты на вершине и закруглениях зуба	f_{f0}	0,040 0,063	0,050 0,080	0,063 0,10	0,080 0,125	0,100 0,160
Биеение боковых режущих кромок	f_t	0,063	0,080	0,100	0,125	0,160
Просвет по шаблону на участке: эвольвенты прямолинейном	—	0,03 0,06	0,03 0,06	0,04 0,08	0,05 0,10	0,06 0,12

ными специальными методиками расчета координат профиля инструмента, излагаемых ниже.

Расчет дисковых фрез для нарезания прямозубых зубчатых колес. Исходные данные зубчатых колес для расчета инстру-

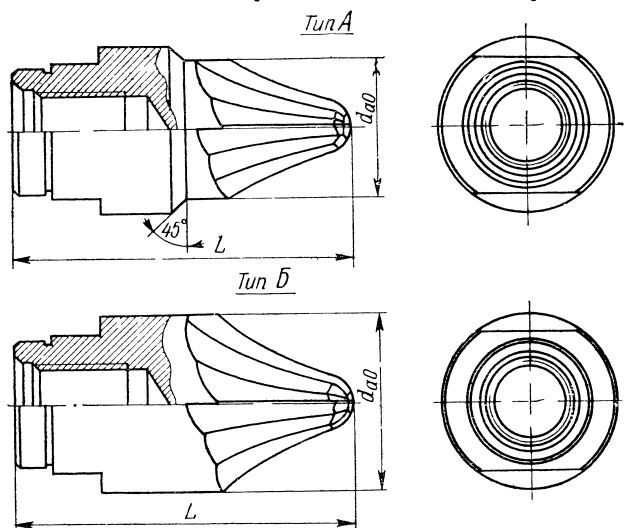


Рис. 13.13. Пальцевая модульная фреза с центрированием по наружному диаметру (исполнение 2)

мента [26]: модуль нормальный — m_n ; угол зацепления — α_ω ; радиусы основной и делительной окружностей — r_b и r ; радиусы вершин и впадин зубьев — r_a и r_f ; коэффициент смещения исходного контура — x ; гарантированный боковой зазор в передаче — $i_{\min}$; число зубьев колеса (2) и шестерни (1) — z_1 и z_2 .

Расчет координат точек профиля (рис. 13.14) производят в следующей последовательности.

Угол давления в произвольных точках на радиусе r_x , задаваемый в интервале $r_x = r_a$ и $r_x = r_f$, равен

$$\alpha_x = \arccos(r_b/r_x).$$

Угол δ_b (рад) находим из выражения

$$\delta_b = \frac{\pi}{2z_{1,2}} - \frac{2x \operatorname{tg} \alpha_\omega}{z_1} - \operatorname{inv} \alpha_\omega + \frac{i_{\min}}{z_{1,2}}.$$

Для некорригированных колес δ_b может иметь отрицательное значение.

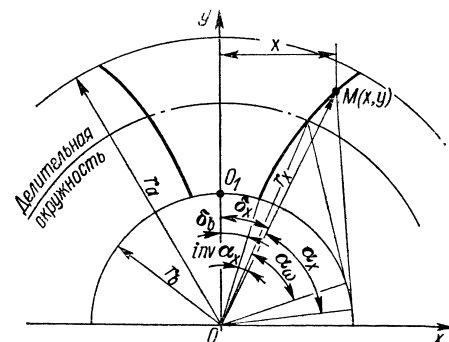


Рис. 13.14. Система координат для определения эвольвентного профиля зубьев фрезы

Угол δ_x (рад) определяем по формуле

$$\delta_x = (\delta_b + \text{inv } \alpha_i).$$

Координаты точек профиля эвольвентного участка будут:

$$X = r_x \sin \delta_x; \quad Y = r_x \cos \delta_x.$$

Размеры незвольвентной части профиля, число зубьев z_0 могут быть выбраны в соответствии с данными, установленными ГОСТ13838—68* и ГОСТ 10996—64*.

Максимальная ширина профиля впадины зуба колеса равна

$$S_a = 2z_a \sin \delta_a,$$

где

$$\delta_a = (\delta_b + \text{inv } \alpha_a) 57,29578; \quad \cos \alpha_a = r_b/r_a.$$

Ширина фрезы B определяется прочерчиванием с учетом максимальной ширины профиля впадины.

Величина затылования

$$K = \frac{\pi d_{a0}}{z_0} \text{tg } \alpha_b,$$

где $\alpha_b = 10 \div 12^\circ$ — задний угол на вершине зуба.

Высота профиля зуба $h_0 = r_a - r_f$.

Полная высота зуба $H = h_0 + K + (0,5 \div 1,5)$ мм.

Расчет дисковых и пальцевых фасонных фрез для нарезания косозубых зубчатых колес. Исходными данными зубчатых колес для расчета инструмента являются те же величины, что и у прямозубых колес, за исключением β — угла наклона линии зуба на делительном цилиндре.

Для дисковой фасонной фрезы находят следующие величины.

Торцовый модуль $m_t = m_n/\cos \beta$.

Торцовый угол зацепления $\text{tg } \alpha_t = \text{tg } \alpha_w/\cos \beta$.

Радиус основной окружности

$$r_b = \frac{m_n z_1}{2 \cos \beta} \cos \alpha_t.$$

Межосевое расстояние $a = r_{a0} + r_f$, где r_{a0} — наружный радиус фрезы.

Угол наклона винтовой линии на основном цилиндре

$$\text{tg } \beta_b = \text{tg } \beta \cdot \cos \alpha_t.$$

Задаются переменными параметрами φ в интервале от 10° до 40° через каждые $2 \div 4^\circ$ в зависимости от точности построения.

Расчетные коэффициенты A_1 , A_2 и A_3 , μ определяют по формулам:

$$A_1 = a/r_b - \sec \varphi; \quad A_2 = (\text{tg } \beta \cdot \text{tg } \beta_b + \sec \varphi) \text{ctg } \varphi;$$

$$A_3 = \pi/(2z_1) - \text{inv } \alpha_t - \text{inv } \varphi;$$

$$\cos \mu = \sin \beta \cdot \sin \beta_b + \cos \beta \cdot \cos \beta_b \cdot \cos \varphi.$$

Координатами точек профиля фрез будут:

$$X = r_{\text{в}} [(A_1 A_2 + A_3) \cos \beta_{\text{в}} \cdot \cos \mu - A_1 \sec \beta \cdot \operatorname{ctg} \varphi];$$

$$Y = r_{\text{в}} (A_1 A_2 + A_3) \cos \beta_{\text{в}} \cdot \sin \mu.$$

Остальные конструктивные и габаритные размеры принимаются такими же, как у дисковых фрез для нарезания прямозубых колес.

В условиях невысоких требований к точности обработки косо-зубого колеса с числом зубьев z_1 можно подобрать обычную стандартную фрезу по приведенному числу зубьев

$$z'_1 = z_1 / \cos^3 \beta = K \beta z_1,$$

где $K\beta$ можно определить из соотношения:

β	...	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$K\beta$	...	1,011	1,045	1,104	1,193	1,323	1,505	1,756	2,119	2,64

Для пальцевой фасонной фрезы находят следующие величины. Расчетный коэффициент

$$A_3 = \frac{\pi}{2z_1} - \operatorname{inv} \alpha_t + \operatorname{inv} \varphi.$$

Координаты точек профиля фрезы:

$$X = r_{\text{в}} (A_3 \cos^2 \beta_{\text{в}} \sqrt{\operatorname{tg}^2 \beta_{\text{в}} + \cos^2 \varphi});$$

$$Y = r_{\text{в}} (\sec \varphi - A_3 \cos^2 \beta_{\text{в}} \cdot \sin \varphi).$$

Число зубьев фрез:

при $d_{a0} = 40 \div 70$ мм $z_0 = 4$;

» $d_{a0} = 75 \div 140$ мм $z_0 = 6$

» $d_{a0} = 160 \div 220$ мм $z_0 = 8$.

Угол профиля основной стружечной канавки принимается равным $60 \div 70^\circ$ с радиусом закругления основания 1—2 мм; угол профиля стружечной канавки на торце — равным $18 \div 20^\circ$ с радиусом закругления основания 0,5—1,0 мм [26].

Особенности конструкций и эксплуатации дисковых зуборезных фрез. Стандартные дисковые фрезы изготавливаются с заточенными зубьями, что значительно упрощает их эксплуатацию из-за простоты перетачивания по плоской передней поверхности. Однако небольшие значения задних боковых углов по профилю (не более 3°) не удовлетворяют часто необходимым требованиям по стойкости фрез, что особенно характерно для условий черновой обработки. Поэтому для черного нарезания зубьев колес модулей 8—50 мм применяют, как правило, дисковые фрезы с остро-заточенными зубьями, перетачивание которых производится каждый раз по профилю, что дает возможность получить задние углы порядка $10 \div 15^\circ$, но приводит к определенным трудностям в процессе их эксплуатации.

Дисковые фрезы с острозаточенными зубьями изготавливаются обычно сборной конструкции с режущими ножами из быстрорежущей стали или твердого сплава и применяются для черновой обработки зубчатых колес. На рис. 13.15 показана сборная дисковая фреза с ножами из быстрорежущей стали для нарезания зубчатых колес в диапазоне модулей 12—46 мм. Основные размеры данных фрез представлены в табл. 13.15.

Вставные чередующиеся разнонаправленные ножи из быстрорежущей стали крепятся с помощью клиньев, устанавливаемых со стороны передней поверхности, и имеют положительные передние углы. Паз в корпусе под нож выполняется прямоугольной формы и открытым только со стороны установки, что повышает жесткость корпуса. Профиль ножей — прямолинейный со стружкоразделительными канавками.

Имеет применение также дисковая острозаточенная модульная фреза с быстрорежущими ножами, показанная на рис. 13.16. Рекомендуемые режимы резания стандартными цельными дисковыми фрезами с заточенными зубьями представлены в табл. 13.16. Скорости резания в таблице приведены исходя из стойкости фрез $T = 480$ мин при максимальном износе по задней поверхности $h_z = 1$ мм. При чистовых проходах износ по задней поверхности не должен превышать 0,5 мм. При работе дисковыми твердосплавными фрезами подача на зуб $S_z = 0,1 \div 0,15$ мм/зуб и $v = 100 \div 200$ м/мин.

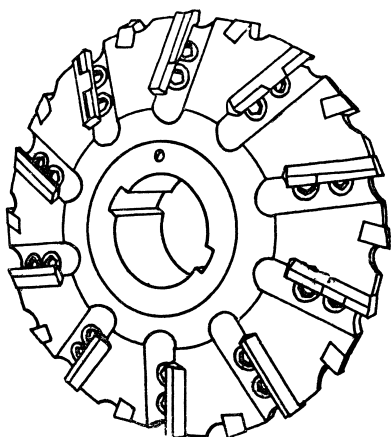


Рис. 13.15. Сборная дисковая фреза с острозаточенным профилем зубьев

13.15. Основные размеры дисковых крупномодульных фрез, мм

m_o	$z_o = 16$		$z_o = 20$		B
	d_{ao}	d	d_{ao}	d	
12—15	200	50	240	60	40
16—19	220	50 и 60	260	60	45
20—23	240	60	280	60 и 80	50
24—27	260	60	300	60 и 80	60
28—31	280	60	320	80	70
32—35	300	60 и 80	340	80	80
36—39	320	80	350	80 и 100	90
40—43	340	80	365	100	100
44—46	—	—	380	100	110

Особенности конструкции и эксплуатации пальцевых зуборезных фрез. По своему назначению подразделяются на фрезы для черновой и чистовой обработки зубчатых колес. Пальцевые фрезы для черновой обработки могут иметь прямолинейный профиль и винтовую стружечную канавку, при этом зубья снабжаются стружкоразделительными канавками (рис. 3.17).

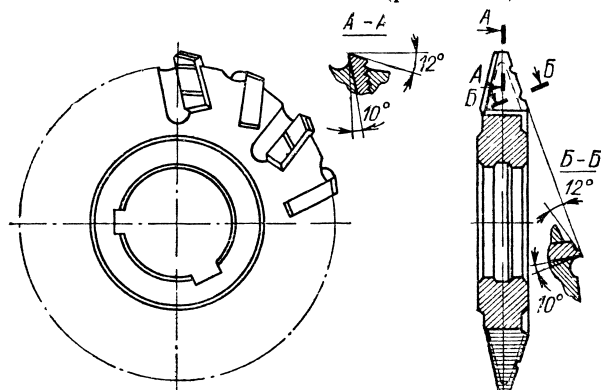


Рис. 13.16. Сборная дисковая модульная фреза

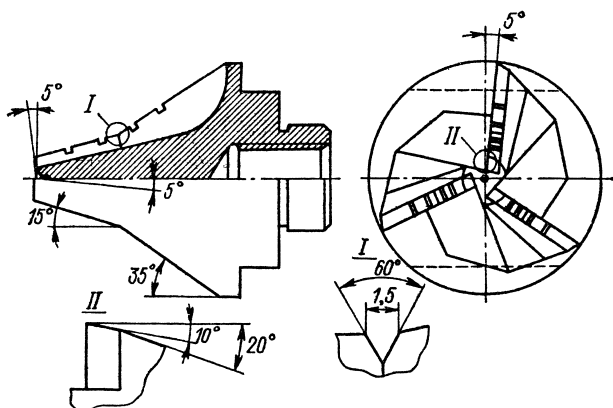


Рис. 13.17. Пальцевая модульная фреза со стружкоразделительными канавками

13.16. Режимы резания дисковыми фрезами с затылованным зубом

m_0	d_{a0}	Сталь 160—110 НВ			Чугун серый, 170—210 НВ		
		v , м/мин	n , об/мин	S_M , мм/мин	v , м/мин	n , об/мин	S_M , мм/мин
До 4	80	32	127	134	25	100	200
» 5	90		113	120		88	180
» 6	100		102	109		80	165
» 8	110		93	109		72	165

13.17. Режимы резания при зубофрезеровании затылованными пальцевыми фрезами

m ₀ , мм	Вид обработки									
	черновая					чистовая				
	z ₀	S _z , мм/зуб	v, м/мин	n, об/мин	S _m , мм/мин	z ₀	S _z , мм/зуб	v, м/мин	n, об/мин	S _m , мм/мин
8 14	2	0,06 0,08	32	380 240	23 18	2	0,2 0,25	35 25	400 260	80 65
20	3	0,15		167	25	4	0,3	35	185	55
24				136	20	6			154	46
28 32	4	0,2		120 105	24 21				8	0,5 0,7
36	6	0,3	27	80	24	95	47			
40				71	21	8	0,7	85		
44				65	20			77	54	

Фрезы для черновой обработки могут изготавливаться как с затылованными, так и острозаточенными зубьями. В последнем случае фрезы обычно имеют профиль в виде ломаной линии, составленной из отдельных быстрорежущих или твердосплавных пластин.

Режимы резания для затылованных пальцевых фрез приведены в табл. 13.17, поправочные коэффициенты к ним — в табл. 13.18 и в таблицах, приведенных ниже.

Поправочный коэффициент K_{vT} на режимы резания

пальцевыми фрезами в зависимости от периода стойкости T :

13.18. Поправочный коэффициент на скорость резания K_{vM} в зависимости от обрабатываемого материала

Материал	Твер- дость НВ	$K_{сМ}$	
Сталь конструкцион- ная:	углеродистая	200	1,0
		260	0,6
		300	0,4
	легированная	200	0,8
		260	0,5
		300	0,3

K_{vT}

T , мин	черновое нарезание	чистовое нарезание
60	1,35	1,50
180	1,00	1,15
300	0,85	1,00

Поправочный коэффициент $K_{S\beta}$ на режимы резания пальцевыми фрезами в зависимости от угла наклона зубьев β :

$\beta, ^\circ$	$K_{S\beta}$
0	1,00
30	0,85
45	0,70
60	0,50

13.3. Зуборезные червячные фрезы

Червячные фрезы для нарезания цилиндрических колес. Применяются для чернового, получистового и чистового нарезания прямозубых и косозубых цилиндрических зубчатых колес в диапазоне модулей 0,1—40 мм. В зависимости от назначения и размеров червячные фрезы изготавливаются классов точности ААА, АА, А, В, С и D и рекомендуются соответственно для нарезания зубчатых колес 5—6, 7, 8, 9 и 11-й степеней точности.

По способу соединения со станком фрезы делятся на насадные и хвостовые, при этом наибольшее распространение получили насадные фрезы, а хвостовые применяются только в случаях, когда небольшой диаметр не позволяет выполнить ее насадной, что наиболее характерно для червячных фрез, применяемых для нарезания червячных колес.

По направлению витков фрезы могут быть правозаходными и левозаходными, а по числу витков (заходов) — однозаходными и многозаходными.

По конструкции различают фрезы цельные, выполненные из целой заготовки, составные и сборные, у которых только зубья изготавливаются из инструментального материала. Червячные фрезы цельной конструкции нашли наибольшее распространение в промышленности. Они характеризуются большим разнообразием типов, подразделяемых по назначению (одно- и многозаходные, под шевингование или шлифование, черновые, чистовые), размерам (короткие и длинные, увеличенного диаметра), точности изготовления (классов ААА, АА и др.).

Форма профиля зубьев фрез зависит от формы профиля зубьев нарезаемых колес — эвольвентной, циклоидальной и др., которая при проектировании должна задаваться профилем исходного контура зубчатой рейки.

При расчете конструктивных элементов фрезы (рис. 13.18) исходными параметрами колес являются: модуль m_n , угол зацепления α_o , высота головки h_a и ножки h_f зуба, толщина зуба S_n .

Наружный диаметр d_{a0} зависит от ряда условий, определяющих необходимую точность или производительность обработки зубчатых колес. С увеличением диаметра возможно повышение точности обработки за счет уменьшения органических погрешностей профилирования, увеличения числа зубьев по окружности, более

жесткого крепления фрезы вследствие больших размеров посадочного отверстия. Однако с увеличением диаметра фрезы увеличиваются расход инструментального материала, вращающий момент, длина и время врезания и, следовательно, продолжительность обработки. Ориентировочно следует стремиться к тому, чтобы при выборе наружного диаметра угол подъема витков γ_{m0} был

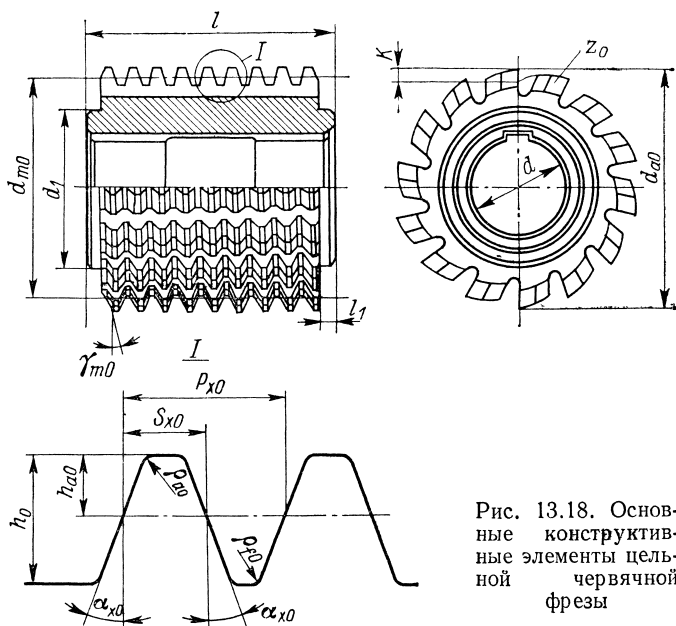


Рис. 13.18. Основные конструктивные элементы червячной фрезы

менее 5° . Поэтому в соответствии с ГОСТ 9324—80 Е для прецизионных фрез, предназначенных для обработки зубчатых колес 5—7-й степеней точности, наружный диаметр принимается на ступень больше, чем для нормальных фрез.

Длина фрезы в общем случае рассчитывается по формуле $l = 2h_{a0} \operatorname{ctg} \alpha_{n0} + x\pi m_0 + 2l_1$, где x — коэффициент, выбираемый из нижеприведенной таблицы:

m_0 , мм	До 2	Св. 2,0 до 5	Св. 5,0 до 15	Св. 15
x	13—7	5,5—3,5	3—2	1,8—1,4

l_1 — длина буртика, равная 3—6 мм.

В случае применения осевых передвижек рабочую длину фрез следует увеличить в 1,25—1,8 раза. При нарезании косозубых колес с $\beta > 20^\circ$ у фрезы выполняется заборный конус под углом $\varphi_K = 7 \div 10^\circ$ на длине $l_K = (5 \div 7) m_0$.

Заборный конус для правозаходных фрез делается на левой стороне, для левозаходных — на правой стороне фрезы, если смотреть на ее переднюю поверхность.

Диаметр посадочного отверстия d приближенно устанавливается по формуле

$$d \leq 0,625 (d_{a0} - 2H_k),$$

где H_k — глубина стружечной канавки.

Элементы профиля зубьев фрезы рассчитывают по следующим формулам.

Нормальный шаг $P_{n0} = \pi m_0 z_1$.

Осевой шаг

$$P_{x0} = \frac{P_{n0}}{\cos \gamma_{m0}} = \frac{\pi m_0 z_1}{\cos \gamma_{m0}}.$$

Толщина зуба в нормальном сечении на делительной прямой:

$$S_{n0} = P_{n0} - S_n \quad \text{для чистовых фрез;}$$

$$S_{n0} = P_{n0} - S_n - \Delta \quad \text{для черновых фрез,}$$

где S_n — толщина зуба колеса по дуге делительной окружности с учетом необходимого бокового зазора в передаче; Δ — припуск на чистовую обработку.

Высота головки зуба фрезы $h_{a0} = h_f$, где h_f — высота ножки зуба колеса. Высота зуба фрезы $h_0 = h_a + h_f + C$, где h_a — высота головки зуба колеса; $C = 0,25 m_0$.

Радиусы закругления на головке зуба фрезы

$$\rho_{a0} = \frac{C}{1 - \sin \alpha_{n0}}.$$

Радиусы закругления на ножке зуба фрезы $\rho_{f0} = (0,2 \div 0,3) m_0$. У фрез с $m_0 > 4$ мм рекомендуется у основания зубьев выполнять канавки для обеспечения возможности шлифования: ширина канавки $b_1 \approx 0,75$ мм; глубина канавки $h_1 = 0,5 \div 2,0$ мм; радиус канавки $\rho_1 = 0,6 \div 1,3$ мм.

Углы профиля зубьев фрез выполняют в зависимости от назначения (прецизионные или нормальные фрезы), возможностей изготовления и контроля. Профилирование червячных фрез может быть осуществлено на базе трех основных червяков: эвольвентного, архимедова, конвольютного.

Правильное зацепление с эвольвентным зубчатым колесом обеспечивает только эвольвентный червяк, поэтому спрофилированные на его базе червячные фрезы являются наиболее точными вследствие отсутствия органических погрешностей. Особенностью эвольвентного червяка является наличие криволинейного профиля в осевом или нормальном сечениях к виткам червяка; прямолинейный профиль у витка имеется лишь в сечении, касательном к основному цилиндру радиуса

$$r_{B0} = \frac{z_1 m_0 \cos \alpha_{B0}}{2 \sin \alpha_{B0}},$$

в котором образующая прямая наклонена к оси червяка под углом $\alpha_{\omega 0} = \arccos (\cos \alpha_{\omega} \cdot \cos \gamma_{m0})$, одинаковым для правой и левой сторон.

На базе эвольвентного червяка спроектированы и изготавливаются червячные фрезы модулей 1—10 мм класса точности ААА, а также могут быть изготовлены червячные фрезы модулей 1—20 мм класса точности АА (ГОСТ 9324—80 Е).

Для изготовления червячных фрез, спрофилированных на базе эвольвентного червяка, необходим специальный измерительный прибор для контроля червячных фрез типа БВ-5005 или PWF-300 фирмы «Клингелнберг» (*Klingelberg*, ФРГ).

Червячные фрезы, спрофилированные на базе архимедова червяка, имеют наибольшее приближение к эвольвентному и характеризуются прямолинейным профилем зубьев фрез в осевом сечении. Типичными представителями указанных фрез являются червячные фрезы с прямыми осевыми стружечными канавками. Угол профиля основного архимедова червяка $\alpha_{\text{чep}}$ определяется путем замены кривой осевого сечения эвольвентного червяка прямой линией по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{чep}} = \operatorname{tg} \gamma_{m0} \sqrt{1 - \left(\frac{d_{B0}}{d_{m0}} \right)^2},$$

где величины γ_{m0} , d_{m0} , d_{B0} рассчитываются по формулам, приведенным ниже.

Приблизительно, но с достаточной для практики точностью, $\alpha_{\text{чep}}$ может быть также определен по формуле

$$\operatorname{ctg} \alpha_{\text{чep}} = \operatorname{ctg} \alpha_{\omega} \cdot \cos \gamma_{m0}.$$

Так как задние поверхности зубьев фрез являются винтовыми, отличными от поверхности основного червяка, то углы профиля зубьев фрезы в осевом сечении должны рассчитываться с учетом данного смещения, зависящего от величины затылования K , числа канавок фрезы z_0 , шага винтовой стружечной канавки P_z , направления витков (правозаходная или левозаходная нарезка). Для правозаходной фрезы поэтому имеем:

$$\operatorname{ctg} \alpha_{xR0} = \operatorname{ctg} \alpha_{\text{чep}} - \frac{K z_0}{P_z};$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_{xL0} = \operatorname{ctg} \alpha_{\text{чep}} + \frac{K z_0}{P_z}.$$

Для левозаходных фрез вторые члены в формулах меняют знаки на обратные.

Червячные фрезы, спрофилированные на базе конволютного червяка, имеют прямолинейный трапецидальный профиль в нормальном сечении по витку или по впадине. Угол профиля зуба

Фрезы принимаются в данном случае равным углом профиля исходного контура зубчатой рейки, т. е.

$$\alpha_{xR0} = \alpha_{xL0} = \alpha_w = 20^\circ.$$

Углы резания должны иметь следующие значения. Передний угол γ_0 обычно принимается равным 0. В отдельных случаях для полустругих и черновых червячных фрез $\gamma_{a0} = 5 \div 10^\circ$. Задний угол на вершине α_{a0} устанавливается в пределах $10-12^\circ$. Задний угол на боковой режущей кромке в сечении, перпендикулярном к ней, определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_{b0} = \frac{r_{a0}}{r_x} \operatorname{tg} \alpha_{a0} \cdot \sin \alpha_{x0},$$

где r_x — радиус окружности расположения произвольной точки, для которой рассматривается угол α_{b0} . Желательно, чтобы значение α_{b0} не было меньше 3° .

Число зубьев (число стружечных канавок) z_0 может быть выбрано по эмпирической формуле $z_0 = 200/d_{a0} + (6 \div 7)$. Рекомендуются выбирать z_0 в соответствии со стандартными данными.

Величина затылования K подсчитывается по формуле

$$K = \frac{\pi d_{a0}}{z_0} \operatorname{tg} \alpha_{a0}$$

и результат округляется до 0,5 мм. Величина дополнительного затылования K_1 у фрез со шлифованным профилем равна $K_1 = (1,2 \div 1,5) K$ с соответствующим округлением в большую или меньшую сторону до 0,5 мм.

Элементы стружечной канавки. Глубина канавки для фрез со шлифованным профилем

$$h_K = h_0 + \frac{K + K_1}{2} + (1 \div 1,5);$$

для фрез с нешлифованным профилем

$$h_K = h_0 + K + 0,5.$$

Радиус закругления основания канавки

$$\rho_K = \frac{\pi (d_{a0} - 2h_K)}{10z_0}.$$

Угол профиля канавки θ_K принимается равным 25° или 30° .

Выбор направления червячной нарезки и винтовых стружечных канавок. Для прямозубых колес направление нарезки не имеет значения, поэтому фрезы для них проектируются правозаходными. Для колес с правым направлением зубьев применяются правозаходные фрезы, и наоборот.

Винтовые стружечные канавки у фрезы выполняются с противоположным виткам направлением. Фрезы с углом подъема витка $\gamma_{m0} \leq 6^\circ$ могут быть изготовлены с прямыми осевыми стружечными канавками.

13.19. Методика расчета * элементов профиля червячных фрез с положительным передним углом γ_{a0}

Расчетный параметр	Расчетная формула
Диаметр впадин профиля зуба червячной фрезы	$d_{i0} = d_{a0} - 2h_0$
Передний угол фрезы на диаметре впадин	$\sin \gamma_{i0} = \frac{d_{a0} \sin \gamma_{a0}}{d_{i0}}$
Осевой шаг фрезы	$P_{x0} = \frac{\pi m_0 z_{10}}{\cos \gamma_{m0}}$
Максимальное линейное искажение профиля зуба фрезы из-за наличия переднего угла	$\Delta_\gamma = \frac{P_{x0} (\gamma_{i0} - \gamma_{a0})}{360^\circ}$
Высота профиля зуба фрезы по передней поверхности	$h_{01} = \frac{d_{i0} \sin (\gamma_{i0} - \gamma_{a0})}{2 \sin \gamma_{a0}}$
Правый и левый углы профиля зуба фрезы по передней поверхности (верхние знаки относятся к правозаходным фрезам, нижние — к левозаходным)	$\operatorname{tg} \alpha_R = \frac{h_0 \frac{\operatorname{tg} \alpha_{n0}}{\cos \gamma_{m0}} \mp \Delta_\gamma}{h_{01}};$ $\operatorname{tg} \alpha_L = \frac{h_0 \frac{\operatorname{tg} \alpha_{n0}}{\cos \alpha_{m0}} \pm \Delta_\gamma}{h_{01}}$

* Исходные расчетные данные фрезы: d_{a0} — наружный диаметр; α_{n0} — исходный угол профиля; γ_{a0} — передний угол; h_0 — высота зуба полная; γ_{m0} — угол подъема винтовой линии.

Средний расчетный диаметр

$$d_{m0} = d_{a0} - 2h_{a0} - (0,25 \div 0,3) K.$$

Угол подъема винтовой линии витка

$$\sin \gamma_{m0} = mz_c / d_{m0}.$$

Шаг винтовой стружечной канавки

$$P_z = \pi d_{m0} \operatorname{ctg} \gamma_{m0}.$$

Элементы профиля зубьев фрез с $\gamma_{a0} > 0$ могут быть рассчитаны по методике, приведенной в табл. 13.19.

Стандартные цельные червячные фрезы. В условиях серийного и мелкосерийного производства цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем наибольшее применение находят фрезы червячные однозаходные (ГОСТ 10331—81 и ГОСТ 9324—80 Е). Основные конструктивные и расчетные размеры профиля червячных фрез модулей 0,15—0,9 мм (ГОСТ 10331—81 Е) представлены

на рис. 13.19 и в табл. 13.20—13.21, а червячных фрез модулей 1—25 мм типов 1, 2 и 3 (ГОСТ 9324—80 Е) — на рис. 13.18 и в табл. 13.22—13.25.

В соответствии с техническими требованиями червячные фрезы должны изготавливаться из быстрорежущей стали (ГОСТ 19265—73*) с твердостью рабочей части 63—66 HRC_a, при этом твердость рабочей части фрез, изготовленных из быстрорежущей стали с содержанием ванадия 3 % и более и кобальта 5 % и более, должна быть 64—67 HRC_a.

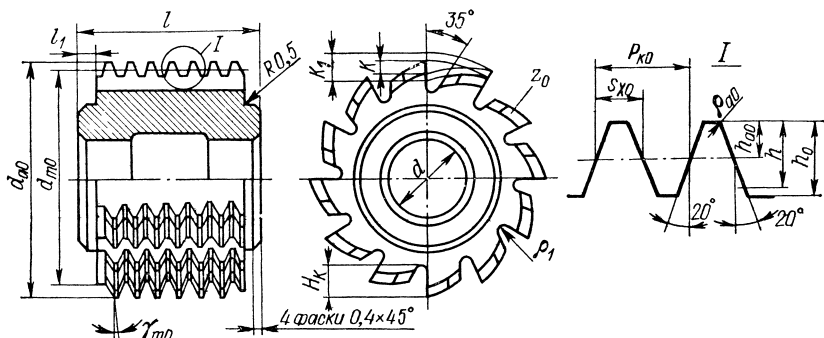


Рис. 13.19. Мелкомодульная червячная фреза (ГОСТ 10331—81Е)

Шлифованная часть фрез, обеспечивающая требуемую точность профиля, должна быть не менее $1/2$ длины зуба, считая по окружности вершин зубьев для фрез модулей 0,15—4 мм, и $1/3$ длины зуба — для фрез модулей свыше 4 мм.

Шпоночный паз должен быть изготовлен по ГОСТ 9472—83; предельные отклонения по наружному диаметру, диаметру буртиков и общей длины устанавливаются по качеству h 16 (СТ СЭВ 144—76).

Параметры шероховатости поверхностей фрез модулей 0,15—25 мм не должны превышать значений, приведенных в табл. 13.26, а допуски и предельные отклонения параметров фрез модулей 0,15—0,9 мм и модулей 1—25 мм не должны превышать значений, приведенных соответственно в табл. 13.27 и 13.28.

Стандартные конструкции червячных фрез отличаются большой универсальностью применения.

Фрезы изготавливаются трех типов — 1, 2 и 3. Тип 1 — цельные прецизионные червячные фрезы модулей 1—10 мм классов точности AAA и AA увеличенных габаритных размеров, что позволяет свести к минимуму органические погрешности их профилирования на базе архимедова или конволютного червяков.

Тип 2 — цельные фрезы модулей 1—14 мм классов точности AA, A, B, C, D и модулей 16—20 мм классов точности AA и A. Фрезы типа 2 модулей 1—10 мм имеют два исполнения — нормальной длины и увеличенной длины.

**13.20. Основные размеры мелко модульных червячных фрез
(ГОСТ 10331—81 Е), мм**

m_0	d_{a0}	d	d_1	l	l_1	K	K_1	H_K	z_0
0,15; 0,18; 0,20; 0,22; 0,25	25	8	16	12	3	1,5	2,0	4	10
0,28; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50	25	8	16	16	3	1,5	2,0	4	10
0,15; 0,18; 0,20; 0,22; 0,25; 0,28; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90	32	13	20	16	3	2,0	3,0	5	10
0,5; 0,55; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90	40	16	25	28	4	2,0	3,0	6	12

13.21. Размеры профиля зубьев червячных фрез (ГОСТ 10331—81 Е), мм

m_0	h_0	h_{a0}	h	P_{x0}	S_{x0}	ρ_{a0}
0,15	0,406	0,203	0,353	0,471	0,236	0,07
0,18	0,486	0,243	0,428	0,565	0,283	0,08
0,20	0,540	0,270	0,470	0,628	0,314	0,09
0,22	0,594	0,297	0,517	0,691	0,346	0,10
0,25	0,676	0,338	0,589	0,785	0,393	0,11
0,28	0,756	0,378	0,658	0,880	0,440	0,12
0,30	0,810	0,405	0,705	0,942	0,471	0,13
0,35	0,946	0,473	0,824	1,100	0,550	0,15
0,40	1,080	0,540	0,940	1,257	0,629	0,18
0,45	1,216	0,608	1,059	1,414	0,707	0,20
0,50	1,350	0,675	1,175	1,571	0,786	0,22
0,55	1,486	0,743	1,294	1,728	0,864	0,24
0,60	1,620	0,810	1,410	1,885	0,943	0,26
0,70	1,890	0,945	1,645	2,199	1,100	0,31
0,80	2,160	1,080	1,880	2,513	1,257	0,35
0,90	2,430	1,215	2,115	2,827	1,414	0,40

**13.22. Основные и расчетные размеры червячных фрез типа 1
(ГОСТ 9324—80 Е), мм**

m_0	d_{a0}	d	d_1	l	l_1	d_{m0}	γ_{m0}	P_2	K	z_0
1,0 1,125 1,25	71	32	50	71	5	67,6 67,29 66,98	0° 51' 0° 57' 1° 04'	14 352 12 641 11 273	3,0	16
1,375 1,5 1,75	80		55	80		75,66 75,35 74,72	1° 02' 1° 08' 1° 21'	13 080 11 890 10 021		
2,0 2,25	90		60	90		83,80 83,17	1° 22' 1° 33'	11 028 10 441		
2,5 2,75	100	65	100	92,40 91,75		1° 33' 1° 43'	10 726 96 176			

m	d_{ac}	d	d_1	l	l_1	d_{m0}	γ_{m0}	P_z	K	z_0
3,0 3,25 3,5 3,75	112	40	70	112	5	103,00 102,37 101,75 101,12	1° 40' 1° 49' 1° 58' 2° 08'	11 104 10 125 9 367 8 561	5,0	14
4,0 4,25 4,5	125	50	80	125		113,24 112,57 112,10	2° 01' 2° 10' 2° 18'	10 058 9 361 8 766	6,0 5,5	
5,0 5,5	140		85	140		125,55 124,30	2° 17' 2° 32'	9 896 8 816	6,5	
6,0 6,5 7,0	160	60	90	155		142,45 141,20 139,95	2° 25' 2° 38' 2° 52'	10 616 9 626 8 779	8,5	
8,0 9,0 10,0	180		95	175		157,00 154,50 152,00	2° 55' 3° 21' 3° 46'	9 667 8 318 7 245	10	
			95	180	6					12

13.23. Основные и расчетные размеры червячных фрез типа 2 (ГОСТ 9324—80 Е), мм

m_0	d_{a0}	d	d_1	l		l_1	d_{m0}	K	z_0	
				Исполнение						
				1	2					
1	40	16	25	32	50	4	36,75	2,5	12	
1,125 1,25 1,375	50	22	33	32 32 40 40	50 63 70 70		46,75 46,44 46,13 45,81			
1,5 1,75 2	63	27	40	50 50 50	80 80 90		58,35 57,73 57,10			3,0
2,25 2,5 2,75	71			56 63 63	90 100 100		64,48 63,85 63,23			
3 3,25 3,5	80	32	50	71 71 71	112 112 125		71,30 70,68 70,05	4,0		10
3,75 4 4,25 4,5	90			80 80 90 90	125 140 140 140		79,28 78,65 78,48 77,85	4,5		
5	100			100	140		86,50	5,0		
5,5 6	112			40	60		112 112	160 160		

m_0	d_{a1}	d	d_1	l		l_i	d_{m0}	K	z_0	
				полнение						
				1	2					
6,5 7	118	40	60	118 125	160 160	4	100,55 99,30	6,5	9	
8 9	125 140			152 150	180 180		103,66 115,90	7,0 8,0		
10 11 12 14	150 160 170 190	50	75 85	170 180 200 224	200 — — —	5	123,30 130,7 138,1 152,9	8,5 9,0 9,5 10,5		
16 18 20	212 236 250			250 280 300	—		169,3 188,0 196,8	13,5 15,0 16,0		
16 18 20	212 236 250	60	100	250 280 300	—	6	169,3 188,0 196,8	13,5 15,0 16,0		8

13.24. Основные и расчетные размеры червячных фрез типа 3
(ГОСТ 9324—80 Е), мм

m_0	d_{a0}	d	l	d_{m0}	γ_{m0}	K	z_0
8	180	50	165	156,4	2° 56'	12	10
9	200	60	170	173,6	2° 58'	13	10
10	200	60	210	171,1	3° 21'	13	10
	180	40	180	155	3° 43'	15	8
11	212	60	215	180,3	3° 30'	14	10
	180	40	180	152,5	4° 08'	15	8
12	225	60	240	189,8	3° 38'	14	10
	200	50	200	170	4° 03'	16,5	8
14	250	70	240	210,2	3° 49'	16	10
	200	50	200	165	4° 52'	16,5	8
16	265	70	270	219,9	4° 10'	17	10
	225	50	225	185	4° 58'	18,5	8
18	280	80	290	229,6	4° 30'	18	10
	225	50	225	180	5° 44'	18,5	8
20	300	80	310	244	4° 42'	20	10
	250	60	250	200	5° 44'	21	8
22	320	80	330	260,8	4° 50'	21	10
	270	70	325	215,2	5° 52'	19	8
25	340	80	360	273,1	5° 15'	22	10
	305	70	360	242,5	5° 55'	21	8

13.25. Размеры профиля зубьев червячных фрез (ГОСТ 9324—80 Е), мм, с углом профиля $\alpha_{nR0} = \alpha_{nL0} = 20^\circ$

m_0	Нормальное сечение				Осевое сечение					
	P_{n0}	S_{n0}	h_0	h_{a0}	P_{x0}		α_{xR0}		α_{xL0}	
					для фрез типов					
					1	2	1	2	1	2
1	3,142	1,67	2,50	1,25	3,142	3,142	20° 01'	20° 01'	19° 59'	19° 58'
1,125	3,534	1,87	2,80	1,41	3,535	3,535	20° 02'	20° 02'	19° 59'	19° 58'
1,25	3,927	2,06	3,13	1,56	3,928	3,928	20° 02'	20° 03'	19° 58'	19° 58'
1,375	4,320	2,26	3,44	1,72	4,321	4,322	20° 02'	20° 03'	19° 58'	19° 58'
1,5	4,712	2,47	3,75	1,88	4,713	4 714	20° 02'	20° 02'	19° 58'	19° 58'
1,75	5,498	2,86	4,38	2,19	5,499	5,500	20° 02'	20° 03'	19° 59'	19° 58'
2	6,283	3,25	5,00	2,50	6,285	5,287	20° 02'	20° 03'	19° 58'	19° 58'
2,25	7,068	3,64	5,63	2,81	7,071	7,073	20° 02'	20° 03'	19° 59'	19° 58'
2,5	7,854	4,07	6,25	3,13	7,857	7,860	20° 02'	20° 04'	19° 58'	19° 58'
2,75	8,639	4,46	6,88	3,44	8,643	8,648	20° 03'	20° 04'	19° 58'	19° 58'
3	9,425	4,85	7,50	3,75	9,429	9,433	20° 02'	20° 04'	19° 58'	19° 58'
3,25	10,210	5,25	8,13	4,06	10,215	10,221	20° 03'	20° 05'	19° 58'	19° 58'
3,5	10,996	5,64	8,75	4,38	11,002	11,009	20° 03'	20° 04'	19° 58'	19° 58'
3,75	11,781	6,03	9,38	4,69	11,789	11,794	20° 03'	20° 05'	19° 58'	19° 58'
4	12,566	6,45	10,00	5,00	12,574	12,583	20° 03'	20° 05'	19° 58'	19° 58'
4,25	13,352	6,85	10,63	5,31	13,361	13,371	20° 04'	20° 06'	19° 58'	19° 58'
4,5	14,137	7,24	11,25	5,63	14,148	14,161	20° 04'	20° 06'	19° 58'	19° 58'
5	15,708	8,02	12,50	6,25	15,720	15,734	20° 04'	20° 06'	19° 58'	19° 58'
5,5	17,279	8,81	13,75	6,88	17,296	17,307	20° 05'	20° 06'	19° 58'	19° 57'
6	18,849	9,63	15,00	7,50	18,866	18,877	20° 04'	20° 07'	19° 58'	19° 57'
6,5	20,420	10,41	16,25	8,13	20,442	20,463	20° 05'	20° 07'	19° 58'	19° 58'
7	21,991	11,22	17,5	8,75	22,018	22,046	20° 05'	20° 08'	19° 58'	19° 58'
8	25,133	12,79	20,00	10,0	25,165	25,208	20° 06'	20° 09'	19° 57'	19° 57'
9	28,274	14,36	22,50	11,25	28,332	28,360	20° 07'	20° 10'	19° 57'	19° 57'
10	31 416	15,93	25,00	12,50	31,483	31,520	20° 08'	20° 10'	19° 57'	19° 57'
11	34,557	17,58	27,50	13,75	—	34,681	—	20° 11'	—	19° 57'
12	37,699	19,15	30,00	15,00	—	37,842	—	20° 11'	—	19° 57'

m_0	Нормальное сечение				Осевое сечение					
	P_{n0}	S_{n0}	h_0	h_{a0}	P_{x0}		α_{xR0}		α_{xL0}	
					для фрез типов					
					1	2	1	2	1	?
14	43,982	22,29	35,00	17,50	—	44,168	—	20° 12'	—	19° 57'
16	50,265	25,43	40,00	20,00	—	50,491	—	20° 13'	—	19° 57'
18	56,549	28,67	45,00	22,50	—	56,810	—	20° 13'	—	19° 57'
20	62,832	31,82	50,00	25,00	—	63,159	—	20° 14'	—	19° 57'
22	69,115	34,96	55,00	27,50	—	—	—	—	—	—
25	78,540	39,67	62,5	31,25	—	—	—	—	—	—

13.26. Параметры шероховатости поверхностей червячных фрез

Поверхность, параметр шероховатости, мкм	Класс точности													
	AAA		AA			A			B			C, D		
	Модули, мм													
	До 0,9	От 1 до 10	До 0,9	От 1 до 10	Св 10 до 25	До 0,9	От 1 до 10	Св. 10 до 25	До 0,9	Св 1 до 3,5	Св 3,5 до 10	Св. 10 до 25	От 1 до 10	Св. 10 до 25
Посадочное отверстие, R_a	0,2	0,16	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	1,6
Передняя поверхность, R_z	1,6	1,6	3,2	1,6	1,6	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	6,3	6,3	6,3
Задняя боковая поверхность зуба, R_z	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	3,2	1,6	3,2	3,2	3,2	3,2	6,3	6,3	6,3
Задняя поверхность по вершинам зубьев, R_z	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	6,3	6,3	6,3
Цилиндрическая поверхность буртика, R_z	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	3,2	1,6	3,2	3,2	3,2	3,2	6,3	6,3	6,3
Торец буртика, R_a	0,2	0,32	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,8	0,4	0,8	0,8	1,6	1,6	1,6

13.27. Допуски и предельные отклонения параметров
мелкомодульных червячных фрез (ГОСТ 10331—81 Е)

Параметр	Обозначение	Класс точности	Допуски, мкм, при m_0 , мм	
			до 0,5	до 0,9
Диаметр посадочного отверстия	f_d	AAA AA A B	H4 H4 H5 H6	
Радиальное биение буртиков	f_r	AAA AA A B	3 3 4 5	
Торцовое биение буртиков	f_t	AAA AA A B	3 3 4 5	
Радиальное биение по вершинам зубьев	f_{rd}	AAA AA A B	6 9 10 15	6 10 12 18
Профиль передней поверхности	f_v	AAA AA A B	6 10 14 18	8 12 16 20
Разность соседних окружных шагов стружечных канавок	f_{u0}	AAA AA A B	8 12 16 20	10 14 20 25
Накопленная погрешность окружного шага стружечных канавок	F_{P0}	AAA AA A B	12 18 20 25	16 20 22 30
Профиль зубьев	f_{f0}	AAA AA A B	2 3,5 5 6	2,5 4 6 8
Толщина зуба (только в минус)	T_{S0}	AAA AA A B	10 16 20 25	12 20 25 32
Винтовая линия фрезы от зуба к зубу	f_{h10}	AAA AA A B	2 3 4 6	2,5 4 5 8
Винтовая линия фрезы на одном обороте	f_{h0}	AAA AA A B	3 5 6 10	3,5 6 8 12

Параметр	Обозначение	Класс точности	Допуски, мкм, при m_0 , мм	
			до 0,5	до 0,9
Винтовая линия фрезы на двух оборотах	$f_{h_{20}}$	AAA AA A B	4 6 8 12	4 8 10 16
Погрешность зацепления от зуба к зубу	F_{Pl10}	AAA AA A B	2 3 5 6	3 4 6 8
Погрешность зацепления по всей длине	F_{Pb0}	AAA AA A B	4 6 8 10	4 8 10 12
Осевой шаг вдоль рейки от зуба к зубу	f_{Px0}	A B	$\pm 3,5$ $\pm 4,0$	$\pm 4,5$ $\pm 5,0$
Накопленное отклонение осевого шага на длине двух шагов	$f_{Px_{20}}$	A B	$\pm 4,5$ $\pm 5,0$	$\pm 5,0$ $\pm 6,0$

13.28. Допуски и предельные отклонения параметров червячных фрез
(ГОСТ 9324—80 Е)

Параметр	Обозначение	Класс точности	Допуски, мкм, при m_0 , мм					
			от 1 до 2	св. 2 до 3,5	св. 3,5 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 16	св. 16 до 25
Диаметр посадочного отверстия	f_d	AAA AA и A B и C D	H4 H5 H6 H7					
Радиальное биение буртиков	f_y	AAA AA A B C D	3 5 5 6 10 16	3 5 5 8 12 25	4 5 6 10 16 32	4 5 8 12 20 40	— 6 10 16 20 40	— 8 12 16 20 40
Торцовое биение буртиков	f_t	AAA AA A B C D	3 3 3 4 8 12	3 3 4 5 10 16	3 4 5 6 12 20	3 5 6 8 16 25	— 5 8 10 16 25	— 6 10 12 16 16 25

Параметр	Обозначение	Класс точности	Допуски, мкм, при m_0 , мм					
			от 1 до 2	св. 2 до 3,5	св. 3,5 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 16	св. 16 до 25
Радиальное биение по вершинам зубьев	f_{rda}	AAA	8	10	12	16	—	—
		AA	12	16	20	25	32	40
		A	20	25	32	40	50	63
		B	32	40	50	63	80	100
		C	50	63	80	100	125	160
		D	80	100	125	160	200	250
Профиль передней поверхности	f_v	AAA	8	10	12	16	—	—
		AA	12	16	20	25	32	40
		A	20	25	32	40	50	63
		B	32	40	50	63	80	100
		C	63	80	100	125	160	200
		D	100	125	160	200	250	340
Разность соседних окружных шагов	f_{u0}	AAA	10	12	16	20	—	—
		AA	12	16	20	25	32	40
		A	20	25	32	40	50	63
		B	32	40	50	63	80	100
		C	63	80	100	125	160	200
		D	100	125	160	200	250	315
Накопленная погрешность окружного шага стружечных канавок	F_{P0}	AAA	18	20	25	32	—	—
		AA	25	32	40	50	63	80
		A	40	50	63	80	100	125
		B	63	80	100	125	160	200
		C	125	160	200	250	315	400
		D	200	250	315	400	500	600
Направление стружечных канавок	f_x	AAA	± 40				—	
		AA	± 63				± 50	
		A	± 80				± 70	
		B	± 100					
		C	± 125					
		D	± 160					
Профиль зуба	f_{f0}	AAA	3	4	5	6	—	—
		AA	5	6	8	10	12	16
		A	8	10	12	16	20	25
		B	12	16	20	25	32	40
		C	20	25	32	40	50	63
		D	40	50	63	80	100	125
Толщина зубьев	T_{S0}	AAA	—8	—10	—12	—16	—	—
		AA	—16	—20	—25	—32	—40	—50
		A	—25	—32	—40	—50	—63	—80
		B	—32	—40	—50	—63	—80	—100
		C	—50	—63	—80	—100	—125	—160
		D	—80	—100	—125	—160	—200	—250

Параметр	Обозначение	Класс точности	Допуски, мкм, при m_0 , мм					
			от 1 до 2	св. 2 до 3,5	св. 3,5 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 16	св. 16 до 25
Осевой шаг	f_{Px0}	AAA AA A B C D	— — — ± 8 ± 12 ± 22	— — — ± 10 ± 14 ± 25	— — — ± 12 ± 18 ± 32	— — — ± 14 ± 22 ± 40	— — — ± 16 ± 25 ± 50	— — — ± 20 ± 32 ± 70
Накопленное отклонение шага на длине любых трех шагов	$f_{Px,0}$	AAA AA A B C D	— — — ± 12 ± 18 ± 32	— — — ± 16 ± 22 ± 40	— — — ± 20 ± 25 ± 50	— — — ± 25 ± 32 ± 63	— — — ± 25 ± 40 ± 80	— — — ± 32 ± 50 ± 100
Винтовая линия фрезы от зуба к зубу	$f_{h,0}$	AAA AA A B C D	3 4 6 10 16 —	3 5 8 12 20 —	4 6 10 16 25 —	4 8 12 20 32 —	— 10 16 25 40 —	— 12 20 32 50 —
Винтовая линия фрезы на одном обороте	f_{h0}	AAA AA A B C D	5 6 10 16 25 —	6 8 12 18 32 —	7 10 14 22 40 —	8 12 20 32 50 —	— 16 25 40 63 —	— 20 32 50 80 —
Винтовая линия фрезы на трех оборотах	$f_{h,0}$	AAA AA A B C D	6 8 14 25 40	8 10 16 28 50	10 14 20 32 63	12 16 32 50 80	— 25 40 63 100	— 32 50 80 125
Погрешность зацепления от зуба к зубу	$F_{Pb,0}$	AAA AA A B C D	3 4 6 10 16	4 5 8 12 20	4 6 10 16 25	5 8 12 20 32	— 10 16 25 40	— 12 20 32 50
Погрешность зацепления на длине активной части	F_{Pb0}	AAA AA A B C D	7 8 12 16 32	8 10 14 22 40	8 12 18 28 50	10 16 25 40 63	— 20 32 50 80	— 25 40 63 100

Тип 3 — сборные фрезы модулей 8—25 мм классов точности А, В, С и D. Изготавливаются в диапазоне модулей 10—25 мм двух исполнений — нормальных и уменьшенных габаритных размеров (d_{a0} , d , l). Конструкция сборных червячных фрез типа 3 представлена на рис. 13.20. По чертежам завода «Фрезер» фрезы данного типа производятся также в диапазоне модулей 25—32 мм.

Профиль зубьев стандартных фрез обычно не имеет модификаций, однако фрезы классов точности АА и А могут быть изготовлены с модификацией у ножки зуба, размеры которой оговорены ГОСТ 9324—80.

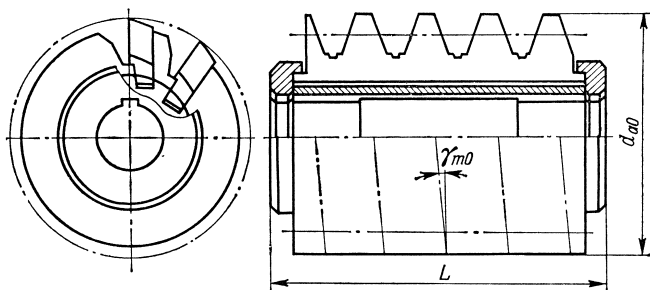


Рис. 13.20. Сборная червячная фреза типа 3 (ГОСТ 9324—80Е)

Многозаходные червячные фрезы. Прогрессивным направлением в области черновой, получистовой и в некоторых случаях чистовой обработки является применение многозаходных червячных фрез. Эффективность их применения определяется возможностью значительного снижения машинного времени по сравнению с однозаходными фрезами. При конструировании многозаходных червячных фрез приходится учитывать большое число различных факторов, которые оказывают влияние на процесс зубофрезерования.

Следует отметить, что преимущество многозаходных фрез реализуется прежде всего при нарезании зубчатых колес с числом зубьев более 25 и наличии достаточно жестких и скоростных зубофрезерных станков.

Уменьшение числа профилирующих режущих кромок у многозаходных фрез прямо пропорционально увеличению числа заходов. Если этот факт имеет второстепенное значение для чернового и получистового зубофрезерования, то при чистовом нарезании колес это нежелательно, поэтому для компенсации потери точности стремятся изготавливать фрезы с большим числом стружечных канавок [264, 266]. При этом необходимо, чтобы число стружечных канавок фрезы не было кратно числу ее заходов, а число заходов не было кратным числу зубьев нарезаемого колеса, так как в этом случае компенсируются погрешности деления фрезы на заходы. Обязательным условием эффективного применения

многозаходных фрез является выполнение их с увеличенной в 1,25—1,5 раза длиной по сравнению со стандартными фрезами для работы на зубофрезерных станках с осевыми передвижками. Поэтому все современные зубофрезерные станки имеют устройства для осевых перемещений фрезы после обработки каждого колеса или заданного числа колес. Осевые передвижки способствуют обеспечению равномерного износа фрезы, увеличению времени ее работы между переточками, что позволяет значительно форсировать режимы резания, добиваться дополнительного повышения производительности обработки зубчатых колес.

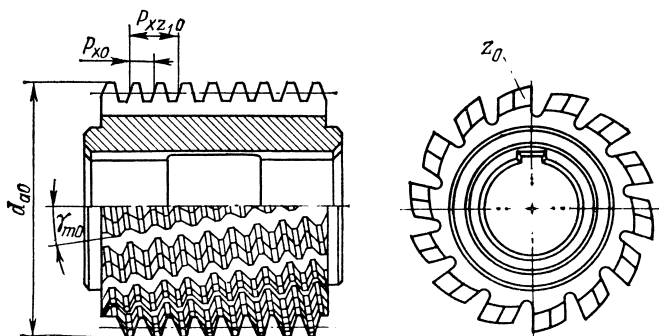


Рис. 13.21. Многозаходная червячная фреза

Расчет многозаходных червячных фрез принципиально ничем не отличается от расчета обычных червячных фрез, за исключением несколько иного подхода к выбору основных конструктивных элементов, о чем уже говорилось выше, и необходимости расчета осевого шага захода $P_{xz10} = z_{10} P_{x0}$ для прорезки витков червяка и контроля точности винтовой линии фрезы.

Для нарезания цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем могут быть рекомендованы конструкции многозаходных червячных фрез по отраслевому стандарту ОСТ 2И41-3—85 Минстанкопрома. По данному стандарту изготавливаются одно- и многозаходные полуступенчатые червячные фрезы (рис. 13.21) модулей 1—10 мм с числом заходов 1—4, классов точности А, В, С и D. Классификация данных червячных фрез представлена в табл. 13.29.

Червячные фрезы в диапазоне модулей 1—10 мм могут быть четырех типов:

1 — фрезы с профилем зубьев под шевингование (табл. 13.30) классов точности А (с $z_{10} = 2$), В и С (с $z_{10} = 2; 3; 4$) и габаритными размерами типа 1 по ГОСТ 9324—80 Е;

2 — фрезы с профилем зубьев под шлифование (табл. 13.31) классов точности В, С и D (с $z_{10} = 2; 3; 4$) и габаритными размерами типа 1 по ГОСТ 9324—80 Е;

13.29. Классификация применяемых одно- и многозаходных червячных фрез для полустойковой обработки цилиндрических зубчатых колес

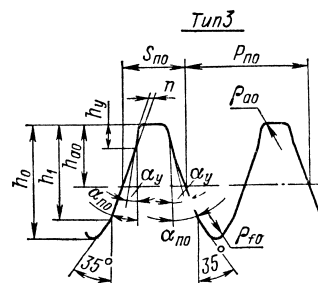
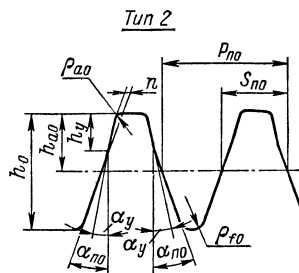
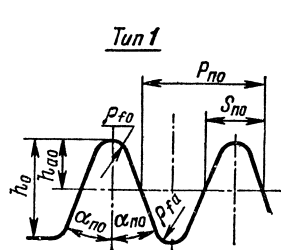
m_b	Тип фрезы	Число захо- дов z_{10}	Класс точности изго- товления по техни- ческим условиям ГОСТ 9324—80 Е	Габаритные размеры	Число стру- жечных ка- навок z_0	
1,0—1,75	Тип 1 под шевингова- ние и тип 2 под шли- фование	2	A, B, C, D	Соответствуют габаритным раз- мерам червячных фрез типа 1 по ГОСТ 9324—80Е	16	
2,0—2,75		3	B, C, D		15	
		4			16	
		2			A, B, C, D	14
3,0—5,0		3	B, C, D		15	
		4			16	
		2			A, B, C, D	14
5,5		3	B, C, D		15	
		2			A, B, C, D	14
						6,0—7,0
8,0—10,0	10					
1,0—2,5	Тип 3 под шевингова- ние и тип 4 под шли- фование	1	A, B, C, D	Соответствуют габаритным раз- мерам червячных фрез типа 2 по ГОСТ 9324—80Е	12	
2		B, C, D				
3						
2,75		1	A, B, C, D			
		2	B, C, D			
3,0—6,0		1	A, B, C, D		10	
6,5—10,0					9	
Примечание. Червячные фрезы типов 2 и 4 изготавливаются только классов точности B C и D.						

3 — фрезы с профилем зубьев под шевингование (табл. 13.30) классов точности A (с $z_{10} = 1$), B и C (с $z_{10} = 1; 2; 3$) и габаритными размерами типа 2 по ГОСТ 9324—80 Е;

4 — фрезы с профилем зубьев под шлифование (табл. 13.31) классов точности B, C и D (с $z_{10} = 1; 2; 3$) и габаритными разме-
рами типа 2 по ГОСТ 9324—80 Е.

Все червячные фрезы изготавливаются как нормальной, так и увеличенной длины для возможности применения их в различных производственных условиях, в том числе и с осевыми передвига-
ми, с передним углом $\gamma_{a0} = 0$ и $\gamma_{a0} = 5^\circ$. При этом фрезы с $\gamma_{a0} = 0$ могут иметь прямые осевые и винтовые стружечные канавки, а с $\gamma_{a0} = 5^\circ$ — только прямые осевые стружечные канавки.

13.30. Основные размеры, мм, профиля зубьев в нормальном сечении многозаходных червячных фрез под шевингование при $\gamma_{a0} = 0$



m_0	Тип фрезы	h_0	h_{a0}	S_{n0}	h_y	n	h_1	α_{n0}	α_y	ρ_{a0}	ρ_{f0}
1,0	1	2,6	1,35	1,62	—	—	—	18° 40′	—	0,2	0,3
1,125		2,92	1,52	1,82				18° 50′			
1,25		3,25	1,69	2,02				19°		0,3	0,5
1,375		3,57	1,86	2,22							
1,5		3,9	2,02	2,42							
1,75	4,55	2,36	2,82								
2,0	2	5,2	2,70	3,18	1,0	0,085	—	20°	13° 43′	0,35	0,6
2,25		5,85	3,04	3,57	1,1	0,095			14° 23′	0,40	0,65
2,5		6,5	3,37	3,98	1,25				14° 21′	0,45	0,70
2,75		7,15	3,71	4,37	1,35				14° 51′	0,50	0,80
3,0		7,8	4,05	4,76	1,45				15° 16′	0,55	0,90
3,25		8,45	4,39	5,16	1,60				15° 38′	0,60	0,95
3,5		9,10	4,72	5,55	1,70				15° 39′		

m_0	Тип фрезы	h_0	h_{a0}	S_{n0}	h_y	n	h_1	α_{n0}	α_y	ρ_{a0}	ρ_{f0}
3,75	3	9,75	5,06	5,94	1,85	0,095	7,8	20°	16° 30'	0,65	0,65
4,0		10,40	5,40	6,34	1,95	0,105	8,5		16° 18'	0,70	0,70
4,25		11,05	5,74	6,74	2,10		9,0		16° 35'	0,75	0,75
4,5		11,70	6,07	7,13	2,20		9,5		16° 43'	0,80	0,80
5,0		13,0	6,75	7,91	2,45	0,115	10,6		17° 03'	0,90	0,90
5,5		14,3	7,42	8,70	2,70		11,7		17° 20'	1,0	1,0
6,0		15,6	8,1	9,5	2,95		12,8		17° 19'	1,1	1,1
6,5		16,9	8,77	10,28	3,15		14,0		17° 30'	1,15	1,15
7,0		18,2	9,45	11,08	3,4	0,120	15,0		17° 35'	1,25	1,25
8,0		20,8	10,80	12,65	3,9		17,3		17° 55'	1,45	1,45
9,0		23,40	12,15	14,22	4,4		19,6		18° 09'	1,6	1,6
10,0		26,0	13,5	15,79	4,85		21,9		18° 19'	1,8	1,8

13.31. Основные размеры, мм, профиля зубьев в нормальном сечении многозаходных червячных фрез под шлифование при $\gamma_{a0} = 0$ (см. рисунки в табл. 13.30)

m_0	Тип фрезы	h_0	h_{a0}	S_0	h_y	n	α_{n0}	α_y	ρ_{a0}	ρ_{f0}	Припуск под шлифование на толщину зуба
1,0	1	2,6	1,35	1,57	—	—	17° 16'	—	0,2	0,3	0,20
1,125		2,92	1,52	1,77			17° 34'				
1,25		3,25	1,69	1,93			17° 16'		0,3 0,4	0,4	0,25
1,375		3,57	1,86	2,13			17° 31'				
1,50		3,90	2,02	2,34			17° 44'		0,5 0,6	0,45 0,50	0,30
1,75		4,55	2,36	2,71			17° 40'				
2,0		5,20	2,7	3,10			17° 57'		0,7	0,6	

m_0	Тип фрезы	h_0	h_{a0}	S_0	h_y	n	α_{n0}	α_y	ρ_{a0}	ρ_{f0}	Припуск под шлифование на толщину зуба
2,25	2	5,85	3,04	3,29	1,60	0,1	20°	14° 38'	0,7	0,65	0,35
2,50		6,5	3,37	3,72	1,75			15° 20'	0,75		
2,75		7,15	3,71	4,11				15° 32'	0,80		
3,0		7,8	4,05	4,45	2,0	0,13		15° 03'	0,9	0,70	0,40
3,25		8,45	4,39	4,85	2,10			15° 20'	1,0		
3,50		9,10	4,72	5,24	2,25			15° 28'	1,05		
3,75		9,75	5,06	5,58	2,45	0,15		15° 15'	1,15	0,75	0,45
4,0		10,40	5,40	6,0	2,50			15° 37'	1,20		
4,25		11,05	5,74	6,40	2,60			15° 49'	1,30		
4,5		11,70	6,07	6,74	2,85	0,16		15° 31'	1,35	0,80	0,50
5,0		13,0	6,75	7,52	3,10			15° 43'	1,50		
5,5		14,3	7,42	8,26	3,45	0,18		15° 38'	1,65	1,0	0,55
6,0		15,6	8,10	9,08	3,55			16° 01'	1,8		
6,5		16,9	8,77	9,81	3,9	0,19		15° 55'	1,95	1,2	0,60
7,0		18,2	9,45	10,62	4,0			16° 12'	2,10		
8,0		20,8	10,8	12,14	4,5	0,20		16° 14'	2,40	1,4	0,65
9,0	23,4	12,15	13,66	5,15	0,24	16° 11'	2,70	1,6	0,70		
10,0	26,0	13,5	15,18	5,7	0,26	16° 13'	3,0	1,8	0,75		

13.32. Допуски и предельные отклонения параметров многозаходных червячных фрез

Параметр	Обозначение	Класс точности	Отклонения и допуски, мкм, при m_0 , мм			
			от 1 до 2	Св. 2 до 3,5	Св. 3,5 до 6	Св. 6 до 10
Параметры по ГОСТ 9324—80 Е	$f_d, f_g, f_t, f_{rda}, f_{\gamma}, f_{u0}, F_{p0}, f_{f0}, T_{S0}, f_{h10}, f_{h0}, f_{h30}, F_{p\gamma10}, F_{pb0}$	A B C D	По ГОСТ 9324—80Е			
Отклонение осевого шага между заходами (отклонение осевого шага между одномерными режущими кромками соседних зубьев, измеренное вдоль любой из стружечных канавок на длине, равной шагу захода)	f_{px0}	A B C D	± 8 ± 12 ± 20 ± 32	± 10 ± 16 ± 25 ± 40	± 12 ± 20 ± 32 ± 50	± 16 ± 25 ± 40 ± 63
Отклонение осевого шага захода	f_{pxz1}	A B C D	— ± 8 ± 12 ± 20	— ± 10 ± 16 ± 25	— ± 12 ± 20 ± 32	— ± 16 ± 25 ± 40
Примечание. В соответствии с ГОСТ 9324—80 Е контроль червячных фрез класса точности А производится только по 1-й или 2-й группе проверок, класса точности В и С — по 1, 2 и 3-й группам проверок, класса точности D — только по 3-й группе проверок						

Допускаемые предельные отклонения многозаходных червячных фрез регламентируются техническими требованиями для классов точности А, В, С (ГОСТ 9324—80 Е) за исключением предельных отклонений шага захода и шага между заходами, входящих в комплекс проверок многозаходных червячных фрез и приведенных в табл. 13.32.

В практике многозаходные червячные фрезы изготавливаются как цельной, так и сборной конструкций. Основные особенности сборных конструкций представлены ниже на примере сборных червячных фрез с поворотными рейками, нашедших наибольшее применение в промышленности.

Среди цельных конструкций следует отметить конструкцию обдирочно-чистовых многозаходных червячных фрез (рис. 13.22), изготавливаемых в диапазоне модулей 6—20 мм фирмой Клингельберг (ФРГ).

Данные фрезы изготавливаются с одним или двумя черновыми заходами и имеют одновременно по крайней мере один чистовой заход с окончательным профилем зуба.

Зубья отдельных черновых заходов могут выполняться с различной толщиной и высотой, оптимальной геометрией режущей части, снабжаться стружкоразделительными канавками по высоте зуба, что способствует значительному снижению сил резания, благоприятному разделению стружки и спокойной работе станка. Зубья черновых заходов обрабатывают зубья колеса начерно, а чистовой заход придает им заданный профиль.

Обязательным условием применения этих фрез является кратность числа заходов z_{10} числу зубьев обрабатываемого коле-

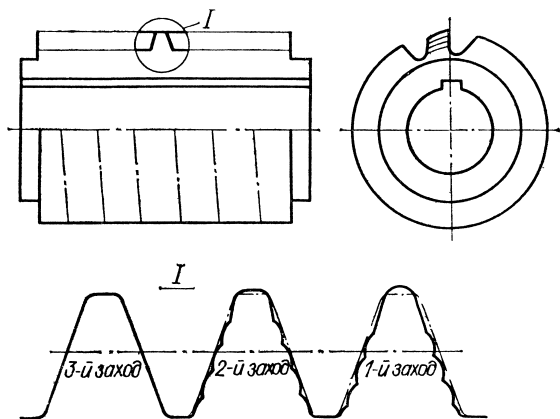


Рис. 13.22. Обдирочно-чистовая многозаходная червячная фреза

са z_1 , так как после каждого оборота будет обрабатываться новая впадина колеса и тем самым будет обеспечена последовательная обработка каждой впадины чистовым заходом.

Составные червячные фрезы. Являются переходным вариантом между цельной и сборной конструкциями, так как до операций финишной обработки вначале производится изготовление составных частей фрезы — корпуса, зубчатых реек, крышек, затем на определенной стадии механической обработки осуществляется соединение всех составных частей воедино, после чего фреза обрабатывается как монолитная конструкция и последующей разборке уже не подлежит. Основная задача подобных конструкций — обеспечить экономию быстрорежущей стали за счет использования ее только на изготовление режущих элементов — отдельных зубьев или зубчатых реек; корпус фрез выполняют обычно из конструкционной стали.

Существуют различные методы соединения режущих элементов с корпусом — сварка, пайка, склеивание.

Составные червячные фрезы сварной конструкции не нашли применения ввиду достаточно сложной технологии изготовления, низкого качества соединения сваркой детали из материалов с различными коэффициентами линейного расширения. Данным мето-

дом изготавливались только крупномодульные червячные фрезы невысокой точности.

Составные червячные фрезы паяной конструкции находят ограниченное применение. Соединение режущих элементов с корпусом производится в данном случае либо после закалки зубьев (реек) с помощью специальных припоев, имеющих температуру плавления ниже температуры начала структурных превращений быстрорежущей стали, либо непосредственно в процессе закалки.

В первом случае для пайки требуется очень дорогостоящий серебряный припой, технология соединения деталей и центрирования достаточно сложна, поэтому пайка низкотемпературными припоями не нашла применения.

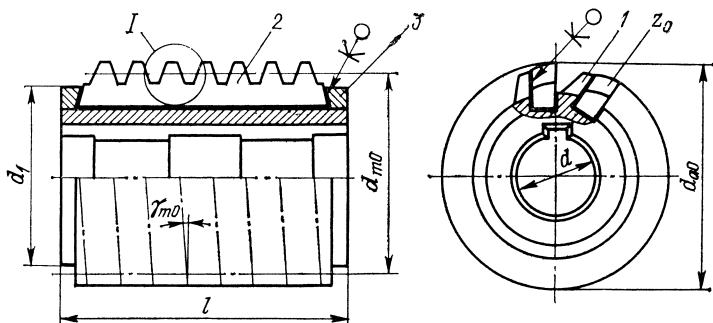


Рис. 13.23. Составная червячная фреза клееной конструкции

Во втором случае пайка в процессе термообработки (метод «пайзак») осуществляется при нагреве заготовок, представляющих собой уже собранную в единое целое фрезу, до температуры закалки быстрорежущей стали, т. е. до 1220—1260 °С. При этой температуре производится перегрев корпуса, изготовленного из конструкционной стали, возникают большие внутренние напряжения. Метод имеет ограниченное применение при изготовлении крупномодульных фрез.

Достаточно перспективным методом изготовления составного инструмента является склеивание с помощью термостойких клеев. На рис. 13.23 представлена конструкция составной червячной фрезы, у которой режущие элементы — зубчатые рейки — крепятся с помощью клея. Фреза состоит из корпуса 1, зубчатых реек 2 и опорных крышек 3.

Зубчатая рейка изготавливается из полосовой быстрорежущей стали, что обеспечивает наименьшую трудоемкость и высокую экономию быстрорежущей стали. Корпус крышки и зубчатые рейки перед склеиванием подвергаются окончательной термической обработке. Высокой точности обработки базовых поверхностей корпуса и реек производить под склеивание не требуется — вполне достаточную точность обеспечивает фрезерование. Пастообразный клей наносится по всему периметру базовых поверхностей. Зуб-

**13.33. Основные конструктивные размеры червячных фрез
клееной конструкции, мм**

m_0	d_{a0}	d	d_1	l	d_{m0}	γ_{m0}	z_0
1,5 1,75 2	70	27	54	54	66,25 65,625 65,0	1° 18' 1° 32' 1° 46'	12
2,25	80	32	62	61	74,375	1° 44'	12
2,5 2,75				68	73,75 73,125	1° 56' 2° 09'	
3 3,25 3,5	90	32	65	79	82,5 81,875 81,25	2° 05' 2° 16' 2° 28'	10
3,75 4	100	32	72	89	90,625 90	2° 22' 2° 33'	10
4,25				99	89,375	2° 44'	
4,5	112	40	82	100	100,75	2° 33'	10
5 5,5	118	40	84	114 126	105,5 104,25	2° 43' 3° 01'	10
6 6,5	125	40	86	126 132	110 108,75	3° 08' 3° 26'	10
7 8 9 10	140 150 160	40 50 50	92 96 100	139 146 163 185	122,5 120 127,5 135	3° 16' 3° 49' 4° 03' 4° 15'	9
11 12	180	50	110	200 220	152,5 150	4° 08' 4° 35'	

чатые рейки устанавливаются в пазы со взаимным центрированием, которое обеспечивается их одновременным базированием по торцевой конической поверхности одной из крышек. После этого одевается вторая крышка. Одним из рекомендуемых клеев может быть клей марки УП-5-207, для отверждения которого изделие выдерживается при $t = 150\text{—}170^\circ\text{C}$ в течение двух часов. В дальнейшем обработка фрез производится по технологии обычной цельной конструкции.

Основные конструктивные и расчетные размеры составной червячной фрезы, представленной на рис. 13.23, в диапазоне модулей 1,5—12 мм даны в табл. 13.33.

Данные фрезы на 25—30 % более трудоемки в изготовлении, чем стандартные монолитные фрезы, но обеспечивают от 50 до 70 % экономии быстрорежущей стали, могут изготавливаться любых классов точности по техническим требованиям ГОСТ 9324—80 Е.

Сборные червячные фрезы с поворотными зубчатыми рейками. Являются наиболее прогрессивным инструментом, так как в силу ряда своих конструктивных преимуществ обеспечивают наивысшую производительность обработки зубчатых колес зубофрезерованием в условиях их массового и крупносерийного производства. Основной особенностью червячных фрез данного типа является обработка профиля зубчатых реек не на затыловочных, а на резьбошлифовальных станках без затылующего движения при установке их в такое положение в специальных технологических или рабочих корпусах, когда вершинные поверхности зубьев располагаются на цилиндрической поверхности основного червяка,

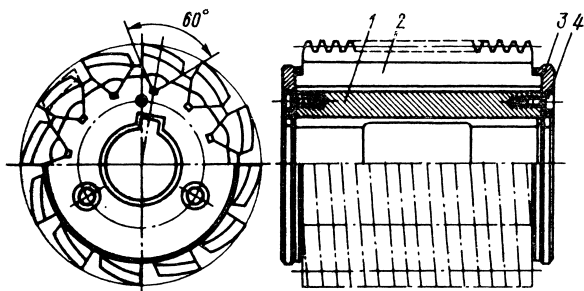


Рис. 13.24. Сборная червячная фреза с поворотными рейками фирмы «Сампутенсили»

а боковые — на винтовой. Таким образом, обработка профиля зубчатых реек осуществляется как обычной винтовой поверхности червяка, получившего название «технологический червяк». Подобная установка зубчатых реек позволяет обрабатывать их профиль на всей длине зуба с высокой производительностью и точностью. После окончания обработки профиля в технологическом положении (корпусе) зубчатые рейки переносятся в рабочий корпус, пазы которого служат для установки их под необходимым задним углом по вершине, и закрепляются различными средствами.

По сравнению с обычными затылованными червячные фрезы с поворотными рейками обеспечивают увеличение числа допустимых переточек в 2—2,5 раза, повышение производительности обработки на 30—40 % за счет лучшего качества металла, улучшенной геометрии (большие задние углы), высокого качества обработанных поверхностей зубьев.

Наибольшего распространения рассматриваемые фрезы получили в автомобильной отечественной промышленности и за рубежом. Существует большое разнообразие различных конструкций червячных фрез с поворотными рейками, наиболее распространенными из которых являются фрезы фирм «Сампутенсили» (*Samputensili*, Италия) — ВАЗ, «Клингельнберг» (*Klingelberg*, ФРГ) — КАМАЗ, «Заапор» (*Saazor*, ФРГ), представленные на рис. 13.24 и 13.25 [274, 275].

Данные фрезы изготавливаются в диапазоне модулей 0,5—12 мм нормальной и увеличенной длины с различным числом зубьев ($z_0 = 12 \div 17$) одно- и многозаходными классов точности А и В по техническим требованиям, например, ГОСТ 9324—80 Е или DIN 3968 (стандарт ФРГ). Следует отметить при этом необходимость обеспечения очень высоких требований к точности изготовления посадочных мест технологического и рабочего корпусов, самих реек, взаимного центрирования зубчатых реек, к надежности и стабильности их крепления.

Отличительной особенностью червячных фрез фирмы Сампунтенси (рис. 13.24) является наличие в корпусе 1 паза трапеце-

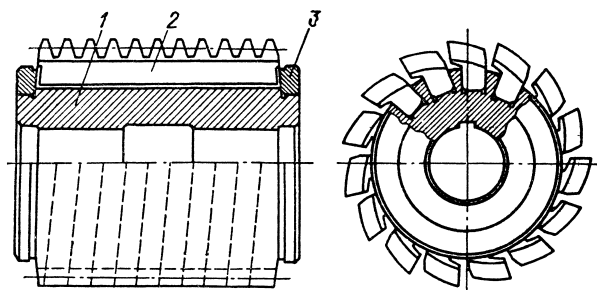


Рис. 13.25. Сборная червячная фреза с поворотными рейками фирм «Клингельберг» и «Заацор»

видной формы под зубчатые рейки 2. Боковые стороны паза смещены с оси корпуса, что позволяет использовать корпус в качестве рабочего, когда передняя поверхность совпадает с осевой плоскостью, а при повороте реек на 180° — в качестве технологического. С торцов зубчатые рейки крепятся крышками 3, которые, в свою очередь, закрепляются винтами 4. Недостатком конструкции является ее малая жесткость из-за свободного расположения зубчатых реек в корпусе и крепления их только с торцов.

Сборные червячные фрезы фирм Клингельберг и Заацор (рис. 13.25) принципиально не отличаются друг от друга. Характерной особенностью их является прямоугольная форма паза корпуса 1 и основания зубчатых реек 2. Зубчатые рейки устанавливаются в корпусе по глухой посадке, взаимно выставляются в осевом направлении и окончательно фиксируются крышками 3.

Предварительная и окончательная обработка профиля зубчатых реек у фрез данного типа производится в технологических корпусах со смещением паза на размер выбранного заднего угла по вершине зубьев. Фрезы этой конструкции отличаются высокой жесткостью, но сложностью в изготовлении и сборке и требуют высокую культуру производства.

На рис. 13.26 показана сборная червячная фреза с поворотными рейками конструкции ВНИИинструмента. Фреза состоит из корпуса 1, зубчатых реек 2, закрепляемых радиальными

клиньями 3 и крышками 4. Возможно также применение крепежных винтов для дополнительной фиксации крышек. Форма паза корпуса — неравнобочная трапеция, так как задняя опорная стенка паза расположена по отношению к передней стенке под углом $5-6^\circ$ для установки радиального клина. Применение радиального клина позволяет более надежно центрировать рейку на ее основании и обеспечивать быструю сборку — разборку конструкции, что является большим достоинством, так как в процессе изготовления фрезы требуется часто производить ее переборку.

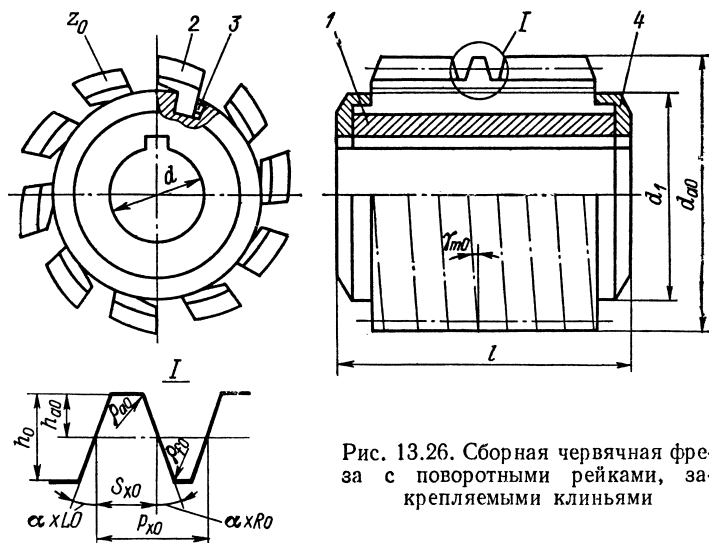


Рис. 13.26. Сборная червячная фреза с поворотными рейками, закрепляемыми клиньями

Обработка профиля реек производится в технологическом приспособлении, а сборка их в корпусе — с помощью специального приспособления, обеспечивающего точное взаимное центрирование.

Вопросы конструирования и расчета червячных фрез с поворотными рейками решены на примере фрез конструкции ВНИИинструмента. В табл. 13.34 приведены конструктивные и расчетные размеры профиля однозаходных червячных фрез модулей 1—6 мм, а в табл. 13.35 и 13.36 — многозаходных червячных фрез модулей 1—10 мм. В табл. 13.37 и 13.38 даны расчетные размеры профиля технологического червяка в осевом сечении одно- и многозаходных червячных фрез.

Конструированию червячных фрез с поворотными рейками должна предшествовать тщательная проработка по созданию новой или выбору уже имеющейся конструкции исходя из технологических возможностей ее изготовления. Так как обработка профиля зубчатых реек производится в определенном технологическом положении (в рабочем или технологическом корпусе), то при переносе их из одного положения в другое резко снижается достигнутая

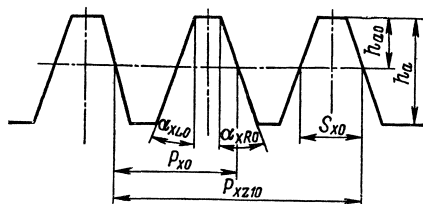
**13.34. Конструктивные и расчетные размеры профиля
однозаходных червячных фрез с поворотными рейками, мм**

m_0	d_{a0}	d	z_0	l	d_1	γ_{m0}	P_{x0}	S_{x0}	h_0	h_{a0}	ρ_{a0}	ρ_{f0}	
1,0 1,125 1,25 1,375	63	22	12	50	50	0° 58' 1° 05' 1° 13' 1° 21'	3,142 3,534 3,928 4,321	1,67 1,87 2,06 2,26	2,5 2,8 3,13 3,44	1,25 1,44 1,56 1,72	0,4 0,45 0,5 0,55	0,3 0,33 0,37 0,41	
1,5 1,75 2,0 2,27	75	27		70	58	1° 14' 1° 27' 1° 40' 1° 54'	4,713 5,5 6,286 7,072	2,47 2,86 3,25 3,64	3,75 4,38 5 5,63	1,88 2,19 2,5 2,81	0,6 0,7 0,8 0,9	0,45 0,52 0,6 0,67	
2,5 2,75 3,0	92	32		90	71	1° 42' 1° 53' 2° 05'	7,857 8,644 9,431	4,07 4,46 4,85	6,25 6,88 7,5	3,13 3,44 3,75	1,0 1,1 1,2	0,75 0,82 0,9	
3,25 3,5 3,75	112	40		100	85	1° 50' 1° 59' 2° 08'	10,215 11,00 11,789	5,25 5,64 6,03	8,13 8,75 9,38	4,06 4,38 4,69	1,3 1,4 1,5	0,97 1,05 1,12	
4,0 4,25 4,5	125			112	93	2° 02' 2° 10' 2° 19'	12,574 13,362 14,148	6,45 6,86 7,25	10 10,63 11,25	5 5,31 5,63	1,6 1,7 1,8	1,2 1,28 1,35	
5,0 5,5 6,0	140			10	125	99	2° 18' 2° 33' 2° 49'	15,721 17,296 18,872	8,03 8,82 9,64	12,5 13,75 15	6,25 6,88 7,5	2,0 2,2 2,4	1,5 1,65 1,8

**13.35. Конструктивные размеры многозаходных червячных фрез
с поворотными рейками, мм**

m_0	d_{a0}	d	l		z_0	z_{10}	m_0	d_{a0}	d	l		z_0	z_{10}					
			Исполнение							Исполнение								
			1	2						1	2							
1,0	90	32	140	170	16	2	3,25	125	40	140	170	12	2					
1,125						3							3,5	2	3			
						2										3,75	2	3
1,25						3							4,0	140	50			
1,375						2										4,25	2	3
1,5						3							4,5	2	3			
1,75					2	5,0	150	2	3									
2,0					3					6,5	160		2	3				
2,25					2	7,0	170	2	3									
2,50					3					8,0	180		60	190	220	2		
2,75					2	9,0	190	2	3									
3,0					3					10,0	10		2					

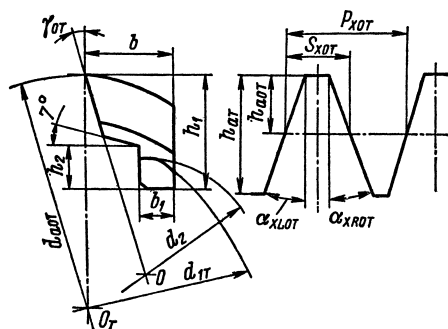
13.36. Размеры профиля зубчатой рейки рабочего червяка
многозаходных фрез в осевом сечении, мм



m_0	d_{m0}	P_{x0}	P_{xz10}	S_{x0}	h_a	h_{a0}	$\alpha_{xL0} = \alpha_{xR0}$
1	87,3	3,143 3,143	6,285 9,430	1,620 1,621	2,6	1,35	18° 40' 15" 18° 40' 57"
1,125	86,96	3,536 3,537	7,071 10,611	1,821 1,821	2,92	1,52	18° 40' 19" 18° 40' 48"
1,25	86,62	3,929 3,931	7,857 11,792	2,021 2,022	3,25	1,69	18° 40' 26" 18° 40' 59"
1,375	86,28	4,322 4,325	8,644 12,974	2,221 2,222	3,57	1,86	18° 40' 30" 18° 41' 10"
1,5	85,96	4,715 4,719	9,430 14,157	2,421 2,423	3,90	2,02	19° 00' 40" 19° 01' 26"
1,75	85,28	5,503 5,508	11,005 16,525	2,822 2,825	4,55	2,36	19° 00' 54" 19° 01' 59"
2	84,6	6,290 6,299	12,580 18,897	3,184 3,188	5,20	2,70	20° 01' 16" 20° 02' 46"
2,25	93,92	7,077 7,087	14,153 21,261	3,584 3,589	5,85	3,04	20° 01' 16" 20° 02' 53"
2,5	93,26	7,866 7,880	15,731 23,639	3,986 3,993	6,50	3,37	20° 01' 34" 20° 03' 36"
2,75	110,58	8,650 8,664	17,300 25,991	4,375 4,382	7,15	3,71	20° 01' 23" 20° 03' 04"

m_0	d_{m0}	P_{x0}	P_{xz10}	S_{x0}	h_a	h_{a0}	$\alpha_{xL0} = \alpha_{xR0}$
3	109,9	9,439 9,457	18,878 28,370	4,767 4,776	7,80	4,05	20° 01' 37" 20° 03' 43"
3,25	116,22	10,226 10,246	20,452 30,739	5,168 5,168	8,45	4,39	20° 01' 44" 20° 03' 54"
3,5	115,56	11,016 11,041	22,032 33,124	5,580 5,593	9,10	4,72	20° 02' 02" 20° 04' 34"
3,75	114,88	11,806 11,838	23,612 35,514	5,953 5,969	9,75	5,06	20° 02' 20" 20° 05' 20"
4	129,2	12,591 12,621	25,181 37,863	6,352 6,367	10,40	5,40	20° 02' 06" 20° 04' 48"
4,25	128,52	13,381 13,418	26,762 40,254	6,755 6,773	11,05	5,74	20° 02' 24" 20° 05' 28"
4,5	127,86	14,173 14,217	28,345 42,650	7,148 7,170	11,70	6,07	20° 02' 46" 20° 06' 11"
5	126,5	15,757 15,820	31,514 47,459	7,935 7,966	13,00	6,75	20° 03' 29" 20° 07' 52"
5,5	135,16	17,336	34,672	8,729	14,30	7,42	20° 03' 40"
6	133,8	18,926	37,852	9,538	15,60	8,10	20° 04' 26"
6,5	142,46	20,506	41,012	10,333	16,90	8,77	20° 04' 37"
7	151,1	22,086	44,172	11,128	18,20	9,45	20° 04' 44"
8	158,4	25,262	50,524	12,715	20,80	10,80	20° 05' 42"
9	165,7	28,443	56,885	14,315	23,40	12,15	20° 06' 32"
10	163	31,655	63,310	15,930	26,00	13,50	20° 08' 24"

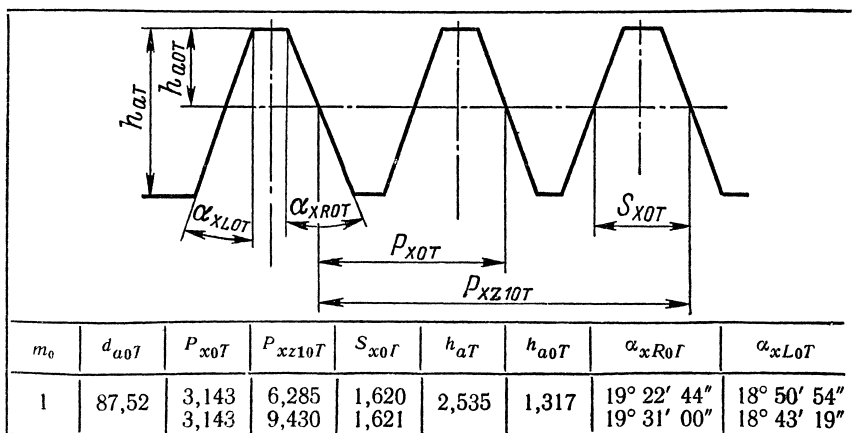
13.37. Конструктивные и расчетные размеры профиля зубчатой рейки технологического червяка червячной фрезы с поворотными рейками, мм



m_0	z_0	d_{a0T}	b	b_1	h_1	h_2	ρ_1	γ_{0T}	f	d_2
1,0 1,125 1,25 1,375	12	64	11	5	13	6	0,4	15	1,0	45
1,5 1,75 2,0 2,25		76	13	6	14,5	6,5	0,5			52
2,5 2,75 3,0		93	16	8	18,5	9	0,6		1,6	62
3,25 3,5 3,75		113	19	9	22	10				77
4,0 4,25 4,5		126	21,5	10	25	11	1,0			84
5,0 5,5 6,0	10	141	27	12	30,5	13		18	88	

m_0	d_{1T}	P_{x0T}	S_{x0T}	h_{aT}	h_{a0T}	α_{xL0T}	α_{xR0T}
1,0 1,125 1,25 1,375	50	3,142 3,534 3,928 4,321	1,67 1,87 2,06 2,26	2,44 2,73 3,05 3,36	1,22 1,4 1,52 1,68	20° 16' 20° 16' 20° 15' 20° 11'	20° 38' 20° 41' 20° 42' 20° 41'
1,5 1,75 2,0 2,25	58	4,713 5,5 6,286 7,072	2,47 2,86 3,25 3,64	3,66 4,27 4,87 5,48	1,83 2,14 2,44 2,74	20° 13' 20° 11' 20° 10' 20° 08'	20° 41' 20° 45' 20° 49' 20° 52'
2,5 2,75 3,0	69	7,857 8,644 9,431	4,07 4,46 4,85	6,09 6,70 7,30	3,05 3,35 3,65	20° 09' 20° 07' 20° 05'	20° 49' 20° 51' 20° 54'
3,25 3,5 3,75	85	10,215 11,00 11,789	5,25 5,64 6,03	7,92 8,52 9,14	3,96 4,26 4,57	20° 07' 20° 06' 20° 04'	20° 50' 20° 53' 20° 55'
4,0 4,25 4,5	93	12,574 13,362 14,148	6,45 6,86 7,25	9,74 10,35 10,95	4,87 5,17 5,48	20° 05' 20° 04' 20° 02'	20° 53' 20° 56' 20° 58'
5,0 5,5 6,0	100	15,721 17,296 18,872	8,03 8,82 9,64	12,17 13,38 14,59	6,08 6,69 7,30	20° 02' 19° 59' 19° 56'	20° 57' 21° 02' 21° 05'

13.38. Размеры профиля технологического червяка в осевом сечении для многозаходных червячных фрез с поворотными рейками, мм



m_0	d_{a07}	P_{x07}	P_{xz107}	S_{x07}	h_{a7}	h_{a07}	α_{xR07}	α_{xL07}
1,125	87,19	3,536 3,537	7,071 10,611	1,821 1,821	2,851	1,482	19° 25' 04" 19° 34' 32"	18° 49' 04" 18° 40' 30"
1,25	86,86	3,929 3,931	7,857 11,792	2,021 2,022	3,167	1,646	19° 27' 30" 19° 39' 10"	18° 47' 13" 18° 38' 46"
1,375	86,52	4,322 4,325	8,644 12,974	2,221 2,222	3,483	1,810	19° 30' 08" 19° 41' 40"	18° 45' 32" 18° 34' 44"
1,5	86,21	4,715 4,719	9,430 14,157	2,421 2,423	3,799	1,975	19° 52' 48" 20° 05' 56"	19° 04' 01" 18° 52' 42"
1,75	85,55	5,503 5,508	11,005 16,525	2,822 2,825	4,430	2,303	19° 57' 48" 20° 13' 15"	19° 00' 00" 18° 46' 38"
2	84,89	6,290 6,299	12,580 18,897	3,183 3,188	5,061	2,632	21° 03' 26" 21° 54' 46"	19° 57' 57" 19° 42' 55"
2,25	94,45	7,077 7,087	14,153 21,261	3,584 3,589	5,654	2,942	21° 14' 50" 21° 35' 46"	20° 01' 11" 19° 43' 59"
2,5	93,80	7,866 7,880	15,731 23,639	3,986 3,993	6,279	3,267	21° 20' 54" 21° 44' 23"	19° 57' 24" 19° 41' 08"
2,75	111,21	8,650 8,664	17,300 25,991	4,375 4,382	6,909	3,595	21° 17' 21" 21° 38' 17"	19° 59' 58" 19° 42' 01"
3	110,56	9,439 9,457	18,878 28,370	4,767 4,776	7,534	3,921	21° 21' 55" 21° 45' 11"	19° 56' 36" 19° 37' 08"
3,25	116,93	10,226 10,246	20,452 30,739	5,168 5,178	8,161	4,248	21° 23' 10" 21° 47' 04"	19° 55' 45" 19° 57' 35"
3,5	116,28	11,016 11,041	22,032 33,134	5,580 5,593	8,785	4,573	21° 27' 39" 21° 53' 49"	19° 52' 33" 19° 30' 55"
3,75	115,18	11,806 11,838	23,612 35,514	5,953 5,968	9,403	4,899	21° 35' 16" 22° 04' 45"	19° 48' 43" 19° 24' 36"
4	129,52	12,591 12,621	25,181 37,863	6,352 6,367	10,038	5,226	21° 31' 33" 21° 59' 12"	19° 51' 08" 19° 28' 20"
4,25	128,87	13,381 13,418	26,762 40,254	6,755 6,773	10,661	5,552	21° 35' 55" 22° 05' 46"	19° 48' 08" 19° 23' 46"
4,5	128,22	14,173 14,217	28,345 42,650	7,148 7,170	11,284	5,878	21° 40' 31" 22° 12' 38"	19° 45' 05" 19° 19' 04"
5	126,92	15,757 15,820	31,514 47,459	7,935 7,966	12,528	6,528	21° 49' 45" 22° 26' 40"	19° 38' 49" 19° 09' 43"
5,5	135,61	17,336	34,672	8,729	13,777	7,181	21° 51' 17"	19° 36' 09"
6	134,31	18,926	37,852	9,538	15,018	7,831	22° 01' 19"	19° 31' 00"
6,5	143	20,506	41,012	10,332	16,267	8,489	22° 10' 15"	19° 40' 00"
7	152,18	22,086	44,172	11,127	17,416	9,089	22° 16' 26"	19° 28' 36"
8	159,62	25,262	50,524	12,714	19,885	10,383	22° 02' 19"	18° 57' 18"
9	167,05	28,443	56,885	14,313	22,350	11,677	22° 35' 37"	19° 17' 02"
10	164,11	31,655	63,310	15,929	24,791	12,966	22° 53' 47"	19° 05' 21"

при финишной обработке точность. Это требует значительного ужесточения норм точности изготовления всех элементов конструкции рабочего и технологического корпусов, зубчатых реек. Прежде всего это касается установочных баз корпусов и реек, у которых, например, радиальное биение и непараллельность основания паза корпуса осевой плоскости, неплоскостность и непрямолинейность базовых поверхностей зубчатых реек не должны превышать 0,003 мм. Без соблюдения столь высоких требований к точности изготовления отдельных элементов конструкции невозможно обеспечить ее точную сборку и те требования, которые регламентируются техническими условиями на червячные фрезы. Поэтому при создании подобной конструкции следует прежде всего исходить из технологических возможностей конкретного производства.

Так как достижение требуемой точности профиля зубчатых реек осуществляется в их технологическом положении, когда боковые поверхности зубьев располагаются на винтовой поверхности с шагом основного червяка фрезы, главным вопросом конструирования червячных фрез с поворотными рейками является определение осевого сечения технологического червяка, обеспечивающего заданные размеры зубчатой рейки по передней поверхности. Производится данный расчет после выбора и расчета всех основных конструктивных и расчетных элементов сборной червячной фрезы. Подход к их расчету остается тот же, что и при конструировании обычных цельных червячных фрез, за исключением необходимости производить более детальную конструкторскую проработку отдельных составных частей фрезы.

Ниже излагается методика расчета профиля осевого сечения технологического червяка по заданному профилю передней поверхности зубчатой рейки фрезы. Практическое применение данной методики представлено в табл. 13.37 и 13.38, где приведены расчетные размеры технологических червяков одно- и многозаходных фрез. Следует также отметить, что все червячные фрезы с поворотными зубчатыми рейками изготавливаются на базе основного архимедова червяка — с прямыми осевыми стружечными канавками.

Так как профиль осевого сечения технологического червяка является криволинейным, теоретически необходимо изготавливать его по точкам, координаты которых рассчитывают. Однако из-за больших технологических трудностей изготовления и, главным образом, контроля теоретический профиль заменяют прямой линией, проходящей через две крайние точки профиля, расположенные на определенном расстоянии от вершины зуба. Как показала практика, подобная замена вполне допустима и обеспечивает точность изготовления фрез по элементам профиля классов А и В. В случае необходимости и технологических возможностей (требуемой высокой точности изготовления, фасонного профиля инструмента и изделия) число расчетных точек может быть увеличено до n . Задаваясь ими через определенные интервалы (например,

Тогда имеем:

$$Y_1 = h_0 - h_1; \quad X_1 = \frac{S_{x0}}{2} - (h_{a0} - h_1) \operatorname{tg} \alpha_{x0};$$

$$Y_2 = h_0 - h_2; \quad X_2 = \frac{S_{x0}}{2} - (h_2 - h_{a0}) \operatorname{tg} \alpha_{x0}.$$

Расчет координат и угла профиля в осевом сечении технологического червяка (рис. 13.29). Находят ординаты точек 1 и 2:

$$Y_{nf} = R_{a0T} \cos \alpha_a - h_0; \quad Y_{n1} = Y_{nf} + Y_1; \quad Y_{n2} = Y_{nf} + Y_2.$$

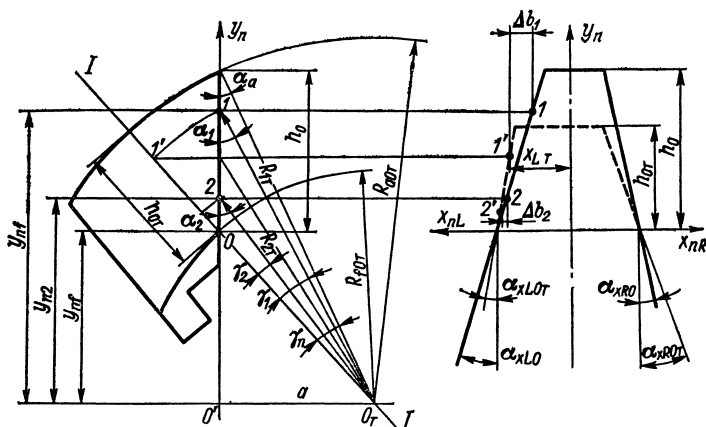


Рис. 13.29. Схема осевого сечения технологического червяка

Определяют расчетные углы точек 1 и 2:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = a/Y_{n1}; \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = a/Y_{n2}; \quad \sin \gamma_1 = \frac{Y_1 \sin \alpha_1}{R_{f0T}}; \quad \sin \gamma_2 = \frac{Y_2 \sin \alpha_2}{R_{f0T}};$$

$$\Delta b = \frac{P_{x0} Y_n}{360^\circ}; \quad \Delta b_1 = \frac{P_{x0} \gamma_1}{360^\circ}; \quad \Delta b_2 = \frac{P_{x0} \gamma_2}{360^\circ}.$$

Отсюда радиусы-векторы точек 1 и 2 на червяке будут:

$$R_{1T} = Y_{n1}/\cos \alpha_1; \quad R_{2T} = Y_{n2}/\cos \alpha_2.$$

Высотные размеры точек 1 и 2 равны:

$$h_{1T} = R_{1T} - R_{f0T}; \quad h_{2T} = R_{2T} - R_{f0T}.$$

Определяют абсциссы точек 1 и 2 на правой и левой сторонах профиля червяка:

$$X_{R1T} = X_1 - \Delta b_1; \quad X_{L1T} = X_1 + \Delta b_1;$$

$$X_{R2T} = X_2 - \Delta b_2; \quad X_{L2T} = X_2 + \Delta b_2.$$

Находят разность абсцисс и расстояние по высоте между точками 1 и 2 профиля технологического червяка:

$$b_R = X_{R2T} - X_{R1T}; \quad b_L = X_{L2T} - X_{L1T}; \quad \Delta h_T = h_{1T} - h_{2T}.$$

Угол профиля технологического червяка в осевом сечении:

$$\operatorname{tg} \alpha_{xR0T} = b_R / \Delta h_T, \quad \operatorname{tg} \alpha_{xL0T} = b_L / \Delta h_T.$$

Червячные фрезы с поворотными рейками могут быть спроектированы и для нарезания различных зубчатых изделий с неэвольвентным профилем — шлицевых валов, звездочек цепных передач. Методика расчета может быть использована та же, но в этом случае необходимо задать большее число расчетных точек и определить их координаты на червяке.

Червячные фрезы с новыми схемами резания. Вопросы повышения стойкости и производительности обработки зубчатых колес всегда непосредственно связаны с вопросами совершенствования конструкций инструмента, поэтому в этой области постоянно ведутся исследования, имеющие своей целью способствовать повышению эффективности процесса зубофрезерования. Одним из путей в этом направлении является нахождение оптимальных схем резания на основе изучения механизма загрузки и износа червячных фрез.

Известно, что износ зубьев стандартных червячных фрез происходит как по передней, так и по задней поверхностям. На передней поверхности вдоль режущих кромок образуются лунки различных размеров. Максимальная лунка обычно располагается вблизи вершины зуба. Износ задних поверхностей зубьев происходит неравномерно. В наибольшей степени прогрессирует износ на вершинной режущей кромке у уголков зубьев. Максимальный износ обычно имеет задняя поверхность на участке выходной режущей кромки, прилегающей к уголку, что объясняется отклонением отходящей стружки, срезаемой входной и вершинной режущей кромками в сторону выходной режущей кромки. На основе этого можно сделать следующие выводы относительно механизма возрастания износа по уголкам.

1. Причиной образования износа по уголкам является торможение свободного схода стружки при образовании трехэлементных стружек.

2. Взаимодействие стружек, снимаемых одновременно вершинной и двумя боковыми режущими кромками зуба фрезы, создает состояние, при котором сход стружки затормаживается у уголка.

3. Возрастание износа по уголкам в большей мере усиливается дроблением отделившегося нароста между обрабатываемой поверхностью зуба колеса и боковой задней поверхностью зуба фрезы.

Отсюда эффективными мероприятиями по снижению износа червячных фрез являются следующие.

1. Исключение взаимодействия стружек, снимаемых вершинной и боковыми режущими кромками.

2. Исключение взаимодействия соответствующих усилий резания.

3. Обеспечение снятия стружек преимущественно простой формы.

В практике данные мероприятия реализуются за счет изменения схемы резания стандартных червячных фрез, в связи с чем находят применение нижеследующие модификации профиля зубьев инструмента.

Прогрессивной является схема (рис. 13.30, а), сущность которой заключается в выполнении, например, четных зубьев 1 фрезы с уменьшенной высотой, но с номинальной толщиной зуба, а нечетных зубьев 2 — с номинальной высотой и уменьшенной толщиной зуба. Четные и нечетные зубья чередуются вдоль винтовой линии нарезки, а занижение по высоте или заужение по толщине зуба не должно быть более максимальной толщины слоя, снимаемого соответствующей режущей кромкой, и составляет примерно

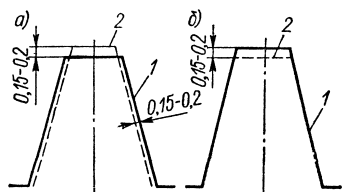


Рис. 13.30. Червячная фреза с новой схемой резания: а — прогрессивная схема, б — вершиннонагруженная схема

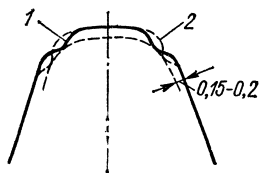


Рис. 13.31. Прогрессивная схема со стружко-раздельными канавками на вершине зуба

0,15—0,2 мм. Подобная схема позволяет избежать взаимодействия стружек, одновременно снимаемых тремя режущими кромками фрезы, но недостатком ее является то, что эвольвентный профиль колеса образуется только зубьями с номинальной толщиной, в результате чего снижается точность обработки.

Схема резания (рис. 13.30, б) предусматривает выполнение всех четных 1 и нечетных 2 зубьев с номинальной толщиной, но при этом все четные или нечетные зубья изготавливаются с уменьшенной высотой, что способствует более благоприятным условиям зубообработки.

Червячные фрезы со стружкоразделительными на вершине зуба полукруглыми канавками, смещенными по фазе на 90° у следующих друг за другом по винтовой линии четных 1 и нечетных 2 зубьев, обеспечивают исключение из взаимодействия стружек, снимаемых вершинной и двумя боковыми режущими кромками (рис. 13.31). Стружка в этом случае делится на три части. Все зубья фрезы имеют одинаковую номинальную толщину и высоту.

Подобная модификация профиля зубьев является наиболее благоприятной, может применяться у червячных фрез из быстрорежущей стали и твердого сплава и у зуборезных долбяков.

Для предварительного зубофрезерования зубчатых колес крупных модулей (свыше 8 мм) могут применяться червячные фрезы с волнистым профилем всей режущей кромки. Модификация профиля в данном случае представляет собой волнистую режущую

кромку у следующих один за другим по винтовой линии нарезки зубьев, смещенную по фазе на 90° через один зуб и касающуюся номинального теоретического профиля зуба 1 (рис. 13.32).

Имеет место применение и многозаходных (двух-, трехзаходных) червячных фрез, у которых зубья, например, первого или

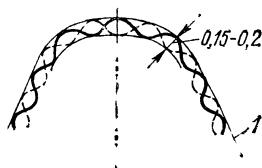


Рис. 13.32. Прогрессивная схема в виде волнистого профиля зуба

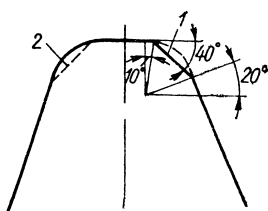


Рис. 13.33. Прогрессивная схема со стружкоразделительными фасками на вершине зуба

первого и второго заходов выполнены с волнистым профилем для предварительной обработки профиля зубчатого колеса, а зубья последнего (второго или третьего) захода имеют номинальный стандартный профиль для окончательной обработки. Непременным условием в данном случае является обеспечение некратности

числа заходов фрезы числу зубьев нарезаемого колеса.

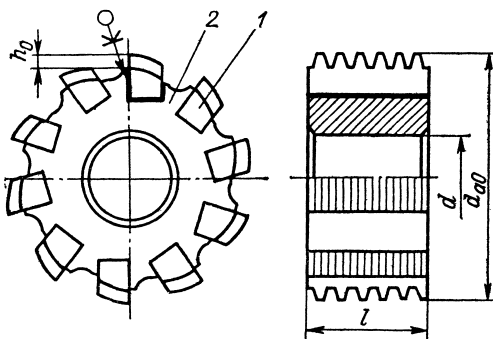


Рис. 13.34. Твердосплавная мелко модульная червячная фреза клееной конструкции

Просты в изготовлении и эффективны в эксплуатации червячные фрезы, модификация профиля зубьев которых состоит в снятии стружкоразделительной фаски под углом 40° к вершинной режущей кромке попеременно с одной стороны — правой 1 или левой 2 — у следующих друг за другом по винтовой линии

зубьев (рис. 13.33). Данные фрезы обеспечивают разделение стружки на две части, тем самым повышая стойкость инструмента. В отношении применяемых форм модификации профиля зубьев червячных фрез, обеспечивающих новую схему резания, нельзя ожидать значительного повышения (в 3—4 раза) стойкости, так как основной причиной любого износа инструмента остается воздействие повышенных температур и усилий резания.

Твердосплавные червячные фрезы. Применяются как цельные, так и сборные конструкции твердосплавных червячных фрез.

Цельные конструкции изготавливают в диапазоне модулей 0,1—2,5 мм с наружными диаметрами $d_{a0} = 25 \div 70$ мм длиной до 90 мм и числом реек 10—12. Особых конструктивных особенностей они не имеют.

В целях экономии твердого сплава в основном применяются твердосплавные червячные фрезы составной и сборной конструкции. В диапазоне модулей 0,1—0,9 мм изготавливаются червячные фрезы составной клееной или паяной конструкции (рис. 13.34) с креплением твердосплавных пластин прямоугольного сечения 1 в пазах корпуса 2 аналогичного профиля соответственно с помощью термостойкого клея (марка УП-5-207) или припоя. Необ-

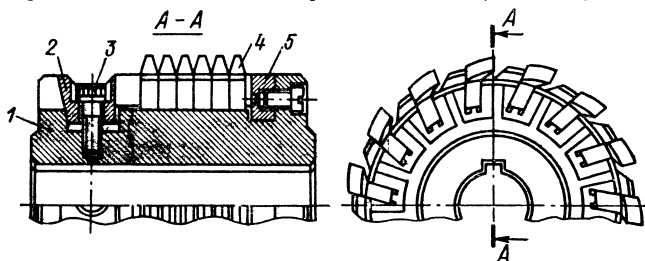


Рис. 13.35. Червячная фреза с твердосплавными затылованными зубьями

ходимый профиль зубьев получают после закрепления пластин путем его вышлифовывания алмазными кругами. Некоторые зарубежные фирмы изготавливают также сборные червячные фрезы с поворотными твердосплавными зубчатыми рейками в диапазоне модулей 1—3,5 мм. Конструкция данных фрез ничем не отличается от обычных конструкций того же типа с рейками из быстрорежущей стали, но применяются они для обработки только закаленных зубчатых колес.

Изготовление цельных твердосплавных и сборных фрез с рейками из твердого сплава связано с технологическими трудностями получения качественных заготовок твердого сплава больших размеров, поэтому на практике применяется ряд конструкций с отдельными острозаточенными или затылованными твердосплавными зубьями. На рис. 13.35 показана сборная червячная фреза с затылованными зубьями. Фреза состоит из корпуса 1, клиновых сухарей 2, зажимных винтов 3, зубьев 4 с припаянной пластиной твердого сплава, опорного сухаря 5. Ширина опорной части паяного зуба равна осевому шагу фрезы $P_{x0} \pm 0,003$ мм. Каждая зубчатая рейка фрезы собирается из нескольких отдельных зубьев, закрепляемых в пазу с помощью клинового сухаря 2, а взаимное смещение зубьев по винтовой линии обеспечивается с помощью опорного сухаря 5, имеющего напротив каждого паза выступы различной длины, отличающиеся друг от друга на величину P_{x0}/z_0 . Зубья фрез данной конструкции окончательно обрабатываются

по профилю (затылованный профиль) в самом корпусе после сборки на затыловочных станках. Они могут также обрабатываться вне корпуса в специальных приспособлениях на кругло- или плоскошлифовальных станках (острозаточенный профиль). В первом случае переточка фрез осуществляется по передней поверхности, во втором — по задней поверхности (всему профилю). Преимуществом фрез этого типа является возможность замены отдельных зубьев в случае выкрашивания на них твердого сплава. К недо-

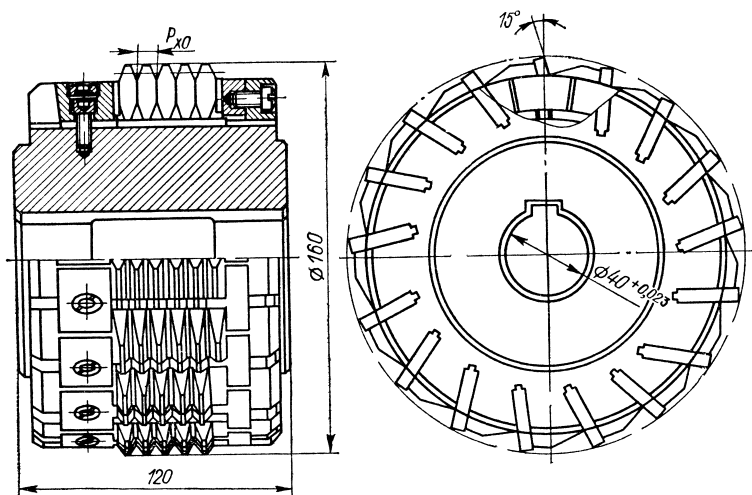


Рис. 13.36. Червячная фреза с поворотными твердосплавными пластинами

статкам следует отнести очень высокую трудоемкость изготовления и сложность обслуживания при эксплуатации

На рис. 13.36 показана червячная фреза с поворотными неперетачиваемыми твердосплавными пластинами; профиль зубьев этих фрез — острозаточенный. Конструктивно фреза ничем не отличается от фрез конструкции, показанной на рис. 13.35. Фрезы изготавливаются в диапазоне модулей 1,5—4,0 мм и применяются при получистовой обработке стальных зубчатых колес с ≤ 300 НВ под шевингование или шлифование. Пластины имеют ромбовидную форму, которая позволяет четырехкратно использовать ее без перетачивания. Ширина пластины также равна осевому шагу фрезы P_{x0} . На дне паза пластины опираются на твердосплавные базовые вставки.

При обработке закаленных до твердости 48—62 HRC_a зубчатых колес модулей более 4 мм находят применение твердосплавные червячные фрезы, передняя поверхность зубьев которых выполнена под большим отрицательным углом: $\gamma_{a0} = (-10) \div (30)^\circ$. Подобное выполнение передней поверхности способствует достижению значительных углов наклона режущих кромок λ , что ока-

зывает большое влияние на процесс резания. Данные фрезы применяются для полустачевой под шлифование или чистовой обработки. Припуск под обработку составляет не более 0,2—0,25 мм. Режимы резания: $v = 75\text{—}100$ м/мин, осевая подача $S = 1,5\text{—}2,5$ мм/об.

Фрезы конструируют обычно с увеличенным наружным диаметром для размещения большого числа зубьев, с торцевой шпонкой и максимально возможным диаметром посадочного отверстия для повышения жесткости. Толщина режущих пластин составляет 6—8 мм. Крепление пластин осуществляется с помощью пайки или

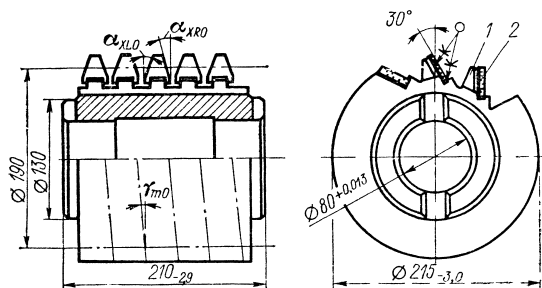


Рис. 13.37. Твердосплавная червячная фреза для обработки закаленных зубчатых колес

клея (марка УП-5-207). Типовая конструкция фрезы модуля 10 мм показана на рис. 13.37. Она состоит из корпуса 1, к зубьям которого прикрепляются режущие пластины 2. Пластины устанавливаются под углом $\gamma_{a0} = -30^\circ$. Профиль зуба фрез выполняется затылованным. Для увеличения задних боковых углов целесообразно дополнительное затылование под углом 10° .

Точность изготовления фрез зависит от имеющегося оборудования и может быть такой, как у обычных цельных червячных фрез классов точности АА, А, В (ГОСТ 9324—80Е). Расчет основных конструктивных размеров и размеров профиля зубьев производится по аналогии с обычными червячными фрезами, принимая во внимание отдельные особенности процесса работы фрез, о которых было сказано выше. Исключение составляет расчет отдельных элементов профиля: α_{xR0} и α_{xL0} , методика которого и пример расчета представлены в табл. 13.39. Изготовление червячных фрез с отрицательными передними углами затруднено. Выкрашивание какого-либо зуба приводит к выходу фрезы из строя, поэтому необходимо тщательно следить за их эксплуатацией.

На рис. 13.38 показана другая конструкция инструмента, применяемая для обработки закаленных до 48—56 HRC₀ зубчатых колес модулей 10—20 мм. Конструкция, названная двухлезвийной резцовой головкой, является более простой в изготовлении и эксплуатации, чем червячная фреза аналогичного применения. Резцовая головка состоит из корпуса 1, двух резцов 2 и 3, раз-

13.39. Методика расчета элементов профиля зуба червячной фрезы с отрицательным передним углом

Параметр	Обозначение параметра	Единица	Расчетные формулы и пример расчета
Исходные расчетные параметры	m_0 α_{n0} d_{a0} d_{m0} γ_{m0} z_0 z_1 P_z P_{n0} P_{xc} γ_0	мм град. мм мм град. — — мм мм мм град.	6 20° 150 136,115 $2^\circ 31' 35''$ 12 1 ∞ 18,850 18,868 —30
Высота зуба в осевом сечении	h_0	мм	$h_0 = 2,5m_0 = 6 \cdot 2,5 = 15$
Радиус окружности фрезы	R_{f0}	мм	$R_{f0} = R_{a0} - h_0 = 75 - 15 = 60$
Передний угол на окружности ножек зубьев	γ_{f0}	град.	$\sin \gamma_{f0} = \frac{R_{a0} \sin \gamma_0}{R_{f0}} = \frac{75 \cdot (-0,5)}{60} =$ $= -0,625$ $\gamma_{f0} = 38,68217^\circ$
Высота зуба фрезы по передней поверхности	h_{γ_0}	мм	$h_{\gamma_0} = \frac{R_{f0} \sin (\gamma_{f0} - \gamma_0)}{\sin \gamma_0} =$ $= \frac{60 \sin (-8,68217^\circ)}{\sin (-30^\circ)} =$ $= 120 \cdot 0,150953 = 18,1144$
Смещение по задней поверхности	b	мм	$b = \frac{P_{x0} (\gamma_{f0} - \gamma_0)}{360^\circ} =$ $= \frac{18,868 (-38,682187^\circ + 30^\circ)}{360^\circ} =$ $= -0,455043$
Угол профиля зуба фрезы в осевом сечении	α_{x0}	град.	$\operatorname{tg} \alpha_{x0} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{n0}}{\cos \gamma_{m0}} = \frac{\operatorname{tg} 20^\circ}{\cos 2^\circ 31' 35''} =$ $= 0,364324;$ $\alpha_{x0} = 20,0179139^\circ$

Параметр	Обозначение параметра	Единица	Расчетные формулы и пример расчета
Угол профиля зуба фрезы по передней поверхности: левый	α_{xL0}	град.	$\operatorname{tg} \alpha_{xL0} = \frac{h_0 \operatorname{tg} \alpha_{x0} + b}{h_{\gamma 0}} =$ $= \frac{15 \cdot 0,364324 + (-0,455043)}{18,1144} =$ $= 0,276565; \alpha_{xL0} = 15^\circ 27' 35''$
правый	α_{xR0}	град.	$\operatorname{tg} \alpha_{xR0} = \frac{h_0 \operatorname{tg} \alpha_{x0} - b}{h_{\gamma 0}} =$ $= \frac{15 \cdot 0,364324 - (-0,455043)}{18,1144} =$ $= 0,326806; \alpha_{xR0} = 18^\circ 05' 52''$

личных элементов крепления и регулировки для установки резцов. Резцовая головка работает методом огибания. Режущие кромки резцов выполняются прямолинейными и за счет определенной взаимной установки, определяемой специальным расчетом, обеспечивают необходимую точность профилирования колеса.

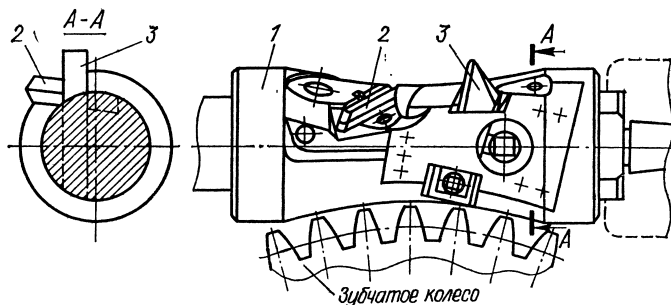


Рис. 13.38. Двухлезвийная резцовая головка

Угол наклона режущих кромок и нормали вектора скорости устанавливается от -40° до -60° . Режимы резания: $v = 60 \div 80$ м/мин, $S = 2 \div 3$ мм/об., глубина резания $t = 0,2 \div 0,5$ мм. Головка из-за простоты конструкции резцов очень надежна и удобна в эксплуатации.

Червячные фрезы для нарезания колес передач Новикова. Являются наиболее распространенным инструментом для нарезания колес зацепления Новикова. Проектирование указанных червячных фрез аналогично проектированию червячных фрез для цилиндрических колес эвольвентного зацепления. За основу проектирования принимается исходный контур передачи Новикова,

размеры которого устанавливаются в нормальном сечении профиля зубьев червячной фрезы

На практике получили распространение цельные конструкции червячных фрез в диапазоне модулей 1,6—16 мм (ГОСТ 16771—81). Основные конструктивные и расчетные размеры чистовых червячных фрез для нарезания колес зацепления Новикова модулей 1,6—10 мм приведены на рис. 13.39 и в табл. 13.40, а расчетные размеры профиля зубьев в нормальном сечении (ГОСТ 16771—81) даны в табл. 13.41.

Червячные фрезы зацепления Новикова изготавливаются из тех же марок быстрорежущих сталей, что и обычные червячные

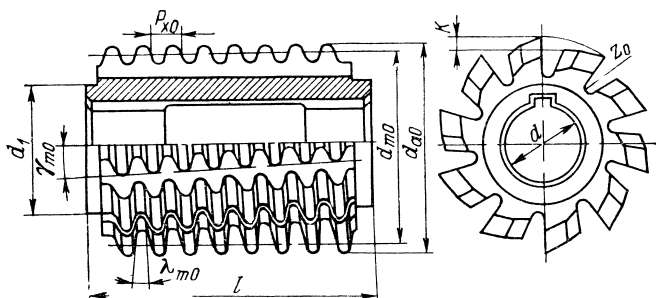


Рис. 13.39. Червячная фреза зацепления Новикова

фрезы со шлифованным профилем зубьев. При этом шлифованная часть зубьев цельных фрез должна быть не менее $1/2$ длины зуба, считая по окружности вершин зубьев, для фрез модулей до 4 мм, и $1/3$ длины зуба — для фрез модулей свыше 4 мм. Допуски и предельные отклонения проверяемых параметров цельных однозаходных червячных фрез (ГОСТ 16771—81) приведены в табл. 13.42. Весьма перспективными также являются двух- и трехзаходные червячные фрезы зацепления Новикова с износостойким покрытием.

Червячные фрезы для нарезания шлицевых валов с эвольвентным профилем. Выбор конструктивных размеров червячных фрез, предназначенных для нарезания шлицевых валов с эвольвентным профилем, ничем не отличается от выбора размеров червячных фрез для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем зубьев, в связи с чем методика расчета их полностью совпадает. При расчете червячных фрез для шлицевых валов следует учитывать некоторые их особенности:

угол зацепления эвольвентно-шлицевых соединений равен 30° ;

шлицевые валы имеют укороченную высоту головки h_{a0} и зуба h_0 ;

шлицевые валы изготавливаются с двумя формами впадины между зубьями: с плоским и закругленным дном.

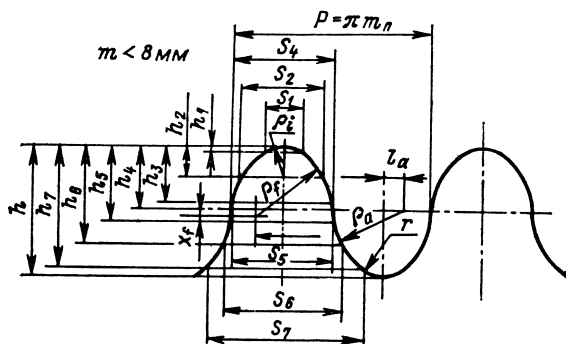
Для расчета или выбора основных размеров чистовых червячных фрез можно руководствоваться данными ГОСТ 6637—80Е,

13.40. Основные и расчетные размеры чистовых однозаходных червячных фрез для передач Новикова, мм

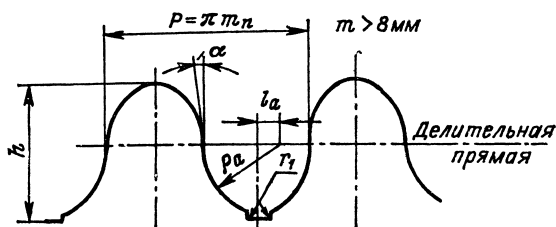
m_0	d_{a0}	d	d_1	l	$\gamma_{m0} = \lambda_{m0}$	P_{x0}	z_0
1,6	63	27	40	50	1° 35′	5,029	12
1,8					1° 48′	5,658	
2,0				63	2° 00′	6,287	
2,25	71			56	2° 01′	7,073	
2,5				63	2° 15′	7,860	
2,8	80			32	50	71	
3,15	90	80	2° 15′			9,904	
3,55			2° 34′			11,164	
4,0		90	2° 55′			12,583	
4,5			3 20′			14,161	
5,0	100	100	3° 19′			15,734	
5,6	112	40	60	112	3° 20′	17,623	9
6,3	118			118	3° 37′	19,832	
7,1	125			125	3° 52′	22,356	
8				132	4° 26′	25,208	
9				140	140	4° 27′	
10	150			50	75	170	

распространяемого на диапазон модулей 0,5—10 мм (табл. 13.43). Допуски и предельные отклонения чистовых червячных фрез для нарезания шлицевых валов с эвольвентным профилем классов точности А, В и С приведены в табл. 13.44.

Червячные фрезы для нарезания шлицевых валов с прямым профилем. Применяются для нарезания шлицевых валов с центрированием соединения по наружному или внутреннему диаметрам. Для нарезания шлицевого вала с центрированием по внутреннему диаметру и боковым сторонам предназначены так называемые червячные фрезы с «усиками» (рис. 13.40), обеспечивающими получение прямолинейного участка по всей высоте зуба вала, а образуемые ими канавки у основания зубьев облегчают процесс шлифования шлицевых валов. Для нарезания шлицевого вала с центрированием по наружному диаметру и боковым сторонам служат червячные фрезы без усиков. В обоих случаях червячные фрезы обеспечивают точность обработки не выше требования посадки d 10 СТ СЭВ 880—78.



m_0	ρ_f	l_f	x_f	ρ_a	l_a	ρ_i	h	h_1	S_1	h_2	S_2
1,6	2,091	0,808	0,116	1,835	0,628	0,836	3,3	0,196	1,077	0,847	2,110
1,8	2,353	0,909	0,131	2,065	0,707	0,940	3,7	0,221	1,211	0,953	2,373
2	2,614	1,011	0,135	2,294	0,785	1,045	4,1	0,246	1,346	1,059	2,637
2,25	2,941	1,137	0,163	2,581	0,884	1,176	4,7	0,276	1,514	1,191	2,967
2,5	3,268	1,263	0,182	2,868	0,982	1,306	5,1	0,307	1,682	1,323	3,296
2,8	3,660	1,415	0,203	3,212	1,100	1,463	5,8	0,344	1,884	1,482	3,692
3,15	4,117	1,592	0,229	3,613	1,237	1,646	6,6	0,387	2,120	1,667	4,153
3,55	4,580	1,739	0,226	4,082	1,394	1,852	7,4	0,425	2,361	1,874	4,682
4	5,160	1,960	0,254	4,600	1,571	2,086	8,4	0,479	2,660	2,112	5,276
4,5	5,805	2,205	0,286	4,175	1,767	2,347	9,4	0,539	2,993	2,376	5,935
5	6,450	2,405	0,318	6 440	1,984	2,608	10,5	0,599	3,325	2,640	6,595
5,6	7,224	2,744	0,356	7,245	2,199	2,921	11,7	0,671	3,724	2,956	6,386
6,3	8,127	3,087	0,400	8,465	2,474	3,286	13,1	0,754	4,190	3,324	8,309
7,1	9,017	3,370	0,387	9,200	2,788	3,598	14,8	0,780	4,475	3,748	9,327
8	10,100	3,797	0,436	10,350	3,142	4,054	17,0	0,879	5,042	4,223	10,511
9	11,430	4,272	0,490	11,500	3,534	4,561	19,5	0,989	5,672	4,761	11,825
10	12,700	4,746	0,545	12,880	3,927	5,068	21,5	1,099	6,33	5,279	13,139
11,2	14,000	5,116	0,508	14,375	4,398	5,576	24,0	1,146	6,773	5,913	14,716
12,5	15,625	5,710	0,568	16,100	4,909	6,223	26,5	1,279	7,559	6,599	16,424
14	17,500	6,395	0,636	16,100	5,498	6,970	29,5	1,433	8,466	7,391	18,395
16	20,000	7,309	0,726	18,400	6,283	7,966	33,4	1,637	9,675	8,443	21,023

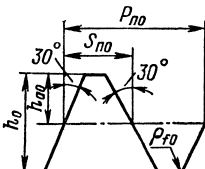
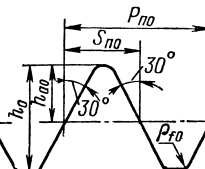


h_3	S_3	h_4	S_4	h_5	S_5	h_6	S_6	h_7	S_7	P_{h0}	α
1,499	2,523	1,680	2,575	1,941	2,650	2,513	3,013	3,120	4,008	5,027	8° 10' 30"
1,686	2,838	1,890	2,897	2,184	2,981	2,827	3,389	3,500	4,509	5,655	
1,874	3,154	2,100	3,219	2,426	3,313	3,141	3,766	3,900	5,010	6,288	
2 108	3,548	2,362	3,621	2,729	3,724	3,534	4,237	4,387	5,636	7,069	
2,342	3,942	2,625	4,024	3,033	4,141	3,927	4,708	4,875	6,262	7,854	7° 39' 47"
2,623	4,415	2,940	4,506	3,397	4,538	4,398	5,272	5,460	7,014	8,796	
2,951	4,967	3,308	5,070	3,821	5,217	4,948	5,932	6,142	7,890	9,896	
3,342	5,599	3,728	5,702	4,272	5,849	5,581	6,666	6,922	8,858	11 153	
3,766	6,308	4,200	6 425	4,813	6,590	6,288	7,511	7,800	9,981	12,566	8° 23' 02"
4,237	7,097	4,725	7,228	5,415	7,414	7,074	8,450	8,775	11,228	14,137	
4,708	7,885	5,250	8,031	6,017	8,238	7,860	9,388	9,750	12,476	15,708	
5,273	8,832	5,880	8,995	6,739	9,226	8,804	10,515	10,920	13,973	17,593	
5,932	9,936	6,615	10,120	7,581	10,379	9,904	11,828	12,285	15,720	19,792	8° 34' 37"
6,527	11,102	7,455	11,375	8,645	11,726	11,162	13,331	13,845	17,716	22,305	
7 354	12,509	8,40	12,817	9,741	13,213	12,577	15,022	15,600	19,962	25,133	
8,274	14,073	9,450	14,419	10,959	14,863	14,149	16,899	17,550	22,457	28,274	
9,193	15,636	10,500	16,021	12,177	16,516	15,721	18,777	19,500	24,952	31,416	8° 34' 37"
10,181	17,455	11,760	17,931	13,681	18,510	17,607	21,030	21,840	27,946	35,186	
11,362	19,481	13,127	20,012	15,269	20,659	19,651	23,471	24,375	31,190	39,270	
12,726	21,818	14,700	22,414	17,101	23,138	22,009	26,287	27,300	34,993	43,982	
14,544	24,935	16,800	25,616	19,544	26,443	25,153	30,043	31,200	39,923	50,265	

**13.42. Допуски и предельные отклонения параметров червячных фрез
для передач Новикова**

Параметр	Обо- значе- ние	Класс точ- ности	Допуски и отклонения, мкм, при m_0 , мм				
			до 2,5	св. 2,5 до 4	св. 4 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 16
Диаметр посадочного отверстия	d	A B	H6				
Радиальное биение буртиков	f_y	A B	10 16		12 20		
Торцовое биение бур- тиков	f_t	A B	6 10		8 12	10 16	
Радиальное биение по вершинам зубьев	f_{rd0}	A B	25 40	32 50	40 68	50 80	68 100
Профиль передней поверхности	γ	A B	32 50	40 63	50 80	63 100	80 160
Разность соседних окружных шагов	f_{u0}	A B	32 50	40 63	50 80	63 100	80 160
Накопленная погреш- ность окружного шага стружечных канавок	F_{P0}	A B	50 80	63 100	80 125	100 160	125 200
Профиль зуба	f_{f0}	A B	20 25	25 32	25 32	32 40	32 50
Толщина зуба	T_{s0}	A B	± 20 ± 20	± 25 ± 25	± 32 ± 32	± 40 ± 40	± 50 ± 50
Осевой шаг фрезы	f_{Px0}	A B	± 8 ± 12	± 10 ± 18	± 12 ± 20	± 16 ± 25	± 20 ± 32
Накопленное откло- нение шага на длине любых трех шагов	f_{Px3^0}	A B	± 16 ± 25	± 20 ± 32	± 25 ± 40	± 32 ± 50	± 40 ± 63
Винтовая линия фре- зы от зуба к зубу	f_{h1^0}	A B	6 10	8 12	10 16	12 20	16 25
Винтовая линия фре- зы на одном обороте	f_{h0}	A B	12 20	16 25	20 32	25 40	32 50
Винтовая линия фре- зы на трех оборотах	f_{h3^0}	A B	20 32	25 40	32 50	40 63	50 80

13.43. Основные и расчетные конструктивные размеры чистовых червячных фрез для шлицевых валов с эвольвентным профилем (ГОСТ 6637—80), мм

$Tun\ I$  $Tun\ II$ 							Тип I		Тип II	
m_0	d_{a0}	d	l	z_0	d_{m0}	S_{n0}	h_0	h_{a0}	h_0	h_{a0}
0,5	50	22	32	12	48,21	0,785	0,70	0,35	0,79	0,44
0,6					48,05	0,943	0,84	0,42	0,95	0,53
0,8					47,73	1,256	1,12	0,56	1,27	0,71
1,0					47,42	1,571	1,40	0,70	1,585	0,89
1,25					47,02	1,963	1,75	0,88	1,98	1,11
1,5	56	27	45	10	52,43	2,356	2,10	1,05	2,38	1,33
2,0	63		50		58,63	3,141	2,80	1,40	3,17	1,77
2,5	71		63		65,44	3,927	0,35	1,75	3,96	2,21
3,0	80		71		73,45	4,712	4,20	2,10	4,75	2,66
3,5	90		80		90	72,65	5,498	4,90	2,45	5,55
4,0		81,64		6,283		5,60	2,8	6,34	3,54	
5,0		79,67		7,854		7,0	3,50	7,93	4,43	
6,0	112	40	112	9	99,69	9,425	8,40	4,20	9,51	5,31
7,0	118		118		98,11	10,995	9,80	4,90	11,10	6,20
8,0					109,12	12,566	11,20	5,60	12,68	7,08
10,0					120,55	15,708	14,0	7,0	15,85	8,85

13.44. Допуски и предельные отклонения чистовых червячных фрез для шлицевых валов с эвольвентным профилем

Проверяемый параметр	Обозначение допуска	Класс точности	Допуски и отклонения, мкм, при m_0 , мм				
			до 1	св. 1 до 2	св. 2 до 3,5	св. 3,5 до 6	св. 6 до 10
Диаметр посадочного отверстия	f_d	A	H5				
		B и C	H6				

Проверяемый параметр	Обозначение допуска	Класс точности	Допуски и отклонения, мкм. при m_0 мм				
			до 1	св. 1 до 2	св. 2 до 3,5	св. 3,5 до 6	св. 6 до 10
Радиальное биение буртиков	f_y	A	5	5	6	8	10
		B	6	8	10	12	16
		C	10	12	16	20	25
Торцовое биение буртиков	f_t	A	4	4	5	6	8
		B	5	5	6	8	10
		C	8	8	10	12	16
Радиальное биение по вершинам зубьев	f_{rda}	A	16	20	25	32	40
		B	25	32	40	50	63
		C	50	63	80	100	125
Профиль передней поверхности	f_v	A	16	20	25	32	40
		B	25	32	40	50	63
		C	50	63	80	100	125
Разность соседних окружных шагов	f_{u0}	A	16	20	25	32	40
		B	25	32	40	50	63
		C	50	63	80	100	125
Накопленная погрешность окружного шага стружечных канавок	F_{P0}	A	32	40	50	63	80
		B	50	63	80	100	125
		C	100	125	160	200	250
Направление стружечных канавок	f_x	A	± 80 ± 100 ± 125				
		B					
		C					
Профиль зуба	f_{f0}	A	6	8	10	12	16
		B	10	12	16	20	25
		C	20	25	32	40	50
Толщина зуба	T_{S0}	A	20	25	32	40	50
		B	25	32	40	50	63
		C	50	63	80	100	125
Винтовая линия фрезы от зуба к зубу	f_{h10}	A	5	6	8	10	12
		B	8	10	12	16	20
		C	16	20	25	32	40
Винтовая линия фрезы на одном обороте	f_{h0}	A	8	10	12	16	20
		B	12	16	20	25	32
		C	25	32	40	50	63
Винтовая линия фрезы на трех оборотах	f_{h30}	A	18	20	25	32	40
		B	25	32	40	50	63
		C	—	—	—	—	—
Осевой шаг фрезы	f_{P10}	A	—	—	—	—	—
		B	± 10	± 10	± 15	± 15	± 25
		C	± 15	± 15	± 20	± 20	± 30
Накопленное отклонение шага на длине любых трех шагов	$f_{P\alpha 30}$	A	—	—	—	—	—
		B	± 15	± 15	± 25	± 25	± 40
		C	± 25	± 25	± 32	± 32	± 48

Наиболее распространенными шлицевыми соединениями являются соединения по ГОСТ 1139—80*, для нарезания которых применяются червячные фрезы по ГОСТ 8027—87. Основные и расчетные размеры этих червячных фрез для нарезания шлицевых валов легкой, средней и тяжелой серий представлены в табл. 13.45.

Фрезы червячные изготавливаются классов точности А, В и С. При этом рекомендуется применять фрезы класса точности А для

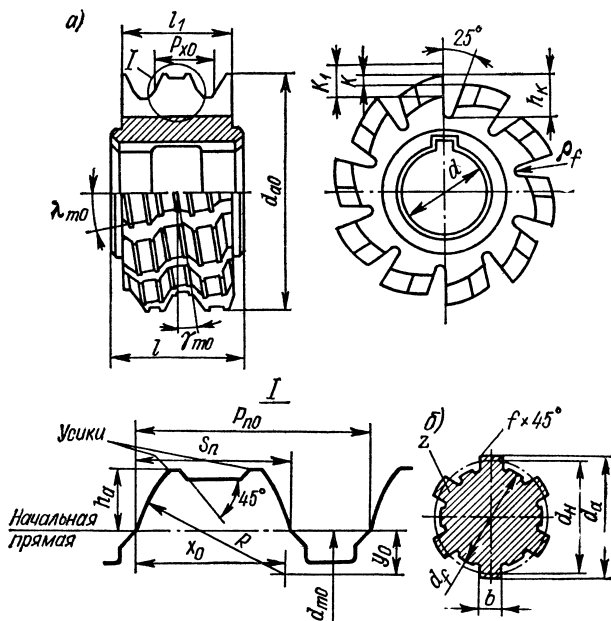


Рис. 13.40. Червячная фреза (а) для нарезания шлицевого вала (б) с центрированием по внутреннему диаметру

чистового нарезания шлицевых валов с полями допусков по толщине зуба d_9 , h_9 , e_9 , f_9 и внутреннему диаметру — e_9 , класса точности В для чистового нарезания валов с полями допусков по толщине зуба d_{10} и внутреннему — e_8 (допуск по наружному диаметру вала не лимитируется). Фрезы класса точности С предназначаются для чернового нарезания валов. Следует отметить, что обработка валов по толщине зуба по 9-му качеству точности обеспечивается только в случае применения зуборезных станков и оснастки повышенной точности, выдерживания всех технологических регламентов.

На рис. 13.40 показаны основные размеры червячной фрезы с «усиками» для нарезания шлицевого вала с центрированием по внутреннему диаметру, а в табл. 13.46 — допускаемые предельные отклонения параметров червячных фрез. Расчетные размеры профиля червячных фрез для нарезания шлицевых валов по

**13.45. Основные размеры червячных фрез для шлицевых валов
с прямобочным профилем, мм**

Размеры шлице- вого вала $z \times d_f \times d_a$	d_{a0}	d	l	z_0	Размеры шлице- вого вала $z \times d_f \times d_a$	d_{a0}	d	l	z_0
<i>Легкая серия</i>					$8 \times 62 \times 72$ $10 \times 72 \times 82$ $10 \times 82 \times 92$	112	40	90	12
$6 \times 26 \times 30$ $6 \times 28 \times 32$ $8 \times 32 \times 36$	70	27	63	12	$10 \times 92 \times 102$ $10 \times 102 \times 112$ $10 \times 112 \times 125$	120	40	100	
$8 \times 36 \times 40$ $8 \times 42 \times 46$	80	32	70		112				
$8 \times 46 \times 50$ $8 \times 52 \times 58$ $8 \times 56 \times 62$	90	32	80	14	<i>Тяжелая серия</i>				
$8 \times 62 \times 68$ $10 \times 72 \times 78$ $10 \times 82 \times 88$	100	40	90		$10 \times 16 \times 20$ $10 \times 18 \times 23$	63	22	50	10
$10 \times 92 \times 98$ $10 \times 102 \times 108$	112	40	100		$10 \times 21 \times 26$ $10 \times 23 \times 29$	70	27	56	
$10 \times 112 \times 120$	120	40	112		$10 \times 26 \times 32$ $10 \times 28 \times 35$ $10 \times 32 \times 40$	80	27	63	
<i>Средняя серия</i>					$10 \times 36 \times 45$ $10 \times 42 \times 52$	90	32	70	
$6 \times 16 \times 20$ $6 \times 18 \times 22$	63	22	50	10	$10 \times 46 \times 56$ $16 \times 52 \times 60$ $16 \times 56 \times 65$	100	32	80	12
$6 \times 21 \times 25$ $6 \times 23 \times 28$	70	27	56		$16 \times 62 \times 72$ $16 \times 72 \times 82$ $20 \times 82 \times 92$	112	40	90	
$6 \times 26 \times 32$ $6 \times 28 \times 34$ $8 \times 32 \times 38$	80	27	63		$20 \times 92 \times 102$ $20 \times 102 \times 115$ $20 \times 112 \times 125$	120	40	100	
$8 \times 36 \times 42$ $8 \times 42 \times 48$	90	32	70	12				112	
$8 \times 46 \times 54$ $8 \times 52 \times 60$ $8 \times 56 \times 65$	100	32	80						

**13.46. Допуски и предельные отклонения параметров червячных фрез
для шлицевых валов с прямобочным профилем
по ГОСТ 8027—87**

Проверяемый параметр	Обозначение допуска	Класс точности	Допуски и отклонения, мкм, при нормальном шаге зубьев, мм				
			до 6 3	св. 6,3 до 11	св. 11 до 19	св. 19 до 32	св. 32
Диаметр посадочного отверстия	f_d	A	H5				
		B и C	H6				
Радиальное биение буртиков	f_y	A	5	5	6	8	10
		B	6	8	10	12	16
		C	12	15	20	25	32
Торцовое биение буртиков	f_t	A	3	4	5	6	8
		B	4	6	6	8	10
		C	8	10	12	16	20
Радиальное биение по вершинам	f_{rda}	A	20	25	32	40	50
		B	32	40	50	63	80
		C	63	80	100	125	160
Профиль передней поверхности	f_v	A	20	25	32	40	50
		B	32	40	50	63	80
		C	63	80	100	125	160
Разность соседних окружных шагов	f_{u0}	A	20	25	32	40	50
		B	32	40	50	63	80
		C	63	80	100	125	160
Накопленная погрешность окружного шага стружечных канавок	F_{p0}	A	40	50	63	80	100
		B	63	80	100	125	160
		C	125	160	200	250	315
Направление стружечных канавок	f_x	A	± 80				
		B	± 100				
		C	± 125				
Винтовая линия фрезы на одном обороте	f_{h0}	A	10	12	16	25	32
		B	16	20	25	32	40
		C	32	40	50	63	80
Осевой шаг фрезы	f_{px0}	A	± 8	± 9	± 10	± 10	± 12
		B	± 12	± 16	± 18	± 18	± 20
		C	± 20	± 25	± 28	± 32	± 40
Отклонение осевого шага между «n» зубьев (шагов)	f_{px20}	A	± 16	± 18	± 20	± 20	± 25
		B	± 25	± 32	± 36	± 36	± 40
		C	± 40	± 50	± 56	± 56	± 63

ГОСТ 1139—80* стандартизованы и представлены в отраслевом стандарте Минстанкопрома.

Для определения основных конструктивных и расчетных размеров червячных фрез для шлицевых валов с прямобочным профилем может быть рекомендована следующая методика.

Исходные данные для расчета: наружный d_a и внутренний d_f диаметры шлицевого вала, ширина шлица b , число шлицев z , размер и угол фаски f .

Последовательность расчета следующая.

Расчетный наружный диаметр

$$d_{a \text{ рас}} = d_{a \text{ max}} - 2f_{\min},$$

где $f_{\min}$ — минимальный размер фаски.

Расчетный внутренний диаметр

$$d_{f \text{ рас}} = d_{f \text{ min}} + 0,4E,$$

где E — поле допуска на внутренний диаметр.

Расчетная ширина шлица

$$b_{\text{рас}} = b_{\min} + 0,4E_1,$$

где E_1 — поле допуска на ширину шлица.

Диаметр начальной окружности

$$d_H = \sqrt{d_{a \text{ рас}}^2 - 0,75b_{\text{рас}}^2}.$$

Нормальный шаг

$$P_{n0} = \pi d_H / z.$$

Наружный диаметр d_{a0} , число зубьев z_0 фрезы выбираются по стандартам.

Высота шпоночного выступа

$$h = \frac{d_H - d_{f \text{ рас}}}{2}.$$

Величина падения затылка зуба фрезы:

$$K = \frac{\pi d_{a0}}{z_0} \operatorname{tg} \alpha_{a0}; \quad K_1 = (1,2 \div 1,5) K.$$

Средний расчетный диаметр фрезы

$$d_{m0} = d_{a0} - 2h - (0,2 \div 0,3) K.$$

Угол подъема винтовой линии фрезы

$$\gamma_{m0} = \arcsin \frac{P_{n0}}{\pi d_{m0}}.$$

Шаг винтовой стружечной канавки фрезы

$$P_{z0} = \pi d_{m0} \operatorname{ctg} \gamma_{m0}.$$

Осевой шаг фрезы

$$P_{x0} = P_{n0} \sec \gamma_{m0}.$$

Радиус-вектор последней точки шлицевого вала, обрабатываемой методом обката,

$$R_{\min} = \frac{\sqrt{d_n^2 \cos^2 \alpha_{\max} + b_{\text{pac}}^2}}{2},$$

где

$$\alpha_{\max} = \arcsin \frac{b_{\text{pac}} + \sqrt{b_{\text{pac}}^2 + 16R_n h}}{2d_n}.$$

Радиус-вектор R_n расчетных точек, лежащих на боковой поверхности зуба шлицевого вала ($n = 1, 2, \dots, m$), задают через 0,5—0,8 мм: $R_1 = R_{\text{a pac}}$; $R_2 = R_n$, ..., $R_n = R_{\min}$, т. е. каждой точке профиля зуба, расположенной на радиусе-векторе R_n , соответствует определенная расчетная точка профиля зуба червячной фрезы.

Угол профиля зуба фрезы — угол между касательной к профилю в выбранной точке и прямой, перпендикулярной к оси фрезы (переменный параметр параметрического уравнения)

$$\alpha_n = \arccos \frac{\sqrt{d_n^2 - b_{\text{pac}}^2}}{d_n}.$$

Определяется α_n для всех выбранных радиус-векторов R_n .

Угол поворота шлицевого вала от центрального положения

$$\varphi_n = 180^\circ/z - \alpha_n.$$

Координаты точек профиля зуба фрезы:

$$X = \sin \alpha_n (R_n \sin \alpha_n - b_{\text{pac}}/2);$$

$$Y = \cos \alpha_n (R_n \sin \alpha_n - b_{\text{pac}}/2) + R_n \varphi_n.$$

Координаты X , Y рассчитываются для всех выбранных точек зуба шлицевого вала, после чего определяется и вычерчивается весь активный участок профиля зуба червячной фрезы.

Толщина зуба $S_n = 2Y_n$.

При невозможности изготовить профиль зуба фрезы по координатам отдельных точек применяют замену теоретического профиля дугами одной или двух окружностей [26], после чего необходимо произвести расчет получаемой погрешности профиля.

Червячные фрезы для нарезания зубчатых колес под шевингование. Применяются в серийном и массовом производстве зубчатых колес, подвергаемых в дальнейшем чистовой обработке — шевингованию. В конструктивном отношении червячные фрезы под шевингование отличаются от стандартных фрез только формой профиля зубьев, которая выбирается в зависимости от размеров обрабатываемых колес и желаемого распределения припуска под последующую чистовую обработку. В отечественной и мировой практике нашли применение в основном три стандартных типа профиля зубьев фрез — 1, 2 и 3, основные размеры которых пред-

ставлены в табл. 13.30 и 13.31. Тип 1 характеризуется уменьшенным углом профиля и применяется для нарезания колес модулей 1—1,75 мм. Тип 2 имеет утолщение на головке («усики») и предназначен для нарезания колес модулей 2—8 мм. Тип 3 характеризуется утолщением головки и ножки зуба и применяется для нарезания колес модулей 3—10 мм. Целью любой модификации профиля зубьев фрез является улучшение условий шевингования, которое может быть обеспечено только при определенном распределении припуска под шевер. На рис. 13.41 показаны формы зубьев колес после нарезания червячной фрезой с модифицированным профилем зубьев согласно типов профиля 1, 2 и 3.

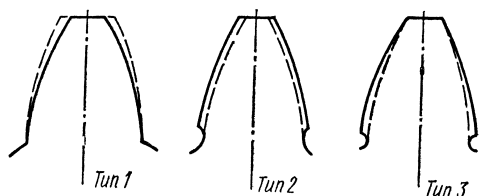


Рис. 13.41. Формы зубьев колес под шевингование

Фрезы под шевингование по сравнению с чистовыми фрезами имеют уменьшенную толщину зуба на размер припуска под шевингование, а все конструктивные основные и расчетные размеры, технические требования принимаются по аналогии с данными для стандартных червячных фрез (ГОСТ 9324—80Е). Поэтому основной особенностью расчета фрез под шевингование является только дополнительное определение размеров модификации профиля зубьев — утолщения и фланка. Высота усика n , обеспечивающая необходимый припуск под шевингование, выбирается в пределах 0,05—0,12 мм для фрез модулей 1—10 мм. Для фрез модулей менее 1 мм $n = 0,04 \div 0,05$ мм.

Расстояние h_y от головки зуба фрезы до начала усика определяется по формуле

$$h_y = h_{a0} - (r \sin \alpha_{\omega t} - \rho - n) \sin \alpha_{\omega t}.$$

Здесь h_{a0} — высота головки зуба фрезы; r — радиус делительной окружности колеса; $\alpha_{\omega t}$ — торцовый угол зацепления колес в передаче; n — припуск под шевингование; $\rho = a \sin \alpha_{\omega t} - 0,5 \sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2}$, где ρ — радиус кривизны в точке начала активной части профиля; a — межосевое расстояние зубчатой передачи; d_{a1} и d_{b1} — диаметры вершин зубьев и основной окружности шестерни, сопряженной с обрабатываемым колесом.

Угол фланка

$$\alpha_{\phi} = \alpha_{n0} + (10 \div 15)^\circ.$$

Расстояние от головки зуба фрезы до начала фланка h_{f0} рассчитывается по формуле

$$h_{f0} = h_{a0} + (r'_a \sin \alpha_f - r \sin \alpha_1) \sin \alpha_1.$$

Здесь r'_a — радиус вершин зубьев обрабатываемого колеса; $r'_a = r_a - (0,2 \div 0,5)$;

$$\alpha_f = \arccos \frac{r \cos \alpha_1}{r'_a}; \quad \alpha_1 = \arctg(\tg \alpha_{n0} - n/h_\phi),$$

где $h_\phi = r_1 \sin \alpha_{n0} - \sqrt{r_\phi^2 - r_{b1}^2}$; $r_\phi = r_{f1} + 0,36m$.

Обозначения r_1 , r_{b1} , r_{f1} относятся к радиусам делительной, основной окружностей и окружности впадин обрабатываемого колеса.

Червячные фрезы для нарезания червячных колес. Фреза должна быть спрофилирована в соответствии с формой профиля витков червяка (архимедова, эвольвентного или конволютного), с которым колесо находится в зацеплении. Выбор и расчет профиля должны производиться по методике, изложенной выше, для профилирования червячных зуборезных фрез. Исходные данные для расчета фрезы задаются в осевом сечении червяка: модуль m или шаг P , угол зацепления α_ω , шаг по оси P_x , толщина зуба по оси S_x , наружный диаметр червяка d_a , средний расчетный диаметр d_m , угол наклона линии зуба на делительном диаметре β_b , число заходов червяка z_1 , число зубьев колеса z , радиальный зазор передачи C , наибольший радиус окружности выступов червячного колеса $r_{a \text{ м1}}$, направление подъема линии витка. Метод нарезания колеса — радиальный или тангенциальный.

Фрезы изготавливаются как насадными, так и хвостовыми, однако так как червяки обычно имеют небольшие диаметральные размеры, червячные фрезы также должны иметь небольшой диаметр, поэтому они в большинстве случаев выполняются с коническим хвостовиком, размеры которого определяются посадочными местами станка.

Число заходов фрезы должно быть равно числу заходов червяка, в связи с чем в случае конструирования многозаходных фрез получают значительные углы подъема витков фрез (до $35-40^\circ$), что затрудняет их изготовление.

Последовательность расчета конструктивных параметров фрез следующая.

1. Средний расчетный диаметр $d_{m0} = d_m$.
2. Осевой шаг зубьев фрезы $P_{x0} = P_x$.
3. Наружный диаметр $d_{a0} = d_a + 2(C + a)$, где a — запас на переточку, $a = 0,1 \div 0,8$ мм.
4. Наружный диаметр переточенной фрезы $d_{a0 \text{ min}} = d_a + C$.
5. Число зубьев фрезы выбирают таким, чтобы оно не имело общих множителей с числом ее заходов, а число зубьев колеса было некратным числу зубьев фрезы и числу ее заходов.
6. Заборный конус выполняется у фрез, работающих с тангенциальной подачей и врезанием, в пределах $\varphi_K = 11 \div 13^\circ$ на длине $l_K = (2,5 \div 3) P_{x0}$.
7. Длина рабочей части фрезы $l = (4,5 \div 5) P_{x0}$.

**13.47. Допуски и предельные отклонения параметров червячных фрез
для червячных колес**

Параметр	Обозначение	Класс точности	Допуски и отклонения, мкм, при m_o , мм		
			от 1 до 3,5	св. 3,5 до 6,3	св. 6,3 до 10
Радиальное биение по вершинам зубьев	f_{rda}	A B C	20 40 63	25 50 80	32 63 100
Профиль передней поверхности	f_{γ}	A B C	40 80 125	50 100 160	63 125 200
Разность соседних окружных шагов	f_{u0}	A B C	40 80 125	50 100 160	63 125 200
Накопленная погрешность окружного шага стружечных канавок	F_{P0}	A B C	50 100 160	63 125 200	80 160 250
Направление стружечных канавок	f_{α}	A B C	± 70 ± 100 ± 140		
Профиль зуба	f_{f0}	A B C	10 16 25	12 20 32	16 25 40
Толщина зуба	T_{S0}	A B C	± 12 ± 25 ± 40	± 16 ± 32 ± 50	± 20 ± 40 ± 60
Шаг между заходами (только для многозаходных фрез)	f_{Px0z}	A B C	± 10 ± 16 ± 25	± 12 ± 20 ± 32	± 16 ± 25 ± 40
Осевой шаг захода	f_{Px0}	A B C	± 6 ± 12 ± 20	± 8 ± 16 ± 25	± 10 ± 20 ± 32
Накопленное отклонение осевого шага захода на длине любых трех шагов	f_{Px30}	A B C	± 8 ± 16 ± 25	± 10 ± 20 ± 32	± 12 ± 25 ± 40
Винтовая линия от зуба к зубу	fh_{10}	A B C	8 16 25	10 20 32	12 25 40
Винтовая линия на одном обороте	f_{h0}	A B C	12 25 40	16 32 50	20 40 63
Винтовая линия на трех оборотах	f_{h30}	A B C	16 32 50	20 40 63	25 50 80

8. Общая длина хвостовой фрезы $L = l_x + l + l_{x2} + l_{ш1} + l_{ш2}$, где l_x — длина хвостовика; l_{x2} — длина цапфы; $l_{ш1}$ и $l_{ш2}$ — длина шеек.

Предельные отклонения элементов червячных фрез для червячных колес общего назначения могут быть приняты в соответствии с табл. 13.47.

Эксплуатация червячных фрез. Вопросам рациональной эксплуатации червячных фрез должно уделяться особое внимание, так как от этого зависит производительность, точность и экономичность обработки зубчатых колес, их расход. В промышленности наиболее широко применяется зубофрезерование стальных зубчатых колес с твердостью ≤ 300 HB, однако в последнее время производят и чистовое зубофрезерование зубчатых колес с твердостью 42—62 HRC₀. Поскольку наиболее распространенной областью применения червячных фрез является нарезание колес в диапазоне модулей до 10 мм, ниже будут рассмотрены вопросы их эксплуатации в данной области.

Современные зубофрезерные станки снабжены специальными суппортами, в которых фрезерная каретка может непрерывно или периодически перемещаться в направлении оси инструмента. Осевое перемещение фрезы в процессе работы постоянно изменяет характер контакта режущих кромок с обрабатываемым колесом, что дает возможность значительно повысить стойкость инструмента, а также производительность обработки за счет форсирования режимов резания. Предусмотрено осевое перемещение фрезы ручное и механическое. При механическом способе перемещение может быть шаговое (периодическое) и непрерывное (диагональное). Шаговое перемещение используется при полном затуплении зубьев за время одной полной передвижки из одного положения в другое или при многократных передвижках в обе стороны. Наиболее рационально совмещать осевое перемещение фрезы с попутной подачей.

13.48. Допустимый износ и стойкость однозаходных червячных фрез

Параметр	Вид обработки	Обрабатываемый материал	Модуль фрезы m_0 , мм			
			от 1 до 4	св. 4 до 6	св. 6 до 8	св. 8 до 10
Стойкость между двумя передвижками фрезы (среднее значение), мин	Черновая и получистовая	Сталь	240	360	480	720
		Чугун	540	720	960	1440
	Чистовая	Сталь	240		360	
		Чугун	480		720	
Критерий затупления (износ по задней поверхности h_z зубьев фрезы), мм	Черновая и получистовая	Сталь, чугун	0,9		1,0	
	Чистовая		0,3		0,4	

13.49. Скорость резания v при зубофрезеровании цилиндрических колес из углеродистых и легированных сталей однозаходными червячными фрезами, м/мин

Обработка	Подача S_0 , мм/об	Модуль нарезаемых колес m_0 , мм					
		от 1,0 до 1,5	св. 1,5 до 2,5	св. 2,5 до 4	св. 4 до 6	св. 6 до 8	св. 8 до 10
Черновая и пол- лучистовая (под шевингование и шлифование)	0,8	60	59	58	52	43	38
	1,0	50	49	48,5	44	38	33
	1,3	45	45	44	39	36,5	30
	1,5	43,5	43	43	37	33	28
	1,8	39	39	38	35	30	26,5
	2,0	38	37	37	33,5	29	25
	2,3	—	35,6	35,6	32	26	22
	2,5	—	33,5	33,5	30	24,5	21
	2,8	—	31,5	31,5	28	23	20
	3,0	—	30,5	30,5	27	22	—
	3,2	—	—	29	26	—	—
	3,4	—	—	28	—	—	—
Чистовая по сплошному метал- лу	0,5	62	53	51			
	0,8	52	50	49			
	0,9	49	48	47			
	1,0	46	45	44	—	—	—
	1,2	39	38	37			
	1,4	—	34	33			
	1,8	—	27	26			
Чистовая по прорезанному зу- бу при шерохова- тости $R_z = 40 \div$ $\div 20$ мкм	2,0—2,6			24—26			
	0,7—1,0	—	—	20—24			—

Рациональная эксплуатация червячных фрез зависит от допускаемого износа при заданной их стойкости (табл. 13.48). Значения этих величин установлены исходя из максимально возможного числа переточек, снижения трудоемкости перетачивания и избежания прижогов при снятии больших слоев.

Нормативные режимы резания (скорость, мощность, подача) с поправочными коэффициентами на них для червячных однозаходных фрез в зависимости от условий обработки стальных и чугунных цилиндрических зубчатых колес представлены в табл. 13.49—13.52.

Режимы резания, допустимый износ и стойкость многозаходных червячных фрез для цилиндрических зубчатых колес приведены в табл. 13.53—13.56, червячных фрез для нарезания шлицевых валов с прямобочным профилем — в табл. 13.57—13.59.

**13.50. Подача S_0 при зубофрезеровании цилиндрических колес
однозаходными червячными фрезами, мм/об**

Обработка	Обрабатываемый материал, твердость	m_0 , мм	Группа станков			
			I	II	III	IV
Черновая и пол- лучистовая (под шевингование и шлифование)	Сталь 45, 170— 207 HB	От 1,0 до 1,5 Св. 1,5 до 2,5 Св. 2,5 до 4,0 Св. 4,0 до 6,0 Св. 6,0 до 8,0 Св. 8,0 до 10	0,8—1,3 1,3—1,8 — — — —	1,5—1,8 2,0—2,9 1,8—2,3 1,3—2,0 — —	1,8—2,0 2,5—2,9 2,5—3,2 2,3—2,8 2,0—2,5 2,0—2,5	— 2,5—3,0 2,8—3,4 2,8—3,2 2,5—3,0 2,3—2,8
	Чугун серый, 170— 210 HB	От 1,0 до 1,5 Св. 1,5 до 2,5 Св. 2,5 до 4,0 Св. 4,0 до 6,0 Св. 6,0 до 8,0 Св. 8,0 до 10	1,0—1,5 1,3—2,3 — — — —	1,5—2,3 2,5—3,0 1,8—2,5 1,5—2,0 — —	2,0—2,3 2,7—3,1 2,8—3,3 2,3—3,0 2,3—2,5 2,3—2,8	— 2,8—3,3 3,3—3,6 2,9—3,3 2,5—3,3 2,5—3,0
Чистовая по сплошному ме- таллу при ше- роховатости R_z , мкм: 40—20	Сталь 45, 170— 207 HB	От 1,0 до 1,5 Св. 1,5 до 2,5 Св. 2,5 до 4,0	1,0—1,2 1,2—1,8 1,4—2,0			
10			0,5—0,8 0,8—1,0 0,9—1,2			
40—20	Чугун серый, 170— 210 HB	От 1,0 до 1,5 Св. 1,5 до 2,5 Св. 2,5 до 4,0	1,2—1,4 1,4—1,8 1,5—2,0			
10			0,5—0,8 0,8—1,0 0,9—1,2			
Чистовая по прорезанному зубу при ше- роховатости R_z , мкм: 40—20	Сталь и чугун	До 10	2,0—2,6			
10			0,7—1,0			

**13.51. Поправочный коэффициент на скорость резания при зубофрезеровании
однозаходными червячными фрезами в зависимости от твердости материала**

Марка стали	Твердость HB	K_{vM}	Марка стали	Твердость HB	K_{vM}
Конструкцион- ные углеродистые:			Конструкцион- ные легирован- ные:		
	35	156—187		156—207	1,0
	45	170—207			
		207—241			
50	170—229	0,9	35X 40X 45X		

Марка стали	Твердость НВ	K_{vM}	Марка стали	Твердость НВ	K_{vM}
12Х2Н4А 20Х 12ХН3А 20ХНГМ 18ХГТ 20ХН3А	156—229	0,9	30ХГТ 25ХГТ	156—207	0,8
			18Х2Н4МА 38Х2МЮА 20ХГНР	156—229 229—285 До 320	0,8 0,6 0,5
Примечание. Поправочные коэффициенты на скорость резания при зубофрезеровании однозаходными червячными фрезами в зависимости от прочих факторов приведены ниже. Число осевых передвижек фрезы W K_{vW}: 0 1 2 3 и более черновая обработка 1,0 1,1 1,2 1,3 чистовая » 1 1 1 1 Угол наклона зубьев колеса β $\beta, ^\circ$ 0 15 30 45 60 $K_{v\beta}$ 1 1 0,9 0,8 0,7 Число проходов n n Один Первый Второй K_{vn} 1 1 1,4 Класс точности А В, С D $K_{v\Delta}$ 1,05 1,0 0,8 Материал фрезы Инструментальная сталь Р18 Р6М5 Р6М5К5 Р9М4К8 K_{vM} 1,1 1,0 1,2 1,3 Отношение фактической стойкости T_{cp} к нормативной T $T_{ф}/T$ 0,25 0,5 1 2 3 K_{vT} 1,6 1,25 1 0,8 0,7					

13.52. Поправочные коэффициенты на подачу при зубофрезеровании однозаходными червячными фрезами в зависимости от условий резания

Марка стали	Твердость НВ	Коэффициент на подачу K_{SM}	Марка стали	Твердость НВ	Коэффициент на подачу K_{SM}
Конструкционные углеродистые:			12Х2Н4А 20Х 12ХН3А 20ХНГМ 18ХГТ 20ХН3А	156—229	0,9
35	156—187	1,0			
45	170—207 207—241	1,0 0,9			
50	170—229	0,9	30ХГТ 25ХГТ	156—207	0,9
Конструкционные легированные:			18Х2Н4МА 38Х2МЮА	156—229 229—285	0,8 0,7
35Х 40Х 45Х	156—207	1,0			
Примечание. Поправочные коэффициенты на подачу при зубофрезеровании однозаходными червячными фрезами в зависимости от угла наклона зубьев колеса β: $\beta, ^\circ$ 0 15 30 45 60 $K_{S\beta}$: одноименный наклон 1 0,9 0,8 0,65 0,45 разноименный » 1 0,75 0,65 0,5 0,35					

13.53. Подача S_0 при зубофрезеровании многозаходными червячными фрезами, мм/об

Обработка	Обрабатываемый материал, его твердость	m_0 , мм	Группа станков			
			I	II	III	IV
Двухзаходными фрезами	Сталь 45, 170—207 HB	1—1,5	0,6—0,9	1,0—1,3	1,3—1,4	—
		1,5—2,5	0,9—1,3	1,4—1,6	1,8—2,0	1,8—2,1
		2,5—4,0	—	1,3—1,6	1,9—2,2	2,1—2,4
		4,0—6,0	—	1,1—1,4	1,7—2,0	2,0—2,3
		6,0—8,0	—	—	1,5—1,8	1,8—2,1
		8,0—10,0	—	—	1,4—1,8	1,7—2,0
	Чугун серый, 170—210 HB	1—1,5	0,7—1,0	1,2—1,5	1,4—1,6	—
		1,5—2,5	1,1—1,5	1,8—2,1	1,9—2,2	2,0—2,3
		2,5—4,0	—	1,4—1,8	2,0—2,3	2,3—2,5
		4,0—6,0	—	1,0—1,4	1,8—2,1	2,0—2,3
		6,0—8,0	—	—	1,6—2,0	1,8—2,3
		8,0—10,0	—	—	1,6—1,8	1,8—2,1
Трехзаходными фрезами	Сталь 45, 170—210 HB	1—1,5	0,4—0,7	0,8—1,0	0,9—1,0	—
		1,5—2,5	0,7—1,2	1,0—1,2	1,3—1,5	1,3—1,5
		2,5—4,0	—	0,9—1,2	1,3—1,6	1,4—1,7
		4,0—6,0	—	0,7—1,0	1,2—1,4	1,4—1,6
		6,0—8,0	—	—	1,0—1,3	1,3—1,5
		8,0—10,0	—	—	1,0—1,2	1,2—1,4
	Чугун серый, 170—210 HB	1—1,5	0,5—0,8	0,8—1,2	1,0—1,2	—
		1,5—2,5	0,7—1,2	1,3—1,5	1,4—1,6	1,4—1,6
		2,5—4,0	—	1,0—1,3	1,4—1,7	1,6—1,8
		4,0—6,0	—	0,8—1,0	1,2—1,5	1,5—1,7
		6,0—8,0	—	—	1,2—1,4	1,3—1,6
		8,0—10,0	—	—	1,1—1,3	1,3—1,5

13.54. Скорость резания v при зубофрезеровании многозаходными червячными фрезами, м/мин

Обработка	Подача S_0 , мм/об	Модуль нарезаемых колес											
		от 1,0 до 1,5	св. 1,5 до 2,5	св. 2,5 до 4	св. 4 до 6	св. 6 до 8	св. 8 до 10	от 1,0 до 1,5	св. 1,5 до 2,5	св. 2,5 до 4	св. 4 до 6	св. 6 до 8	св. 8 до 10
		Стали углеродистые и легированные						Чугун серый 170—210 HB					
Двухзаходными фрезами	0,6	60	57	56	52	44	40	60	52	49	45	40	35
	0,8	54	53	52	47	39	34	55	49	46	42	37	33
	1,0	45	44	43	40	34	30	50	46	43	39	34	31
	1,3	40	40	40	35	33	27	46	41	39	35	31	30
	1,5	39	39	39	33	30	25	45	40	39	34	30	28
	1,8	35	35	34	31	27	23	42	39	37	33	29	25
	2,0	34	33	33	30	26	22	40	36	35	32	28	25
	2,3	—	32	32	29	23	20	40	35	34	31	27	24
	2,5	—	30	30	27	22	19	—	34	32	30	26	22
	2,8	—	28	28	25	21	18	—	33	31	30	25	21

Обработка	Подача S_0 , мм/об	Модуль нарезаемых колес											
		от 1,0 до 1,5	св. 1,5 до 2,5	св. 2,5 до 4	св. 4 до 6	св. 6 до 8	св. 8 до 10	от 1,0 до 1,5	св. 1,5 до 2,5	св. 2,5 до 4	св. 4 до 6	св. 6 до 8	св. 8 до 10
		Стали углеродистые и легированные						Чугун серый 170—210 НВ					
Трехзаходными фрезами	0,4	56	55	54	52	45	40	52	50	47	45	40	35
	0,6	52	51	50	46	39	35	50	47	44	40	36	32
	0,8	48	47	46	42	35	30	47	44	41	36	34	30
	1,0	40	39	39	35	30	26	44	41	38	34	30	27
	1,3	36	36	35	31	29	24	41	37	35	31	28	26
	1,5	35	34	34	30	26	22	40	35	34	30	27	25
	1,8	31	31	30	28	24	21	38	34	33	29	26	22
	2,0	30	30	30	27	23	20	36	32	31	28	25	20

13.55. Поправочные коэффициенты на скорость резания и подачу при зубофрезеровании многозаходными червячными фрезами в зависимости от твердости материала

Марка стали	Твердость НВ	K_{vM}	K_{SM}
Конструкционные углеродистые:			
35	156—187	1,1	1,0
45	170—207 207—241	1,0 0,8	1,0 0,9
50	170—229	0,9	0,9
Конструкционные легированные:			
35X 40X 45X	156—207	1,0	1,0
12X2H4A 20X 12XH3A 20XНГМ 18ХГТ 20XH3A	156—229	0,9	0,9
30ХГТ 25ХГТ	156—207	0,8	0,9

Марка стали	Твердость HB	K_{v_M}	K_{S_M}
18X2H4MA	156—229	0,8	0,8
38X2MЮА	229—285	0,6	0,7
20XГНР	До 320	0,5;	0,6

Примечание. Поправочные коэффициенты на скорость резания при зубофрезеровании многозаходными червячными фрезами в зависимости от прочих факторов приведены ниже.

Число осевых передвижек фрезы W					
W	0	1	2	3 и более	
K_{v_W}					
черновая обработка	1,0	1,1	1,2	1,3	
чистовая »	1	1	1	1	

Угол наклона зубьев колеса β					
$\beta, ^\circ$	0	15	30	45	60
K_{v_β}	1	1	0,9	0,8	0,7

Число проходов n			
n	Один	Первый	Второй
K_{v_n}	1	1	1,4

Материал фрезы				
Инструментальная сталь	P18	P6M5	P6M5K5	P9M4K8
K_{v_M}	1,1	1,0	1,2	1,3

Отношение фактической стойкости T_Φ к нормативной T					
T_Φ/T	0,25	0,5	1	2	3
K_{v_T}	1,6	1,25	1	0,8	0,7

13.56. Допустимый износ и стойкость многозаходных червячных фрез

Параметр	Обрабатываемый материал	m_0 , мм			
		От 1 до 4	Св. 4 до 6	Св. 6 до 8	Св. 8 до 10
Стойкость между двумя передвижками T , мин	Сталь Чугун	240 480	360 720	480 960	720 1440
Критерий затупления (износ по задней поверхности зубьев h_3 , мм)	Сталь и чугун	0,8—0,9		0,9—1,0	

**13.57. Режимы резания червячными фрезами для шлицевых валов
с прямобочным профилем**

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Высота шлицев, мм	Подача S_0 , мм/об, при числе шлицев вала			Скорость резания, v , м/мин
			6—8	10—12	14—16	
Углеродистые и легированные стали $<25 \text{ HRC}_\alpha$	Однократная под шлифование	2—3,5 4—6	2,4 2,2	2,6 2,4	2,9 2,6	40 35
	Однократная окончательная	2—3,5 4—6	1,2 1,0	1,4 1,2	1,6 1,4	35 30
Углеродистые и легированные стали $25—35 \text{ HRC}_\alpha$	Однократная под шлифование	2—3,5 4—6	2,0 1,8	2,2 2,0	2,4 2,2	30 25
	Окончательная после предварительной	2—3,5 4—6	1,4 1,3	1,6 1,5	1,6 1,7	40 35
	Однократная окончательная	2—3,5 4—6	1,0 0,8	1,2 1,0	1,4 1,2	30 25

13.58. Поправочные коэффициенты на скорость резания и подачу при зубофрезеровании червячными фрезами шлицевых валов с прямобочным профилем в зависимости от твердости материала

Марка стали	Твердость HB	K_{vM}	K_{SM}
Конструкционные углеродистые:			
35	156—187	1,1	1,0
45	170—207 207—241	1,0 0,8	1,0 0,9
50	170—229	0,9	0,9
Конструкционные легированные:			
35X 40X 45X	156—207	1,0	1,0
12XНЧА 12XНЗ 20XНМ 18XГТ 20X	156—207	0,9	0,9
30XГТ 25XГТ	156—207	0,8	0,9

Марка стали	Твердость НВ	K_{vM}	K_{SM}
18НВА, 38ХМЮА, 5ХНМ, 6ХНМ	156—229 229—285	0,6 0,5	0,8 0,7

Примечание. Поправочные коэффициенты на скорость резания и подачу при зубофрезеровании червячными фрезами шлицевых валов с прямобочным профилем в зависимости от прочих факторов приведены ниже.

Профиль зуба фрезы

Профиль	Без усиков	С усиками
$K_{vф}$	1	0,85

Число шлицев n

n	4	6	8	10	16	20
K_{vz}	0,85	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5

Материал фрезы

Инструментальная сталь . . .	P18	P6M5	P6M5K5	P9M4K8
K_{vM}	1,1	1,0	1,2	1,3

Отношение фактической стойкости $T_{ф}$ к нормативной T

$T_{ф}/T$	0,25	0,5	1	2	3
K_{vT}	1,6	1,25	1	0,8	0,7

Расчетные величины режимов резания следующие.

1. Основное время t_0 зубофрезерования одной детали

$$t_0 = \frac{(b + l_{вр} + l_{пер}) z_1}{n S_0 z_{10}},$$

где b — ширина венца нарезаемого колеса, мм; $l_{вр}$, $l_{пер}$ — длины врезания и перебега, мм; z_1 — число зубьев нарезаемого колеса; S_0 — подача осевая фрезы, мм/об; n — частота вращения фрезы, об/мин; z_{10} — число заходов фрезы.

Длины врезания и перебега находят по формулам:

$$l_{вр} = \frac{\sqrt{h(d_{a0} - h)}}{\cos(\beta \pm \lambda_{m0})};$$

$$l_{пер} = 3m \operatorname{tg}(\beta \pm \lambda_{m0}) + (3 \div 5),$$

где знак «—» берется при одноименных углах наклона зуба колеса и витка фрезы, знак «+» — при разноименных указанных углах; λ_{m0} — угол наклона стружечных канавок фрезы; h — высота нарезаемого зуба колеса.

13.59. Допустимый износ и стойкость червячных фрез для шлицевых валов с прямоблочным профилем

Вид обработки	Стойкость между переточками T, мин	Износ по задней поверхности зуба h_3 , мм
Черновая	600	0,9
Чистовая	300	0,4

2. Расход червячных фрез H_p (в штуках) на данную программу выпуска деталей Π в штуках определяется по формуле

$$H_p = \frac{\Pi t_0}{T(W+1)(n_i+1)},$$

где T — стойкость фрезы между ее осевыми передвижками, мин;
 n_i — число переточек фрезы; W — число осевых передвижек фрезы между ее переточками.

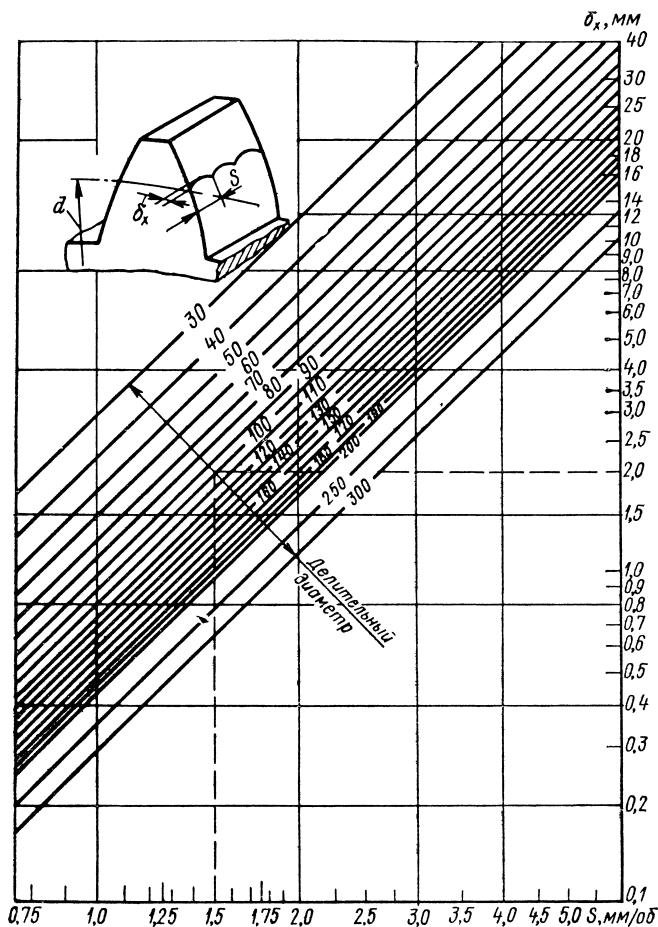


Рис. 13.42. График для определения волнистости по профилю зубьев

Расход фрез может быть значительно уменьшен за счет применения автоматических небольших осевых передвижек фрез (порядка долей окружного шага зубьев нарезаемого колеса) после обработки каждой детали или пакета деталей.

Рациональные значения таких передвижек определяются практически для конкретных условий зубофрезерования. При этом исходный размер передвижки (в мм) однозаходной фрезы можно определить по формулам:

при стружечных канавках, параллельных оси фрезы,

$$B = \frac{\pi m_0}{\cos \gamma_{m0} z_0};$$

при винтовых стружечных канавках

$$B = \frac{\pi m_0 \cos \gamma_{m0}}{z_0}.$$

При выборе режимов резания червячными фрезами следует учитывать волнистость (размер гребешков) по профилю зубьев

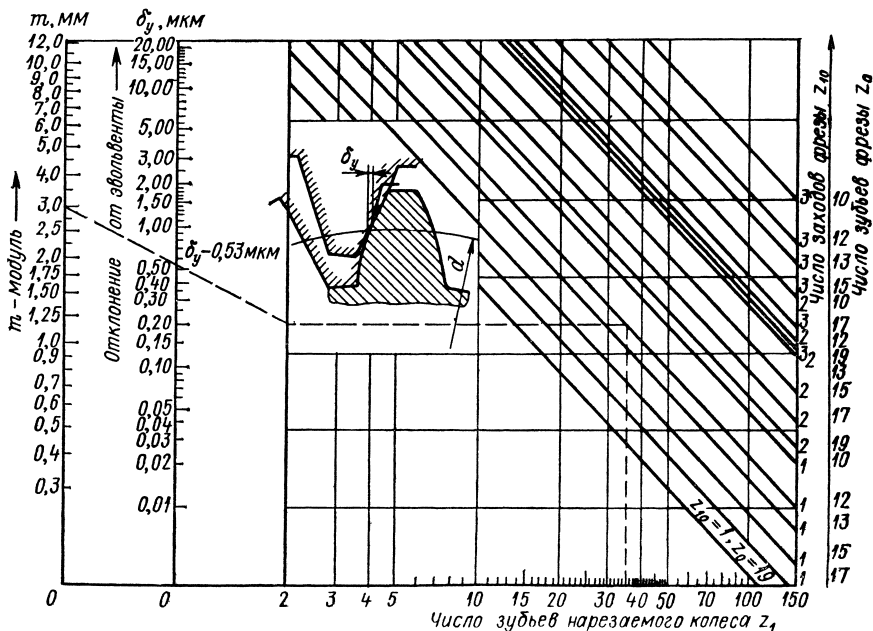


Рис. 13.43. График для определения огранки зуба колеса

в зависимости от подачи (рис. 13.42), а также огранку профиля в зависимости от числа зубьев фрезы и нарезаемого колеса (рис. 13.43).

Червячные фрезы относятся к одному из наиболее сложных и дорогих инструментов, что накладывает определенные условия на его эксплуатацию. Обеспечение правильных условий эксплуатации является залогом снижения стоимости и повышения точности зубообработки. В связи с этим большое внимание необходимо уделять выбору наиболее оптимальных условий и режимов резания, допускаемого износа, а также вопросам заточки и кон-

троля червячных фрез. Неточности червячной фрезы оказывают влияние на точность таких элементов нарезаемых колес, как профиль и основной шаг. Другие размеры элементов зубчатых колес зависят от точности зуборезного станка и различных других факторов процесса зубообработки. Поэтому в процессе эксплуатации особенно тщательно необходимо следить за соблюдением правильной переточки, а также установки фрез на станке.

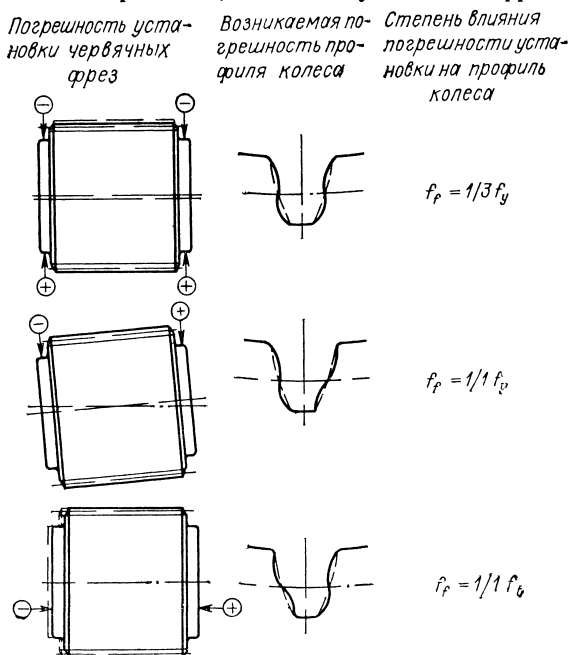


Рис. 13.44. Погрешность установки червячных фрез

На рис. 13.44 показаны три случая наиболее часто встречающихся неточностей установки фрез, среди которых перекос фрезы на оправке и осевое биение фрезы вызывают погрешность профиля колеса в полную величину. Погрешности формы передней поверхности червячной фрезы, возникающие при затачивании, и их влияние на точность профиля нарезаемых колес показаны на рис. 13.45.

Червячные фрезы из быстрорежущей стали должны затачиваться в соответствии с рекомендациями табл. 13.60 и 13.61.

Затачивание червячных фрез может осуществляться различными методами — многопроходного шлифования с делением на зуб после каждого двойного хода, глубинным методом торцом шлифовального круга из эльбора с продольной подачей 0,3—1 м/мин и поперечной подачей 0,2—0,5 мм. Во всех случаях затачивание червячных фрез рекомендуется производить с обильной подачей СОЖ в зону резания.

Формы передней поверхности

Погрешность профиля:
червячной фрезы зубчатого колеса

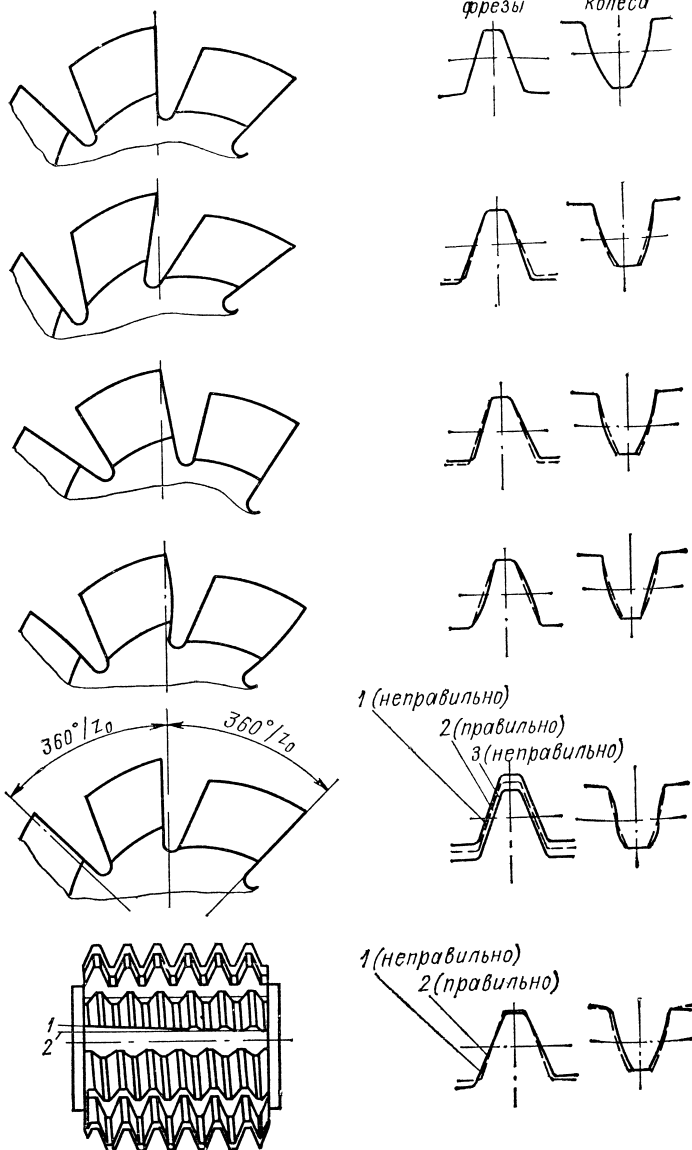


Рис. 13.45. Погрешности формы передней поверхности червячных фрез при затачивании

13.60. Шлифовальные круги для затачивания червячных фрез

Форма затачиваемой поверхности фрезы	Абразивный материал	Зернистость	Твердость	Связка
Плоская передняя поверхность	Эльбор	Л6—Л5	—	Керамическая, бакелитовая
Винтовая передняя поверхность	Монокорунд	16—25 12—16	СМ1—СМ2 СМ3—С1	Керамическая
	Электрокорунд	16—25	СМ3—С1	

13.61. Режимы затачивания червячных фрез

Абразивный материал	Скорость резания v , м/с	$S_{пр}$, м/мин	$S_{поп}$, мм/дв. ход
Монокорунд, электрокорунд Эльбор	18—25	1—15	0,02—0,06
	20—30	1—4	0,01—0,03

Затачивание червячных фрез с винтовой стружечной канавкой рекомендуется производить конической стороной шлифовального круга типа 4П с углом профиля, превышающим 15° , либо тарельчатой формы.

Для уменьшения отклонений передней поверхности от радиального направления (органическая погрешность) целесообразно использовать также относительно малые по диаметру круги с большими углами профиля. При затачивании червячных фрез с большими углами наклона стружечных канавок ($\gamma_{m0} > 5^\circ$) и классов точности ААА, АА и А необходимый профиль передней поверхности можно получить только с помощью специальных устройств для фасонной заправки шлифовального круга, которые имеются на специализированных заточных станках.

Контроль качества заточки по параметрам профиля передней поверхности, окружному шагу и направлению канавок должен осуществляться в обязательном порядке в соответствии с установленными требованиями с помощью измерительных приборов типа БВ5117.

13.4. Зуборезные долбяки

Долбяки для цилиндрических колес с эвольвентным профилем зубьев. Применяются для нарезания методом огибания цилиндрических зубчатых колес с внешними и внутренними зубьями

6—8-й степеней точности. Долбяк представляет собой корригированное зубчатое колесо с прямыми или косыми зубьями, имеющее положительную или отрицательную коррекцию, поэтому зацепление долбяка с зубчатым колесом в процессе обработки, которое обычно называется станочным зацеплением, аналогично зацеплению корригированной зубчатой передачи. Торцовое сечение долбяка, которое при зацеплении с колесом образует нулевую передачу, называют исходным сечением, отстоящим обычно от передней поверхности нового долбяка на расстояние A .

Расстояние от передней поверхности нового долбяка до исходного сечения считается положительным смещением исходного контура, а от торцового сечения предельно сточенного долбяка до исходного сечения — отрицательным смещением. В исходном сечении начальная окружность совпадает с делительной окружностью, а размеры зубьев — толщина зуба по дуге делительной окружности, высота головки и ножки — будут равны соответствующим размерам исходного контура рейки долбяка. В целях повышения срока службы долбяка целесообразно увеличить исходные расстояния, однако данное обстоятельство ограничивается опасностью заострения зубьев или неполной обработкой рабочего участка профиля.

При большом значении отрицательного исходного расстояния возникает опасность подрезания зубьев колеса или среза вершины зуба. Так как конструктивные элементы долбяка: число зубьев, делительный диаметр, исходные размеры зубьев, углы резания — являются известными или обычно задаваемыми величинами, то расчет долбяка в основном сводится к определению оптимальных значений исходных расстояний для конкретных условий обработки.

Очевидно, что задаваемые исходные расстояния должны способствовать максимальному сроку службы долбяка и обеспечению правильности нарезания зубьев колеса. При этом долбяки как с положительным, так и с отрицательным смещением исходного контура, т. е. при любой степени сточенности, должны обеспечивать требуемую точность обработки.

В связи с этим так называемый проектный расчет долбяка для нарезания конкретного изделия зубчатого колеса с заданными размерами состоит из задания исходных расчетных параметров, определения исходных расстояний по лимитирующим факторам и размеров различных конструктивных элементов [20]. Проектный расчет должен обеспечивать получение идентичных размеров нарезаемых зубьев колеса за весь срок службы долбяка, исключая опасность подреза ножки или неполной обработки головки зуба изношенным долбяком, а также образования большой переходной кривой новым долбяком.

Для расчета долбяка необходимо иметь следующие данные нарезаемого колеса (обозначения с индексом 2) и сопряженной с ним шестерни (обозначения с индексом 1). Угол зацепления α_ω , мо-

дугу m , профильный угол α , число зубьев шестерни z_1 и колеса z_2 , диаметры делительных окружностей d_1 и d_2 , диаметры вершин зубьев d_{a1} и d_{a2} , диаметры впадин зубьев d_{f1} и d_{f2} , межцентровое расстояние $a_{\omega 1, 2}$, угол наклона линии зуба β .

Действительный угол зацепления в передаче

$$\cos \alpha_{\omega 1, 2} = \frac{(d_1 + d_2) \cos \alpha_{\omega}}{2a_{\omega 1, 2}}.$$

Диаметры основных окружностей шестерни и колеса

$$d_{b1} = d_1 \cos \alpha_{\omega}; \quad d_{b2} = d_2 \cos \alpha_{\omega}.$$

Наибольший радиус кривизны профиля зуба нарезаемого колеса

$$\rho_{2 \max} = \frac{\sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2}}{2}.$$

Радиус кривизны в точке начала активной части профиля зуба нарезаемого колеса

$$\rho_2 = a_{\omega 1, 2} \sin \alpha_{\omega 1, 2} - \frac{\sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2}}{2}.$$

Торцовый угол профиля и модуль:

$$\operatorname{tg} \alpha_t = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta_0}; \quad m_t = \frac{m}{\cos \beta_0},$$

где $\beta_0 = 0$ для прямозубых долбяков.

Ниже приводится методика расчета долбяка с прямыми и косыми зубьями для нарезания цилиндрических зубчатых передач с внешним зацеплением.

Определение исходных данных. Число зубьев долбяка выбирается с учетом имеющихся стандартных делительных диаметров долбяков в соответствии с ГОСТ 9323—79* или ГОСТ 10059—81Е, возможностей имеющегося оборудования, эвольвентных копиров, делительных дисков:

$$z_0 = d'_0 / m_t,$$

где d'_0 — номинальный делительный диаметр.

Для косозубого долбяка с учетом имеющегося винтового копира с шагом P_z

$$z_0 = \frac{P_z \sin \beta_0}{\pi m_n},$$

где m_n — модуль нормальный.

Диаметр делительной окружности долбяка

$$d_0 = m_t z_0.$$

Диаметр основной окружности

$$d'_{b0} = d_0 \cos \alpha_t.$$

Боковой задний угол в плоскости, параллельной оси долбяка,

$$\operatorname{tg} \delta_{\text{бок}} = \operatorname{tg} \delta_n / \cos \alpha,$$

где $\delta_n = 2^\circ 30' \div 3^\circ$.

Размеры долбяка в исходном сечении. Диаметр окружности вершин зубьев долбяка в исходном сечении

$$d'_{a0} = d_{b2} + d_{b0} - d_{f2},$$

где d_{f2} — диаметр окружности впадин зубьев колеса.

Толщина зуба на делительной окружности

$$S'_0 = \pi m - S_1.$$

Угол давления на головке зуба

$$\cos \alpha'_{at} = d_{b0} / d'_{a0}.$$

Толщина зуба на вершине в исходном сечении

$$S_a = d'_{a0} \left(\frac{S'_0}{d_{b0} \cos \beta_0} + \operatorname{inv} \alpha_t - \operatorname{inv} \alpha'_{at} \right).$$

Расчет исходных расстояний. Станочный угол зацепления переточенного долбяка, гарантирующий отсутствие среза профиля зуба долбяка,

$$\operatorname{tg} \alpha_c = \frac{2(\rho_{2 \max} + \rho_0)}{d_{b2} + d_{b0}},$$

где ρ_0 — минимальный радиус кривизны профиля зуба долбяка, принимаемый равным в зависимости от d_0 :

d_0 , мм	ρ_0 , мм
50	2
75	3
100	5

Станочный угол зацепления переточенного долбяка, вызывающий подрез ножки зуба колеса, при $d_{f2} < d_{b2}$

$$\cos \alpha''_c = \frac{2d_{f2}(d_{b2} + d_{b0})}{(d_{b2} + d_{b0})^2 + d_{f2}^2 - d_{b0}^2}.$$

Максимально допустимое отрицательное исходное расстояние предельно сточенного долбяка

$$a_c = \frac{(\operatorname{inv} \alpha_c - \operatorname{inv} \alpha_w)(d_2 + d_0)}{C},$$

где $C = \operatorname{tg}(\beta_0 + \delta_{\text{бок}}) - \operatorname{tg}(\beta_0 - \delta_{\text{бок}})$ для косозубых долбяков и $C = 2 \operatorname{tg} \delta_{\text{бок}}$ — для прямозубых.

Станочный угол зацепления нового долбяка, обеспечивающий полную обработку рабочей части профиля зуба колеса,

$$\cos \alpha_{\omega_H} = \frac{2(d_{b2} + d_0)(df_2 - 2\rho_2 \sin \alpha_\omega)}{(d_{b2} + d_0)^2 + d_{f2}^2 - d_{b0}^2 - 4\rho_2^2}.$$

Положительное исходное расстояние, обеспечивающее полную обработку рабочей части профиля зуба колеса,

$$a'_H = \frac{(\text{inv } \alpha_{\omega_H} - \text{inv } \alpha_\omega)(d_2 + d_0)}{C}.$$

Расчетный задний угол по вершине зуба

$$\text{tg } \alpha'_b = \frac{(d_{b2} + d_{b0})(\cos \alpha_c - \cos \alpha_{\omega_H})}{2(a'_H - a_c) \cos \alpha_c \cos \alpha_{\omega_H}}.$$

Исходное расстояние, регламентируемое заострением зуба долбяка,

$$a''_H = \frac{(S'_0 - S_{a0}/\cos \beta) d'_{a0}}{2(d'_{a0} \text{tg } \alpha'_{at} - S'_a) \text{tg } \alpha'_b - d'^2_{a0} C/d_0},$$

где S_{a0} — задаваемая толщина зуба долбяка на вершине.

Максимально допустимая величина стачивания долбяка

$$H = a_H - a_c,$$

где a_H — наименьшая величина из a'_H и a''_H .

Положительное расстояние исходного сечения A от передней поверхности:

$$A = a_H \quad \text{при } H < b_0;$$

$$A = 0,5b_0 \quad \text{при } a_H > 0,5b_0;$$

$$A = b_0 + a_c \quad \text{при } |a_c| < 0,5b_0,$$

где b_0 — длина рабочей части зубьев.

Определение размеров долбяка по передней поверхности. Станочный угол зацепления нового долбяка

$$\text{inv } \alpha_H = \text{inv } \alpha_\omega + \frac{aC}{d_2 + d_0}.$$

Диаметр вершин зубьев нового долбяка

$$d_{a0} = \frac{d_{b2} + d_{b0}}{\cos \alpha_H} - d_{f2}.$$

Станочный угол зацепления предельно сточенного долбяка

$$\text{inv } \alpha_c = \text{inv } \alpha_H - \frac{b_0 C}{d_2 + d_0}.$$

Фактический задний угол по вершине

$$\text{tg } \alpha_{ab} = \frac{(d_{b2} + d_{b0})(\cos \alpha_c - \cos \alpha_H)}{2b_0 \cos \alpha_c \cos \alpha_H}.$$

Высота долбяка

$$B = b_0 + (3 \div 5).$$

Толщина зуба на делительной окружности по нормали

$$S_{n0} = S'_0 + aC \cos \beta_0.$$

Высота головки зуба по передней поверхности

$$h'_{a0} = \frac{d_{a0} - d_0}{2 \cos \gamma},$$

где $\gamma = 5^\circ$ для чистовых долбяков.

Скорректированный из-за наличия переднего и заднего углов торцовый профильный угол долбяка:

для прямозубого долбяка

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \operatorname{tg} \alpha_\omega + \operatorname{tg} \gamma \cdot \operatorname{tg} \delta_{\text{бок}};$$

для острой стороны зуба косозубого долбяка

$$\operatorname{tg} \alpha_{0 \text{ ост}} = \frac{(\operatorname{tg} \alpha_\omega + \operatorname{tg} \gamma \cdot \operatorname{tg} \delta_{\text{бок}}) \cos \delta_{\text{бок}}}{\cos (\beta_0 + \delta_{\text{бок}})};$$

для тупой стороны зуба

$$\operatorname{tg} \alpha_{0 \text{ туп}} = \frac{(\operatorname{tg} \alpha_\omega + \operatorname{tg} \gamma \cdot \operatorname{tg} \delta_{\text{бок}}) \cos \delta_{\text{бок}}}{\cos (\beta_0 - \delta_{\text{бок}})}.$$

Диаметры основных окружностей долбяка при шлифовании профиля:

прямозубого долбяка

$$d_{b0} = d_0 \cos \alpha_0;$$

для острой стороны зуба косозубого долбяка

$$d_{b0 \text{ ост}} = d_0 \cos \alpha_{0 \text{ ост}};$$

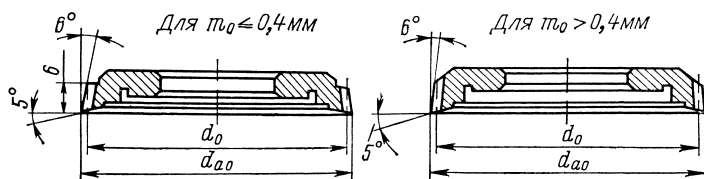
для тупой стороны зуба косозубого долбяка

$$d_{b0 \text{ туп}} = d_0 \cos \alpha_{0 \text{ туп}}.$$

Стандартные зуборезные долбяки рассчитаны из условия нарезания зубчатых колес в диапазоне чисел зубьев 17—120. Чистовые мелко модульные зуборезные долбяки (дисковые и хвостовые) модулей 0,14—0,9 мм представлены в ГОСТ 10059—80 Е. Их основные размеры с номинальными делительными диаметрами 16; 25; 40 и 63 мм (типы 1 и 2) приведены в табл. 13.62 и 13.63. Чистовые зуборезные прямозубые и косозубые долбяки (дисковые, чашечные и хвостовые) модулей 1—12 мм представлены в ГОСТ 9323—79. Основные размеры различных типов долбяков с номинальными делительными диаметрами 25; 38; 80; 100; 125; 160 и 200 мм даны в табл. 13.64—13.68. Допуски и предельные отклонения параметров стандартных долбяков приведены в табл. 13.69 (ГОСТ 10059—80) и табл. 13.70 (ГОСТ 9323—79*).

Шероховатость основных поверхностей долбяков не должна превышать значений, указанных в табл. 13.71.

**13.62. Конструктивные размеры долбяков
зуборезных мелко модульных дисковых типа 1 (ГОСТ 10059—80), мм**

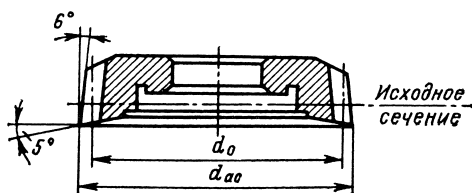


m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0
0,14 0,15 0,19	40	290 266 222	0,28	40 63	140 228	0,45	40 63	90 144	0,70	40 63	56 90
0,20	40 63	200 320	0,30	40 63	132 212	0,50	40 63	80 128		40 63	50 80
0,22	40 63	182 290	0,35	40 63	114 182	0,55	40 63	72 116			
0,25	40 63	160 256	0,40	40 63	100 160	0,60	40 63	66 108		40 63	44 72

**13.63. Конструктивные размеры долбяков
зуборезных мелко модульных хвостовых типа 2 (ГОСТ 10059—80 Е), мм**

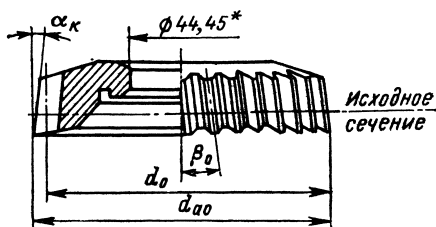
m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0
0,1	12 16 25	128 160 256	0,18	12 16 25	67 90 144	0,30	12 16 25	40 56 84	0,55	16 25	28 45
0,11	12 16 25	108 144 228	0,20	12 16 25	58 80 126	0,35	12 16 25	36 45 72	0,60	16 25	25 40
0,12	12 16 25	100 132 200	0,22	12 16 25	58 72 114	0,40	12 16 25	30 40 64	0,70	16 25	23 36
0,14	12 16 25	100 132 182	0,25	12 16 25	50 64 100	0,45	12 16 25	28 36 56	0,80	16 25	20 36
0,15	12 16 25	80 108 160	0,28	12 16 25	44 56 90	0,50	12 16 25	24 32 50	0,90	25	28

13.64. Конструктивные размеры долбяков
зуборезных дисковых типа I (ГОСТ 9323—79*), мм



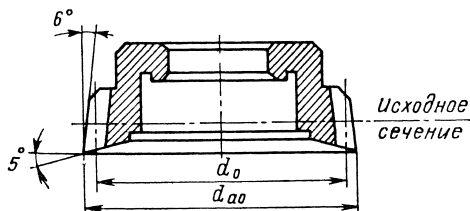
m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0
1,0	80 100	76 100	2,25	80 100 125	34 45 56	3,75	80 100 125	20 27 34	6,0	125 160 100	21 27 16
1,125	80 100	67 90	2,50	80 100 125	30 40 50	4,0	80 100 125	19 25 31	6,5	125 160 100	19 25 16
1,25	80 100	60 80	2,75	80 100 125	28 36 46	4,25	80 100	18 24	7,0	125 160 100	18 23 14
1,375	80 100	56 73	3,0	80 100 125	25 34 42	4,5	80 100 125	17 22 28	8,0	125 160 200	16 20 25
1,5	80 100	50 68	3,25	80 100 125	24 31 38	5,0	80 100 125	16 20 25	9,0	125 160 200	14 18 22
1,75	80 100	43 58	3,50	80 100 125	22 28 36	5,5	100 125 100	18 23 17	10,0	125 160 200	14 16 20
2,0	80 100 125	38 50 62							11,0 12,0	200 200	18 17

**13.65. Конструктивные размеры долбяков
зуборезных дисковых косозубых типа 2
диаметром $d_0 = 100$ мм (ГОСТ 9323—79*), мм**



m_0	z_0	$\beta_0, ^\circ$	m_0	z_0	$\beta_0, ^\circ$	m_0	z_0	$\beta_0, ^\circ$	m_0	z_0	$\beta_0, ^\circ$
1,0	100 94	15 23	2,0	50 47	15 23	3,5	28 27	15 23	5,0	20 19	15 23
1,125	88 82	15 23	2,25	44 41	15 23	3,75	26 25	15 23	5,5	18 17	15 23
1,25	80 76	15 23	2,5	40 37	15 23	4,0	25 23	15 23	6,0	16	15 23
1,375	70 67	15 23	2,75	36 34	15 23	4,25	23 22	15 23	6,5	15 14	15 23
1,5	66 62	15 23	3,0	32 32	15 23	4,5	22 21	15 23	7,0	14 13	15 23
1,75	56 53	15 23	3,25	30 28	15 23						

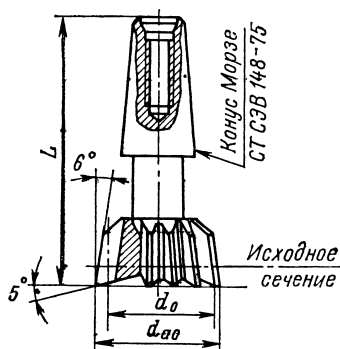
**13.66. Конструктивные размеры долбяков
зуборезных чашечных типа 3 (ГОСТ 9323—79*), мм**



m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0
1,0	50 80 100	50 76 100	1,125	50 80 100	44 67 90	1,25	50 80 100	40 60 80	1,375	50 80 100	36 56 73

m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0
1,50	50	34	2,5	50	20	3,50	50 80 100	14 22 28	5,5	100 125	18 23
	80	50		80	30						
	100	68		100	40				6,0	100 125	17 21
1,75	50	24	2,75	50	18	3,75 4,0 4,25 4,50	100	27 25 24 22			
	80	43		80	28				6,5	100 125	16 19
	100	58		100	36						
2,0	50	25	3,0	50	17	5,0	100 125	20 25	7,0 8,0 9,0	125 125 125	18 16 14
	80	38		80	25						
	100	50		100	34						
2,25	50	22	3,25	50	15						
	80	34		80	24						
	100	45		100	31						

13.67. Конструктивные размеры долбяков
зуборезных хвостовых типа 4 (ГОСТ 9323—79*), мм



m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0	m_0	d_0	z_0
1,0	25	26	1,375	25	18	2,0	25 38	12 19	2,75	25 38	10 14
	38	38		38	28						
1,125	25	23	1,50	25	18	2,25	25 38	12 16	3,0	25 38	9 12
	38	34		38	25						
1,25	25	20	1,75	25	14	2,50	25 38	10 15	3,25 3,50 3,75 4,0	38	12 11 10 10
	38	30		38	22						

**13.68. Конструктивные размеры долбяков
зуборезных хвостовых косозубых типа 5 диаметром 38 мм
(ГОСТ 9323—79*), мм**

m_{n0}	z_0	β_0	m_{n0}	z_0	β_0	m_{n0}	z_0	β_0	m_{n0}	z_0	β_0
1,0	36 35	15 23	1,5	24 23	15 23	2,50	15 14	15 23	3,50	10	15 23
1,125	32 31	15 23	1,75	21 20	15 23	2,75	13	15 23	3,75	10 9	15 23
1,25	30 28	15 23	2,0	18	15 23	3,0	12	15 23	4,0	9	15 23
1,375	27 25	15 23	2,25	16	15 23	3,25	11	15 23			

**13.69. Допуски и предельные отклонения параметров
мелкомодульных долбяков (ГОСТ 10059—80 E)**

Параметр	Обозначение	Номинальный делительный диаметр, мм	Класс точности	Допуски и отклонения мкм, при m_0 , мм	
				от 0,1 до 0,5	св. 0,5 до 0,9
Отклонение диаметра посадочного отверстия	f_d	40, 63	AA	+4	
		40	A		
		63	B	+5	
		40			
		63		+6	
Биение конуса хвостовых долбяков	f_{rh}	—	A, B	5	
Отклонение от перпендикулярности внешней опорной поверхности	f_{xy}	—	AA A B	3 4 6	
Отклонение от параллельности опорных поверхностей	f_x	—	AA A B	3 4 6	
Торцовое биение передней поверхности	$f_{\gamma t}$	—	AA A B	10 14 20	

Параметр	Обозначение	Номинальный делительный диаметр, мм	Класс точности	Допуски и отклонения, мкм, при m_0 , мм	
				от 0,1 до 0,5	св. 0,5 до 0,9
Биеение окружности вершин зубьев	f_{rra0}	—	AA A B	8 12 18	
Отклонение диаметра окружности вершин зубьев	f_{da0}	40, 63	AA	± 125	
		12, 16 25, 40, 63	A	± 100 ± 160	
		12, 16 25, 40, 63	B	± 125 ± 200	
Погрешность профиля зуба	f_{f0}	—	AA A B	4 5 8	
Отклонение высоты головки зуба	f_{ha0}	—	AA, A, B	± 12	
Разность соседних окружных шагов	f_{co}	—	AA A B	3 4 6	
Накопленная погрешность окружного шага	F_{P0}	40 63	AA	8	10 10
		16, 25 40 63	A	10 12 14	12 14 16
		16, 25 40 63	B	16 18 22	18 22 25
Радиальное биеение зубчатого венца	F_{r0}	40 63	AA	6 7	7 8
		16, 25 40 63	A	9 10 11	10 11 12
		16, 25 63	B	14 16	16 20

**13.70. Допуски и предельные отклонения параметров дольбиков
(ГОСТ 9323—79*)**

Параметр	Обозначение	d_0 , мм	Класс точности	Допуски и отклонения мкм, при m_0 , мм			
				от 1 до 3,5	св 3,5 до 6,3	св 6,3 до 10	св. 10
Отклонение от параллельности опорных поверхностей	f_x	50	A B	5 8	6 10	—	—
		Св. 50 до 125	AA A B	3 5 8	4 6 10	4 6	—
		Св. 125 до 200	AA A B	—	—	5 8 12	6
Торцовое биение передней поверхности	$f_{\gamma t}$	До 50	A B	14 20	—		
		Св. 50 до 125	AA A B	12 16 25			—
		Св. 125 до 200	AA A B	—	20 28 40		
Биение окружности вершин зубьев	$f_{rra\ 0}$	До 50	A B	12 20	16 25	—	
		Св. 50 до 125	AA A B	10 16 25	12 20 32	—	
		Св. 125 до 200	AA A B	—		16 25 40	20 32 50
Погрешность профиля	f_{f_0}	—	AA A B	3—4 4—5 8—10	4 7 12	6 7 12	10 16—20
Разность соседних окружных шагов	f_{u0}	—	AA A B	3—4 5—6 8—10	4 6 10	5 8 12	

Параметр	Обозначение	d_0 , мм	Класс точности	Допуски и отклонения, мкм, при m_0 , мм			
				от 1 до 3,5	св. 3,5 до 6,3	св. 6,3 до 10	св. 10
Накопленная погрешность окружного шага	F_{P0}	—	AA A B	9—11 14—18 20—24	11 18 30		14 22 36
Радиальное биение зубчатого венца	F_{r0}	До 50	A B	14—16 20—24	16 26	—	—
		Св. 50 до 125	AA A B	12—14 16—18 24—26	14 20 32	14 20 32	—
		Св. 125	AA A B	—	—	18 24 36	20 — 40

13.71. Шероховатость рабочих поверхностей долбяков

Поверхности	Класс точности долбяка	Параметр шероховатости поверхности, мкм	
		R_a	R_z
Передняя и задние поверхности зубьев	AA и A B	— —	1,6 2,5
Опорная поверхность дисковых и чашечных долбяков	AA, A и B	0,16	—
Посадочное отверстие дисковых и чашечных долбяков	AA A и B	0,16 0,25	—
Внутренняя опорная поверхность дисковых и чашечных долбяков	AA, A и B	0,63	—
Поверхность хвостовика хвостовых долбяков	A B	0,5 0,63	—
Остальные поверхности	AA, A и B	2,5	—

Возможность использования имеющегося стандартного долбяка для нарезания корригированного зубчатого колеса должна проверяться расчетом [269], целью которого является определение правильности профилирования эвольвентной части зуба, так как переходная кривая при нарезании долбяком может распространиться и на активную часть зуба, исключая возможность нарезания зубьев колеса необходимой высоты.

Последовательность проверочного расчета долбяка следующая.

Станочный угол зацепления долбяка и нарезаемого колеса

$$\cos \alpha_{H2, 0} = \operatorname{inv} \alpha_{\omega} \pm \frac{S_2 + S_0 - \pi m_0}{m_0 (z_2 \pm z_0)},$$

где знак «+» относится к нарезанию колеса внешнего зацепления, знак «—» — внутреннего.

Диаметр окружности впадин зубьев колеса после нарезания долбяком

$$d'_{f2} = 2a_{2, 0} \mp d_{a0},$$

где $d'_{f2} \leq d_{f2}$ при наружном зацеплении; $d'_{f2} \geq d_{f2}$ — при внутреннем зацеплении;

$$a_{2, 0} = \frac{m_0 (z_2 \pm z_0) \cos \alpha_{\omega}}{\cos \alpha_{H2, 0}}.$$

Угол зацепления нарезаемого и сопряженного с ним колеса в зубчатой передаче

$$\cos \alpha_{\omega 1, 2} = \frac{m (z_1 \pm z_2) \cos \alpha_{\omega}}{2a_{1, 2}},$$

где $a_{1, 2}$ — межосевое расстояние в зубчатой передаче.

Диаметр теоретической основной окружности долбяка принимается по таблице или рассчитывается по формуле

$$d_{b0} = d_0 \cos \alpha_{\omega}.$$

Радиус кривизны профиля зубьев колеса в точке начала активной части

$$2\rho_2 = 2a_{1, 2} \cos \alpha_{\omega 1, 2} \mp \sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2}.$$

Радиус кривизны профиля зубьев колеса после нарезания в точке начала обработки долбяком

$$2\rho_{2, 0} = 2a_{2, 0} \sin \alpha_{H2, 0} \mp \sqrt{d_{a0}^2 - d_{b0}^2},$$

где $\rho_{2, 0} \leq \rho_2$ при внешнем зацеплении; $\rho_{2, 0} \geq \rho_2$ при внутреннем зацеплении.

При проверке косозубого долбяка требуется дополнительно выдержать условия по равенству углов наклона зубьев колеса и инструмента, т. е. обеспечить равенство шагов винтовой линии зубьев долбяка и винтового копира $S_{\text{коп}}$ зубодолбежного станка:

$$S_{\text{коп}} = z_0 \pi m_n / \sin \beta_0.$$

Стандартными долбьяками (ГОСТ 9323—79*) можно нарезать колеса с углами наклона 15 и 23°, и они изготавливаются комплектами из 2 шт. (правого и левого направления). Данные долбьяки предусматривают возможность применения винтовых копиров с шагом $S_{\text{коп}}$, равным 1198,0004 мм и 751,9566 мм.

Проверочный расчет косозубого долбьяка. Исходными данными являются те же параметры, что и при расчете прямозубого долбьяка. Необходимо только дополнительно знать $S_{\text{коп}}$ и β_0 .

Угол наклона и направление зуба долбьяка выбирается из условия $\beta_0 = \beta$. Для колес внешнего зацепления направление зубьев долбьяка и нарезаемого колеса должно быть противоположным, а для колес внутреннего зацепления — одинаковым.

Требуемый шаг копира для имеющегося долбьяка

$$S_{\text{коп}} = \pi m_n z_0 / \sin \beta_0.$$

Фактический угол наклона зуба колеса после нарезания долбьяком при использовании имеющегося копира

$$\sin \beta_{2\phi} = \pi m_n z_0 / S'_{\text{коп}},$$

где $S'_{\text{коп}} = 1198,0004$ или $751,9566$ мм. Разность в углах β_0 и $\beta_{2\phi}$ не должна превышать допустимого отклонения направления зуба.

Последующий расчет ведется как и для прямозубого долбьяка, но в торцовом сечении:

$$\text{inv } \alpha_{t2,0} = \text{inv } \alpha_t \pm \frac{S_2 + S_0 - \pi m_n}{m_n (z_2 \pm z_0)};$$

$$2a_{2,0} = \frac{(d_2 \pm d'_0) \cos \alpha_t}{\cos \alpha_{t2,0}};$$

$$d'_{f2} = 2a_{2,0} \mp d_{a0}, \quad d'_{f2} \leq d_{f2}$$

(при наружном зацеплении);

$$\cos \alpha_{t1,2} = \frac{(d_1 \pm d_2) \cos \alpha_t}{2a_{1,2}};$$

$$2\rho_2 = 2a_{1,2} \sin \alpha_{t1,2} \mp \sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2}.$$

Долбьяки для нарезания зубчатых колес под шевингование. В промышленности нашли наибольшее распространение две модификации профиля зубьев долбьяков, обеспечивающие наилучшие условия их изготовления и эксплуатации: 1) долбьяки с измененным углом профиля, изготавливаемые в диапазоне модулей 1—3 мм; 2) долбьяки с усиком на профиле зуба, изготавливаемые в диапазоне модулей 1,5—6,5 мм.

Долбьяки с измененным (уменьшенным) углом профиля рассчитывают по обычной методике, принимая во внимание, что размеры зуба в исходном сечении — толщина зуба на делительной окружности и угол профиля исходного контура — должны быть опре-

**13.72. Основные размеры, мм, по передней поверхности
зуборезных дисковых долбяков с измененным углом профиля α_0
под шевингование**

m_0	Угол профиля α_0	d_0	z_0	S	h_{a0}	d_0	z_0	S_0	h_{a0}
1,0	18° 49'	75	76	2,05	1,98	100	100	2,33	2,4
1,125	18° 58'		67	2,28	2,2		90	2,54	2,57
1,25	19° 06'		60	2,51	2,41		80	2,73	2,74
1,375	19° 11'		56	2,73	2,6		73	2,96	2,94
1,5	19° 05'		50	2,92	2,78		68	3,16	3,13
1,75	19° 14'		43	3,35	3,17		58	3,59	3,52
2,0	19° 21'		38	3,77	3,54		50	3,99	3,86
2,25	19° 16'		34	3,96	3,63		45	4,4	4,25
2,5	19° 21'		30	4,35	3,95		40	4,72	4,48
2,75	19° 26'		28	4,77	4,32		36	5,12	4,82
3,0	19° 29'		25	5,09	4,7		34	5,44	5,21

делены из условия обеспечения следующего припуска на толщину зуба по окружности вершин зубьев:

m_0	ΔS_0
1—1,375 мм	0,1 мм;
1,5—2,0 мм	0,12 мм;
2,25—3,0 мм	0,15 мм

Модификация угла профиля долбяков под шевингование обуславливает неравномерное распределение припуска по высоте зуба колеса: максимальный припуск остается на вершине зуба колеса, затем припуск несколько уменьшается в направлении основания зуба, приобретая форму запятой.

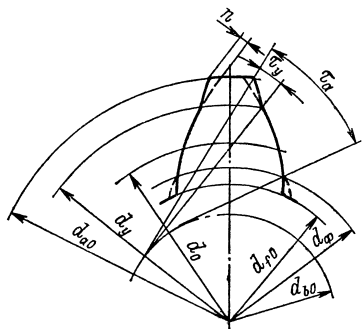


Рис. 13.46. Модифицированный профиль зуба долбяка под шевингование

В табл. 13.72 представлены основные размеры дисковых прямоугольных долбяков в диапазоне модулей 1—3 мм с измененным углом профиля, которые могут быть применены для нарезания зубчатых колес под шевингование. Долбяки рассчитаны с учетом высоты головки зуба в исходном сечении $h_{a0} = 1,35m_0$, а также из условия обеспечения необходимого бокового зазора в передаче.

Наибольшее применение для нарезания зубчатых колес под шевингование имеют зуборезные долбяки с утолщением (усиком) на головке зуба.

Обработанные подобными долбяками зубчатые колеса имеют небольшое подрезание в зоне ножки, которое однако не должно распространяться на активную часть профиля зуба колеса.

Основные конструктивные размеры долбяков под шевингование определяются так же, как и размеры обычных долбяков. Исключение составляют размеры модифицированного участка профиля зуба, расчет которых может быть выполнен по следующей методике (рис. 13.46).

Торцовый станочный угол зацепления долбяка и колеса

$$\text{inv } \alpha_{t_2, 0} = \text{inv } \alpha_t + \frac{S_0 + S_2 - \pi m}{m(z_2 + z_0)}.$$

Радиус кривизны профиля зуба нарезаемого колеса в точке начала активной части

$$\rho_2 = a_{1,2} \sin \alpha_{t_1, 2} - 0,5 \sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2},$$

где $\alpha_{t1,2}$ — угол зацепления в зубчатой паре.

Радиус кривизны зуба долбяка, сопрягающегося с началом активной части зуба колеса

$$\rho_{0y} = 0,5(d_{b2} + d_{b0}) \text{tg } \alpha_{t_2, 0} - \rho_2.$$

Диаметр начала усика

$$d_y = \sqrt{d_{b0}^2 + (2\rho_{0y})^2}.$$

Угол развернутости усика

$$\tau_y = (\text{tg } \alpha_a - \text{tg } \alpha_y) 57,29578,$$

где $\alpha_a = \arccos(d_b/d_{a0})$; $\alpha_y = \arccos(d_b/d_y)$.

Угол развернутости до начала фланка

$$\tau_\phi = \left(\text{tg } \alpha_a - \text{tg } \alpha_\phi - \frac{n}{r_0 \cos \alpha_0} \right) 57,29578,$$

где α_0 — скорректированный профильный угол долбяка в зависимости от наличия переднего и заднего углов,

$$\text{tg } \alpha_0 = \frac{\text{tg } \alpha}{1 - \text{tg } \alpha_b \cdot \text{tg } \gamma}$$

(у стандартных долбяков $\gamma = 5^\circ$ и $\alpha_b = 6^\circ$); высота усика $n = \Delta S/2 + (0,02 \div 0,03)$; $\cos \alpha_\phi = d_b/d_\phi$.

На рис. 13.46 и в табл. 13.73 приведены основные конструктивные размеры дисковых прямозубых долбяков с усиком на профиле зуба с номинальными делительными диаметрами 75 и 100 мм в диапазоне модулей 1,5—6,5 мм. Углы развернутости эвольвенты и толщина усика даны в контрольном сечении на расстоянии 2,5 мм от передней поверхности.

Долбяки для нарезания валов и отверстий шлицевых соединений с эвольвентным профилем. Применяются для нарезания зубьев с эвольвентным профилем на валах с плоской впадиной при центрировании по профилю зубьев (центрирование по S) и по наружному диаметру соединения (центрирование по D) и

**13.73. Основные размеры, мм, по передней поверхности
зуборезных дисковых долбяков с «усиком» на профиле
под шевингование**

m_0	n	d_0	z_0	S_0	h_{a_0}	d_0	z_0	S_0	h_{a_0}
1,5	0,07	75	50	2,95	2,78	100	68	3,2	3,13
1,75			43	3,38	3,17		58	3,63	3,52
2,0			38	3,8	3,54		50	4,03	3,86
2,25			34	4,02	3,63		45	4,47	4,25
2,5			30	4,4	3,95		40	4,78	4,48
2,75	0,08		28	4,82	4,32		36	5,18	4,82
3,0			25	5,13	4,55		34	5,5	5,06
3,25			24	5,51	4,87		31	5,81	5,28
3,5			22	5,88	5,17		28	6,15	5,53
3,75			0,09	20	6,24		5,46	27	6,44
4,0	19			6,65	5,82		25	6,84	6,07
4,25	18			7,06	6,19		24	7,13	6,27
4,5	0,09		17	7,48	6,55		22	7,47	6,55
5,0			—	—	—		20	8,31	7,28
5,5			—	—	—		19	9,13	8,0
6,0	0,10		—	—	—		17	9,96	8,73
6,5			—	—	—		16	10,79	9,46

в отверстиях при центрировании по профилю зубьев (центрирование по S) в соответствии со стандартами СЭВ 259—76 и СТ СЭВ 269—76. Долбяки по ГОСТ 6762—79* изготавливаются трех типов: 1 — дисковые, 2 — чашечные, 3 — хвостовые — классов точности А и В. Для нарезания втулок с полем допуска ширины впадины 7Н применяются долбяки класса точности А; полем допуска 9Н и 11Н — класса В; для нарезания валов с полями допусков толщины зуба 8р, 8к, 8f — долбяки класса А, с полями допусков 9г, 9h, 9q, 11с — долбяки класса В.

Основные конструктивные размеры данных долбяков приведены в табл. 13.74 и 13.75, допуски и предельные отклонения — в табл. 13.76.

Долбяки для нарезания зубчатых колес с внутренними зубьями. Конструктивно долбяки для нарезания зубчатых колес с внутренними зубьями ничем не отличаются от долбяков, применяемых для нарезания зубчатых колес с наружными зубьями. Не имеется также каких-либо отличий в методике расчета конструктивных элементов, поэтому стандартные долбяки могут применяться также и для нарезания зубчатых колес с внутренними зубьями [54, 269].

Однако основная особенность работы долбяков при нарезании зубчатых колес с внутренними зубьями заключается в необходимости выбора для обработки конкретного колеса с числом зубьев z_1 долбяка, число зубьев которого z_0 не превышало бы определенного значения, в противном случае может иметь место срезание вер-

13.74. Основные размеры долбяков зуборезных чистовых с номинальным делительным диаметром 75 мм для валов и отверстий шлицевых соединений с эвольвентным профилем (ГОСТ 6762—79*), мм

m_o	z_o	Диаметры окружностей			Расстояние ис-ходного сече-ния A	Размеры зуба в проекции перед-ней поверхности на плоскость, перпендикулярную к оси			Ширина ступи-цы b	Высота долбяка B
		d_o	d_{b_o}	d_{a_o}		h_{a_o}	h_o	S_o		
0,5	150	75	64,801	75,81	0,5	0,4	0,75	0,85	8	12
0,6	125	75	64,801	76,57	0,6	0,48	0,9	1,02		
0,8	94	75	64,801	76,49	0,8	0,64	1,2	1,35		
1,0	76	76	65,665	77,61	1,0	0,8	1,5	1,69		
1,25	60	75	64,801	77,01	1,25	1,0	1,88	2,12		
1,5	50	75	64,801	77,42	1,5	1,21	2,25	2,54		
2,0	38	76	65,665	79,22	2,0	1,61	3,0	3,39	8	15
2,5	30	75	64,801	79,03	2,5	2,01	3,75	4,23		
3,0	25	75	64,801	79,83	3,0	2,42	4,5	5,08		17
3,5	22	77	66,529	83,0	5,25	3,0	5,25	6,14		
4,0	19	76	65,665	82,86	6,0	3,43	6,0	7,02	10	20
5,0	15	75	64,801	83,58	7,5	4,29	7,5	8,77		
6,0	12	72	62,209	82,29	9,0	5,15	9,0	10,53		
7,0	10	70	60,481	82,01	10,5	6,0	10,5	12,28	12	22

13.75. Основные размеры долбяков зуборезных чистовых с номинальным делительным диаметром 100 и 125 мм для валов и отверстий шлицевых соединений с эвольвентным профилем (ГОСТ 6762—79*), мм

m_o	z_o	Диаметры окружностей			Расстояние ис-ходного сечения А	Размеры зуба в проекции перед- ней поверхности на плоскость, перпендикулярную к оси			Ши-рина сту- пицы b	Вы-сота дол- бяка B
		d_o	d_{b_o}	d_{a_o}		h_{a_o}	h_o	s_o		
3,5	28	98	84,673	104,0	5,25	3,0	5,25	6,14	12	20
4,0	25	100	86,401	106,86	6,0	3,43	6,0	7,02		
5,0	20	100	86,401	108,58	7,5	4,29	7,5	8,77		
6,0	17	102	88,129	112,29	9,0	5,15	9,0	10,53	14	26
7,0	15	105	92,721	117,01	10,5	6,0	10,5	12,28		
	18	126	108,866	138,01						
8,0	12	96	82,945	109,72	12	6,86	12	14,04		
	16	128	110,594	140,88						
10,0	10	100	86,401	117,15	15	8,58	15	17,55		
	12	120	103,682	137,15						

**13.76. Допуски и предельные отклонения параметров долбяков
для шлицевых соединений с эвольвентным профилем**

Параметр	Обозначение	d_0 , мм	Класс точности	Допуски и отклонения, мкм, при m_0 , мм							
				0,5 св. до 1,0	1 св. до 1,5	1,5 св. до 2,5	2,5 св. до 4	4 св. до 6	6 св. до 10		
Отклонение диаметра посадочного отверстия	f_d	—	A B	$\begin{matrix} +5 \\ +8 \end{matrix}$							
Биеение конуса хвостовых долбяков	f_{rk}	—	A, B	5							
Отклонение от перпендикулярности опорной поверхности к поверхности посадочного отверстия	f_{xy}	До 50	A B	4 6,3				5 8			
		Св. 50 до 125	A B	5 8				6,3 10			
Отклонение от параллельности опорных поверхностей	f_x	До 50	A	5				6,3			
		Св. 50 до 125	B	8				10			
Торцовое биеение передней поверхности на делительной окружности	f_{yt}	До 50	A B	16 25				20 32			
		Св. 50 до 125	A B	20 32				25 40			
Отклонение профиля	f_{f_0}	—	A B	4 8	6,3 10	8 12,5	10 16	12,5 20	16 25	20 32	
Разность соседних окружных шагов	f_{u_0}	—	A B	4 6,3		5 8		6,3 10			
Накопленная погрешность окружного шага	F_{P_s}	—	A B	12,5 20		16 25		20 32			
Радиальное биеение зубчатого венца	F_{r_0}	До 50	A B	16 25			20 32				
		Св. 50 до 125	A B	20 32			25 40				
Отклонение углов переднего и заднего	$f_{\gamma_{0a}}$	—	A B	$\begin{matrix} \pm 8' \\ \pm 12' \end{matrix}$							
	$f_{\alpha_{0a}}$	—	A, B	$\pm 5'$							
Отклонение высоты головки	f_{ha_0}	—	A B	± 12 ± 20	± 16 ± 25	± 20 ± 32	± 25 ± 40	± 32 ± 50	± 40 ± 60	± 50 ± 80	

шины зубьев колеса. Для определения минимального числа зубьев колеса $z_{1 \min}$, которое может быть нарезано стандартным долбяком с числом зубьев z_0 при различных углах профиля исходного контура и высотах головки зуба h_{a0} , рекомендуется использовать график на рис. 13.47. Долбяки для нарезания колес с внутренними зубьями могут быть как прямозубыми, так и косозубыми. При обработке колес с заданным числом зубьев рационально выбрать долбяк с максимальным числом зубьев, определяемым по графику на рис. 13.47.

Эксплуатация зуборезных долбяков. Зубодолбление применяется главным образом для обработки зубчатых колес с закрытыми венцами. Основные характеристики и назначение стандартных долбяков даны в табл. 13.77.

Дисковые и чашечные долбяки изготавливаются из быстрорежущей стали преимущественно цельной конструкции. Хвостовые долбяки в основном изготавливаются сварными, при этом хвостовая часть их выполнена из стали марки 40Х или 45. Твердость режущей части долбяков должна быть не менее 63—66 HRC_a, а хвостовой части — не менее 35 HRC_a. Выбор режимов резания должен осуществляться в следующей последовательности.

Устанавливается длина хода долбяка $L = b + 2l$, где $l = 5 \div 25$ мм является величиной перебега при входе и выходе; b — ширина зубчатого венца.

Круговая подача S (мм/дв. ход) для долбяков $m \geq 1$ мм может быть выбрана из табл. 13.78. При этом радиальная подача $S_r = (0,1 \div 0,3) S$. Скорость резания и поправочные коэффициенты на v и S приведены в табл. 13.79—13.81.

Данные по числу проходов при зубодолблении, допустимому износу, стойкости между переточками, размерам стачивания за одну переточку имеются в табл. 13.82. Режимы резания мелко-модульных долбяков представлены в табл. 13.83.

Отдельные расчетные величины режимов резания могут быть определены по следующим формулам.

Число двойных ходов долбяка n в минуту

$$n = 1000v/2L,$$

где L — длина хода долбяка, $L = b + l$.

Величина перебега долбяка на две стороны l (в мм) в зависимости от ширины зубчатого венца колеса b (в мм) приведена ниже:

b	До 19	Св. 19 до 51	Св. 51 до 72	Св. 72 до 85	Св. 85 до 122	Св. 122 до 165
l	5	8	12	15	20	25

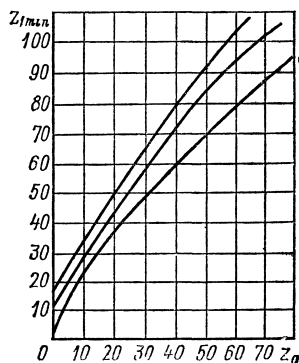


Рис. 13.47. График для определения предельного числа зубьев долбяка при нарезании колес внутреннего зацепления

13.77. Основные характеристики и назначение долбяков
(ГОСТ 10059—80Е и ГОСТ 9343—79*)

Тип долбяка	Долбяк	Назначение	m_0 , мм	d_0 , мм	β_0 , °	Класс точности долбяка
1	Дисковый прямо- зубый	Для нарезания прямозубых колес внешнего и внутреннего зацеплений 6—8-й степеней точности	0,14—0,9 0,2—0,9 1,0—5,0 1,0—8,0 2,0—10 6,0—10 8,0—12	40 63 80 100 125 160 200	0	АА, А, В
2	Дисковый косозубый	Для нарезания косозубых колес внешнего и внутреннего зацеплений 7—8-й степеней точности	1,0—7,0	100	15; 23	А, В
3	Чашечный прямо- зубый	Для нарезания в упор прямозубых колес с закрытым венцом при диаметре бурта, превышающем диаметр вершин зубьев более чем на $(4 \div 5) m$, 6—7-й степеней точности	1,0—3,5	50	0	А, В
			1,0—3,5 1,0—6,5 5,0—9,0	80 100 125		АА, А, В
4	Хвостовой прямо- зубый	Для нарезания прямозубых зубчатых колес внутреннего зацепления 7—8-й степеней точности	0,1—0,5 0,1—0,8 0,1—0,9 1,0—3,0 1,0—4,0	12 16 25 25 38	0	А, В
5	Хвостовой косозубый	Для нарезания косозубых зубчатых колес внутреннего зацепления 8-й степени точности	1,0—4,0	38	15; 23	В

Основное время t_0 (мин) долбления одной детали

$$t_0 = \frac{\pi m_0 z_1}{nS} i + \frac{h}{nS_{\text{рад}}},$$

где z_1 — число зубьев нарезаемого колеса; n — число двойных ходов долбяка в мин; h — высота нарезаемого зуба, мм; i — число проходов; S — круговая подача, мм/дв. ход; $S_{\text{рад}}$ — радиальная подача, мм/дв. ход, $S_{\text{рад}} = (0,1 \div 0,3) S$.

13.78. Круговая подача $S_{кр}$ при зубодолблении цилиндрических зубчатых колес, мм/дв. ход

Вид обработки	Обрабатываемый материал, твердость	m_0 , мм	Группа станков			
			I	II	III	IV
Черновая и получистовая под последующую обработку долбяком	Сталь 45, 170—229 НВ	Св. 3 до 4	0,2—0,5	0,4—0,5	—	—
		Св. 4 до 6	0,1—0,25	0,25—0,4	0,45—0,6	
		Св. 6 до 8	—	—	0,35—0,45	0,4—0,6
		Св. 8 до 10	—	—	0,35—0,4	0,4—0,6
		Св. 10 до 12	—	—	0,25—0,5	0,35—0,55
	Чугун серый, 170—229 НВ	Св. 3 до 4	0,35—0,55	0,45—0,6	—	—
		Св. 4 до 6	0,2—0,3	0,35—0,5	0,4—0,55	
		Св. 6 до 8	—	—	0,4—0,5	0,5—0,6
		Св. 8 до 10	—	—	0,4—0,55	0,5—0,7
		Св. 10 до 12	—	—	0,3—0,5	0,4—0,6
Черновая и получистовая под шевингование	Сталь 170—207 НВ	От 1 до 2,5	0,1—0,3	0,15—0,35	—	—
		Св. 2,5 до 4	0,25—0,35	0,35—0,4		
		Св. 4 до 6	0,1—0,2	0,25—0,35	0,35—0,45	0,35—0,50
		Св. 6 до 8	—	—	0,3—0,4	
	Чугун серый, 170—229 НВ	От 1 до 2,5	0,2—0,4	0,2—0,4	—	—
		Св. 2,5 до 4	0,35—0,45	0,4—0,5		
		Св. 4 до 6	0,2—0,3	0,3—0,45	0,35—0,5	0,45—0,55
		Св. 6 до 8	—	—	0,35—0,45	

Вид обработки	Обрабатываемый материал, твердость	m_0 , мм	Группа станков			
			I	II	III	IV
Черновая и получистовая под шлифование	Сталь 45, 170—207 HB	От 1 до 2,5	0,12—0,3	0,18—0,36	—	—
		Св. 2,5 до 4	0,3—0,4	0,4—0,45		
		Св. 4 до 6	0,15—0,25	0,3—0,4	0,4—0,5	
		Св. 6 до 8	—	—	0,32—0,45	0,4—0,5
		Св. 8 до 10			0,3—0,4	0,36—0,5
		Св. 10 до 12			0,25—0,45	0,3—0,5
Чистовая по сплошному металлу ($R_z \leq 10$ мкм)	Сталь 45, 170—207 HB	От 1,0 до 3,0	0,28—0,35			
	Чугун серый, 170—229 HB		0,32—0,40			
Чистовая по предварительно прорезанному зубу ($R_z \leq 10$ мкм)	Сталь 45, 170—207 HB	Св. 3 до 12	0,25—0,30			
	Чугун серый, 170—229 HB		0,35—0,40			

Примечания: 1. Численные значения подачи приведены для обработки за один проход. При двух проходах значения подач следует увеличить на 20 %. 2. Большие значения подач необходимо применять при обработке колес с $z > 25$, меньшие — при $z \leq 25$. 3. Радиальная подача равна $(0,1 \div 0,3) S_{кр}$.

**13.79. Скорости резания v при зубодолблении
цилиндрических зубчатых колес из углеродистых и легированных сталей,
м/мин**

Вид обработки	$S_{кр}$ мм/дв. ход	m_0 мм					
		от 1,0 до 3	св. 3 до 4	св. 4 до 6	св. 6 до 8	св. 8 до 10	св. 10 до 12
Черновая, полу- чистовая и чистовая по сплошному металлу	0,10	41,5	36	29	—	—	—
	0,15	34	28	23	—	—	—
	0,20	30	25	21	18,5	17	16
	0,25	27	22	18,5	17	16	14
	0,30	24	20	16	15,5	14	13
	0,35	22,5	18	15	14,5	13	12
	0,40	21	17	14,5	14	12	11
	0,45	—	16	13,5	12	11	10
	0,50	—	15,5	13,5	11,5	10	9,5
	0,55	—	—	12,5	10,5	9,5	9
	0,60	—	—	12	10	9	—
Чистовая по пред- варительно обрабо- танному зубу	0,15	—	44				
	0,20	—	40				
	0,25	—	35				
	0,35	—	31				

**13.80. Скорости резания v при зубодолблении зубчатых колес
из серого чугуна с 170—210 НВ, мм/мин**

Вид обработки	$S_{кр}$ мм/дв. ход	Модуль нарезаемых колес m_0 , мм					
		от 1 до 3	св. 3 до 4	св. 4 до 6	св. 6 до 8	св. 8 до 10	св. 10 до 12
Черновая, полу- чистовая и чистовая по сплошному металлу	0,2	24,5	22	19	—	—	—
	0,25	23	21	18	—	—	—
	0,30	22	20,5	17	16	15	14
	0,35	21	18,6	16	15,7	14,5	13,5
	0,40	20,5	18	16,5	15	14	13
	0,45	19,5	17,5	15	14,8	13,5	12,5
	0,50	19	17	14,8	14,5	13	11,5
	0,55	—	16,5	14,5	14	12	11
	0,60	—	16	14	13	11	10
	0,70	—	—	—	—	10	—
Чистовая по пред- варительно обрабо- танному зубу	0,15	—	44				
	0,20	—	42				
	0,25	—	37				
	0,35	—	33				

**13.81. Поправочные коэффициенты на скорость резания и подачу
при зубодолблении для измененных условий работы
в зависимости от твердости материала**

Марка стали	Твердость НВ	K_{v_M}	K_{S_M}
Конструкционные углеродистые:			
35	156—187	1,1	1,0
45	170—207 207—241	1,0 0,8	1,0 0,9
50	170—229	0,9	0,9
Конструкционные легированные:			
35X 40X 45X	156—207	1,0	1,0
12X2H4A 20X 12XH3A 20XНГМ 18ХГТ 20ХН3А	156—229	0,9	0,9
30ХГТ 25ХГТ	156—207	0,8	0,9
18X2H4MA 38X2MЮА 20XГНР	156—229 229—285 До 320	0,8 0,6 0,5	0,8 0,7 0,7

Примечания: 1. Поправочные коэффициенты на скорость резания и подачу при зубодолблении для измененных условий резания в зависимости от прочих факторов приведены ниже.

Число зуб. в нарезаемого колеса

z	12	20	40	80	120
K_{v_z}	0,95	1,0	1,1	1,2	1,2

Материал долбляка

Марка стали	P18	P6M5	P6M5K5
K_{v_M}	1 1	1,0	1 2

Отношения фактической стойкости T_Φ к нормативной T

T_Φ/T	0,25	0,5	1,0	2	3
K_{v_T}	1,6	1,25	1,0	0,8	0,7

2. В качестве СОЖ рекомендуется применять при обработке сталей 45, 40X и других марок этой группы жидкие масла типа Индустриальное 20А; при обработке сталей марок 20X, 12XН3А и других — сульфорезол марки В или Р.

**13.82. Допустимый износ и стойкость зуборезных долбяков
в зависимости от модуля**

Вид обработки	Число проходов при t		Допустимый износ h_3 , мм, при t			Стойкость между переточками T , мин, при t			Размеры стачивания за одну переточку Δl , мм, при t	
	св. 3 до 6	св. 6 до 12	от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 12	от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 12	от 1 до 6	св. 6 до 12
По сплошному металлу:										
черновая	—	—	—	0,7	0,7	—	420	420	$h_3 + 0,10$	$h_3 + 0,15$
чистовая	—	—	0,3	0,3	0,3	240	240	240		
под шевингование и шлифование	—	—	0,5	0,5	0,5	300	300	300		
По предварительно обработанному зубу:										
получистовая	—	1	—	—	0,7	—	—	420		
чистовая	1	1	—	0,3	0,3	—	240	300		

13.83. Режимы резания мелко модульными зуборезными долбяками

Обрабатываемый материал	Модуль m_0 , мм	$S_{кр}$, мм/дв. ход	v , м/мин
Конструкционные углеродистые стали типа стали 45 в состоянии поставки	До 0,5 Св. 0,5 до 0,9	0,14 0,17	30—25
Конструкционные легированные стали типа стали 40X в состоянии поставки	До 0,5 Св. 0,5 до 0,9	0,14 0,17	25—20
Конструкционные легированные стали типа стали 40X после термообработки	До 0,5 Св. 0,7 до 0,9	0,11 0,14	25—15
Цветные металлы при $\sigma = 300 \div 500 \text{ Н/мм}^2$	До 0,5 Св. 0,5 до 0,9	0,17 0,20	50—40
Средняя стойкость долбяков между переточками, мин	100—150		

Норма расхода зуборезных долбяков H_p (в шт.) на данную программу выпуска деталей Π определяется по формуле

$$H_p = \frac{\Pi t_0}{T(n_i + 1)},$$

где T — стойкость между двумя переточками, мин; n_i — число переточек.

В процессе эксплуатации перетачивание зуборезных долбяков может выполняться на круглошлифовальных, плоскошлифовальных с круглым поворотным столом и универсальнозаточных станках, а также специальных станках для заточки долбяков модели 3673. Установка при заточке прямозубых долбяков должна производиться в соответствии с примером на рис. 13.48. Для затачивания применяются обычно круги характеристик 24А, 25Н, СМ1—СМ2, 7К7.

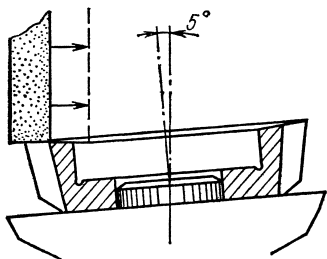


Рис. 13.48. Установка долбяков при заточке по передней поверхности

Для уменьшения шероховатости передней поверхности ее доводят кругами из карбида кремния зеленого (63С, 8—3, СЗ, 6, Б6) или эльбора (Л5 и КБ). Радиусы по вершинам зубьев снимаются обычно вручную абразивными брусками 15А; 6—10; СМ1.

13.5. Шеверы и зуборезные гребенки

Шеверы. Для чистовой обработки прямозубых и косозубых колес с наружными и внутренними зубьями в диапазоне модулей 0,2—8,0 мм предназначены шеверы. Наибольшее распространение они получили при чистовой обработке цилиндрических зубчатых колес в крупносерийном и массовом производстве.

В процессе шевингования инструмент и колесо находятся во вращении, воспроизводя зацепление винтовой передачи с точечным контактом. Вследствие скрещивания осей шевера и заготовки возникает составляющая скорости скольжения профилей, направленная вдоль образующих зубьев. Данная составляющая является движением резания, при котором острые кромки стружечных канавок зубьев шевера срезают с поверхностей зубьев колеса тонкие стружки, образуя профиль зубьев колеса, сопряженный с профилем зубьев инструмента — шевера. Шевингование позволяет повысить точность зубчатых колес по нормам плавности и контакта ГОСТ 1643—81 «Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски». В отношении требований по плавности достигается уменьшение волнистости поверхности зубьев, уменьшение погрешностей шага зацепления и профиля зубьев, а по контакту обеспечивается увеличение протяженности контакта по высоте зубьев. Уменьшается также радиальное биение зубчатого венца, переходящее обычно в накопленную погрешность окружного шага.

Шеверы бывают дискового и реечного типов. Однако применяются в основном только дисковые шеверы.

Шеверы, как и долбяки, должны проектироваться для обработки колес с определенным числом зубьев. В условиях мелкосерийного и индивидуального производства применяют обычно шеверы общего назначения (ГОСТ 10222—81Е* и ГОСТ 8570—80Е*).

При выборе стандартного шевера следует руководствоваться следующими условиями:

точность шевера назначают согласно рекомендаций стандартов;

число зубьев шевера не должно иметь общих множителей с числом зубьев колеса;

при обработке колес с $z < 20$ шевер должен иметь наибольшее число зубьев;

выбранный шевер должен быть проверен на удовлетворение требованию обеспечения правильности зацепления колес, обработанных им.

Шеверы, применяемые в массовом производстве, проектируются для обработки колеса одного размера. При этом обычно при переточке корректируют профиль шевера для компенсации систематических погрешностей шевингования и упругих деформаций зубьев под нагрузкой в передаче.

Дисковый шевер по конструкции представляет собой цилиндрическое косозубое зубчатое колесо. Угол наклона линии зуба шевера β_0 выбирается из условия обеспечения межосевого угла шевера и колеса в пределах $\Sigma = 10 \div 20^\circ$.

Для правильного зацепления двух косозубых колес, например шевера и обрабатываемого колеса, шаги по делительным цилиндрам, измеренные в сечении, перпендикулярном к винтовой линии на этом цилиндре, должны быть равны [26, 269].

Расчет дискового шевера. Исходными данными для расчета дискового шевера являются размеры обрабатываемого зубчатого колеса в нормальном сечении к направлению зуба: m_n , p_n , α , β_1 , S_{n1} , h_{a1} , h_1 , z_1 , z_2 .

Расчет конструктивных элементов шевера ведется в следующей последовательности.

Угол наклона линии зуба шевера $\beta_0 = \Sigma \pm \beta_1$. При этом угол скрещивания осей инструмента и колеса должен быть в пределах $10 \div 20^\circ$.

Торцовый модуль шевера $m_t = m_n / \cos \beta_0$.

Число зубьев шевера z_0 выбирается с учетом следующих условий:

достижения наибольшего коэффициента перекрытия при зацеплении с обрабатываемым колесом по формуле $z_0 = d_{a0}/m_t - 2$, где d_{a0} — максимально допустимый размер диаметра вершин зубьев для данной модели зубошевинговального станка или по ГОСТ 8570—80Е*;

улучшения условий обработки зубчатых колес, для чего число зубьев шевера не должно быть кратным или иметь общих множи-

телей с числом зубьев обрабатываемого колеса, быть по возможности простым числом; для мелко модульных шеверов допускают число зубьев шевера, образованное двумя или даже тремя множителями (например, $z_0 = 172$, $z_0 = 106$);

наличия эвольвентных копиров (обкаточных барабанов) и делительных дисков; наиболее употребительные числа зубьев шеверов приведены в ГОСТ 8570—80Е* и ГОСТ 10222—81Е*.

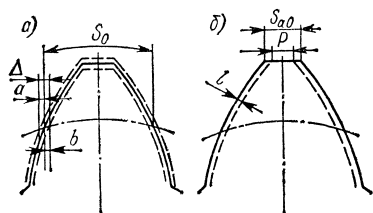


Рис. 13.49. Расположение припуска на переточку у шеверов

Торцовый угол зацепления шевера $\operatorname{tg} \alpha_t = \operatorname{tg} \alpha / \cos \beta_0$.

Диаметр делительной окружности $d_0 = m_t z_0$.

Диаметр основной окружности $d_{b0} = d_0 \cos \alpha_t$.

Толщина зуба шевера по дуге делительной окружности:

для шеверов со сквозными стружечными канавками (типа 1 при $m = 0,3 \div 1,75$ мм (ГОСТ 10222—81Е* и ГОСТ 8570—80Е*) $S_0 = \pi m_n / 2$;

для нового шевера с прорезанными несквозными стружечными канавками типа 2 при $m > 1,75$ (ГОСТ 8570—80Е*) $S_{0 \text{ нов}} = (\pi m_n - S_{n1,2}) + 2a$;

для изношенного шевера типа 2 $S_{0 \text{ изн}} = (\pi m_n - S_{n1,2}) - 2b$, где $S_{n1,2}$ — толщина зуба по делительной окружности колеса (шестерни); $(a + b) = \Delta$ — припуск на переточку шевера на одну сторону зуба.

Размеры и расположение припуска на переточку зависят от ряда причин (рис. 13.49): необходимого срока службы шевера до полного износа; заострения зубьев шевера; ширины впадины между зубьями на окружности впадин. Обычно принимают $a = b = \Delta / 2$ или допускают следующее расположение: a равно $\Delta / 3$; $\Delta / 4$; 0 и b равно $2\Delta / 3$; $3\Delta / 4$; Δ .

Припуск Δ устанавливается в зависимости от модуля m_n по таблице:

m_n , мм	Δ , мм
2,0—2,75	0,25
3,0—6,0	0,40
6,5—8,0	0,45

Высота ножки зуба:

для шевера типа 1 $h_{f0} = h_{a1,2} + 0,25m_n$;

для шевера типа 2 $h_{f0} = h_{a1,2} + K + b \operatorname{ctg} \alpha$, где $h_{a1,2}$ — высота головки зуба колеса (шестерни); K — запас на величину возможного увода сверла при сверлении отверстий для выхода гребенки, определяемый по таблице:

m_n , мм	K , мм
2,0—2,5	0,35
2,5—2,75	0,50
3—3,5	0,75
3,75—8,0	1,0

Диаметр окружности впадин шевра $d_{f0} = d_0 - 2h_{f0}$. Необходимо, чтобы было выполнено условие $d_{f0} \geq d_{b0} + 2$. Если это не обеспечено, осуществляется высотное корригирование шевра на величину $y = (d_{b0} - d_{f0})/2 + 1$ мм.

После этого производится перерасчет величин $S_{0\text{ нов}}$, h_{f0} , d_{f0} :

$$S_{0\text{ нов. кор}} = S_{0\text{ нов}} + 2y \operatorname{tg} \alpha; \quad h_{f0\text{ кор}} = h_{f0} + y; \quad d_{f0\text{ кор}} = d_{f0} + 2y.$$

Высота головки зубьев:

для шевров типа 1 $h_{a0} = h_{f1,2} + 0,1m_n$;

для шевров типа 2

$$h_{a0} = h_{f1,2} + 0,1m_n + a \operatorname{ctg} \alpha; \quad h_{a0\text{ кор}} = h_{f1,2} + 0,1m_n + a \operatorname{ctg} \alpha + y,$$

где $h_{f1,2}$ — высота ножки колеса (шестерни) без учета, радиального зазора; $0,1m_n$ — дополнительное увеличение высоты с учетом предварительной обработки.

Диаметр вершин зубьев:

$$d_{a0} = d_0 + 2h_{a0}; \quad d_{a0\text{ кор}} = d_0 + 2h_{a0\text{ кор}}.$$

Высота зуба шевра:

$$h_0 = (d_{a0} - d_{f0})/2; \quad h_{0\text{ кор}} = (d_{a0\text{ кор}} - d_{f0\text{ кор}}).$$

Проверяют заострение зубьев после изготовления стружечных канавок с обеих сторон зубьев (рис. 13.49)

$$P = S_{a0} - 2l/\cos \alpha_a \geq 0,1 \text{ мм},$$

где l — глубина стружечной канавки; α_a — угол давления на окружности вершин, $\cos \alpha_a = d_{b0}/d_{a0}$; S_{a0} — толщина зуба на диаметре вершин,

$$S_{a0} = d_{a0} \left(\frac{S_{0\text{ нов}}}{d_0 \cos \beta_0} + \operatorname{inv} d_t - \operatorname{inv} \alpha_a \right).$$

При $P < 0,1$ мм необходимо изменить расположение припуска (уменьшить a или увеличить b) или уменьшить глубину канавки l .

Проверяют достаточность ширины впадины по окружности впадины шевра типа 2 для прохождения гребенки в процессе долбления стружечных канавок:

$$T_{ft0} = \pi d_{f0}/z_0 - S_{ft0\Phi} > 1,3 \text{ мм},$$

где $S_{ft0\Phi}$ — толщина зуба шевра в торцовом сечении на окружности впадин,

$$S_{ft0\Phi} = d_{f0} (S_{0S\Phi}/d_0 + \operatorname{inv} \alpha_t - \operatorname{inv} \alpha_f),$$

где $S_{0S\Phi}$ — толщина зуба шевра после фрезерования по дуге делительной окружности в торцовом сечении,

$$S_{0S\Phi} = (S_{0\text{ нов}} + \delta)/\cos \beta_0; \quad \cos \alpha_f = d_{b0}/d_{f0}.$$

Припуск δ в зависимости от m_n назначают по таблице:

m_n , мм	δ , мм
2; 2,5	0,35
2,5—3,75	0,45
4,0—8,0	0,50

Диаметр отверстий шевера для выхода гребенки при долблении $d_f = T_{f0} + (1,5 \div 3)$.

Среднее значение диаметра в зависимости от модуля выбирается из таблицы:

m_n , мм	d_r , мм
2,0—2,25	3,0
2,5—3,75	4,0
4,0—4,5	5,0
5,0—5,5	6,0
6,0—8,0	7,0

Диаметр окружности расположения центров отверстий для выхода гребенки

$$d_{\text{ц}} = d_{f0} - \sqrt{d_r^2 - T_{f0}^2}$$

Окончательные результаты по обеспечению правильного выхода гребенки проверяются прочерчиванием, при неудовлетворительном результате меняют d_r и определяют вновь $d_{\text{ц}}$.

Угол наклона оси отверстия для выхода гребенки

$$\text{tg } \beta' = d_{f0} \text{ tg } \beta_0 d_0.$$

Обычно принимают $\beta' = \beta_0 - 1^\circ$.

Размеры и формы канавок выбираются в соответствии с рекомендациями ГОСТ 10222—81*Е и ГОСТ 8570—80*Е.

Ширина рабочей части зубьев шевера:

для типа 1 при $m_n \leq 1,75$ мм $b_0 = 10 \div 15$ мм

для типа 2 при $m_n > 1,75$ мм $b_0 = 20 \div 25$ мм.

Полная ширина шевера с учетом буртика обычно принимается равной $b = b_0 + 1$.

Помимо расчета конструктивных элементов шевера следует произвести проверку полученной конструкции на правильность зацепления колес, обработанных шевером. Для нормальной работы зубчатых колес, обработанных шевером, необходимо, чтобы активная часть их профилей зубьев была меньше активной части профилей зубчатых колес при их зацеплении с шевером в процессе обработки. Это условие обеспечивается в случае, если проекция активной части линии зацепления на торец сопрягаемых колес при шевинговании будет больше проекции активной части линии зацепления этих колес в работе.

Проекция активной части линии зацепления на торцы шевера и обрабатываемого колеса могут быть представлены как торцовые

радиусы кривизны точек начала активной части на начальных цилиндрах. Условие правильности зацепления имеет вид

$$\rho_{1,2} + \Delta g \leq \rho_0.$$

Здесь $\rho_{1,2}$ — радиус кривизны профиля зубьев колес в передаче,

$$\rho_{1,2} = \frac{1}{2} \sqrt{d_{1,2}^2 - d_b^2} - g_a,$$

где g_a — длина активной части линии зацепления пары колес,

$$g_a = \frac{1}{2} (\sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2} + \sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2}) - a \sin \alpha_t;$$

a — межосевое расстояние передачи; ρ_0 — радиус кривизны профиля зуба шевера, сопрягающейся с точкой начала активной части профиля колеса,

$$\rho_0 = \left(g - \frac{\rho_{1,2} - \Delta g}{\sin \sigma_{1,2}} \right) \sin \sigma_0;$$

Δg — необходимое перекрытие обработанной активной части профиля зубьев колеса

$$\Delta g = (0,15 \div 0,20) m_t / \sin \alpha_t;$$

g — длина линии зацепления шевера и зубчатой пары,

$$g = \frac{\sqrt{d_{\omega 1,2}^2 - d_{b1,2}^2}}{2 \sin \sigma_{1,2}} + \frac{\sqrt{d_{\omega 0}^2 - d_{b0}^2}}{2 \sigma_0},$$

$d_{\omega 1,2}$ и $d_{\omega 0}$ — диаметры начальных цилиндров колеса (шестерни) и шевера, $d_{\omega 0} = d_{a0} + 2h_{a0}$ — для шеверов типа 1, $d_{\omega 0} + d_0 + 2a \operatorname{ctg} \alpha$ — для нового шевера типа 2; $d_{\omega 0} = d_0 - 2b \operatorname{ctg} \alpha$ — для переточенного шевера типа 2; $\cos \sigma_{1,2} = \cos \alpha \cdot \sin \beta_{1,2}$; $\cos \sigma_0 = \cos \alpha \cdot \sin \beta_0$.

При несоблюдении условия $\rho_{1,2} + \Delta g \leq \rho_0$ необходимо диаметр вершин зубьев шевера пересчитать по формуле

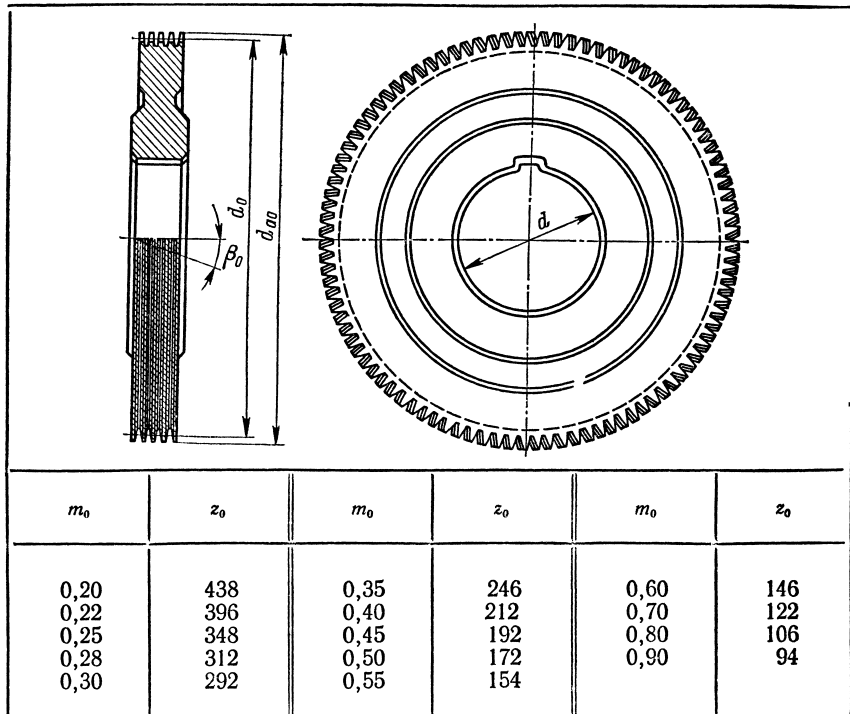
$$d_{a0} = \sqrt{(2\rho_0)^2 + d_{b0}^2}.$$

Необходимо также пересчитать толщину и высоту головки зуба.

Шеверы общего назначения изготавливаются в диапазоне модулей 0,2—0,9 мм по ГОСТ 10222—81*Е и модулей 1—8 мм по ГОСТ 8570—80*Е (СТ СЭВ 881—78 и СТ СЭВ 882—78).

Основные конструктивные размеры дисковых шеверов по ГОСТ 10222—81*Е даны в табл. 13.84, а по ГОСТ 8570—80*Е — в табл. 13.85. Рекомендуемая форма и размеры стружечных канавок, образующих режущие кромки зубьев шеверов типов 1 и 2, представлены на рис. 13.50, 13.51 и в табл. 13.86, 13.87.

13.84. Шеверы дисковые мелко модульные типа 1
с номинальным делительным диаметром 85 мм
и углом наклона линии зубьев $\beta_0 = 10^\circ$ (ГОСТ 10222—81Е*)



Допуски и предельные отклонения проверяемых параметров шеверов классов точности АА, А и В в диапазоне модулей 0,2—8 мм по данным стандартам приведены в табл. 13.88.

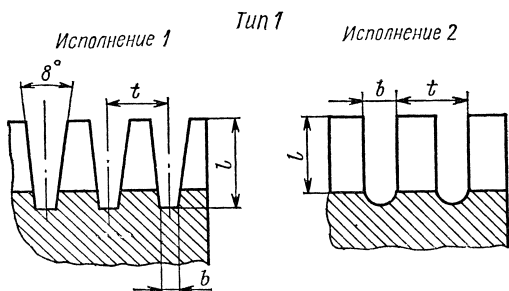


Рис. 13.50. Форма и размеры стружечных канавок шеверов модулей менее 1,75 мм

Шеверы изготавливаются только из быстрорежущей стали марок Р18, Р6М5, Р6М5К5 (ГОСТ 19265—73*), при этом твердость режущей части должна быть не менее 62—65 HRC₉. Не допускается на всех поверхностях шевера наличие трещин, забо-

ин, выкрошенных мест, следов коррозии. Параметры шероховатости рабочих поверхностей шеверов по ГОСТ 2789—73* должны быть не более следующих значений, мкм:

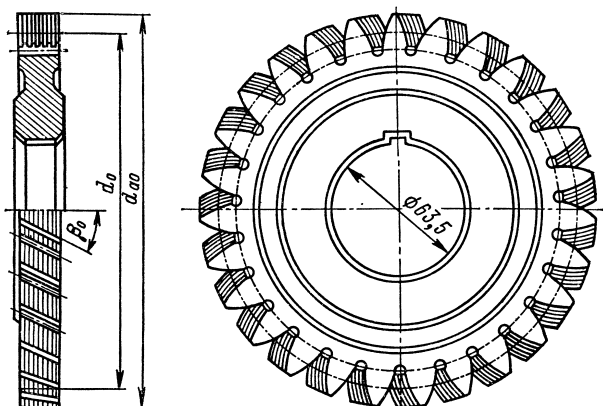
боковых поверхностей зубьев — $R_z = 1,6$
 опорных торцовых поверхностей — $R_a = 0,40$
 поверхности посадочного отверстия:
 классов точности АА и А — $R_a = 0,20$
 класса точности В — $R_a = 0,32$

Рекомендуемое назначение шевров:

класса АА — для колес 5-й степени точности;
 класса А — для колес 6-й степени точности;
 класса В — для колес 7-й степени точности.

Конструкции шевров. В практике обработки цилиндрических зубчатых колес нашли применение исключительно цельные конструкции дисковых шевров, различающихся отдельными кон-

13.85. Шевры дисковые (ГОСТ 8570—80Е*)



m_0 , мм	d_0 , мм	z_0	β_0 , °	m_0 , мм	d_0 , мм	z_0	β_0 , °	m_0 , мм	d_0 , мм	z_0	β_0 , °	m_0 , мм	d_0 , мм	z_0	β_0 , °
1,0	85	86	10	2,0	180	83	5; 15	3,25	180	53	5; 15	4,50	180	37	5; 15
1,125	85	76	10	2,25	250	115		3,50	250	71		5,0	250	51	
1,25	180	67	5; 15	2,50	180	73		3,75	180	47		5,5	180	31	
1,375	180	115	5; 15	2,75	250	103		4,0	250	67		6,0	250	43	
1,50	180	62	5; 15	3,0	180	67		4,25	180	43		6,5	250	29	
1,75	180	115	5; 15	3,25	250	91	5; 15	4,50	250	61	5; 15	7,0	250	41	5; 15
2,0	180	58	10	3,50	180	61		4,75	180	41		7,5	250	37	
2,25	180	115	5; 15	3,75	250	83		5,0	250	53		8,0	250	31	
2,50	180	100	5; 15	4,0	180	53		5,5	250	41				29	
2,75	180	100	5; 15	4,25	250	73		6,0	250	53					

структивными разновидностями выполнения или расположения стружечных канавок, формой профиля зубьев и т. п. К наиболее перспективным конструкциям следует отнести дисковые шеверы, стружечные канавки которых располагаются по винтовой линии,

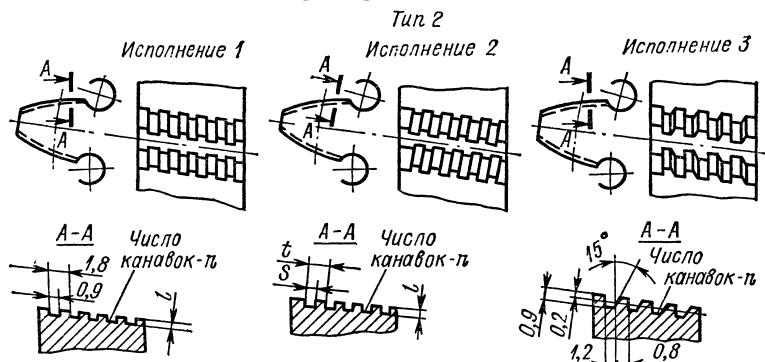


Рис. 13.51. Форма и размеры стружечных канавок шеверов модулей более 1,75 мм

что способствует более равномерному съему припуска, повышению точности и производительности обработки.

У шеверов данного типа осевой отрезок винтовой линии, шаг которой кратен или равен шагу стружечных канавок t , разби-

13.86. Размеры профиля зубьев шеверов типа 1, мм

m_0	t	l	b	Число канавок K
От 0,2 до 0,28	1,4	1,0	0,7	6
Св. 0,28 до 0,5	1,7	1,5		5
Св. 0,5 до 0,7		2,0	0,6	
0,8	2,1	2,5	0,7	6
0,9		3,0	0,6	
1,0				
1,125; 1,25	2,7	4,5	0,8	5
1,375; 1,5		5,0		

вается между несколькими зубьями шевера, объединяемыми условно в группу. Следовательно, в каждую группу входит несколько зубьев шевера. При этом желательно, чтобы число зубьев заготовки не было кратным или не имело общих множителей с числом зубьев в группе, а общее число зубьев шевера было кратным числу зубьев в группе, но не равно ему. Поэтому число зубьев шевера не может быть простым числом. Необходимо также стремиться, чтобы число зубьев в группе или число

зубьев шевера отличались от числа зубьев колеса на возможно меньшее число. Например, у зубчатого колеса с $z = 23$ каждый зуб будет обработан шевером с $z_0 = 37$ только через 37 оборотов. Приняв у шевера с $z_0 = 36$ три группы зубьев с числом зубьев

13.87. Размеры стружечных канавок дисковых шеверов типа 2, мм

m_0	Исполнение 1			Исполнение 2				Исполне- ние 3		
	d_0									
	180; 250	180	250	180 и 250		180	250	180	250	
	l	n		l	t	s	n		n	
				не менее		не менее				
От 2 до 2,75	0,6	10	12	0,6	2,2	1,1	7	9	9	11
3	0,8			0,8						
Св. 3 до 5	1,0			1,0						
Св. 5 до 8	1,0	9	11	2,4	1,2	7	8			

в каждой группе 12, можно обеспечить обработку каждого зуба уже на 12 оборотов. На рис. 13.52 показана схема развертки одной стороны зубьев дискового шевера, у которого канавки расположены на соседних зубьях по винтовой линии с шагом $s = t$ и углом подъема ω_0 . Число зубьев в группе $r_{гп}$ принято равным 7, а число зубьев обрабатываемого колеса $z = 8$, поэтому первый зуб колеса зацепляется с 1-м, 2-м, 3-м, ..., 7-м зубьями шевера, чем обеспечивается непрерывный съем металла.

При обработке улучшенных и термически обработанных до твердости 35—48 HRC₂ зубчатых колес с $m = 2 \div 6$ мм могут применяться дисковые шеверы с напайными твердосплавными зубьями (рис. 13.53). Крепление твердосплавных зубьев в прямоугольной формы пазах может производиться с помощью специального клея или пайки.

При шевинговании зубчатых колес находят применение так называемые облегающие шеверы (рис. 13.54). Дисковые облегающие шеверы имеют те же основные конструктивные элементы и геометрию, что и обычные шеверы, за исключением вогнутости зубьев по длине на величину Δ , т. е. толщина зуба шевера от торцов к середине постепенно уменьшается на несколько сотых долей

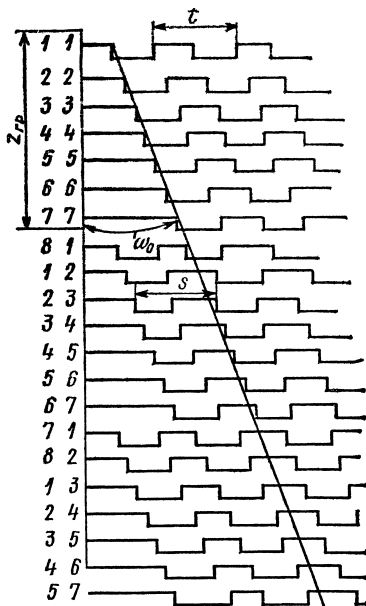


Рис. 13.52. Схема развертки боковой стороны зубьев шевера

**13.88. Допуски и предельные отклонения параметров шевров
(ГОСТ 10222—81Е*, ГОСТ 8570—80Е*)**

Параметр	Обозначение	Класс точности	Допуски и отклонения, мкм, при m_0 , мм		
			до 0,9	от 1 до 3,55	св. 3,55
Диаметр посадочного отверстия	f_d	AA A B	— +5 +5	+5 +5 +8	
Отклонения от перпендикулярности торцевой поверхности	f_{xy}	AA A B	— 5 5	5 7 8	
Отклонение от параллельности торцовых поверхностей	f_x	AA A B	— 5 5	5 8 10	
Отклонение диаметра окружности выступов	f_{da0}	AA A B	— ± 180 ± 200	± 200 ± 400 ± 400	
Погрешность направления зуба	$F_{\beta 0}$	AA	—	± 6	± 8
		A B	± 6 ± 8	± 9 ± 11	
Профиль зуба	f_{f0}	AA	—	3	4
		A B	4 5	4 6	6 8
Разность окружных шагов	f_{fa0}	AA	—	3	3
		A B	3 4	3 5	5
Накопленная погрешность окружного шага	f_{vpt0}	AA	—	8	10
		A B	12 16	12 16	
Радиальное биение зубчатого венца относительно оси	F_{p0}	AA	—	6	8
		A B	10 14	10 18	
Отклонение высоты головки зуба	F_{r0}	AA	—	± 12	± 20
		A B	± 10 ± 15	± 15	± 25

миллиметра, а ширина шевра зависит от ширины венца колеса. При обработке облегающими шеврами не требуется обязательного продольного перемещения, так как они имеют не точечный, а линейный характер контакта с изделием, поэтому любое

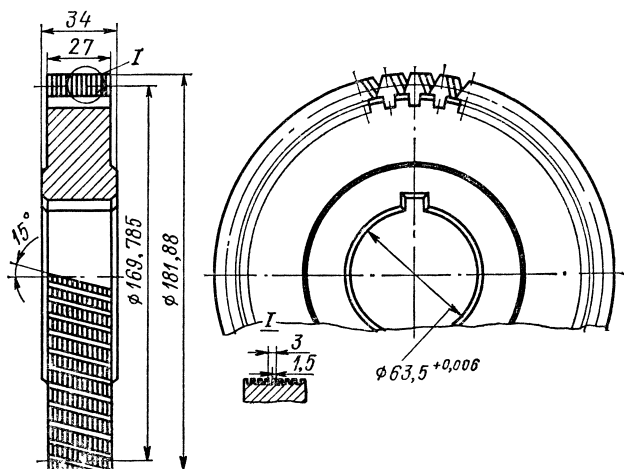


Рис. 13.53. Дискový шевр с твердосплавными зубьями

их торцовое сечение является профилирующим. Из-за невозможности теоретически правильно спрофилировать форму их зубьев на существующих зубошлифовальных станках точность обработки ими зубчатых колес несколько ниже, чем при шевинговании обычными шеврами.

Главной особенностью расчета данных шевров является определение стрелы прогиба и изменения толщины зуба по длине шевра. При увеличении расчетного значения вогнутости в случае обычного шевингования и отсутствия продольной подачи можно получить бочкообразный зуб колеса. Облегающие шевры выгодно применять при диагональной и касательной подачах. В этом случае вогнутость шевра должна быть равна заданной бочкообразности зуба колеса. Более конкретный расчет облегающих шевров дан в работах [269]. При шевинговании точных червячных колес находят применение червячные шевры, имеющие на боковых поверхностях режущие зубчики, представляющие собой исходные основные червяки,

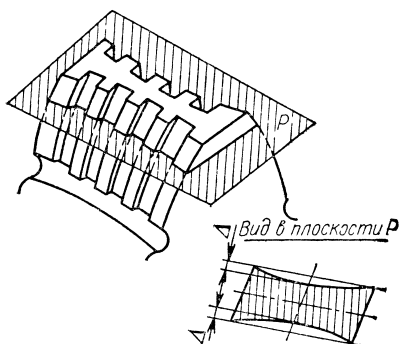


Рис. 13.54. Профиль зуба облегающего шевра

на базе которых спрофилирована червячная передача. Существуют в основном два типа червячных шеверов.

Первый тип — червячные шеверы со стружечными канавками, образующими режущие зубья и имеющими по профилю узкие ленточки шириной 0,2—0,6 мм, полученные в результате шлифования профиля на резьбошлифовальном станке без затылующего движения.

Второй тип — червячные шеверы (рис. 13.55), представляющие собой червяки, на боковых поверхностях витка которых выполнены насеченные зубья в виде ленточек 0,3—0,5 мм. Они образуют режущие кромки, снимающие очень небольшую стружку.

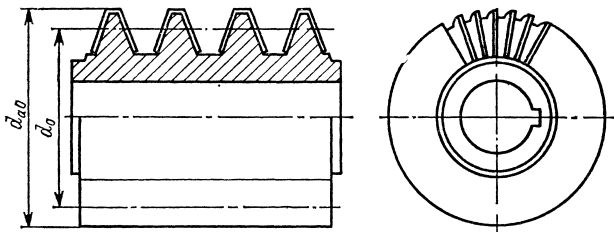


Рис. 13.55. Червячный шевер

Расчетные размеры червячных шеверов должны строго соответствовать размерам червяков передачи, однако размеры зубьев нового шевера делают несколько увеличенными против расчетных размеров червяка, учитывая уменьшение диаметральных размеров при последующих переточках и допуск на обязательный боковой зазор в передаче.

Для повышения точности обработки шлифование профиля червячного шевера и червяка следует производить с одной установки одинаково заправленным шлифовальным кругом.

Эксплуатация шеверов. Режимы резания при шевинговании характеризуются скоростью резания продольной и радиальной подачами и числом одинарных ходов без радиальной подачи.

Скоростью резания при шевинговании называется скорость бокового скольжения зубьев шевера относительно зубьев шевингуемого колеса:

для косозубых колес

$$v = v_0 \sin \Sigma / \cos \beta;$$

для прямозубых колес

$$v = v_0 \sin \Sigma,$$

где Σ — межосевой угол шевера и колеса; v_0 — окружная скорость шевера, м/мин,

$$v_0 = \frac{\pi d_{a0} n_0}{1000},$$

n_0 — частота вращения шевера, об/мин.

13.89. Режимы резания для мелко модульных шеверов $m_0 = 0,2 \div 0,9$ мм

Обрабатываемый материал	Радиальная подача $S_{\text{рад}}$, мм/дв. ход	Продольная подача S_0 , мм/об	Окружная скорость шевера v_0 , м/мин
Конструкционные углеродистые и легированные стали с 240—280 НВ	0,01—0,04	0,5—0,1	50
Конструкционные и легированные стали, серый чугун с 160—240 НВ		0,1—0,2	80
Цветные металлы и сплавы с 80—160 НВ		0,2—0,4	127

13.90. Окружная скорость шеверов v_0 , м/мин, при $m_0 = 1—8$ мм

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Окружная скорость v_0 , м/мин
Конструкционные углеродистые стали: 15, 20, 25	156—170	150
30, 35	170—207	140
40, 45, 50	170—229 229—285	130 80
Конструкционные легированные стали: 20Х, 35Х, 40Х, 18ХГТ, 30ХГТ, 45Х, 20ХНМ, 5ХНМ, 12ХНВА, 38ХМЮА	187—229	105
Чугун серый	170—207	110

Скорость резания при межосевом угле 15° будет равна примерно $(1/4) v_0$.

Продольной подачей называется перемещение обрабатываемого колеса за один его оборот (S_0 , мм/об).

Радиальная подача — перемещение шевера в радиальном направлении за один его ход вдоль обрабатываемого колеса:

$$S_{\text{рад}} = \frac{0,5 \Delta S \operatorname{ctg} \alpha_0}{n_1},$$

где ΔS — припуск по толщине зуба колеса, мм; α_0 — угол профиля исходного контура; n_1 — число рабочих одинарных ходов станка.

Минутная продольная подача (мм/мин) может быть определена по формуле

$$S_m = S_0 z_0 n_0 / z_1.$$

Рекомендуемые режимы резания при шевинговании (v_0 , S_0 , S_p) представлены в табл. 13.89—13.92.

Износ шевера определяется по качеству и точности обработки зубьев колеса. По мере износа возрастает выделяемое тепло; стружка сильно деформируется, ухудшается шероховатость поверхностей зубьев колеса. Поэтому за критерий затупления шевера принимают обычно появление стружки с цветами побежалости. Критерием затупления может быть также недопустимый шум зубчатой пере-

13.91. Радиальная подача при шевинговании

Степень точности зубчатого колеса ГОСТ 1643—81	Радиальная подача $S_{рад}$, мм/дв. ход	Число ходов стола без радиальной подачи
6	0,02—0,025	4—6
7	0,04—0,05	2—4

дачи при проверке на контрольном станке, ухудшение шероховатости поверхности обработанных зубьев, появление блеска на рабочих профилях зубьев шевера. Стойкость шевера регламентируется также временем его работы между двумя заточками и измеряется в минутах (табл. 13.93).

Для повышения стойкости шеверов и точности обработки рекомендуется в качестве смазывающе-охлаждающей жидкости при-

13.92. Продольная подача S_0 при шевинговании, мм/об

Степень точности зубчатого колеса (ГОСТ 1643—81)	Класс шероховатости поверхности (ГОСТ 2789—73*)	z				
		12	17	25	40	100
6—7	8 и выше	0,10—0,15	0,15—0,20	0,20—0,25	0,25—0,30	0,35—0,40
	7	0,16—0,20	0,20—0,25	0,25—0,30	0,35—0,40	0,50—0,60

13.93. Стойкость шеверов

m_n	Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Стойкость T , мин
0,2—0,9	Сталь, чугун	160—290	1000
1—8	Сталь Чугун серый	160—240	2400 1200

менить сульфобрезол (ГОСТ 122—84) или масло индустриальное 20А (ГОСТ 20799—75*).

Машинное время процесса шевингования (мин) может быть определено по формуле

$$t_0 = \frac{L}{S_0 n_0} K.$$

Здесь L — длина рабочего хода шевра, определяемая в зависимости от принятого метода шевингования; S_0 — продольная подача; n_0 — частота вращения шевра; $K = 1,370 \Delta/S_p + 2$ — число ходов, где S_p — радиальная подача; Δ — припуск по толщине зуба.

В процессе эксплуатации шевр должен периодически подвергаться перетачиванию по профилю зубьев. Шлифование профиля зубьев шевров производится на зубошлифовальных станках моделей 5891, 5892С, 5893, МШ-232, SRS-400 или SRS-401 фирмы К. Хурт (К. Hurth, ФРГ), станках типа «Мааг» (Maag, Швейцария) плоской торцовой поверхностью шлифовального круга или на станках типа модели 5В833, оснащенных червячными абразивными кругами. При переточке шлифуют также поверхность вершин зубьев. Число возможных переточек при правильной эксплуатации составляет 5—10. При шлифовании профиля шевров рекомендуется применять шлифовальные круги следующих характеристик: 25А (24А); 16—25, М2—М3, 8—7, К5, утвержденных ГОСТ 2424—75.

После затачивания обязателен контроль шевра на соответствие требованиям ГОСТ 10222—81Е* или ГОСТ 8570—80*Е.

Зуборезные гребенки. Гребенки являются наиболее простым зуборезным инструментом, работающим по методу обкатки, при этом принцип образования зубьев колес аналогичен зацеплению колеса с зубчатой рейкой, являющейся инструментом. Применяются зуборезные гребенки для нарезания на специальных зубострогальных станках цилиндрических зубчатых колес с прямыми, винтовыми и шевронными зубьями.

Процесс резания гребенками производится при их возвратно-поступательном перемещении вдоль образующей обрабатываемого зуба колеса. Изготавливаются гребенки как прямозубыми, так и косозубыми классов точности АА, А и В в диапазоне модулей 1—20 мм.

Наиболее перспективной областью их применения является обработка зубчатых колес с шевронными зубьями, блочных колес с буртом за нарезаемым венцом, крупномодульных прецизионных колес.

В СССР зубострогальные станки не вошли в типаж оборудования, поэтому применение зуборезных гребенок очень ограничено, в связи с чем вопросы их конструирования в настоящем справочнике не рассматриваются, а при необходимости могут быть заимствованы из материалов [26].

13.6. Инструмент для обработки зубчатых изделий методом зуботочения

Метод зуботочения представляет собой нарезание зубчатых изделий обкаткой многозубым инструментом (обкаточным резцом) дискового типа при взаимосвязанном вращении изделия и инструмента вокруг скрещивающихся осей, при этом боковая поверхность впадины образуется единичными резами различных зубьев, число которых связано с подачей. Профиль зубьев обкаточного резца зависит от многих факторов: профиля обрабатываемого изделия, самого процесса и конструктивных элементов инструмента.

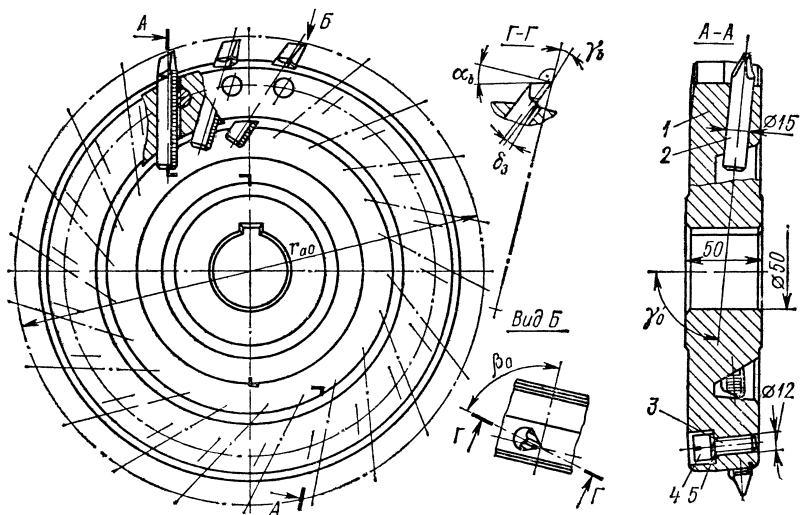


Рис. 13.56. Сборный обкаточный резец с острозаточенными зубьями

В общем виде обкаточный резец можно представить как многозаходную червячную фрезу, в каждом заходе которой имеется только один зуб, но который за один раз полностью профилирует впадину между зубьями или, точнее, участок ее, расположенный в окрестности контактной линии [273].

Станочное зацепление обкаточного резца с зубчатым изделием характеризуется следующими тремя основными параметрами: углом скрещивания осей инструмента и изделий V , межосевым расстоянием a_0 и передаточным числом $u_0 = z/z_0$, где z — число зубьев колеса; z_0 — число зубьев обкаточного резца.

Метод зуботочения колес с наружными и внутренними зубьями в настоящее время осуществляется на модернизированных зубофрезерных станках моделей 5К32, 5К328, шлицевых валов — на шлицефрезерных станках моделей МШ-300 и МШ-301Т. В качестве режущего инструмента применяются сборные и цельные конструкции обкаточных резцов.

Расчет на ЭВМ координат точек режущих кромок обкаточных резцов, предназначенных для нарезания методом зуботочения зубчатых колес с внешними и внутренними зубьями, достаточно полно представлен в работах [258, 259], поэтому в данном справочнике не приводится. Методика расчета координат точек режущих кромок обкаточных резцов для нарезания шлицевых валов с прямобочным профилем приведена в [262].

Применяемые сборные обкаточные резцы являются, как правило, инструментом с острозаточенными зубьями (рис. 13.56), пе-

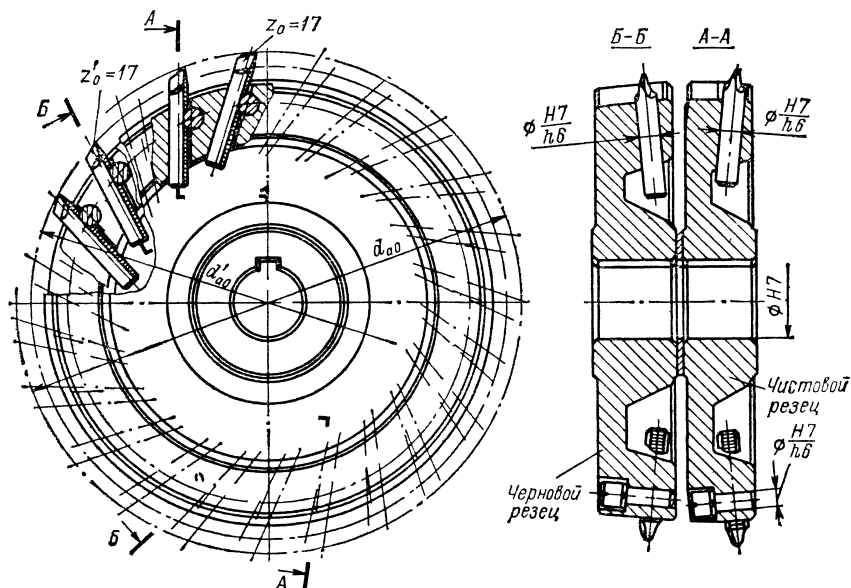


Рис. 13.57. Двухрядный обкаточный резец

речка которых производится каждый раз по профилю, т. е. по задним и передним поверхностям. Обкаточный резец состоит из корпуса 1, цилиндрической формы зубьев 2, закрепляемых в корпусе с помощью цилиндрических клиньев 3, гайки 4 и шайбы 5. Цилиндрические зубья и клинья имеют рифления, что позволяет производить мерное выдвижение зубьев по мере переточек и их надежное крепление. Корпус обкаточного резца и детали крепления используются с несколькими комплектами зубьев, что значительно повышает эффективность применения инструмента.

Режущая кромка зуба острозаточенного обкаточного резца образована в результате пересечения цилиндрической задней поверхности с плоской передней поверхностью. Шлифование профиля и затачивание по передней поверхности резцов производится обычно на универсально-заточном станке с применением специального приспособления, которое обеспечивает установку резца под заданными углами заточки. Шлифование по задней поверх-

ности осуществляется абразивным кругом, профиль которого образуется стальным накатником. Затачивание по передней поверхности производится чашечным или тарельчатым абразивным кругом. После нескольких переточек зубья выдвигаются из корпуса на расчетный наружный диаметр и вновь затачиваются, полностью восстанавливая все расчетные параметры резца: профиль, передний и задний углы при вершине зуба, радиус вершин зубьев.

Достаточно прогрессивным инструментом для нарезания зубчатых изделий по методу зуботочения являются сборные двухрядные обкаточные резцы (рис. 13 57). Они представляют собой

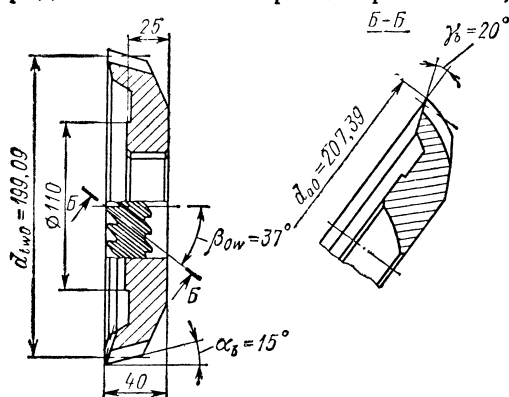


Рис. 13.58. Цельный обкаточный резец

два однорядных обкаточных резца, установленных на одном шпинделе, друг за другом. Один из них — чистовой — установлен по межосевой линии, второй — черновой — смещен с межосевой линии. Размеры режущей части зуба, параметры чернового обкаточного резца и расположение его на шпинделе подбираются таким образом, чтобы на него приходилась большая часть работы по удалению металла из впадины между зубьями колес. Сборные обкаточные резцы применяются при работе с углами скрещивания осей 68—80°. При малых углах скрещивания осей и при нарезании зубчатых колес с внутренними зубьями целесообразно применение цельных обкаточных резцов, изготовленных по типу косозубых долбяков с большими (до 20°) положительными передними углами (рис. 13.58). Преимуществом обкаточных резцов цельной конструкции является возможность замены в торцевой плоскости теоретических режущих кромок эвольвентами, благодаря чему боковые поверхности цельных обкаточных резцов будут представлять собой эвольвентные винтовые поверхности, шлифование которых легко осуществимо на зубошлифовальных станках по аналогии с технологией изготовления косозубых долбяков с передними поверхностями, перпендикулярными к направлению зубьев.

Расчет на ЭВМ цельных обкаточных резцов с заменой теоретического профиля эвольвентой, предназначенной для нарезания зубчатых колес с внутренними зубьями, представлен в [260].

Особенно эффективно применение метода зуботочения при нарезании зубчатых колес с внутренними зубьями. Метод обеспечивает по сравнению с зубодолблением повышение производительности обработки до 3—5 раз.

13.7. Инструмент для нарезания конических зубчатых колес

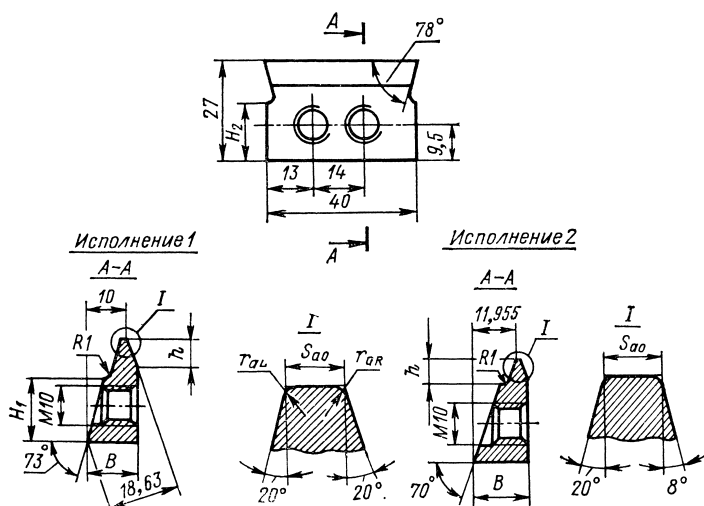
Зубострогальные резцы. Применяются для нарезания конических зубчатых колес с прямыми зубьями по методу обкатки в единичном, серийном и массовом производствах.

Нарезание основано на принципе зацепления обрабатываемой заготовки с производящим плоским колесом; при этом каждый зуб заготовки обрабатывается с двух сторон двумя резцами.

Конструктивные размеры зубострогальных резцов стандартизованы в диапазоне модулей от 0,3 до 20 мм (ГОСТ 5392—80Е).

Стандартные зубострогальные резцы выпускаются четырех типов: 1, 2, 3 и 4.

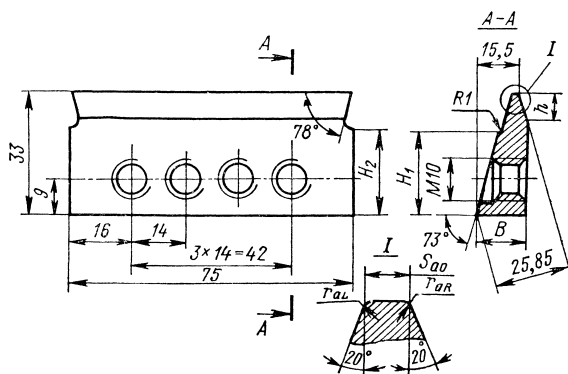
13.94. Конструктивные размеры зубострогальных резцов типа 1 (ГОСТ 5392—80Е), мм



m_0	Исполнение 1		Исполнение 2		H_1	H_2	r_{AR}	r_{AL}	S_{aa0}
	B	h	B	h					
0,3; 0,35	10,36	1,0	12,18	2,0	25,7	25,0	0,08	—	0,12
0,4; 0,45	10,44	1,2	12,22	2,2			0,12		0,16
0,5; 0,55	10,51	1,4	12,26	2,5	25,0	24,0	0,15		0,20
0,6; 0,7	10,66	1,8	12,30	3,0			0,18		0,24
0,8; 0,9	10,80	2,2	12,38	3,5	23,9	23	0,24	0,15	0,32
1,0; 1,125	11,09	3,0	12,46	4,0			0,3		0,4
1,25; 1,375	11,18	3,3	12,56	4,5	22,7	22,0	0,38		0,5
1,5; 1,75	11,53	4,2	12,66	5,5			0,45		0,6
2,0; 2,25	11,93	5,3	12,86	6,0	20,5	20,0	0,6	0,18	0,8
2,5	12,18	6,0	13,06	6,0			0,75	0,2	1,0

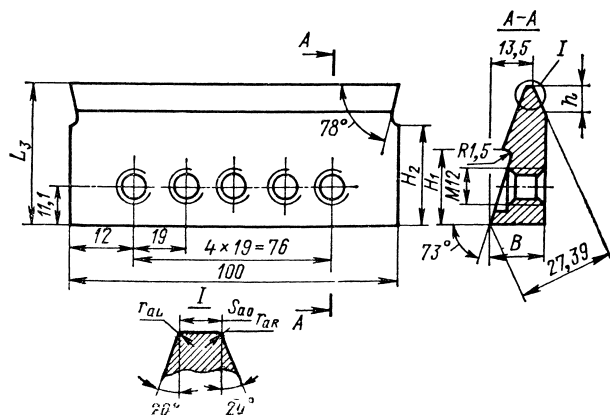
Резцы типа 1 изготавливаются длиной 40 мм двух исполнений в диапазоне модулей 0,3—2,5 мм (табл. 13.94); типа 2 — длиной 75 мм в диапазоне модулей 0,5—5,5 мм (табл. 13.95); типа 3 — длиной 100 мм в диапазоне модулей 1—10,0 мм (табл. 13.96); типа 4 — трех исполнений модулей 3—20 мм (табл. 13.97).

13.95. Конструктивные размеры зубострогальных резцов типа 2 (ГОСТ 5392—80Е), мм



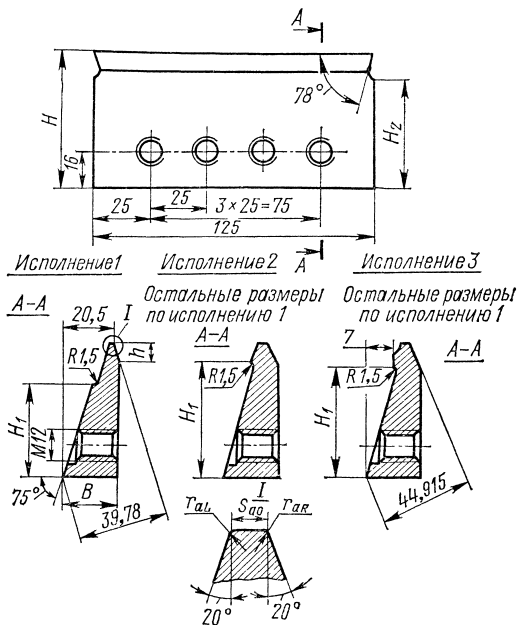
m_0	B	h	H_1	H_0	r_{aR}	r_{aL}	S_{a0}
0,5; 0,55	16,01	1,4	29	30,0	0,15	—	0,20
0,6; 0,70	16,16	1,8		30,0	0,18		0,24
0,8; 0,9	16,3	2,2		29,0	0,24		0,32
1,0; 1,125	16,59	3,0		29,0	0,33		0,40
1,25; 1,375	16,68	3,3		28,0	0,38		0,50
1,5; 1,75	17,03	4,2	23	28,0	0,45	0,15	0,60
2,0; 2,25	17,43	5,3		26,0	0,60	0,18	0,80
2,5; 2,75	17,86	6,5		26,0	0,75	0,20	1,0
3,0; 3,25	18,27	7,6		23,0	0,80	0,25	1,2
3,5; 3,75	18,70	8,8		23,0	1,0	0,30	1,4
4,0; 4,25; 4,5	19,36	10,6	18	21,5	1,2	0,35	1,6
5,0; 5,5	20,24	13,0		19,0	1,5	0,45	2,0

13.96. Конструктивные размеры зубострогальных резцов типа 3
(ГОСТ 5392—80Е), мм



m_0	B	h	H_1	H_2	r_{aR}	r_{aL}	S_{a0}
1,0; 1,125	14,59	3,0	35	39,0	0,3	—	0,4
1,25; 1,375	14,70	3,3		37,0	0,38	0,15	0,5
1,50; 1,75	15,03	4,2			0,45		0,6
2,0; 2,25	15,59	5,3		34,5	0,6		0,8
2,5; 2,75	15,87	6,5			0,75		1,0
3,0; 3,25	16,27	7,6	30	31,5	0,8	0,25	1,2
3,5; 3,75	16,7	8,8			1,0	0,3	1,4
4,0; 4,25; 4,5	17,36	10,6		26	1,2	0,35	1,6
5,0; 5,5	18,23	13,0	26	29,0	1,5	0,45	2,0
6,0; 6,5	19,14	15,5		26,5	1,8	0,55	2,4
7,0	19,51	16,5		25,5	2,1	0,65	2,8
8,0	20,42	19,0		23,0	2,4	0,7	3,2
9,0	21,33	21,5		20,5	2,7	0,8	3,6
10,0	22,24	24,0		18,0	3,0	0,9	4,0

13.97. Конструктивные размеры зубострогальных резцов типа 4 (ГОСТ 5392—80Е), мм



m_0	B	H	h	H_1	H_2	r_{aR}	r_{aL}	S_{a0}
Исполнение 1								
3,0; 3,25	23,27	60	7,6	48	50	0,8	0,25	1,2
3,5; 3,75	23,7		8,8		1,0	0,3	1,4	
4; 4,25; 4,5	24,36		10,6		48,5	1,2	0,35	1,6
5,0; 5,5	25,23		13	46	1,5	0,45	2	
6,0; 6,5	26,14		15,5	43,5	1,8	0,55	2,4	
7,0	26,51		16,5	42,5	2,1	0,65	2,8	
Исполнение 2								
8,0	27,42	60	19,0	38	40	2,4	0,7	3,2
9,0	28,33		21,5		37,5	2,7	0,8	3,6
10,0	29,24		24,0		35	3,0	0,9	4,0
11,0	29,80		25,8	33	3,3	1,0	4,4	
12,0	30,73		28,1	31	3,6	1,1	4,8	
Исполнение 3								
14,0	32,44	75	32,8	30	41	4,2	1,25	5,6
16,0	34,15		37,5		36,5	4,8	1,45	6,4
18,0	35,86		42,2		31	5,4	1,6	7,2
20,0	37,61		47		27	6,0	1,8	8,0

Выбор типа резца диктуется размерами обрабатываемого колеса и имеющимся оборудованием (табл. 13.98).

Резцы изготавливаются из быстрорежущей стали марок Р6М5, Р6М5К5 с твердостью 63—66 НРС, причем резцы длиной более 40 мм могут быть сварными, а также с износостойкими покрытиями Ti N.

Допускаемые предельные отклонения основных параметров резцов приведены в табл. 13.99, а допускаемые параметры шероховатости по ГОСТ 2789—73* — в табл. 13.100. Ниже дана методика расчета основных конструктивных размеров резцов.

Расчет конструктивных размеров резцов. Исходными данными для расчета являются внешний модуль m_e , угол зацепления α_{ne} ,

13.98. Типы оборудования для зубострогальных резцов

Тип резца (ГОСТ 5392—80Е)	Диапазон модулей нарезаемых зубчатых колес, мм	Модели зубострогальных станков
Тип 1 (исполнение 1)	От 0,3 до 2,5	523, 5П23Б, 5П23БП (СССР), «Глисон 3"» и № 103 (США), 12Н (фирма Г. Гарбек, ФРГ)
Тип 1 (исполнение 2)	» 0,3 » 2,5	5Т23В (США)
Тип 2	» 0,5 » 5,5	15КН, 15КНС, 26Н, (фирма Г. Гарбек, ФРГ)
Тип 3	» 1 » 10,0	5А26, 526, 5А250, 5А250П, 5С276П (СССР), «Глисон 14», № 14 и № 710 (США), 25КН, 25КНС, 50КН, 50КНС (фирма Г. Гарбек, ФРГ)
Тип 4	» 3,0 » 20,0	5282, 5С286П (СССР), «Глисон 24"А» (США), 75КН, 75КНС (фирма Г. Гарбек, ФРГ)

13.99. Допуски и предельные отклонения параметров зубострогальных резцов

Проверяемые параметры	Допуск и отклонения, мм, при m_0 , мм				
	от 0,3 до 1,125	св. 1,125 до 2,75	св. 2,75 до 6,5	св. 6,5 до 10,0	св. 10,0 до 20,0
Угол профиля α_c ,	± 6	± 5	± 4	± 3	± 2
Ширина вершины S_{a0}	j_{S11}	j_{S12}	j_{S14}	j_{S14}	j_{S15}
Базовый размер К для резцов типа					
1			$\pm 0,03$		
2			$\pm 0,05$		
3			$\pm 0,05$		
4			$\pm 0,10$		

13.100. Параметры шероховатости зубострогальных резцов

Поверхность	Шероховатость, мкм
Поверхность рабочей стороны профиля резцов и передняя поверхность режущей части	$R_a = 0,32$
Поверхность по вершине резца, поверхность под углом и поверхность нерабочей стороны профиля резцов	$R_a = 0,63$
Поверхность основания и широкая небазовая поверхность	$R_a = 1,25$
Остальные поверхности	$R_z = 20$

ширина впадины зуба у малого диаметра $S_{f \min}$ и у большого диаметра колеса $S_{f \max}$.

Толщина зуба резца на вершине должна быть $S_{f \min} > S_{a0} > S_{f \max}/2$, или $0,35m_e < S_{a0} < 0,54m_e$.

Высота режущей кромки резца по рабочей стороне профиля

$$h = m_e (2 + C) / \cos \alpha_0,$$

где α_0 — угол профиля резца, принимаемый равным углу зацепления передачи; C — коэффициент радиального зазора в паре.

Ширина основания резца для резцов:

типов 1 (исполнение 1), 2, 3 и 4

$$B = b + h \operatorname{tg} \alpha_0;$$

типа 2 (исполнение 2)

$$B = b + S_{a0} + 0,1,$$

где b — базовое расстояние, принимаемое в соответствии с размерами станка.

Угол профиля резца α_0 принимается равным углу зацепления передачи, т. е. 20° , 15° или $14^\circ 30'$.

Установка резца под углом 12° для получения необходимых задних углов на вершине и боковых сторонах вызывает небольшое искажение угла профиля, но это не сказывается на правильности зацепления, так как колесо и шестерня нарезаются резцами, с одним и тем же искажением угла профиля.

Передний угол γ на боковой режущей кромке устанавливается в зависимости от обрабатываемого материала в пределах $\gamma = 10 \div 25^\circ$.

Радиус закругления на рабочей стороне профиля следует рассчитывать по формуле

$$r_{aR} = C / (1 - \sin \alpha_0),$$

на нерабочей стороне профиля он равен

$$r_{aL} = (0,2 \div 0,3) r_{aR}.$$

Остальные конструктивные размеры резцов следует выбирать в соответствии с рекомендациями ГОСТ 5392—80Е.

Эффективно применение на резцах износостойких покрытий, нанесенных методом КИБ на установках типа «Булат».

Эксплуатация зубострогальных резцов. Скорость резания может быть определена по формуле

$$v = 2(b + a)n/1000,$$

где b — ширина зубчатого колеса; a — перебег инструмента; n — число двойных ходов в минуту.

Расчетное основное нормативное время $t'_{0.н}$, с, на обработку одного зуба выбирается в зависимости от модуля, вида обработки, материала, его твердости и определяется с учетом соответствующих поправочных коэффициентов по табл. 13.101, 13.102 как $t'_{0.н} = t_{0.н}K_{\Sigma 0}$, после чего подлежит уточнению по паспорту зубострогального станка.

Поправочные коэффициенты на стойкость в зависимости от материала инструмента даны в табл. 13.103. Поправочный коэффициент на основное время обработки одного зуба в зависимости от фактической стойкости резцов приведен в табл. 13.104.

Основное время на обработку одного колеса t_0 (в мин) определяется по формуле

$$t_0 = t'_{0.н} zi/60,$$

где z — число зубьев нарезаемого колеса; i — число проходов.

Расчетная нормативная скорость резания $v'_н$ выбирается как произведение нормативного значения скорости резания $v_н$ и поправочного коэффициента K_v , также по табл. 13.101 и 13.102. По данной скорости может быть определено число двойных ходов в минуту:

$$n = \frac{1000v'_н}{2(b + a)}.$$

Нормы износа и стойкости зубострогальных резцов между двумя переточками взяты из табл. 13.105.

Затачивание и перетачивание резцов обычно производят в специальных двухместных приспособлениях на универсально-заточных станках для обеспечения идентичности профилей. Для предварительной заточки можно рекомендовать шлифовальные круги формы 4К характеристик 24А, 40, МЗ, 8, К5, для окончательной заточки — круги из эльбора 1Т, Л6—8, СМ1, К 100 %-ной концентрации. Суммарная стойкость комплекта резцов $\sum T$ (в ч) до полного износа может быть определена по формуле

$$\sum T = (k + 2) T/60.$$

Здесь k — число переточек, $k = M/\Delta l$, где M — размер допустимого стачивания, равный $0,7L$ (L — длина резца); Δl — размер стачивания за одну переточку, $\Delta l = h_a + \delta$ (h_a — допустимый износ; δ — допуск на заточку, равный 0,1—0,2 мм).

Вид обработки	Модель станка	Ширина зубчатого венца, мм, до	Скорость резания v , м/мин	Основное время на обработку одного зуба $t_{0.н}$, с, при внешнем модуле m_e , мм, до																
				0,5	1,0	1 5	2,0	2,5	3,0	4,0	5 0	6,0	7,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0
Черновое нарезание без обкатки колес с углом делительного конуса менее 45°	5236П	20	16— 20			10	12	15	—	—										
	5С276П	20	20— 24			10,1	11,9	13,9	18,7	21,7	25,2									
		40				18,7	21,7	25,2	29,3	34,3	34 3	47,9	57,6							
		60							34,3	34,3	47,9	47,9	57,6	70,5						
		80							47 9	57 6	57,6	68 4	70,5							
	5С286П	20	16— 13					18,9	21,3	23,3										
		40					26,3	29,6	33,5	36,7	41,8	46,1								
		60						33,5	36,7	41,8	46,1	56 9	63,7							
		80								46,1	56,9	63,7	78,1	92,2						
		100									63 7	78,1	83,6	92 2	102,2	113,8	127,4	156,2		
													92,2	102,2	113,8	127,4	156,2	156,2		
		125																		
	Чистовое нарезание простым способом с обкаткой для колес с углом делительного конуса менее 45°	5Т23В	10	14— 18	8	10														
			20	20— 24	10	12,5	16	18	20											
		5236П	10	14— 18	10	10														
			20	20— 24	10	12	15	18	20											
5С276П		20	20— 26			12	12	16	20	22	26									
		40				20	22	26	30	36										
		60						36	38											
		80							42											

Вид обработки	Модель станка	Ширина зубчатого венца, мм, до	Скорость резания v , м/мин	Основное время на обработку одного зуба $t_{об}$, н, с, при внешнем модуле m_e , мм, до																
				0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0
Чистовое нарезание комбинированным способом (врезание—обкатка) для колес с углом конуса менее 45°	5236П	10	10—14	8	8	10	12	15												
		20	20—24	10	10	12	15	18												
	5С276П	20	20—26						19	22	24									
		40						26	30	35	36	42	50							
		60							35	37	42	50	58	65						
		80									50	58	65	75	92					
		100										68	75	82	92	102	112	125	130	
		125												92	102	102	112	122	130	
Чистовое нарезание с обкаткой по предварительно нарезанной заготовке с углом делительного конуса менее 45°	5Т23В	10	14—18			8	8	10												
		20	20—24			10	10	12,5												
	5С276П	20	20—24			8	10	12	14,5	17	20									
		40					14	16	20	25	28	33	36	45						
		60							30	33	43	48	55	65						
		80								43	48	55	65	75						
	5С286П	20	18—22						14,5	17	20									
		40						20	25	28	33	38	45							
		60							28	33	43	48	55	65						
		80									48	55	65	75	85					
		100										60	70	80	90	100	110	120	130	
		125												90	100	110	120	130	140	

**13.102. Поправочные коэффициенты на скорость резания
и основное время обработки K_{v_0} при зубострогании
в зависимости от твердости материала заготовок**

Материал заготовки	Твердость НВ	K_{v_M}	K_{v_0}
Конструкционные углеродистые стали:			
35	156—187	1,1	0,9
45	170—207	1,0	1,0
	207—241	0,9	1,4
50	170—229	0,9	1,2
Конструкционные легированные стали:			
35X, 40X, 45X	156—229	1,0	1,1
20X, 18XГТ, 12ХНЗА, 20ХНЗА, 12Х2Н4А	156—229	0,9	1,2
25ХГТ, 30ХГТ	156—207	0,8	1,3
20ХГН	156—229	0,8	1,5
38Х2МЮА, 18Х2НЧМА	229—269	0,6	1,8

П р и м е ч а н и я. 1. Для других моделей зубострогальных станков основное время на обработку одного зуба выбирается ближайшим к нормативному. 2. Основное время на обработку одного зуба при чистовом нарезании методом обкатки приведено для предварительно нарезанной заготовки фрезерованием. При чистовой обработке штампованного зуба основное время увеличить на 20—30 %, а скорость резания уменьшить на 20—25 %. 3. При обработке чугуна серого 170—229 НВ при черновом и чистовом нарезании колес простым и комбинированным способами основное время на обработку одного зуба увеличить на 20 %. 4. Основное время на обработку одного зуба приведено для колес 8-й степени точности (ГОСТ 1758—81), для колес 7-й степени точности основное время на обработку увеличить на 25 %, а для 9-й степени точности соответственно уменьшить на 25 %. 5. Основное время обработки одного зуба приведено для обработки колеса за один проход при работе в два и более прохода оно соответственно увеличивается. Цифры, обведенные жирной линией, предусматривают основное время на обработку одного зуба в два прохода. 6. При нарезании конических колес применяются СОЖ: масло индустриальное 20А (ГОСТ 20799—75*) или масло турбинное марки Т22 (ГОСТ 32—74*).

**13.103. Поправочный коэффициент
на стойкость резания K_{v_T}
в зависимости от материала
инструмента**

Марка стали	K_{v_T}
P18	1,1
P6M5	1,0
P6M5K5, P9K5	1,2

**13.104. Поправочный коэффициент
на основное время обработки
одного зуба K_{v_0}
в зависимости от фактической
стойкости инструмента T_Φ**

T_Φ/T	K_{v_0}
1,2	1,4
1,1	1,2
1,0	1,0
0,8	0,9
0,6	0,8

13.105. Нормы износа и расхода зубострогальных резцов

Тип резца	Допустимый износ h_3 , мм		Величина стачивания за одну переточку Δl мм		Стойкость между двумя переточками T , мин
	Вид обработки				
	черно- вая	чистовая	черновая	чистовая	
Исполнение 1	0,6—0,8	0,25—0,35	0,7—0,95	0,35—0,50	180
Исполнение 2					200
Исполнение 2, 3 и 4	0,8—1,0	0,3—0,4	0,9—1,2	0,4—0,6	180

Расход комплектов зубострогальных резцов на заданную производственную программу рассчитывается по формуле

$$P_{\text{п}} = \frac{\Pi t_0}{\sum T} K_y,$$

где Π — производственная программа обрабатываемых деталей, шт.; K_y — коэффициент естественной убыли, равный 1,1.

Зуборезные головки для нарезания конических колес. Для нарезания *прямозубых* конических колес в условиях массового их производства применяются в диапазоне модулей 0,5—12 мм. Зуборезные головки работают в комплекте, состоящем из право- и леворежущей головок, отличающихся между собой расположением главных режущих кромок.

В промышленности нашли применение зуборезные головки диаметром 150, 278 и 450 мм, изготавливаемые по ГОСТ 24904—81Е. Резцы к головкам производятся по ГОСТ 24905—81Е, технические требования на головки и резцы регламентированы ГОСТ 24906—81Е.

Зуборезными головками нарезаются конические колеса как с прямыми, так и с бочкообразными зубьями. Так как расчет профиля резцов к головкам принципиально ничем не отличается от расчета профиля зубострогальных резцов, а все необходимые конструктивные размеры даны в указанных выше стандартах, то в данном справочнике не приводятся методические указания по расчету этого инструмента.

Зуборезные головки для нарезания *конических и гипoidных* зубчатых колес с *круговыми зубьями* стандартизованы по номинальным диаметрам d_0 . Резцовые головки с метрической системой размеров изготавливаются по ГОСТ 11902—77*, ГОСТ 11903—77* и ГОСТ 11906—77*, а также отраслевым стандартам Минстанкопрома: ОСТ2 И45-12—86 и ОСТ2 И45-13—86 (черновые головки), ОСТ2 И45-4—79 и ОСТ2 И45-5—79 (чистовые головки). В данных стандартах принят ряд номинальных диаметров: 20, 25, 32, 40,

**13.106. Параметры метрических зуборезных головок
для конических и гипоидных колес с круговыми зубьями, мм**

d_0	Наибольшая внешняя высота зуба h_e	Наибольший модуль, мм		d_0	Наибольшая внешняя высота зуба h_e	Наибольший модуль, мм	
		внешний около- ной m_{te}	нормаль- ный m_n			внешний около- ной m_{te}	нормаль- ный m_n
20	3	—	0,80	160	13	5,0	4,0
25	3		1,00	200	16	6,0	5,0
32	4		1,25	250	20	8,0	6,0
40	5		1,50	320	24	10,0	8,0
50	6		2,00	400	30	13,0	10,0
60	7		2,25	500	36	16,0	12,0
80	8		2,5	630	45	20,0	16,0
				800	60	26,0	20,0
100	9	4,0	3,0	1000	70	30,0	25,0
125	10	4,5	3,5				

**13.107. Параметры дюймовых зуборезных головок
для конических и гипоидных колес с круговыми зубьями**

Номи- нальный диаметр резцовой головки d_0 , дюйм	Внешнее конусное рассто- яние R_e , мм	Наи- большая ширина зубчатого колеса b , мм	Наи- большая высота зуба h_e , мм	Номи- нальный диаметр резцовой головки d_0 , дюйм	Внешнее конусное рассто- яние R_e , мм	Наи- большая ширина зубчатого колеса b , мм	Наи- большая высота зуба h_e , мм
0,5	6—13	5	1,75	5,0	65—80	28	9,5
1,1	13—19	6,5	3,5	6,0	70—89	32	9,5
1,5	19—25	8	5	7,5	89—102	38	13
2,0	25—38	11	5	9,0	102—133	48	14,5
2,75	32—45	14	6,5	12,0	133—190	64	19,5
3,5	38—70	19	9	16,0	190—381	89	19,5
4,5	63—76	25	9,5	18,0	190—381	102	19,5

50, 60, 80 мм (цельные головки) и 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000 мм (сборные головки). Одновременно имеют большее распространение в промышленности резцовые головки с дюймовой системой, которые подразделяются на следующий ряд номинальных диаметров по данным фирмы «Глисон» (Gleason, США): 0,5" (12,7 мм); 1,1" (27,94 мм); 1,5" (38,1 мм); 2" (50,8 мм); 3,5" (88,9 мм); 4,5" (114,3 мм); 5" (127 мм); 6" (152,4 мм); 7,5" (190,5 мм); 9" (228,6 мм); 12" (304,8 мм); 16" (406,2 мм); 18" (457,2 мм) и 21" (533,4 мм).

В зависимости от вида обработки зуборезные головки относят к черновым и чистовым, праворежущим и леворежущим. По методу обработки головки разделяют на односторонние и двухсторонние; в свою очередь, черновые двухсторонние головки — на двухсторонние и трехсторонние.

Стандартные метрические резцовые головки включают 18 типоразмеров, позволяя обеспечить нарезание колес с наибольшим нормальным модулем m_n в диапазоне 0,8—2,5 мм, внешним окружным модулем m_{te} в диапазоне 4—30 мм и наибольшей высотой зуба 70 мм (табл. 13.106). Резцовые головки с дюймовой системой содержат 14 типоразмеров (табл. 13.107).

Цельные зуборезные головки (рис. 13.59) изготавливаются в соответствии с ГОСТ 11903—77* с номинальными диаметрами 20—80 мм, сборные зуборезные головки — с номинальными диаметрами 100—1000 мм по указанным выше отраслевым стандартам.

Для чистового зубонарезания применяются сборные одно- и двухсторонние головки (рис. 13.60) с наружными (обозначение Н) или внутренними (В) резцами, а для чернового зубонарезания — двух- и трехсторонние головки (рис. 13.61). Стандартные черновые головки не имеют радиальной регулировки резцов, хотя в практике применяются черновые головки с тонкой радиальной регулировкой установки резцов в корпусе. Основные размеры стандартных цельных резцовых головок представлены в табл. 13.108, сборных черновых головок — в табл. 13.109, сборных чистовых двухсторонних — в табл. 13.110 и чистовых односторонних — в табл. 13.111. Допускаемые предельные отклонения основных элементов цельных и резцовых головок приведены соответственно в табл. 13.112 и 13.113, допускаемая шероховатость рабочих поверхностей резцов — в табл. 13.114.

Цельные зуборезные головки и резцы к сборным головкам изготавливаются из быстрорежущей стали марок Р18, Р6М5, Р6М5К5. Резцы к головкам диаметром 250 мм и более могут быть сварными.

Корпуса сборных головок рекомендуется выполнять из цементируемой стали марки 12ХН3А или 20ХН2М (ГОСТ 4543—71*).

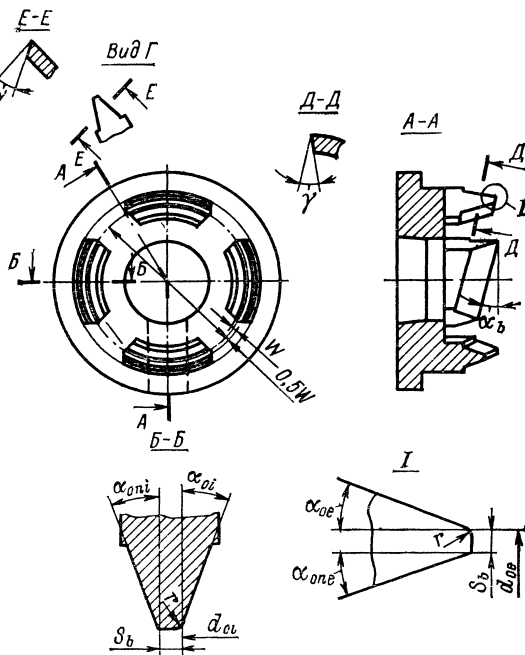


Рис. 13.59. Цельная зуборезная головка

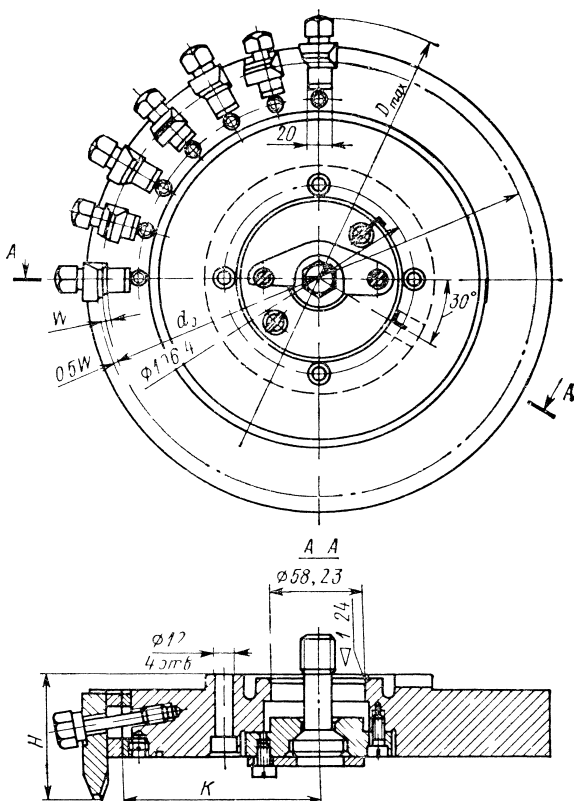


Рис. 13.60. Сборная чистовая зуборезная головка

13.108. Основные размеры цельных зуборезных головок

Номинальный диаметр d_0 мм	Пределы разводов резцов W , мм	Число резцов		Номинальный диаметр d_0 мм	Пределы разводов резцов W , мм	Число резцов	
		наружных	внутренних			наружных	внутренних
20	0,20—0,70	2	2	40	0,32—1,30	2	2
25	0,20—0,80			50	0,32—1,60		
(27,94)	0,25—1,00			(50,8)	0,30—1,50		
32	0,32—1,00			60	0,32—1,80		
(38,1)	0,30—1,25			80	0,32—2,00	4	4

Примечание В скобках указаны номинальные диаметры дюймовых головок d_0

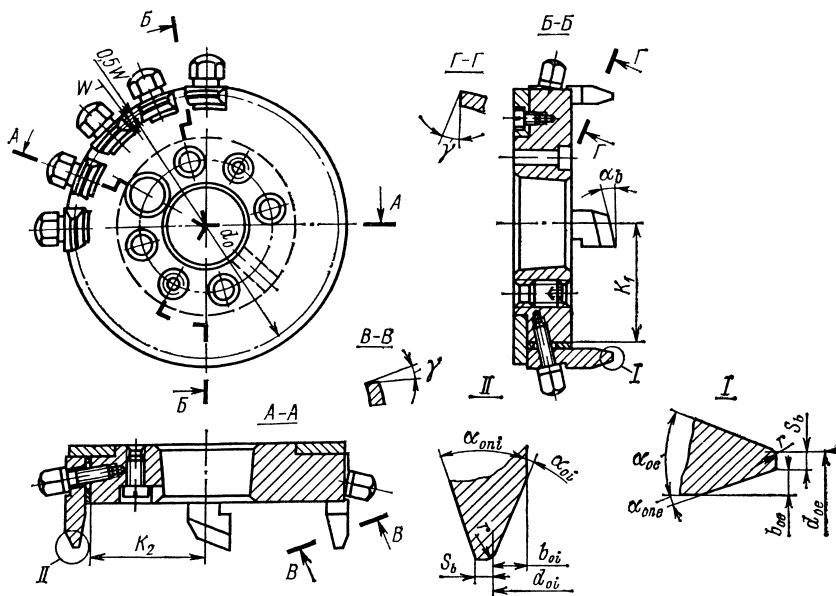


Рис. 13.61. Сборная черновая зуборезная головка с нерегулируемыми резцами

13.109. Основные размеры черновых зуборезных головок

Номинальный диаметр d_0 , мм	Базовое расстояние корпуса, мм		Головки						
	K_1 K_2		двухсторонние			трехсторонние			
			Пределы разводов резцов W , мм	Число резцов		Пределы разводов резцов W , мм	Число резцов		
				наружных	внутренних		наружных	внутренних	средних
(152,4)	67,724	67,724	0,5—3,0	8	8	2,5—3,25	4	4	8
160	69	66	0,6—3,2	8	8	2,6—3,2	4	4	8
(190,5)	87,884	85,852	0,5—3,5	10	10	2,5—3,5	5	5	10
200	88	84	0,6—3,6	10	10	2,6—3,6	5	5	10
(228,6)	106,934	104,902	0,5—4,5	12	12	2,5—4,0	6	6	12
250	110	105	0,6—4,6	12	12	2,6—4,6	6	6	12
(304,8)	143,383	140,462	0,5—5,5	16	16	2,5—5,5	8	8	16
315	142	135	1,0—6,0	16	16	2,6—6,0	8	8	16
400	179	172	1,0—7,0	18	18	2,6—7,0	9	9	18
(457,2)	215,9	210,82	1,0—9,0	18	18	2,6—9,0	9	9	18
500	224	216	1,0—9,0	20	20	2,6—9,0	10	10	20

Примечание В скобках указаны номинальные диаметры дюймовых головок d_0 .

13.110. Основные размеры чистовых двухсторонних зуборезных головок

Номинальный диаметр d_0 , мм	Базовое расстояние корпуса K_1 , мм	Пределы разводов W , мм	Число резцов	
			наружных	внутренних
(88,9)	37,306	0,40—2,50	4	4
100	41,000	0,40—2,60	4	4
125	53,000	0,40—2,80	6	6
(152,4)	67,724	0,50—3,25	6	6
160	66,000	0,60—3,60	6	6
(190,5)	74,480	0,65—5,00	6	6
200	84,000	0,60—4,00	8	8
(228,6)	103,055	0,65—5,00	6	6
			8	8
250	103,000	0,60—5,20	10	10
(304,8)	138,940	0,75—6,50	8	8
			10	10
315	133,000	1,00—6,50	10	10
400	172,000	1,00—8,00	14	14
(457,2)	205,524	0,75—9,50	12	12
500	215,000	1,00—10,00	16	16

Примечание. В скобках указан номинальный диаметр дюймовых головок d_0 .

Обычно цементируется слой $h = 0,8 \div 1,2$ мм, кроме резбовых отверстий; твердость после закалки 56—62 HRC₉. Корпуса черновых головок нормальной точности изготавливают из стали 40X или стали ХВГ.

Клинья и подкладки, опорные кольца черновых головок могут быть сделаны из стали марки X или ХВГ по ГОСТ 5950—73* с твердостью 45—50 HRC₉, клинья и подкладки головок нормальной точности — из инструментальных углеродистых сталей марок У7, У8, У9 или У10. Винты крепления, регулировочные, центральные и съемные должны быть изготовлены из стали марки 35ХГСА или 40ХН2МА с 40—45 HRC₉.

Эффективно нанесение износостойких покрытий TiN методом КИБ с использованием установок типа «Булат» на цельные головки и резцы к сборным головкам, обеспечивающих повышение их стойкости до двух раз.

Расчет зуборезных резцовых головок. Исходными данными конических зубчатых колес для расчета зуборезной резцовой головки являются внешний окружной $m_{tв}$ и нормальный m_n модули, угол зацепления в нормальном сечении α_n , числа зубьев z_1 и z_2 , угол наклона зуба в среднем сечении β , внешнее конусное расстояние R_e , углы ножки зуба шестерни и колеса θ_{f1} и θ_{f2} , ширина зубчатого венца b , высоты головки шестерни и колеса h_{ae1} и h_{ac2} , высоты ножки зуба шестерни и колеса h_{fe1} и h_{fe2} , толщины зуба

13.111. Основные размеры чистовых односторонних зуборезных головок

Номинальный диаметр d_0 , мм	Базовое расстояние корпуса K , мм	Диапазоны образующих диаметров мм		Число резцов
		наружных d_{0e}	внутренних d_{0i}	
88,9	37,306	84,88—91,4	86,4—98,92	8
100	37,0	89—99	89—99	8
	41	97—107	97—107	8
125	46,0	107—121	107—121	12
	53,0	121—133	121—135	12
152,4	67,724	146,812—156,210	149,098—158,242	12
160	58,0	131—147	133—149	12
	66,0	147—163	149—165	12
	72,5	160—176	162—178	16
190,5	74,48	165,608—180,086	168,37—180,848	12
200	77,5	171—187	175—191	16
	84,0	184—200	188—204	16
	91,0	198—216	202—220	20
228,6	80,83	178,308—192,786	178,070—193,548	12
	87,18	191,01—205,486	191,770—206,248	12
	93,53	203,708—218,186	204,470—218,948	16
	96,705	210,058—224,536	210,820—225,298	16
	103,055	222,758—237,236	223,520—237,998	16
	108,135	232,918—247,396	233,680—248,158	16
	114,485	245,618—260,096	246,380—260,858	16
250	97,0	214—232	218—236	20
	103,0	226—244	230—248	20
	108,0	238—252	240—258	20
	115,0	250—268	254—272	24
(304,8)	122,43	263,144—282,194	265,176—284,226	16
	130,05	278,384—297,434	280,416—288,466	20
	138,94	296,164—315,214	298,196—317,246	20
	146,56	311,404—330,454	313,436—332,486	20

Номинальный диаметр d_0 мм	Базовое расстояние корпуса К, мм	Диапазоны образующих диаметров, мм		Число резцов
		паружных d_{0e}	внутренних d_{0i}	
315	122	265—289	272—296	20
	133	287—311	294—318	24
	139	299—323	306—330	24
	151	323—347	330—354	24
400	160	346—372	354—380	28
	172	370—396	378—404	28
	183	392—422	400—426	32
(457,2)	205,524	428,752—458,724	—	24
	215,68	—	458,724—487,172	24
500	193	415—445	425—455	28
	207	443—461	453—471	32
	215	459—489	469—499	32
	229	487—517	497—527	36

Примечание. В скобках указан номинальный диаметр дюймовых головок d_0 .

13.112. Допускаемые предельные отклонения параметров цельных резцовых головок

Параметры	Допуски и отклонения головок точности, мм	
	нормальной	повышенной
Образующие диаметры	$\pm 0,020$	$\pm 0,015$
Торцовое биение по вершинам резцов:		
от резца к резцу	0,015	0,010
в пределах одного оборота	0,025	0,020
Радиальное биение резцов посередине режущих кромок	0,010	0,005
Отклонение режущих кромок резцов от плоскости, проходящей через ось головки	0,030	0,020
Профиль рабочей стороны резцов на длине, мм:		
5	0,005	0,003
6	0,006	0,004
8	0,008	0,006

**13.113. Допускаемые предельные отклонения параметров
сборных резцовых головок**

Параметр	Номиналь- ный диаметр головки d_0	Допуски и отклонения, мм, параметров сборных головок		
		чистовых точности		черно вых
		нормаль- ной	повы- шенной	
Диаметр посадочного отвер- стия: 58,23 и 127 215,8 и 330	160—140 500—1000	+0,002 —0,005 H5	+0,002 —0,005 H5	+0,002 —0,005 H5
Базовое расстояние корпуса	100—1000	J_{S7}	J_{S6}	J_{S6}
Базовое расстояние резцов: в пределах одного комп- лекта между комплектами	100—1000	$\pm 0,012$ $\pm 0,050$	$\pm 0,008$ $\pm 0,050$	$\pm 0,012$ $\pm 0,050$
Торцовое биение по вершинам резцов: от резца к резцу	100; 125 160; 200 250; 320 400; 500 630; 1000	0,010 0,012 0,015 0,020 0,025	0,005 0,007 0,010 0,010 —	— 0,025 0,025 0,030 —
в пределах одного комп- лекта	100; 250 160; 200 250; 320 400; 500 630—1000	0,030 0,030 0,035 0,040 0,050	0,016 0,020 0,025 0,030 —	— 0,050 0,055 0,060 —
Радиальное биение резцов по середине режущих кромок	100—320 400; 500 630—1000	0,0025 0,0040 0,0060	0,0016 0,0025 —	0,030 0,040 —
Профиль рабочей стороны ба- зового резца на длине, мм:				
9	100; 125	0,060	0,003	—
10	160; 200	0,060	0,003	0,010
15	250; 320	0,010	0,004	0,016
24	400; 500	0,016	0,005	0,020
35	630	0,025	—	—
60	800—1000	0,040	—	—

Параметр	Номиналь- ный диаметр головки d_0	Допуски и отклонения, мм, параметров сборных головок		
		чистовых, точности		черно- вых
		нор- мальной	повы- шенной	
Профиль рабочей стороны рез- цов относительно базового на длине, мм:				
9	100; 125	0,012	0,0016	—
10	160; 200	0,012	0,0016	0,020
15	250; 320	0,020	0,0016	0,030
24	400; 500	0,030	0,0025	0,050
35	630; 800	0,050	—	—
60	1000	0,080	—	—
Отклонение режущих кромок от плоскости, проходящей через ось головки	100; 125 160; 200 250; 320 400; 500 630; 800 1000	0,04 0,05 0,06 0,08 0,10 0,12	0,03 0,04 0,05 0,06 — —	— 0,08 0,100 0,120 — —
Предельное отклонение перед- него угла резцов	—	$\pm 30'$		

13.114. Параметры шероховатости рабочих поверхностей резцов
зуборезных головок (ГОСТ 2789—73 *)

Поверхность	Шероховатость резцов, мкм		
	чистовых точности		черновых
	нормальной	повышенной	
Задняя поверхность на рабочей стороне профиля, R_z	1,6	0,8	1,6
Передняя поверхность, R_z	3,2	1,6	3,2
Базовая широкая поверхность, R_a	0,32	0,32	0,32
Задняя поверхность нерабочей сто- роны профиля, R_z	3,2	1,6	—
Поверхность опорного торца, R_a	—	—	0,63
Широкая небазовая поверхность, R_a	6,3	3,2	6,3

по дуге делительной окружности шестерни и колеса S_{te_1} и S_{te_2} , направление зуба (правое или левое), межосевой угол Σ .

Номинальный диаметр d_0 головки. Под d_0 подразумевается диаметр условной окружности, проходящей приблизительно посередине впадины нарезаемых зубьев (рис. 13.62). Выбор d_0 зависит от многих факторов: осевой формы зуба, вида передачи и обработки, длины внешнего конусного расстояния, ширины зубчатого венца, полной высоты и угла наклона зуба.

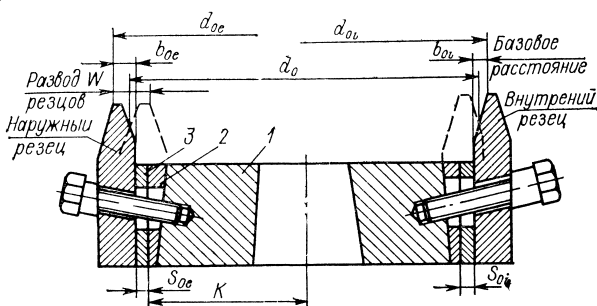


Рис. 13.62. Основные конструктивные размеры зуборезной головки:

1 — корпус; 2 — клин; 3 — подкладка

Выбор номинального диаметра в метрической системе может быть сделан в соответствии с табл. 13.115—13.117.

Число резцов в головке. Обычно для черновых и чистовых односторонних головок принимают наибольшее число

13.115. Номинальные диаметры зуборезных головок, мм, в зависимости от осевой формы зуба типа 1 (ГОСТ 19326—73)

Номинальный диаметр головки d_0	Наибольший нормальный модуль m_n	Пределы среднего конусного расстояния R	Наибольшая внешняя высота зуба h_e	Ширина зубчатого венца b
(88,9)	3,0	36—62	8	10—20
100	3,0	40—70	9	10—20
125	3,5	50—90	10	12—25
(152,4)	3,5	60—110	10	15—30
160	4,0	65—110	12	16—32
(190,5)	5,0	75—135	15	20—40
200	5,0	80—140	16	20—40
(228,6)	5,0	90—160	15	20—40
250	6,0	100—175	18	25—50
(304,8)	7,0	120—215	20	30—65
315	8,0	120—220	24	32—65
400	10,0	160—280	30	40—80
(457,2)	10,0	180—320	28	50—100
500	12,0	200—350	36	50—100

Примечание. В скобках указан номинальный диаметр дюймовой головки.

**13.116. Номинальные диаметры зуборезных головок, мм,
в зависимости от осевой формы зуба типа 2 (ГОСТ 19326—73)**

Номинальный диаметр головки d_0	Наибольший нормальный модуль m_n	Предельное среднее конусное расстояние R	Наибольшая внешняя высота зуба h_e	Ширина зубчатого венца b
20	0,8	6—13	3	1—5
25	1,0	10—16	3	2—6
(27,94)	1,0	11—18	3	2,2—6
32	1,25	13—21	4	2,5—8
(38,1)	1,25	15—25	5	3—8
40	1,5	16—26	5	3—8
50	2,0	20—32	6	4—12
(50,8)	2,0	20—32	6	4—12
60	2,0	24—40	7	5—15
80	2,5	32—52	8	6—20
(88,9)	2,5	36—58	8	8—20
100	3,0	40—65	9	8—25
125	3,5	50—80	10	10—30
(152,4)	3,5	60—100	10	12—30
160	4,0	65—105	12	13—40
(190,5)	5,0	75—120	15	15—40
200	5,0	80—130	15	16—50
(228,6)	6,0	90—150	15	18—60
250	6,0	100—160	18	20—65
(304,8)	7,0	120—200	20	25—80
315	8,0	120—200	24	25—80
400	10,0	160—250	30	32—100
(457,2)	10,0	180—300	28	36—120
500	12,0	200—320	36	40—125

Примечание. В скобках указан номинальный диаметр дюймовой головки.

резцов, что способствует повышению производительности, стойкости и точности обработки. Однако у чистовых двухсторонних головок в процессе резания могут участвовать одновременно в работе и наружный и внутренний резцы, усилия резания от которых направлены в противоположные стороны, или только один резец, что вызовет появление неравномерных отжимов заготовки. Это сказывается отрицательно на точности обработки, поэтому двухсторонние резцовые головки необходимо проектировать так, чтобы в резании всегда участвовал только один резец.

Номер резцов. Для получения одинаковых углов зацепления на начальных конусах соприкасающихся поверхностей зубьев необходимо ввести поправку в угол профиля наружных и внутренних резцов. С учетом поправки наружные резцы должны иметь угол зацепления меньше номинального на величину $\Delta\alpha_n$, а внутренние — больше номинального на ту же величину. Величину $\Delta\alpha_n$ называют номерной поправкой. Таким образом, угол профиля наружного резца будет $\alpha_{ce} = \alpha_n - \Delta\alpha_n$. Угол профиля внутреннего резца — $\alpha_{oi} = \alpha_n + \Delta\alpha_n$.

13.117. Номинальные диаметры зуборезных головок, мм,
в зависимости от осевой формы зуба типа 3 (ГОСТ 19326—73)

Номинальный диаметр головки d_0	Наибольший нормальный модуль m_n	Пределы среднего конусного расстояния R	Наибольшая внешняя высота зуба h_e	Ширина зубчатого венца b
(88,9)	3,0	60—90	8	10—20
100	3,5	65—100	9	10—20
125	4,0	80—125	10	12—25
(152,4)	4,0	100—150	10	15—30
160	5,0	105—160	12	16—32
(190,5)	6,0	125—190	15	20—40
200	6,0	130—200	15	20—40
(228,6)	6,0	150—230	15	25—50
250	7,0	160—250	18	25—50
(304,8)	8,0	200—305	20	32—65
315	8,0	205—315	24	32—65
400	12,0	260—400	30	40—80
(457,2)	12,0	300—460	28	50—100
500	15,0	330—500	36	50—100

Примечание. В скобках указан номинальный диаметр дюймовой головки.

Для обеспечения правильного зацепления соприкасающимися поверхностями зубьев не обязательно иметь строго расчетные углы зацепления, определяемые по формуле $\Delta\alpha_n = \theta_f \sin \beta$. Обязательным условием является равенство углов зацепления между собой, поэтому резцы стандартизованы по номерам и номер (в угл. мин.) резца для нарезания шестерни и колеса принимается одним и тем же и равным сумме углов ножек, деленной пополам:

$$N = \pm \frac{\Delta\alpha_n}{10} = \sin \beta \frac{\theta_{f1} + \theta_{f2}}{2 \cdot 10} = \frac{\sin \beta (\theta_{f1} + \theta_{f2})}{20}$$

или

$$N = \sin \beta \cdot \theta_{f2} / 10.$$

Поправка на углы зацепления, определяемая номером резца, должна учитываться только при расчете резцов для изготовления конических колес с круговыми зубьями методом обкатки. Для других видов конических передач это правило неприемлемо.

У г о л п р о ф и л я р е з ц о в. Номинальный угол профиля резцов чистовых головок должен соответствовать углу зацепления передачи в нормальном сечении. Однако действительные углы профиля наружных и внутренних резцов отличаются от номинального по причинам, перечисленным выше.

В соответствии с ГОСТ 11902—77* установлен следующий стандартный ряд номеров резцов N :

для чистовых головок 0—2—4—6—8—10—12—14—16—18—20—22—24—30—36—42;

для черновых головок 0—4—8—12—16—20—24.

Полученный при расчете по формуле номер N является теоретическим, после чего он округляется до ближайшего стандартного номера. Фактическая разница в углах профиля резцов определяется путем умножения номера резца N на 10, т. е. угол профиля резцов цельных головок, чистовых и черновых сборных головок может быть найден:

для рабочих сторон:

наружных $\alpha_{0e} = \alpha_n - 10N$;

внутренних $\alpha_{0i} = \alpha_n + 10N$;

нерабочих сторон:

наружных $\alpha_{n0e} = \alpha_{0i}$;

внутренних $\alpha_{n0i} = \alpha_{0e}$.

Например, при $N = 12$ поправка $10N = 120'$, т. е. при номинальном угле зацепления $\alpha_n = 20^\circ$ имеем $\alpha_{0e} = 18^\circ$ и $\alpha_{0i} = 22^\circ$.

13.118. Припуск Δ по толщине
на обе стороны зуба,
под чистовое нарезание
конических колес, мм

m_{te}	Δ	m_{te}	Δ
От 2 до 3	0,5	Св. 7 до 10	1,0
Св. 3 » 5	0,7	» 10 » 12	1,2
» 5 » 7	0,8	» 12 » 16	1,4

Обычно стандартные чистовые и черновые резцы изготавливаются в двух исполнениях (1 и 2) в зависимости от охватываемого диапазона углов профиля. Например, для наружных резцов исполнение 1 распространяется на углы профиля резцов от 10 до 20° , исполнение 2 — от 20 до 26° .

Резцы для нарезания конических колес типа «Зерол» не имеют номерной поправки на угол профиля, поэтому углы профиля наружных и внутренних резцов черновых и чистовых головок соответствуют номинальному углу зацепления.

Методика определения углов профиля резцов полуобкатных конических передач несколько иная, поэтому следует руководствоваться рекомендациями [261].

Развод резцов. Определяется расчетным путем в зависимости от метода нарезания, вида обработки, типов конических колес и их параметров. Одни и те же резцы можно применять в головках с различным значением развода за счет выбора соответствующих подкладок под резцы.

Развод резцов для чистового нарезания зубьев колеса двухсторонней головкой

$$W_k = \frac{A}{A_0} (S_1 \cos \beta - h_{f2} 2 \operatorname{tg} \alpha_n),$$

где A — длина образующей конуса до середины венца зуба; A_0 — наружная длина образующей начального конуса; S_1 — толщина зуба шестерни по дуге делительной окружности; h_{f2} — высота ножки зуба колеса; β — угол наклона зуба в среднем сечении.

Оптимальный размер развода при нарезании конических колес определяют из условия: ширина дна впадины колеса должна быть несколько больше ширины вершины (ленточки) зуба.

Вычитая из значения развода резцов для чистового нарезания припуск, получаем развод головки для чернового нарезания колеса:

$$W_{\text{к. ч}} = W_{\text{к}} - \Delta,$$

где Δ — припуск на обработку на обе стороны зуба, мм (табл. 13.118).

Чистовое нарезание шестерни в большинстве случаев производится при помощи односторонних головок. При этом за развод резцов принимают ширину вершины чистового резца, выбираемую в зависимости от номинального диаметра головки.

В мелкосерийном и индивидуальном производствах применяют двухсторонние головки для нарезания шестерни с любым разводом, размер которого не превышает ширины впадины на ее узком конце. Развод резцов при черновом нарезании зубьев шестерни определяют в нормальном сечении не посередине зуба, как для колеса, а на его узком конце

$$W_{\text{ш. ч}} = \frac{A_f}{A_0} [\pi m_n \cos \beta + 2(h_{f1} + h_{f2}) \operatorname{tg} \alpha_n] - W_{\text{к}} + \Delta,$$

где A_f — внутренняя длина образующей начального конуса; h_{f1} и h_{f2} — высота ножки зуба колеса и шестерни. Рассчитанный развод $W_{\text{ш. ч}}$ округляют до ближайшей стандартной величины.

Радиус закругления и ширина вершины резцов. Для повышения прочности зубьев передачи их следует изготавливать резцами с максимально возможным радиусом закругления. Одновременно с радиусом закругления на вершине необходимо оставлять минимальную площадку $p = 0,4$ мм для базирования калибра при контроле радиуса закругления. Максимальный радиус закругления

$$r_{a0} = \frac{(S_b/2 - p) \cos \alpha_n}{1 - \sin \alpha_n},$$

где S_b — ширина зуба резца на вершине; p — размер площадки на вершине. Если прочность зуба зубчатой передачи не является лимитирующим фактором, то радиус закругления резцов принимают стандартным.

Для повышения стойкости вершину резца закругляют со стороны боковой режущей кромки. У резцов чистовых двухсторонних головок радиус закругления следует выполнять несколько большим, чем у резцов черновых головок. В трехсторонних головках радиус закругления всех типов резцов одинаков.

Односторонние и соответствующие им черновые двухсторонние головки имеют резцы с одинаковыми радиусами закругления. Ширина вершины черновых резцов должна быть несколько больше

половины развода, чтобы во впадине зуба не образовался выступ в виде гребешка. Можно рекомендовать применять стандартные размеры ширины вершин резцов в зависимости от их развода.

Базовое расстояние резца. Это расстояние от опорной поверхности, на которой резец устанавливают в корпусе головки, до ближайшей точки, находящейся на рабочей боковой затылованной поверхности (см. рис. 13.62). Принимают таким, чтобы иметь возможность обработать наибольшую высоту зуба заготовки, допустимую для данной головки, и определяют по формулам:

для наружных резцов $b_{0e} = T - h \operatorname{tg} \alpha_{0e} - g$;

для внутренних резцов $b_{0i} = h \operatorname{tg} \alpha_{0i} + g$,

где T — толщина резца; h — высота зуба; α_{0e} и α_{0i} — углы профиля наружного и внутреннего резцов; $g = 1 \div 2$ мм.

Подкладки под резцы. Применяют для получения необходимого развода резцов и образующих диаметров. Толщину подкладок S определяют по формулам:

подкладка под внутренние резцы

$$S_i = \frac{d_{0i} - 2k - 2b_{0i}}{2}.$$

подкладка под наружные резцы

$$S_e = \frac{d_{0e} - 2k - 2b_{0e}}{2}.$$

Образующие диаметры. Это диаметры, отнесенные к вершинам режущих кромок (рис. 13.62). Образующие диаметры для наружных d_{0e} и внутренних d_{0i} резцов двухсторонних, черновых и чистовых головок, для которых развод резцов располагается симметрично относительно номинального диаметра, определяются по формулам:

для наружного резца $d_{0e} = d_0 + W$;

для внутреннего » $d_{0i} = d_0 - W$.

При определении образующего диаметра для односторонних головок вносится поправка на диаметр, обусловленная наладочными установками станка для улучшения зоны касания. Тогда

$$d_{0e} = d_0 + \Delta_1 d_0;$$

$$d_{0i} = d_0 - \Delta_1 d_0,$$

где значение поправки Δ_1 может быть определено по дополнительным формулам [261].

Базовые размеры корпусов. Для односторонних и двухсторонних головок указанные размеры устанавливаются в зависимости от размеров их номинальных диаметров.

Углы резания. Передний угол, рассматриваемый в плоскости, перпендикулярной к режущей кромке, принимается у резцов черновых и чистовых головок равным $\gamma = 20^\circ$.

Передний угол в плоскости, перпендикулярной к оси вращения головки и пересекающей режущую кромку, для наружных резцов $\operatorname{tg} \gamma_e = \operatorname{tg} \gamma \cdot \cos \alpha_{oe}$, для внутренних резцов $\operatorname{tg} \gamma_i = \operatorname{tg} \gamma \cdot \cos \alpha_{oi}$.

Смещение P передней поверхности с оси головки при правильной заточке может быть определено по формулам:

для наружных резцов $P_e = \frac{d_{oe}}{2} \sin \gamma_e$;

для внутренних резцов $P_i = \frac{d_{oi}}{2} \sin \gamma_i$.

Задний угол на вершине резца α_v принимается обычно в пределах $12-15^\circ$, при этом задний боковой угол на режущей кромке получается равным $2-5^\circ$.

Форма боковой поверхности резцов является одним из важных конструктивных элементов резца, определяющих ряд эксплуатационных показателей головки: точность и производительность обработки зубчатых колес.

Рабочая задняя боковая поверхность резца может быть оформлена в виде винтовой архимедовой поверхности, получаемой затылованием (затылованный профиль), либо по плоскости или по цилиндру (острозаточенный профиль). В первом случае перетачивание производят каждый раз по передней поверхности. При этом обеспечивается сохранность профиля резцов в любом сечении, проходящем через ось. Во втором случае перетачивание осуществляют каждый раз по всему профилю резца, что дает возможность иметь увеличенные задние боковые углы, но несколько усложняет процесс эксплуатации головок.

Эксплуатация зуборезных резцовых головок. Основные параметры зуборезных головок (номинальный диаметр d_0 , развод резцов W и др.) определяются при расчете наладочных установок зуборезных станков для нарезания конических колес с круговыми зубьями.

Зуборезные головки изготавливаются:

по ГОСТ 11903—77* — головки зуборезные цельные нормальной и повышенной степеней точности с номинальными диаметрами от 20 до 80 мм;

по ОСТ2 И45-12—86 и ОСТ2 И45-13—86 — головки зуборезные черновые двух типов: Г — двухсторонние, Т — трехсторонние с номинальными диаметрами от 160 до 500 мм;

по ОСТ2 И45-4—79 и ОСТ2 И45-5—79 — головки зуборезные чистовые нормальной и повышенной степеней точности с номинальными диаметрами от 100 до 500 мм трех типов: Д — двухсторонние, Н — односторонние с наружными резцами, В — односторонние с внутренними резцами.

Зуборезные головки с номинальными диаметрами от 27,94 до 457,2 мм ($\frac{1''}{10} - 18''$) выполняются по чертежам заводов-потребителей.

Зуборезные головки нормальной степени точности рекомендуются применять для нарезания колес 7—8-й степеней точности, а головки повышенной степени точности — для колес 6-й степени точности по стандарту СТ СЭВ 186—75.

Цельные зуборезные головки и резцы к сборным зуборезным головкам в соответствии с ГОСТ 11906—77* изготавливаются из быстрорежущей стали по ГОСТ 19265—73* преимущественно из сталей марок Р6М5 и Р6М5К5. Инструмент из стали Р6М5К5 рекомендуется применять при обработке колес из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов, сталей повышенной твердости и вязкости.

В индивидуальном и мелкосерийном производстве допускается использование чистовых двухсторонних зуборезных головок для чернового нарезания зубьев с припуском под последующую чистовую операцию. Расчетное основное время (подача) $t'_{0.н}$, с, на обработку одного зуба выбирается в зависимости от модуля и материала нарезаемого конического колеса (шестерни), его твердости, характера обработки и определяется как произведение нормативного значения основного времени $t_{0.н}$ на коэффициент k_{v_0} , учитывающий измененные условия работы в зависимости от механической характеристики стали (табл. 13.119 и 13.120):

$$t'_{0.н} = t_{0.н} k_{v_0}.$$

Время $t'_{0.н}$ уточняется по паспорту зуборезного станка и принимается для сталей повышенной твердости ближайшее большее значение, а для сталей пониженной твердости — ближайшее меньшее значение.

Основное время на обработку t_0 (в мин) одного колеса (шестерни) определяется по формуле

$$t_0 = t'_{0.н} zi / 60,$$

где z — число зубьев нарезаемого колеса (шестерни); i — число проходов.

Расчетная скорость резания $v'_н$ (м/мин) есть произведение нормативного значения скорости резания $v_н$ на поправочный коэффициент на скорость резания $K_{v_н}$, учитывающий измененные условия работы в зависимости от механической характеристики стали,

$$v'_н = v_н K_{v_н}.$$

По данной скорости резания находят частоту вращения зуборезной головки (об/мин)

$$n' = \frac{1000 v'_н}{\pi d_0}.$$

Для работы принимают ближайшее значение частоты вращения инструментального шпинделя n по паспорту станка, и тогда фактическая скорость резания будет равна

$$v = \pi d_0 n / 1000,$$

13.119. Режимы резания резцовыми зуборезными головками

Вид обработки	Переда- точное число	Скорость резания v_n , м/мин	Модель станка	Основное время на обработку одного зуба $t_{0.н}$, с									
				1,0	1,5	2 0	2,5	3,5					
Чистовое нарезание колеса и шестерни мето- дом обкатки цельными и сборными до диаметра 125 мм головками	—	50—60	5С23П 5П23А 5С23П 5П23А	Нормальный модуль m_n , мм, до									
				7,0	8,0	10	14	17					
				6,8	8,5	10,8	14,2	17,1					
				8,0	10	14	17	21					
8,5	10,8	14,2	17,1	21,5									
Черновое нарезание колеса двухсторонней головкой без обкатки	—	30—45	5А27С4 5С270П 5С280П	Внешний окружной модуль m_{te} , мм, до									
				3	4	5	6	7	8	10	12	14	16
				14,5	16,4	19,7	22,5	25,7	30,9	36,8	—	—	—
				15	16	18	20	24	30	—	—	—	—
14	15	15	18	22	24	30	40	60	30				
Черновое нарезание колеса двухсторонней головкой с обкаткой	До 2 : 1	35—50	5А27С4	16,4	19,7	22,5	25,7	30,9	44	54	—	—	—
			5С270П	18	22	25	30	32	48	—	—	—	—
			5С280П	18	22	24	30	35	45	55	65	80	90
	Св. 2 : 1		5А27С4	16,4	19,7	25,7	30,9	44	54	69	—	—	—
			5С270П	18	24	30	38	48	60	—	—	—	—
			5С280П	20	22	28	32	38	55	60	70	85	100
Черновое нарезание шестерни двухсторон- ней головкой с обкаткой	—		5А27С4	19,4	25,7	36,8	44	54	69	76,5	—	—	—
			5С270П	24	30	38	48	60	70	—	—	—	—
			5С280П	23	28	35	40	55	65	75	85	95	100

Вид обработки	Переда-точное число	Скорость резания v_n м/мин	Модель станка	Основное время на обработку одного зуба $t_{0. н. с}$									
				1,0	1,5	2,0	2,5	3,5					
Чистовое нарезание колеса двухсторонней головкой с обкаткой	—	50—60	5A27C4 5C270П 5C280П	Внешний окружной модуль m_{te} , мм, до									
				3	4	5	6	7	8	10	12	14	16
				16,4	19,7	22,5	30,9	30,9	36,8	44	—	—	—
				16	20	24	30	32	38	—	—	—	—
Чистовое нарезание колеса односторонней головкой с обкаткой	—		5A27C4 5C270П 5C280П	18	22	24	28	32	35	38	40	50	70
				194	225	257	309	368	36,8	44	—	—	—
				18	20	24	30	35	38	—	—	—	—
				18	20	24	28	32	35	38	40	50	70
Чистовое нарезание шестерни односторонней головкой с обкаткой	До 2 : 1		5A27C4 5C270П 5C280П	194	225	257	309	368	368	44	—	—	—
				18	20	24	28	32	35	38	—	—	—
				18	20	24	28	32	35	38	40	50	70
	Св. 2 : 1			194	225	257	368	368	44	44	—	—	—
		20		24	30	35	38	48	—	—	—	—	
		18		22	28	32	35	40	45	50	70	80	

Примечания: 1. Для других моделей зуборезных станков основное время на обработку одного зуба выбирается ближайшим к нормативному. 2. Режимы резания даны для ведущих шестерен с числом зубьев меньше 12. Для чисел зубьев свыше 12 время обработки одного зуба уменьшить в пределах 10 %.

3. Для ведомых колес при работе черновыми трехсторонними головками скорость резания должна быть увеличена на 20 %, а время обработки зуба уменьшено на 20 %.

4. Основное время на обработку одного зуба приведено для колес 7-й степени точности (ГОСТ 1758—81) для колес 6-й степени точности основное время на обработку одного зуба увеличить на 10—15 %, а для 8-й степени точности соответственно уменьшить на 10—15 %. Нарезание колес 6-й степени точности цельными головками рекомендуется производить за два прохода; на второй проход оставлять не более $0,3h_e$ внешней высоты зуба.

5. Ширина зубчатого колеса, на которую предусмотрены данные режимы резания равна $(5 \div 8) m_n$.

6. При нарезании конических колес применяют СОЖ: масло индустриальное 20А (ГОСТ 20799—75*).

**13.120. Поправочные коэффициенты на скорость резания K_{v_m}
и основное время обработки K_{v_o}
в зависимости от обрабатываемого материала**

Марка стали	Твердость HB	K_{v_M}	K_{v_O}
Конструкционные углеродистые стали:			
35	156—180	1,1	0,9
45	181—229	1,0	1,0
50	230—260	0,8	1,4
Конструкционные легированные стали:			
35X	156—207	1,0	1,0
40X	208—229	0,9	1,2
45X	230—260	0,74	1,4
20X, 18ХГТ 12ХН3А 20ХН3А 12Х2Н4А	156—229	0,9	1,2
25ХГТ, 30ХГТ	156—207	0,8	1,3
20ХГНР 38Х2МЮА 18Х2НЧМА	156—229	0,8	1,5
	230—260	0,6	1,8

Примечания: 1. Поправочный коэффициент на скорость резания $K_{v_{и}}$ в зависимости от материала инструмента:

Марка стали	P6M5	P18	P6M5K5, P9K5	P9M4K8
$K_{v_{и}}$	1,0	1,1	1,2	1,3

2. Поправочный коэффициент на основное время обработки одного зуба K_{o_T} в зависимости от отношения фактической стойкости инструмента T_{Φ} к нормативной T :

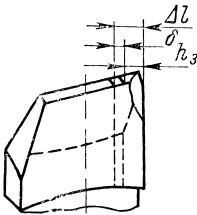
T_{Φ}/T	1,2	1,1	1,0	0,8	0,6
K_{o_T}	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8

где d_0 — номинальный диаметр зуборезной головки. Для односторонних головок вместо d_0 в формулу подставляют образующий наружный (d_{0e}) или внутренний (d_{0i}) диаметры.

В табл. 13.121 приведены нормы износа и стойкости головок. Суммарную стойкость (расчетное время работы в часах) зуборезных головок (комплектов резцов) до полного износа определяют по формуле

$$\sum T = (n_i + 1) T / 60.$$

**13.121. Нормы износа и стойкость зуборезных головок
между двумя переточками**

	Зуборезные головки	Допустимый износ h_3 , мм	Стачивание за одну переточку Δl , мм	Стойкость между двумя переточками T , мин
	Цельные	0,25—0,5	0,35—0,50	400
	Черновые двухсторонние	0,8—1,0	0,9—1,2	500
	Черновые трехсторонние			700
	Чистовые двухсторонние	0,3—0,4	0,4—0,6	500
	Чистовые односторонние			650

Примечания: 1. Поправочные коэффициенты на стойкость в зависимости от прочих факторов приведены ниже

Материал инструмента

Марка стали	P18	P6M5	P6M5K5, P9K5		
$K_{ГМ}$	1,1	1,0	1,2		

Основное время обработки одного зуба в зависимости от отношения фактической стойкости $T_{ф}$ к нормативной $T_{ф}/T$

$T_{ф}/T$	1,2	1,1	1,0	0,8	0,6
K_{OT}	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8

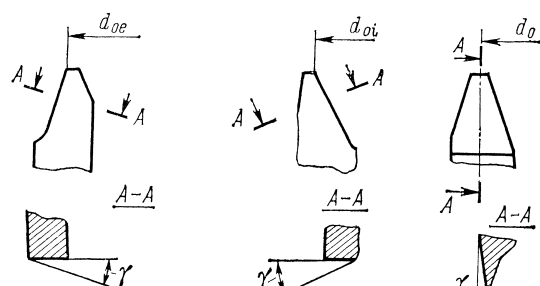
2. Рекомендуемые допуски на заточку:
для цельных головок $\delta = 0,1 \div 0,15$ мм; для резцов сборных головок $\delta = 0,1 \div 0,2$ мм

Здесь T — стойкость между двумя переточками, мин; n_i — число переточек, $n_i = M/\Delta l$, где M — размер допустимого стачивания, равный $0,7L$, мм (L — длина зуба по вершине резца в горизонтальной плоскости, мм; для цельных головок L равна ширине головки резца B); Δl — размер стачивания (мм) за одну переточку, который принимается равным $\Delta l = h_3 + \delta$ (h_3 — допустимый износ по задней поверхности, мм; износ располагается на задних поверхностях по радиусу закругления между вершинной и рабочей боковой режущими кромками и измеряется в плоскости, перпендикулярной к режущей кромке; δ — допуск на заточку; заточка производится по передней поверхности под углом γ).

Расход зуборезных головок (комплектов резцов) на заданную производственную программу (в шт.) можно рассчитать по формуле

$$P_{\Pi} = \frac{\Pi t_0}{\sum T} k_y,$$

13.122. Углы заточки резцов зуборезных головок

 Резец наружныйРезец внутреннийРезец средний		
Режущий инструмент	Вид обработки	Угол заточки
Головки цельные	Чистовая	У наружных и внутренних резцов передний угол γ равен 20° в плоскости, перпендикулярной к рабочей режущей кромке
Головки черновые двухсторонние	Черновая	
Головки черновые трехсторонние		У средних резцов передний угол γ равен 12° в плоскости, перпендикулярной к режущей кромке на вершине
Головки чистовые двухсторонние и односторонние (с наружными и внутренними резцами)	Чистовая	У наружных и внутренних резцов передний угол γ равен 20° в плоскости, перпендикулярной к рабочей режущей кромке
Примечание. Приведенные углы γ рекомендуется применять при обработке стальных зубчатых колес.		

где Π — производственная программа на обработку деталей, шт;
 k_y — коэффициент, учитывающий случайную убыль инструмента, который принимается равным 1,1.

В процессе эксплуатации необходимо уделять особое внимание вопросу затачивания резцов, так как от качества заточки непосредственно зависит точность обработки зубьев и стойкость головок. Затачивание или перетачивание зуборезных головок в сборе осуществляют на специальных заточных станках модели ЗА666, однако вполне допустимо затачивание отдельных резцов на универсальных станках (плоскошлифовальных или заточных) с применением специальных приспособлений. Углы заточки резцов должны быть выдержаны в соответствии с данными табл. 13.122.

Рекомендуемые характеристики шлифовальных кругов при затачивании на станках модели 3А666: 24А, 16—25, СМ1—С1, 8, К5.

При затачивании на универсально-заточных станках применяют круги формы 4К 150×50×32. Предварительная заточка осуществляется кругами характеристик 24А, 40, СМ1—СМ2, 8, К5, окончательная — 63С, 8—10, СМ1, 8, Б5 или ЭЛ10—ЭЛ12, Б1 при 100 %-ной концентрации.

На плоскошлифовальных станках применяют круги формы ПП 250×25×76 с характеристиками при предварительной заточке

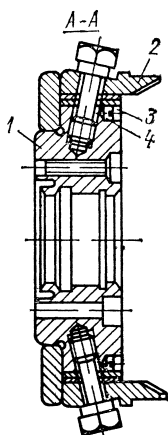
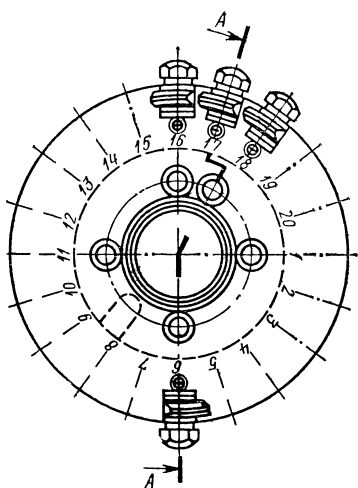


Рис. 13.63. Сборная черновая зуборезная головка с регулируемыми резцами

24А, 40, СМ1—СМ2, 8, К5, а при окончательной—24А, 16—25, СМ1, К5 или ЭЛ8—ЭЛ10, СМ1, К при 100 %-ной концентрации.

Конструкции зуборезных резцовых головок. В производстве конических зубчатых колес с круговыми зубьями находит применение ряд прогрессивных конструкций черновых и чистовых зуборезных головок. Например, черновые резцовые головки фирмы «Глисон» (Gleason, США), получившие название «Рафак», предназначены

для чернового нарезания зубьев по методу обкатки (рис. 13.63). Отличительной особенностью данной конструкции является применение закаленного до 55—57 HRC₂ корпуса 1 головки с точно обработанными посадочными местами и увеличенной высоты для повышения его долговечности и жесткости. Резцы 2 в головке регулируются клиньями 3 и винтами 4, что позволяет осуществлять высокую точность установки режущих кромок относительно оси вращения. Резцовые головки типа Риджак фирмы «Глисон» (рис. 13.64) применяют для чернового (рис. 13.64, исп. 1) и чистового (рис. 13.64, исп. 2) нарезания зубьев. Число резцов в головках данного типа значительно увеличено за счет отсутствия отверстий в резцах и резьбовых отверстий в корпусе головки. Значительно повышена жесткость головки путем увеличения массы корпуса 1 и опорного кольца 2. Корпус 1 головки изготовлен из цементированной стали и закален до твердости 55—57 HRC₂. В черновых головках резцы 3 могут регулироваться в радиальном направлении сменными подклад-

ками с различной толщиной; в чистовых головках резцы 4 имеют тонкую радиальную регулировку.

Чистовые резцовые головки типа Хардак (рис. 13.65) также имеют закаленный до высокой твердости корпус 1 с точно шлифо-

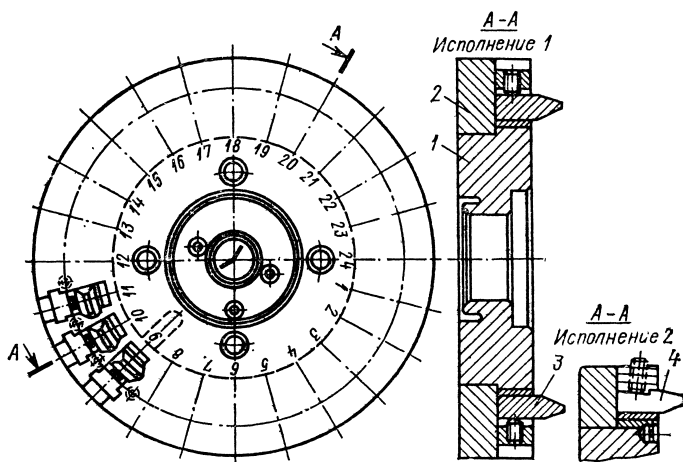


Рис. 13.64. Резцовая головка с различными методами крепления резцов: черновых (исполнение 1) и чистовых (исполнение 2)

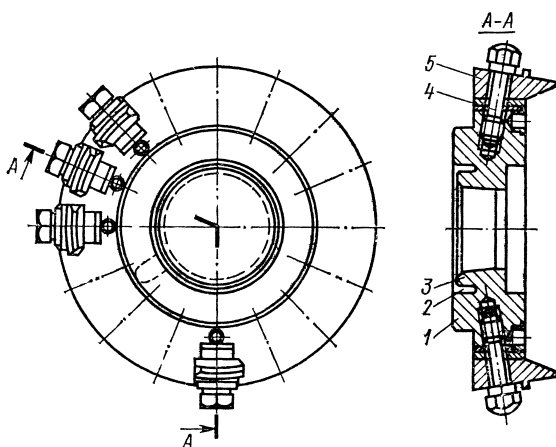


Рис. 13.65. Чистовая резцовая головка

ванными базами, что увеличивает срок службы головки. На корпусе головки выполнена кольцевая канавка 2. Посадочное отверстие и кольцевую канавку разделяет перемычка 3. При установке головки на шпинделе станка перемычка расширяется, уменьшая давление на посадочный корпус станка и увеличивая тем самым срок его службы и точность. Винты 4 для крепления резцов 5 в па-

зах корпуса располагаются под углом 10° к поверхности опорного торца, что облегчает крепление их к опорным базам.

Черновые клиновые резцовые головки «Вейджак» (рис. 13.66) являются наиболее перспективными из-за большого числа резцов

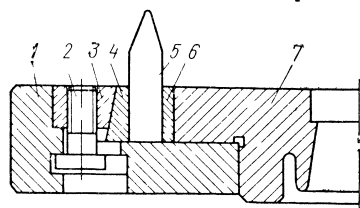


Рис. 13.66. Схема крепления резцов черновой резцовой головки

очень высокой жесткости. Головка имеет корпус 7, кольцо 1 в виде маховика, насаженного на корпус по пресовой посадке. Нерегулируемые резцы 5 закрепляются в пазах головки усилием, возникающим при перемещении конического сухаря 3 относительно клина 4 при затягивании винта 2. При этом методе крепления усилия, возникающие в процессе резания, стремятся удержать резцы

в пазах головки. Подкладки 6 служат для изменения развода. Чистовые резцовые головки — протяжки (рис. 13.67) применяются для нарезания зубьев колес полуобкатных передач методом копирования. Корпус 1 головки закален до высокой твердости. Головки закрепляются на шпинделе станка одним центральным винтом. Резцы 2 имеют не одну, а две опоры на корпус головки. Винты 3 расположены под углом 10° к опорной поверхности корпуса. Головки данного типа имеют восемь резцов (четыре внутренних и четыре наружных) независимо от размера и промежутков между резцами для деления.

Все рассмотренные выше конструкции зуборезных головок снабжены резцами с затылованным профилем зубьев, что упрощает их эксплуатацию ввиду необходимости переточки только по передней поверхности. Однако это несколько ограничивает эксплуатационные возможности головок из-за невозможности получения достаточных задних боковых углов по профилю.

Фирмами «Эрликон» (Oerlikon, Швейцария), «Глисон» изготавливаются резцовые головки с острозаточенными резцами. К преимуществам головок данного типа можно отнести возможность получения оптимальных задних боковых углов за счет вы-

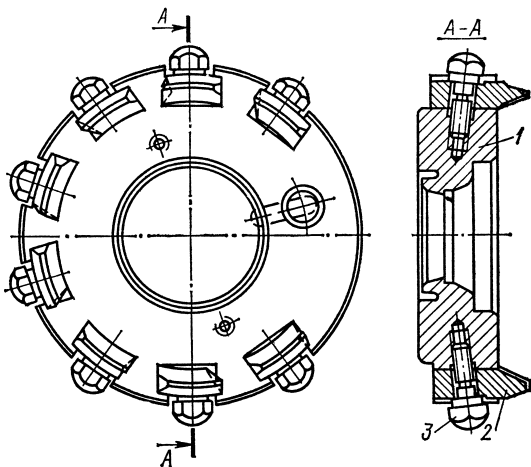


Рис. 13.67. Чистовая резцовая головка-протяжка

полнения зубьев с острозаточенным профилем, перетачивание которых производится каждый раз по всему профилю. Для осуществления процесса затачивания по профилю необходимо специальное заточное оборудование. При этом затачивание резцов производят обычно в технологических приспособлениях, требующих каждый раз разборки — сборки резцовой головки.

Зуборезные головки с острозаточенными резцами фирмы «Эрликон» (рис. 13.68) имеют корпус 1 с пазами под резцы 2. Снаружи на корпус устанавливается по прессовой посадке массивное кольцо 3, закрепляемое дополнительно винтами 4. Резцы в пазах крепятся через прижимную планку 6 двумя винтами 5. Применяемые острозаточенные резцы

изготавливаются из стандартных брусьев прямоугольного сечения, что очень упрощает их получение в условиях любого машиностроительного завода. Для затачивания и перетачивания резцов фирмой создан специальный профильно-шлифовальный станок модели SKB с ЧПУ. К преимуще-

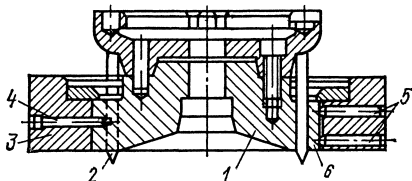


Рис. 13.68. Зуборезная головка с острозаточенными резцами прямоугольного сечения

ствам острозаточенных резцов помимо возможности достижения оптимальных задних углов по профилю следует отнести также значительно большее число допускаемых переточек по сравнению с затылованными резцами. Например, при износе 0,35 мм острозаточенный резец допускает 100—120 переточек, затылованный — только 20—30. На данном станке одновременно затачиваются 13 резцов одного типа: наружных, внутренних или средних. Время заточки комплекта резцов одной головки составляет 30—70 мин.

Фирма «Глисон» также создала новую конструкцию зуборезной головки с острозаточенными резцами типа RSR для нарезания зубьев гипоидных и конических колес (рис. 13.69). Резцовая головка состоит из корпуса 1 и массивного кольца 2. Корпус имеет пазы, в которые устанавливаются наружный 7, средний 6 и внутренний 5 резцы, закрепляемые винтами 4 через вкладыши 3.

Головки данного типа изготавливаются как черновыми, так и чистовыми. Резцы чистовой резцовой головки (наружный 1, средний 2 и внутренний 3) показан на рис. 13.70. Заточка и перетачивание резцов типа RSR производятся также на специальном профильно-шлифовальном станке модели 538 с ЧПУ, созданным фирмой «Глисон».

Для контроля точности сборки резцовой головки применяется специальное приспособление модели 563, с помощью которого обеспечивается установка резцов чистовой головки с радиальным биением режущих кромок не более 0,0025 мм.

При чистовой обработке закаленных до твердости 55—62 HRC, конических зубчатых колес в диапазоне модулей 2,5—16 мм находят применение зуборезные головки с твердосплавными резцами (рис. 13.69). При этом резцы головки изготавливаются по аналогии с червячными фрезами с отрицательным передним углом до 30° , что позволяет

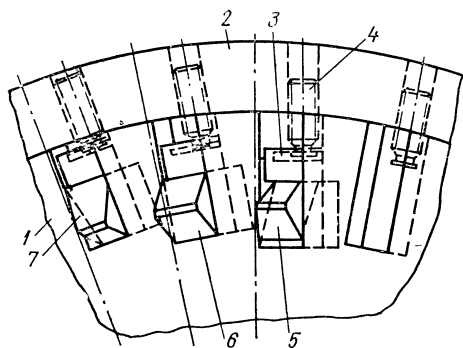


Рис. 13.69. Зуборезная головка с остро-заточенными резцами типа RSR

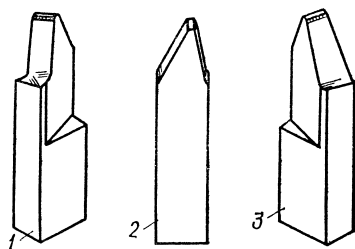


Рис. 13.70. Острозаточенные резцы чистовой головки:
1 — наружный; 2 — средний; 3 — внутренний

достаточно эффективно производить чистовую обработку зубчатого колеса на скоростях резания до 40—50 м/мин, снимая с каждой стороны зуба колеса припуск до 0,2—0,3 мм. Достигаемая при этом шероховатость поверхности составляет $R_z = 1,5 \div 2,0$ мкм.

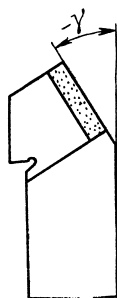


Рис. 13.71. Твердосплавный резец для обработки закаленных конических колес

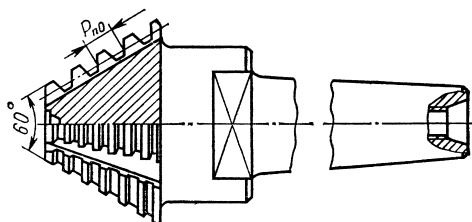


Рис. 13.72. Червячная коническая фреза

Обработка данным методом конических зубчатых колес с круговыми зубьями во многих случаях позволяет заменить очень трудоемкую и сложную операцию зубошлифования, а в некоторых случаях метод является единственно возможным для чистовой обработки закаленных колес.

Червячные конические фрезы. Эти фрезы находят применение для нарезания конических колес паллоидного зацепления с равновысокими круговыми зубьями (рис. 13.72).

В отечественной промышленности метод нарезания коническими червячными фрезами имеет ограниченное использование из-за ряда недостатков.

Червячной конической фрезой определенного модуля можно нарезать коническое колесо того же модуля с любым числом зубьев, в связи с чем метод отличается универсальностью и находит применение в мелкосерийном производстве.

Так как в типаже станков оборудование для работы коническими червячными фрезами не предусмотрено, то инструментальными заводами данные фрезы изготавливаются только для оснащения уже имеющегося парка станков. Полный комплекс зуборезного и технологического оборудования для нарезания и эксплуатации конических червячных фрез изготавливает фирма «Клингельнберг» (*Klingelnberg*, ФРГ).

Ввиду ограниченности применения конических червячных фрез их расчет и особенности конструкции в настоящем справочнике не приводятся. При необходимости наиболее полно расчет данного инструмента представлен в работе [26].

13.8. Инструмент для обработки торцов зубчатых колес

Инструмент для зубозакругления торцов зубьев. В коробках передач современных машин и механизмов имеется большое число различных переключаемых зубчатых колес, которые должны плавно изменять скорость вращения валов. Для обеспечения этого требуется дополнительная обработка торцов зубьев колес в виде срезов или закруглений. В це-

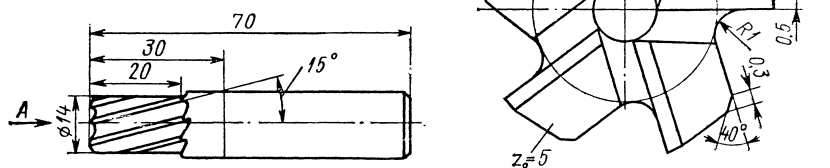


Рис. 13.73. Концевая цилиндрическая фреза

лом же форма торцов зубьев переключаемых колес может быть самой различной и зависит в основном от способа их изготовления. Основными формами торцов зубьев являются заостренная, конусная и бочкообразная, образуемые такими типами инструментов как концевые цилиндрические или чашечные фрезы, пальцевые конусные и радиусные фрезы.

Концевыми цилиндрическими фрезами (рис. 13.73) получают скосы торцов зубьев на станках моделей ЕЗ-76 и ЕЗ-82. По конструкции они не имеют принципиальных отличий от обычных концевых фрез, выпускаемых централизованно инструментальными

заводами. Диаметры рабочей части фрез 12, 14, 16 и 18 мм охватывают весь диапазон применяемых зубчатых колес с модулями 1,5—6 мм.

Конусная и бочкообразная форма торцов зубьев колес внутреннего и наружного зацепления может быть образована с помощью пальцевых фрез, которые в зависимости от назначения бывают конусными и радиусными. Пальцевые конусные фрезы (рис. 13.74) обрабатывают торцы колес под углом скоса 15° . Пальцевые радиусные фрезы имеют профиль, образованный дугой ок-

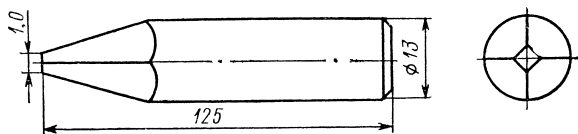


Рис. 13.74. Пальцевая конусная фреза

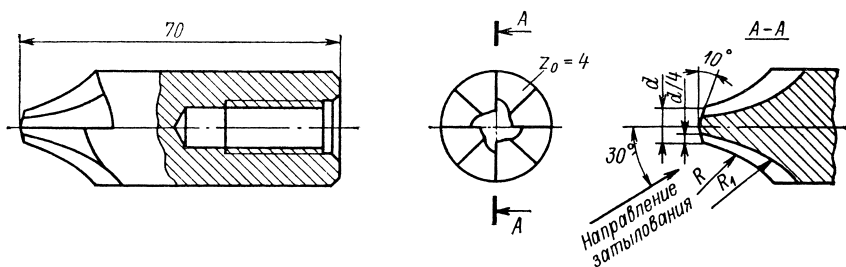


Рис. 13.75. Пальцевая радиусная фреза

ружности некоторого радиуса. Наиболее оптимальной конструкцией являются пальцевые радиусные четырехзубые затылованные фрезы, представленные на рис. 13.75. Они могут применяться для закругления торцов зубьев колес в диапазоне модулей 1,5—6 мм.

Достаточно полно рассмотрены различные методы зубозакругления торцов зубчатых колес и связанные с ними вопросы конструирования инструмента в работе [256].

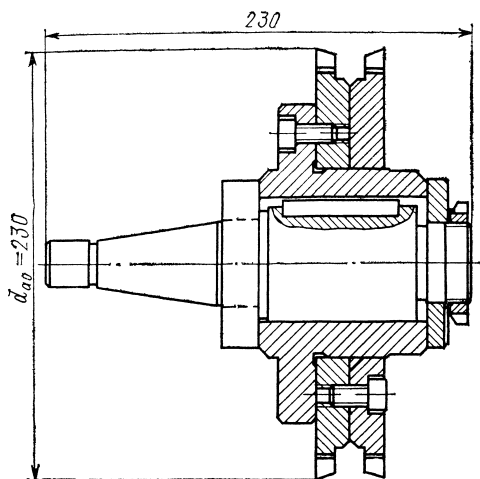
Одним из факторов улучшения качества, повышения долговечности и надежности работы зубчатых колес является образование фаски по контуру их зубьев. Существует большое число различных методов снятия фасок, основные из которых описаны в работах [257]. Ниже будут рассмотрены два наиболее прогрессивных метода и инструмент для образования фасок по профилю зубьев колес.

Инструмент для образования фасок по всему контуру впадин зубьев на торцах зубчатых колес. Для образования фасок резанием по всему контуру профиля зубьев (боковым сторонам, дну и впадине) на торцах прямозубых и косозубых цилиндрических колес применяется специальный инструмент, предназначенный для эксплуатации на станках типа ВС-КЗ. Особенности конструк-

ции инструмента и его эксплуатации, высокая производительность обработки определяют его применение в условиях массового и крупносерийного производства зубчатых колес.

Фаски по всему контуру впадины зубьев на торцах цилиндрических зубчатых колес снимают инструментом, выполненным в виде закаленного зубчатого колеса с зубьями специального профиля (рис. 13.76). Фаски образуются в процессе радиальной подачи инструмента, получающего вращение от детали, с которой он

находится в зацеплении при параллельных осях. Так как зубья инструментального колеса имеют толщину большую,



Размеры и форма образуемой на детали фаски

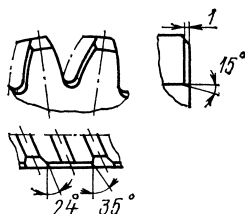


Рис. 13.76. Зубофасочная головка

чем это необходимо для правильного беззазорного зацепления с обрабатываемой деталью, то металл с кромок впадины детали выдавливается зубьями инструмента на торец в виде заусенца, который в дальнейшем срезается специальным резцом, установленным на суппорте станка. Для облегчения срезания заусенцев с торцов детали на боковых поверхностях инструментального колеса образуют различного вида уступы или канавки, в результате чего заусенцы дробятся и частично могут срезаться кромками этих уступов или канавок. Для образования фасок на зубьях колеса-детали с обоих торцов применяют зубофасочную головку, имеющую уже два инструментальных колеса: одно снимает фаску на одном торце, другое—на другом. При наладке зубофасочной головки одно инструментальное колесо поворачивают относительно другого вокруг их общей оси до входа в зацепление с зубьями обоих торцов, после чего закрепляют на общей оправке. Зубофасочные головки являются сугубо специальным инструментом, предназначенным для обработки конкретного колеса. Для расчета и проектирования зубофасочной головки может быть рекомендована специальная инструкция [265].

Инструмент для образования фасок на боковых кромках зубьев колес методом пластической деформации. Указанный метод снятия фаски может быть рекомендован в условиях массового и крупносерийного производства зубчатых колес на станках типа ВС-КЗ. Фаска снимается только на боковых поверхностях и на переходных; по дну впадин зубчатых колес фаски при этом не образуются.

Накатывание (выдавливание) происходит в процессе вращения накатника и обрабатываемой детали. Косозубые колеса обрабатываются прямозубым накатником, при этом угол фаски получается равным углу наклона зуба колеса. Прямозубые колеса обрабатываются накатником

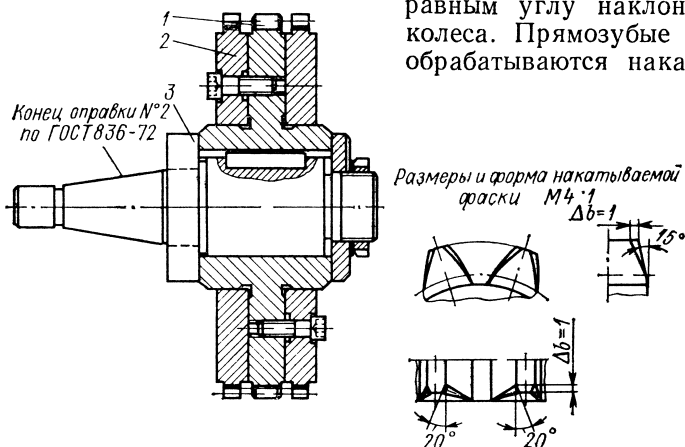


Рис. 13.77. Зубофасочная накатная головка

с наклонными зубьями, при этом угол фаски получается равным углу наклона зуба накатника. Конструкция зубофасочной накатной головки (рис. 13.77) состоит из синхронизатора 1, двух накатников 2, а также деталей крепления синхронизатора и накатников между собой и на оправке 3. При обработке косозубых колес прямозубый накатник образует фаску только на одной, острой, кромке профиля зуба колеса, поэтому зубья накатника на стороне, не участвующей в работе, срезаются таким образом, чтобы не мешать зацеплению рабочей стороны накатника с обрабатываемой стороной зуба колеса. Для накатывания фаски на косозубом колесе применяют два накатника для снятия фасок на правом и левом торцах на острой кромке зуба. Оба накатника при наладке поворачиваются относительно друг друга и относительно синхронизатора вокруг их общей оси таким образом, чтобы их зубья входили в зацепление с зубьями детали по обоим противоположным профилям на разных торцах с радиальным зазором. Размер образующейся фаски определяется размером разводки накатника и радиальным зазором между зубьями накатника и детали. Предельный радиальный зазор устанавливается в зависимости от расчетного межосевого расстояния между накатником и деталью.

При накатывании фаски на прямозубом колесе также применяют два накатника, каждый из которых образует фаску на обеих сторонах профиля зуба на каждом торце. Плотное зацепление зубьев накатника с зубьями детали и требуемый радиальный зазор обеспечиваются при этом размером зуба накатников и их установкой на соответствующее расстояние друг от друга.

При конструировании и расчете зубофасочных накатных головок рекомендуется пользоваться инструкцией [266].

13.9. Технология изготовления зуборезного инструмента

Сложность формы, высокие требования к точности оказывают большое влияние на особенности процесса изготовления зуборезного инструмента. В связи с этим технологический процесс отличается многоступенчатостью, требует применения специального технологического оборудования и измерительных приборов.

Весь технологический процесс изготовления зуборезного инструмента укрупненно можно разбить на следующие четыре основных цикла: 1) заготовительные операции; 2) операции сырой механической обработки, включающие операции по предварительному образованию профиля зубьев; 3) термические операции; 4) чистовые операции обработки шлифованием всех установочных баз и рабочих поверхностей.

Рассмотрим маршрутные технологические процессы изготовления основных типов зуборезного инструмента и наиболее специфичные операции зубообработки.

Технологический процесс изготовления цельных червячных фрез. Маршрут технологического процесса изготовления цельных червячных фрез с $m_0 = 4$ мм класса точности А по ГОСТ 9324—80 представлен в табл. 13.123. Данный технологический процесс может быть выбран в качестве типового при обработке червячных фрез самых различных видов: червячных шлицевых фрез, червячных фрез для колес зацепления Новикова, звездочек цепных передач и т. п., так как единственное отличие при их изготовлении заключается в выполнении операции обработки профиля зубьев до и после термической обработки.

Заготовки червячных фрез диаметром до 50 мм целесообразно отрезать от проката, а свыше 50 мм рекомендуется изготавливать из кованных заготовок [268]. Припуски заготовок фрез по диаметру d и длине l следует устанавливать исходя из табл. 13.124.

Токарная обработка заготовок обычно осуществляется в серийном производстве на многошпиндельных токарных автоматах и полуавтоматах, токарных станках с ЧПУ, а также револьверных станках. Большое внимание необходимо уделять оставляемым припускам на обработку фрез по наружному диаметру, величина которого может быть выбрана по табл. 13.125.

Профиль зубьев червячных фрез свыше модуля 2 мм предварительно обрабатывается обычно на резбифрезерных станках, после

13.123. Маршрут технологического процесса изготовления червячных фрез
(типовой представитель — фреза $m_0 = 4$ мм, класса А
по ГОСТ 9324—80)

Операция	Оборудование
Отрезка заготовки под поковку диаметром 90 и длиной 82 мм	Абразивно-отрезной станок
Ковка заготовки диаметром 132 и длиной 130 мм	Молот пневматический
Предварительная термическая обработка поковок	—
Токарная обработка:	Многошпиндельный токарный станок
подрезка первого торца начисто	
сверление отверстия диаметром 25 на длину 130 мм	
рассверливание отверстия до диаметра 38 мм	
расточка отверстия до диаметра 46 мм, снятие фаски в отверстии $3 \times 45^\circ$	
обтачивание буртика диаметром 80,5 на длине 5,5 мм	
обтачивание по наружному диаметру до диаметра 128 мм	
подрезание второго торца до длины 126,5 мм	
расточка выточки в отверстии диаметром 53 на длину 40 мм	
снятие фаски в отверстии $3 \times 45^\circ$	
обтачивание второго буртика диаметром $80,5_{-0,5}$ на длине 5,5 мм	
снятие фаски $1 \times 45^\circ$ на обоих торцах	
подрезание второго торца до длины 125,3 мм	
обтачивание окончательное по наружному диаметру 126 на длине 115 мм	
растачивание отверстия диаметром $49,6_{-0,2}$ мм	
Протягивание шпоночного паза	Горизонтально-протяжный станок
Слесарная обработка: зачистка заусенцев вдоль паза и снятие фаски по торцу паза	Верстак
Фрезерование резьбы	Резьбофрезерный станок
Фрезерование стружечных канавок	Горизонтально-фрезерный станок
Затылование зубьев по всему профилю	Токарно-затыловочный полуавтомат
Снятие неполных витков	Горизонтально-фрезерный станок
Маркирование	—
Термообработка	—
Шлифование отверстия диаметром 50 мм и первого торца	Внутришлифовальный станок
Шлифование второго торца	Плоскошлифовальный станок
Шлифование буртиков	Круглошлифовальный станок
Затачивание по передней поверхности	Полуавтомат для заточки червячных фрез

Операция	Оборудование
Шлифование-затылование зубьев по профилю: шлифование левого профиля шлифование правого профиля шлифование зубьев по вершинам Окончательный 100 %-ый контроль по 1 или 2 группам проверок (ГОСТ 9324—80Е)	Шлифовально-затыловочный станок Прибор для комплексной проверки червячных фрез

13.124. Припуски по диаметру и длине заготовок
цельных червячных фрез, мм

Диаметр поковки	Длина поковки					
	д < 100		100—150		150—200	
	d	l	d	l	d	l
До 75	4 ⁺²	5±1	5 ⁺²	6±1	6 ⁺²	7±1,5
75—100	5 ^{+2,5}	5±1	6 ^{+2,5}	6±1	7 ^{+2,5}	7±1,5
100—150	7 ⁺³	6±1	7 ⁺³	7±1,5	9 ⁺³	8±1,5
150—200	7 ^{+3,5}	7±1,5	9 ^{+3,5}	8±1,5	10 ^{+3,5}	9±2

13.125. Припуски на обработку червячных фрез
по наружному диаметру, мм

Диаметр фрезы	Суммарный припуск на чистовую обточку, затылование, шлифование и допуск на обдирку	Суммарный припуск на затылование, шлифование и допуск на чистовую обточку	Припуск на шлифование и допуск на затылование
До 50	2,3 ^{-0,3}	1,0 ^{-0,2}	0,7 ^{-0,3}
Св. 50 до 80	2,5 ^{-0,5}	1,1 ^{-0,3}	0,7 ^{-0,3}
» 80 » 120	3,0 ^{-0,5}	1,3 ^{-0,3}	0,8 ^{-0,4}
» 120 » 180	3,5 ^{-0,5}	1,6 ^{-0,4}	1,0 ^{-0,5}
» 180	4,0 ^{-0,5}	1,8 ^{-0,4}	1,2 ^{-0,6}

чего он подвергается предварительному сырому затылованию. Для фрезерования профиля применяются дисковые двухугловые фрезы, при этом припуски на толщину зуба после фрезерования профиля червячных фрез могут быть взяты из табл. 13.126. Припуск после фрезерования на затылование многозаходных червячных фрез должен быть увеличен на 0,1—0,5 мм. В связи с этим

13.126. Припуск на толщину зуба после зубофрезерования под последующее затылование, мм

m_0	ΔS_1	Δh
2,0—4,0	0,3 _{-0,1}	0,3 _{-0,1}
4,25—6,0	0,5 _{-0,15}	0,5 _{-0,15}
Св. 6	0,6 _{-0,15}	0,7 _{-0,15}

13.127. Припуски на шлифование — затылование профиля, мм

m_0	Угол профиля фрезы α_0 , °		
	до 15°	св. 15° до 25°	св. 25°
До 2	0,25	0,15	0,05
Св. 2 до 4	0,35	0,25	0,15
» 4 » 6	0,4	0,3	0,2
» 6 » 10	0,45	0,35	0,25

размеры профиля зубьев дисковой фрезы для фрезерования могут быть определены из выражений:

$$S_\phi = P_{\phi 0} - (S_{\phi 0} + \Delta S_1); \quad h_\phi = (h_0 + \Delta h) - h_{\phi 0}.$$

Фрезерование стружечных канавок осуществляется на универсально-фрезерных станках, при этом канавки с углом наклона γ_{m_0} до 10° фрезеруются одно- или двухугловыми дисковыми фрезами с прямолинейным профилем, с γ_{m_0} более 10° — дисковыми фрезами с криволинейным профилем.

Сырое затылование зубьев является одной из наиболее специфичных операций изготовления червячных фрез и производится на токарно-затыловочных станках при специальной их настройке. Операция затылования может состоять из ряда переходов: сначала затылуются вершины зубьев, затем последовательно правая и левая стороны. В серийном производстве для повышения производительности операции затылования фрез модулей 3—10 мм используют специальные комбинированные затыловочные резцы, обрабатывающие одновременно весь профиль зуба, а для затылования фрез модулей 0,5—2,0 мм с прямыми канавками могут применяться затыловочные резцы-гребенки с 5—7 зубьями, соответствующими профилю фрезы.

Для обеспечения возможности выхода шлифовального круга при последующем чистовом затыловании нерабочую заднюю часть зуба необходимо затыловать с увеличенными задними углами, для чего вначале профиль затылуется с величиной K , а затем его нерабочая часть — с $K_1 = 1,5K$. При затыловании скорость резания составляет 1—6 м/мин, а при чистовом затыловании она еще меньше.

Припуски после сырого затылования однозаходных червячных фрез под последующее шлифование — затылование по толщине зуба могут быть взяты по табл. 13.127. Для двухзаходных червячных фрез припуски увеличиваются на 0,1 мм, а при числе заходов 3 и более — на 0,2 мм.

Контроль профиля зубьев червячных фрез при затыловании производится шаблонами, спроектированными по нормальному или осевому сечению фрезы.

После термической обработки в первую очередь производится чистовая обработка установочных баз червячной фрезы — посадочного отверстия и торцов. Посадочное отверстие шлифуют на внутришлифовальных станках шлифовальными кругами характеристики 24А, 25—40, СМ1—СМ2. Диаметр круга выбирается равным $(0,7 \div 0,9) d$, где d — диаметр посадочного отверстия. Ширина круга принимается равной $(1,0 \div 2,0) d$. Заточка червячных фрез обычно производится на специальных полуавтоматах моделей 3А660А (диаметром до 65 мм), 3А662, 3А663 и 3663П. Из импортного оборудования могут быть рекомендованы заточные станки моделей А60/0 и А62 фирмы «Микрон» (*Mikron*, Швейцария) для заточки червячных фрез модулей менее 2,0 классов точности АА и ААА; станки моделей AGW-281, AGW-422 и SNC-30 фирмы «Клингельнберг» (ФРГ) для заточки червячных фрез в диапазоне модулей 1—30 мм классов АА и ААА, а также станки модели ASA-305В фирмы «Капп» (*Kapp*, ФРГ) для заточки червячных фрез модулей 1—20 мм классов точности АА и ААА. Затачивание червячных фрез с винтовой стружечной канавкой производится конической стороной шлифовального круга типа 4П с углом профиля более 15° или кругами тарельчатой формы. Затачивание фрез с большими углами наклона стружечной канавки ($\gamma_{m_0} > 6^\circ$) необходимо производить шлифовальными кругами небольших диаметров с фасонно заправленной с помощью специального приспособления образующей профиля для уменьшения органических ошибок и получения требуемой стандартами формы передней поверхности.

Шлифование — затылование профиля является наиболее ответственной операцией всего технологического процесса, от выполнения которой зависит в основном конечная точность червячной фрезы. Операция выполняется на шлифовально-затыловочных станках моделей 5882В (при $m_0 < 1$ мм) и МВ-107А (при $m_0 = 1 \div 12$ мм), HSF-33В фирмы «Клингельнберг» (при $m = 0,5 \div 25$ мм) или токарно-затыловочных станках, оснащенных шлифовальными суппортами, моделей 5884 (при $m \leq 10$ мм), UHDA-20 (при $m = 1 \div 20$ мм) и UHD-4 (при $m = 10 \div 40$ мм) фирмы «Рейнекер» (*Reineker*, ФРГ). Обработку профиля зубьев начинают со шлифования по наружному диаметру кругом прямого профиля, затем последовательно шлифуют конической поверхностью круга правую и левую стороны, после чего шлифуют радиус при вершине зуба с одной и другой стороны.

С увеличением модуля и угла подъема витков при шлифовании профиля конической поверхностью дисковых кругов появляется непрямолинейность профиля. Для устранения этой погрешности дисковые круги заправляют по выпуклой кривой с помощью специальных приспособлений [268]. Для уменьшения данных по-

грешностей применяют шлифование чашечными и пальцевыми кругами.

В практике шлифования профиля червячных фрез с прямолинейным и особенно фасонным профилем (фрезы для звездочек, колес зацепления Новикова и др.) находят широкое применение профильные шлифовальные круги, заправленные накатными роликами. Предварительно накатный ролик профилируется тем же резцом, которым затылуется фреза, после чего роликом накатывают шлифовальный круг при горизонтальной установке шлифовального шпинделя. Затем поворачивают шпиндель на угол подъема витков фрезы и шлифуют профиль. По результатам контроля первой обработанной фрезы профиль ролика соответственно корректируют.

Для шлифования профиля зубьев фрез используют круги из белого электрокорунда или монокорунда на керамической связке. Твердость кругов выбирается в пределах МЗ—СМ1, зернистость — 10—25. В последнее время для чистового шлифования профиля широкое применение находят круги из эльбора с двухсторонним коническим профилем типа Л2П (ГОСТ 17123—79*Е) на керамической связке зернистостью Л8—Л12, твердостью МЗ—СМ1. Шлифование профиля производится обычно при скоростях изделия 2,5—4,5 м/мин и радиальной подаче 0,05—0,06 мм при предварительной обработке и 0,015—0,02 мм—при чистовой обработке.

По окончании обработки обязателен контроль червячных фрез на приборах для комплексной проверки моделей WMG-II народного предприятия «К. Цейс» (*K. Zeiss*, ГДР), PWF-300 фирмы «Клингельберг», 310 или 420 фирмы «Фетте» (*Fette*, ФРГ), SU-130 фирмы «Сампутенсили» (*Samputensili*, Италия). Применение данных приборов обязательно при контроле червячных фрез классов точности ААА и АА по 1-й или 2-й группам (ГОСТ 9324—80Е).

Находят применение также цельные твердосплавные червячные фрезы модулей менее 1,0 мм, сборные червячные фрезы с поворотными рейками. Некоторые особенности технологии их изготовления приведены в [268].

Технологический процесс изготовления зуборезных долбяков. Зуборезные долбяки по конструктивному исполнению подразделяются на дисковые, хвостовые и чашечные, что предопределяет некоторые особенности их изготовления. В качестве примера в табл. 13.128 приведен маршрут технологического процесса изготовления дискового прямозубового долбяка с $m_0 = 4$ мм, а в табл. 13.129 — маршрут технологического процесса изготовления хвостового долбяка с $m = 3$ мм. При токарной обработке могут быть рекомендованы универсальные токарные станки или токарные станки с ЧПУ.

Наиболее ответственной операцией является обработка диаметра посадочного отверстия. Поэтому в табл. 13.130 приводятся диаметры отверстий долбяков после выполнения ряда технологических операций обработки.

**13.128. Маршрут технологического процесса изготовления
дискового прямозубого долбяка с $m_n = 4$ мм**

Операция	Оборудование
Отрезка заготовки под штамповку	Станок абразивно-отрезной
Нагрев заготовки под штамповку	—
Штамповка заготовки	—
Охлаждение в сборнике	—
Отжиг	—
Зенкерование отверстия	Сверлильный станок
Обтачивание по наружному диаметру	Токарный станок
Токарная обработка: подрезание торца в размер растачивание выточки протачивание торца выточки в размер протачивание канавки растачивание отверстия развертывание отверстия снятие фаски в отверстии	Токарный станок с ЧПУ
Шлифование опорного торца предварительное	Шлифовальный станок с круглым столом
Снятие фаски со стороны опорного торца	Токарный станок
Токарная обработка чистовая: протачивание задней поверхности протачивание угловых скосов растачивание кольцевой выточки протачивание передней грани	Токарный станок с ЧПУ
Фрезерование зубьев	Зубофрезерный станок
Термообработка	—
Шлифование ленточки	Плоскошлифовальный станок
Шлифование опорного торца	Плоскошлифовальный станок
Доводка опорного торца	Доводочный станок
Шлифование посадочного отверстия	Внутришлифовальный станок
Доводка отверстия	Хонинговальный станок
Шлифование внутренней опорной поверхности	Внутришлифовальный станок
Предварительное шлифование передней поверхности	Станок для заточки долбяков
Шлифование профиля зубьев	Зубошлифовальный станок
Шлифование по наружному диаметру	Круглошлифовальный станок
Затачивание передней поверхности окончательное	Станок для заточки долбяков
Окончательный 100 %-ный контроль	Специальные зубоизмерительные приборы

**13.129. Маршрут технологического процесса изготовления
хвостового долбяка с $m_0 = 3$ мм**

Операция	Оборудование
Отрезка заготовки рабочей части под сварку	Абразивно-отрезной станок
Рубка заготовки хвостовой части под сварку	—
Протачивание конца у заготовки рабочей части под сварку	Токарный станок
Сварка	Сварочный аппарат на 150 кВт
Правка после сварки	Пресс гидравлический
Отжиг после сварки	Шахтная печь
Снятие сварного шва	Токарный полуавтомат
Подрезание торца со стороны хвостовой части	Токарно-операционный станок
Обработка центровых отверстий	Центровочный станок
Токарная чистовая обработка по всему профилю	Токарный станок с ЧПУ
Фрезерование зубьев	Зубофрезерный станок
Термообработка	—
Зачистка центров	Сверлильный станок
Шлифование шейки	Круглошлифовальный станок
Клеймение порядкового номера	—
Шлифование конуса хвостовика	Круглошлифовальный станок
Затачивание передней грани предварительное	Станок для заточки долбяков
Шлифование профиля зуба: предварительное	Зубошлифовальный станок
окончательное	—
Маркирование	Круглошлифовальный станок
Шлифование наружного диаметра	Станок для заточки долбяков
Чистовое шлифование передней грани	Специальные зубоизмерительные приборы
Окончательный 100 %-ный контроль, упаковка	

Фрезерование зубьев долбяков обычно выполняется специальными червячными фрезами на модернизированных зубофрезерных станках. Для получения задних боковых углов по профилю зубьев фреза должна перемещаться под углом α_b к оси долбяка, что достигается за счет суммирования вертикальной подачи фрезы и радиальной подачи заготовки. Припуски на толщину зуба долбяка после фрезерования могут быть взяты из табл. 13.131. При отсутствии зубофрезерного станка зубья долбяков могут быть обработаны методом копирования на горизонтально-фрезерном станке с универсальной делительной головкой.

После термической обработки производится в первую очередь обработка базовых поверхностей: внешнего опорного торца и от-

верстия. При шлифовании отверстия долбяк крепится прихватами к планшайбе либо устанавливается в магнитном патроне. Для шлифования отверстия применяют круги характеристик 24А, 40—25, СМ1—СМ2, К либо круги из эльбора Л6—Л10, СМ1, К. Для обеспечения требуемой шероховатости и точности отверстие должно подвергаться доводке или хонингованию.

Шлифование профиля является наиболее ответственной операцией механической обработки и выполняется только на специальных зубошлифовальных станках моделей ЕЗ-88 и 5В833 (долбяки с $m_0 = 0,3 \div 2,5$ мм), МШ-232, 5892, 5892А, 5893 (с $m_0 = 1 \div 12$ мм). При шлифовании профиля долбяков модуля более 1 мм используют круги формы ЗП диаметром 250—450 мм следующей характеристики: 25А (24А), 16 (25—40), М2—М3, 8 (7), К5 по ГОСТ 2424—83. Круги зернистостью 16 следует применять при обработке долбяков с $m_0 = 1 \div 3$ мм, круги зернистостью 25 — для долбяков с $m_0 > 3$ мм.

Режимы шлифования: $v = 25\text{—}30$ м/с, число двойных ходов в минуту 18—30, подача — 0,02—0,03 мм с последующим выхаживанием без подачи за 3—7 оборотов долбяка.

При шлифовании мелко-модульных долбяков червячными абразивными кругами на станках моделей ЕЗ-88, 5В833 используют круги ПП 400×80×203 характеристик 25А (24А), 3—8, С1—СМ2, К5. Правка червячных абразивных кругов для долбяков с $m_0 > 1$ мм выполняется алмазными резцами (ГОСТ 17368—79*Е), а для долбяков с $m_0 < 1$ мм — многоконтактными стальными роликами с кольцевой нарезкой. Накатной ролик для чистовой правки используется только один раз.

Существует несколько методов шлифования долбяков с модифицированным профилем зубьев [268]. Шлифование профиля с утолщением ножки зуба целесообразно производить методом полного огибания фасонно заправленным кругом. Несколько из-

13.130. Размеры диаметров посадочных отверстий долбяков после технологических операций, мм

Диаметр отверстия	Операция механической обработки		
	сверление	расточивание	шлифование
16	14,5 ^{+0,2}	15,7 ^{+0,04}	15,985 ^{+0,01}
20	17,5 ^{+0,3}	19,57 ^{+0,04}	19,985 ^{+0,01}
31,743	28 ^{+0,3}	31,31 ^{+0,04}	31,723 ^{+0,015}
44,443	41 ^{+0,3}	44,05 ^{+0,05}	44,423 ^{+0,015}
76,2	73 ^{+0,4}	75,7 ^{+0,05}	76,175 ^{+0,02}
88,9	85 ^{+0,4}	88,35 ^{+0,5}	88,875 ^{+0,02}
101,6	98 ^{+0,5}	101 ^{+0,1}	101,575 ^{+0,02}

13.131. Припуски на толщину зуба долбяков после зубофрезерования, мм

m_0	Делительный диаметр	
	менее 100	более 100
От 0,8 до 2,5	0,5—1,1	0,6—0,1
Св. 2,5 » 4,0	0,7—0,1	0,8—0,1
» 4,0 » 8	0,8—0,1	1,0—0,1
» 8 » 12	1,0—0,1	1,2—0,1

**13.132. Маршрут технологического процесса изготовления
дисковых шеверов с $m_0 = 4$ мм, $d_0 = 180$ мм**

Операция	Оборудование
Отрезка заготовки диаметром 95 мм и длиной 102 мм	Отрезной станок
Ковка заготовки	—
Изотермический отжиг	—
Травление	—
Токарная обработка с двух сторон	Токарный станок с ЧПУ
Шлифование первого торца ступицы и отверстия предварительное	Внутришлифовальный станок
Окончательная обточка по наружному диаметру	Токарно-винторезный станок
Протягивание шпоночного паза	Горизонтально-протяжной станок
Снятие фасок на торцах шпоночного паза и зачистка заусенцев	Верстак
Фрезерование зубьев	Зубофрезерный станок
Клеймение	Слесарные инструменты
Сверление отверстий для выхода гребенки	Специальный полуавтомат для сверления отверстий
Прорезка перемычки	То же
Предварительное шлифование профиля зубьев	Зубошлифовальный станок
Долбление стружечных канавок на зубьях	Специальный станок для автоматического долбления канавок
Термическая обработка	—
Шлифование первого торца ступицы	Плоскошлифовальный станок
Доводка первого торца ступицы	Доводочная плита
Шлифование отверстия	Внутришлифовальный станок
Шлифование второго торца ступицы	Плоскошлифовальный станок
Доводка второго торца ступицы и размагничивание	Доводочная плита
Шлифование по наружному диаметру предварительное	Круглошлифовальный станок
Шлифование профиля зубьев	Зубошлифовальный станок модели ЗА892С
Шлифование двух торцов зубчатого венца	Плоскошлифовальный станок модели ЗБ740
Окончательное шлифование по наружному диаметру	Круглошлифовальный станок модели ЗУ131
Клеймение	—
Окончательный 100 %-ный контроль	Специальные зубоизмерительные приборы

меняя угол заправки круга, можно получить необходимые размеры утолщения. Для фасонной заправки круга на станках моделей МШ-232, 5892, 5893 предусмотрено специальное приспособление. Шлифование профиля долбяков с утолщением по головке выполняется также методом полного огибания фасонно заправленным кругом. Контроль профиля зубьев долбяков осуществляется обычно на эвольвентомерах моделей БВ-5057 (при $m_0 < 1$ мм), VG-450 народного предприятия К. Цейсс, РНС-40 фирмы Клингельнберг. Шлифование передней конической поверхности зубьев может выполняться на круглошлифовальных станках, плоскошлифовальных станках с круглым столом или специальных станках модели 3673. Контроль переднего угла производится с помощью шаблонов и специальных приборов.

Заточка косозубых долбяков выполняется на специальных станках модели ВЗ-112 или универсально-заточных станках с применением специальных приспособлений.

Технологический процесс изготовления дисковых шеверов. Для нарезания цилиндрических зубчатых колес предназначены дисковые шеверы, которые изготавливают со сквозными (при $m_0 = 0,2 \div 1,75$ мм) и глухими (при $m_0 > 1,75$ мм) стружечными канавками.

Маршрут технологического процесса изготовления дисковых шеверов с глухими стружечными канавками представлен в табл. 13.132.

Дисковые шеверы обычно выполняют из кованных заготовок. Заготовка на токарную обработку подается с прошитым при ковке отверстием диаметром 57 мм. При токарной обработке отверстие растачивается в размер $63^{+0,05}$ мм, по ширине торцов оставляется припуск 0,5 мм, по диаметру вершин припуск должен быть не менее 1,1 и 1,3 мм для номинальных диаметров шеверов 180 и 250 мм соответственно.

Профиль шеверов обрабатывается на зубофрезерных станках червячными фрезами, имеющими укороченную по сравнению со стандартными фрезами головку зуба h_{a0} :

$$h_{a0} = \frac{d_0 - (d_1 + d_2 + 1)}{2},$$

где d_0 — делительный диаметр шевера; d_1 — диаметр окружности центров технологических отверстий; d_2 — диаметр технологических отверстий.

Припуск на толщину зуба после зубофрезерования ΔS и предварительного зубошлифования ΔS_1 профиля может быть выбран по табл. 13.133.

Технологические отверстия для выхода гребенки сверлятся на универсальных станках с применением кондуктора либо на специальных полуавтоматах. После сверления между отверстием и дном впадины зуба остается перемычка, которая разрезается шлифовальными кругами характеристик 14А, 25—40, СТ, В.

Режущие кромки у шеверов при $m_0 > 1,75$ мм образуются путем долбления гребенками стружечных канавок на боковых поверхностях зубьев на специальных станках. Сквозные стружечные канавки у шеверов при $m_0 = 0,2 \div 1,75$ мм обрабатываются путем прорезки на резьбошлифовальных станках односторонними кругами 2П 450×10×229 характеристик 24А, 5П, Т2, В1.

После термической обработки у шеверов шлифуются торцы на плоскошлифовальных станках кругами характеристик 24А, 40—

13.133. Припуски на толщину зуба шевера после зубофрезерования ΔS и предварительного зубошлифования ΔS_1 , мм

m_0	ΔS при d_0 , мм		ΔS_1
	180	250	
1—2	0,7	0,8	0,35
2,25—4,0	0,8	0,9	0,4
4,25—8,0	0,9	1,0	0,4

25, СМ1—СМ2, К. При шлифовании отверстия шевера крепится в магнитном патроне с отверстием для выхода шлифовального круга или прихватами на планшайбе внутришлифовального станка. После шлифования отверстия оставляется припуск от 0,005 до 0,02 мм на последующую доводку.

Шлифование по наружному диаметру производится перед шлифованием профиля и после него. Предварительное шлифование выполняется в целях создания базы для шлифования толщины зуба в процессе окончательной его обработки кругами прямого профиля характеристик 24А, 25—16, СМ2, К6.

Шлифование профиля зубьев шеверов выполняется на зубошлифовальных станках моделей 5892С, 5893, МШ-232 (СССР), моделей SRS-400 и SRS-401 фирмы «Карл Хурт» (К. Hurt, ФРГ) плоской торцовой поверхностью шлифовального круга или на станках модели 5В833 абразивным червячным кругом. В последнем случае станки применяются для обработки шеверов в диапазоне модулей 0,3—4,0 мм. Шеверы с $m_0 = 0,2 \div 0,9$ мм обычно шлифуют без предварительной нарезки профиля до термообработки. На операции шлифования профиля применяются те же абразивные круги и режимы резания, что и для шлифования долбяков.

Толщина зубьев шеверов в нормальном сечении проверяется тангенциальными зубомерами и скобами; радиальное биение при установке в центрах — индикатором. Для контроля профиля применяют эвольвентомеры. Неравномерность окружного шага может контролироваться на специальных автоматических приборах или на простейших индикаторных приборах с жестким упором.

Следует помнить, что требования к точности изготовления шеверов, особенно классов АА и А, очень высокие (ГОСТ 8570—80*Е), поэтому необходимо для их контроля применять высокоточные специальные измерительные приборы.

Технологический процесс изготовления зубострогальных резцов для конических колес. Маршрут технологического про-

**13.134. Маршрут технологического процесса изготовления
зубострогальных резцов**

Операция	Оборудование
Отрезка заготовки из проката	Отрезной станок
Шлифование поверхностей предварительное:	
широких	Плоскошлифовальный станок
узких	То же
Фрезерование торцов	Горизонтально-фрезерный станок
Маркирование базового торца	Слесарный верстак
Сверление отверстий	Вертикально-сверлильный станок
Фрезерование поверхности под углом 73°	Горизонтально-фрезерный станок
Фрезерование поверхности профиля:	
нерабочей стороны	Горизонтально-фрезерный станок
рабочей стороны	То же
Фрезерование передней поверхности	«
Зенкование отверстий	Вертикально-сверлильный станок
Нарезание резьбы в отверстиях	Вертикально-сверлильный станок
Чистка	—
Термическая обработка, 63—66 HRC ₂	—
Шлифование вершины предварительное	Плоскошлифовальный станок с прямоугольным столом
Шлифование широкой поверхности, поверхности под углом 73° и основания окончательное	Плоскошлифовальный станок с прямоугольным столом
Шлифование поверхности профиля рабочей стороны	То же
Шлифование поверхности вершины и профиля нерабочей стороны окончательное	Плоскошлифовальный станок с прямоугольным столом
Шлифование радиусов по профилю	То же
Снятие фасок в отверстиях и калибрование резьбы	Настольный вертикально-сверлильный станок
Затачивание предварительное и окончательное передней поверхности	Универсально-заточный станок
Окончательный 100 %-ный контроль	Специальные зубоизмерительные приборы

цесса по изготовлению зубострогальных резцов представлен в табл. 13.134. Зубострогальные резцы изготавливаются из полосовой горячекатаной стали. Отрезка производится на фрезерных или абразивно-отрезных станках.

Предварительное шлифование узких и широких сторон резцов должно обеспечить их перпендикулярность в пределах 0,05 мм. Торцы резцов фрезеруются для получения окончательного размера по длине с допускаемой перпендикулярностью к широким

и узким плоскостям не более 0,1 мм. Для фрезерования рабочих и нерабочих поверхностей используют горизонтально-фрезерные станки и специальные многоместные приспособления с быстродействующими зажимами. Резьбу в крепежных отверстиях нарезают машинными метчиками с уменьшенным средним диаметром резьбы на 0,03—0,04 мм по сравнению со стандартными метчиками для компенсации изменения размеров резьбы после термообработки.

Шлифование резцов после термообработки производится на плоскошлифовальных станках с магнитной плитой. При шлифовании вершины резцы устанавливаются основанием непосредственно на магнитную плиту, а при обработке других поверхностей применяются специальные магнитные призмы, располагаемые на магнитной плите станка, которые обеспечивают горизонтальное положение шлифуемых поверхностей. Окончательное шлифование рабочей стороны профиля следует рекомендовать выполнять кругами из эльбора характеристик Л5—6, СМ2, К 100 %-ной концентрации или карбида кремния зеленого 63С, 6—8, М2, Б.

Технологический процесс изготовления сборных зуборезных головок для конических колес с круговыми зубьями. Зуборезные головки относятся к наиболее сложному в изготовлении инструменту. Сборная конструкция головок предъявляет высокие требования к точности всех ее составных элементов, поэтому технологический процесс изготовления головок должен состоять из операций с использованием наиболее точного и совершенного специального оборудования, оснастки и измерительных средств.

Наиболее ответственной деталью головок являются резцы, в связи с чем подробно будет рассмотрена типовая технология их изготовления (табл. 13.135). Резцы к зуборезным головкам выполняют из полосовой горячекатаной стали или путемковки. Для экономии быстрорежущей стали заготовка отрезается сразу на два резца, после чего разрезается под задним углом α_v , образуя единичные заготовки резцов. Дальнейшую предварительную обработку плоскостей широких и узких скосов и канавок производят на шлифовальных и фрезерных станках. Например, предварительное шлифование узких плоскостей осуществляют после обработки широких плоскостей, закрепляя струбциной несколько заготовок на магнитной плите, что обеспечивает лучшую перпендикулярность широких сторон к узким. Припуски на последующую обработку по широким поверхностям 0,5 мм, по узким — 1,0 мм.

Фрезерование торцов, скосов, крепежной части резцов выполняют на горизонтально-фрезерных станках в тисках с применением специальных прокладок и губок. Прорезку канавок в углах заплечиков производят вулканизовыми кругами характеристик 14А, 50, СТ, В (ГОСТ 21963—82) на универсально-заточных станках. Отверстие в резцах сверлится с применением кондуктора.

Обработка профиля резцов может осуществляться различными методами: фрезерованием концевыми фрезами на модернизированных станках модели 5974 с заменой шлифовальной бабки

**13.135. Маршрут технологического процесса изготовления резцов
сборных зуборезных головок**

Операция	Оборудование
Отрезка заготовки для двух резцов из пол- лосы	Абразивно-отрезной станок
Шлифование предварительное плоскостей с двух сторон:	
широких	Плоскошлифовальный станок
узких	То же
Разрезка заготовки на две части под уг- лом 15°	Горизонтально-фрезерный станок
Фрезерование скоса под углом 10° по ши- рокой плоскости	То же
Фрезерование узких плоскостей крепежной части	»
Фрезерование скоса по задней поверхности под углом 15°	»
Прорезка канавок по заплечикам	Универсально-заточный станок
Сверление отверстия и снятие фасок с двух сторон	Вертикально-сверлильный станок
Затылование предварительное профиля по рабочей и нерабочей сторонам	Затыловочный станок
Фрезерование передней поверхности	Универсально-фрезерный станок
Термическая обработка, 63—66 HRC ₂	—
Шлифование предварительное плоскостей с двух сторон:	
широких	Плоскошлифовальный станок
узких	То же
Шлифование предварительное скоса под углом 10° и заплечиков с двух сторон	»
Шлифование предварительное вершины	»
Шлифование предварительное профиля по рабочей и нерабочей сторонам	Шлифовально-затыловочный станок
Шлифование предварительное передней по- верхности	Заточный станок модели 3666
Низкотемпературный отпуск в масле при $t = 180 \div 200^\circ\text{C}$ с выдержкой в течение 1,5 ч	—
Шлифование окончательное широких пло- скостей	Плоскошлифовальный ста- нок
Доводка базовой плоскости	Плита доводочная
Шлифование окончательное узких плоско- стей	Плоскошлифовальный ста- нок
Шлифование окончательное скоса под уг- лом 10° и заплечиков с двух сторон	Плоскошлифовальный ста- нок
Шлифование окончательное вершины	То же
Шлифование окончательное профиля по ра- бочей и нерабочей сторонам	Шлифовально-затыловочный станок
Шлифование радиуса по вершинам рабочей стороны	То же
Затачивание передней поверхности окон- чательное	Станок для заточки зуборез- ных головок модели 3666
Маркирование	—
Окончательный 100 %-ный контроль	Специальные зубоизмери- тельные приборы

фрезерной; затылованием на универсально-затыловочных станках; токарной обточкой в корпусах со смещенными или наклонными пазами. На станках модели 5974 одновременно затылуются рабочая и нерабочая стороны при развороте фрез на соответствующие углы профиля. На универсально-затыловочных станках затылование производят резцом поочередно каждой стороны.

Затылование путем обтачивания в технологических корпусах со смещенными или наклонными пазами осуществляются на токарных станках; последующее шлифование профиля должно также производиться в аналогичных корпусах. Задние углы на боковых поверхностях в этом случае образуются за счет разв

13.136. Припуски поковок корпусов на последующую полную обработку, мм

d_0	Диаметр	Толщина
100	8 ± 2	7 ± 1
160	8 ± 2	7 ± 1
200	10 ± 3	8 ± 1
250	11 ± 3	8 ± 3
315	12 ± 3	8 ± 3

рота паза для резцов. Затылование резцов путем обтачивания в корпусах с наклонными пазами из-за больших органических погрешностей можно рекомендовать только для головок диаметром до 160 мм. Контроль профиля в осевом сечении производят шаблонами и зубомером. Фрезерование передней грани выполняют на горизонтально-фрезерном станке двух-

сторонней фрезой, при этом режущие кромки должны находиться в осевой плоскости, что обеспечивается за счет двойного разворота резца. Передние углы после фрезерования проверяются угломером. Чистовая обработка резцов повышенной точности после термообработки производится в две операции — предварительную и окончательную, резцов обычной точности — в одну операцию. На предварительных операциях обработки плоскостей применяют шлифовальные круги характеристик 24А, 40, СМ1, К. Профиль шлифуют кругами 24А, 40, СМ2, С1. После предварительного шлифования оставляют припуск по широким плоскостям около 0,08 мм, узким — 0,06 мм, заплочикам и скосу — 0,1 мм. Окончательное шлифование производят обычно на точных станках. При шлифовании плоскостей и профиля применяют круги характеристик 24А, 16, СМ1, К; при шлифовании передней поверхности — круги зернистостью 25—40.

Доводочное шлифование со съемом припуска 0,02 мм широких и узких плоскостей, профиля и передней поверхности целесообразно выполнять кругами из эльбора характеристик Л10—12, СМ1, К 100 %-ной концентрации. Для шлифования профиля используют специальные станки модели 5974 или универсальные станки с осевым затылованием моделей 10 и 13 фирмы «Глисон» (Gleason, США) при установке резцов в корпуса, аналогичные базовым, но без клиньев. Радиус по вершине резцов шлифуется на том же станке, что и профиль. Передняя поверхность резцов затачивается на специальных станках модели 3666, на универсально-

**13.137. Диаметры посадочных отверстий корпусов головок
после операций обработки, мм**

<i>d</i>	Токарная обработка		Шлифование	
	черновая	чистовая	предварительное	окончательное
25,4	22,8 ^{+0,3}	25 ^{+0,1}	25,35 ^{+0,015}	25,4 _{-0,07}
58,23	53 ^{+0,3}	57,6 ^{+0,1}	58,18 ^{+0,015}	58,23 _{-0,005} ^{+0,005}
127	120 ^{+0,5}	126,91 ^{+0,1}	126,91 ^{+0,015}	127 _{-0,005} ^{+0,005}

заточных или плоскошлифовальных станках. Углы разворота резцов при заточке те же, что и при фрезеровании.

Корпуса резцовых головок изготавливают из поковок сталей марок 40Х, 12ХНЗА, 20ХН2М, размеры которых следует определять с учетом припусков, приведенных в табл. 13.136. Токарная обработка корпуса разделяется обычно на черновую и чистовую. При черновой обработке посадочное отверстие выполняют цилиндрической формы, по наружному диаметру на последующую обработку оставляют припуск 2 мм, по толщине корпуса — 4 мм. Диаметры отверстий после отдельных технологических операций обработки приведены в табл. 13.137. Припуск после чистовой токарной обработки составляет: по наружному диаметру 0,8_{-0,13} мм, по торцам (на обе стороны) — 1,8_{-0,1} мм, допускаемая непараллельность торцов — 0,03 мм. Резцовые пазы фрезеруются на горизонтально-фрезерном станке в делительной головке. Припуски по ширине и дну паза (на две стороны) равны 2,8 мм после чернового фрезерования и 0,8 мм — после чистового. Неравномерность окружного шага после чистового фрезерования должна составлять не более 0,15 мм.

Корпуса цементируют и закаливают на твердость 56—62 HRC₂. Перед цементацией в резьбовые отверстия для регулировочных винтов набивают асбест, предохраняющий от их цементации. Отверстия под резьбу в резцовых пазах и под съемные винты сверлят после цементации с применением кондуктора.

Шлифование торцов, отверстия и пазов после закалки выполняют предварительно и окончательно. После предварительного шлифования необходим отпуск при $t = 180 \div 200$ °С. Припуск после предварительного шлифования торцов и пазов составляет 0,2—0,5 мм. Для предварительного шлифования торцов и отверстия применяют круги характеристик 24А, 25, СМ1, К, а пазов — круги характеристик 24А, 40, С1, К.

Окончательное шлифование торцов и отверстия производят кругами характеристик 24А, 16, СМ1, К. Опорный торец доводят на чугунной плите с применением алмазной пасты АСМ 5/3. Шлифование окончательное резцовых пазов осуществляют на шлице-

или плоскошлифовальном станке в делительной головке. При этом применяют эльборовые круги характеристик Л, 10—12, СМ1—СМ2, К 100 %-ной концентрации. Шлифование пазов выполняют в три перехода: вначале шлифуют одну боковую сторону с обеспечением симметричности и окружного шага, затем — другую до получения заданной ширины паза, после чего — дно паза. Ширину паза контролируют блоком концевых мер.

Особенности изготовления цельных и твердосплавных резцовых головок изложены в [268].

Обработку других поверхностей производят абразивными кругами характеристик 24А, 40, СМ1—СМ2, К. Оставляют припуск на окончательное шлифование этих поверхностей 0,8—0,9 мм. Передние поверхности резцов затачивают в две операции — предварительно и окончательно в двухместном приспособлении. Передние поверхности двух резцов устанавливают в одной вертикальной плоскости по откидному упору. Для предварительной обработки применяют абразивные круги формы 4К и характеристик 24А, 40, МЗ, К5, для окончательной — круги из эльбора формы 1Т характеристик Л6—8, СМ1, К 100 %-ной концентрации.