

Тема 5. Редуцирование деталей типа валов и шлицевых соединений

5.1 Основные сведения о процессе редуцирования деталей типа валов

Редуцирование применяют для формообразования сплошных и пустотелых ступенчатых деталей типа валов, осей, пальцев, а также при изготовлении болтов, шлицевых соединений.

В процессе редуцирования уменьшается поперечное сечение и при необходимости изменяется профиль заготовки при одновременном осевом удлинении (рис. 5.1). Редуцирование осуществляется в неразъемных (жестких) и роликовых матрицах. Наиболее распространенным является процесс редуцирования в жестких матрицах.

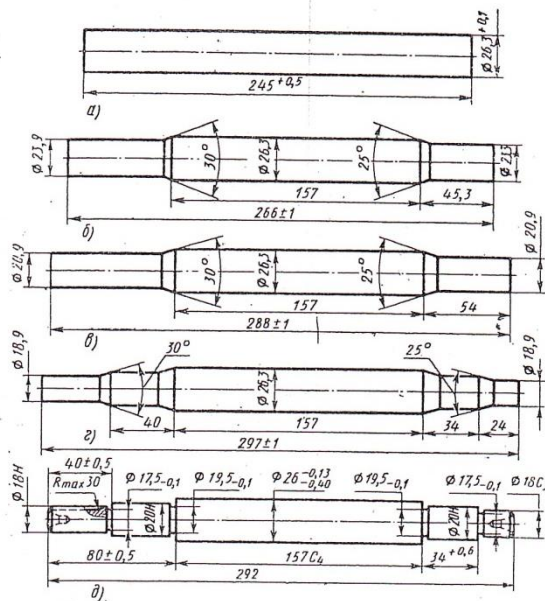


Рисунок 5.1. Технологические переходы: а-исходная заготовка; б,в,г – переходы редуцирования; д-готовый вал, полученный после обработки заготовки на металлорежущих станках.

Характеристика процесса редуцирования

В процессе деформации только небольшая часть объема заготовки находится в пластическом состоянии (рис. 5.2), что уменьшает величину удельного усилия по сравнению с процессами выдавливания и прессования.

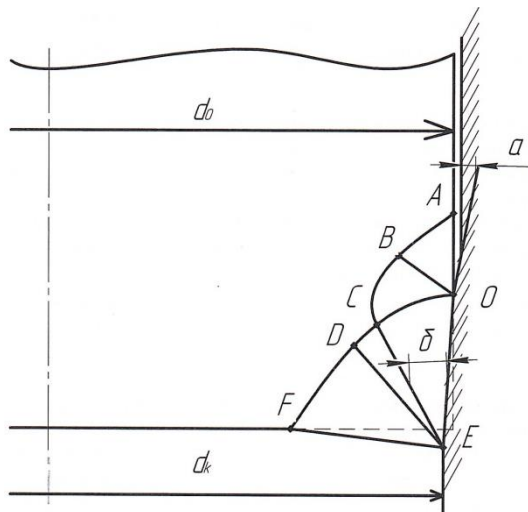


Рисунок 5.2. Область пластической деформации при редуцировании ($\mu > 0$) ABCDFEOA- область пластической деформации.

Напряженное состояние в очаге деформации характеризуется наличием значительного всестороннего сжатия (рис. 5.3), что приводит к повышению пластичности материала.

Угол наклона образующей редуцирующей матрицы принимается равным $25-30^\circ$, высота калибрующего пояса $-0,5d_{заг}$.

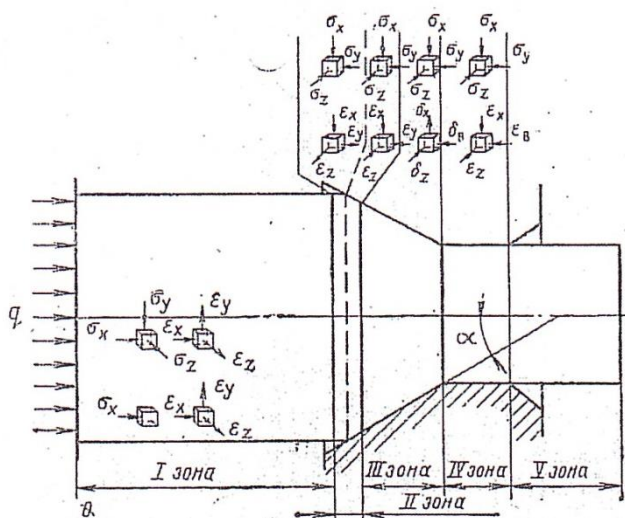


Рисунок 5.3 Схема напряженно-деформированного состояния при редуцировании. I, IV – зоны упругих деформаций; II – переходная зона; III – зона пластических деформаций; IV – зона калибровки упрочненного металла.

Редуцирование осуществляется по нескольким схемам: одно- и многопереходной, одностороннее а) и двухстороннее б), с направлением заготовки по образующей или без (рис.5.4)

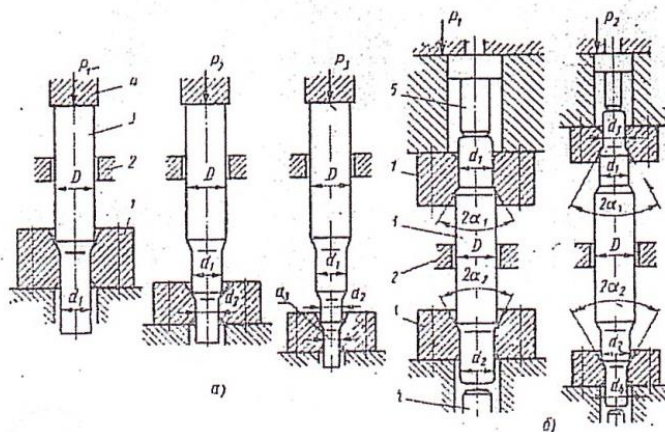


Рисунок 5.4 Разновидности процессов редуцирования

а - одностороннее; б - двустороннее; 1- матрица; 2 - направляющая; 3 - деталь; 4 - пуансон; 5- выталкиватель.

Многопереходное редуцирование

Многопереходное редуцирование может осуществляться с одного или двух концов заготовок за один ход пресса (рис.5.4.). Процесс редуцирования с двух концов благодаря тому, что при равных степенях деформации концов заготовки заходный угол $2\alpha_1$ верхней матрицы выполняется на 5° меньше заходного угла $2\alpha_2$ или степень деформации верхнего конца уменьшается не менее чем на 0,05 без изменения углов матриц. В этом случае усилие редуцирования верхнего конца заготовки меньше, чем нижнего. Это происходит

потому, что сначала происходит деформация верхнего конца заготовки до упора, а затем нижнего до остановки ползуна пресса.

Искривление оси длинномерной заготовки

У длинных заготовок при редуцировании возможно появление прогиба – y , т.е. искривление ее оси. Ось увеличивается с возрастанием длины – l заготовки и уменьшается с увеличением h – калибрующие части матрицы и d -диаметра редуцированной части.

Для устранения искривления оси длинной заготовки в результате неравномерности свойств металла, влияния контактного трения и неточности геометрии инструмента и заготовки, увеличивают высоту калибрующего пояса матрицы до $h_2 = (0.7 \div 1.0)d_{заг}$ и вводят дополнительные направляющие пояски (см. далее рис.5,5б). Если же прогиб появляется, то после редуцирования производят правку на гидравлических прессах.

Материал заготовок для редуцирования

Редуцированию подвергаются заготовки из стали с низким сопротивлением деформированию (сталь 10, стали 15 $\sigma_t=210 \dots 230$ МПа), из стали со средним сопротивлением деформированию (сталь 20Д5Х, 15Г, 20Х, 20ХФ, 12ХН3 σ_t от 250 до 550 МПа), из стали с высоким сопротивлением деформированию (сталь 35, 45, 40ХН σ_t от 320 до 800 МПа) и т.д.

5.2. Инструмент для редуцирования.

Основным рабочим инструментом для редуцирования является матрица (рис.5.5)

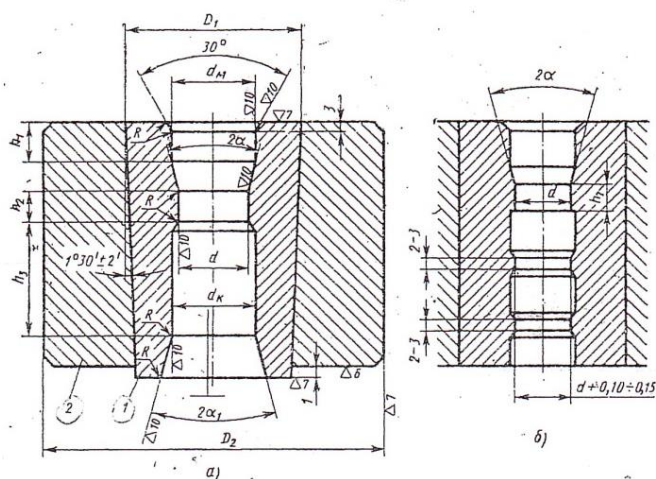


Рисунок 5.5. Конструкция матриц для редуцирования
а - обычное истечение; б - с пояском для правки.

Матрица состоит из рабочей вставки 1 и бондажа 2. В рабочей вставке выполняется приемная часть h_1 , коническая деформирующая часть с углом 2α , калибрующая часть h_2 и направляющая часть h_3 . Приемная часть служит для направления заготовки и предотвращения возможной ее раздачи у входа в очаг деформации при максимально допустимых обжатиях.

Основные исполнительные размеры матрицы

Размеры приемной части матрицы $h_1=(0,3..0,5)d_{\text{заг}}$, $d_m=d_{\text{заг}}=(0,15..0,2)\text{мм}$, где $d_{\text{заг}}$ – диаметр заготовки.

Деформирующий конус 2α назначается равным $25..30^\circ$. Применение меньших углов (до $2\alpha=10..12^\circ$) ведет к уменьшению удельных усилий, но влечет за собой значительное увеличение длины деформирующей части.. Увеличение углов 2α до $40..45^\circ$ ведет к увеличению удельных усилий, а также к возможной осадке заготовки у входа в матрицу, вследствие чего увеличиваются степени деформации на переходе и появляется наплыв металла на заготовке перед входом в матрицу за счет внеконтактной деформации.

Материал инструмента

Рабочие вставки матриц для редуцирования изготавливают из инструментальной стали X12Ф1, X12М, Х6ВФ, Р12 с термообработкой до твердости HRC 58-62. Бондажи матриц из стали 45, 40Х, 40ХН, 5ХНВ с термообработкой до твердости HRC 28-40. Вставку с бондажом собирают в холодном состоянии или с нагревом.

Стойкость стальных рабочих вставок для редуцирования составляет 30- 50 тыс. деталей; стойкость твердосплавных вставок 500-600 тыс. деталей.

Редуцирование до необходимого размера осуществляют за один или несколько переходов. Количество переходов определяют по предельно допустимой степени деформации на переходе. На первом и втором переходах она составляет $\approx 0,25-0,3$, на третьем и последующих $0,3-0,33$ и рассчитывается по формуле $\varepsilon = 1 - [(d_{\text{п}} - 1)/d_{\text{п}}]^2$.

5.3. Расчет параметров процесса редуцирования

Размеры заготовки

Диаметральные размеры исходных заготовок для редуцирования определяются размерами изготавливаемых деталей исходя из условия постоянства объема и предельно допустимой степени деформации. При наличии соответствующего оборудования ограничений по диаметру заготовок не существует.

Максимальная длина исходных заготовок при редуцировании без направления по образующей определяется условием продольной устойчивости по формуле:

$$l_{\text{max}} = \frac{\pi d_3}{4c} \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}}$$

C – коэффициент закрепления конца заготовки; $c=1$ -два конца зашлемлены (двустороннее редуцирование); $c=2$ – один конец зашлемлен, второй закреплен шарнирно (односторонне редуцирование);

E , σ_y – модуль нормальной упругости и предел упругости материала заготовки. В расчетах принимают приблизительно $\sigma_y = \sigma_{\text{т}}$.

Расчет потребной силы редуцирования

Потребная сила редуцирования при многопереходном редуцировании рассчитывается по формуле:

$$P = p_n \times F_{n-1}$$

Где p_n - среднее осевое напряжение в деформируемой части заготовки;

F_{n-1} – площадь нормального сечения деформируемой части заготовки;

n – номер перехода.

Средние осевые напряжения определяются по формуле:

$$P_n = 2\sigma_{cp} \left[\delta \left(0,5 + 0,1 \tan \alpha + \frac{\mu}{\sin 2\alpha} \right) + 0,33 \tan \alpha + 2 \frac{\mu h_2}{d_n} \right]$$

Где $\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{т} + \sigma_{в}}{2}$ – усредненное напряжение текучести, равное среднему арифметическому пределу текучести исходного материала и материала упрочненного при соответствующей деформации.

$\delta = \ln \frac{d_{n-1}}{d_n}$ – логарифмическая степень деформации;

2α - угол конусности матрицы;

h_3 – высота калибрующего пояса матрицы;

μ - коэффициент трения.

Ориентировочно P_n можно рассчитать по формуле:

$$P_n < \sigma_{т} \left(1 + \mu \frac{D - d}{3H} \right)$$

Где D - диаметр приемника матрицы;

d - диаметр цилиндрического пояса матрицы;

H - начальная высота заготовки.

Для расчета потребной силы редуцирования можно использовать экспериментальные графики изменения средних осевых напряжений в исходной заготовке (справочные данные). В этом случае величина p на соответствующем переходе каждый раз умножается на площадь нормального сечения исходной заготовки

$$P = p_n \times F_0$$

5.4. Влияние редуцирования на характеристики получаемого изделия

Процесс редуцирования оказывает влияние на механические характеристики и качество поверхности. В результате процесса редуцирования происходит поверхностное упрочнение материала, и изменяются его механические характеристики (табл. 5.1)

Таблица 5.1. Изменение механических характеристик при редуцировании

Группа стали	Общая степень деформации	Увеличение σ_T (число раз)	Увеличение σ_B (число раз)
С низким сопротивлением деформированию (марки 10 и др.)	0,25	1,5-1,8	1,2-1,3
	0,45	2,0-2,5	1,6-1,6
	0,60	2,5-3,0	1,6-1,8
Со средним сопротивлением деформированию (марки 20, 20X и др.)	0,25	1,5-2,0	1,2-1,3
	0,45	1,8-2,0	1,3-1,4
	0,60	2,0-2,5	1,4-1,5
С высоким сопротивлением деформированию (марки 45, 40X и др.)	0,25	1,8-2,0	1,2-1,3
	0,45	1,8-2,5	1,3-1,4
	0,60	2,2-2,8	1,4-1,5

При редуцировании происходит улучшение качества поверхности. Шероховатость поверхности заготовок после редуцирования в полированном инструменте достигает $Ra\ 0,16 \div 0,04$ мкм. Кроме того т.к. процесс сопровождается локальными деформациями, то необходимо учитывать суммарные упругие деформации инструмента и деформированной части заготовки, так как они приводят к увеличению диаметральных размеров получаемого изделия (табл.5.2).

Таблица 5.2. Пружинение при редуцировании

Марка стали	Степень деформации l	Относительное увеличение диаметрального размера в % от диаметра очка матрицы
15	0,12-0,16	0,15-0,23
	0,20-0,25	0,24-0,35
	0,15-0,25	0,20-0,35
20X	0,12-0,16	0,28-0,38
45	0,20-0,25	0,40-0,45

Влияние редуцирования на твердость поверхностного слоя изделия

Твердости по сечению заготовки в областях пластической деформации повышается на 25 единиц HRC (с 75 до 90-98 HRC).

5.5. Оборудование для редуцирования

Для редуцирования применяют универсальные и специальные гидравлические и кривошипные прессы. По исполнению они могут быть вертикальные и горизонтальные. Так же используются холодновысадочные автоматы при операции редуцирования, такие используются при изготовлении болтов и винтов, так как в этом случае стержни редуцируют иногда за несколько переходов.

Редуцирование на универсальных гидравлических прессах осуществляется в специальных штампах для двухстороннего редуцирования (см. рис.5.6), содержащих

верхнюю и нижние матрицы, между которыми расположена направляющая для заготовки. Для остановки хода ползуна в заданном положении штамп снабжен упорами. Для удаления детали штамп снабжен выталкивателем.

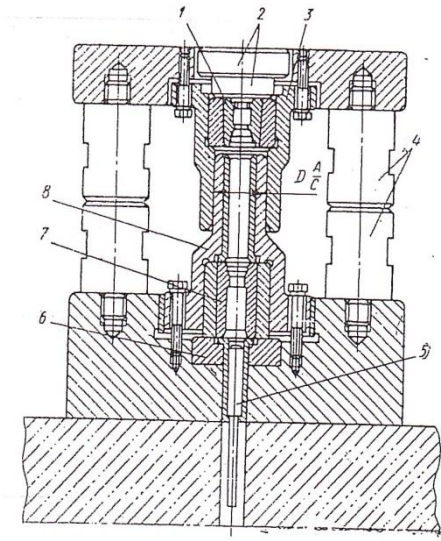


Рисунок 5.6. Штамп для двустороннего редуцирования на универсальном гидравлическом прессе.

5.6.Формообразование шлицев

Процесс редуцирования шлицев в жестких матрицах (табл.5.3). основные сведения о процессе формирования шлицев. Процесс деформации при формообразовании шлицев складывается из предварительного обжатия цилиндрической заготовки на участке 1, формообразования шлицев на участке 2, калибровки шлицев на участке 3 (рис 5.7).

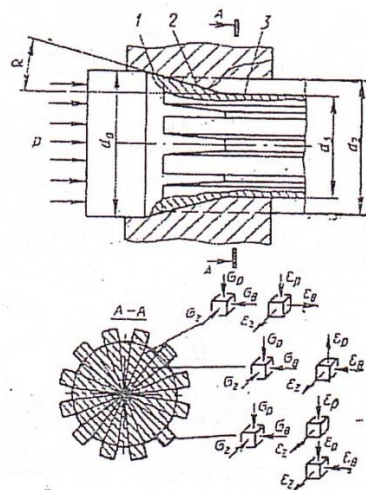
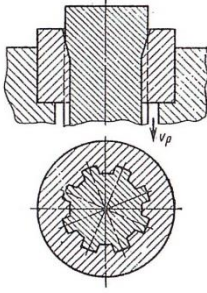
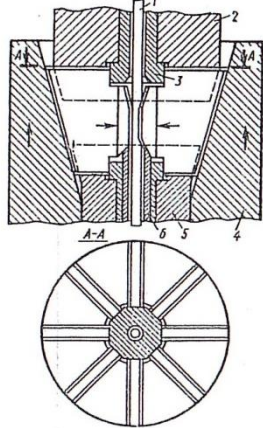


Рисунок 5.7. Схема редуцирования шлицев

Если редуцирование производится в матрице без приемной части h_1 (как на рис.5.7) на заготовке у входа в очаг деформации наблюдается увеличение диаметра (внеконтактная деформация). Это приводит к увеличению усилия деформирования и снижению стойкости инструмента (см. табл.5.3).

Таблица 5.3 - Способы формирования шлицев

Метод формообразования	Схема обработки	Область применения
Редуцирование или волочение через зубчатую матрицу		Сквозные и закрытые шлицы любого профиля
Радиальная штамповка		Сквозные и закрытые шлицы любого профиля. Возможна обработка напроход

Требования к заготовке:

-Общие требования к заготовкам, их смазке при редуцировании шлицев на валах шлицев аналогичны тем, что и при формообразовании цилиндрических деталей. В зависимости от формы детали, на которой необходимо образовать шлицы, исходные заготовки могут быть ступенчатыми или с прямолинейной образующей.

При изготовлении шлицев на шейке вала, которой предшествует шейка меньшего диаметра, переход от меньшего к большему диаметру следует выполнять по конусу, образующая которого наклонена к оси под углом не более 45° , или по радиусу:

$$R \geq \frac{d_n - d}{2}$$

При несоблюдении данного условия в месте перехода могут образоваться трещины.

В случае, если шейка со шлицами является крайней на торце заготовки выполняют фаску под углом к оси заготовки не более 45° и равной по высоте шлицам.

Требования к матрице:

Основной рабочий инструмент – матрица, аналогичен инструменту для редуцирования гладких валов. Он состоит из приемной части, конической деформирующей части, калибрующей и направляющей частей. Оптимальный угол 2α конусной части матрицы выбирают в диапазоне $20-40^\circ$.

Величина потребной силы редуцирования определяется по формуле для редуцирования гладких валов.

Таблица 5.4. Формообразование шлицев в роликовой матрице

Метод формообразования	Схема обработки	Область применения
1. Продольная накатка многороликовой головки: с периодическим поворотом обрабатываемой детали одновременное получение всех шлицев		Сквозные и закрытые шлицы любого профиля Шлицы большой длины на нежестких валах
2. С радиальной подачей роликов		На жестких валах
Ударная накатка вращающимися роликами: с непрерывным вращением обрабатываемой детали с периодическим поворотом обрабатываемой детали		Сквозные шлицы на жестких валах
Радиальное обжатие пуансонами		Сквозные и закрытые шлицы любого профиля Сквозные и закрытые шлицы любого профиля. Возможна обработка напроход

Еще одним способом получения шлицев является формообразование в роликовой матрице. Такая матрица состоит из корпуса 4 в котором по окружности расположены укрепленные по оси 3 ролики 2. Количество роликов и форма их рабочей части определяется количеством и формой шлицев на валу. Заготовка 1 устанавливается в

центрах и проталкивается через такую матрицу имеющую гнездо 5, в результате чего от внедрения роликов на заготовке образуются шлицы(рис 5.8)(см.табл.5.4).

Такой процесс формообразования шлицев называют накатыванием или прокатыванием. Он применяется для производства осей и валов со шлицами прямобочного, эвольвентного и остроугольного профиля. Он имеет ряд преимуществ по сравнению с обычным редуцированием шлицев. В этом случае:

- в очаге деформации уменьшается контактное трение заготовки об инструмент вследствие вращения роликов и уменьшается их износ;
- появляется дополнительное трение за пределами очага деформации-между роликами и осями;
- деформация происходит не по замкнутому контуру, а в отдельных частях сечения заготовки, в результате чего уменьшается деформирующее усилие;
- снижается длительность цикла обработки, т.к. образование профильной длины производится с высокой скоростью ($0,1 \div 20$ м/мин);
- инструмент имеет высокую размерную стойкость. (рисунки с.340-341).

Накатка шлицев роликами осуществляется способами:

- продольная накатка;
- накатка с радиальной подачей (поперечная);
- накатка с тангенциальной подачей.

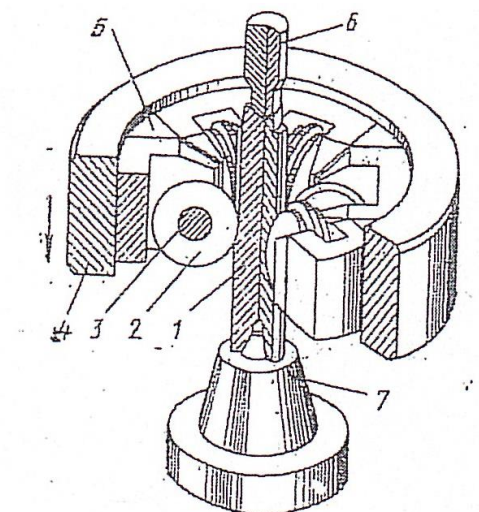
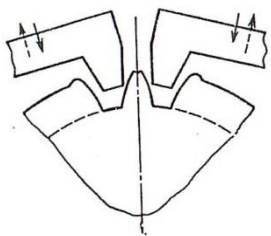
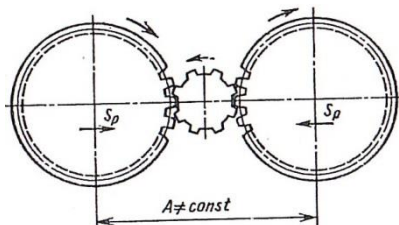
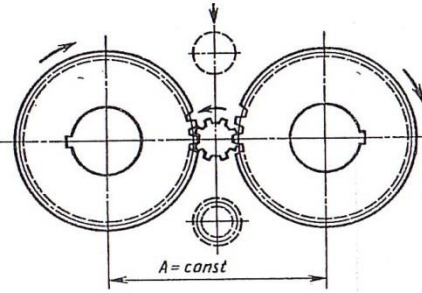
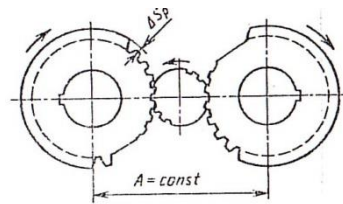


Рисунок 5.8.Схема формообразования шлицев в роликовой матрице:1-заготовка, 2-ролик, 3-ось ролика, 4- корпус, 5-гнездо, 6-подвижный центр, 7 – неподвижный центр

Продольная прокатка многороликовой головкой осуществляется при относительном перемещении ее вдоль оси заготовки и накатной головки (рис.5.8)(табл.5.4).

Таблица 5.5 – Способы формирования эвольвентного профиля зуба

Метод формообразования	Схема обработки	Область применения
Пуансонами с делением заготовки		Сквозные шлицы и зубчатые колеса с эвольвентным профилем зуба. Накатываются мелко модульные зубья небольшой длины. Калибруются (обкатываются) после предварительной обработки зубья среднего модуля
Зубчатыми роликами с радиальной подачей инструмента (поперечная накатка)		Сквозные и закрытые шлицы и зубчатые колеса эвольвентного и треугольного профиля (при мелко модульных зубьях)
Зубчатыми роликами с постоянным профилем		Сквозные и закрытые шлицы и зубчатые колеса эвольвентного и треугольного профиля
Затылованными зубчатыми роликами		Сквозные и закрытые шлицы и зубчатые колеса эвольвентного и треугольного профиля

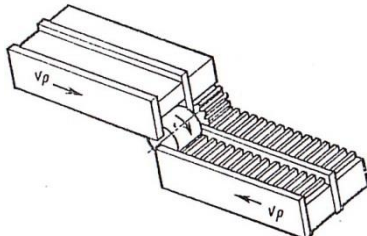
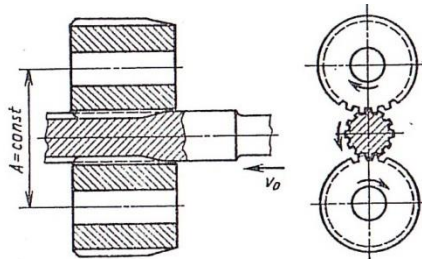
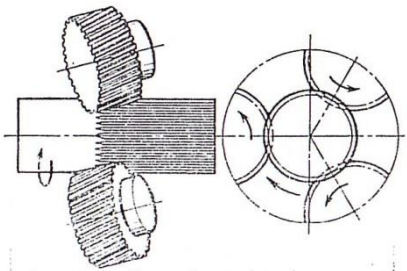
В накатной головке звездообразно установлены накатные ролики свободно проворачивающиеся на осях. Заготовка может продавливаться или протягиваться через накатные ролики, рабочий профиль которых зависит от формы накатываемых шлицев.

Накатку роликами с радиальной подачей инструмента осуществляют зубчатыми роликами путем перемещения инструмента к оси заготовки. После формирования профиля, который происходит при уменьшающемся расстоянии между роликами, производится калибровка при постоянном межцентровом расстоянии. Накатка может осуществляться на заготовке, установленной в центрах, одним или несколькими роликами.

Накатку с тангенциальной подачей зубчатыми роликами производят на двухшпиндельных резбонакатных станках или специальных шлицнакатных.

Накатные ролики устанавливаются на требуемом межцентровом расстоянии, которое является постоянным. Заготовка перемещается между накатниками принудительно или в результате самозатягивания.

Таблица 5.6. Накатка шлицев рейками различного типа и зубчатыми роликами

Метод формообразования	Схема обработки	Область применения
Плоскими зубчатыми рейками		Сквозные и закрытые шлицы эвольвентного и треугольного профиля
Цилиндрическими зубчатыми рейками		Сквозные и закрытые шлицы треугольного и эвольвентного профиля на сплошных и пустотелых валах с толщиной стенки
Зубчатыми роликами с прямыми формообразующими зубьями (накатка прутков)		Сквозные и закрытые шлицы треугольного и эвольвентного профиля
Зубчатыми роликами с винтовыми формообразующими зубьями (поперечно-винтовая накатка)		Сквозные шлицы треугольного и эвольвентного профиля Накатка ведется напроход

Наиболее перспективный и производительный способ накатки шлицев плоскими рейками.

При таком способе заготовку обычно устанавливают в центрах, но возможна и бесцентровая накатка.

Профиль на заготовке накатывается двумя рейками на полную глубину.

Рейки имеют возвратно-поступательные движения по касательной к заготовке, вращающейся под действием деформирующих сил.

Плоские рейки для накатки шлицев(зубчатые рейки) имеют заборную, калибрующую части и участок разгрузки.

На заборной части высота зубьев постоянно увеличивается.

На калибрующей – высота зубьев соответствует глубине впадины детали.

Длина калибрующей части определяется из условия возможности двух оборотов детали.

Ширина реек равна длине шлицев на детали.

Так как при накатке шлицев плоскими рейками возникают большие распорные силы, то накатка шлицев на тонких деталях не возможна. В таких случаях используются цилиндрические зубчатые рейки.