

## **5.3 Раскатывание отверстий: технология и применение**

## Раскатывание отверстий. Применение

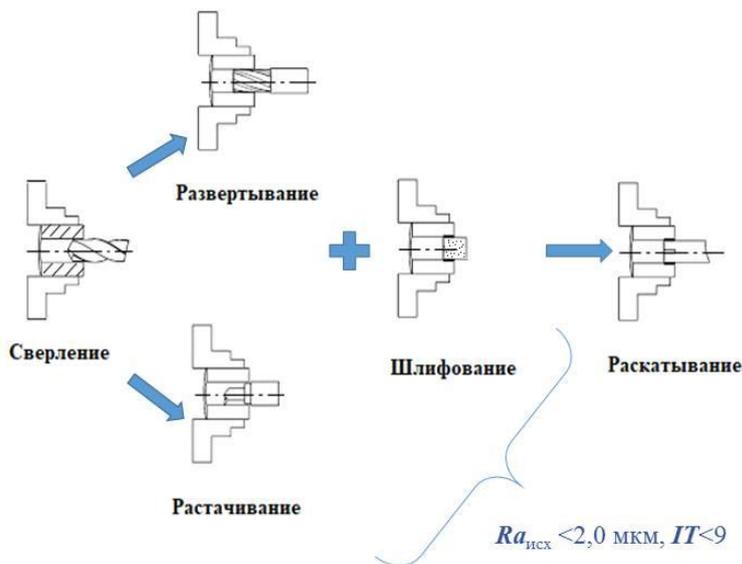
Детали, подверженные раскатыванию



Раскатывание отверстий применяют при обработке гидро- и пневмосистем, в автомобильной промышленности при производстве деталей двигателей и трансмиссии, раскатывают точные отверстия во всевозможных тягах, корпусах клапанов, а так же в подшипниковых узлах. В авиастроении раскатывание применяют перед последующими клепально-сборочными работами, процесс необходим для тяжело нагруженных стоек шасси, ушковых соединений в механизации крыла и т.д. с целью повысить их долговечность, увеличением износостойкости трущихся или сопротивления усталости для высоконагруженных изделий.

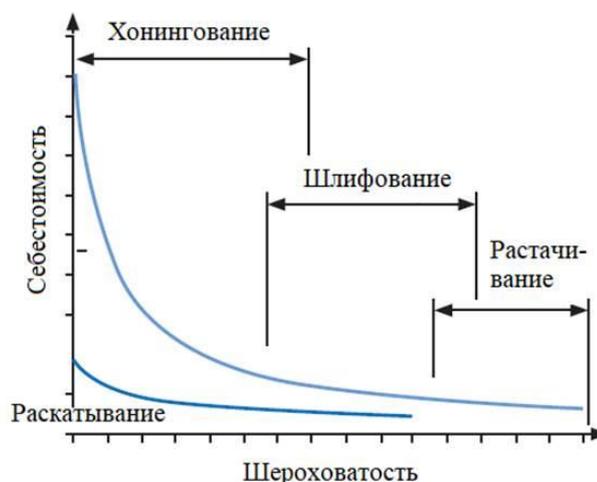
## Раскатывание поверхностей. Технология

### Маршрут обработки отверстия



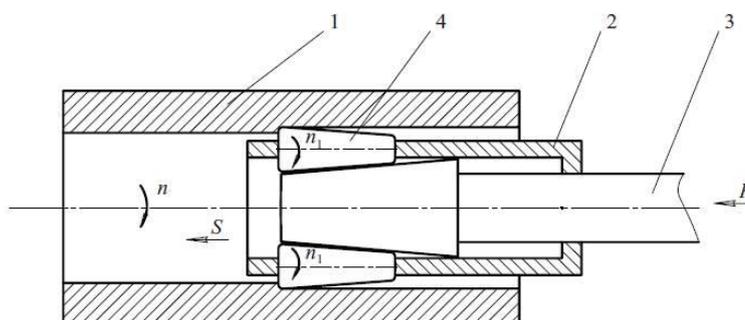
Технологический процесс обработки отверстий отличается большей сложностью, чем процессы для обработки наружных поверхностей, не исключением является упрочнение раскатыванием. Процессу раскатывания подвергают предварительно полученные отверстия, которые обязательно прошли чистовую обработку либо развертыванием, если диаметр отверстия до 30 мм, либо растачиванием. Кроме того для труднообрабатываемых материалов дополнительно необходимо и внутреннее шлифование. Такой технологический маршрут должен обеспечить точность отверстия перед раскатыванием не хуже 9 квалитета при шероховатости поверхности не грубее  $Ra_{2.0}$  мкм. На поверхности заготовки не допустимы надрывы, царапины, заусенцы и другие дефекты. Термообработка должна быть завершена до раскатывания, после выполнения процесса возможно только нанесение покрытий. Для обеспечения равномерности наклепа по стенкам детали крепление должно производиться в технологической оснастке с хорошей соосностью отверстия и инструмента, при необходимости его устанавливают в плавающий патрон. Для тонкостенных деталей закрепление осуществляют не радиальными, а осевыми силами зажима. Для жесткого раскатывания обязателен контроль конусообразности и овальности отверстия, которые не должны превышать половину допуска на диаметр. Измерением диаметров поступившей партии деталей их разделяют на мелкие партии, которые могут быть обработаны с одной настройки рабочего размера раскатника.

### Сравнение технологической себестоимости обработки отверстия



Процесс раскатывания при всей его сложности обладает меньшей технологической себестоимостью. В зависимости от применения, при переходе от шлифования отверстия, тонкого растачивания или хонингования к раскатыванию роликом производственные затраты могут быть снижены до 50% при обеспечении тех же показателей качества поверхности. Объясняется это коротким технологическим циклом, т.к. вспомогательное время значительно меньше. Ведь детали могут быть полностью обработаны за один установ, например, на токарном станке и тогда раскатывание исключает затраты на дополнительное технологическое оборудование и значительно сокращает время транспортировки и переустановки. Кроме того, раскатчик намного дешевле хона и сопоставим по цене с абразивным кругом. Процесс не приводит к образованию стружки или шлама как при растачивании или шлифовании.

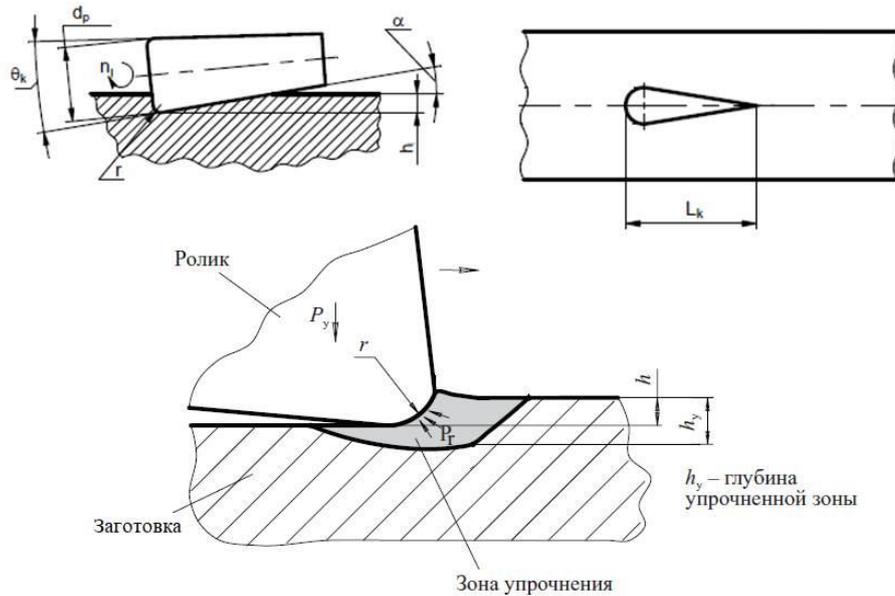
## Кинематическая схема раскатывания



1 – заготовка; 2 – сепаратор; 3 – опорный конус; 4 – ролик  
 $S$  – подача;  $n$  – частота вращения детали;  $n_1$  – вращение роликов;  $P$  – осевая нагрузка

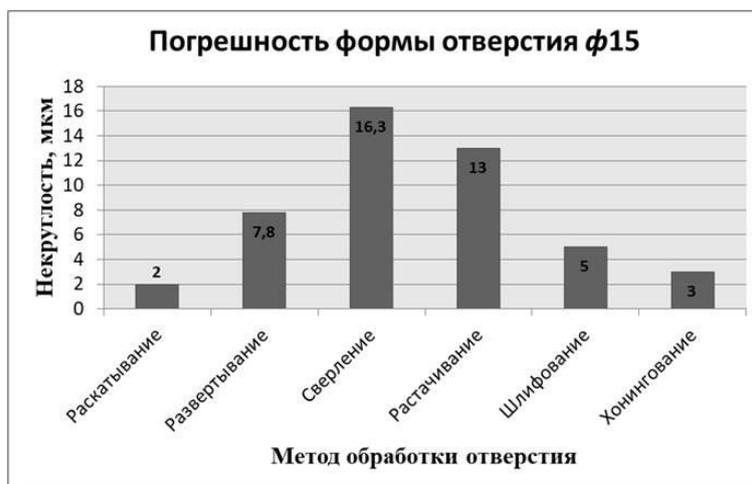
Теперь остановимся на процессе жесткого раскатывания как наиболее распространённого благодаря изученности и широкой гамме серийно выпускаемого инструмента. Кинематическая схема содержит четыре звена: рабочее тело качения (ролик), заготовку, сепаратор и стержень с опорным конусом. При задании заготовки вращения с частотой  $n$  ролики совершают планетарное движение и вращаются в том же направлении с бОльшей угловой скоростью  $n_1$ , которая определяется отношением диаметральных размеров рабочих тел к раскатываемому размеру втулки.

## Зона контакта «инструмент – деталь»



Ролики воздействуют на поверхность заготовки с силой  $P_y$ . Под действием этой силы ролик внедряется на величину  $h$  малое. При перемещении ролика по отверстию под нагрузкой возникает деформированная упрочненная зона, глубина которой больше по сравнению с величиной внедрения ролика. Рассматриваемая схема обработки приводит к отпечатку каплевидной формы, который обычно создается при раскатывании цилиндрическим или коническим роликом, установленным под углом к обрабатываемой поверхности. Отпечаток ролика в процессе прокатывания превращается в пластически деформированную канавку, которая при обработке цилиндрических поверхностей с подачей представляет собой винтовую поверхность. Поскольку ширина этой канавки во много раз превышает подачу, то при втором и последующих оборотах сепаратора ролик выходит на уже деформированную зону, несколько расширяя и углубляя канавку. После некоторого числа оборотов процесс стабилизируется. С точки зрения обеспечения высокой производительности при требуемом качестве поверхности каплевидный контакт является более предпочтительным по сравнению с эллипсным, формируемым профильными роликами, рабочая поверхность которых является поверхностью тора с радиусом.

### Технологическая точность жесткого раскатывания толстостенной гильзы из стали 50

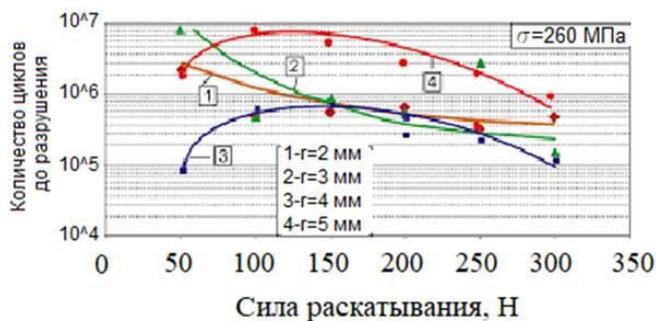


Отличительная особенность такого раскатывания это решение дополнительной задачи - калибрования отверстий, т.е, повышение точности не только размера, но и формы, что возможно лишь жесткими раскатниками. Повышение точности раскатываемых отверстий связано, прежде всего с возможностью регулирования рабочей силы. Для повышения точности отверстий необходимо использовать устройства, в которых изменение натяга за счет приращения размеров вызывает соответствующее изменение рабочей силы, а следовательно, и увеличение диаметра отверстия. Применение раскатывания отверстий в сталях позволяет получить отверстия 7-го качества точности правильной геометрической формы с конусностью до 6 мкм на длине 3 диаметра и эллиптичностью до 2 мкм с шероховатостью поверхности в пределах  $Ra = 0,08$  мкм. Такой результат позволяет отказаться при построении технологического процесса производства, например гидроцилиндров, от хонингования.

## Раскатывание. Влияние технологических факторов на качество

Характеристика качества =  $f(P_y \text{ или } i, S, D_o, d_p, r, N, L_k, h_y, \alpha, \omega, HB, Ra_{исх})$

### Повышение долговечности деталей раскатыванием

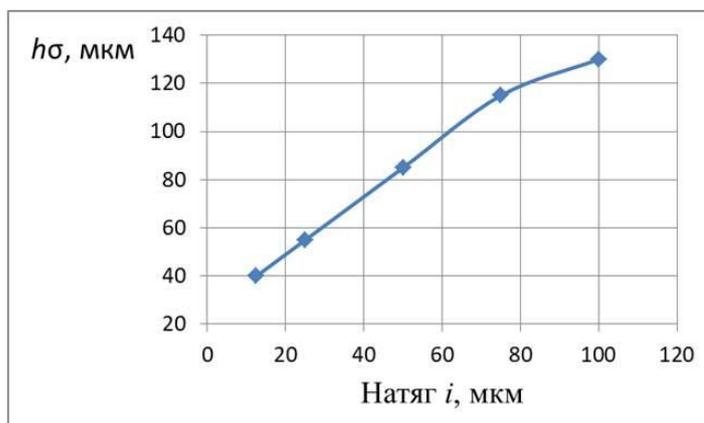


Зависимость долговечности обработанных деталей из стали 45 от усилия раскатывания и профильного радиуса ролика

При выборе и назначении конструктивно-технологических параметров процесса раскатывания существуют значительные затруднения, связанные с тем, что на окончательные результаты формирования качества поверхностного слоя влияет большое количество различных независимых и взаимосвязанных между собой аргументов. Как правило, любой показатель качества поверхности есть функция многих переменных. Рассмотрим ее.

Здесь  $P_y$  или  $i$  – усилие деформирования или натяг;  $S$  – осевая подача;  $D_o$  – диаметр отверстия;  $d_p$  – диаметр ролика;  $r$  малое – профильный радиус ролика,  $N$  – количество роликов,  $L_k$  – длина контакта;  $h_y$  – глубина упрочнения;  $\alpha, \omega$  – углы внедрения и самозатягивания;  $HB$  – твердость обрабатываемого материала и его физико-механические характеристики, влияющие на упруго-пластическую деформацию;  $Ra_{исх}$  – исходная шероховатость поверхности от предшествующей обработки. За счет регулировки натяга можно добиться изменений силы раскатывания, которая в совокупности с профильным радиусом формируют необходимое для упрочнения удельное давление. Эти два параметра в наибольшей степени влияют на долговечность обработанных деталей. Как видно из графика малые профильные радиуса роликов уже при небольшой силе раскатывания 50Н создают достаточное упрочнение, которое позволяет добиться максимального сопротивления усталости. Поэтому большие радиуса роликов не желательны, иначе необходимо увеличивать нагрузку на технологическую систему. Уменьшение количества роликов снижает силовые характеристики процесса. Увеличение диаметра роликов так же приводит к уменьшению усилия и необходимого крутящего момента.

### Упрочнение поверхности раскатыванием

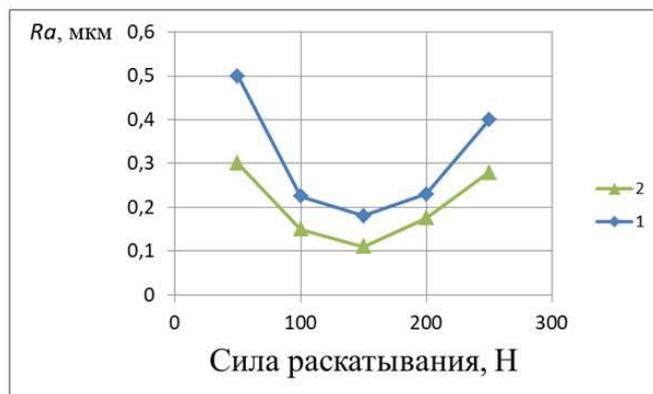


Зависимость глубины проникновения максимума остаточных напряжений сжатия ( $\sigma_{\max} = 800$  МПа) от натяга при раскатывании ( $D_0 = 10$  мм, ВТ9)

Величина натяга при раскатывании, определяемая как разница между диаметрами раскатника и отверстия под раскатку, напрямую влияет на глубину, степень наклепа и остаточные напряжения. Она зависит от механических свойств обрабатываемого материала и должен быть таким, что бы обеспечивалось минимально необходимое усилие. Так, при раскатывании отверстий диаметром 10 мм в деталях из титанового сплава увеличение натяга с 20 мкм до 100 приводит к повышению микротвердости поверхностного слоя на 25%, дальнейшее повышение натяга сопровождается снижением микротвердости на 20% в результате перенаклепа и разупрочнения. С возрастанием натяга увеличивается глубина проникновения остаточных напряжений сжатия, а соответственно и глубина залегания максимума этих напряжений, который может достигать 800 МПа. Как видно на графике зависимости создание натяга до 100 мкм формирует линейную закономерность увеличения глубины остаточных напряжений.

## Раскатывание. Влияние технологических факторов на качество

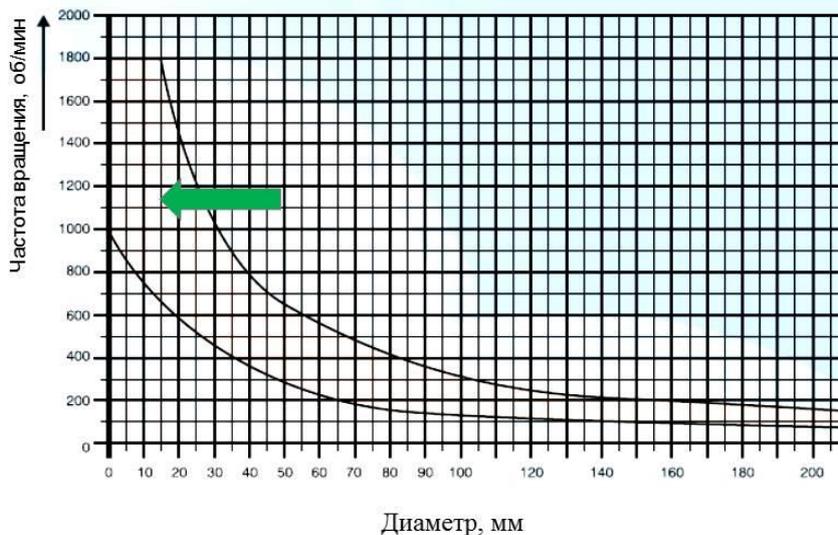
### Качество поверхности отверстий после раскатывания



Зависимость шероховатости поверхности от усилия и направления деформирования: 1 – вращение раскатника в направлении растачивания; 2 – противоположное направление ( $R_{\text{всх}}0,8$ ;  $S=0,1$  мм/об)

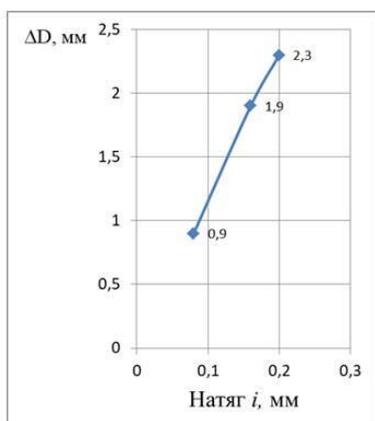
Усилие раскатывание влияет на микронеровность поверхности, и эта закономерность имеет явный оптимум, устанавливаемый для каждого конкретного случая экспериментально. В отличие от обкатывания, область оптимальных значений силы раскатывания уже, так например для раскатывания сплава АЛ9 это участок от 100Н до 200 Ньютон, а превышение этих сил ведет к резкому ухудшению состояния поверхности. При оптимальном усилии раскатывания можно обеспечивать параметры шероховатости до  $Ra0.1$  мкм. Кроме того на микронеровность влияет и направление вращения раскатника. Известно, что при изменении направления деформирования на противоположное, относительно процесса резания, шероховатость раскатанной поверхности, а так же усилия деформирования оказываются меньше. При раскатывании с вращением противоположном направлению растачивания, пластическая деформация металла в поверхностном слое так же происходит в противоположном направлении, что создает условия для проявления эффекта Баушингера. Под этим эффектом понимается снижение сопротивления пластической деформации (предела текучести) после предварительного деформирования с противоположным знаком. А снижение сопротивления пластической деформации при раскатывании не только способствует уменьшению шероховатости, но так же отсутствию местных повреждений и большей однородности поверхности. Это в свою очередь, ведет к повышению эксплуатационных качеств изделия, в частности их износостойкости.

## Рекомендуемые режимы обработки

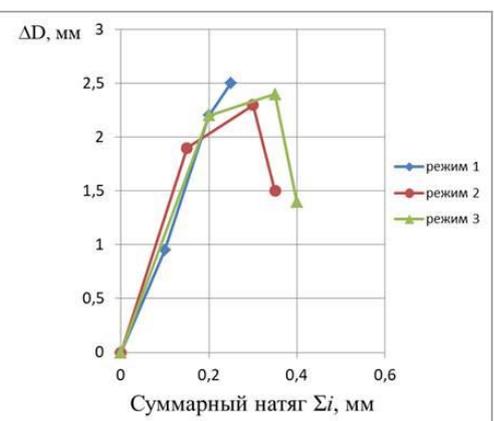


Скорость не оказывает заметного влияния на результаты обработки и выбирается с учетом требуемой производительности и конструктивных особенностей оборудования. Обычно скорость составляет 30—100 м/мин, для простоты выбора можно пользоваться диаграммой, где предпочтительные угловые скорости вращения детали определены диапазоном, отмеченного зеленой стрелкой.

**Изменение диаметра образца-свидетеля от жесткого раскатывания**



**Зависимость деформации кольца из стали 40ХНМА от величины натяга**



**Зависимость деформации кольца из стали 40ХНМА при многопроходном раскатывании от суммарного натяга**

Критерием оценки качества детали и стабильности процесса является величина деформации колец-свидетелей, а именно увеличение их диаметра, полученного после их разрезки с предварительной обточкой на оправке до определенной толщины. Контрольное кольцо должно иметь следующие размеры: толщина стенки до проточки 10 мм, после – 1 или 2 мм в зависимости от диаметра отверстия. Разрезка производится абразивным кругом шириной 1 мм. Измерение деформации кольца производится в трех сечениях. Значение приращения диаметра отверстия определяется как среднее арифметическое по трем сечениям. Как видно из зависимости, с ростом натяга увеличивается и косвенный критерий упрочнения – увеличение диаметра кольца. Это значение должно быть не меньше указанных в нормативах. Таким образом, устанавливается необходимая величина натяга и правильность настройки раскатника. Раскатывание производится за один или два рабочих хода при достижении необходимо суммарного натяга. Третий и последующий ходы при раскатывании приводят к разупрочнению, что хорошо видно из представленной зависимости (красная и зеленая линии), а натяги более 0,2 мм приводят к замедлению прироста деформации кольца-свидетеля, т.к. для большинства сплавов характерно снижение эффективности упрочнения при больших натягах из-за вероятного перенаклепа.

## Раскатывание. Применение

### Режимы раскатывания для стали 30ХГСА, 40ХНМА

Диаметр отверстия, мм	Припуск под раскатывание на диаметр, мм	Скорость раскатывания, м/мин	Подача, мм/об	Натяг, мм	Число проходов
6 – 12	0,015	3-5	0,2-0,3	0,05-0,07	1
12 – 20	0,02	10-12	0,2-0,3	0,07-0,09	1
20 – 40	0,02	20-30	0,15-0,2	0,1-0,13	2
40 – 60	0,02-0,03	30-40	0,15-0,2	0,12-0,15	2
60 – 80	0,02-0,03	30-40	0,1-0,15	0,15-0,18	2
80 – 100	0,03-0,04	50-80	0,1-0,15	0,15-0,18	2

Согласно рассмотренным закономерностям технологических факторов на характеристики качества можно рекомендовать следующие режимы обработки, сведенные в таблицу, для стали 30ХГСА и близких к ней с сигма временным 1000 МПа, а так же высокопрочной нержавеющей стали ВНС-5. Для титановых сплавов режимы раскатывания такие же, как в приведенной таблице при меньшем натяге. Для стали 30ХГСН2А с сигма временное 1400 МПа припуск под раскатывание и подача меньше, а натяг и скорость обработки наоборот больше. Более точные значения режимов можно найти в соответствующих нормативах.