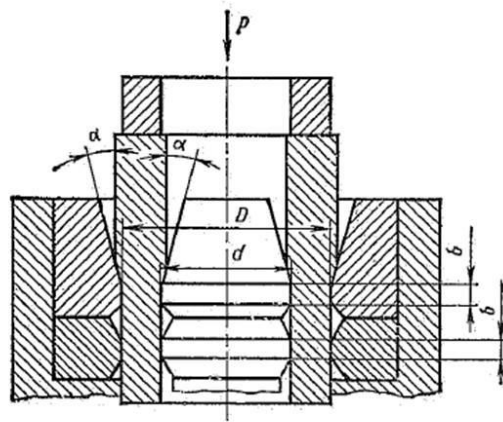


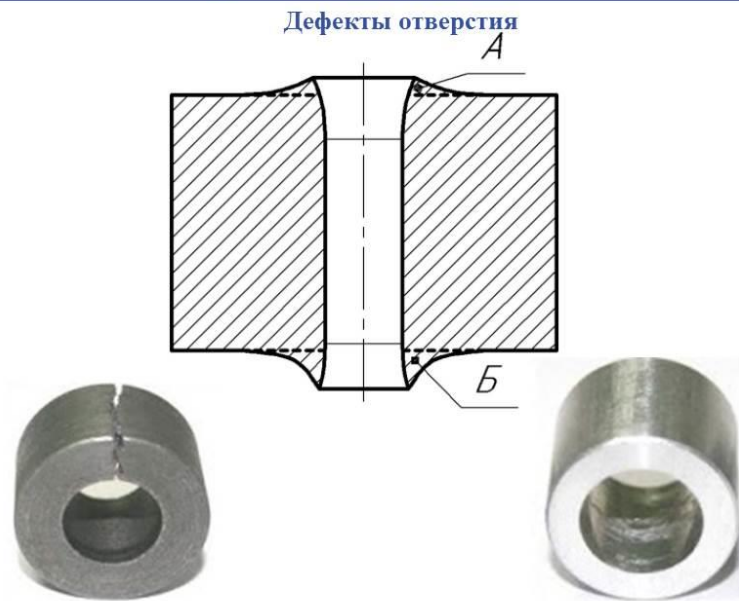
**5.5 Дорнование.**  
**Технология и ее влияние на свойства деталей**

### Совмещенное дорнование и редуцирование тонкостенных деталей



Применение процесса совмещенного дорнования с редуцированием, упомянутого в предыдущей лекции, позволяет значительно упростить технологический процесс обработки точных тонкостенных деталей. По данной технологии необходимо выполнить две предварительные операции: обтачивание и растачивание, а затем дорнование с редуцированием исключив протягивание или развертывание отверстий и наружное шлифование. Помимо дорна в пластической деформации участвует фильера определенного диаметра. Схема деформирования металла приближается к всестороннему сжатию, стенки заготовки утоняются на 15% и, при этом, достигается высокая степень упрочнения металла. Так, микротвердость увеличивается на 60%. Такой процесс позволяет значительно повысить точность детали за один проход. При равном относительном натяге для внутренней и внешней поверхности и равной величине заборного конуса (равенство параметров для дорна и фильеры обязательны) точность детали с пределом прочности 850 МПа возрастает в шесть раз и соответствует 7 качеству точности при исходной по 11-тому качеству. Количество фильер 1-2, их увеличение может вызвать перенаклеп обработанной поверхности. Основным недостатком процесса это увеличение длины детали, поэтому требуется технологический расчет на соответствие требований чертежа.

## Дорнование. Технология обработки

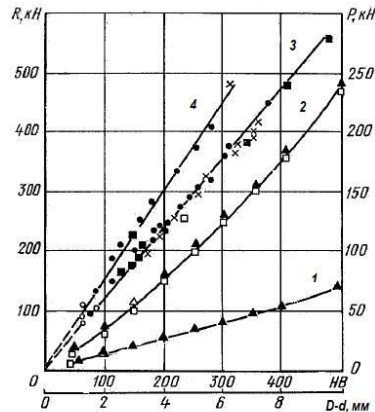


Точность и качество поверхностного слоя отверстий, обработанных дорнованием, определяются влиянием целого ряда факторов. В частности, точность отверстий после дорнования зависит от их исходной точности, конструктивных особенностей обрабатываемых деталей и принятой схемы обработки, от механических свойств материала деталей, натяга дорнования, конструкции применяемого инструмента и др.

Заготовки перед обработкой необходимо подвергать очистке или травлению для удаления окалины, ржавчины и других загрязнений. В отверстиях предварительно можно снять заходные фаски. Особое требование это перпендикулярность упорного торца обрабатываемому отверстию, если ее невозможно обеспечить, то заготовка устанавливается на плавающую опору. При движении дорна по отверстию условия для деформирования металла не на всех участках одинаковы. У торцов детали условия деформирования более благоприятны, чем в середине. Поэтому металл, расположенный вблизи торцов, стремится сдвинуться в их сторону. Следовательно, после дорнования вблизи торцов наблюдается некоторое искажение образующих отверстий. При больших натягах обработка сопровождается образованием наплывов на торцах, которые приходится подрезать фрезерованием или цекованием. При повышенных требованиях к точности диаметра после дорнования рекомендуется применять калибрование. Большие натяги могут привести к разрыву заготовки (фото слева), а недостаточные натяги к неудовлетворительной шероховатости (фото справа).

## Дорнование. Влияние технологических факторов на характеристики качества

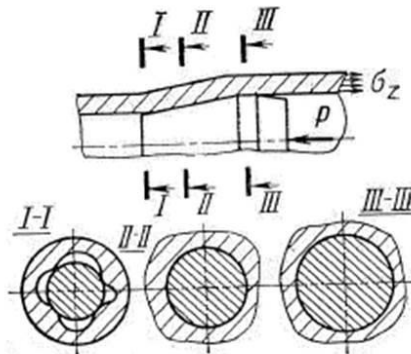
Изменение радиальной  $R$  и осевой  $P$  сил дорнования от толщины стенки детали и твердости ее материала



1 –  $P=f(D-d)$  и 2 –  $R=f(D-d)$  для 38ХМЮА при  $HB$  235;  
3 –  $R=f(HB)$  для  $\Sigma i/d=0,05$  и 4 –  $R=f(HB)$  для  $\Sigma i/d=0,12$   
сталей 20, 40Х и 12ХН3А при  $D-d=6$  мм

Для технологических расчетов дорнования необходимо знать радиальную и осевую силы, действующие на деформирующий элемент. Эти силы связаны между собой прямой пропорциональной зависимостью, но радиальная сила больше осевой. Радиальная сила дорнования при одних тех же размерах деталей и режимах деформирования зависит от твердости обрабатываемого материала, возрастает прямо пропорционально ее увеличению и может достигать 500 кН для твердости по Бринелю 400 ед при обработке сталей с относительным суммарным натягом, равным 0,05. Увеличение суммарного натяга приводит к росту радиальных сил, что особенно четко видно для больших значений твердости. Влияние толщины стенки детали на силы дорнования так же выражается прямой, при этом хорошо заметна по линиям 1 и 2 пропорциональная связь между осевой и радиальной силами деформирования. При дорновании деталей с большой толщиной стенки с увеличением натяга радиальная составляющая силы так же увеличивается, однако с повышением твердости материала такое влияние ослабевает. Это объясняется тем, что с повышением твердости увеличивается упругая усадка отверстия. При малых и неравных толщинах стенки детали характер влияния более сложный.

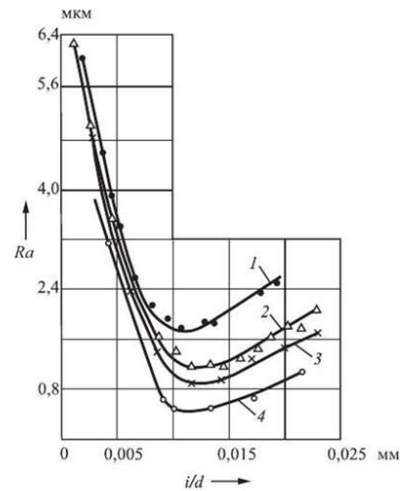
Схема последовательности деформирования  
разностенных заготовок с исходной некруглостью  
отверстия



В разностенных нежестких заготовках с отверстиями в первую очередь деформируются только толстые стенки. При многозубом дорновании это происходит в начальный период процесса, продолжающегося до того момента, когда исходное отверстие с погрешностью в виде отклонения от круглости приобретает на заборном конусе первого зуба форму правильной окружности с длиной периметра, равного длине исходного некруглого профиля (смотрите сечение I и II). Толстые стенки в этот период подвержены деформациям изгиба первым зубом, контактирующим с участками отверстия по минимальному диаметру исходного контура. К следующему моменту от сечения II к сечению III, характеризуемой деформацией с утонением стенки детали, толстые стенки оказываются уже достаточно деформированными. На этом участке при движении деформирующего элемента диаметр отверстия в тонкостенной зоне продолжает увеличиваться за счет явления сквозной пластической деформации, а утонения стенки практически не наблюдается. Следовательно, наличие на наружной поверхности деталей буртов, выточек и других элементов, создающих перепад толщин стенок, в той или иной степени снижает точность обработанных отверстий, поэтому дорнование деталей с переменной толщиной стенок рекомендуется выполнять при режимах, не допускающих сквозной пластической деформации деталей. Это позволяет повысить точность отверстия.

## Дорнование. Влияние технологических факторов на характеристики качества

### Влияние относительного натяга и числа зубьев дорна на шероховатость поверхности



1, 2, 3, 4 - число зубьев дорна

Шероховатость поверхности отверстия, обработанного дорнованием, зависит от ряда факторов: исходной шероховатости поверхности отверстия, конструктивных особенностей деталей, суммарного натяга и схемы его распределения по зубьям дорна и некоторых других. Суммарный натяг и распределение его по зубьям дорна определяют контактные давления и, таким образом, наиболее существенно влияют на шероховатость обработанной поверхности. Как видно из кривых натяг имеет ярко выраженный оптимум, превышение которого нежелательно. При этом при обработке дорном с количеством зубьев, равным 4-м шероховатость меньше в три раза по сравнению с результатом дорнования одним зубом. Следовательно, дорнование многозубым инструментом позволяет получить более качественную поверхность. Однако, увеличение количества зубьев сверх определенного, вызовет перенаклеп обработанной поверхности, ее шелушение и увеличение шероховатости. Чтобы исключить перенаклеп, большую часть суммарного натяга (до 70%) рекомендуется переносить на первый зуб дорна, реализуя, например, логарифмическую схему распределения суммарного натяга.

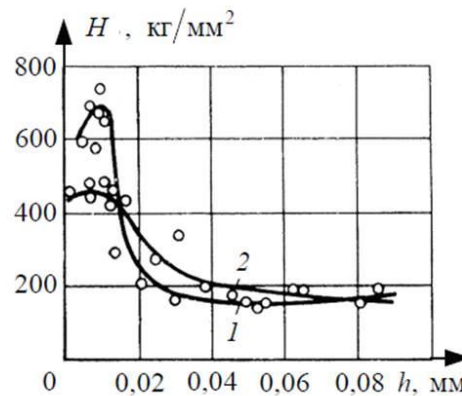
## Дорнование. Технология обработки

Дорнование	Обработка исходной поверхности	Рекомендуемые значения относительного натяга $i/d$ для деталей с соотношением $D/d$			
		До 1,3	1,3-1,5	1,5-1,7	1,7 и более
С малыми натягами	получистовая	0,06-0,08	0,03-0,06	0,01-0,03	0,005-0,008
	чистовая	0,009-0,03	0,008-0,01	0,006-0,008	0,003-0,005
С большими натягами					
свободное	черновая	0,11-0,13	0,09-0,11	0,07-0,09	
в упругой обойме	получистовая	0,05-0,1	0,05-0,09	0,04-0,08	

В зависимости от разновидности дорнования и вида предварительной обработки рекомендуются следующие величины относительного натяга для сталей, представленные в таблице. При этом, чем больше толщина стенки детали, тем меньше натяг необходимый для достижения упрочнения поверхности, чем грубее исходная поверхность, тем больше необходимый натяг для условий сглаживания микронеровностей. Свободное деформирование требует большего натяга, нежели чем в обоймах, т.к. сопротивление деформации стенки повышается.

## Дорнование. Влияние технологических факторов на характеристики качества

### Изменение микротвердости поверхностного слоя от скорости обработки для стали 5



Скорость дорна: 1 – 30 м/мин; 2 – 2 м/мин

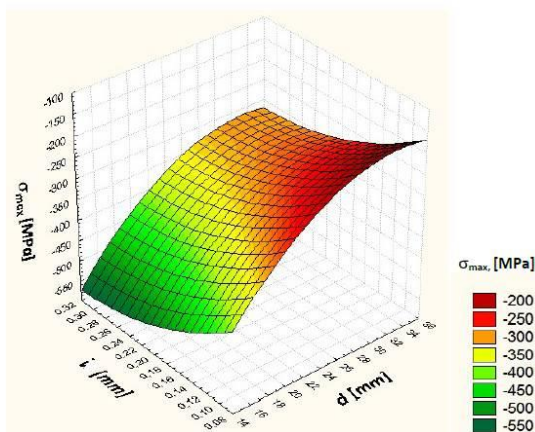
Трение между дорном и поверхностью обрабатываемого отверстия, возникающее при скольжении дорна, приводит к интенсивным сдвиговым деформациям, локализующимся в слое толщиной 0,1мм. Известно, что относительный сдвиг при этом может достигать 200%. Столь значительные деформации поверхностного слоя приводят к существенному повышению его микротвердости и формированию текстуры. Рост микротвердости поверхностного слоя после дорнования зависит от режима обработки и способности материала детали к упрочнению.

Скорость дорнования слабо влияет на качество обработанной поверхности, стойкость инструмента и энергосиловые параметры обработки. Она выбирается исходя из возможностей применяемого оборудования и, как правило, не превышает 30 м/мин. При обработке стали 5 со скоростью 30 м/мин (кривая 1) при давлении 300 Н/мм<sup>2</sup> степень упрочнения обработанного слоя выше и достигает 700 ед., а глубина его меньше, чем при скорости 2 м/мин. При этом увеличивается глубина разупрочненного слоя с пониженной микротвердостью, непосредственно прилегающего к поверхности. Хотя высокие скорости дают повышение производительности, но обработка на малых скоростях дает большую глубину упрочненного слоя и снижает величину разупрочненного слоя, примыкающего к поверхности.



## Дорнование. Влияние технологических факторов на характеристики качества

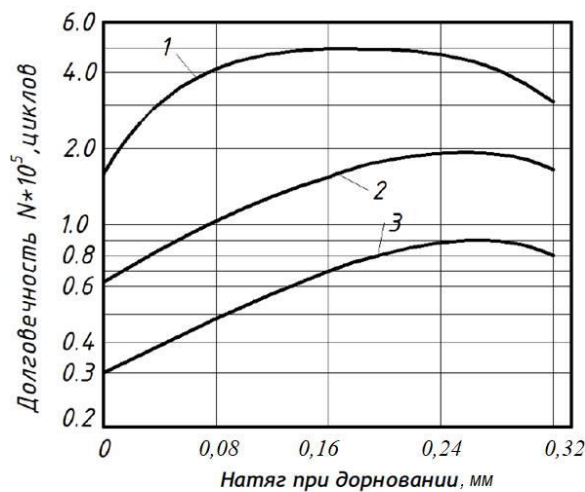
### Окружные остаточные напряжения сталь 45 при изменении диаметра шарика и натяга



Как правило, после обработки дорнованием, наибольшими по величине являются окружные остаточные напряжения сжатия. Остаточные напряжения после дорнования определяются в основном натягом дорнования, толщиной стенки, а также механическими свойствами их материала. Из практики обработки следует, что увеличение натяга приводит к возрастанию окружных остаточных напряжений по абсолютной величине. Окружные остаточные напряжения распределены вдоль оси отверстия неравномерно. В частности, при обработке отверстий в плитах наибольшие напряжения всегда наблюдаются в средней части отверстия, а наименьшие – у входа инструмента в отверстие. Увеличение толщины стенки и количества зубьев, а также уменьшение диаметра инструмента, так же сопровождается ростом всех компонентов остаточных напряжений.

Вместе с тем, что при дорновании в деталях создаются значительные остаточные напряжения, то в отдельных случаях они могут быть нежелательно высокими. Наибольшие из них могут быть близки к пределу текучести материала детали. Последующая обработка таких деталей будет сопровождаться нарушением равновесия остаточных напряжений, их перераспределением и, как следствие, изменением формы и потерей соответствующей точности. Поэтому их снижают различными методами – термическими или механическими. Обычно для этих целей в промышленности используют отжиг, холодное пластическое растяжение или сжатие (осадку).

## Дорнование. Влияние технологических факторов на характеристики качества



Растяжение при 1 –  $\sigma=120$  МПа; 2 –  $\sigma=150$  МПа; 3 –  $\sigma=180$  МПа

Дорнование применяется для упрочнения отверстий в плитах под болтовые соединения для того, чтобы снизить вероятность зарождения усталостной трещины в силовых элементах планера, влияющей на его ресурс. Точность отверстий под болтовое соединение после дорнования не выше 9-го качества. Это обусловлено, во-первых, разбросом величины исходных диаметров, и, во-вторых, отклонением от цилиндричности. Поэтому дорнование в качестве окончательной обработки отверстий под болты может применяться для посадок по 11-му – 12-му качествам. Для болтов, устанавливаемых по точным посадкам, после дорнования необходимо выполнить дополнительную обработку. Поэтому упрочнение таких отверстий под болты дорнованием осуществляется по следующему маршруту: сверление - развертывание с припуском под дорнование; протягивание или прошивание дорна через отверстие с припуском под окончательную обработку; калибрование отверстий или их развертывание по отклонению Н7. Протягивание дорна осуществляется с помощью протяжных машинок. Прошивание осуществляется с помощью пневмоскоб или с помощью пневмомолотков. Результаты испытания образцов из алюминиевого сплава В95 показали, что дорнование отверстий с относительным натягом 0,03-0,04 повышает долговечность образцов в 3 раза. Величина натяга при этом должна назначаться исходя из условия достижения заданной долговечности конструкции и с учетом величины напряжений от действия эксплуатационных нагрузок. При этом окончательная обработка осуществлялась развертыванием до Н7 с припуском 0,02 мм для отверстия диаметром 8 мм при шероховатости поверхности до Ra1.6.