

верхностях. Если экстраполировать эти результаты на внутреннюю область охлаждаемых лопаток, то в силу наличия многих концентраторов, как это следует из расчетов, выполненных методом конечных элементов, можно ожидать повышения уровня остаточных напряжений сжатия в местах резких переходов до величин $\sigma_0 = (500-700)$ МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гецов Л. Б. Детали газовых турбин (материалы и прочность). Л.: Машинное строительство, 1982. 296 с.

Самарский государственный технический университет

УДК 621.787.4

В. Ф. СКВОРЦОВ, А. Ю. АРЛЯПОВ

КОНТАКТНЫЕ ДАВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ДОРНОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ В ЗАГОТОВКАХ С БЕСКОНЕЧНОЙ ТОЛЩИНОЙ СТЕНОК

Изложены методика и результаты экспериментальных исследований средних контактных давлений и параметров шероховатости поверхности при дорновании отверстий в заготовках с бесконечной толщиной стенок, даны рекомендации по выбору режимов дорнования отверстий малого диаметра.

Для обоснованного выбора режимов дорнования отверстий и расчета инструмента на прочность необходимо располагать сведениями о нормальных давлениях, возникающих в контакте рабочего конуса инструмента с обрабатываемой заготовкой (контактных давлениях). Имеющиеся в литературе данные о средних контактных давлениях в процессе дорнования отверстий в заготовках с бесконечной толщиной стенок ограничены [1]. Они относятся к обработке отверстий сравнительно большого диаметра ($d=32$ мм) с малыми натягами на зуб инструмента ($a=0,02...0,05$ мм) и с малыми суммарными относительными натягами ($\Sigma a/d \leq 0,01$).

Между тем в последнее время нами показано [2], что дорнование отверстий малого диаметра ($d=1...3$ мм) в заготовках с бесконечной толщиной стенок может осуществляться с суммарными относительными натягами до $\Sigma a/d=0,05...0,07$, обеспечивая повышение точности отверстий с учетом погрешностей формы с 11...12 до 6...7 квалитетов. В связи с этим значительный интерес представляет изучение контактных давлений в более широком диапазоне изменения режимов и условий дорнования, а также изучения связи контактных давлений с параметрами качества поверхностного слоя обработанных отверстий.

Исследования проводили на заготовках из сталей 20 (НВ120), 45 (НВ170), сплава Д16Т (НВ130) и меди М1 (НВ47) с диаметрами отверстий 15, 8, 3 и 1,2 мм и их глубиной не менее $3d$. Отверстия диаметром 15 и 8 мм растачивали; отверстия диаметром 3 и 1,2 мм получали сверлением, а затем для обеспечения высокой точности и малой шероховатости

поверхности их подвергали многоциклового дорнованию. После такой обработки все заготовки отжигали в вакууме.

Дорнование отверстий выполняли однозубыми прошивками из стали ШХ15 (HRC_э 62...64), углы рабочего и обратного конусов которых составляли 6°, а ширина цилиндрической ленточки – 1 мм. Рабочие поверхности прошивок тщательно притирали, обеспечивая минимальный радиус перехода рабочего конуса к цилиндрической ленточке и шероховатость поверхности, соответствующую параметру R_a ≤ 0.04 мкм. В качестве смазочных материалов при дорновании отверстий использовали: жидкость МР-7 (стальные заготовки), МР-7 с дисульфидом молибдена (заготовки из сплава Д16Т), масло АМГ-10 (заготовки из меди М1). Дорнование отверстий осуществляли на испытательной машине ИР 5057-50 со скоростью 20 мм/мин.

Контактные давления определяли по формуле [1]

$$q_N = \frac{P}{\pi d_c L_\phi (\sin \alpha + f \cos \alpha)}, \quad (1)$$

где P – усилие дорнования; d_c – диаметр рабочего конуса посреди ширины контакта; L_φ – фактическая ширина контакта рабочего конуса с заготовкой; α – половина угла рабочего конуса; f – коэффициент трения.

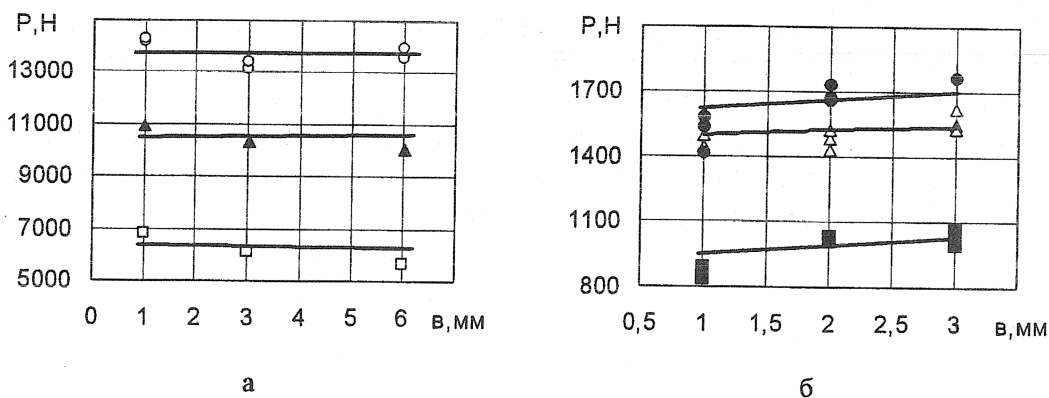


Рис. 1. Зависимости усилий дорнования отверстий в заготовках из стали 45 от ширины цилиндрической ленточки инструмента: а - d=15мм; б - d=3мм; □ - a=0,03мм; ▲ - a=0,145; ○ - a=0,217 мм; ■ - a=0,02мм; △ - a=0,06мм; ● - a=0,08мм

Правомерность использования этой формулы (в части приравнивания усилия дорнования усилию на рабочем конусе) подтверждают результаты измерения усилия дорнования в зависимости от ширины цилиндрической ленточки инструмента (рис. 1). Как следует из рис. 1, силы трения на цилиндрической ленточке невелики и при ее ширине до 1 мм не превышают 5% от усилия дорнования.

Фактическую ширину контакта L_φ при диаметре отверстия 8 и 15 мм измеряли методом абразивосодержащих пятен [1], которые наносили в средней (по глубине) части отверстий. В качестве абразива использовали микропорошок электрокорунда белого 25А зернистостью 14...28 мкм. Для вдавливания абразивных зерен в поверхностный слой отверстий их подвергали трехциклового дорнованию с суммарным натягом 0,06...0,08 мм. После этого абразивосодержащее пятно имело диаметр 3...4 мм и выступало над поверхностью отверстия на 1...2 мкм. Подготовленные таким образом заготовки и использовали

для определения L_{ϕ} , за которую принимали длину оставляемых абразивсодержащим пятном царапин на рабочем конусе за вычетом поправки, обусловленной возвышением пятна над поверхностью отверстия.

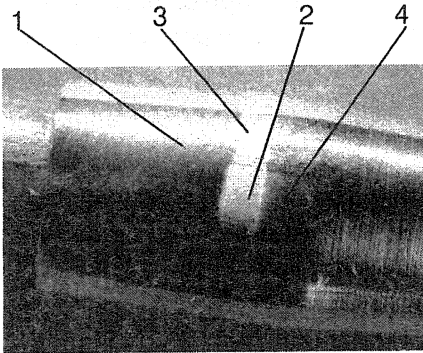


Рис.2. Фотография рабочей части инструмента: 1 - рабочий конус; 2 - цилиндрическая ленточка; 3 - естественный след контакта; 4 - царапины от абразивсодержащего пятна

Недостатками этого метода определения L_{ϕ} является то, что заготовка обязательно подвергается предварительной пластической деформации, а также то, что его трудно использовать при малом диаметре отверстия.

Выполненные нами исследования показали, что при дорновании отверстий в стальных заготовках стальным инструментом величина L_{ϕ} может быть найдена другим, не имеющим указанных недостатков, методом – по естественному следу контакта, формирующемуся на рабочем конусе инструмента. Причем оба метода определения L_{ϕ} дают практически одинаковые результаты (рис.2).

На рис.3 представлены зависимости фактической и геометрической ширины контакта рабочего конуса инструмента с заготовкой ($L_r = a/2\sin\alpha$) от фактического натяга при одноцикловом и многоцикловом дорновании (ОЦД и МЦД) отверстий разного диаметра в заготовках из различных материалов. Видно, что фактическая ширина контакта определяется, главным образом, фактическим натягом дорнования и почти не зависит от материала заготовок, диаметра отверстия и числа циклов дорнования. При натягах до 0,1 мм фактическая ширина контакта совпадает с геометрической; при больших натягах она становится несколько меньше L_r . Статистическая обработка результатов измерений (рис.3) позволила получить уравнение регрессии $\bar{L}_{\phi} = f(a)$, которое имеет вид:

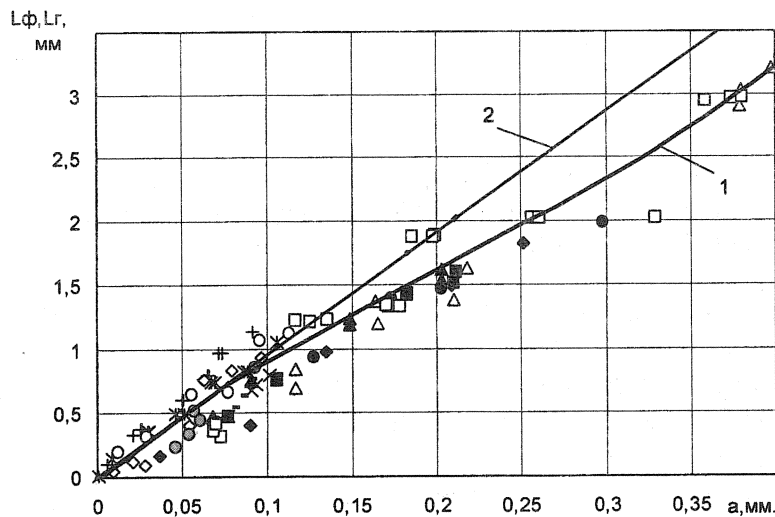


Рис.3. Зависимости фактической (1) и геометрической (2) ширины контакта рабочего конуса инструмента с заготовкой от натяга дорнования. Метод абразивсодержащих пятен: ■ - сталь 45, d=8 мм, ОЦД; × - сталь 45, d=8 мм, МЦД; △ - сталь 20, d=15 мм, ОЦД; ▲ - сталь 20, d=8 мм, ОЦД; ▣ - сталь 20, d=8 мм, МЦД; ◆ - сплав Д16Т, d=8 мм, ОЦД; ● - медь М1, d=8 мм, ОЦД; ○ - медь М1, d=8 мм, МЦД. Метод естественного следа контакта: □ - сталь 45, d=15 мм, ОЦД; ○ - сталь 45, d=3 мм, ОЦД; ◇ - сталь 45, d=1,2 мм, ОЦД; * - сталь 20, d=3 мм, ОЦД; + - сталь 20, d=1,2 мм, ОЦД

$$\bar{L}_\phi = 44,076a^3 - 24,939a^2 + 10,695a + 0,0278. \quad (2)$$

Экспериментально установленные зависимости усилий дорнования от натягов ($a, \Sigma a$), которые использовали при расчете контактных давлений по формуле (1), аппроксимировали степенными функциями. Значения коэффициентов трения считали не зависящими от контактных давлений. В соответствии со справочными данными [3] было принято: $f=0,07$ (заготовки из сталей 20 и 45); $f=0,08$ (заготовки из меди М1). Ширину контакта L_ϕ находили по уравнению (2).

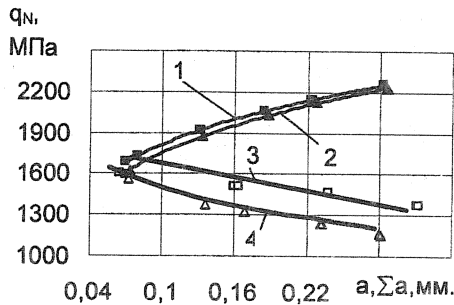


Рис.4. Зависимости средних контактных давлений от натяга при дорновании отверстий диаметром 15 мм в отожженных заготовках: 1 - сталь 45, МЦД; 2 - сталь 20, МЦД; 3 - сталь 45, ОЦД; 4 - сталь 20, ОЦД

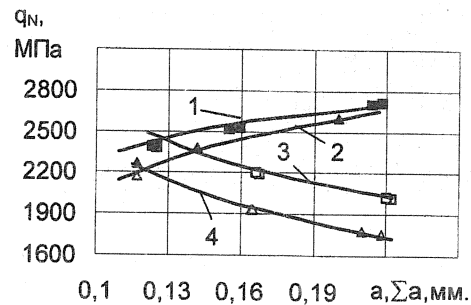


Рис.5. Зависимости средних контактных давлений от натяга при дорновании отверстий диаметром 15 мм в предварительно упрочненных заготовках: 1 - сталь 45, МЦД; 2 - сталь 20, МЦД; 3 - сталь 45, ОЦД; 4 - сталь 20, ОЦД

Результаты исследования средних контактных давлений приведены на рис.4...7, из которых видно, что они очень существенно зависят от механических свойств материала заготовок и режимов дорнования отверстий.

С повышением механических свойств (твердости, предела текучести) материала заготовок, в том числе и за счет их предварительной пластической деформации (см.рис.4 и 5), уровень контактных давлений возрастает.

При одноцикловом дорновании отверстий с увеличением натяга (a) контактные давления падают, причем наиболее интенсивно в области малых натягов. Это объясняется тем, что с повышением натяга фактическая ширина контакта растет быстрее, чем усилие дорнования. Необходимо подчеркнуть, что ранее подобная закономерность изменения контактных давлений от натяга была установлена для случая дорнования отверстий в заготовках с конечной толщиной стенок [1].

Основываясь на результатах исследований (рис.4...7), можно полагать, что в общем случае характер зависимости контактных давлений от суммарного натяга при многоцикловом дорновании в значительной степени будет определяться натягом на зуб инструмента. При этом контактные давления с увеличением Σa (в зависимости от a) могут расти (рис.4...6), оставаться практически постоянными или падать.

При многоцикловом дорновании отверстий с увеличением суммарного натяга при натягах на

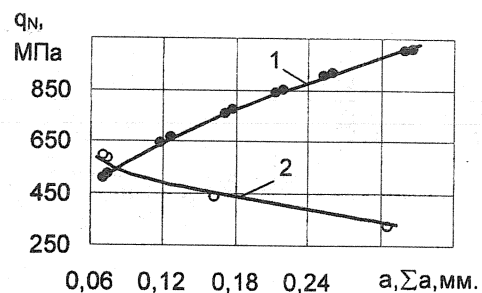


Рис.6. Зависимости средних контактных давлений от натяга при дорновании отверстий диаметром 15 мм в отожженных заготовках из меди М1: 1 - МЦД; 2 - ОЦД

зуб (прошивку) 0,04...0,06 мм контактные давления возрастают, причем в тем большей степени, чем выше упругость материала, и достигают очень высоких значений - 6...8 пределов текучести материала заготовки (рис.4...6). Еще более высокий уровень контактных давлений может быть обеспечен при уменьшении натяга на зуб до 0,01 мм (рис.7). Отметим, что эти данные в целом находятся в удовлетворительном соответствии с результатами экспериментальных исследований, приведенными в работе [1].

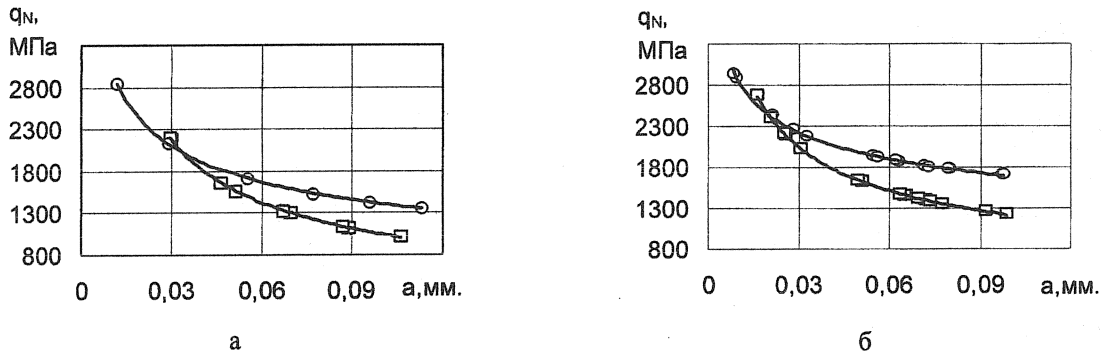


Рис.7. Зависимости средних контактных давлений от натяга при одноцикловом дорновании отверстий диаметром 3 мм (а) и 1,2 мм (б) в отожженных заготовках из сталей 20 и 45: □ - сталь 20; ○ - сталь 45

Установленные закономерности изменения контактных давлений в зависимости от режима дорнования отверстий в заготовках с бесконечной толщиной стенок хорошо согласуются с результатами исследования шероховатости поверхности отверстий (рис.8). При одноцикловом дорновании отверстий с увеличением натяга (a) параметр шероховатости поверхности R_a сначала снижается, затем стабилизируется и даже несколько возрастает. При многоцикловом дорновании отверстий с увеличением суммарного натяга Σa параметр R_a монотонно уменьшается и достигает весьма малых значений, которые оказываются (при $a = \Sigma a$) примерно на порядок меньше, чем при одноцикловом дорновании. Так, после расточки отверстий диаметром 15 мм в заготовках из стали 45 параметр R_a в среднем составлял 3,95 мкм (рис.8а). После одноциклового дорнования с натягом 0,28 мм он снизился до 1,9 мкм. После многоциклового дорнования с таким же суммарным натягом и натягами на зуб 0,04...0,07 мм параметр R_a уменьшился до 0,28 мкм.

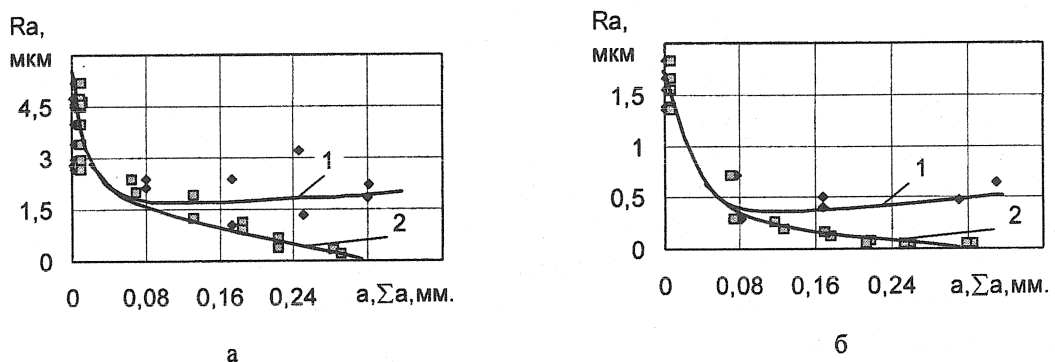


Рис.8. Зависимости параметра шероховатости R_a от натяга при дорновании отверстий диаметром 15 мм в заготовках из стали 45 (а) и меди М1 (б): 1 - ОЦД; 2 - МЦД

При дорновании отверстий малых диаметров, когда приходится ограничиваться применением однозубых прошивок, для обеспечения высокой точности и качества поверхно-

сти отверстий при наибольшей производительности представляется целесообразным большую часть суммарного натяга переносить на первую прошивку. Тогда последующие прошивки будут работать с малыми натягами, что позволит обеспечить высокий уровень контактных давлений и даст возможность получить высокое качество обработанной поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. -Киев: Наукова думка, 1990. -320 с.
2. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю., Брюханцев Е.С. Точность отверстий малых диаметров, обрабатываемых дорнованием твердосплавными прошивками в заготовках с бесконечной толщиной стенок. - В сб. «Механика и машиностроение». -Томский политехнический университет, Томск, 2000, с.24-27.
3. Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т. Трение и смазки при обработке металлов давлением: Справочник. -М.:Металлургия, 1982. -312 с.

Томский политехнический университет

УДК 621.787.4

В.Ф.СКВОРЦОВ, А.Ю.АРЛЯПОВ, В.В.СКВОРЦОВ

ДОРНОВАНИЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА В ЗАГОТОВКАХ С БЕСКОНЕЧНОЙ ТОЛЩИНОЙ СТЕНОК

Описана разработанная авторами технологическая оснастка для дорнования глубоких отверстий малого диаметра, рассмотрены особенности функционирования соответствующих технологических систем, приведены экспериментальные данные по качеству поверхностного слоя и точности отверстий.

К глубоким отверстиям малого диаметра ($d=1...5$ мм, $l/d \leq 100$, где l – глубина отверстия), имеющимся в некоторых деталях машин и приборов, предъявляются высокие требования по параметрам качества поверхностного слоя и точности. Обеспечение этих требований непосредственно при глубоком сверлении, электрохимическом или электроэрозионном прошивании является затруднительным. В связи с этим большой интерес представляет изучение возможностей отделочно-упрочняющей обработки таких отверстий дорнованием.

Приспособление и инструмент для дорнования отверстий

В основу конструкции приспособления (рис.1) положена схема прошивания отверстия однозубой прошивкой, перемещаемой цилиндрическим толкателем, который поддерживается специальными направляющими. По сравнению с ранее созданной конструкцией [1, 2], это приспособление характеризуется гораздо более высокой производительностью и надежностью.