

жения сжатия величиной до 700 МПа, повышается микротвердость металла основы на 15–20%. Таким образом, происходит формирование антифрикционно-упроченного поверхностного слоя с высокими триботехническими характеристиками: происходит повышение износостойкости и задиростойкости соответственно в 3 и 10 раз, снижение времени приработки трущихся деталей до 5 раз, коэффициента трения в 1,5–2 раза. Кроме того повышается стойкость резца в 1,5–2 раза, деформирующего элемента (шарика) более 10 раз и производительность обработки в 3–4 раза за счет совмещения операций технологического процесса. Точность заготовки повышается на 3–4 квалитета.

**В.М. Сорокин, С.С. Танчук**

*ФГОУ ВПО «ВГАВТ»*

**Н.М. Тудакова, А.В. Михеев, В.В. Михеев**

*НГТУ им. П.Е. Алексеева*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРОВ ДОРНОВАНИЕМ**

Рассматривается новый технологический процесс финишной обработки внутренних цилиндрических поверхностей дорнованием

Прогрессивным методом финишной обработки внутренних цилиндрических поверхностей (ВЦП) деталей является поверхностное дорнование.

Инструмент – дорн, перемещаясь вдоль образующей отверстия заготовки обеспечивает за счет натяга 0,05–0,15 мм сглаживание микронеровностей, формирование новой структуры и упрочнение поверхностного слоя, образование остаточных сжимающих напряжений, при этом обеспечивается высокая точность (6–8 квалитет) отверстий и шероховатость  $R_a < 0,3$  мкм. Такие параметры качества можно получать при обработке отверстий до 100 мм.

В целях совершенствования процесса дорнования, расширения его технологических возможностей, повышения производительности и улучшения триботехнических характеристик обрабатываемых поверхностей, особенно при изготовлении длинномерных деталей из труднообрабатываемых материалов, работающих в условиях трения изнашивания, предложен новый процесс дорнования (деформирующего протягивания) и комбинированные инструменты для его осуществления.

На рис. 1 показана схема одного из них (патент РФ № 109689 на полезную модель, Бюл. № 30, 2011). Основными отличительными особенностями данного комбинированного инструмента является наличие на заборном конусе 1 кольцевой канавки 2, радиальных каналов 3, а на конусе, примыкающем к цилиндрическому пояску (зона 5) и самом пояске, синусоидальных канавок 6 с напльвами по краям, соизмеримыми с глубиной канавок, и выточками (прорезями), выполненными равномерно по окружности дорна в напльвах (не показаны). Для обработки дорн монтируется на оправку 7 с осевыми каналами 8 (впаянные трубки) для подвода технологических жидкостей.

При обработке ВЦП цилиндров, гильз для придания им высоких триботехнических свойств в зону обработки под давлением подается раствор антифрикционной смеси (РАС), в состав которой входят мелкодисперсные порошки антифрикционных материалов, например дисульфид молибдена, медь, латунь, олово (до 15%), уксусная и плавиковая кислоты, мочевины, глицерин (до 70%), вода (10%). При поступательном движении дорна в зоне контакта между поверхностью заготовки и деформирующими элементами, в результате возникающих высоких удельных давлений (до 8000 МПа) и температур (до 1000°C) возникают физико-химические реакции, происходит диффу-

зионное проникновение элементов антифрикционных материалов вглубь металла основы, на поверхности заготовки наблюдаются структурно-фазовые изменения, образуя, таким образом, антифрикционно-упрочненный поверхностный слой (АУПС) металла с тонкой текстурой.

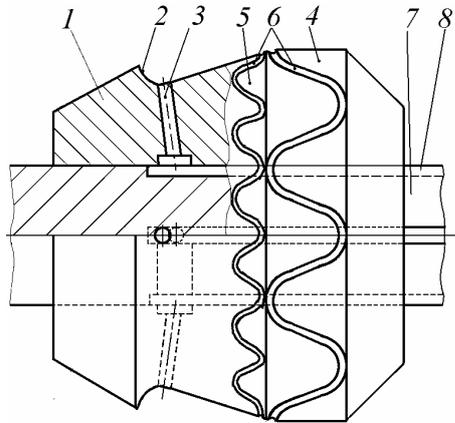


Рис. 1. Дорн для формирования АУПС

Механизм формирования антифрикционного поверхностного слоя при дорновании заключается в следующем: деформирующий элемент под действием нормальной силы  $q_{\text{рад}}$  внедряется в обрабатываемую поверхность в режиме скольжения со скоростью  $v_{\text{дорн}}$ . Выдавленный деформирующим элементом материал заготовки образует волну (зоны Б, В) по краям очага деформации (рис. 2). В пределах волны поверхностный слой получает прогиб в связи с выпучиванием и сдвигом и испытывает деформацию растяжения с соответствующим его удлинением. В зоне волны формируется активная дислокационная структура с высокими растягивающими напряжениями, что увеличивает химическую активность поверхности. Максимальные растягивающие напряжения возникают на гребне волны, и в этом случае химическая активность поверхности еще больше (на порядок) повышается. В этих условиях частицы антифрикционного материала суспензии интенсивно взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью и образуют пленки из антифрикционных материалов. Происходящие при этом реакции подчиняются законам неравновесной термодинамики и приводят к образованию более прочных, чем в обычных условиях, связей между образовавшимися пленками покрытия и основой (заготовкой).

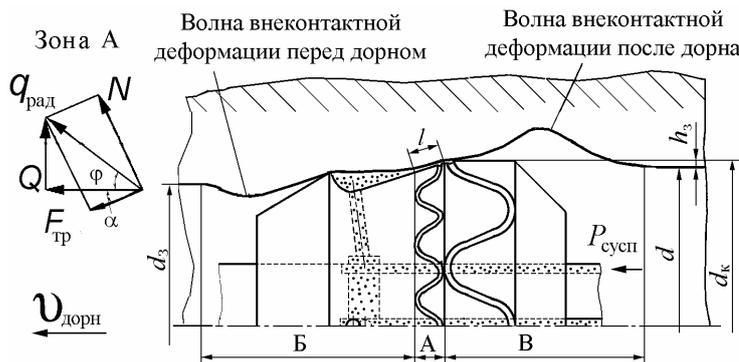


Рис. 2. Схема образования волн внеконтактной деформации при дорновании с суспензией

В зоне А контакта и цилиндрическом пояске с синусоидальной канавкой также протекают сложные физико-механо-химические процессы между материалом основы и антифрикционными элементами суспензии под действием следующих технологических факторов обработки, изменяющих условие трения в зоне контакта: натяга на деформирующий элемент дорна, его геометрических элементов (канавок, наплывов), радиального контактного давления, величины предварительной шероховатости, величины давления суспензии. Эти факторы влияют и на величину волны внеконтактной деформации. Синусоидальные канавки улучшают условия смазывания контактирующих поверхностей, снижая коэффициент трения и усилие дорнования, которые обеспечиваются гидродинамическим эффектом суспензии, возникающим при определенных соотношениях эффективной вязкости и обрабатываемых свойств металла, геометрии инструмента и частиц суспензии, скорости движения дорна и принудительной подачи суспензии в зону очага деформации. Отсюда силу трения можно выразить:

$$\tau = T_{ж} + T_{г-п} = \gamma\eta dv_{см} / dh + \mu q(1 - \gamma), \quad (1)$$

где  $T_{ж}$  – жидкостное трение;  $T_{г-п}$  – граничное полусухое трение;  $\mu$  – коэффициент трения;  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости жидкости;  $v_{см}$  – скорость втекания суспензии;  $dh$  – толщина слоя суспензии;  $q$  – давление суспензии;  $\gamma$  – коэффициент непрерывности слоя суспензии.

Натяг  $a$  на деформирующий элемент дорна, влияет на величину контактной площади касания  $S_k$ , которая для каждого конкретного случая берется с профилограмм поверхности. Чтобы проследить за изменением опорной поверхности в диапазоне натяга ( $a$  от 0 до  $n$ , мм) целесообразно аппроксимировать ее синусоидой в  $n$ -ой степени, с учетом того, что сближение тел от соприкосновения по вершинам до насыщения контактной поверхности равно не величине  $R_{max}$ , а только некоторой ее части.

$$S_k = S_{k0} + \Delta S_{ki} \approx 2 \left\{ 1 - \sin^n \left[ \frac{\pi}{2} (1 - \delta_i) \right] \right\}, S_k \leq 1, \quad (2)$$

где  $S_{k0}$  – начальная площадь касания,  $\Delta S_{ki}$  – изменение площади касания,  $n$  – характеризует параметр опорной шероховатости поверхности (например, для симметричной  $n=2$  и т.п.),  $\delta_i$  – сближение в контакте:

$$\delta_i = h \frac{q_{рад} (1 - \mu^2)}{2E}, \quad (3)$$

где  $E$  – модуль Юнга,  $h$  – высота неровностей шероховатости предварительно обработанной поверхности,  $q_{рад}$  – радиальное контактное давление, полученное из соотношения сил (рис. 2, зона А):

$$q_{рад} = \frac{Q}{\pi d \cdot l} \cdot \text{tg}(90^\circ - \alpha - \varphi), \quad (4)$$

где  $Q$  – сила деформирующего протягивания,  $l$  – действительная ширина контакта (причем  $l < l_2$ , где  $l_2$  – геометрическая ширина контакта),  $\alpha$  – угол рабочего конуса дорна ( $\alpha = 3 \div 4^\circ$ );  $\varphi$  – угол трения ( $\varphi = \arctg \mu$ , где коэффициент трения  $\mu = 0,15 \div 18$ ).

На практике волны внеконтактной деформации при дорновании можно измерить при остановке дорна в процессе обработки, или в процессе работы дорна применением специальных чувствительных элементов (игл, тензодатчиков и т.п.)

В результате данной обработки формируется антифрикционно-упрочненный поверхностный слой толщиной  $0,1 \div 0,3$  мм с глубиной проникновения антифрикционных элементов  $0,010 \div 0,025$  мм, шероховатость поверхности  $R_a = 0,25 \div 0,4$  мкм, остаточными напряжениями сжатия  $\sigma_{ост} = 300 \div 800$  МПа.

**В.М. Сорокин, С.С. Танчук**

*ФГОУ ВПО «ВГАВТ»*

**Н.М. Тудакова, А.В. Михеев, В.В. Михеев**

*НГТУ им. Р.Е. Алексеева*

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ТРУЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВАЛОВ КОМБИНИРОВАННЫМ ИНСТРУМЕНТОМ**

Рассматриваются различные технологические способы одновременного раздельного воздействия смазочно-охлаждающей жидкости и раствора антифрикционной смеси в зону резания и поверхностной пластической деформации

В различных отраслях машиностроения наиболее важными являются задачи повышения производительности труда и качества изделий. При этом все большее применение приобретают комбинированные методы обработки, так как они высокопроизводительны и позволяют получить высокое качество обрабатываемых поверхностей деталей. Особое место среди известных комбинированных процессов обработки занимает метод антифрикционно-деформационной обработки (метод КАДО или КАУО), который обеспечивает наибольшую производительность и качества упрочнения за счет совмещения различных операций обработки, в том числе с нанесением антифрикционных покрытий и реализуется на сравнительно простом оборудовании.

Применение комбинированных многофункциональных инструментов (см. статья авторов в данном сборнике) позволяет значительно повысить производительность обработки за счет увеличения минутных подач (скорость вращения детали 150–180 м/мин, подача 0,3–0,5 мм/об); шероховатость обработанной поверхности обеспечивается в пределах  $R_a = 0,32 \div 0,63$  мкм при точности обработки 7–8 квалитет. В то же время производительность, стойкость инструментов и качество обработки (шероховатость, напряженное состояние и т.п.) в значительной степени будет зависеть от подачи в зону обработки смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), либо раствора антифрикционной смеси (РАС) в случае нанесения на рабочую поверхность антифрикционного покрытия, которые, как правило, подаются открытым способом (поливом). Примерами такой совмещенной комбинированной обработки (СКО) могут служить способы и устройства (инструменты), реализуемые с помощью а.с. № 977139, Б. №44, 1982; № 1682147, Б. № 37, 1991 и др. Данные устройства содержат резцовые блоки, сепаратор с деформирующими роликами (шариками), камеру для приема и распределения с помощью канавок (каналов) в сепараторе (втулках) СОЖ к режущим и деформирующим инструментам. Такой способ подачи СОЖ или РАС, а иногда того и другого одновременно, не всегда обеспечивает требуемое количество обработки, эффективное охлаждение одновременно обрабатываемых двух и более инструментов и направленный отвод стружки из зоны резания, что снижает стойкость инструментов и производительность обработки. Все это свидетельствует о необходимости совершенствования совмещенных способов комбинированной обработки, позволяющих повысить стойкость инструментов, показатели качества обрабатываемой поверхности и производительность обработки.