

4. Адаптивное управление геометрией инструмента в процессе обработки.

Инструмент представляет собой, как правило, жесткое звено технологической системы и не изменяет формы, размеров или основных геометрических параметров в процессе обработки. Только в некоторых случаях инструмент перенастраивается для осуществления вспомогательных функций, таких, например, как раскрытие резбонарезной или резбонакатной головки по окончании процесса обработки резьбы для осуществления отвода инструмента от заготовки без свинчивания. При этом в процессе обработки головка представляет собой жесткое (неперестраиваемое) звено технологической системы. Исключением являются лишь применяемые в горном и нефтегазовом машиностроении трубонарезные и муфтонарезные патроны, работающие по определенной программе радиального отвода резьбовых гребенок с целью получения заданной конусности резьбы. Традиционный подход к проектированию и использованию инструментов в технологии механической обработки приводит к тому, что все функции поднастройки в процессе обработки, например, с целью увеличения точности изделия или с другой необходимой целью, передаются станку или приспособлению и они для этого оснащаются достаточно сложными автоматическими устройствами, работающими либо по жесткой программе, либо в адаптивном режиме. Примером являются коррекционные линейки, используемые как постоянный программноноситель, корректирующий погрешности шага ходового винта, благодаря чему повышается точность шага обрабатываемой резьбы. Адаптивные системы станка, поднастраивающие его в процессе снятия стружки по мере возникновения как систематических, так и случайных погрешностей формы детали, представляют собой сложные устройства автоматического регулирования.

Исследования показали, что функции металлообрабатывающих инструментов в технологической системе могут быть существенно расширены. Рассмотрим примеры, подтверждающие это положение.

При накатывании резьб с использованием резбонакатных головок всегда имеет место накопление шаговой ошибки. При этом знак накопленной ошибки шага может быть либо только положительным, либо только отрицательным. Это явление – органическое свойство и органический недостаток этого вида механической обработки. Исследованиями установлено, что величина и знак образующейся ошибки шага зависят от множества разнообразных факторов, предусмотреть которые заблаговременно не

представляется возможным. В частности, это – разнообразие и разброс физико-механических свойств обрабатываемых материалов, форма заготовки, условия деформации, режимы обработки, параметры резьбы и т. д. Установлено также, что использование принудительной подачи инструмента вместо обычной подачи самозатягиванием с целью повышения точности шага недопустимо. Исследования показали, что, изменяя геометрию инструмента – угол перекрещивания μ осей роликов и заготовки, можно влиять на величину единичного накатываемого шага P (таблица), уменьшая таким образом суммарную ошибку шага.

Влияние угла перекрещивания осей роликов и заготовки μ на погрешность шага резьбы

Таблица

Накатываемая резьба	Угол перекрещивания осей μ , град.	Суммарный шаг, мм, на длине $n \times P$ шагов			
		10P	25P	50P	75P
Резьба Tr 20 x 4 мм (по стали 40X)	2°30'	39,84	99,28	198,65	298,18
	4°30'	39,97	99,83	199,74	299,42
	6°30'	40,36	100,87	201,28	301,87

На основе возможности влияния на точность шага накатываемой резьбы изменением угла перекрещивания осей роликов и заготовки были созданы в различных странах специальные типы резьбонакатных головок с регулируемым углом установки роликов, что позволило за счет дискретного подбора угла μ уменьшать ошибку шага резьбы путем отработки ошибки при подбираемом оптимальном значении μ и отчасти решать задачу повышения точности резьбы при накатывании. Для некоторых резьбовых деталей такое технологическое решение является весьма эффективным и полностью решает задачу. Вместе с тем оно не решает задачи в принципе, так как накопление ошибки шага, хоть и уменьшенное, имеет место как органическое свойство процесса. Этот недостаток становится весьма существенным препятствием при обработке длинномерных винтов, винтов для передачи точных перемещений и, в большинстве случаев, не позволяет расширить область использования резьбонакатывания как окончательного высокопроизводительного процесса или предварительного процесса обработки длинных резьб под последующее после термообработки резьбошлифование.

Эта технологическая задача, направленная на расширение возможностей процесса резьбонакатывания, решена благодаря обоснованию и созданию инструментов качественно нового типа – инструментов с адаптивным управлением собственной геометрией в процессе обработки. В основу конструкции инструментов положена их способность самонастраиваться по какому-либо выбранному геометрическому параметру

в процессе обработки каждой конкретной детали в зависимости от величины и знака систематических или случайных погрешностей, образующихся в процессе обработки.

На рис. 1 показан вариант обработки точных по шагу винтов осевой резьбонакатной головкой с адаптивным управлением геометрией инструмента.

Инструмент устанавливается на суппорте станка, осевая подача осуществляется принудительно от ходового винта. Заготовка закрепляется в патроне. Внутренняя часть конструкции головки (на рисунке – передний и задний диски, накатывающие ролики с кольцевой резьбой и другие, связанные с ними детали) свободна в осевом направлении относительно корпуса инструмента. Палец заднего диска входит в винтовой паз корпуса (вид А). При накатывании головка подается на заготовку в осевом направлении принудительно от ходового винта, с подачей S , мм/об, равной шагу обрабатываемой резьбы. Захватив вращающуюся заготовку, ролики начинают вращаться и поступательно перемещаться вдоль оси заготовки самозатягиванием за счет навинчивания роликов на обрабатываемый винт, при этом величина осевого перемещения за один оборот заготовки ($S \pm \delta S$) не равна настроенной по ходовому винту станка осевой подаче и шагу обрабатываемой резьбы, по причине образующейся на заготовке погрешности шага. Это приводит к рассогласованию осевых перемещений корпуса и осевых перемещений роликов, а именно к опережению или отставанию заднего диска относительно корпуса, что используется в качестве сигнала для автоматической поднастройки инструмента. В рассматриваемом случае показано простейшее решение по преобразованию сигнала рассогласования в подрегулировочное движение. Перемещение заднего диска вперед относительно корпуса (что вызывается накоплением ошибки шага изделия в положительную сторону) приводит к взаимодействию пальца с винтовым пазом корпуса и повороту заднего диска вокруг оси. Такой поворот диска изменяет в меньшую (относительно μ_{cp}) сторону угол перекрещивания осей до μ_1 , благодаря чему изменяется в меньшую сторону и величина накатываемого шага. Образующееся в последующем уменьшение шага вновь приводит к осевому перемещению заднего диска (в этом случае – в глубь корпуса), что увеличивает угол перекрещивания до μ_2 и, как следствие, увеличивает шаг накатываемой резьбы. Инструмент, таким образом, постоянно автоматически саморегулируется в процессе обработки в зависимости от образующейся погрешности изделия, в данном случае по выбранному параметру – шагу резьбы.

Происходящие процессы проиллюстрированы графическим построением возникающих перемещений, показанным на рис. 1. Идеальному теоретическому перемещению роликов за каждый оборот заготовки на величину шага резьбы P соответствует сплошная прямая линия.

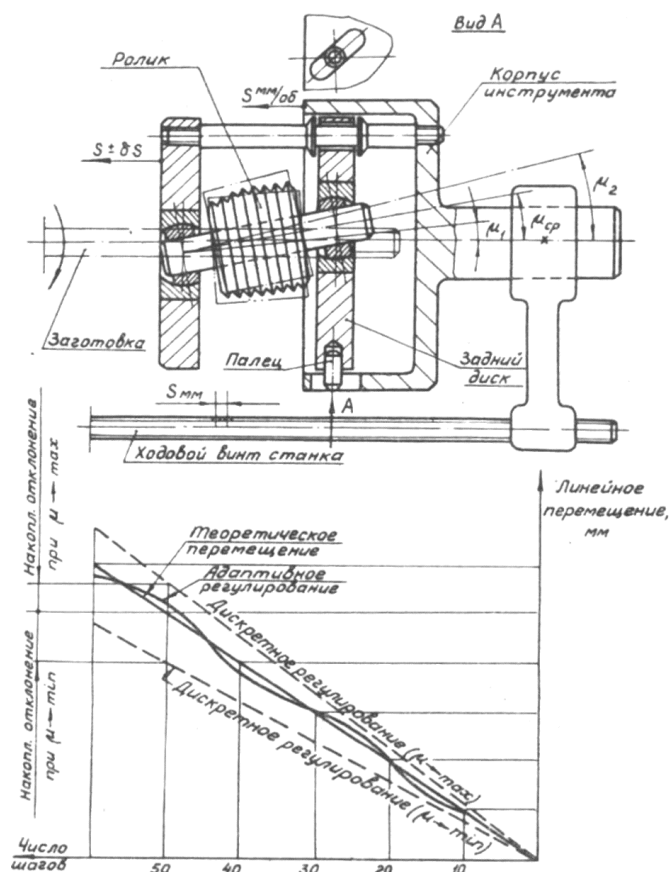


Рис. 1. Вариант обработки точных по шагу винтов на токарном станке осевой резбонакатной головкой с адаптивным управлением геометрией инструмента.

При дискретном регулировании шага резьбы (при предварительно подбираемой пробным накатыванием и затем фиксируемой в инструменте жесткой установке μ) происходит накопление ошибки шага резьбы либо в отрицательную сторону (при $\mu \rightarrow \text{min}$), либо в положительную сторону (при $\mu \rightarrow \text{max}$). Возникающие перемещения графически приобретают вид пунктирных линий, которые постепенно расходятся с теоретической прямой по мере увеличения длины обрабатываемой резьбы. Адаптивное регулирование геометрией инструмента описывает возникающие перемещения в виде волнистой линии, располагающейся около теоретической прямой, что свидетельствует об исключении накопления ошибки шага.

Адаптивное управление геометрией инструмента в процессе обработки может закладываться не только по параметру, приводящему к образованию недопустимой погрешности. Исследования показали, что самоподладка инструментов эффективна и в других самых разных вариантах. Тангенциальные резбонакатные головки, широко применяются для обработки резьб на токарных автоматах и других станках. Работают инструменты по схеме, показанной на рис. 2.

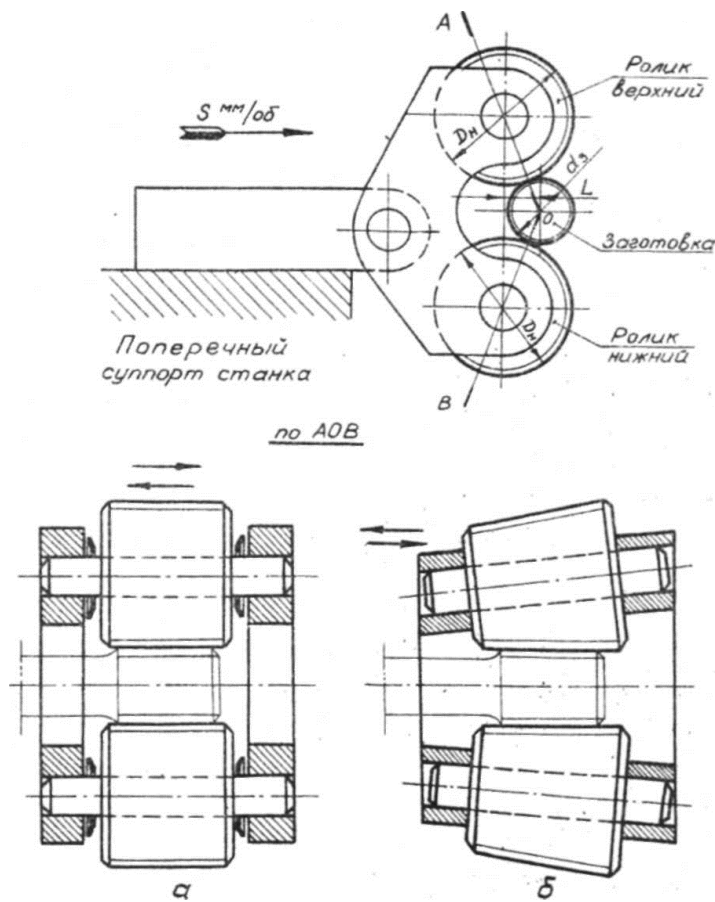


Рис. 2. Обработка резьб тангенциальными резьбонакатными головками традиционного и адаптивного типа: а – традиционное накатывание цилиндрическими роликами; б – адаптивное накатывание коническими роликами.

Полная обработка резьбы осуществляется за один рабочий ход, заканчивающийся в момент совпадения геометрических центров роликов и детали на одной прямой. Резьба цилиндрических роликов, в отличие от роликов для осевого накатывания – винтовая, многозаходная. Исследования закономерностей при накатывании резьбы роликами с винтовой резьбой показывают, что в процессе углубления роликов в материал заготовки неизбежно возникают самопроизвольные осевые перемещения подвижного элемента технологической пары «заготовка-ролик». Исключить осевые перемещения теоретически не представляется возможным, так как в процессе углубления (подачи) инструмента в заготовку и в процессе взаимной обкатки меняются величины центроид (аксоидов) детали $d_{ц}$ и роликов $D_{ц}$ взаимодействующих звеньев. Величина обратного осевого перемещения определяется из соотношения:

$$\Delta S = P - P_u \cdot d_{ц} / D_{ц}$$

В начальный момент происходит обкатка диаметров $d_{ц} = d_3$ (где d_3 – диаметр заготовки) и $D_{ц} = D_n$, (где D_n – наружный диаметр резьбы ролика), а в конце процесса

накатывания полюс зацепления перемещается и находится уже в пределах высоты профиля резьбы контактирующих винтовых поверхностей. Это явление и приводит к возникновению самопроизвольных осевых перемещений роликов. Та же закономерность проявляется также и при радиальном накатывании головками или на станках, где процесс отличается от процесса тангенциального накатывания направлением подачи инструментов. Однако, если при радиальном накатывании возникновение осевых перемещений и, как следствие этого, повышенное взаимное скольжение поверхностей, выражаются в ухудшении качества поверхности резьбы изделия и уменьшении стойкости роликов, то при тангенциальном накатывании (а равно и при радиальном накатывании резьбы детали в центрах) неуправляемые осевые перемещения роликов делают неосуществимым сам процесс накатывания. Поэтому расчет роликов для тангенциального накатывания и радиального накатывания в центрах, в отличие от общепринятой расчетной схемы для роликов с винтовой резьбой (когда принимают $D_{cp} = kd_{cp} + \Delta D$, где D_{cp} – средний диаметр резьбы ролика; k – число заходов резьбы ролика; d_{cp} – средний диаметр резьбы изделия; ΔD – припуск на перешлифовку изношенной резьбы ролика), ведется по достаточно сложной схеме, обеспечивающей условие равенства нулю суммарных осевых перемещений роликов и заготовки [1, 2, 3, 4]. Рассчитанные таким образом ролики при взаимодействии с заготовкой перемещаются в осевом направлении до некоторого предельного положения, после чего возвращаются в исходное положение. Суммарное осевое перемещение подвижного звена за полный цикл обработки, с учетом знаков перемещений, таким образом равно нулю. Однако в процессе обработки имеют место некоторые особенности, которые отличают реальный процесс накатывания от теоретической схемы. Так, в конце цикла накатывания, в момент, когда геометрические центры двух роликов и заготовки находятся на одной прямой, прекращается тангенциальная подача, и инструмент должен быть отведен назад в исходное положение. Во время кратковременной остановки продолжается взаимная обкатка изделия и роликов и, следовательно, имеет место неучтенное расчетом осевое перемещение инструмента. На возникновение дополнительных осевых перемещений может также влиять состояние кулачков подачи поперечного суппорта станка, точность заготовки и т. д. Таким образом в результате самопроизвольного осевого перемещения роликов ставится вопрос либо о возможности осуществления технологического процесса обработки, либо о вероятности выхода из строя и поломки инструмента.

Обеспечение надежной работы инструмента становится возможным за счет использования тангенциальной головки с адаптивным управлением геометрией инструмента в процессе обработки [1, 5]. Конструкция инструмента обеспечивает автома-

тическую поднастройку в процессе обработки и исключает таким образом влияние неблагоприятных случайных факторов. Это решено, в частности, за счет применения в головке конических роликов для обработки цилиндрической резьбы (см. рис. 2). В процессе тангенциального перемещения адаптивного инструмента, когда, вследствие вышеописанных причин, возникает самопроизвольное осевое перемещение роликов, принудительно изменяется (в качестве отклика на осевое перемещение) соотношение диаметров обкатываемых поверхностей благодаря конической форме роликов, что заставляет их возвращаться в исходное (вдоль оси) положение. Таким образом ролики в процессе накатывания постоянно колеблются около оптимального положения, («отвечая» на изменение соотношения диаметров обкатываемых поверхностей осевым перемещением-поднастройкой роликов), обеспечивая непрерывную поднастройку инструмента, что создает условия для эффективного и надежного осуществления процесса обработки.

Исследования резьбонакатных головок с адаптивным управлением геометрией инструмента в процессе обработки полностью подтвердили эффективность применения инструментов такого типа. Исследования и разработки, проводимые в настоящее время показывают, что имеются перспективы создания инструментов адаптивного типа и в других областях механической обработки, в частности, в области резьбонарезания и зубообработки. Очевидно, что создание и применение металлообрабатывающих инструментов адаптивного типа представляет собой перспективное направление технологии механической обработки.

Список литературы:

1. **Хостиков М.З.** Инструменты для накатывания резьб на токарных автоматах. / Кн. «Высокопроизводительные конструкции режущего инструмента». – М., МДНТП, 1976. – С. 29–35.
2. **Хостиков М.З.** Основы создания адаптивных металлообрабатывающих инструментов. // Механизация и автоматизация производства. – 1978. – № 11. – С. 23–26.
3. **Хостиков М.З.** Расчет диаметра накатываемых роликов тангенциальных головок. // Станки и инструмент. – 1978. – № 12. – С. 24–25.
4. **Султанов Т.А., Хостиков М.З.** Некоторые особенности расчета тангенциальных резьбонакатных головок. / Кн. «Повышение производительности и эффективности обработки материалов резанием». – М., МДНТП, 1975. – С. 152–156.
5. **Хостиков М.З., Султанов Т.А.** Тангенциальная резьбонакатная головка. // Авторское свидетельство № 505479 от 08.12.1974.