УДК 621.913.3
621.833.052.002.2

Совершенствование многопроходной обработки зубчатых колес зуборезными долбяками

А. И. Голембиевский

Для повышения периода размерной стойкости зуборезных долбяков, по данным зарубежных информаций, выполняется переход к многопроходному зубодолблению за 7—9 проходов с увеличением круговых подач для черновых проходов до 3—4 мм на двойной ход долбяка (при условии срезания входной и выходной режущими кромками зубьев долбяка одинаковой по толщине стружки). Это основывается на том, что при больших круговых подачах каждый зуб долбяка срезает меньшее количество стружки и поэтому меньше нагревается. В результате возрастает термоциклическая стойкость режущих кромок. Одинаковая по толщине стружка, срезаемая входной и выходной режущими кромками, вызывает равную взаимную деформацию и сходит с передней поверхности зубьев долбяка в стыке между вершинной и боковыми режущими кромками. Вследствие этого передняя поверхность зубьев долбяка подвергается равномерной силовой и тепловой нагрузке; образование лунок износа у вершин режущих кромок сдвигается во времени, возрастает время между переточками долбяков.

При зубодолблении с одинаковой толщиной стружки на входной и выходной режущих кромках зубьев долбяка на каждом проходе необходимо сообщить заготовке или долбяку на предшествующих этапах врезания дополнительное угловое смещение. Пользуясь известными зависимостями, можно найти толщину стружки, срезаемой боковыми режущими кромками, и тогда разность толщин стружки, срезаемой входной и выходной кромками, будет определять значение углового смещения, которое при конкретном значении подачи можно задавать во времени. В этом случае в систему управления станка нужно ввести реле времени, включаемое одновременно с угловым смещением. Структурная схема зубодолбежного станка (а. с. 1366360) с электронными связями, реализующая такой способ управления циклом многопроходной обработки, показана на рис. 1.

Блок задатчиков устройства управления *12* через усилители мощности *11, 10, 9* соединены с управляемыми электродвигателями *3, 8, 7*. Электродвигатель *3* посредством делительной передачи *2* кинематически связан со штосселем *6*, являющимся задающей координатой функциональной связи цепи обката. Штоссель смонтирован в гильзе *5*, получающей поступательно-возвратное движение от кулисного механизма *4*, кинематически связанного с электродвигателем *8*. Электродвигатель *7* посредством передачи *15* винт — гайка соединен с продольным столом *13*, несущим делительный стол *14*, который является ведомой координатой цепи обката.

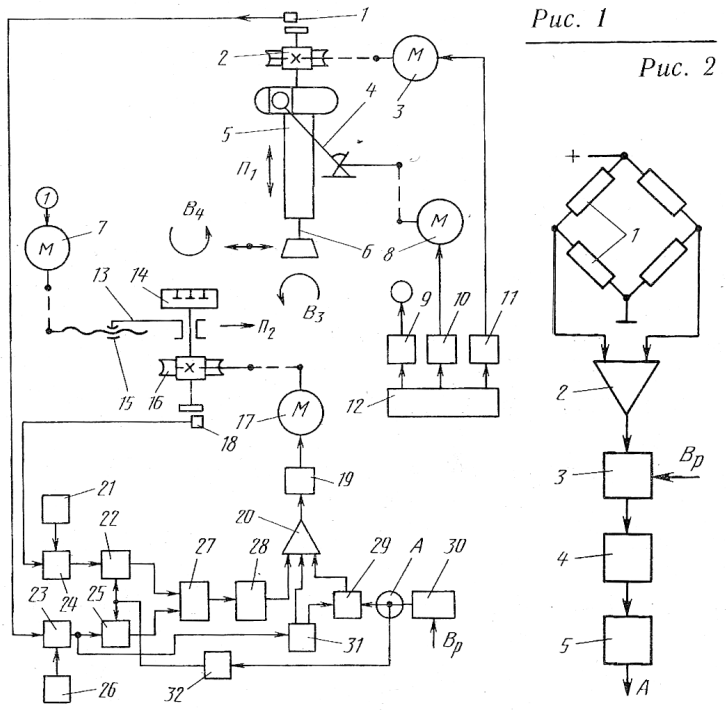
Функциональная связь между штосселем и делительным столом, воспроизводящая зубчатое зацепление, осуществляется устройством синхронизации их приводов. Это устройство включает установленный на штосселе импульсный измерительный преобразователь *1*, соединенный посредством последовательно включенных счетчика *23* и элемента И *25* с первым входом фазового дискриминатора *27*, а также установленный на делительном столе импульсный измерительный преобразователь *18*, соединенный посредством последовательно включенных счетчика *24* и элемента И *22* со вторым входом фазового дискриминатора *27*. К счетчикам *23* и *24* подсоединены блоки *26* и *21* задания передаточного отношения функциональной связи. К выходу счетчика *23* присоединен вход блока *31* задания круговой подачи делительного стола. Выход фазового дискриминатора *27* через импульсно-аналоговый преобразователь *28* соединен с первым входом суммирующего усилителя *20*. Второй (непосредственно) и третий (через элемент И *29*) входы этого усилителя связаны с выходами блока *31* задания круговых подач делительного стола. Выход усилителя *20* через усилитель *19* мощности соединен с управляемым электродвигателем *17*, кинематически связанным через делительную пару *16* с делительным столом. Вторые входы элементов И *25, 22* соединены через элемент НЕ *32* с выходом электронного реле времени *30*. Второй вход элемента И *29* соединен также с выходом реле *30*.

Передаточное отношение функциональной связи штосселя и делительного стола устанавливается блоками *26* и *21* в виде коэффициента деления, определяющего соотношение их круговых частот (угловых подач). Круговые подачи делительного стола и его дополнительного углового смещения при врезании задаются блоком *31*, имеющим два выхода. Подача радиального врезания и количество этапов врезания устанавливаются программой посредством ее задания на устройстве управления *12*. Время, в течение которого на каждом очередном этапе врезания происходит дополнительный поворот делительного стола с заготовкой относительно долбяка, определяется кодом реле *30*, пуск которого осуществляется по программе одновременно с началом соответствующего этапа врезания.

При работе схемы включением электродвигателя *8* сообщается поступально-возвратное движение $П_1$ гильзе *5* штосселя *6*. После ускоренного перемещения продольного стола в исходную по программе обработки точку электродвигатель *7* переключается на рабочую подачу врезания (движение $П_2$), осуществляемого на части высоты зуба, соответствующей величине врезания на первом черновом проходе. Одновременно включается электродвигатель *3*, сообщающий движение B_3 штосселю с рабочей круговой подачей. Включается также схема синхронизации функционально связанных приводов.

Импульсный измерительный преобразователь *1* вырабатывает высокочастотный импульсный сигнал, который поступает в счетчик *23*, где делится в соответствии с коэффициентом, установленным на блоке *26*. Сигнал, выходящий со счетчика *23*, запускает блок *31* задания круговых подач делительного стола. Этот блок вырабатывает аналоговый сигнал, который после прохождения усилителей *20* и *19* приводит во вращение электродвигатель *17* ведомой координаты — делительного стола *14* (движение B_4).

Сигнал со счетчика *23* через элемент И 25, открытый по второму входу, поступает на первый вход фазового



дискриминатора *27*, Импульсный измерительный преобразователь *18* одновременно с началом движения B_4 вырабатывает высокочастотный сигнал, который поступает в счетчик *24*, где делится в соответствии с коэффициентом, заданным на блоке *21*. Со счетчика *24* через элемент И *22*, открытый по второму входу, сигнал поступает на второй вход фазового дискриминатора *27*. В результате сравнения сигналов, вырабатываемых задающей и ведомой координатами, на выходе фазового дискриминатора образуется корректирующий сигнал, который после преобразования в аналоговую форму в импульсно-аналоговом преобразователе *28* поступает в суммирующий усилитель *20*, где происходит коррекция сигнала управления электродвигателем *17* привода делительного стола, поступающего от блока *31* задания круговой подачи.

После врезания на заданную по программе часть высоты зуба движение $П_2$ прекращается и в течение полного оборота делительного стола осуществляется первый черновой проход обработки заготовки нарезаемого колеса согласованными движениями B_3 и B_4 (движение обката). При продолжающемся обкате включается движение $П_2$ для врезания долбяка на второй части припуска. Одновременно включается реле *30*. Вырабатываемый им сигнал выдержки времени поступает на второй вход элемента И *29* и открывает его для прохождения сигнала от блока *31* на третий вход суммирующего усилителя *20*. Одновременно сигнал выдержки времени через элемент НЕ *32* закрывает элементы И *25* и *22*; сигнал коррекции на суммирующий усилитель *20* не поступает. В этом усилителе происходит сложение двух сигналов, поступающих на второй и третий входы от блока *31*. В итоге делительный стол дополнительно поворачивается и заготовка смещается по отношению к долбяку на угловой шаг таким образом, что припуск на проходе будет срезан при одинаковой толщине стружки на обеих боковых режущих кромках зубьев долбяка.

После отработки установленной выдержки реле *30* отключается и закрывает элемент И *29*, открывая через элемент НЕ *32* элементы И *25, 22*. В результате схема синхронизации приводов перестраивается в исходную структуру, и после прекращения врезания $П_2$ в течение полного оборота делительного стола осуществляется второй черновой проход посредством обката. После выполнения второго чернового прохода повторяется цикл врезания для следующего прохода и т. д. При этом перед каждым последующим черновым проходом структура схемы синхронизации приводов перестраивается, обеспечивая угловое смещение заготовки относительно долбяка.

Другой путь управления угловым смещением делительного стола на этапах врезания основан на активном контроле за моментом силы резания. При этом структурная схема функциональных связей станка остается неизменной, а к ее входу вместо электронного реле *30* подключается формирователь сигнала управления угловым смещением. Он состоит из тензометрического моста, тензорезисторы *1* (рис. 2) которого закреплены на тензометрической оправке для установки зуборезных долбяков. Выходы тензометрического моста соединены с входами дифференциального усилителя *2*, выход которого подключен к цепи, состоящей из последовательно соединенных ключа *3*, интегратора *4*, усилителя-ограничителя *5*.

При зубодолблении одновременно с включением врезания на очередную часть припуска по сигналу с устройства управления станка открывается по управляющему входу ключ *3*. Тензометрический мост при рабочих ходах долбяка в движении $П_1$ регистрирует момент силы резания, который как физическое явление, сопровождающее резание, является суммой моментов резания входной и выходной режущих кромок зубьев долбяка. При этом момент резания имеет большее значение на входной стороне (при обычных условиях зубодолбления), т. е. знак суммарного момента резания постоянен. Электрический сигнал-аналог момента резания после усиления в дифференциальном усилителе *2* поступает через открытый ключ *3* в интегратор *4*, где преобразуется в непрерывный сигнал. После формирования в управляющий потенциал в усилителе-ограничителе *5* этот сигнал поступает на вход *A* схемы функциональных связей, структура которой перестраивается, и делительный стол получает дополнительное угловое смещение.

В итоге при неизменной круговой подаче B_3 штосселя долбяка результирующая круговая подача B_4 делительного стола постепенно увеличивается, что равнозначно постепенному перераспределению толщины срезаемой стружки в сторону ее увеличения на выходных режущих кромках и уменьшению момента резания. При выравнивании толщин стружки, срезаемой обеими боковыми режущими кромками, момент резания равен 0, и формирование сигнала управления угловым смещением прекращается. Структура схемы перестраивается в исходное состояние, и с прекращением врезания $П_2$ осуществляется очередной проход. После этого повторяется цикл врезания для следующего прохода и т. д.

Изложенные решения задачи обеспечения одинаковой толщины стружки, срезаемой разноименными боковыми режущими кромками зубьев долбяка, можно использовать также в зубодолбежных станках с механическими связями.