

А.И. БЕЛЯЕВ, д-р техн. наук, КИ МГОУ,
А.И. СИРИЦЫН, канд. техн. наук, КИ МГОУ
Э.В. ШИРОКИХ, канд. техн. наук, КИ МГОУ
В.Н. БАШКИРОВ, канд. техн. наук, КИ МГОУ

ТЕХНОЛОГИЯ НАРЕЗАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ АРОЧНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ

The way of shaping theoretically accurate arch cogs of cylindrical wheels and technology of their cutting using the method of line milling of special mills on the multipurpose milling machine tools is given.

Постановка проблемы. Применяемые в приводах загрузочных рольгангов клетей прокатных станов прямозубые зубчатые колеса из высоколегированных сталей (Ст35ХМЛ, Ст34ХН1М и др.) ($m=10$ мм, $z=60$) имеют недостаточный технический ресурс из-за высоких относительных скоростей и контактных нагрузок. Износ рабочих поверхностей зубьев вызывает повышенные динамические нагрузки в приводах, обусловленные переменным мгновенным передаточным отношением в сопрягаемых зубчатых парах. Это вызывает недопустимое против установленного техническими условиями увеличение волнистости поверхности прокатываемого стального листа. Бракуется вся партия проката.

Износ указанных зубчатых колес требует систематических (до 2-х раз в год) ремонтно-восстановительных работ приводов прокатных станков (время работы ремонтной бригады до 15 рабочих дней). Прокатные цеха Череповецкого металлургического комбината "Северсталь" несут убытки из-за простоя оборудования, а также из-за трудностей изготовления и поставки новых прямозубых зубчатых колес.

Повысить технический ресурс привода загрузочного рольганга можно за счет изменения конфигурации зубьев вдоль оси, применив вместо прямого зуба арочный. Это дает по сравнению с традиционными прямозубыми передачами при одинаковых условиях работы повышение нагрузочной способности в $2 \div 2,5$ раза, износостойкости в $2,5 \div 3$ раза и улучшение динамических качеств. Сравнительные испытания на сопротивление усталости при изгибе зубьев, выполненные во ВНИТИ, показали, что при одинаковом материале, способе упрочнения и габаритных размеров передач, несущая способность арочного зуба с модулем 7 мм не уступает несущей способности прямого, косоугольного и шевронного зубьев с модулем 10 мм.

Анализ литературы. В КИ МГОУ разработаны способы обработки цилиндрических арочных зубчатых колес (ЦАЗК), обеспечивающие получение теоретически точной геометрии их зубьев, а также специализированное станочное оборудование для реализации этих способов и специальный режущий инструмент в виде резцовых головок, которые защищены 15 патентами (№№ 2005012, 2005014, 2005015, 2005019 и др.) [1, 2, 3, 4, 5].

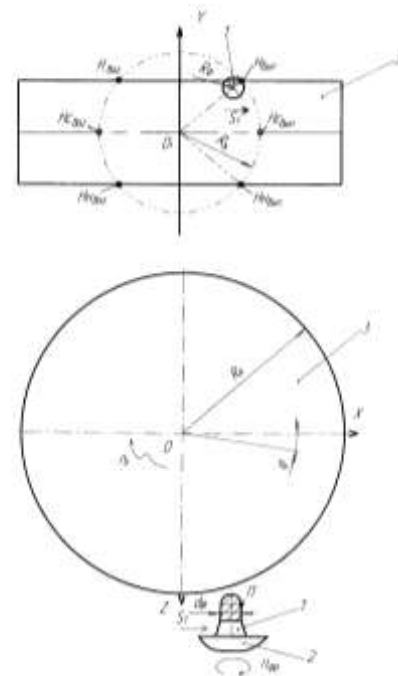
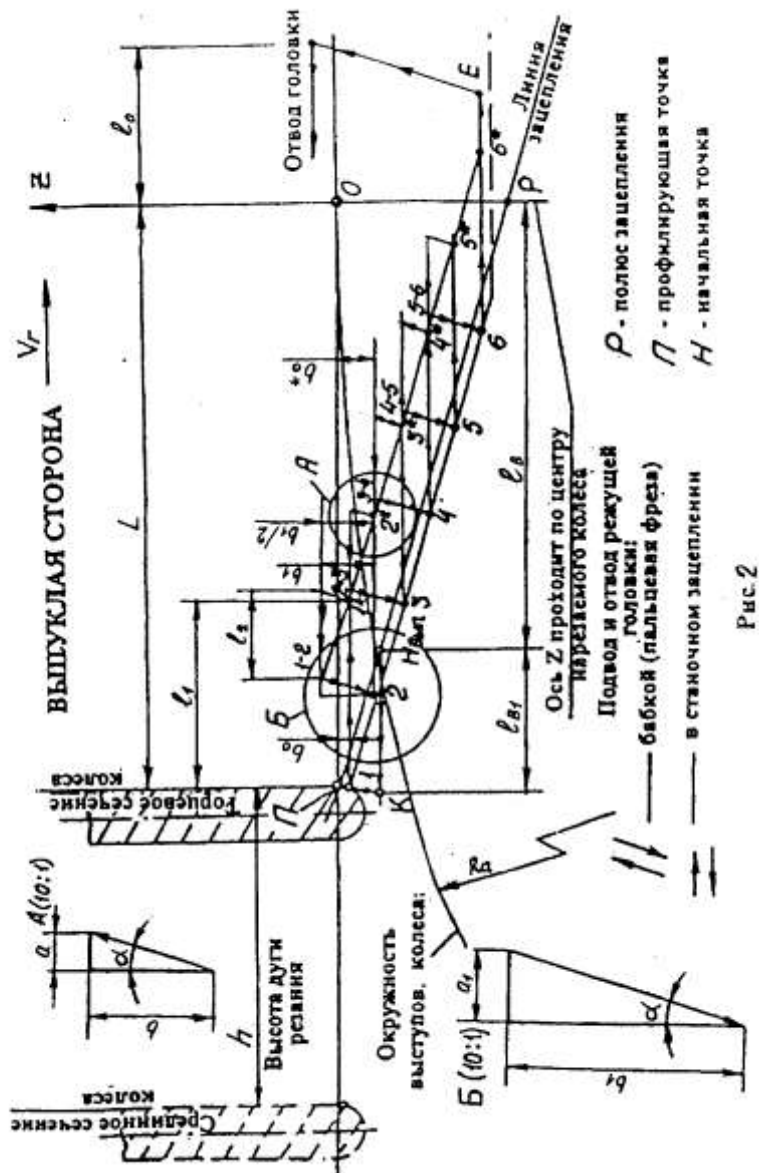


Рис. 1



Анализ известных способов формообразования зубьев ЦАЗК [6, 7, 8, 9, 10] показывает, что целесообразно нарезать такие зубья специальными зуборезными резовыми головками с нулевым исходным контуром режущей части на станках фрезерной или расточной групп с поворотным столом, работающим в режиме обката.

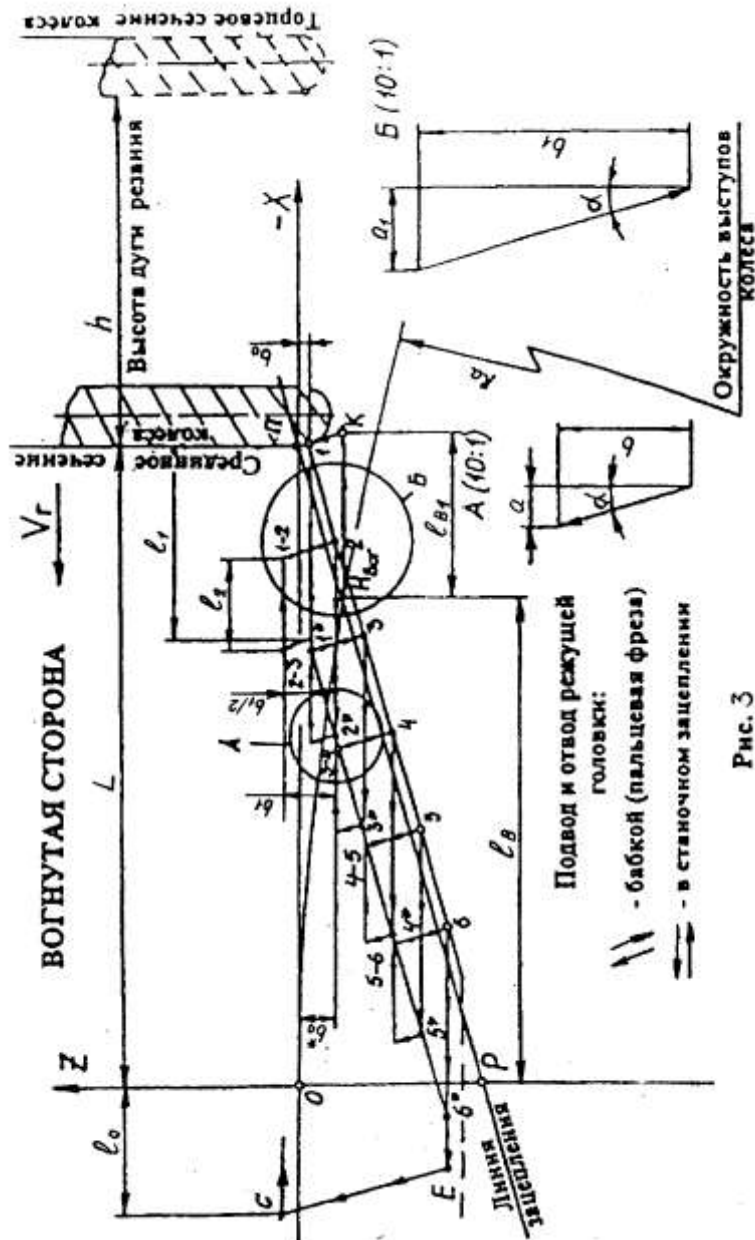


Рис. 3

Однако получить требуемую производительность и качество нарезания ЦАЗК затруднительно из-за недостаточной жесткости, главным образом шпиндельных узлов, традиционного оборудования. В связи с этим альтернативным вариантом нарезания арочных зубьев может быть способ строчного фрезерования специальными концевыми фрезами.

Цель статьи. Разработка формообразования теоретически точных ЦАЗК и технологии их нарезания методом строчного фрезерования специальными концевыми фрезами на многоцелевых фрезерно-расточных станках.

Формообразование вогнутых и выпуклых сторон арочных зубьев одной и той же концевой фрезой согласно рассматриваемому методу осуществляется по следующей схеме: главное вращательное движение фрезы; вращение заготовки согласовано с тангенциальным перемещением инструмента при единичном дискретном обкате; перемещение фрезы по окружности с радиусом кривизны нарезаемых зубьев осуществляется сложением движений в направлениях тангенциальной и вертикальной подачи; выкатывание зубьев на полную высоту профиля обеспечивается дискретной радиальной подачей инструмента за каждый оборот заготовки.

Указанная схема формообразования арочных зубьев реализована на многоцелевом фрезерно-расточном станке модели МС800Н/5, снабженном поворотным столом с вертикальной осью вращения и работающем в режиме обката. Шпиндельная бабка с горизонтальной осью вращения способна перемещаться по трем координатным осям: X – тангенциальная, Z – радиальная и Y – вертикальная подача (рис. 1). Концевой фрезе 1, установленной в шпинделе 2 станка сообщают вращательное движение со скоростью резания $n_{фр}$ и

поступательное дискретное - в направлении тангенциальной подачи S_τ . На каждое дискретное перемещение фрезы сообщают дополнительный поворот заготовке 3 на угол φ таким образом, чтобы профилирующая точка Π (рис. 1) располагалась на радиусе кривизны R_3 зуба. В каждый момент времени положение точки Π определяется уравнением окружности

$$X^2 + Y^2 = R_3^2,$$

где X и Y – зависимые текущие координаты по одноименным осям. При этом, например, при нарезании выпуклой стороны зуба

$$\varphi = \arctg(X - X_{H_{B_{\text{вын}}}})/R_3,$$

где $X_{H_{B_{\text{вын}}}}$ - начальная координата профилирующей точки Π на верхнем торце заготовки 3 колеса; R_a - радиус вершин зубьев колеса. Каждый дискретный ход (строка) фрезы осуществляется при ее перемещении в плоскости окружности с радиусом R_3 из точки $H_{B_{\text{вын}}}$ через точку $H_{CB_{\text{вын}}}$ (срединное сечение колеса) в точку $H_{HB_{\text{вог}}}$ для выпуклой стороны колеса и аналогично из точки $H_{B_{\text{вог}}}$ через точку $H_{CB_{\text{вог}}}$ в точку $H_{HB_{\text{вог}}}$ для вогнутой стороны арочного зуба.

При обработке выпуклой стороны арочного зуба в торцевой плоскости колеса движение концевой фрезы выполняется по схеме (рис. 2), в соответствии с которой профилирующая точка Π в начальный момент совмещается с точкой $H_{B_{\text{вын}}}$ (точка пересечения окружности радиусом R_a и линии станочного зацепления) и затем в режиме обката тангенциально перемещается последовательно в точки K , 1 и 1*. Из точки 1* фреза перемещается по нормали к линии станочного зацепления от нарезаемой поверхности зуба при неподвижном колесе, а затем в режиме обката колеса тангенциально перемещается в точку 1-2, из которой при неподвижном колесе нормально к линии станочного зацепления перемещается в точку 2. в этом положении фреза совершает ход-строку по радиусу кривизны арочного зуба. Указанные циклы перемещения фрезы повторяются до формирования выпуклой стороны зуба на полную глубину эвольвентного профиля (точка б).

По аналогичному циклу осуществляется нарезание вогнутой стороны эвольвентной поверхности арочного зуба (рис. 3).

При чистовой обработке с целью повышения точности и чистоты обрабатываемых поверхностей зубьев увеличивают число циклов-проходов при перемещении фрезы вдоль линии станочного зацепления.

Выводы. 1. Предложенная технология позволяет нарезать арочные зубья с теоретически точной геометрией цилиндрических зубчатых колес концевыми фрезами на традиционном многоцелевом фрезерно-расточном оборудовании с ЧПУ с обкатными столами. 2. Применение твердосплавных концевых фрез позволяет вести обработку с высокими частотами вращения шпинделя, что улучшает динамику процесса резания и тем самым способствует повышению качества обрабатываемой поверхности. 3. Использование простого и относительно дешевого инструмента – концевых фрез позволяет снизить себестоимость изготовления цилиндрических арочных зубчатых колес.

Список литературы. 1. *Беляев А.И., Сирицын А.И., Сирицын Д.А.* Результаты испытаний арочных зубьев колес на износ и сопротивление усталости при изгибе. Вестник машиностроения, №1, 1997. 2. *Сирицын А.И., Беляев А.И., Сирицын Д.А.* Особенности изготовления и применения высокоточных арочных тяговых зубчатых передач. Вестник машиностроения, №1, 1997. 3. *Беляев А.И., Сирицын А.И., Широких Э.В., Сирицын Д.А.* Применение арочных зубчатых передач в приводах строительных и транспортных машин. Строительные и дорожные машины, №10, 1998. 4. *Беляев А.И., Сирицын А.И.* Геометрический расчет и технология нарезания колес с арочными зубьями. Вестник машиностроения, №1, 1999. 5. *Беляев А.И., Сирицын А.И., Михайлов Г.И., Носков С.С.* Финишная обработка цилиндрических колес повышенной точности с арочной формой зуба. Техника машиностроения, №2, 2001. 6. *Сидоренко А.К.* Новые виды зубчатых передач. – М.: Машиностроение, 1990. 7. *Сидоренко А.К.* Арочная цилиндрическая зубчатая передача. «85 – ПО КЗТС». – М.: ЦНИИ, 1993. 8. *Ямников А.С., Шейнин Г.М., Бобков М.Н., Груничев А.В.* Математическое обоснование проектирования цилиндрических передач с круговыми зубьями и инструментом для их нарезания. СТИН, №1, 1998. 9. *Коганов И.А., Шейнин Г.М.* Фрезерование цилиндрических колес с круговыми зубьями. Известия вузов МВТУ им. Н.Э. Баумана. – М.: Машиностроение, 1969. 10. *Сидоренко А.К.* Высокоэффективные арочные передачи. – Коломна, 1966.

Поступила в редакцию 29.04.2005