

Технология раскрывает потенциал

Неподходящие системы оборудования и инструмента, а также технологические параметры, такие как поток стружки, привели к тому, что зуботочение более ста лет находилось в упадке. С изобретением стержневых ножей эту технологию ждет большое будущее.

Автор: Михаэль Хобом

Если рассмотреть долгую историю технологии зуботочения (чашечным резцом) со всеми ее трудностями, становится понятен живой интерес к недавнему прорыву в этой области. Это наглядно подтвердила премьера технологии стержневых ножей. «Хотя технология известна уже более 100 лет, из-за отсутствия подходящих инструментов и имеющих соответствующую динамику машин до этого дня она не играла какой-либо серьезной роли в производстве» – подчеркивает доктор Хартмут Мюллер, технический директор компании Klingelberg из Хюкесвагена. В целом ряде применений открылись новые возможности повышения эффективности производства: от шлицевых и зубчатых приводов для автомобилестроения, ведущих мостов с планетарными колесными передачами для грузового транспорта и зубчатых колес для ветроэнергетических редукторов до самых разных специальных зубчатых зацеплений.

Производительность в сочетании с экономичностью

Производительность снятия стружки в значительной степени определяется толщиной стружки и количеством резов за единицу времени. То, что именно здесь заложен большой потенциал технологии зуботочения в сравнении с зубофрезерованием, показывает простой расчет: При частоте вращения 2000 мин^{-1} , которая обуславливает скорость резания 200 м/мин , долбежный инструмент с 25 зубьями совершает 50 000 врезаний в минуту. Восьмизубая двухзаходная червячная фреза, которой для той же скорости резания требуется только 1200 мин^{-1} , напротив, совершает только 19 200 врезаний в минуту. И почему же зуботочение – при таком потенциале – до сегодняшнего успеха не пользовалось успехом?

«Интерес со стороны науки есть, – описывает ситуацию Мюллер. – Уже более 20 лет в этой области проводится множество исследований, которые объединяет один пункт: Зуботочение – это высокопроизводительная технология, успех которой не пришел из-за быстрого износа инструмента, вибрации станков и проблемы отвода стружки».



Рис. 1. Прорыв в зуботочении: технология стержневых ножей стала той основой, которая позволила компании довести этот метод до технологической готовности

Даже если производительность технологии в значительной степени определяется толщиной стружки и количеством резов за единицу времени, для успешного применения на практике наибольшее значение имеет экономичность. Короткие циклы обработки сами по себе являются недостаточными, если износ длины инструмента слишком велик.

Причину, по которой инструменты прежде всегда выходили из строя, показывает анализ стружкообразования. Хотя кинематика зуботочения проста, взаимопроникновение режущей кромки и заготовки представляет собой сложное движение, для которого требуются подходящие инструменты моделирования. Пример: заготовка имеет 48, а инструмент 17 зубьев. Через каждые 17 зубьев резец обрабатывает следующую впадину на заготовке. Поскольку количества зубьев являются взаимно простыми числами, фактически обрабатываются все впадины заготовки. Если пронумеровать впадины по порядку против часовой стрелки и начать с впадины, лежащей на 9 часов, то резец будет обрабатывать впадины по схеме 1–18–35–4–21–38–7 и так далее. Математически это соответствует формуле $i \times 17 \bmod 48 + 1$, где $i \in \mathbb{N}$. При обработке резец погружается во впадину с правой верхней стороны, движется радиально к впадине и наконец выходит из нее. Во время радиального погружения и выведения резец движется в осевом направлении вдоль ширины зуба заготовки. Значение имеет криволинейная траектория, которая показывает: передний угол постоянно изменяется во время резания во впадине и на конечном этапе может даже принимать отрицательное значение.

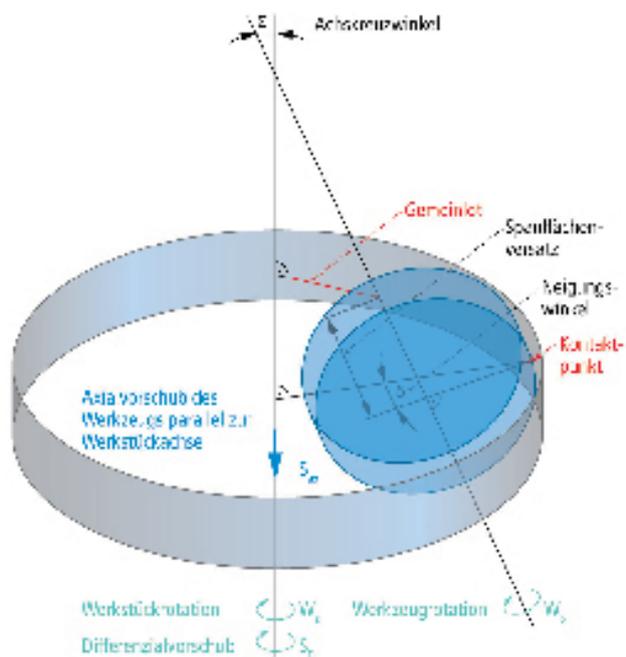


Рис. 2. При простой кинематике взаимопenetрование инструмента и заготовки при зуботочении представляет собой сложное движение

Если с помощью средств моделирования проанализировать важные для стружкообразования передний и задний углы, получаются не слишком обнадеживающие результаты: передний угол в лучшем случае равняется 0° и во время процесса может принимать значения до -50° . А это значит: здесь любой более-менее подходящий режущий материал выходит за рамки своих возможностей. Еще более затрудняет положение то, что отрицательный передний угол ведет к существенному увеличению усилий резания и требует от станка неадекватной точности контура, динамики и жесткости.

Инструмент и станок в успешном взаимодействии

То, что зуботочение прежде не смогло закрепиться на ведущих ролях, объяснялось комплексом этих высоких требований к инструменту и станку, а также неблагоприятным стружкообразованием. Тем временем последние успехи в разработке непосредственных приводов станков сделали возможными точные, согласованные движения, необходимые при такой технологии зуботочения. Современные станки, оптимизированные по потоку стружки, жесткости, амортизации и геометрической точности, создают прочную основу. Свидетельство тому – зубофрезерный станок *Oerlikon C 29*, который первоначально был разработан для высокопроизводительного сухого фрезерования спиральнозубых конических колес. Однако он также идеально подходит для зуботочения. Отличная жесткость, высокочастотные непосредственные приводы, оптимальный благодаря вертикальной концепции поток стружки и подходящее расположение осей – необходимые условия успеха зуботочения.

Решающим фактором при этом наряду со станком является система инструментов – стержневых ножей с индивидуально выполняемыми задними и передними углами. Стружкообразование при зуботочении вследствие постоянно меняющихся переднего и заднего углов сопряжено с крайне неблагоприятными условиями как для цилиндрических, так и для конических инструментов. Так, подходящие задние углы ве-



Рис. 3. В комплексе с системой стержневых ножей зуборезный инструмент Skivon обеспечивает высокую гибкость в выборе режущей геометрии

дут к коническим инструментам, которые не отличаются экономичностью. А цилиндрические инструменты, заточка которых не связана с высокими материальными затратами, не имеют достаточной износостойкости по длине. В идеальном случае при разработке инструмента следует учитывать только режущую кромку, не идя на компромиссы, необходимые для зуборезного долбяка.

Технология стержневых ножей уже успешно испытана по всему миру в другой области применения. Таким образом, стержневые ножи Oerlikon с ножевыми головками Arcon и Spiron позволяют изготавливать спиральнозубые конические колеса. Для этого прямоугольному твердосплавному стержню методом шлифования придается режущий профиль, сам стержень вставляется в базу, где автоматически выполняется его высокоточное выравнивание. «То есть решение состоит в том, чтобы перенести уже известную систему стержневых ножей на зуботочение, – комментирует Мюллер. – Вместо цилиндрического или конического колеса, выполненного из сплошного твердосплавного материала, геометрия режущей кромки шлифуется только на твердосплавном ножевом стержне». Закрепленные в базе профилированные ножевые стержни образуют резцы стержневого ножа.

Преимущества такого инструмента очевидны:

- Передний и задний углы можно произвольно выбирать и оптимизировать для стружкообразования.
- Твердосплавный металл используется только для резцов.
- Заточка конических инструментов уже более десяти лет успешно применяется по всему миру.
- Модификации профиля реализуются немедленно посредством шлифования ножевых стержней.

Таким образом, создана система инструментов, которая впервые делает возможной целенаправленную и обширную оптимизацию резца для зуботочения. В сочетании с испытанными зубофрезерными станками для конических колес Oerlikon мы имеем производственную систему, которая спустя 100 лет после изобретения зуботочения обеспечит этой технологии успех на рынке.

Широкий спектр применения – свидетельstwo прорыва технологии

Зубчатые колеса, которые ранее можно было только выдвигать, теперь могут быть изготовлены по технологии зуботочения – быстро и высокоточно. Одновременно с высоким качеством деталей благодаря коротким циклам обработки удалось резко снизить себестоимость и энергопотребление в расчете на одну деталь. Система стержневых ножей сокращает производственный цикл. Таким образом, по мнению компании Klingelberg, выполнены все условия, необходимые для крупносерийного и единичного производства. Область применения очень широка:

- эвольвентные зубчатые зацепления, внутренние кольца планетарных механизмов, гидромеханические коробки передач для легковых автомобилей, ведущие мосты с планетарными колесными передачами для грузового транспорта, тяжелого подъемно-транспортного оборудования (шахтных грузовиков, землеройных машин и ветроэнергетических редукторов);
- все формы внутренних шлицевых зацеплений (ходовые шестерни в автомобильных коробках передач, универсальные редукторные колеса);
- наружные зацепления, которые не поддаются обкатному зубофрезерованию из-за валов, выступов и т. д.;
- специальные зацепления (профили) для самых разных применений (стояночный тормоз, АКПП).

Наряду с уже названными преимуществами технология характеризуется высокой технологической безопасностью, которая также объясняется принципом производства по замкнутому циклу. Кроме того, предусмотрена общая база данных от проектирования зубчатого колеса до процесса зуботочения и подготовки инструмента. Заложенные в основу процессов правила контроля качества гарантируют, что будет произведено именно то, что спроектировано.

«Решение компании **Klingelberg** использовать для зуботочения систему стержневых ножей полностью решило технические проблемы относительно стойкости инструмента и качества зацепления, – резюмирует технический директор Мюллер. – Система стержневых ножей в комплексе с новыми ножевыми головками Skivon отличается высокой гибкостью для оптимального исполнения резцов. Пользователь может сам изготовить режущие профили на известных шлифовальных станках для стержневых ножей, а это значит, что длительные сроки поставки дорогих зуборезных инструментов, имеющих неудовлетворительную стойкость, окончательно



Рис. 4. Зуботочение на зубофрезерном станке для спиральнозубых конических колес Oerlikon C 29

остались в прошлом. Система инструментов позволяет полностью использовать потенциал технологии зуботочения. Спустя 100 лет после изобретения технологии нам удалось совершить прорыв в зуботочении».

www.klingelberg.com

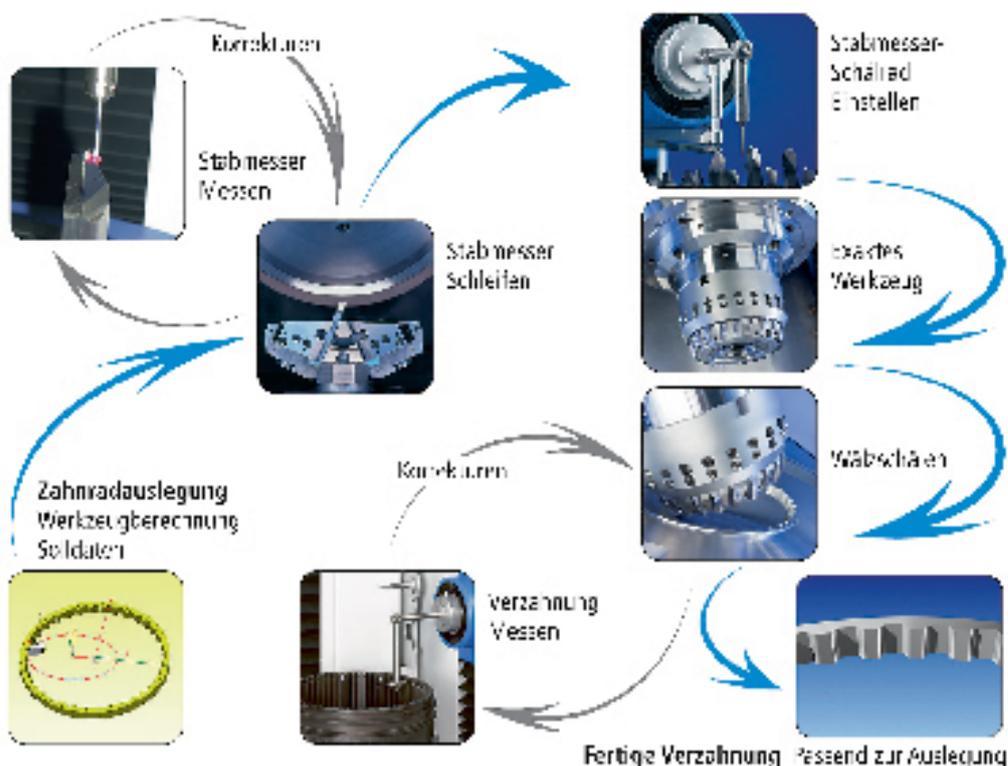


Рис. 5. Сегодня зуботочение по методу компании Klingelberg – это технологически безопасная, экономичная технология, которая также включает систему контроля качества вплоть до подготовки инструмента