

3-х мерная числовая технология конструирования и производства зубчатых колес.

Лунин Степан Васильевич.

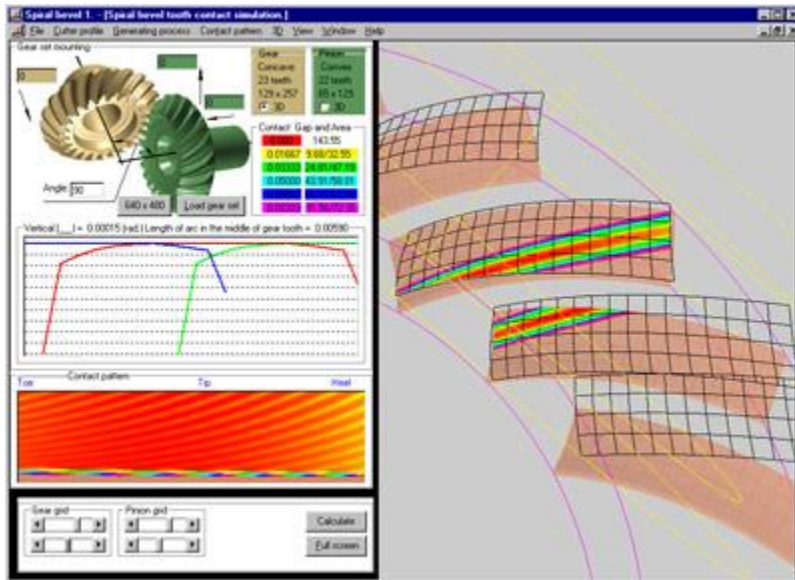
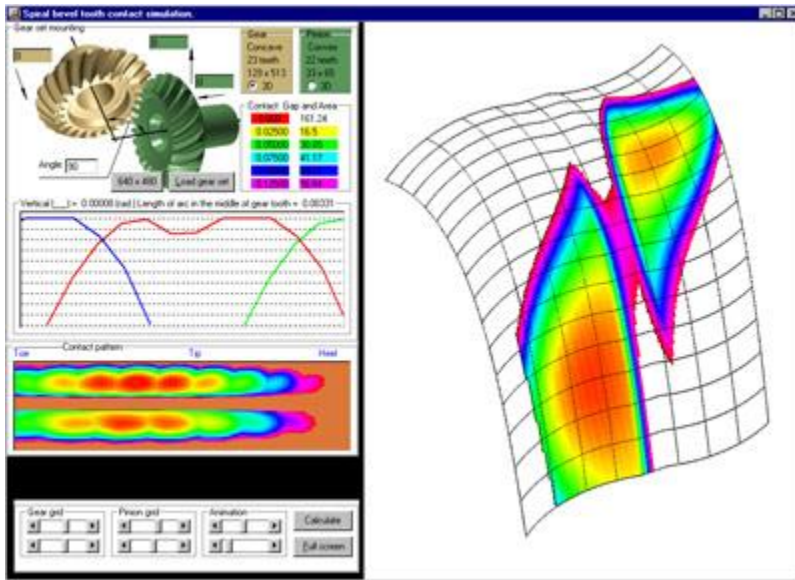
Спирально-коническая Корпорация.

Ирвин, Калифорния, США.

[Контактная форма и телефон здесь.](#)

Когда и где зародилась технология.

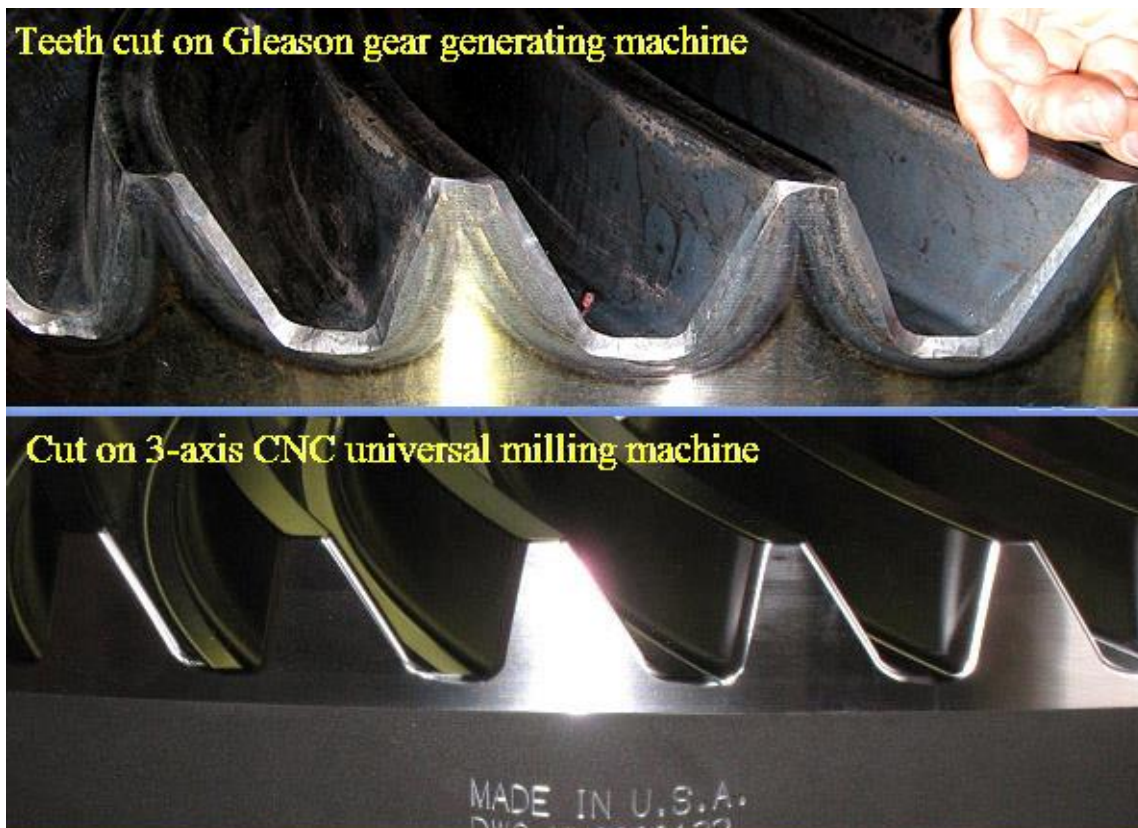
Попытки нарезать зубчатые колеса на универсальных станках ЧПУ были наверное всегда и в СССР и за пределами. Но практический всплеск произошел в 2009 году, когда в горнодобывающей промышленности возникли трудности с поставками спирально-конических колес размера от 1500мм. Я начал развивать эту технологию на МВЗ им Миля в 1986 году сначала технологом в цехе 19 под руководством Кречета Валентина Яновича и позднее в Технологическом Отделе Агрегатного Производства под руководством Авакова Юрия Михайловича. На МВЗ были трудности с расчетом наладок на станки Глисона, чтобы уменьшить количество итераций при доводке пятна контакта. Моя идея была в том, чтобы смоделировать пятно контакта математически исходя из предлагаемых наладок станка. Таким образом, наладки станка можно будет проверить и оптимизировать на математической модели без того, чтобы резать реальные колеса. Такую программу я баллополучно написал и опробовал на ЕС ЭВМ в отделе главного технолога, где я также был, почему-то выбран секретарем комсомола. Моя программа потом помогла Герману Александровичу Журавлеву, ученому из Ростова-на Дону подтвердить кинематическую сопряженность Эвольвентно-Точечного Зацепления, которое в то время проходило испытания на стенде в Панках. В 1986 практически внедрить 3-х мерную технологию в производство не удалось, т.к. еще не было достаточно быстрых компьютеров, чтобы быстро обчислять модели колес и пятен контакта. Да и в цеху у Кречета В. Я. были очень опытные зуборезчики такие как Смирнов и Сизов. А в ТООПе были Михалыч и Саша Андреев. Поэтому, внедрение компьютера, к тому-же недостаточно быстрого, тогда как-то не пошло. Но нет худа без добра. Позднее, в 1999, когда я работал на Дженерал Моторс, а потом на Вольво забытая идея с МВЗ всплыла и расцвела, т.к. время пришло - компьютеры подтянулись до необходимого уровня. В 2000 году родилась 3-х мерная программа, которую я доложил на конгрессе в Фукуоке и потом с Гольдфарбом Вениамином Вениаминовичем, известным во всем мире зубчатником из Ижевска, вместе развивали.



Герман Штадфелд, Ген. Конструктор Глисона, тогда этот метод и особенно 3-хмерную программу очень критиковал, как обман зрения. У Глисона до сих пор нет программы расчета пятна контакта с такой точностью как была на MB3 в 1986. Но главное что не понравилось Глисона, это один побочный эффект программы, который мог похоронить монополию Глисона в конички, как потом и произошло. Побочным эффектом было моделирование реального 3-х мерного профиля зуба. Тогда уже многие производители колес охотились за возможностью моделировать 3-х мерный зуб идентичный тому, что выходит из под станка Глисона. Дело в том, что если есть правильная 3-х мерная модель зуба то нарезать коничку можно намного быстрее и дешевле без использования станков Глисона. Например с моими друзьями из Чикаго, Кейси и Марекком мы наладили производство цементированных спиральноконических пар для компании Metso Minerals практически с нуля всего за 2 месяца с начальным капиталом 60 т.д. получив наш первый заказ на 2 м.д.



Слева на право я, Марек и Кейси на фоне станка, что мы купили в кредит (650 т.д. включая поворотный стол за 160 т.д.) и установили в 200 кв.м. гараже в Чикаго в 300 м от фирмы Овертон, которой я тоже помог с технологиёй предварительной нарезки в 2007-2008 т.к. у них уже были станки Клингелнберга для окончательной нарезки. Колесо на заднем плане 1700 мм в диаметре цементированное с окончательной нарезкой зуба после закалки в свободном вывешивании без закалочного пресса. Стол станка 4560мм позволял вес заготовки до 40т. Станок имел координатную контрольно-измерительную функцию, так, что можно было просканировать окончательный зуб и сравнить с 3-х мерной моделью.



На верхней фотографии крупным планом показан зуб на оригинале произведенном фирмой Brad Foote Gear Works - индукционная закалка зуба. Ниже, наше колесо - клон. Заказчик, Metso Minerals из Висконсина, попросил нас клонировать колеса их поставщика, чтобы уменьшить зависимость от существующий монополии. На нашем клоне отчетливо заметно мастерство

металлообработки по сравнению с работой монополиста-поставщика из другого штата. В глаза бросаются такие наши незначительные детали как, почти зеркальная чистота поверхности зуба, идеально закругленные кромки по периметру зуба, оптимизированная с точки зрения напряжений выкружка впадины, и не менее важная в условиях технологических позиций идеально отгравированная на ЧПУ метка "Сделано в США". Наше колесо цементированно, заколено в вывешанном состоянии ось горизонтально без закалочного пресса. Закалочные поводки компенсированны и конечная глубина цементации выровняна по специальному методу, который возможен только при этой технологии нарезания и заслуживает отдельного разговора.



Зубья шестерни после закалки не протачивали т.к. ее не сильно повело, да и поверхность зуба спроектировали на компенсацию возможных поводов.

Metso Minerals, наш заказчик, испытывал колеса на натурном изделии на полигоне в Техасе. Пары собирали в разных комбинациях. Наша шестерня с нашим колесом, наше колесо с не нашей шестерней и наоборот. Наши колеса оказались плавнее и легче в сборке для достижения желаемого пятна контакта. Даже смешанные пары с нашими колесами были лучше, чем чисто чужие пары. В результате наши колеса стали продавать с 100-процентной наценкой как особо долговечные. А монополист, Brad Foote Gear Works, поставщик из другого штата сильно упал в цене и улучшил график поставок в 2 раза. Но позднее, я помог этому поставщику с технологией, т.к. они стали терять заказчиков, т.к. все их заказчики стали сами колеса нарезать без станков Глисона. Например другой их заказчик National Oil Varco (NOV) попросили помочь, и я им помог делать колеса для буровых столов на станках Mazak, что они и начали успешно делать сами в 2010.

Mazak потом стал много станков продавать под нарезание зуба и я им до сих пор помогаю с программами и теории колес.



<http://www.youtube.com/watch?v=dFZCHuZmSCc>

Конечно 5-ти координатные станки немного подороже чем 3-координатный который был у меня, но все равно в 3 раза дешевле чем Глисон и на нем можно не только зуб нарезать, но и все колесо проточить и отфрезеровать и корпус редуктора сделать. Но кроме Mazak много других подходящих станков. Я помогал фирмам Remacontrols, DMG Gildemeisted, Breton. Все они успешно режут конички на своих станках. Правда, в отличии от Глисона, недостаток их в том, что они в колесах мало разбираются и за ними надо следить, чтобы все правильно делали.

Часто задаваемые вопросы

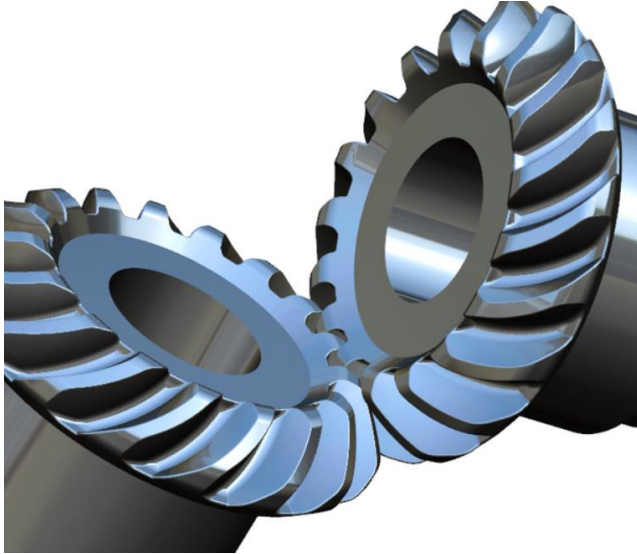
1. Какие типы и размеры колес можно нарезать?

С 1999 года я продал 3-х мерные модели практически всех типов колес для нарезания числовым методом. Гипоидные - особенно часто покупаются почему-то из Австралии для большегрузных грузовиков. Глобоидные - из Южной Африки. Плоские с цилиндрической шестерней - в США для вертолетов, медицины и приборов. Червячные редко кто покупает. Как ни старанно много покупают простых цилиндричек, но с малым числом зубьев, наверное из-за того, что я правильно моделирую впадину. Очень много продается переменного передаточного отношения шестерня/рейка для рулевого управления автомобилей. Спирално-конические модели клиенты предпочитают моделировать сами покупая програмки моделирования, которые очень недорогие. Ограничений по размерам нет. Но конечно стратегия нарезания должна быть правильно выбрана для достижения наилучшего результата. Что хорошо для 2-х метрового колеса может быть не совсем хорошо для 20мм шестерни. Конечно ограничения есть, но по сравнению с Глисоном можно сказать, что ограничений практически нет.

2. А в авиации как обстоят дела с новой технологией?

В авиации нарезанных по такому методу колес пока не видел. Это не потому, что в авиации метод не работает, а потому, что все вертолетные поставщики колес были выбраны до того как новая

технология взорвала колесный рынок. В консервативной авиации трудно изменить процесс если процесс уже утвержден. Но судя по всему скоро технология пойдет в авиацию т.к. не только цена и время производства сокращается, но и прочность колес увеличивается благодаря новым возможностям конструирования зуба, например как на этой модели



<https://grabcad.com/library/spiral-bevel-miter-gear-set-1>

3. Какие можно применять материалы и виды термообработки?

Лично мы применяли 4320 цементированное и 4340 закаленное для горной индустрии. В вертолетостроении популярно 9310 цементированное. Окончательная обработка цементированной поверхности HRC 64 производится специальной фрезой. Мы например платили 30 долл за шт карбидная 1/2 дюйма диаметром. Для сравнения аналогичная Глисоновская резцовая головка обошлась бы в 20 т.д. плюс спец станок для сборки плюс спец станок для заточки. Мы даже фрезы не перетачивали а просто заряжали 20 шт в станок и станок менял их когда тупились.

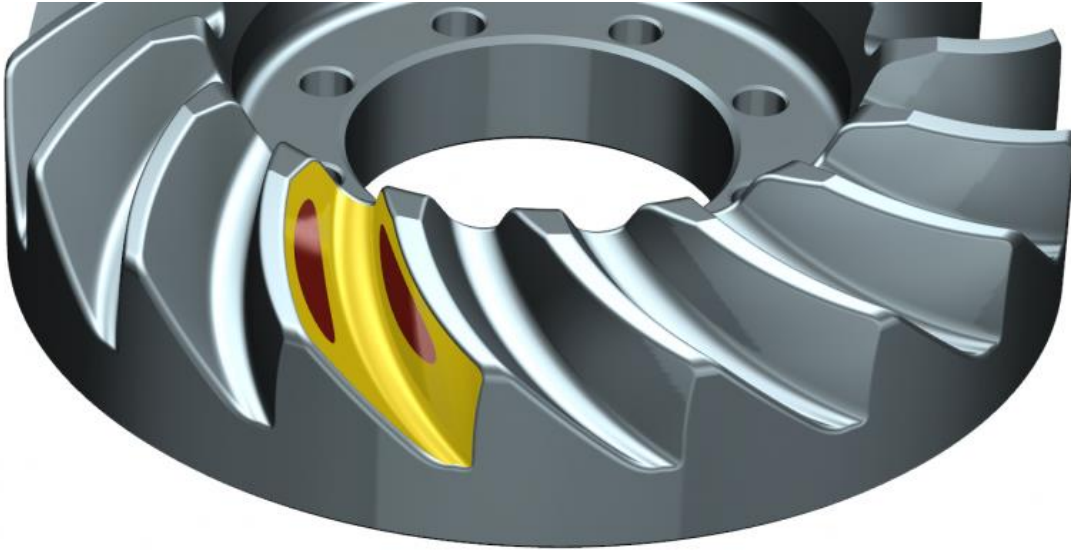
Закалку личше всего делать без пресса, как мы и делали на 1600мм колесе. Поводки компенсируются числовым методом так, что плавность зацепления сохраняется и цементированный слой остается постоянной глубины. На Глисоне так сделать нельзя, а придется выкинуть почти законченную деталь если сильно повело при закалке. Иными словами можно спасти намного больше деталей и особо не надо закалочного пресса.

4. Какое нужно программное обеспечение и оборудование?

- Программа для 3-х мерного моделирования зуба. Сейчас наверное около 10 фирм такие продают включая меня.

- Неплохо иметь программы моделирования пятна контакта. У меня программа есть. Но можно моделировать в стандартном КАД пакете, например в NX:

http://www.spiralbevel.com/tca_in_cad



- Надо стандартную программу для программирования станка ЧПУ. Таких програм полно на любой вкус. Самая популярная [MasterCam](#).

- Надо программу для контрольно-измерительного станка, чтобы проверять правильность окончательного зуба по 3-х мерной модели.

- Надо станок ЧПУ

- Надо 3-х координатный измерительный станок

- Зуборезный Глисон не надо

- Зубошлифовальный не надо

- Контрольнообкатной не надо

- Станок для заточки резцовых головок не надо

- Станок для сборки резцовых головок не надо

- Станок для измерения кинематической погрешности не надо

- Закалочный пресс не надо

- Проверку на шлифовочные прижоги не надо

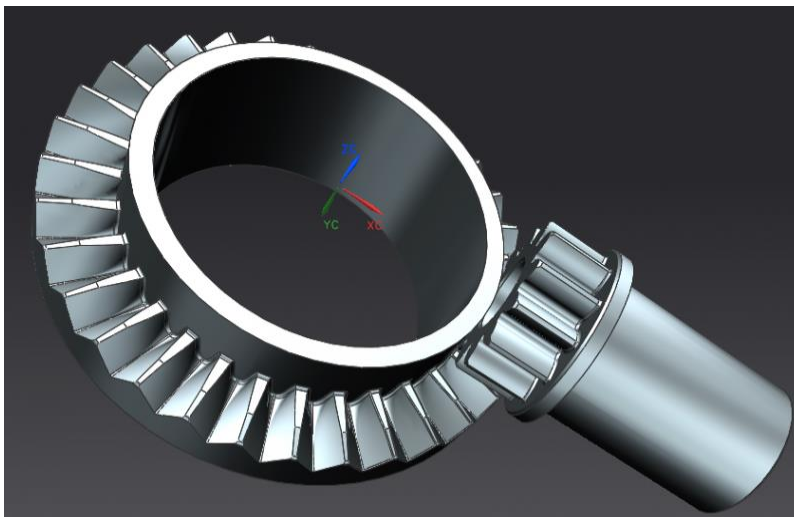
- Дорогие программы Глисона не надо
- Опытных зуборезчиков не надо, но надо опытных станочников универсалов

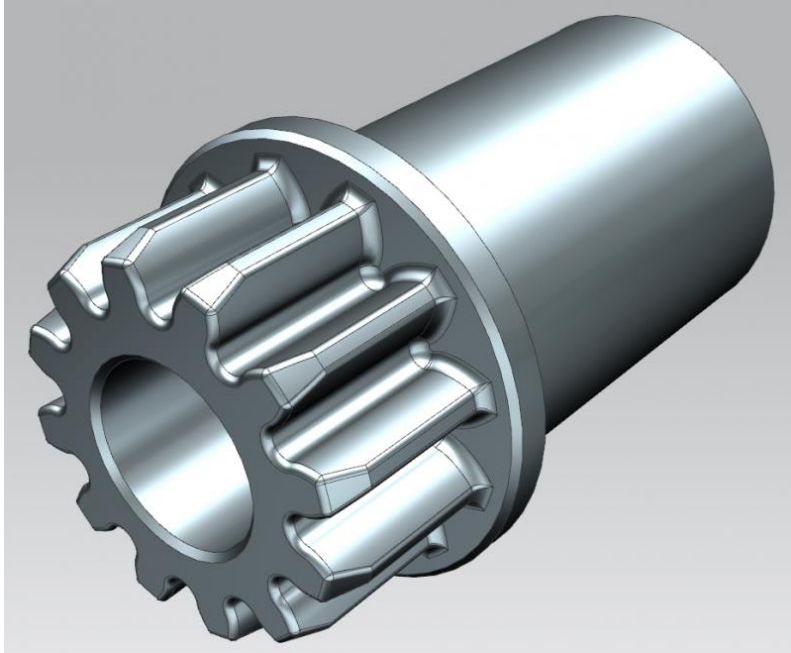
5. Какие преимущества и недостатки для авиации в сравнении с традиционным методом?

Главный и наверное единственный недостаток это консерватизм авиации. Поставщики уже владеют дорогими станками Глисона и не хотят осознать, что все чем они гордились уже не конкурирует. Например в Автомобильной промышленности Глисон побеждает продуктивностью. Но на Боинге мы не делаем 3000 колес в день как на General Motors. На Боинге мы делаем от силы 3000 за всю историю данного изделия, как бы штучное производство. Так, что единственное преимущество в скорости Глсону не помогает нисколько.

Преимущества:

- Цена в разы меньше, чем на системе Глисона при одинаковом качестве. Особенно экономия налицо когда надо наладить новое производство колес с нуля как Кейси, Марек и я наладили в гараже в Чикаго за несколько недель.
- Колеса лучше по плавности и прочности благодаря возможности оптимизировать поверхность зуба
- Меньше брака при закалке и при обработке. Естественным образом нет прижогов.
- Можно проектировать детали редукторов как раньше не было возможно из-за специфик инструмента Глисона. Вот пример:





- Легче контролировать конечную форму зуба на координатно-измерительном станке, а не по пятну. Пятно можно смоделировать для каждой конкретно изготовленной пары и проверить на влияние перекосов на компьютере
- Не надо опытного зуборезчика, а надо опытного станочника универсала
- Станки могут делать не только колеса но и все другое
- Технология развивается очень быстро, тогда как Глисон технология совсем не развивается.