

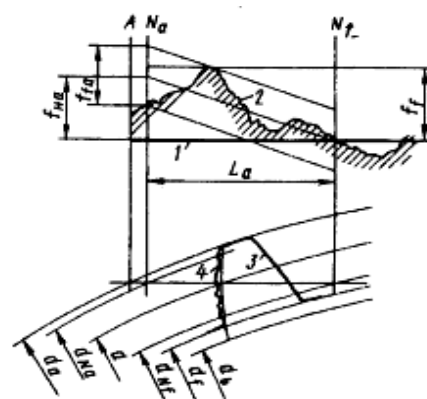
## 12. Анализ влияния погрешностей изготовления зубчатых колес на их нагрузочную способность.

Повышение надежности зубчатых колес горных машин – это комплексная проблема, которая должна решаться на всех стадиях их изготовления. Технологический процесс изготовления высоконагруженных поверхностно упрочненных зубчатых колес включает в себя следующие операции: получение заготовки; ПТО; черновую обработку заготовки; чистовую обработку заготовки; подготовку баз для зубонарезания, нарезание зубьев черновое и чистовое (при модуле более 5 с промежуточной нормализацией и шлифованием базовой поверхности), химико-термическую обработку, шлифование базовых поверхностей, шлифование рабочих поверхностей зуба и окончательный низкий отпуск после шлифования.

Погрешности изготовления зубчатых колес приводят к повышению динамических нагрузок, вибрации, шуму передач и преждевременному выходу из строя. Надежность зубчатых колес закладывается на стадии их нарезания. Возможная погрешность изготовления на этом этапе усугубляется в процессе высокотемпературной химико-термической обработки, поэтому качеству и точности нарезания зубчатых колес необходимо уделять особое внимание. Была поставлена задача оценки точности изготовления зубчатых колес, выявления причин погрешностей изготовления и моделирования на ЭВМ зубчатого зацепления с реальным профилем с целью оценки влияния погрешностей изготовления на нагрузочную способность зубчатых колес.

ГОСТ 1643 насчитывает 15 параметров точности зубчатого колеса, разделённых на четыре нормы точности: кинематической точности, плавности работы, контакта зубьев и бокового зазора. Погрешность профиля зуба, исследуемая в нашей работе, относится к нормам плавности работы.

*Погрешность профиля зуба  $ff_r$*  – расстояние по нормали между двумя ближайшими друг к другу номинальными торцовыми профилями зуба, между которыми размещается действительный торцовый активный профиль зуба зубчатого колеса. Погрешность профиля измеряют с помощью эвольвентомеров или измерительных центров. Теоретически точный эвольвентный профиль  $3$  зубьев, записанный измерительным прибором в увеличенном масштабе,



представляет собой прямую линию. Как правило, эвольвентный профиль 4 имеет отклонения от теоретической точной формы в «+» или «-», и его форма изображается в виде кривой линии 2. Диаметры  $N_a$  и  $N_y$  ограничивают активную линию профиля соответственно на головке и ножке зуба на длине измерения  $L_a$ .

Многие производители цилиндрических зубчатых колес для более точной оценки погрешности профиля  $f_{fr}$  рассматривают ее состоящей из погрешности формы профиля  $f_{fa}$  и угла профиля  $f_{Ha}$ . Наряду с числовыми значениями погрешностей профиля зубьев очень важна также аналитическая оценка графически записанной формы профили: длины активной линии профиля и его угла, наличия необходимых модификаций, волнистости и т.д.

Наиболее полную информацию о причинах возникновения погрешностей дает аналитический контроль. Для получения исходных данных по погрешностям зубчатых венцов был задействован зубоизмерительный центр Mahr серии GMX (рис. 1). Результаты измерения на таком центре не только позволяют провести комплексную оценку качества зубчатого венца по нескольким показателям, но и дают возможность для анализа причин появления этих погрешностей.

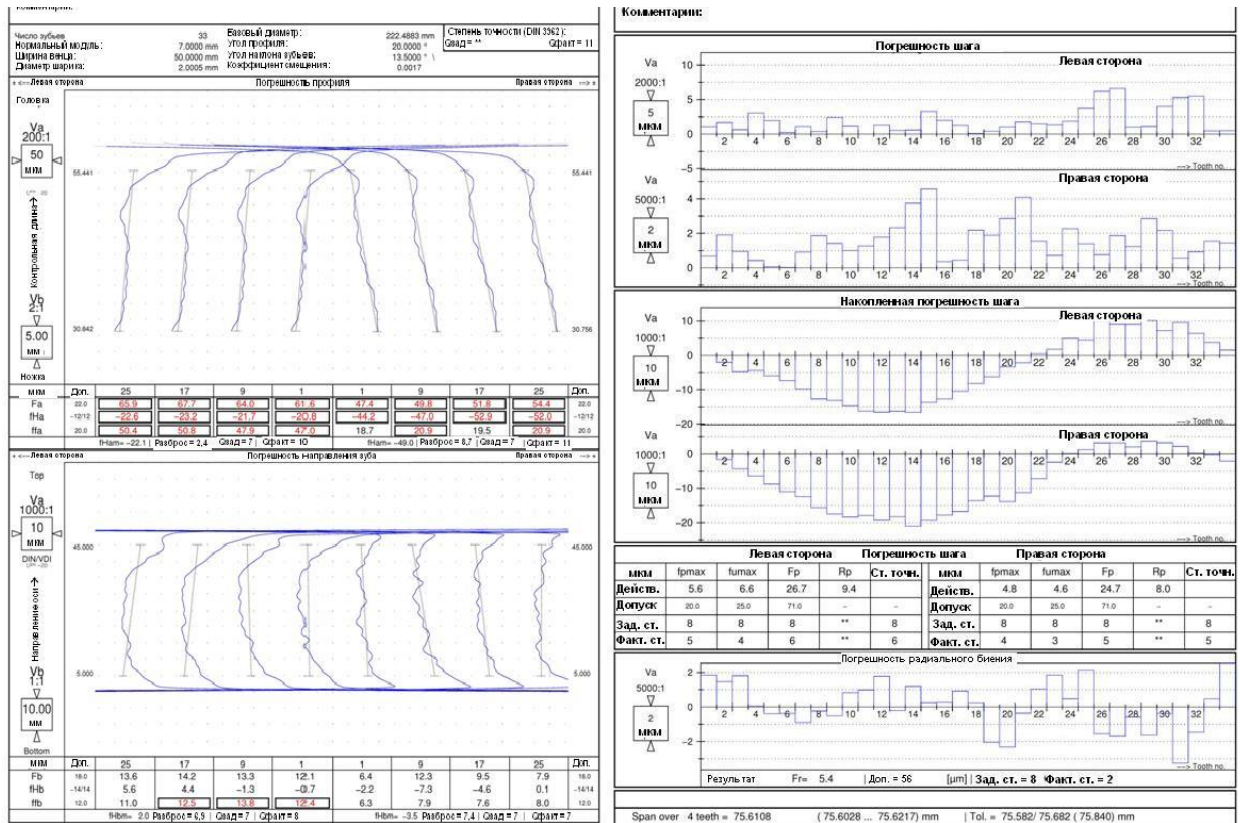
На данных протоколах приведены результаты оценки погрешностей профиля зуба.

Рассмотрим составляющие этих погрешностей, а также методы их измерения и оценки на зубоизмерительных центрах Mahr GMX.



Рис. 1. Зубоизмерительный центр Mahr GMX 275

## Протоколы измерения косозубого цилиндрического колеса на зубоизмерительном Центре Mahr GMX 400



Измерения профиля проводятся перпендикулярно по отношению к эвольвентной кривой и определяют положение и форму эвольвенты независимо от влияния других отклонений.

Зубоизмерительные центры Mahr оценивают профиль зуба по трем составляющим:

Отклонения угла профиля  $f_{H\alpha}$  – это отклонения угла профиля, не зависящие от отклонений формы профиля.

Отклонения формы профиля  $F_{f\alpha}$  – это отклонения формы профиля, не зависящие от отклонений угла профиля.

Полное отклонение профиля  $F_{\alpha}$  представляет собой взаимное наложение отклонений угла и формы профиля.

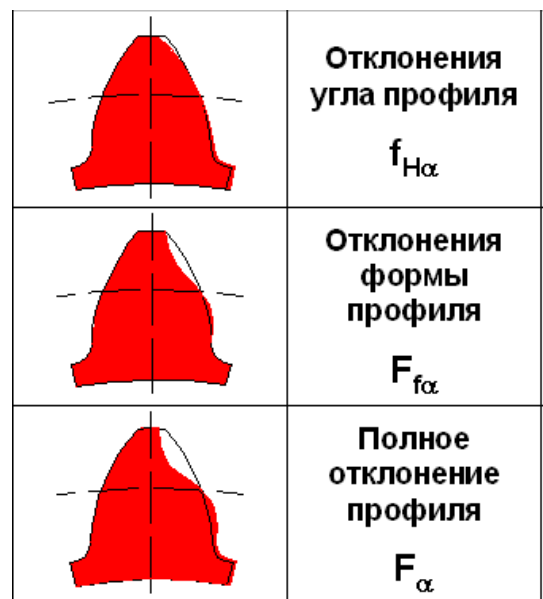


Рис. 2. Составляющие погрешности профиля зуба



Рис. 3. Погрешность профиля на протоколах измерения Mahr

На рисунке представлен фрагмент протокола измерения погрешности профиля зубчатого колеса на зубоизмерительном центре Mahr GMX. В результате измерений проводится анализ с целью выявления причин погрешностей зубонарезания.

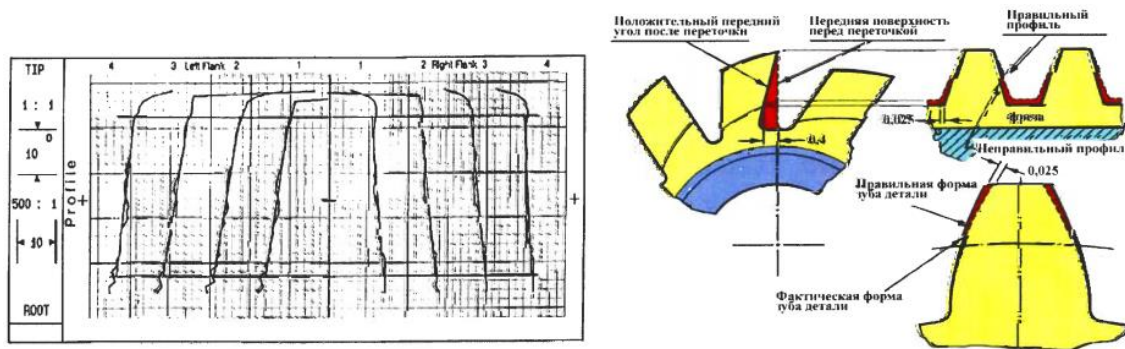


Рис 4. Анализ результатов измерения. Профиль зуба: утончение головки.

На рисунке показан фрагмент протокола, на котором профиль зуба имеет явное утончение головки. Такая погрешность может быть следствием:

- Неправильной заточки фрезы. На фрезе после переточки образовался положительный передний угол. В результате зуб фрезы увеличивается к наружному диаметру, соответственно уменьшая зуб детали;
- Неправильной установки угла поворота головки фрезерного станка;

- Применения некачественной фрезы.

Причиной увеличения головки зуба могут быть:

- Неправильная заточка фрезы. На фрезе после переточки образовался негативный передний угол. В результате зуб фрезы уменьшается к наружному диаметру, соответственно увеличивая зуб детали;
- Неправильная установка угла поворота головки фрезерного станка;
- Червячная фреза общего неудовлетворительного качества.

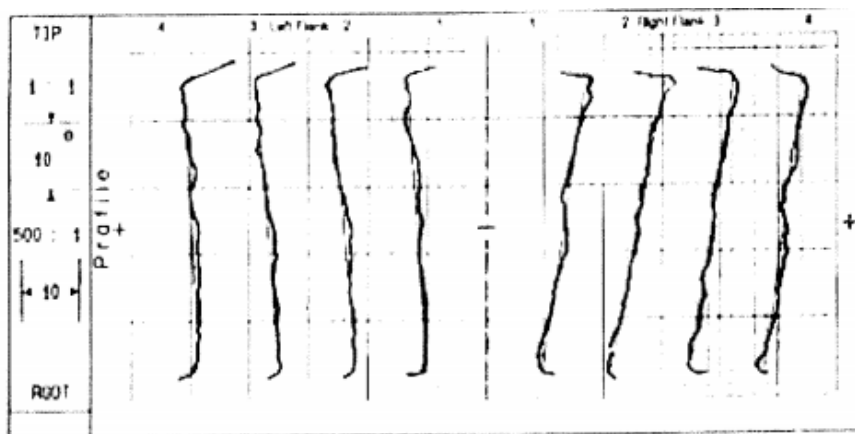
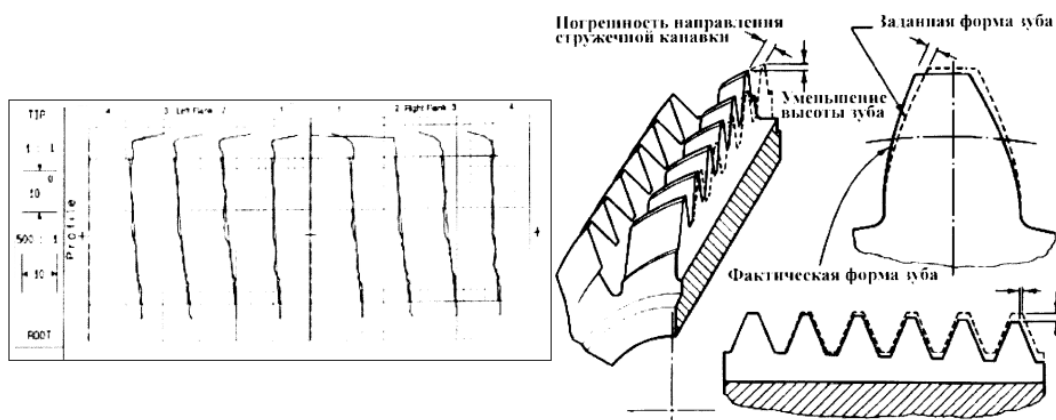


Рис. 5. Анализ результатов измерения. Профиль зуба: наклонный зуб.

Основной причиной наклонной формы профиля зуба является неправильная заточка фрезы. Фреза переточена с погрешностью шага винтовой канавки, что приводит одновременно к наклону профиля и изменению размера при передвижке фрезы.



В случае, если на протоколах измерения профиля зуба наблюдается равномерная волна, можно говорить о:

- Биении фрезы на оправке. Может быть вызвано плохой фрезой, поврежденной оправкой и загрязнением оправки при монтаже;

- Неправильной заточке фрезы. Фреза была переточена с радиальным биением из-за установки с перекосом на оправку или оправки на станок;
- Слабо закрепленной или изношенной оправке в противоопоре станка;
- Слишком большом люфте шпинделя фрезы фрезерного станка;
- Слишком большом люфте стола фрезерного станка.

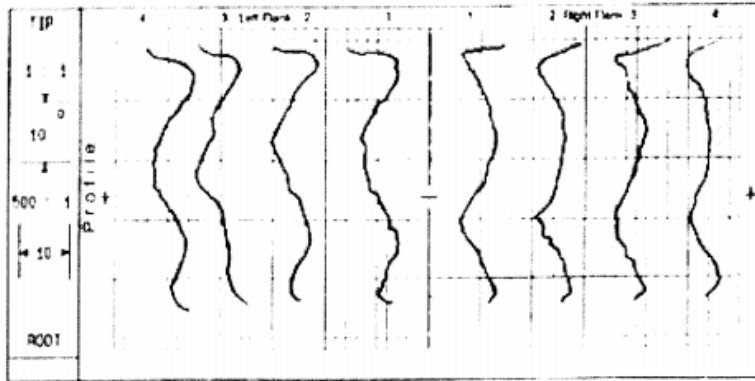


Рис. 6. Анализ результатов измерения. Профиль зуба: равномерная волна.

Если же наблюдается неравномерная волна, то наиболее вероятными причинами образования такой погрешности является:

- Слабо закрепленная или изношенная оправка в противоопоре станка;
- Слишком большой люфт шпинделя фрезы фрезерного станка;
- Слишком большой люфт стола фрезерного станка;
- Общее плохое состояние фрезерного станка.
- Ошибки шага заходов многозаходной фрезы;
- Погрешности ходового винта или подшипников ходового винта станка.

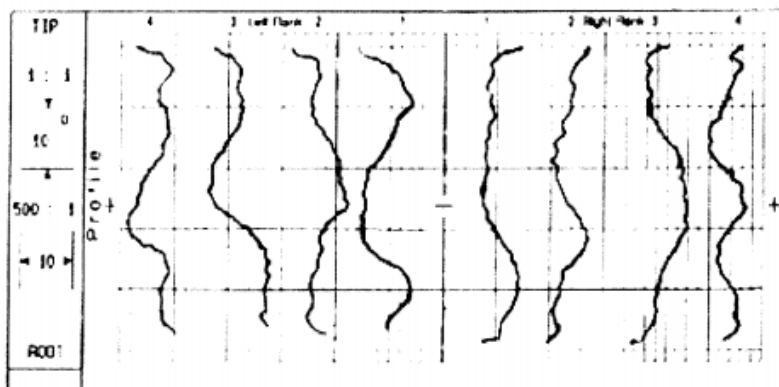


Рис. 7. Анализ результатов измерения. Профиль зуба: неравномерная волна.

Графическое представление погрешностей профиля, получаемое на зубоизмерительных центрах Mahr, позволяет не только оценить качество зубчатого колеса и выявить возможные причины образования этих погрешностей, но и прогнозировать влияние погрешностей на ресурс зубчатой пары. Для этого строятся модели зубчатых колёс с модифицированными, согласно значениям измеренных погрешностей профиля, зубьями. Затем, с помощью пакета COSMOSWorks, проводится анализ нагруженных состояний зубчатой пары под действием номинальных и максимальных значений нагрузок.

В данный момент ведётся активная работа в этом направлении.