

Высокоскоростной и тяжелонагруженный мультиплликатор для турбоприводной компрессорной установки 66ГЦ-1162/1,3-38

К.С. Утин, И.В. Ферафонтов (ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа»)

Приводится анализ изготовления зубчатой передачи мультиплликатора, а также рекомендации при проектировании и изготовлении высокоскоростных зубчатых передач.

Ключевые слова: мультиплликатор, зубчатая передача.

High-speed heavy-duty step for 66ГЦ-1162/1,3-38 turbine-driven compressor plant

K.S. Utin, I.V. Ferafontov

Analysis of the step-up gears manufacturing method and some advice on development and manufacture of high-speed gear transmissions have been presented.

Key words: step-up gearbox, gears transmissions

При разработке турбоприводного компрессорного агрегата для компримирования низконапорного попутного нефтяного газа, поступающего с месторождений ООО «РН-Юганскнефтеоргсинтез», и смеси газов 2-й и концевых ступеней сепарации нефти с Мамонтовской УПС до давления 3,7 МПа (37,74 кгс/см², абс) для дальнейшей его переработки на УПГ-1 и УПГ-2 появилась необходимость создания мультиплликатора (рис. 1), предназначенного для трансформирования частоты вращения ротора компрессорной установки 66ГЦ-1162/1,3-38 ГТУ (рис. 2).

Мультиплликатор представляет собой одноступенчатый горизонтальный ускоритель переборного типа.

Технические характеристики мультиплликатора

Передаваемая мощность, кВт	16 000
Частота вращения, об/мин:	
на входе	5285
на выходе	7184
Передаточное отношение	1,359375
Межосевое расстояние, мм	500
Диаметр делительной окружности, мм:	
зубчатого колеса	576,159
вала-шестерни	423,841

В связи с тем, что приводом компрессорной установки служит турбина с частотой вращения ротора 5285 об/мин, окружная скорость в зацеплении мультиплликатора достигает ~160 м/с. На находящихся в настоящее время в эксплуатации в составе компрессорных установок подобных мультиплликаторах окружная скорость в зацеплении достигала лишь ~130 м/с.

Исходя из обобщения опыта изготовления передач мультиплликаторов для энергетических установок, зацепление зубчатой передачи данного мультиплликатора должно выполняться по степени точности 3 (ГОСТ 1643-81): для зубчатого колеса допускаемое радиальное биение зубчатого венца – не более 0,013 мм,



Рис. 1. Мультиплликатор

погрешность обката – не более 0,012 мм, допускаемая циклическая погрешность – не более 0,0013 мм. Для вала-шестерни допускаемые отклонения по кинематической точности и плавности работы аналогичны колесу.



Рис. 2. Компрессорная установка

Разработанная зубчатая передача имеет следующие технические характеристики:

Модуль, мм	6
Исходный контур	По ГОСТ 8889–88
Число зубьев:	
зубчатого колеса	87
вала-шестерни	64
Угол наклона зуба делительном цилиндре, градус	25°02'30,07"
Ширина полуշеврона, мм	200
Степень точности зацепления по ГОСТ 1643–81	3

Зубчатое колесо и вал-шестерня выполнялись из поковок стали 38ХН3МФА (ГОСТ 4543–71), термоулучшенных до КП-785 (ГОСТ 8479–70). После каждой операции при механической обработке заготовок проводилась термостабилизация для снятия внутренних напряжений.

Нарезка зубчатых венцов велась на термоконстантном участке (температура $20^\circ \pm 0,5^\circ$) на прецизионных зубофрезерных станках фирмы PFAUTER (Германия) прецизионным инструментом – червячными фрезами фирмы FETTE (Германия) класса AAA DIN 3968. По завершении каждой зубофрезерной операции проводилась термостабилизация.

После зубофрезерования зубчатых венцов и притирки пятна контакта на специальном притирочном стенде венцы подверглись азотированию (толщина 0,4...0,6 мм, твердость HV 500). После азотирования зубчатых венцов передача вновь подвергалась притирке на стен-

де для снятия с рабочих поверхностей зубьев хрупких нитридов и формирования пятна контакта в зацеплении. Зубофрезерование зубчатых венцов и притирка пятна контакта выполнялась комплексом «Редуктор» (ЗАО «Завод Киров-Энергомаш»).

Прикатанные зубчатое колесо и вал-шестерня подвергались тщательной динамической балансировке.

Выполненная по 3-й степени точности ГОСТ 1643–81 зубчатая передача была уложена на соответствующие подшипники корпуса мультипликатора.

Собранный мультипликатор смонтирован в составе компрессорной установки на КС Южно-Балыкского ГПК ОАО «СибурТюменьГаз».

Однако надежность эксплуатации компрессорного агрегата в большой степени зависит от «шарнирной» способности соединительных зубчатых муфт.

При экспериментальных исследованиях нагрузочной способности зубчатых передач на испытательном стенде ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» на мультипликаторе была достигнута окружная скорость в зацеплении ~ 145 м/с, при этом надежность эксплуатации агрегата зависела не от надежной работы зацепления мультипликатора, а от «шарнирной» способности соединительных зубчатых муфт. Нарушение этого требования приводило к «схватыванию» зубьев шестерни и обоймы у основания зубьев. При точно изготовленной зубчатой шестерне и обойме все зубья муфты в процессе эксплуатации агрегата нагружаются равномерно и вероятность их «схватывания» зависит от концентра-

ции напряжений в основании зубьев. Разброс эффективного коэффициента концентрации может быть вызван износом и деформацией зуборезного инструмента (долбяка) в процессе обработки зубьев. Кроме того, замечено, что при изготовлении обойм, нарезание зубьев которых выполняется долбяком, увеличивается радиус переходной кривой в основании внутреннего зуба. При этом, несмотря на то, что наружный диаметр шестерни и обоймы выполнен в соответствии с чертежом, обойму практически невозможно установить. Детальное исследование некоторых случаев «схватывания» зубьев показывает, что на дефектных зубьях нагрузка прикладывалась у вершины зуба шестерни. Увеличение нагрузки происходит вследствие дополнительной деформации, вызванной ошибкой изготовления переходной кривой на галтели зуба.

Опыт изготовления зубчатых муфт позволяет сделать вывод о том, что для качественного изготовления обойм требуется их тщательное «выхаживание» при зубодолблении. Наилучший эффект достигается в том случае, когда число проходов при чистовой обработке соответствует числу зубьев обоймы. Однако при этом резко увеличивается время изготовления детали. Поэтому одним из способов исключения контакта на галтели внутреннего зуба является фланкирование наружных

зубьев шестерни. В этом случае требования к переходной кривой существенно снижаются.

Обоймы зубчатых муфт ГТУ были выполнены с отклонением по радиальному биению зубчатого венца и увеличенной шероховатостью рабочих боковых поверхностей зубьев, что ухудшало «шарнирные» способности муфт и создавало благоприятные условия для «схватывания» зубьев.

Муфты зубчатые в сборе на оправках были тщательно отбалансированы на балансировочном станке «Schenk».

При пусконаладочных работах, учитывая плавный пуск турбины, появилась возможность прикатать мультиплекатор и зубчатые муфты при ступенчато возрастающих нагрузках. Это способствовало сглаживанию микронеровностей рабочих поверхностей зубьев муфт, формированию контакта с наклепанной упрочненной поверхностью и образованию прочного масляного клина, исключающего металлический контакт.

Мультиплекатор на всех режимах работал стабильно, вибраакустические параметры находились в пределах норм, температура подшипников не превышала допустимой.

Мультиплекатор в составе ГТУ 66ГЦ-1162/1,3-38 успешно прошел приемо-сдаточные испытания у заказчика и принят к эксплуатации.



Одннадцатая международная специализированная выставка

Криоген-ЭКСПО

6 – 8 ноября 2011, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР», пав. 5

Организатор:
ИПР-ЭКСПО
выставочная компания

Проводится при содействии:

- Международного института холода
- Международной академии холода
- Украинской ассоциации «УА-СИГМА»

ТЕМАТИКА ВЫСТАВКИ

- Криогенное оборудование
- Гелиевое оборудование
- Вакуумное оборудование
- Холодильное и компрессорное оборудование
- Микрокриогенная техника
- Сжиженный природный газ
- Промышленные и редкие газы
- Применение криогенных технологий в промышленности
- Системы безопасности
- Водородные технологии
- Применение криогенных технологий в медицине и биологии, научно-технических исследованиях
- Емкости для хранения и транспортировки
- Метрология и средства измерения при низких температурах
- Комплектующие, вспомогательное оборудование, системы управления и программное обеспечение
- Сертификация и технические регламенты в криогенной отрасли
- Система образования и кадровое обеспечение

Специальный раздел «Промышленные газы»

- » производство промышленных (азота, кислорода, аргона, водорода, ацетилена) и редких промышленных газов;
- » оборудование для хранения, транспортировки и потребления газов;
- » технологии генерации и использования озона;
- » продажа промышленных газов;
- » on-site технологии

ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА

9-я международная научно-практическая конференция
«Криогенные технологии и оборудование. Перспективы



«КРИОГЕН-ЭКСПО» на русском:
www.cryogen-expo.ru
«CRYOGEN-EXPO» in English:
www.cryogen-expo.com



Дирекция выставки: 115533, Москва, проспект Андропова, 22

Тел/факс: 8 (499) 618-05-65, 8 (499) 618-36-88

E-mail: info@cryogen-expo.ru | Сайт: www.cryogen-expo.ru

Твиттер: [@cryoexpo_ru](https://twitter.com/cryoexpo_ru)