

Мы продолжаем серию публикаций о производственных компаниях, которые смогли добиться успеха и признания в разных секторах промышленности благодаря личным качествам своих владельцев и руководителей, ориентации на использование современного оборудования с ЧПУ, инновационного режущего инструмента и CAD/CAM-системы Mastercam со встроенной поддержкой технологии Динамической обработки.

На сей раз речь идет о позитивной роли Mastercam на площадке американской компании Achates Power, известной своими достижениями в создании экологичных двигателей внутреннего сгорания с оппозитным расположением поршней в цилиндрах. Этот кейс примечателен в двух аспектах. Во-первых, обращает на себя внимание уровень сложности задач механической обработки поршней и гильз цилиндров, решаемых в компании с применением 5-осевых станков с ЧПУ и продвинутых возможностей программирования обработки в среде Mastercam. Во-вторых – плодотворное сотрудничество специалистов Achates Power и компании-реселлера Mastercam, в трудных случаях, когда требуется интеграция их компетенций для решения неординарных задач обработки.

Как CAD/CAM-система Mastercam помогает компании Achates Power создавать экологичные моторы

Юрий Суханов

По материалам компаний CNC Software, Achates Power и Cummins

Соединенные Штаты Америки – крупнейший рынок легковых и грузовых автомобилей, автобусов, тягачей и другой автотранспортной техники, предназначенной, в том числе, для военных и специальных нужд. Под стать выдающемуся американскому автостроению и собственное двигателестроение. Компания, о которой пойдет сегодня речь, работает именно в этой важной отрасли, причем, в той её части, деятельность которой не только способствует развитию наших представлений о современных моторах и их характеристиках, но позволяет получать выдающиеся экспериментальные образцы. Новые двигатели отличает оригинальность конструкции, высокая эффективность и низкие показатели выделяемых в виде выхлопа веществ, вредных для здоровья человека и окружающей природы: угарного и углекислого газов, оксидов азота, твердых сажевых частиц.



Сан-Диего (шт. Калифорния) – один из лучших для жизни городов мира. Здесь и расположилась штаб-квартира компании Achates Power, получившей известность благодаря своим инновационным оппозитным двигателям с отменными показателями мощности, экономичности и экологичности

Несмотря на переход многих автомобилестроительных концернов к производству автотранспорта на электрической тяге, спрос на экономичные и экологичные двигатели внутреннего сгорания (ДВС) по-прежнему остается активным, что рассеивает



Источник: <https://yamaha-volga.ru>

появившиеся сомнения в отношении перспектив у их создателей и потенциальных потребителей.

Создание экологичного двигателя

Компания *Achates Power* из города Сан-Диего (шт. Калифорния), занимающего пятую строчку в топе лучших для жизни городов мира, и сегодня опережает свое время, а в 2004 году, когда её основал доктор **James U. Lemke** (в прошлом – профессор физики и основатель *Spin Physics, Inc.*; ушел из жизни 22.02.2019 г., не дожив девять месяцев до 90 лет), она была новаторской. Глядящая в будущее компания разрабатывает экологически чистые двигатели внутреннего сгорания для легковых и грузовых автомобилей, а также для военного, морского и стационарного использования.

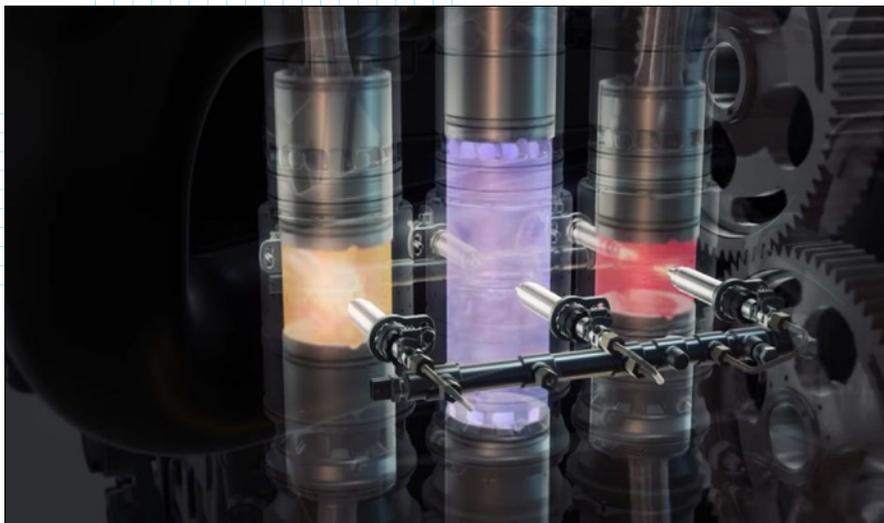


James U. Lemke в 2015 году

Сам по себе двигатель с оппозитными поршнями, появившийся в начале 1880-х годов, не является чем-то новым. Если очень коротко, то в нём обычно используются два поршня, установленные на каждом конце общей головки блока цилиндров, обращенные друг к другу. Эти поршни, оснащенные отдельными коленчатыми валами и шатунами, движутся навстречу друг другу, и по мере их сближения в цилиндр подается топливо для сгорания.

Ухватившись за эту идею, компания *Achates Power* сумела её развить и довести почти до совершенства, защитив свои находки сотней патентов. Практическая работа началась с небольшого полнофункционального прототипа двигателя (втиснутого в *Ford F-150*), который, в конечном итоге, превратился в 10.6-литровый трехцилиндровый ДВС. Этот инновационный продукт, призванный заменить обычные 13- и 15-литровые четырехтактные 6-цилиндровые дизельные моторы в грузовиках класса 8, развивает мощность 450 л.с. при 1700 об/мин и крутящий момент 2372 Н·м при 950 об/мин. По мнению руководства компании, у этого двигателя хорошие коммерческие перспективы.

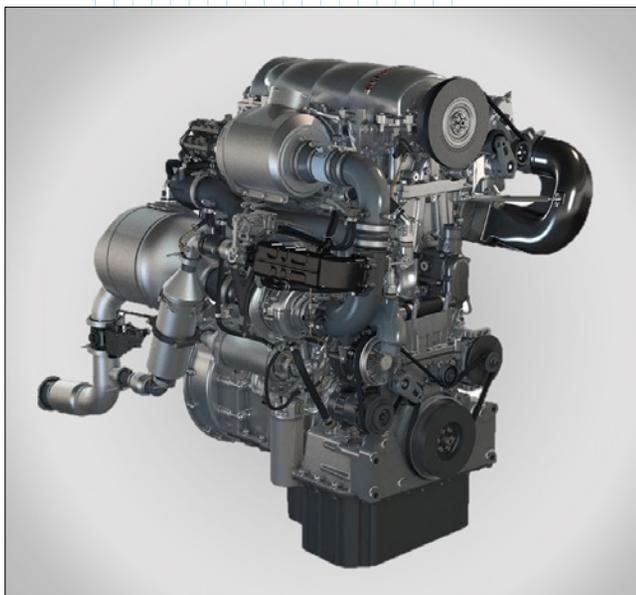
Эта работа не осталась незамеченной, и компания *Achates Power* получила контракт на 5 млн. долларов от армии США на исследования и разработки, направленные на расширение своего семейства двигателей с учетом нужд армии. Проект двигателя-демонстратора, выполненный в рамках концепции *Advanced Combat Engine (ACE)* в сотрудничестве с крупной двигателестроительной компанией *Cummins*, удостоился награды в конце 2020 года. Военные, оценив возможности этого усовершенствованного боевого двигателя, взяли на себя обязательство обеспечить финансирование проекта по созданию семейства ДВС



Хорошая иллюстрация идеи и работы двигателя с оппозитными поршнями. Источник: Achates Power, Inc.

с оппозитными поршнями для укомплектования ими тактических транспортных средств. Стратегия разработки предусматривает общую систему силовых цилиндров для нескольких вариантов двигателей, призванных удовлетворить диапазон требований к мощности и крутящему моменту, а также к процессам технического обслуживания и ремонта военных транспортных средств с общей архитектурой.

В рамках принятых обязательств Армия США заключила с *Cummins* контракт на 87 млн.



Представленный компанией Achates Power инновационный трехцилиндровый 10.6-литровый двигатель с оппозитными поршнями дает очень низкий уровень выбросов и, по-видимому, сможет продлить жизнь ДВС как классу. Источник: Achates Power, Inc.

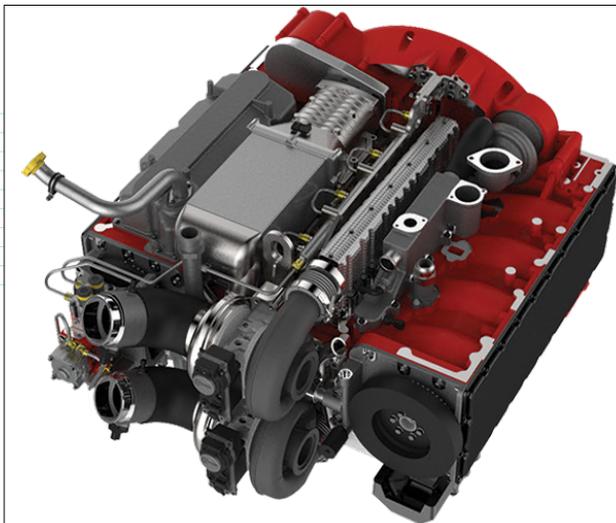
долларов для завершения разработки *ACE*: модульного масштабируемого дизельного двигателя, способного поддерживать некоторую гибридизацию (работа на разном топливе), в котором для обеспечения существенного роста мощности и лучшего отвода тепла используется инновационная технология построения двигателя с оппозитными поршнями от *Achates Power*.

Сочетание ноу-хау *Achates Power* и надежной конструкции двигателя компании *Cummins*, а также её возможности производства и внедрения новой продукции, позволяют партнерам создать в кооперации высокопроизводительный и надежный ДВС следующего поколения для военных операций.

Кроме того, успех *Achates Power* в разработке высокоэффективных и недорогих двигателей привел к тому, что она установила рабочие отношения почти со всеми оригинальными производителями легковых и грузовых автомобилей. Двигатели компании соответствуют стандартам, определяющим нормы выброса вредных веществ – *EPA 2010*, *Euro 6* и *Tier3/LEV 3*.



Тестовый двигатель, установленный прошлым летом на грузовик Peterbilt 579, который обслуживает в ежедневном режиме сеть Walmart, показал обнадеживающие результаты. Источник: www.peterbilt.com



Компания Achates Power в сотрудничестве со своим технологическим и производственным партнером – компанией Cummins – разработала усовершенствованный боевой двигатель (ACE) для армии США. Цель проекта ACE – создать значительно более мощный двигатель для боевых машин (бронетранспортеров) Bradley. Полученный 14.3-литровый двухтактный двигатель с наддувом, мощностью 1000 л.с., с оппозитным расположением поршней, обеспечивает более высокую удельную мощность, улучшенное соотношение мощности к объему цилиндров и высокую топливную эффективность. Источник: Achates Power, Inc.

В дополнение к различным отраслевым наградам, *Achates Power* получила 9 млн. долларов в рамках программы *ARPA-E* Министерства энергетики США для создания бензинового двигателя с самовоспламенением от сжатия и оппозитным расположением поршней.

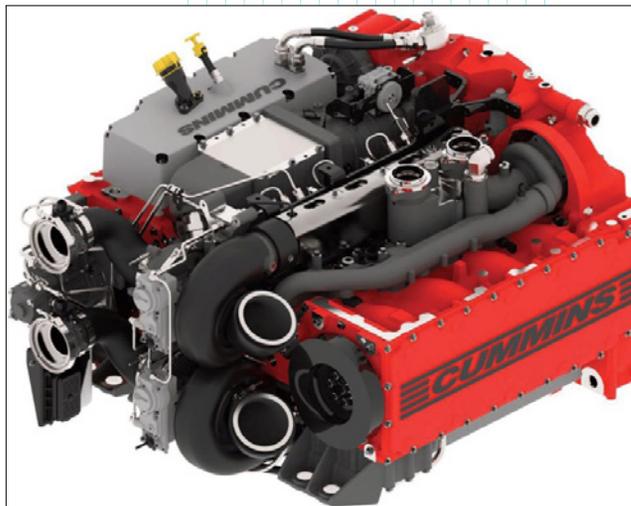
Эта инновационная конструкция с самовоспламенением от сжатия является результатом партнерства с национальной лабораторией *Argonne National Laboratory* и компанией *Delphi Technologies*. Благодаря этой конструкции, а также новейшим материалам и методам производства, двигатель получился довольно компактным, высокоэффективным и производит гораздо меньше выбросов, чем обычные четырехтактные двигатели.

Например, бензиновый двигатель с рабочим объемом 2.7 литра, предназначенный для полноразмерных легких грузовиков-пикапов, может похвастаться пробегом 37 миль на галлон (15.7 км/литр или 6.4 литра на 100 км), мощностью 270 лошадиных сил и крутящим моментом 650 Н·м. В оппозитном двигателе угол между рядами цилиндров составляет 180 градусов, а противостоящие поршни двигаются зеркально по отношению друг к другу. Это устраняет необходимость в головке блока цилиндров, что снижает тепловые потери и увеличивает эффективность. Особенно впечатляет то, что новый двигатель будет стоить на 1000 долларов меньше, чем сопоставимый обычный.

Следует отметить, что компания *Achates Power* фокусируется на проектировании и на создании прототипов, а не на производстве готовых деталей. Лицензии на производство продаются производителям двигателей после того, как прототипы уже доведены до совершенства и испытаны. По большей части, единственными

компонентами прототипа, которые изготавливаются на собственном производстве, являются поршни, их внутренние детали (то есть любые компоненты внутри поршня, необходимые для задач телеметрии или крепления диагностической электропроводки) и гильзы цилиндра, внутри которых перемещаются поршни.

“Всё, что связано с процессом сгорания топлива в двигателе, мы стараемся делать у



Технология создания оппозитных поршней от Achates Power дает увеличение удельной мощности нового двигателя Cummins на 50%, улучшение отвода тепла на 20% и повышение топливной экономичности на 13% по сравнению с лучшими в своём классе боевыми двигателями. Гибкие варианты компоновки ACE позволяют сконфигурировать двигатель с тремя, четырьмя и шестью цилиндрами для обеспечения мощности от 750 до 1500 лошадиных сил. Источник: Achates Power, Inc.



Manny Rodriguez работает над прототипом 2.7-литрового двигателя мощностью 270 лошадиных сил

себя, поскольку это действительно компоненты интеллектуальной собственности”, – говорит **Sergio Ramirez**, начальник цеха в компании *Achates Power*.

Процесс создания прототипа

Большая часть процесса прототипирования заключается в изготовлении нескольких важных деталей для оценки, перед тем как вносить в конструкцию какие-то изменения. По словам г-на *Ramirez*, серийные поршни будут производиться в виде двухкомпонентных сварных поковок или отливок. При единичном производстве ответственных деталей двигателяковка и литье прототипов обходятся непомерно дорого, поэтому в условиях их экспериментального цеха эти детали изготавливают фрезерованием заготовки из стали *4140* и *4340*. При этом обработка поднутрений и полостей в поршнях сопряжена с гораздо большими трудностями, чем в случае отливки. Например, одна из них вызвана разными термическими свойствами литейных материалов и стальной заготовки.

По словам г-на *Ramirez*, после того как две детали сварены, добраться до нижней части днища поршня, чтобы

обработать расположенные там полости, – задача трудная, даже если использовать 5-осевые станки и сферические концевые фрезы. Будучи многолетним пользователем CAD/CAM-системы *Mastercam* (разработчик – американская компания *CNC Software*, ныне входящая в состав крупного шведского инжинирингового концерна *Sandvik*), г-н *Ramirez* обратился за консультацией к местному реселлеру *Mastercam* – в их службу технической поддержки в Сан-Диего. Там ему показали, как эта система может помочь в решении такого рода проблем вообще и его конкретной задачи в частности.

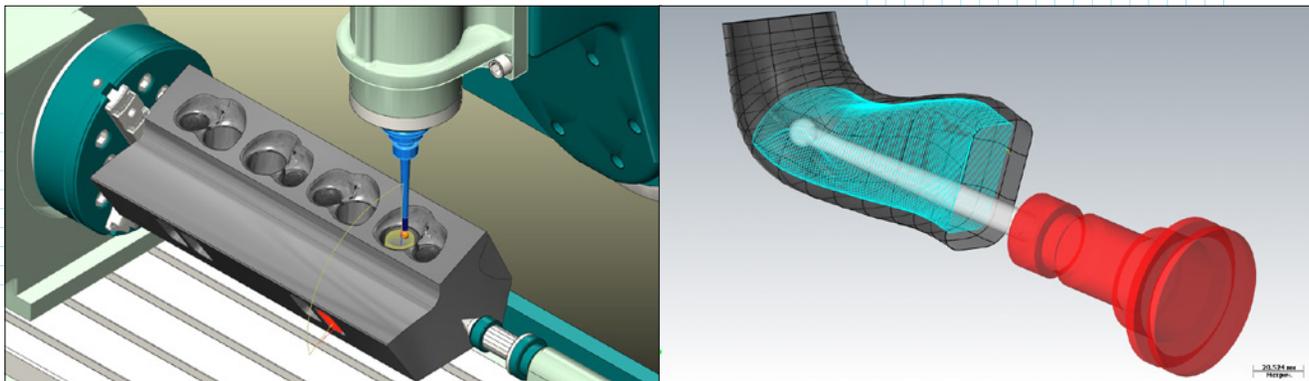
По мнению технических специалистов реселлера, используя имеющиеся в арсенале *Mastercam* 5-осевые траектории инструмента (в том числе *Multiaxis Flowline*, *Swarf Milling* и *Rotary*), можно вести обработку фрезой с меньшим вылетом: это справедливо как для днища поршня, так и для всех разнообразных поднутрений, имеющихся на нём.

При программировании обработки г-н *Ramirez* в значительной степени полагался на **Port Expert** – дополнительный модуль *Mastercam*, который в процессе расчета траектории осуществляет проверку на столкновения инструмента с обрабатываемой поверхностью детали. Этот модуль, изначально созданный для генерирования траекторий обработки каналов охлаждения головки блока цилиндров, имеет и другие применения.

“*Mastercam Port Expert* автоматически наклоняет инструмент, чтобы избежать столкновений, сохраняя при этом движение инструмента максимально эффективным. Мы получаем больше возможностей управлять пространственным



Sergio Ramirez из компании Achates Power с помощью CAD/CAM-системы Mastercam формирует траектории инструмента для обработки поршня



Mastercam Post Expert в действии

положением оси инструмента и можем оптимально использовать режущие поверхности сферических концевых фрез. Если же у меня или у технолога-программиста возникают вопросы, всегда можно обратиться за поддержкой к техническим специалистам компании-реселлера. Как оказалось, этот модуль можно применять не только для получения каналов охлаждения, впускных и выпускных отверстий цилиндров, но и для обработки карманов, а также сложных криволинейных конструктивных элементов и поверхностей любого вида”, – рассказал г-н *Ramirez*. – “Обработка этой сборки была большой проблемой из-за глубоких полостей и радиусов скруглений в углах; мелкий режущий инструмент для этого не подходит. Каждый раз, когда две детали свариваются вместе, существует вероятность дефекта, который может привести к разрушению во время обработки, не говоря уже о поломке в двигателе. Но мы с этим справились, и у нас не было ни одного отказа. Вероятно, это была самая сложная задача, которую нам пришлось решить – попытаться имитировать характеристики готового к производству серийного поршня на примере экспериментального образца, изготовленного фрезерованием из стальной заготовки”.

Обработка поршней

Поршни обрабатывались на двух 5-осевых фрезерных станках с ЧПУ, один из которых имел поворотный стол для более мелких деталей. Новейший, модифицированный по индивидуальному заказу фрезерный станок **Haas UMC-750P** (г-н *Ramirez* участвовал во внесении конструктивных изменений) с ходом 30×20×20 дюймов, получил вращающуюся на цапфе конструкцию, где вращающийся диск заменен

на неподвижный стол, на котором установлен отдельный поворотный стол с А-образной опорой. Конструкция станка обеспечивала специалистам компании *Achates Power* возможность работать с необходимыми комбинациями осей. Поскольку поршень в сборе состоит из двух независимо обрабатываемых частей, стало возможным использовать укороченный инструмент, что уменьшило его изгиб и, как следствие, позволило добиться лучшего качества обработки. Специалисты компании-реселлера *Mastercam* сыграли важную роль в разработке уникального постпроцессора для этого станка.

Для создания траекторий черновой 3- и 4-осевой обработки *Sergio Ramirez* обратился



Многолетние испытания в партнерстве с компанией Aramco 2.7-литрового двигателя с оппозитными поршнями, установленного на малотоннажный пикап, убеждают в способности соответствовать текущим и будущим федеральным нормативам выбросов транспортных средств и стандартам экономии топлива, а также способствуют появлению нового эталона эффективности.
 Источник: *Achates Power, Inc.*

к стратегиям так называемого *Динамического фрезерования (Dynamic Milling)*, которые опираются на собственные алгоритмы *Mastercam*, разработанные специалистами *CNC Software*. Эти алгоритмы ориентированы на то, чтобы инструмент постоянно находился в контакте с материалом, что позволяет обрабатывать детали сложной геометрической формы на более высоких скоростях.

“Этот функционал упрощает черновую обработку, торцевание и контурную обработку. Надо просто выбрать область, затем пара щелчков мышью – и у вас есть управляющая программа. Это так просто!” – говорит г-н *Ramirez*.

Система *Mastercam*, как поясняет г-н *Ramirez*, предоставляет бесчисленные возможности для настройки параметров обработки, задания боковых смещений инструмента и различной глубины резания по мере необходимости.

“Можно по-разному задавать и использовать подвод и отвод инструмента, подбирать требуемые параметры черновой обработки. Мы использовали, например, *трохоидальные* траектории, когда движение инструмента больше напоминает снятие кожуры, чем прямой рез, и мы можем видеть на экране глубину погружения инструмента в материал. Параметры дают нам широкие возможности управления процессом и помогают добиться желаемого качества чистовой обработки поверхности”, – сказал он.

Когда весь объем механической обработки поршней выполнен, на них наносятся финишные покрытия, после чего поршни готовы к установке в двигатель и направляются в одну из трех испытательных камер компании *Achates Power*.

Дальнейшие шаги

Гильза цилиндра также представляет собой состоящую из двух частей конструкцию, которая изготавливается на станке с ЧПУ из чугуна цилиндра (причем, сразу фрезеруются все элементы охлаждения); затем в неё впрессовывается стакан из стали *4140*. Элементы охлаждения являются запатентованными и включают в себя комбинацию сотен выступов и канавок, каждая из которых имеет разные углы и геометрические плоскости. Чтобы подготовить УП для их обработки, *Sergio Ramirez* заручился поддержкой специалистов компании-реселлера *Mastercam*.

Было предложено несколько комбинаций траекторий инструмента для черновой обработки выступов и канавок. Начать следовало

с траектории “Потоковая” (*Flowline*), чтобы выполнить черновую обработку между выступами с вращением по 4-й оси. Затем надо было применить многоосевую черновую траекторию. Для чистовой обработки лучше всего подошла многоосевая траектория “Морфи” (*Morph*). В общем-то им пришлось создать множество траекторий и дополнительной геометрии, а также преобразовывать, сдвигать, поворачивать и зеркалить траектории, но в конце концов они достигли именно того, чего хотели.

“*Mastercam* предоставляет действительно хорошие возможности, чтобы увидеть обрабатываемую заготовку и материал, который вы срезаете. Это значит, что можно следить за процессом изготовления поршня, гильзы или других деталей, так как мы имеем обновленные модели для каждого этапа процесса, и это действительно помогло нам при программировании обработки”, – сказал г-н *Ramirez*.

Программная функция *Verify* позволяет проверить управляющую программу на экране до того, как отправлять её на выполнение на станке с ЧПУ. Это дает гарантию того, что инструмент не ударится обо что-то при работе на высоких скоростях.

“Когда имеешь дело с изготовлением экспериментальных образцов уникальных двигателей самого разного назначения, мощности и условий эксплуатации, высока вероятность столкнуться со сложным случаем обработки тех или иных конструктивных элементов, поверхностей и их сочетаний”, – обращает внимание г-н *Ramirez*. – “Собственный опыт программирования обработки здесь на вес золота, но, должен признаться, мы нередко обращаемся за консультацией к нашему реселлеру *Mastercam*. В этом нет ничего постыдного – мы регулярно платим им за техническую поддержку, обновление ПО и дообучение, так что хотим рассчитывать на получение рекомендаций в случаях, когда у нас “горит” и нет времени на эксперименты с обработкой”.

Заключение

Успешное применение *Mastercam* в компании *Achates Power* для программирования сложной 5-осевой обработки ответственных деталей экологических моторов на фрезерных станках с ЧПУ – еще одно убедительное свидетельство универсальности и функциональности этой CAD/CAM-системы.

С [примерами успешного применения Mastercam](#) в других секторах промышленности можно ознакомиться на сайте www.mastercam.ru. 