

Мы продолжаем серию публикаций о небольших производственных компаниях, которые смогли добиться успеха и признания в разных секторах промышленности, благодаря личным качествам своих владельцев-руководителей, ориентации на использование современных станков с ЧПУ и CAD/CAM-системы Mastercam со встроенной технологией Динамической обработки.

Статья *“Applying automotive machining lessons to aerospace”* была опубликована 1 сентября 2017 года в ориентированном на вопросы металлообработки сетевом журнале *“Modern Machine Shop”* (MMSOnline.com), который выпускает компания Gardner Business Media. Оригинал можно найти по адресу: www.mmsonline.com/articles/applying-automotive-machining-lessons-to-aerospace.

Владение *Mastercam* и опыт в обработке деталей автомобилей позволили переключиться на авиакосмические заказы

Matt Danford, старший редактор *“Modern Machine Shop”*

©2017 Gardner Business Media, Inc.



Хотя основные заказы мастерской, которой владеет **Brian Ickler**, бывший гонщик NASCAR, относятся к автоспорту, но наличие возможностей пятиосевой обработки и акцент на планирование рабочих процессов открыли дверь для новых заказов – из авиационно-космической отрасли.

(National Association of Stock Car Auto Racing, Inc. – Национальная ассоциация гонок серийных автомобилей является частным предприятием, которое занимается организацией автогонок и сопутствующей деятельностью. – Прим. ред.)

Еще до того, как 12-летний *Brian* впервые забрался на водительское сиденье багги своего отца в южной части Калифорнийской пустыни, он знал, что в будущем станет гонщиком. Однако теперь, более чем 20 лет спустя, м-р *Ickler* больше времени проводит у станка с ЧПУ, чем за рулем гоночного автомобиля. Он начал заниматься этим с 2014 года, когда стал изготавливать детали двигателей, которые его бывшие конкуренты из NASCAR регулярно используют в запредельных режимах в своём вечном стремлении скостить доли секунды на каждом круге.

Смещение жизненного фокуса не означает снижение амбиций. Начав как любитель, он затем

перешел в производственный бизнес на полный рабочий день. Этот бывший водитель стал владельцем мастерской *Ickler Manufacturing*, и под его руководством менее чем за четыре года её площадь увеличилась со 120 м² до 1300 м², а количество станков с ЧПУ – с одного до семи. Большая часть обработки выполняется на двух 5-осевых станках, которые обеспечивают как операции **3+2** (две оси являются поворотными и служат для ориентирования заготовки в пространстве или наклона инструмента), так и полностью синхронизированную по всем осям контурную обработку. Персонал из пяти человек помогает поддерживать оборудование (и бизнес в целом) в максимально эффективном состоянии.

Быстрый рост привел к тому, что мастерская подняла планку на еще более высокую отметку. Выше 90% работ теперь заключается в изготовлении компонентов, которые помогают перемещать людей не по кольцевому треку, а в облаках. Производство в сжатые сроки часто меняющихся опытных образцов для оборонной и авиакосмической отраслей во многом схоже с изготовлением деталей для автоспорта, которые в своё время послужили главным драйвером роста этой компании из города *Mooreville* (шт. Северная Каролина). Если здесь можно говорить о “предполетной контрольной карте” для обеспечения эффективного процесса обработки авиакосмических деталей, то *Ickler Manufacturing* соответствует всем пунктам данного списка, необходимым для входа на этот рынок.

“Они тоже драгоценны”, – говорит м-р *Ickler* о тех деталях для автоспорта, которые во многом обеспечили успех мастерской. – “Они ведь должны быть не только функциональными, но и красивыми. Думая о том, что мы делаем сейчас, я радуюсь, что мы не начинали с производства каких-то



Существенными пунктами “предполетной подготовки” является наличие большого 5-осевого станка, приспособлений типа “ласточкин хвост” для фиксации детали, специальных термопатронов для зажима инструмента, высокопроизводительных режущих инструментов и формируемых современной CAM-системой Mastercam траекторий

простецких вещей. Тогда бы было намного труднее”.

По его словам, всё, что связано с обработкой, теперь изменилось. Сроки выполнения заказов стали жестче: одна или две недели (раньше – пять-шесть недель), что оставляет меньше времени на программирование обработки и наладку. При этом объем программирования увеличился, так как количество деталей в серии резко уменьшилось, и каждая УП становится практически уникальной. В отличие от работ для автомобильной отрасли, заказы для авиакосмической отрасли предусматривают изготовление в лучшем случае лишь нескольких деталей, поэтому больше машинного времени уходит на обработку уникальных деталей, а не дубликатов. Кроме того, необходимость справляться с большей номенклатурой деталей и УП требует надежного документирования процессов, при этом с учетом конфиденциальности работ для авиакосмической и оборонной отраслей.

М-р *Ickler* признаёт, что впереди их ждут серьезные вызовы. Например, такие моменты, как создание специализированной лаборатории контроля качества и получение сертификата *AS9100* (стандарт управления качеством в авиастроении и космической отрасли. – *Прим. ред.*) очень важны для того, чтобы прочно стоять на ногах в аэрокосмическом секторе. Тем не менее, он настаивает, что компания *Ickler Manufacturing* к этому более чем готова. В конце концов, работа для команд *NASCAR* и *Indycar* тоже была испытательным полигоном для задач управления процессами, хотя вначале никто этим не занимался.

Бизнес на взлёте

Причина смещения в сторону нового рынка проста: здоровый бизнес – это диверсифицированный бизнес, тогда как рынок *NASCAR* является ограниченным. М-р *Ickler* полагает, что авиакосмический сектор предоставляет более широкие возможности – не говоря уже о том, что в большинстве случаев за детали там платят больше.

Преимущество авиакосмических и оборонных контрактов для этой мастерской заключается в том, что переход на них был органичным. Долгие черновые проходы с большим объемом снимаемого материала, жесткие радиусы, скульптурные поверхности, гладкие сопряжения – всё это было привычно для сотрудников *Ickler Manufacturing* задолго до заказа первого авиакосмического прототипа; опыт работы с такими



Brian Ickler, владелец мастерской, демонстрирует корпус осветительного прибора для самолета. По его словам, хотя технология и важна, но успех зависит от людей – квалифицированного персонала, друзей по NASCAR и коллег, которые помогли ему изучить механообработку и дали первую реальную работу

материалами, как инконель и титан у них тоже имелся. Некоторое сходство [новых деталей со старыми] по геометрии и материалам помогло мастерской сравнительно легко адаптироваться к реалиям своего нового конкурентного пространства.

Основой технологического фундамента компании является высокоскоростная 5-осевая механообработка, упор на которую они делают давно. Вспоминая время, потраченное на просмотр в интернете видеороликов по механообработке в самолетах и номерах отелей (в тот период, когда контракт с *NASCAR* еще не закончился, но реального участия в гонках уже не было), м-р *Ickler* говорит, что ничего другого они всерьез и не рассматривали. Первый 5-осевой станок с ЧПУ установили примерно через полтора года после того, как он написал первую управляющую программу. Это было сделано вопреки тому, что мастерская уже и так процветала, работая на 3-осевых вертикальных обрабатывающих центрах с 4-й осью в виде поворотных столов, и что основная потребность была в увеличении производительности, а не диапазона возможностей. И хотя сам он никогда не программировал обработку по пяти осям, было понимание того, какой в этом заложен потенциал – он увидел это на *YouTube*.

Знаменательно, что первая оплаченная работа для нового станка пришла после публикации его фотографии в *Facebook*. С тех пор последовательность изготовления большинства деталей была следующей: начальная черновая обработка, за которой следует высокоскоростная (с большими оборотами и большой подачей), с



Удаление большого количества материала характерно для обработки авиакосмических и автомобильных деталей. Каждая алюминиевая заготовка, из которой изготовлен корпус осветителя шасси, весила свыше 90 кг. Более половины этого материала было удалено методом черновой 3-осевой обработки



Большая часть чистовой обработки корпуса осветителя шасси выполнялась на новейшем 5-осевом обрабатывающем центре. Но на данной фотографии запечатлен третий установ детали: на более старом 5-осевом станке подчищаются те зоны, которые нельзя было обработать за второй установ. Хотя эту операцию можно было бы выполнить и на 3-осевом оборудовании, на 5-осевом станке проще наклонить деталь для съема оставшегося металла

малой глубиной резания и небольшим смещением фрезы между проходами обработка концевыми сферическими фрезами, диаметр которых постепенно уменьшают. Специальные патроны компании *Haimer* для посадки с обжимом обеспечивают инструменту полный пятисторонний доступ к обрабатываемым деталям, закрепляемым с помощью 2-миллиметровых выступов типа “ласточкин хвост” в приспособлении, поставляемом компанией *5th Axis*. Преимущества этого подхода выходят за пределы прямого влияния и мультипликационного эффекта от уменьшения количества установов.

“Даже если деталь можно изготовить фрезеровкой по трем осям, 5-осевой станок позволяет наклонить её до 15 градусов. При чистовой обработке сферическими фрезами поверхность получается зеркальной”, – говорит м-р *Ickler*.

Он добавляет, что технология мало чего стоит без навыков её применения. Например, после того как к команде сотрудников чуть более года назад присоединился *Chris Graham*, одним из первых его вкладов в общее дело стала разработка и отладка оснастки и программных кодов для закрепления на 5-осевом станке большого автомобильного масляного поддона.

Подняться выше

Чтобы успешно выполнить работу, требуется творческий подход к программированию и к фиксирующей технологической оснастке. Тем не менее, м-р *Ickler* видел сплошные препятствия для применения талантов своего нового программиста в полной мере, и у мастерской возникла необходимость купить еще один 5-осевой станок, чтобы справиться с большим заказом по обработке свыше 100 штук масляных поддонов

(и другими аналогичными работами) без ущерба для себя и компании.

Как и в случае с приобретением своего первого 5-осевого станка, м-р *Ickler* решил сделать приоритетом что-то большее, чем производительность, и в сентябре 2016 года купил вертикальный *Okuma MU-5000V*. Помимо увеличения рабочей зоны (перемещения по осям X, Y, Z составляют 800 × 1050 × 600 мм против 760 × 500 × 500 мм у старого станка), преимуществом является то, что двухколонная конструкция нового станка предотвращает перекося по Y. На старом станке с подковообразной станиной технолог-программист должен был более внимательно следить за тем, какие части обрабатываемой детали попадают в рабочую зону. Кроме того, новый станок эффективнее, чем старый, удаляет стружку, что особенно важно на длинных проходах.

Самое главное – он может более быстро удалять больше материала практически по любому сценарию, говорит м-р *Graham*, ссылаясь на примерно 50-процентное сокращение машинного цикла для вышеупомянутого поддона. Эта экономия – с 30-ти часов до 14-ти – стала результатом шестикратного повышения скорости подачи – до 500 м/мин. Обеспечивается в цехе и возможность 3-осевой обработки – благодаря установке вертикального обрабатывающего центра *Okuma GENOS M560-V* вскоре после 5-осевого станка.

“Каждому 5-осевому станку требуется поддержка 3-осевого”, – говорит м-р *Graham* про станки, которые выполняют значительную часть черновых и большинство последующих операций, таких как подчистка тех сторон, которые использовались для фиксации в креплении “ласточкин хвост”.

“Деталь действительно хороша настолько, насколько хороша последняя операция”, – добавляет м-р *Ickler*.

Одна из тенденций, проявляющихся при инвестировании *Ickler Manufacturing* в технологии, заключается в приобретении больших возможностей, чем мастерской требуется на текущий момент. Например, ленточная пила *H-14A* с ЧПУ, которая сегодня нарезает 14-дюймовые прутки,



Для 5-осевых операций используется крепежное приспособление компании 5th Axis, в котором детали удерживаются с помощью двухмиллиметровых выступов типа “ласточкин хвост”, которые на заготовках делают заранее на 3-осевом вертикальном станке Okuma GENOS M560-V (виден на заднем плане)

была куплена, когда большинство изготавливаемых деталей в диаметре не превышало 4 дюйма. М-р *Ickler* называет это “склонностью переплачивать”, но чем больше он так говорит, тем понятнее становится, что в действительности на инвестиции он так не смотрит. Взять хотя бы его подход к режущим инструментам: “Если одна концевая фреза стоит на 5 долларов дешевле другой, то, скорее всего, для этого есть причина”.

Результаты говорят сами за себя. “Я не могу поверить, что было время, когда нам реально надо было беспокоиться о нарезке заготовок”, – говорит про пилу м-р *Ickler*.

Еще у него имеется наготове пример про режущий инструмент. Один из инструментов, на который можно положиться при обработке алюминия, – трезубая концевая фреза от *Helical Solutions* диаметром 12.7 мм с радиусом закругления 0.77 мм, которая осталась в рабочем состоянии после трех месяцев использования для черновой обработки на станке *Okuma MU-5000V*.

М-р *Graham* добавляет, что важную роль в обеспечении такой стойкости инструмента играет регулярное обновление САМ-системы *Mastercam*, которую использует мастерская. Особенно он отмечает важность обновления функционала *Динамических траекторий* для продолжительных черновых операций. Этот функционал системы разработан для обеспечения постоянных условий резания. Формируемые 2D- и 3D-траектории определяются не только указанием границ зоны, но еще и дополнительными параметрами: например, можно поддерживать постоянный объем снимаемой стружки в реальном времени. Помимо продления срока службы инструмента, *Динамическое фрезерование* позволяет задействовать всю его рабочую поверхность, не беспокоясь о его поломке, и уменьшает нагрев; также улучшается отвод стружки.

Даже такие простые, базовые практики, как контрольное измерение детали щупом станка по программе из *Mastercam*, а не вручную, или использование обновлений постпроцессоров, чтобы устранить неэффективные движения инструмента, позволяют увеличить производительность. Реальность такова, что технологии и стратегии, которые когда-то считались [всего лишь]

повышающими конкурентоспособность, теперь оцениваются не иначе, как жизненно важные.

Регулирование рабочей нагрузки

Поскольку прототипы изготавливаются малыми партиями, то, как говорит м-р *Ickler*, самым главным моментом становится планирование и заблаговременная подготовка управляющих программ.

Для облегчения подготовки УП компания опирается на описанные ниже стратегии.

✓ Стандартизация процесса

Наверное, лучшим примером стандартизации для мастерской, специализирующейся на фрезеровании, является список применяемых инструментов. Идентичные инструменты в гнездах идентичных устройств смены инструмента на разных станках упрощает программирование обработки и помогает избежать путаницы.

“Мы сформировали базовый набор инструментов, которые, как мы знаем, смогут работать в большинстве сценариев. Нам не нужны сотни вариантов. Мы хотим точно знать, что у нас есть, и как это использовать в различных ситуациях”, – говорит м-р *Graham*.

Помимо прочего, это дает экономию на режущем инструменте, что крайне полезно для таких мастерских, как *Ickler Manufacturing*, которым часто приходится применять специальные фрезы для более сложных деталей. Недавний пример: при изготовлении детали для *Indycar* потребовалось 60 индивидуальных инструментов – для серий контурной обработки по пяти осям одновременно, а также 3+2-осевым процессам фрезерования и сверления.

Но сферой инструментов стандартизация не ограничивается. В мастерской разработаны стандарты для таких параметров, как высота гребешка на поверхности (0.0025 мм для большинства чистовых операций). Стандартная длина заготовок – 30 см с одинаковыми выступами типа “ласточкин хвост” размером 2 мм, с помощью которых они удерживаются в одинаковых крепежных приспособлениях, когда это возможно. Как говорит м-р *Graham*, генеральная идея заключается в том, чтобы сделать не просто качественную деталь, а деталь от *Ickler Manufacturing*.



М-р Ickler говорит, что первоначально ленточная пила Hutmach H-14A с ЧПУ, на которой заготовки нарезаются под размер, казалась излишеством. Теперь же, по прошествии времени, он считает эту инвестицию более чем оправданной, так как ему уже не надо беспокоиться и предпринимать специальные усилия, чтобы подготовить заготовку правильно (и быстро)

✓ Цифровое описание практически всего

Библиотека инструментов *Mastercam* содержит информацию не только о самих режущих инструментах, но и о величине вылета за границы определенных патронов, о рекомендуемых параметрах резания и пр.

Помимо библиотеки, важное значение имеет моделирование каждого компонента оснастки, вплоть до последнего болта, что упрощает наладку, подготовку УП и обеспечивает возможность полной симуляции обработки. Всё это позволяет оптимизировать рабочий процесс.

“Мы можем легко переносить обработку с машины на машину”, – говорит м-р *Graham*. – “Чтобы запрограммировать черновой процесс, понадобится всего несколько минут, так как всё уже здесь – крепежная оснастка, инструмент, патрон. Иногда вы можете просто взять готовую траекторию и ассоциативно перепривязать её к геометрии другой детали”.

✓ Накопление и применение опыта

М-р *Graham* не случайно использует термин “перепривязать” (*re-associate*). Готовые стратегии обработки можно переносить с одной работы на другую, и аналогичные подходы часто применяются к программированию обработки очень разных деталей. По его словам, речь идет о том, чтобы поместить правильный режущий инструмент в хорошую ситуацию, чтобы он мог “благодействовать и плодоносить”, работая с подходящей геометрией и материалом.

Современная САМ-система, такая как *Mastercam*, обеспечивает возможность сравнительно легко сохранять лучшие практики для будущих работ, что может оказаться очень полезным, поскольку позволяет заранее знать, что будет происходить в цехе – еще до того, как инструмент соприкоснется с металлом. Поэтому в мастерской *Ickler Manufacturing* поддерживают базу данных с параметрами работы определенных инструментов с определенными материалами.

“Оба наших рабочих места *Mastercam* настроены одинаково”, – добавляет м-р *Ickler*. – “Для обработки алюминия сферической фрезой диаметром полдюйма всё известно – шаг для чернового прохода, глубина резания, подача, скорость вращения шпинделя – всё это уже здесь. Настройки можно изменить, но мы знаем, что это точно работает, и что это безопасно”.

Дальнейшее программирование чистовой обработки становится выполнением упражнения по “выбору углов” и обеспечению жесткости крепления при установке типичных тонкостенных деталей.

Осторожность с ценовыми предложениями

Как говорит м-р *Ickler*, возможности любого производства ограничены, но для

авиакосмических заказов особенно важно обеспечить высокое качество. Поэтому мастерская может отказаться, к примеру, от такого предложения, когда для выполнения работы требуется значительный объем электроэрозионной обработки (*Electrical Discharge Machining, EDM*), поскольку не имеет у себя соответствующего оборудования и не может контролировать процесс. Иногда без *EDM* не обойтись – в частности, для некоторых форм поверхностей. Но цель всегда одна – закончить работу с минимально возможными перерывами, чтобы избежать накопления незавершенных работ. Поскольку заготовки стоят дорого, м-р *Ickler* обдумывает, окупит ли работа излишек исходного материала. В таком случае заказ всё равно будет выполнен, даже если произойдет что-то непредвиденное.

Кроме того, очень важное значение имеет регулярное общение с заказчиками и поставщиками. Каковы сроки подготовки материала? Влияет ли величина радиуса на функциональность детали? Действительно ли нужны такие жесткие допуски? Эти вопросы требуют обсуждения.

Работа “с выключенным светом”

Программирование обработки и наладка выполняются в дневную смену, а длительная черновая обработка ведется без людей, ночью. Достаточно простая, не требующая надзора обработка – одна из совершенно новых областей для мастерской, но к этому, по словам м-ра *Ickler*, они уже привыкли. Так или иначе, это помогает в реализации всех вышеописанных стратегий.

“Вы должны точно знать, на что способны ваши инструменты и всё ваше оборудование, знать, когда ломается инструмент и куда должны быть направлены сопла охлаждения, сколько стружки образуется за ночь, куда и как её собирать. Вы должны предусмотреть всё”, – говорит м-р *Ickler*.

Необходимость “предусмотреть всё” выходит за рамки обработки без надзора. Хотя м-р *Ickler* осторожен в оценках и не акцентирует это, у него нет иллюзий в отношении грядущих вызовов, но он уверен, что настрой, который обеспечил успех компании, сохранится и впредь. У него уже подготовлена планировка цеха на без малого два десятка станков. Ближайшие цели включают в себя создание специализированной лаборатории контроля качества, оснащенной координатно-измерительной машиной, с обученным менеджером по качеству, а также внедрение системы *ERP (Enterprise Resource Planning)* для планирования ресурсов, управления работой предприятия и отслеживания заказов. Так называемый “чулан” – задняя часть мастерской, где хранятся материалы и инвентарь – приближается к состоянию, когда уже можно будет пригласить контролера *AS9100*. ☺