

Высокоскоростная обработка. Определение, особенности и примеры применения в авиакосмической промышленности

Автор: к.т.н. Сергеева Е.В.

Dr.-Ing Elena Sergeev
HSC Consulting
Ginsterweg 1a, 21407 Deutsch Evern, Germany
Tel.: ++49(0) 4131 799 243
sergeev.dr@t-online.de
www.sergeev-hsc.de

Введение

Сокращение длительности полного производственного цикла от идеи нового продукта до готовой детали является одним из центральных моментов сохранения и повышения конкурентоспособности предприятий во многих отраслях промышленности. В этой связи высокоскоростная обработка HSC (High Speed Cutting) привлекает к себе всё больше внимания и стоит в центре многих дискуссий. Здесь есть много открытых и спорных вопросов. Однако неоспорим тот факт, что HSC завоёвывает всё новые и новые области применения. В настоящей статье будут изложены некоторые практические вопросы успешного применения HSC и показаны приложения этой технологии в авиакосмической промышленности. Все без исключения приведённые в статье практические примеры применения HSC базируются на материалах фирмы IBAG Switzerland AG, www.ibag.ch - швейцарского производителя высокоскоростных моторшпинделей.

Несколько слов истории

Датой рождения HSC является 27-го апреля 1931. В этот день немецкий изобретатель Саломон С. получил патент № 523594 «Способ обработки металлов резанием».[1] Саломону удалось обнаружить, что при достижении определённой скорости резания происходит существенное снижение температур в зоне резания. Он также показал, что для конкретного материала существует определённая скорость резания, при достижении которой дальнейшая обработка резанием невозможна (Долина смерти!) На сегодняшний день скорость резания при применении HSC в 5-10 раз превышает скорость резания при нормальной обработке.

В начале 50-х годов было научно доказано, что возрастание скорости резания сначала ведёт к возрастанию сил резания, затем к резкому их снижению, сменяющемуся при дальнейшем возрастании скорости резания резким ростом (рис.1)

Американскими учёными в начале 60-х было доказано, что внедрение HSC приведёт к небывалому росту производительности только в случае решения проблемы быстрого износа инструмента и вибрации станка. Но только появление на рынке высокоскоростных шпинделей позволило перейти от научных исследований к решению конкретных практических задач.

Что такое HSC?



Рис. 1. Изменение сил резания с увеличением скорости резания

Исследование высокоскоростного фрезерования в авиакосмических приложениях при скоростях резания до 1980 м/мин ведётся с 1977 года. В результате этих исследований было установлено, что увеличение скорости резания приводит помимо всего прочего к существенному улучшению качества обработанной поверхности. При этом большая часть образующегося в процессе резания тепла отводится вместе со стружкой.

Определение HSC

Оригинальное определение HSC по теории Саломона:

«HSC это обработка с высокой скоростью резания (в 5-10 раз выше, чем при нормальной фрезерной обработке), при которой температура стружки в зоне резания начинает снижаться.»

К сожалению, проведённые до сегодняшнего дня многочисленные исследования не привели к однозначному научному подтверждению теории Саломона. Снижение температуры в зоне резания различно для различных материалов. Температура снижается незначительно для стали и чугуна и очень существенно для алюминия и других не содержащих железо металлов. Определение должно базироваться на других факторах.

Практическое определение HSC сегодня

- HSC – это процесс обработки резанием, комбинирующий высокие подачи и ускорения станка с высокой мощностью высокоскоростного шпинделя для получения высокой скорости срезания материала, экстремальной точности и высоким качеством обрабатываемых поверхностей

- HSC это не просто процесс обработки с высокой скоростью. Это процесс, все составляющие которого реализуются специальными методами с использованием специального оборудования
- HSC представляет собой самостоятельную технологию обработки деталей резанием, которых может полностью заменить «нормальные» технологии – черновое и чистовое фрезерование, шлифование, полирование, эродирование, но имеющий свои отличительные особенности
- HSC позволяет существенно сократить вспомогательное время и сократить или совсем исключить затраты времени на доработку и доводку
- HSC обеспечивает возможность изготовления деталей из цельного куска материала высокой твёрдости с высоким качеством обработанных поверхностей.

Экономические и технические факторы, способствующие развитию и внедрению HSC

Стремление к выживанию

Постоянно растущая конкуренция устанавливает новые стандарты на мировом рынке. Так было во все времена. Требования сокращения продолжительности производственного цикла и снижения стоимости продукции становятся всё более и более жёсткими. Этим определяется развитие новых процессов и технических средств их реализации. HSC поставяет новые решения и даёт надежду.

Материалы

Развитие новых труднообрабатываемых материалов требует развития новых технологий обработки. Авиастроению имеет дело с жаростойкими нержавеющейими материалами и огромными объёмами срезанного алюминия; автомобильная промышленность работает с различными биметаллами и Compact Graphite Iron. Производство штампов и прессовых форм связано с черновой и чистовой обработкой сталей высокой твёрдости.

Высокоскоростные шпиндели IBAG применяются для обработки следующих материалов:

- Алюминий
- Титан
- Нержавеющая сталь
- Высоколегированные сплавы никеля
- Композиты
- Пластмассы
- Пеноматериалы
- Стекло и керамика

Ежедневно возникают новые материалы и новые области приложения HSC. Моторшпиндели производства IBAG Switzerland AG обладают всеми необходимыми

для обработки специфических и твёрдых материалов: высокие точность, жёсткость, мощность и скорость.

Качество

Правильно применяемая высокоскоростная обработка поставляет решение проблемы качества. Она полностью исключает необходимость ручной доработки. Это особенно важно для производства сложных 3D-деталей с многофункциональными поверхностями и компонентами. Так, например, турбинные лопатки новой конструкции с новыми оптимизированными функциями могут быть изготовлены только с применением HSC.

Сокращение времени производственного цикла

Применение HSC позволяет не только сократить собственно время обработки, но и свести к минимуму время вспомогательных операций. В ряде случаев производства штампов и прессовых форм представляется возможной комплектная обработка детали с одного станка. Кроме того, HSC имеет в своём распоряжении все преимущества технологии Rapid Prototyping – быстрого прототипирования, позволяющей существенно сократить время подготовки производства

Производственное оборудование

Успешному внедрению высокоскоростной обработки предшествовало развитие всех составляющих процесса обработки – инструмента, инструментальных материалов и покрытий, инструментальных оправок, быстродействующих систем ЧПУ, программного обеспечения для подготовки управляющих программ CAD/CAM, наконец, станков.

Высокоскоростные шпиндели

Высокоскоростной шпиндель (HF-Spindle High Frequency Spindle) занимает центральное место в процессе высокоскоростной обработки. Станок, инструмент, система ЧПУ и другие составляющие процесса обработки оптимизируются с целью наиболее продуктивного использования высокой скорости вращения шпинделя. В ряде случаев переоснащение обрабатывающего центра высокоскоростным шпинделем позволяет использовать некоторые преимущества высокоскоростной обработки.

HF-шпиндель является компромиссом между скоростью резания и режущими силами. В большинстве случаев HF-шпиндели имеют встроенные моторы, размеры мотора ограничены, чем определяется верхняя граница мощности и момента. Другим лимитирующим фактором являются подшипники, определяющие жёсткость шпиндельного узла в целом. Высокоскоростное резание требует высокой степени оптимизации. Безупречная работа возможна только в очень узкой области технологических параметров. Высокая степень надёжности процесса обеспечивается с помощью так называемого Condition Monitoring – широкого наблюдения и контроля.

Приложения HSC в авиакосмической промышленности

Авиастроение было первым и остаётся одним из основных пользователей HSC. С одной стороны, здесь особое значение имеют качество обработанных поверхностей и надёжности. С другой стороны, авиакосмическая промышленность как никакая другая имеет дело со снятием больших объёмов материала.

Высокоскоростное фрезерование обеспечивает возможность изготовления немислимых ранее сложных пространственных деталей из алюминия. Производители структурных компонентов корпусов самолётов и ракет получили возможность экономично производить более тонкостенные детали. При этом объём снятого металла составляет до 97% от веса заготовки.

Изготовление тонкостенных деталей

Изготовление тонкостенных деталей конструкции корпуса летательного аппарата ведёт к снижению его веса. Эта идея очевидна и не нова. Однако обработка тонкостенных деталей требует существенного снижения глубины резания и увеличения длительности производственного цикла при использовании «нормальных» скоростей резания. Применение HSC в корне меняет ситуацию. Комбинация высоких скоростей и подач с малыми глубинами резания делает процесс изготовления тонкостенных деталей экономичным.

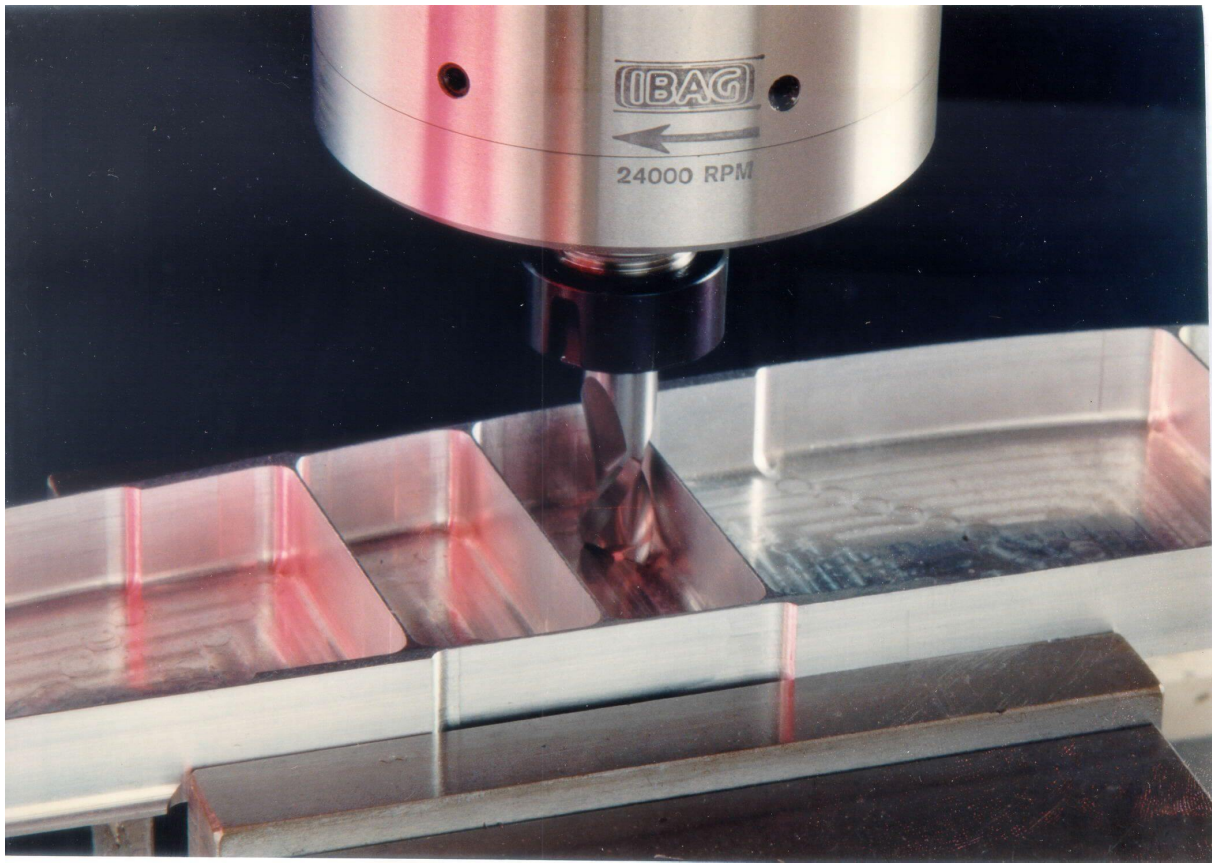


Рис. 3 Обработка высококачественной цельной детали из алюминия для Боинга или Аэробуса

Boeing в США и Airbus A380 в Европе являются заказчиками IBAG. На их предприятиях шпиндели IBAG встроены в обрабатывающие центры Ingersol для обработки большого спектра деталей из алюминия. Так, например, шпангоуты и стрингеры корпуса Airbus A380 полностью выфрезеровываются из цельного металла. При этом высокие скорости вращения шпинделей – до 60 000 об/мин при больших мощностях обеспечивают максимальные скорости резания и подачи. Этим минимизируется время обработки, и представляется возможность экономичного изготовления сложных деталей больших размеров из цельного металла.

Другим примером является применение шпинделей IBAG для производства деталей из композитных материалов и алюминия на предприятиях Boeing Winipeg. Использование композитных материалов с высокой прочностью и низким удельным весом находит всё более широкое применение в авиации. IBAG-шпиндели применяются для фрезерования множества распределительных панелей, аэродинамических поверхностей, секций крыльев и фюзеляжей самолётов. Использование герметических лабиринтных уплотнений защищает шпиндели от пыли и загрязнений.

Обработка деталей турбин и агрегатов



Рис. 4.: Обработка лопастей рабочего колеса на обрабатывающем центре, оснащённом моторшпинделем IBAG HF140. Фото из журнала „American Machinist & Automated Manufacturing“

Parker Hannifin's Air & Space Div. производит высокоточные многолопастные детали ротора и статора для мотора турбинного двигателя. Производительность и качество продукции при использовании нормальных скоростей резания оставляли желать лучшего - четыре детали за рабочую смену, количество отбракованных деталей составляло – 20%.

В результате поисков альтернативного решения фирма приобрела многошпиндельный высокоскоростной высокоточный обрабатывающий центр от Rigid Machine Tool Inc, оснащённый четырьмя моторшпинделями IBAG (HF140). Это позволило увеличить производительность в 4(!) раза, процент брака снизился до 1%.

Заготовка для изготовления статора из нержавеющей стали имеет диаметр 114,3 мм и толщину 9,5 мм. Готовый статор имеет 41 лопасть. Четыре шпинделя одновременно

обрабатывают четыре детали. Рабочий цикл составляет 10 черновых и 2 чистовых прохода. Для чистовой и чистовой обработки используются инструменты диаметром 3 мм. Смена инструмента происходит за 15 секунд. Четыре детали обрабатываются за два часа. (Рис. 5)

Существенный выигрыш во времени обработки является существенным, но не единственным выигрышем во времени. Применение HSC-технологии позволяет свести время балансировки к минимуму. Балансировка установленных на станке HF-шпинделей на скорости вращения 80 000 об/мин является более качественной проверкой concentricity, чем замеры с последующими коррекциями размеров. Воспроизводимость цикла составляет 50 миллионов!

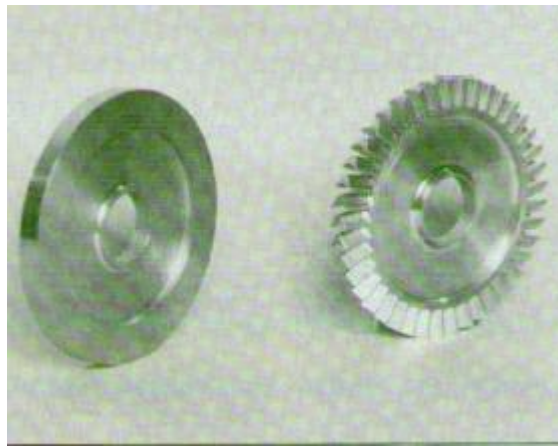


Рис 5. Заготовка для обработки статора и изготовленная с применением HSC деталь

Изготовление монолитных деталей сложной конфигурации

HSC обеспечивает возможность изготовления монолитных деталей сложной конфигурации из алюминия, стали и других металлов, которые ранее состояли из многих компонентов и требовали существенных затрат времени на сборку. Производители двигателей и топливных систем могут в ряде случаев полностью отказаться от литья.

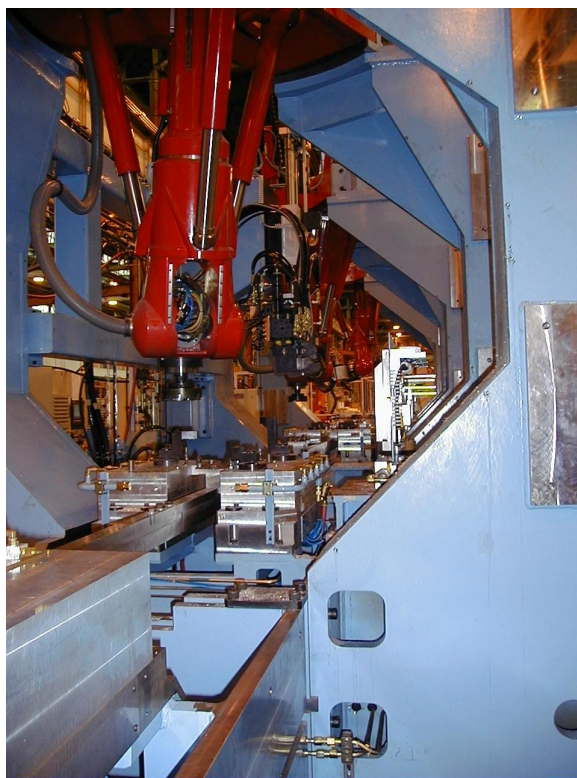


Рис. 6 Фрезерная и сверлильная обработка моторных блоков из чугуна и алюминия. ИВАГ-моторшпиндели перемещаются по линейным направляющим.

Исключение необходимости литьевых операций вдвое сокращает время на обработку и делает технологический процесс гибким для изменения конструкции детали. Изменение конструкции литьевых форм связано с большими затратами труда и времени. В случае комплектной обработки деталей резанием изменение конструкции детали связано исключительно с изменением управляющих программ.

Выигрыш от применения HSC при обработке монолитных деталей может быть продемонстрирован на опыте на предприятиях Boeing St. Louis [2]

Применение Makino HSC обрабатывающего центра скорость вращения шпинделя до 40 000 об/мин для изготовления распределительной панели для электронных приборов привело к следующим результатам

1. Общее снижение затрат – 73%
2. Одна заготовка + 5 деталей вместо 44-х составных частей из листового металла, экструзий и других
3. Вес 3,9 кг вместо 4,3 кг
4. Изготавливается за 38,6 вместо 1028 часов
5. Для изготовления требуются 5 вместо 53 инструментов

Пользователи ИВАГ-моторшпинделей из авиакосмического сектора и автомобильной промышленности

- Boeing

- Grumman
- Martin Marietta
- General Motors
- Pratt & Whitney
- Deutsche Airbus
- Rolls Roys
- British Aerospace
- Airbus France
- BMW

Заключение

Проведённый в Германии, Японии и США статистический опрос предприятий показал, что 20% опрошенных рассматривают HSC как наиболее перспективную технологию будущего. HSC таким образом занимает второе место после усиленного внедрения систем автоматической подготовки производства. Процент предприятий, планирующих инвестиции в области HSC, составляет в Японии 90%, в Германии – 60%. Эти цифры не требуют дополнительных комментариев.

1. Deutsche Patenschrift Nr. 523594: „Verfahren zur Bearbeitung von Metallen oder bei einer Bearbeitung durch schneidende Werkzeuge sich ähnlich verhaltende Werkstoffe“

2. James R. Koelsch «High Speed Machining – A Strategic weapon»
<http://www.compumachine.com/Whatsnew/MSG1.pdf>