



# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ПРОВЕРКЕ И СИМУЛЯЦИИ ОБРАБОТКИ В ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЕ

Владимир ЕМЕЛЬЯНЕНКО

Оптимизация технологического процесса связывает все операции механической обработки от начала и до конца, чтобы проверить и улучшить весь производственный процесс. Каждый шаг на этом пути, включая разработку, проектирование, программирование ЧПУ, механическую обработку и окончательную фазу контроля качества, может и должен быть оптимизирован. Проверки в виртуальной среде гарантируют, что созданные программы безошибочны, все операции работают вместе, как и предполагалось при разработке, а оптимизация делает работу всего процесса максимально эффективной, обеспечивая экономию времени и средств.

По мере того, как механическая обработка становится все более сложной, а предприятия ожидают большего эффекта при меньших затратах, появляется больше возможностей для улучшения любого производственного процесса. Эти улучшения не сводятся только к снижению затрат, они могут включать сокращение времени выполнения программы ЧПУ, увеличение пропускной способности, повышение производительности, удешевление деталей или более быстрый выпуск продукции.

Каждый уровень производственного процесса требует тщательного планирования и коммуникации, и цель производства состоит в том, чтобы сде-

лать каждый шаг как можно быстрее и эффективнее, с наименьшими затратами.

В этом типовом процессе место между программированием и наладкой оборудования занимает виртуальная среда проверки и оптимизации VERICUT (рис. 1).

## ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС С VERICUT

В современном производстве оборудование с ЧПУ может работать на очень высоких скоростях, считывая при этом огромное количество данных из строк управляющих программ. Риск ошибки высок. Отработка технологий для новых изделий не должна отнимать время дорогостоящих станков, которое могло бы быть использовано непосредственно для работы по производственной программе. Тесты и проверки новых управляющих программ на реальном оборудовании, помимо собственно неэффективных временных затрат, могут приводить и к более серьезным проблемам, включая испорченные детали, инструмент и оборудование. Цифровые двойники реального оборудования уже давно используются для проверки его работы в виртуальной среде, демонстрируя поведение оборудования при возникновении нежид-

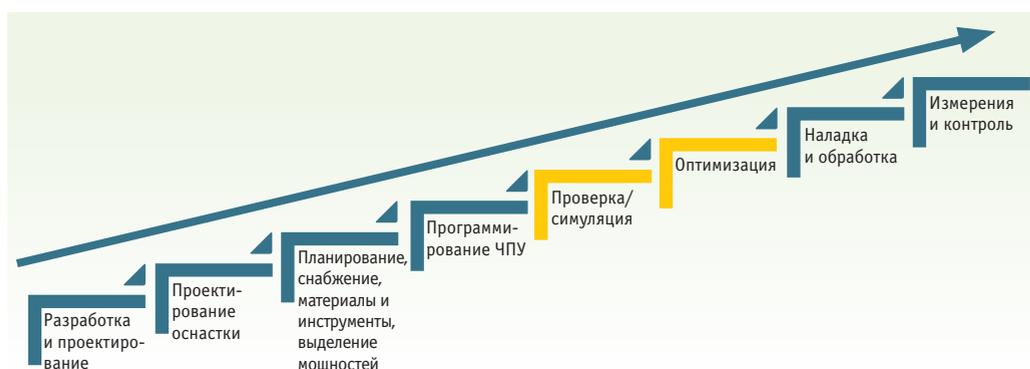


Рис. 1. Типовой порядок процесса производства

данных ситуаций и обеспечивая поиск проблем. Наиболее совершенное решение – фактически являющийся промышленным стандартом программный комплекс VERICUT, который позволяет одновременно с проверкой управляющих программ и визуализации работы оборудования проводить оптимизацию процесса обработки.

### ГДЕ ЗАДЕЛ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ?

Современные средства создания управляющих программ зачастую уже предоставляют технологии, реализующие методы высокоскоростной и высокопроизводительной обработки, являющейся в настоящее время более перспективной, выстраивающие специальные траектории инструмента и подбирающие параметры и режимы обработки таким образом, чтобы обеспечить максимально эффективное резание. Это так называемые технологии адаптивной обработки, имеющие свои фирменные наименования в различных САМ-системах.

Также поставщики инструмента предлагают решения (технологические инновации при производстве инструмента или методологию его применения), позволяющие повышать нагрузку на инструмент, обеспечивая более высокую производительность. В результате, даже увеличение затрат на такой инструмент приводит к выигрышу в скорости обработки и, в итоге – к получению экономического эффекта, превышающего эти затраты.

Но даже такие современные решения оставляют возможность улучшить результат их работы, и тем более это возможно для традиционных технологий создания управляющих программ и применения инструмента.

### VERICUT FORCE

Инновационное решение для оптимизации управляющих программ в процессе работы может определять значения сил, влияющих на инструмент во время резания, необходимую мощность шпинделя и действующий на него момент, а затем выполнять оптимизацию с учетом этих данных.

При работе этот модуль оптимизации опирается на геометрические параметры, рассчитанные в процессе имитации обработки в виртуальной среде VERICUT, и физические данные, на основе которых устанавливается зависимость действующих на режущую кромку сил от материала обрабатываемой заготовки, материала инструмента и формы режущей кромки. Эти данные получены от производителей инструмента, из характеристик материалов и в результате динамометрических испытаний. Алгоритмы, заложен-

ные в модуль Force, позволяют экстраполировать имеющиеся экспериментальные данные на аналогичные инструменты различных диаметров, обрабатывающие такой же материал.

Модуль может работать в двух режимах – анализ и оптимизация, причем эти режимы могут быть задействованы и при выполнении автоматического обучения по имеющейся управляющей программе, с последующей ее оптимизацией. Интерактивная работа по анализу оптимизируемой обработки также возможна.

В режиме анализа отображаются детальные графики, позволяющие определить кадры управляющей программы, содержащие потенциальные проблемы с нагрузкой на инструмент, стружкообразованием, недостаточной мощностью шпинделя. По информации на графиках можно для каждого кадра управляющей программы понять, что в действительности происходит в местах контакта инструмента с материалом. Есть возможность легко определить места с недостаточной загрузкой инструмента, превышение нагрузки, скорости съема материала, мощность и момент шпинделя, отжим инструмента.

Окно графиков интерактивно, указав интересующую точку на графике, можно найти соответствующий кадр управляющей программы и увидеть отображение данного момента в графическом окне симуляции.

В результате проведения такого автоматического анализа выявляются недочеты, которые возможны в обработке по каждой управляющей программе, такие как нестабильная толщина стружки, истончение стружки, неэффективные режимы на траектории, которые все могут быть решены путем оптимизации скорости подачи.

После проведения анализа управляющей программы можно автоматически оптимизировать ее. В процессе оптимизации модуль Force будет изменять подачу в кадрах управляющей программы для сохранения постоянной толщины стружки, обеспечивая равномерную нагрузку на инструмент, корректируя подачу в местах, где инструмент недостаточно загружен или, наоборот, возникают избыточные нагрузки и резкие скачки. При этом исходная траектория перемещения инструмента не изменяется. Результат наглядно выводится в виде графиков (рис. 2).

Важно отметить, что технологу не требуется специальных знаний для проведения оптимизации обработки с помощью модуля Force. Его применение позволяет получить быструю и эффективную управляющую программу с первого раза, не требуя для этого проведения дополнительных проверок в цехе. Разумеется, во время работы VERICUT обеспечивается и традиционный кон-

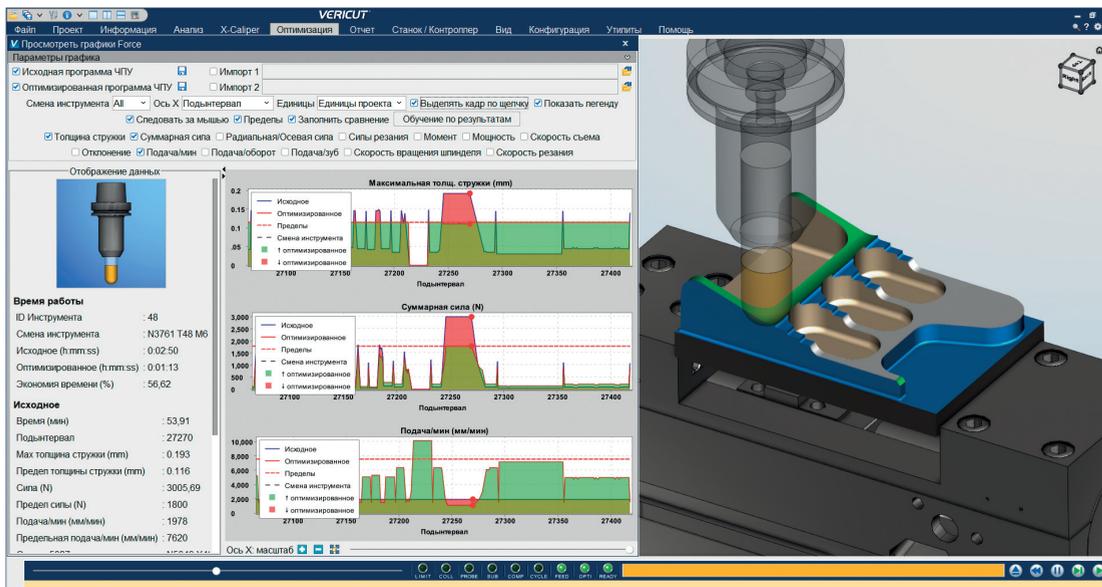


Рис. 2. Процесс оптимизации в VERICUT Force

троль на отсутствие столкновений и зарезов, правильности управляющей программы, что дает уверенность при последующем запуске программы на станке.

Эффект от такой оптимизации значителен. Это не только гарантированное ускорение минимум на 15–20% от времени работы по исходной управляю-

щей программе, а для труднообрабатываемых материалов – на 35–40% и более. Результатом также может являться увеличение стойкости инструмента на 100–150%, уменьшение вибраций и отжима инструмента, что повышает качество обработанной поверхности (рис. 3).

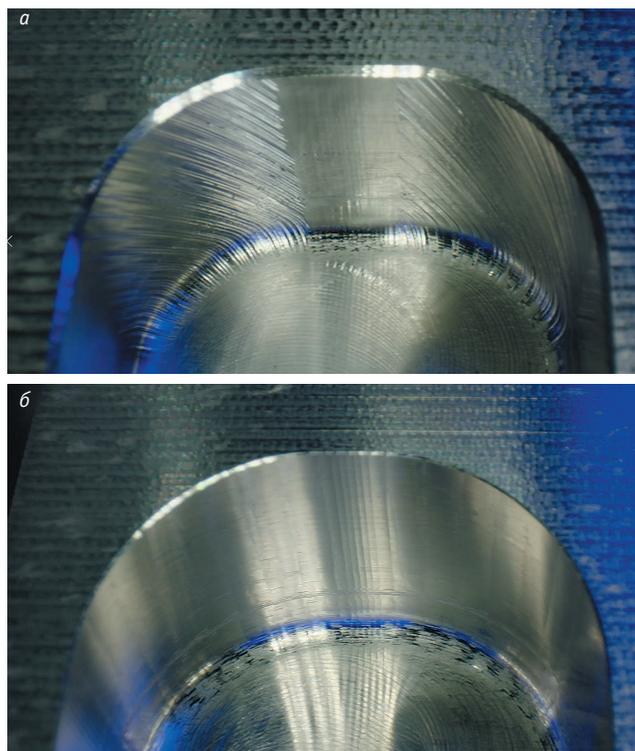


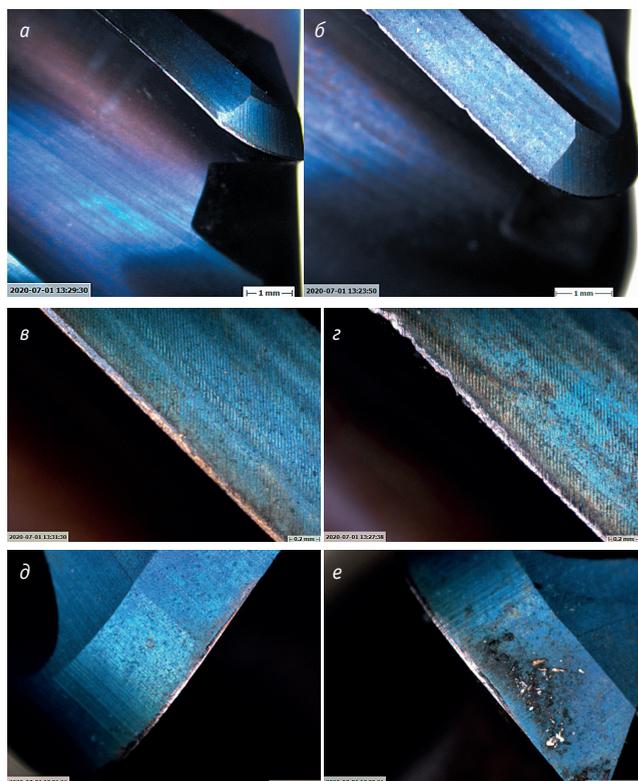
Рис. 3. Поверхность после обработки: а – по исходной управляющей программе, б – по оптимизированной управляющей программе

### УВИДЕТЬ – ЗНАЧИТ ПОВЕРИТЬ

Как один из недавних примеров, подтвердивших описанные выше возможности оптимизации с использованием VERICUT Force, можно привести опыт компании iMFLUX – известного производителя пресс-форм – разработавшей технологии, значительно ускоряющие производственный процесс литья пластмасс под давлением, а с использованием VERICUT Force получившей возможность ускорения производства оснастки.

Летом 2020 года девять проектов различной сложности, связанных с обработкой деталей из материалов с HRC25–HRC52, были оптимизированы с использованием VERICUT Force. В результате время обработки было сокращено на величину от 17 до 51%. Кроме того, достигнут еще один положительный эффект: значительно снижен износ инструмента, сравнение под микроскопом было проведено после исходной обработки и после обработки по оптимизированной управляющей программе (рис. 4).

За счет высокой температуры нагрева в зоне резания при неоптимизированной обработке произошло локальное упрочнение материала, что привело к выкрашиванию кромки фрезы при последующих проходах, также происходил наплав материала. С использованием инфракрасного термометра была определена температура инстру-



**Рис. 4.** Износ различных участков фрезы с оптимизацией и без: *а* – кромка радиуса фрезы с оптимизацией Forge, *б* – кромка радиуса фрезы, без оптимизации Forge, *в* – режущая кромка фрезы с оптимизацией Forge, *г* – режущая кромка фрезы без оптимизации Forge, *д* – торец фрезы с оптимизацией Forge, *е* – торец фрезы без оптимизации Forge

мента 149 °С при неоптимизированной обработке. И 71–82 °С после оптимизации режимов резания. При этом температура детали составила 26–32 °С.

Успешный опыт использования Forge есть и в России. Так, при обработке импеллера из титана марки VT25Y (рис. 5) удалось уменьшить время обработки на 37%. Время работы станка по управляющей программе сократилось с 21 ч 41 мин до 13 ч 31 мин (рис. 6).

После знакомства с понятной и простой последовательностью работы с VERICUT Forge и оценки положительных результатов ее применения,



**Рис. 5.** Обработка импеллера из титана марки VT25Y

Калькулятор экономии	
Экономия на деталях	
Исходное время (ч:мм)	21:41:19
Оптимизированное время (ч:мм)	13:30:57
Экономия времени в процентах (%)	37,68
Количество деталей	
Стоимость станко-часа (Руб./час)	
Время, сэкономленное на этих деталях (ч:мм)	
Деньги, сэкономленные на этих деталях (руб.)	
<input type="button" value="Рассчитать экономию для этих деталей"/>	

**Рис. 6.** Сокращение времени обработки по управляющей программе

наглядно демонстрируемых на графиках оптимизации, которые можно вывести для любой управляющей программы, различные предприятия снова и снова тестируют этот модуль, подтверждая заявленные возможности. Программы для проверки создаются технологами с многолетним опытом работы и знанием всех нюансов производства, в виде исходных данных для оптимизации передаются управляющие программы, ранее оптимизированные встроенными в САМ-системы средствами. И неизменно VERICUT Forge улучшает эти результаты, выигрывая десятки процентов в производительности, подтверждением чему могут служить как отзывы специалистов компаний, являющихся технологическими партнерами VERICUT, обеспечивших проведение тестов с применением передового оборудования и режущего инструмента, так и пользователей, успешно использующих эту технологию оптимизации готовых управляющих программ в своем производстве.

**ЕМЕЛЬЯНЕНКО Владимир Юрьевич** –  
 директор по продажам компании CGTech Ltd



CGTech Ltd.

125047, Россия, Москва, 4-й Лесной пер., д. 4,  
 Бизнес-центр White Stone, офис 524  
 ☎ +7 (495) 741-98-52  
 Эл. почта: info.ru@cgtech.com  
 www.cgtech.ru