



CGTech VERICUT В ПРОИЗВОДСТВЕ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ПРЕСС-ФОРМ. ОПТИМИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ FORCE

Владимир ЕМЕЛЬЯНЕНКО

Большинство российских предприятий, использующих программный комплекс VERICUT для проверки управляющих программ на «цифровом двойнике» станка, относятся к авиационной и космической отраслям, двигателестроению. В последнее время значительный интерес у действующих пользователей и потенциальных заказчиков стал вызывать модуль оптимизации Force, представленный решениями для фрезерной и токарной обработки. Целесообразность его применения понятна для задач серийного производства, где один раз проведенная оптимизация для серийной детали фиксирует экономический эффект на все время ее выпуска, обеспечивая ускорение цикла обработки, более продуктивное использование инструмента, сокращение операционных расходов. Цель этого материала – обратить внимание специалистов остальных предприятий на возможность получения положительного эффекта и в других производствах.

Примером могут быть производители пресс-форм и штампов. Поскольку пока нет возможности представить проект в этой области, реализованный в нашей стране, обратим внимание на опыт зарубежных компаний. В США и Южной Корее очень тщательное тестирование технологии оптимизации управляющих программ провели исследовательские центры известных производителей пресс-форм для литья пластмасс под давлением.

Из всех различных производственных областей, изготовление пресс-форм для литья пластмасс под давлением является одним из самых сложных. Материалы, как правило, трудны в обработке, геометрия довольно сложна, допуски очень жесткие. Поскольку технология производства формообразующих элементов обычно включает три стадии термообработки и три – механической обработки, а готовые многогнездные пресс-формы часто продаются за десятки или даже сотни тысяч долларов, цена ошибки очень велика. Поэтому компаниям, работающим в этой области, требуется очень тщательная проработка тех-

нологии, даже в случаях практически единичного производства, где каждая пресс-форма уникальна.

Никто не знает этого лучше, чем сотрудники iMFLUX Inc., фирмы по проектированию, разработке технологий и производству пресс-форм из Гамильтона (штат Огайо, США), являющейся 100%-ной дочерней компанией многонационального гиганта по производству потребительских товаров Procter&Gamble. За годы интенсивных усилий команда не только разработала запатентованную технологию управления технологическим процессом, которая значительно улучшает результаты операций литья под давлением, но и построила высокопроизводительное, в значительной степени автоматизированное, производство пресс-форм.

Затем, летом 2020 года, руководители производственной группы приняли решение проверить, выдержат ли смелые заявления разработчика программного обеспечения VERICUT – компании CGTech, проверку в различных производственных сценариях iMFLUX. Используя тот же научный подход, который применялся к остальной деятельности компании, они выделили необходимое время и ресурсы, чтобы испытать Force. Этот программный модуль оптимизации управляющих программ ЧПУ, основанный на физических принципах, анализирует и оптимизирует режимы резания в готовой управляющей программе. Этот модуль обещает значительные возможности для сокращения времени цикла и увеличения срока службы инструмента.

На рис. 1 приведен общий пример графиков в модуле Force, показывающих скачки нагрузки на инструмент с превышением допустимого значения силы и результат оптимизации.

Группа провела девять отдельных тестов обработки для разных типов изделий – простых и сложных – оценивая время каждого цикла, срок службы режущего инструмента и температуру инструмента и заготовки. При создании управляющих программ в САМ-системе широко использовались стратегии

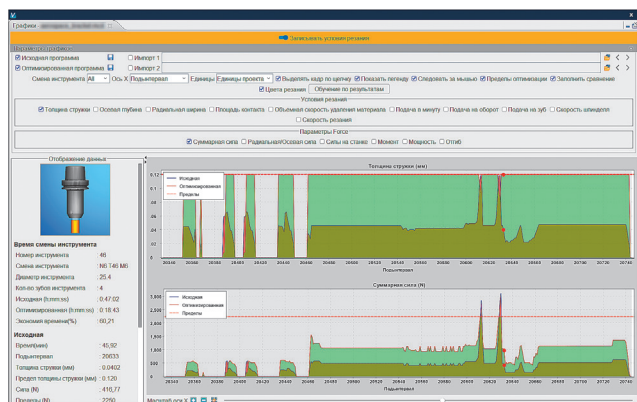


Рис. 1. Пример работы модуля Force

троихоидального фрезерования и расчета радиальной толщины стружки, а испытания проводились на различных моделях оборудования: Hurco, ОКК и Makino.

- Из значимых результатов тестов следует отметить:
1. При обработке детали из нержавеющей стали, термообработанной до 48 HRC, Forge сократил время цикла с 7 ч 51 мин до 4 ч 55 мин, то есть на 37%. Оператор станка использовал слово «потрясающе», чтобы описать результат работы Forge.
 2. Для другой заготовки (рис. 2), изготовленной из того же материала, время цикла сократилось более чем на два часа, что позволило компании сэкономить 1366 долл. на единичном заказе, состоящем из нескольких частей (рис. 3).
 3. Несколько деталей с относительно простыми траекториями инструмента или большим количеством просверленных отверстий дали экономию от 9,7 до 19,9%. Выборочные замеры стружки по толщине показали, что они «удивительно стабильны».
 4. При «жестком» фрезеровании сложных поверхностей детали из стали 52 HRC Stavax (русский аналог – 3X13) время цикла сократилось на 51%. Оператор заявил: «По звуку, это лучшая черновая резка, которую я слышал у нас в цехе».
 5. Обработка испытательного образца P20 дала снижение на 30%. Программист отметил, что Forge «экономит нам массу времени и денег на инструментах и вмешательстве в работу станка».
 6. Модуль Forge был применен к ранее оптимизированной в САМ-системе программе. Это не только сократило продолжительность шестичасового рабочего цикла на один час, но и выявило и удалило пик нагрузки на инструмент, при котором фреза наверняка сломалась бы.

В каждом случае операторы затем проверяли режущие инструменты под 72-кратным увеличением (рис. 4). Во всех случаях, кроме одного, кромки инструмента с оптимизацией по усилию показали гораздо меньший износ, без сколов, связанных с неоп-

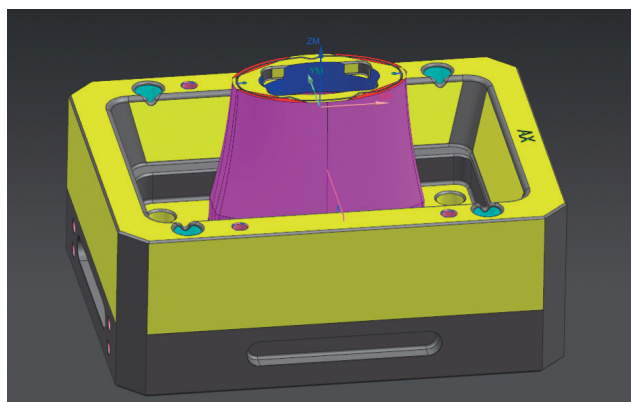


Рис. 2. Деталь, для которой проводилась оптимизация

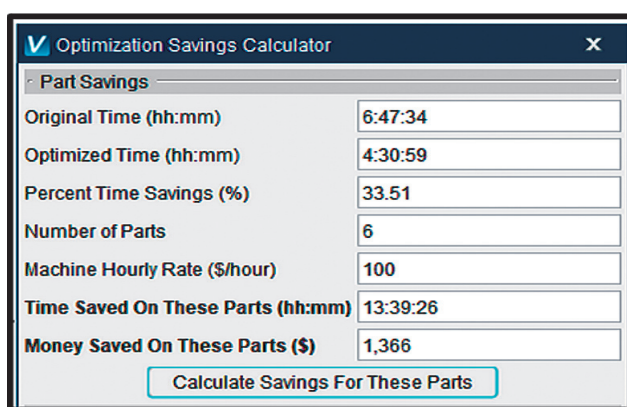


Рис. 3. Расчет получившегося эффекта в калькуляторе экономии VERICUT

тимизированными траекториями инструмента. А в том испытании, где была обнаружена проблема, было определено, что предыдущая операция обработки вызвала перегрев и наклеп, в результате чего лишь на одной кромке четырехзубой фрезы было обнаружено повреждение, тогда как в случае без оптимизации оказались повреждены все четыре режущие кромки.

Помимо обеспечения более стабильной нагрузки на режущий инструмент и устранения «всплесков» нагрузки, которые часто могут привести к поломке инструмента, Forge также снизил тепловыделение при резании. Проведя измерения с помощью инфракрасного термометра, команда iMFLUX выяснила, что температура тестовых деталей, которые обрабатывались без использования СОЖ, никогда не превышала 90 °F (32 °C), а температура режущего инструмента оставалась ниже 180 °F (82 °C), что является идеальными условиями. Для сравнения: детали, обработанные по программе с использованием траекторий без применения Forge, обычно достигали температуры 300 °F (149 °C), что, скорее всего, приводит к деформации, упомянутой ранее.

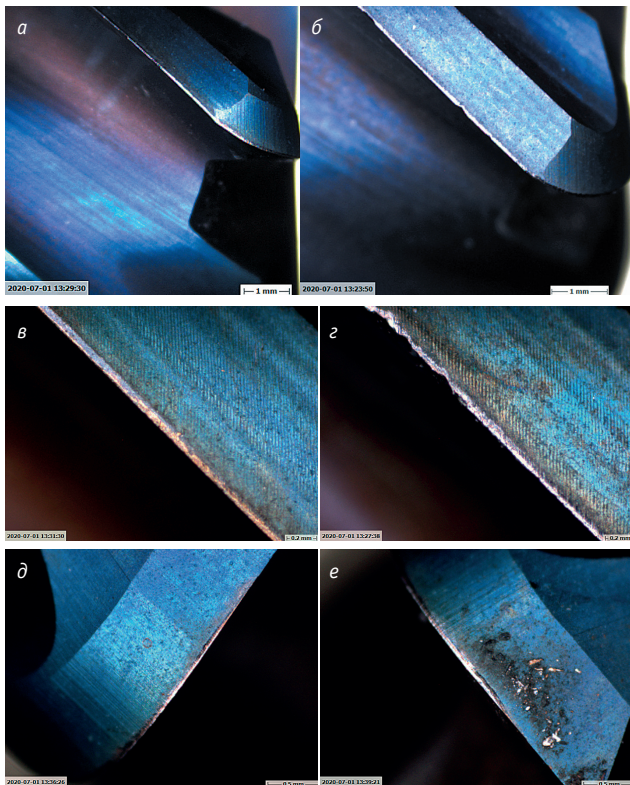


Рис. 4. Износ фрезы, $\times 72$: а – износ кромки радиуса фрезы, оптимизация Force; б – износ кромки радиуса фрезы, без Force; в – износ режущей кромки фрезы, оптимизация Force; г – износ режущей кромки фрезы, без Force; д – износ кромки на торце фрезы, оптимизация Force; е – износ кромки на торце фрезы, без Force

Кроме того, меньшая температура при резании также означает меньший нагрев заготовки и оснастки, что вносит существенный вклад в точность конечной детали. Важно отметить, что были оптимизированы управляющие программы, в которых уже использовалась высокоскоростная обработка и оптимизация по толщине стружки, рассчитанные САМ-системой.

Ведущий инженер-технолог Гэри Бэр резюмирует результаты испытаний следующим образом: «Модуль VERICUT Force сэкономил не менее 17% даже на самых простых деталях. На тех, которые считались более сложными, обычно было снижение до 45%».

Как уже отмечалось, Force также значительно повысил стойкость инструмента, практически полностью исключив выкрашивание или износ кромок, в то время как более низкие температуры резания снизили термическое расширение. Наконец, более стабильные процессы оптимизации Force, как правило, повышали уверенность технолога-программиста и оператора в безопасности результата. По оценкам iMFLUX, окупаемость инвестиций в VERICUT составила всего 1,4 месяца. По оценке

специалистов компании отказ от оптимизации Force обойдется в 21 тыс. долл. в месяц.

Другим производителем пресс-форм, так же ответственно подошедшим к тестированию возможностей оптимизации VERICUT Force, стал Исследовательский центр пресс-форм и штампов LG Electronics (LG Electronics Mold and Die Research Center) из Южной Кореи.

В этом случае специалистов заинтересовала возможность улучшить результат оптимизации. Традиционные технологии фрезерования формообразующих элементов подразумевают очень небольшой съем материала для гарантии безопасной обработки. Увеличение глубины резания увеличило бы скорость обработки, но появилась бы опасность поломки инструмента.

Было решено протестировать Force для двух управляющих программ, отличающихся глубиной резания, а затем сравнить результаты оптимизации для оригинальной программы (ее назвали D10A) и для программы с большей глубиной резания (D10B).

В результате на станке было проведено три обработки (рис. 5, 6):

- оригинальная программа;
- оптимизированная оригинальная программа (D10A);
- оптимизированная программа с большей глубиной резания (D10B).

Обработка по программе с большей глубиной резания без оптимизации не производилась, так как это с высокой долей вероятности привело бы к поломке инструмента.



Рис. 5. Сравнение времени обработки, выигрыш 17 и 40% от оригинальной программы!

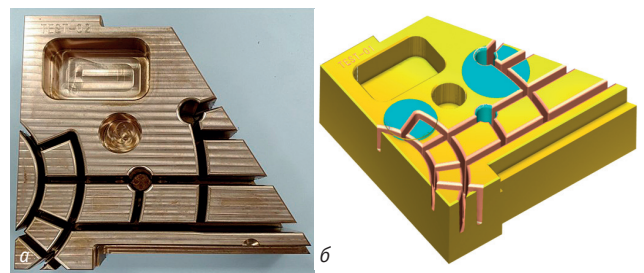


Рис. 6. Тестирование управляющих программ, отличающихся глубиной резания: а – обработанная деталь, б – модель для обработки

Помимо сокращения времени, при сравнении обработок по двум оптимизированным программам, получены следующие данные:

- оптимизированная программа D10A является более объемной по размеру и состоит из большего количества файлов;
- для программы D10B была увеличена только глубина резания, все остальные параметры остались неизменными по сравнению с D10A;
- большая глубина резания обеспечила сьем большего объема материала за такой же проход, что привело к уменьшению требуемого количества инструментов (рис. 7), а качество поверхности оказалось лучше (рис. 8);
- результирующая программа меньше по размеру и состоит из меньшего количества файлов.

В модуле Force можно проанализировать возникающие при обработке усилия и используемые подачи. На рис. 9 продемонстрировано, как функция сортировки показывает соотношение неэффективных/рискованных проходов при обработке. При этом видно, что превышение допустимых усилий занимает всего 1% от всей обработки и, наоборот, около 50% времени едва ли вообще идет сьем материала. Но тот самый 1% показывает, почему большинство компаний использует безопасную невысокую подачу, так как сложно определить, где может возникнуть удар и про-

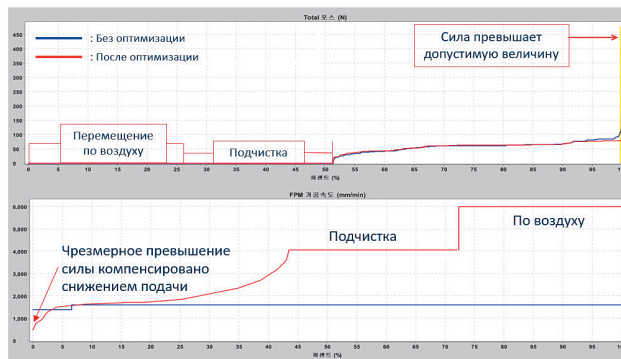


Рис. 9. Соотношение неэффективных и рискованных проходов при обработке

Станок	Материал	Размер детали	Оригинальное время обработки	Оптимизированное время	Экономия
YASDA	HP4M	370.4 X 330.4 X 227.4	6:10:26	5:14:52	15%
MAKINO	SM 55C	980 X 900 X 120	4:45:08	3:11:01	33%
HWACHEON	HP4M	471.4 X 403.4 X 190.4	5:13:04	4:12:04	19%
	HP4M	471.4 X 403.4 X 190.4	5:29:05	4:06:48	25%
DMG	HP4M	595.55 X 978.99 X 129.59	9:42:55	6:49:20	30%
DMG	CENA-G	670 X 85 X 106.9	4:40:13	3:35:08	23%
	CENA-G	1560 X 980 X 140	13:24:47	11:30:45	14%
MAKINO	KP4M	1470 X 850 X 137	23:43:28	18:41:54	21%
MIKRON	Ultra	117.78 X 163.80 X 69.30	3:38:38	2:22:35	34.8%
MAKINO	SM 55C	650 X 650 X 229	18:15:19	14:14:16	22%

Рис. 10. Результаты применения модуля Force для обработки пресс-форм

D10A				D10B				Количество инструмента	
Название файла программы	Номер инструмента	AP Z		Название файла программы	Номер инструмента	AP Z			
T1006	T1006-1.H	T5	0.15	→	T2006	T2006.H	T5	0.225	1 вместо 2
	T1006-2.H	T6	0.15						
T1007	T1007-1.H	T7	0.13	→	T2007	T2007.H	T6	0.195	1 вместо 3
	T1007-2.H	T8	0.13						
T1008	T1008-3.H	T9	0.13	→	T2008	T2008-1.H	T7	0.195	2 вместо 3
	T1008-1.H	T10	0.13						
	T1008-2.H	T11	0.13						
	T1008-3.H	T12	0.13			T2008-2.H	T8	0.195	

Рис. 7. Уменьшение количества инструмента при обработке по оптимизированной программе



Рис. 8. Качество обработанной поверхности у варианта D10B оказалось лучше

изойти поломка инструмента. Force находит эти перегруженные места и устанавливает оптимальные режимы резания для них, что позволяет существенно повысить эффективность обработки. В незагруженных же областях подача может быть безопасно увеличена.

Приведенные принципы, разумеется, применимы не только для пресс-форм. И в заключение на рис. 10 еще несколько примеров оптимизации, выполненных этой компанией, с указанием размеров деталей и сэкономленного времени.

VERICUT Force. Сберегите время. Сберегите деньги. Сберегите ваше оборудование.

ЕМЕЛЬЯНЕНКО Владимир Юрьевич –
директор по продажам компании CGTech Russia



CGTech Ltd.

125047, 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