

УДК 621.9

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Гафуров Ф.С., студент группы 10А61, IV курс  
научный руководитель: Ласуков А.А., доцент, к.т.н.

Юргинский технологический институт (филиал)  
Национального исследовательского Томского политехнического университета

Современное производство и промышленность в целом невозможно представить без энергии. Интенсивный прирост населения, повышение уровня жизни и экономическое развитие выводят потребление энергии на недостижимый ранее уровень. В то же время человечество сталкивается с ограниченностью энергоресурсов, таких как уголь, нефть и биотопливо. Растущие потребности в энергии наряду с ограниченными ее запасами обуславливают бесконечное повышение цен [1, 2]. В сложившейся ситуации энергоэффективность производственных процессов является движущей силой для развития технологий современного и перспективного производства. Но, как и какими средствами могут быть достигнуты конкретные результаты оптимизации энергозатрат при обработке заготовок резанием?

Рассматривая энергопотребление станка, включая систему смазки, можно выделить несколько подходов к повышению энергетической эффективности:

- оптимизация станка и его компонентов в плане экономии энергии;
- минимизация времени работы путем отключения на периодостоя;
- оптимизация процесса резания и используемых инструментов.

В условиях крупносерийного производства с преобладанием процессов резания доля энергозатрат самого станка от общего объема потребляемой энергии составляет, как правило, 80%. Система подачи смазочно-охлаждающей жидкости потребляет более 50% энергии от этого объема. Остальная часть энергии распределяется между системой охлаждения, приводной системой и гидросистемой (рис. 1) [3].

Расход энергии системой подачи СОЖ может быть значительно снижен посредством целевой подачи смазочно-охлаждающей жидкости, например, с помощью насосов переменного рабочего объема. В итоге потребление энергии системы в некоторых случаях снижается на 60%. В данном примере расход энергии станком в целом может быть снижен на 30% только лишь за счет оптимизации системы подачи СОЖ.

Основное время работы металлообрабатывающих станков занимает всего треть от общего времени эксплуатации или даже менее. Остальное время составляют периоды ожидания и смены инструмента (вспомогательное время). Основываясь на данных сведениях, можно выделить следующие ре-

комендации по повышению энергоэффективности: на время таких «непроизводительных» периодов в режиме ожидания следует предусмотреть отключение второстепенных компонентов с высоким расходом энергии. В некоторых случаях такие меры могут сэкономить свыше 20% от общей энергии, потребляемой станком.

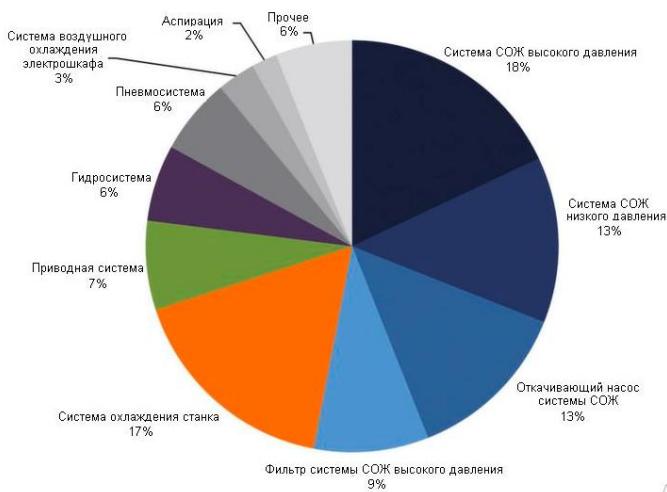


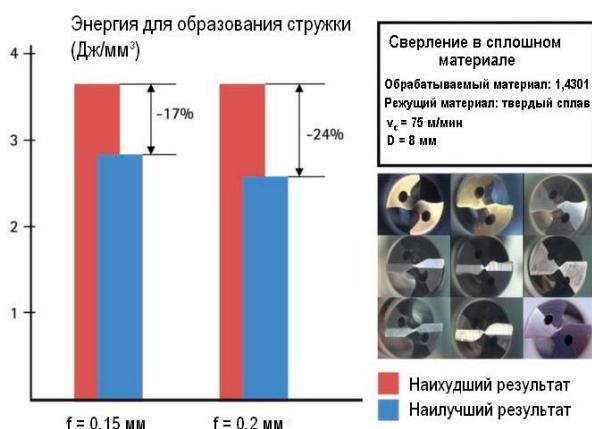
Рис.1 Соотношение потребления энергии отдельными компонентами обрабатывающего центра (MAG XS211) в ходе серийного производства в три смены

На данный момент упомянутые возможности снижения затрат энергии в большинстве случаев могут быть реализованы лишь путем покупки новых станков с оптимизированными показателями энергоэффективности. Однако вложение средств в такой станок оправдано только в случае, если оборудование действительно требует замены. Учитывая большое количество и продолжительный срок службы действующего металлорежущего оборудования в таких странах, как Германия, требуется изучение и реализация потенциальных способов экономии путем оптимизации инструментов и технологических процессов работающих станков.

В целях оптимизации инструментов и процессов следует классифицировать потребление энергии различными компонентами оборудования. Здесь рассматриваются все устройства станка, которые постоянно или периодически находятся в режиме готовности. Мощность, необходимая для таких нагрузок, представляет собой базовую мощность станка. Мощность, потребляемая всеми устройствами системы смазки и охлаждения, определена как мощность системы подачи СОЖ. Дополнительная мощность помимо базовой, потребляемая приводом режущего инструмента в ходе обработки, называется мощностью процесса резания. Умножение данных видов мощности на число рабочих циклов дает величину суммарной энергии по каждому из них – базовой, энергии подачи СОЖ и энергии процесса резания.

Наконец, для оптимизации в целом важно учитывать энергию производства режущего инструмента. Поскольку срок его службы может оказаться

крайне малым, оптимальная для пользователя величина энергии может быть увеличена за счет его изготовления.



Инструменты, различающиеся по макро-, микрогеометрии и покрытию

Рис.2 Снижение мощности резания путем оптимизации режущих кромок

Доля каждого из этих четырех видов энергии в общем объеме потребления, безусловно, определяется типом станка и процесса. При этом в большинстве случаев мощность процесса резания составляет менее 20% от суммарной энергии. Мощность системы СОЖ может составлять существенно большую долю при условии подачи смазочно-охлаждающей жидкости под высоким давлением [5, 7].

Наиболее очевидный способ экономии энергии резания – использование специализированных «легкорежущих» инструментов. Они обеспечивают сравнительно низкое усилие благодаря соответствующей микро- и макрогеометрии (малый радиус режущей кромки, большой передний угол) и антифрикционному покрытию (рис. 2). Это позволяет значительно сократить энергозатраты на образование стружки, а, следовательно, и усилие резания. Стендовые испытания на сверление нержавеющей стали с использованием девяти цельных твердосплавных сверл показали разницу в усилии резания и энергии для образования стружки вплоть до 24% при аналогичной производительности. Однако в расчете из данной экономии энергии резания в размере 24% суммарная энергия, затрачиваемая на процесс обработки, снизилась всего на 3 — 4 %. Данные показатели были получены при работе на обычных обрабатывающих центрах, используемых для серийного производства (2-шпиндельный станок Alffing) и изготовления пресс-форм (HermleC30).

Как правило, снижение усилия резания на постоянной скорости оказывает лишь незначительное влияние на расход энергии. Лишь непосредственно в ходе обработки, когда в общем объеме расходуемой энергии преобладает энергия резания (например, при тяжелых черновых операциях), снижение усилия ведет к существенному повышению энергоэффективности.

Принимая во внимание вышесказанное, не следует пренебрегать стабильностью режущей кромки и безопасностью процесса в конкретных усло-

виях работы. Малое усилие резания при низких подачах или небольшой глубине резания не дает результатов в плане энергоэффективности, поскольку при этом увеличивается время обработки с соответствующим повышением энергозатрат.

Как правило, базовая мощность, а, следовательно, и энергия, необходимая для эксплуатации оборудования, составляют относительно большую долю в общем объеме мощности и энергии. Таким образом, суммарная энергия по большей части определяется вспомогательным временем работы станка. Из этого можно сделать вывод, что для обеспечения энергоэффективности процесса и основное и вспомогательное время должны быть как можно меньше.

Повышение производительности всегда было задачей оптимизации процесса резания. В этой области существует ряд эффективных мер по снижению расхода энергии.

Оптимизация инструмента позволяет достичь сокращения основного времени работы на 70% и снижения энергопотребления в процессе работы на 60%. Самым важным изменением в геометрии является новое расположение направляющих фасок для предотвращения защемления сверла в отверстии. Также модифицируется режущий материал и покрытие.

Производительность и энергоэффективность также могут быть повышенны за счет увеличения скорости подачи наоборот. Имея подходящую геометрию заготовки, чистовую обработку можно производить развертками с канавками минимального размера. В результате может быть существенно увеличено число лезвий и, соответственно, доступная скорость подачи.

Зачастую производительность процесса резания ограничивается вибрацией инструмента. При отсутствии вибрации инструмент, а также привод главного шпинделя способны обеспечить большую скорость подачи и/или глубину резания. Однако во избежание самопроизвольных колебаний данные параметры необходимо ограничить, что, в свою очередь, позволит значительно увеличить продуктивность работы.

На сегодняшний день проблема энергоэффективности представляет интерес для ряда компаний, стремящихся сократить энергопотребление и общие расходы. В настоящее время, с непрекращающимся ростом цен на энергию, данный вопрос станет актуальным для множества производственных предприятий.

В сфере металлообработки существует большое количество отправных точек для повышения энергоэффективности [8]. В таких широко распространенных системах, как насосы, электродвигатели, пневматические системы и системы освещения, оптимизация требует относительно небольших технических усовершенствований.

В частности, при необходимости модернизации сам станок может иметь огромный ресурс для экономии. В особенности это касается системы подачи смазочно-охлаждающей жидкости, системы охлаждения и гидросистемы. Анализ эксплуатационных затрат данных систем может помочь окупить из-

начально дорогостоящую технологию, которая впоследствии позволит экономить значительный объем энергии. Кроме того, на энергоэффективность производства положительно влияют организационные меры по сокращению непроизводительного времени станка.

### Список литературы

1. Level of GDP per capita and productivity [Electronic resource] / Organisation for Economic Co-operation and Development/ France. URL: [http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=PDB\\_LV](http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=PDB_LV) (date of attendance: 01.03.2020).
2. Total energy consumption [Electronic resource] / Enerdata – an independent Research&Consulting firm on the global oil, gas, coal, power, renewable and carbon markets. France. 2014. URL: <https://yearbook.enerdata.net/> (date of attendance: 01.03.2020).
3. The Global Competitiveness Index 2015 – 2016 [Electronic resource] / World Economic Forum. Switzerland. 2016. URL: <http://reports.weforum.org/globalcompetitiveness-report-2015-2016/competitiveness-rankings/> (date of attendance: 01.02.2020).
4. Стриженок О. А. Бережливое производство в России // Актуальные вопросы экономических наук. 2012. № 26. С. 324–327.
5. Krishna N.V. Kodali J. Lean production: literature review and trends // International Journal of Production Research. 2015. p. 867–885
6. 5. Вумек Д., Джонс Д. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. М.: Альпина Паблишер, 2013. 480 с.
6. Muda, mura, muri [Electronic resource] / The Lean Enterprise Institute (LEI). URL: <http://www.lean.org/lexicon/muda-mura-muri> (date of attendance: 04.02.2020).
7. Бережливое производство. Основы: Муда и причины образования муда [Электронный ресурс] / сайт Нижегородского Автомеханического техникума. Учебное пособие. С. 51–52. URL: [http://www.xn--80aybw.xn--p1ai/metod\\_mat/bp.pdf](http://www.xn--80aybw.xn--p1ai/metod_mat/bp.pdf) (дата обращения: 02.03.2020).
8. Womack J., Jones D. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Productivity Press. 2nd edition. 2003. 396 p.