

Новиков Ф.В., Андилахай В.А.

Харьковский национальный экономический университет, г. Харьков,
Украина

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ОБРАБОТКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Мерой интенсивности воздействия режущего инструмента на обрабатываемую деталь является энергоемкость обработки, равная количеству энергии, затрачиваемой на съём единицы объема материала. Экспериментально установлено, что данная величина может изменяться в очень широких пределах. Так, при лезвийной обработке она значительно меньше, чем при абразивной обработке. Этим можно объяснить, что при шлифовании на обрабатываемых поверхностях чаще появляются прижоги, микротрещины и другие дефекты температурного и силового происхождения. Поэтому изучение закономерностей изменения энергоемкости обработки, в особенности при шлифовании, представляет большой практический интерес.

Традиционно считается, что более высокая энергоемкость обработки при шлифовании обусловлена главным образом отрицательными передними углами режущих зерен. В действительности формирование энергоемкости при шлифовании подчиняется более сложным закономерностям. Так, установлено, что энергоемкость обусловлена не только процессом резания зернами круга, но и трением обрабатываемого материала (образующихся стружек) со связкой круга. Причем, доля энергии трения в общем энергетическом балансе процесса шлифования значительно больше, чем доля энергии резания. Это связано, прежде всего, с существованием так называемой предельной производительности обработки, обусловленной высотами выступания режущих зерен над уровнем связки круга. Превышение предельной производительности приводит к интенсивному трению обрабатываемого материала (образующихся стружек) со связкой круга и возникновению значительных упругих перемещений в технологической системе. А это вызывает рост силы и температуры резания и ухудшает качество обработки. Для анализа закономерностей изменения энергоемкости обработки рассмотрим процесс плоского шлифования по жесткой схеме с номинальной глубиной шлифования t . Будем считать, что энергоемкость обработки обусловлена лишь процессом трения, имеющим место при шлифовании. Предположим, что режущей способности круга недостаточно для удаления слоя материала толщиной t , т.е. круг может срезать лишь слой материала толщиной $t_\phi < t$. Тогда энергоемкость обработки при первом продольном ходе круга равна: $\sigma_1 = P_z / S_{\text{сум}}$, где P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н; $S_{\text{сум}} = Q / V_{\text{кр}}$ – мгновенная

суммарная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами круга, м^2 ; $Q = B \cdot V_{\text{дем}} \cdot t_{\phi}$ – производительность обработки, $\text{м}^3/\text{с}$; B – ширина шлифования, м ; $V_{\text{дем}}, V_{\text{кр}}$ – соответственно скорости детали и круга, $\text{м}/\text{с}$; t_{ϕ} – фактическая глубина шлифования, м .

Тангенциальную составляющую силы резания P_z можно выразить через радиальную составляющую силы резания $P_y = c \cdot y$:

$$P_z = P_y \cdot K_{\text{ш}} = c \cdot y \cdot K_{\text{ш}}, \quad (1)$$

где c – приведенная жесткость технологической системы, $\text{Н}/\text{м}$; y – величина упругого перемещения в технологической системе, м ; $K_{\text{ш}} = P_z / P_y$.

С учетом зависимости (1) и $y = t - t_{\phi}$ параметр σ_1 определится:

$$\sigma_1 = \frac{c \cdot y \cdot K_{\text{ш}} \cdot V_{\text{кр}}}{B \cdot V_{\text{дем}} \cdot t_{\phi}} = \frac{c \cdot K_{\text{ш}} \cdot V_{\text{кр}}}{B \cdot V_{\text{дем}}} \cdot \left(\frac{t}{t_{\phi}} - 1 \right). \quad (2)$$

Как видно, с уменьшением параметра t_{ϕ} , т.е. с увеличением величины упругого перемещения y , энергоемкость обработки σ_1 увеличивается. При $t_{\phi} = t$ энергоемкость обработки σ_1 равна нулю. Это возможно в случае отсутствия трения обрабатываемого материала со связкой круга, т.е. когда в общем энергетическом балансе процесса шлифования преобладает доля энергии резания зернами круга. Однако в настоящей работе рассматривается лишь доля энергии трения в общем энергетическом балансе процесса шлифования.

При втором проходе круга зависимость (2) остается прежней с тем отличием, что вместо величины y надо рассматривать $2y$. Соответственно, при третьем проходе круга вместо величины y надо рассматривать $3y$ и т.д. В конечном итоге при n -ном проходе круга зависимость (2) примет вид:

$$\sigma_n = \frac{c \cdot K_{\text{ш}} \cdot V_{\text{кр}}}{B \cdot V_{\text{дем}}} \cdot n \cdot \left(\frac{t}{t_{\phi}} - 1 \right). \quad (3)$$

Наличие множителя n в зависимости (3) указывает на весьма интенсивное увеличение энергоемкости обработки с увеличением количества проходов круга. Этим, собственно, можно объяснить то, что энергоемкость обработки при шлифовании многократно превышает энергоемкость процесса резания отдельным зерном. С физической точки зрения это обусловлено наличием значительных упругих перемещений в технологической системе и интенсивным трением обрабатываемого материала со связкой круга. Причем, как следует из зависимости (3), увеличение энергоемкости обработки не связано с затуплением зерен круга, хотя, несомненно, появление на зернах

круга площадок износа приведет к еще более интенсивному увеличению энергоемкости обработки.

Таким образом показано, что основной причиной увеличения энергоемкости обработки при шлифовании является относительно низкая режущая способность круга, в результате чего на обрабатываемой поверхности образуются “недорезы” величиной $t - t_{\phi}$ после каждого прохода круга. Для каждой характеристики круга существует своя вполне конкретная величина “недореза”, соответствующая определенной производительности обработки. Это хорошо согласуется с экспериментальными данными. Так, установлено, что производительность обработки во времени остается фактически неизменной для каждой характеристики абразивного и алмазного круга, работающего в режиме самозатачивания. При этом составляющая силы резания во времени увеличивается за счет возникающих в технологической системе упругих перемещений, компенсируя таким образом неудаленный материал в виде “недореза”. Чем больше величина “недореза”, тем больше энергоемкость обработки, а следовательно, интенсивность трения обрабатываемого материала со связкой круга, что может привести к его засаливанию и потере режущей способности. С другой стороны, увеличение энергоемкости обработки, является основной причиной увеличения температуры шлифования и появления температурных дефектов на обрабатываемых поверхностях.

Используя зависимость (3), проанализируем основные пути уменьшения σ_n . Они состоят, главным образом, в увеличении фактической глубины шлифования $t_{\phi} \rightarrow t$, поскольку в этом случае $\sigma_n \rightarrow 0$, т.е. исчезает доля энергии трения при шлифовании. Увеличить t_{ϕ} можно разными методами. Во-первых, применением эффективных методов правки круга, обеспечивающих увеличенное выступание вершин зерен над уровнем связки, достаточное для удаления снимаемого слоя материала толщиной t_{ϕ} и свободного размещения образующихся стружек и других продуктов обработки в межзеренном пространстве круга. Эффективно в данном направлении применение высокопористых кругов, а также электрофизикохимических методов правки алмазных кругов на металлических связках, таких как электроэрозионная и электрохимическая правка.

Важным путем увеличения $t_{\phi} \rightarrow t$ является реализация динамических эффектов при шлифовании, например, за счет использования разработанного проф. Якимовым А.В. метода прерывистого шлифования, который обеспечивает два эффекта обработки. Во-первых, в момент прохождения впадины круга происходит остывание обрабатываемой поверхности, что снижает температуру шлифования. Во-вторых, в период контакта режущего выступа круга с обрабатываемой поверхностью технологическая система не успевает среагировать на импульс силы и получить перемещение,

соответствующее статическому значению. В итоге режущие зерна глубже внедряются в обрабатываемый материал и, по сути, позволяют выполнить условие $t_{\phi} \rightarrow t$. При этом за счет ударного характера взаимодействия круга с обрабатываемой деталью происходит непрерывная правка круга, что обеспечивает его высокую режущую способность. Результаты исследований по определению условий уменьшения энергоемкости обработки использованы при разработке и внедрении на различных предприятиях эффективных процессов алмазного и абразивного шлифования деталей из закаленных сталей, наплавленных материалов, твердых сплавов и других труднообрабатываемых материалов.