

УДК 621.9.01



Г.А. Оборский,
д.т.н., профессор,
Одеський національний
політехнічний
університет



С.А. Зелинский,
к.т.н., доцент,
Одеський національний
політехнічний
університет
e-mail: serzel@icn.od.ua

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ С УЧЕТОМ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА

Г.А. Оборский, С.А. Зелинский.
Оптимизация процесса лезвийной обработки с учетом теплофизических характеристик материала. Предложенный способ определения оптимальной (по критериям стойкости инструмента) температуры резания без необходимости проведения стойкостных испытаний инструмента. Оптимальная температура резания определяется по температуре обеспечивающей максимальное значение величины теплоемкости C_p обрабатываемого материала.

G.A. Oborskiy, S.A. Zelinski.
Optimization of processing blade with the thermal characteristics of the material. The proposed method of determining the optima (according to the criteria of tool life) cutting temperature without the need for stoykostnyh testing tool. Optimal cutting temperature is determined by the temperature providing the maximum value of the heat capacity of C_p treated material.

Введение. Научно-технический прогресс в машиностроении обуславливает создание новых конструкционных материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками – прочностью, коррозионной стойкостью, жаропрочностью и т.д., что усложняет их обработку, в связи с недостаточной стойкостью режущего инструмента. Резко выраженный немонотонный характер зависимости износа (стойкости) инструмента от скорости резания при обработке этих материалов, заставляет искать очень узкий оптимальный диапазон скоростей резания. Это связано с проведением довольно трудоемких и затратных исследований на станках.

В работах Макарова А.Д. на основе физических явлений, определяющих интенсивность износа инструмента, сформулировано положение постоянства оптимальной температуры резания, имеющее общесмысловое значение для различных процессов резания и различных обрабатываемых материалов [1]. Однако, сформулировав закон существования оптимальной температуры резания Макаров А.Д., не

показал аналитический путь нахождения этой температуры на основе теплофизических параметров обрабатываемых материалов.

В настоящей статье показан путь нахождения оптимальной температуры резания на основе анализа теплофизических параметров обрабатываемого материала, а именно теплоемкости и коэффициента теплопроводности, которые носят резко экспериментальный характер в зависимости от температуры.

Материал и результаты исследования. Общеизвестна теория Макарова А.Д. о существовании оптимальной температуры резания при лезвийной обработке материалов, которая, к сожалению на сегодняшний день недостаточно широко используется на практике. Причина этому - необходимость проведения трудоемких и дорогостоящих стойкостных испытаний. С целью снижения трудоемкости определения оптимальной по температуре скорости резания в статье предложен путь определения оптимальной температуры резания на основе исследования взаимосвязи коэффициента теплопроводности λ , и теплоемкости C_p материала от температуры.

С позиции теплофизики, можно предположить, что при обработке с оптимальной температурой создаются условия, способствующие наилучшему распределению теплоты резания между заготовкой и инструментом.

В соответствии с уравнением теплового баланса:

$$Q = Q_c + Q_z + Q_u + Q_{cp},$$

где Q – общее количество теплоты при резании;

Q_c – тепло, уходящее в стружку;

Q_z – тепло, поглощаемое заготовкой;

Q_u – тепло, поглощаемое инструментом;

Q_{cp} – тепло, уходящее в окружающую среду.

т. е. наилучшими будут условия, при которых $Q_z + Q_c$ будет максимальным, а Q_u будет минимальным. Количество тепла, а следовательно и температура резания определяются комплексом параметров: вид лезвийной обработки, физико-механические характеристики обрабатываемого и инструментального материалов, геометрия инструмента, режимы резания. Для конкретных условий обработки тепловой баланс будет определяться теплофизическими характеристиками обрабатываемого и инструментального материалов. Среди различных теплофизических характеристик металлов следует выделить теплоемкость и теплопроводность, которые в наибольшей степени влияют на теплофизику процесса резания. Теплопроводность

матеріала (коефіцієнт теплопровідності) λ [$\text{BT}/\text{м}\cdot\text{град}$], характеризує здатність його проводити тепло. Теплоємність C_p [$\text{кДж}/\text{кг}\cdot\text{К}$] характеризує здатність матеріала поглинати тепло, передавану тілу.

Оптимальними слід вважати умови, при яких одночасно досягаються найкращі показники оброблюваності матеріала заготовки і зносостійкості інструментального матеріала. Це умови, при яких максимальна кількість тепла буде локально концентруватися в зоні різання оброблюваного матеріала, сприяючи його “розм’ячченню” і розуплотненню кристалічних зв’язків, і в той же час умови передачі цього тепла в інструмент будуть найгіршими.

Дане умови, виходячи з фізичного значення теплоємності C і коефіцієнта теплопровідності λ можна сформулювати так:

$$\text{Optimum} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} C_p = C_p \text{ max} \\ \lambda = \lambda \text{ min} \end{array} \right\}$$

Для визначення досяжності оптимальних умов з точки зору теплофізики умов обробки

$$\left\{ \begin{array}{l} C_p = C_{\text{max}} \\ \lambda = \lambda_{\text{min}} \end{array} \right.$$

були проаналізовані експериментально отримані температурні залежності теплоємності і теплопровідності чистого заліза (складає основу всіх сталей), і деяких сталей.

На рис. 1 наведено температурна залежність теплоємності $C_p = f(\theta \text{ } ^\circ\text{C})$ чистого заліза [1].

Як видно з рис. 1, зміна температури нагріву металу на $\pm 40 \text{ } ^\circ\text{C}$ викликає зменшення теплоємності C_p на 25-45%, а відповідно і погіршення умов для локальної концентрації тепла безпосередньо в зоні різання. В зв’язі з тим, що основу всіх сталей складає залізо, тому аналогічний, екстремальний характер мають температурні залежності їх теплоємності.

На рис. 2 представлені температурні залежності теплоємності для углеродистого сталю (крива 1), малолегірованою (крива 3) і високолегірованою сталю (крива 2). Залежність теплоємності сталю від

температуры построены на основании экспериментальных данных, приведенных в [2,3]

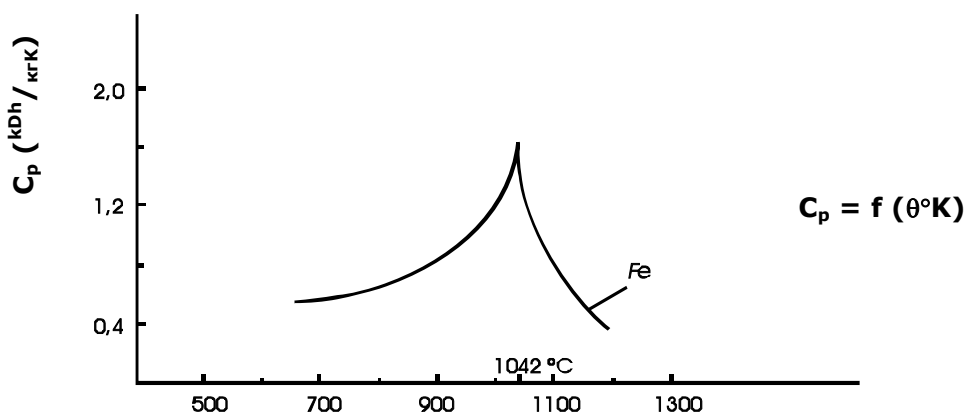


Рис.1. Температурная зависимость теплоемкости железа

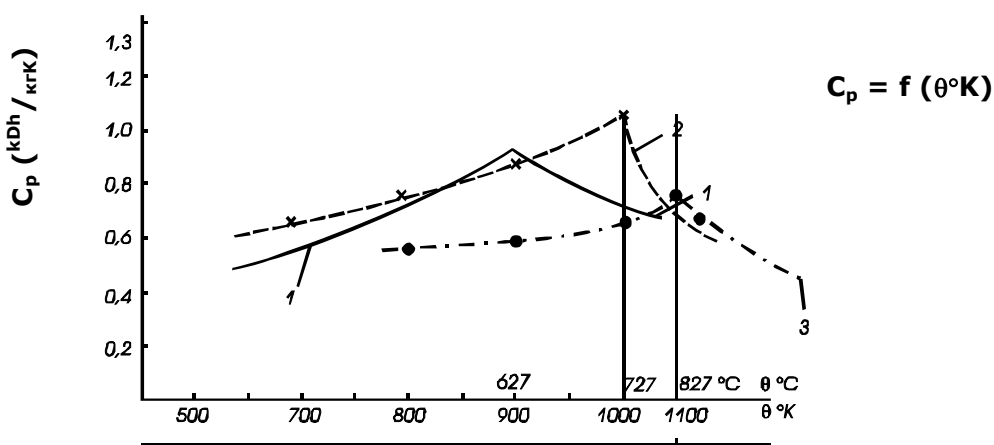


Рис. 2. Температурная зависимость теплоемкости сталей.

- 1 – углеродистая сталь;
- 2 – высоколегированная сталь AIS1446;
- 3 – низколегированная сталь.

На рис. 3 и рис. 4 приведены температурные зависимости теплоемкости $C_p = f(\theta^{\circ}C)$ и коэффициента теплоемкости $\lambda = \varphi(\theta^{\circ}C)$ для низколегированной стали 30X, на рис.5 для углеродистой стали 40.

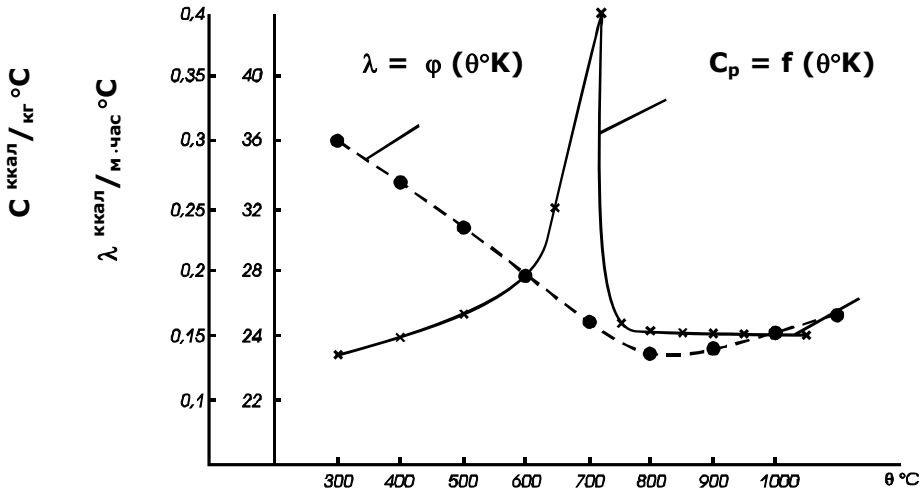


Рис. 3. Температурная зависимость теплоемкости $C_p = f(\theta \text{ } ^\circ\text{K})$ и теплопроводности $\lambda = \varphi(\theta \text{ } ^\circ\text{K})$ для стали 30X (низколегированная сталь);
 × - теплоемкость; о - теплопроводность.

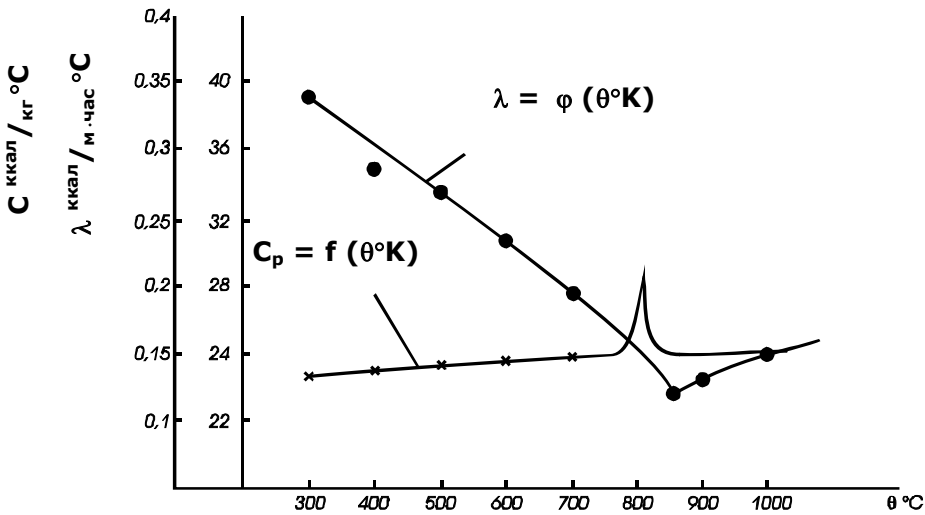


Рис.4. Температурная зависимость теплоемкости $C_p = f(\theta \text{ } ^\circ\text{C})$ и теплопроводности $\lambda = \varphi(\theta \text{ } ^\circ\text{K})$ для стали 40 (углеродистая сталь)

Температура, при которой достигается максимальное значение теплоемкости C_p^{max} на температурной зависимости $C_p = f(\theta \text{ } ^\circ\text{C})$ соответствует такому состоянию обрабатываемого материала, которое в наибольшей степени способствует поглощению теплоты. Следовательно, обрабатываемый материал становится более хрупким, что и вызывает “провал пластичности”. Минимальное значение теплопроводности λ^{min} на температурной зависимости $\lambda = \varphi(\theta \text{ } ^\circ\text{C})$ соответствует наилучшим условиям распределения теплоты от зоны резания, тем самым способствуя локализации температуры. Как отмечалось выше, оптимальными с позиции теплофизики следует считать условия при которых одновременно $C_p = C_{max}$ и $\lambda = \lambda_{min}$. Однако, температура при которой $C_p = C_{max}$ и температура при которой $\lambda = \lambda_{min}$ не совпадают. Поэтому оптимальная температура резания должна находиться в диапазоне этих температур. Причем чем меньше величина этого диапазона температур, тем сильнее проявляется эффект “провала пластичности”, а, следовательно, и обрабатываемости материала.

Как видно из сопоставления графиков температурных зависимостей $C_p = f(\theta \text{ } ^\circ\text{C})$ и $\lambda = \varphi(\theta \text{ } ^\circ\text{C})$ зависимости теплоемкости имеют более выраженный экстремум, чем зависимости теплопроводности. Это позволяет предположить, что теплоемкость в большей степени влияет на эффект “провала пластичности” чем теплопроводность, посредством воздействия на локальную температуру резания.

Последнее подтверждается также известным размерным соотношением Кроненберга, в котором показана взаимосвязь между температурой резания θ и энергетическими параметрами процесса резания, с учетом теплофизических характеристик обрабатываемого материала [4]:

$$\theta = \frac{C_0 U_8 \cdot V^{0.44} \cdot A^{0.22}}{\lambda^{0.44} \cdot C_p^{0.56}}$$

где θ – температура резания;

U_8 – удельная энергия резания;

V – скорость резания;

A – площадь среза;

λ – теплопроводность обрабатываемого материала;

C_p – теплоемкость обрабатываемого материала.

Большее влияние теплоемкости обрабатываемого материала на температуру подтверждается большей величиной показателей степени при C_p чем при λ .

С учетом вышеизложенного, оптимальную температуру резания и соответствующую ей оптимальную температуру резания, можно определять по температуре нагрева обрабатываемого материала, при которой его теплоемкость максимальна [Пат. 3200 Украина, С.А. Зелинский, Г.А. Оборский № 20040503926].

Выводы. Проведенный анализ зависимости $C_p = f(\theta \text{ } ^\circ\text{C})$ имеет ярко выраженный экстремальный характер. Максимальное значение теплоемкости C_p для каждого обрабатываемого материала, соответствует определенной температуре совпадающей с оптимальной температурой резания в соответствии с теорией Макарова А.Д.

Предложенный в статье подход позволяет определять оптимальную температуру резания без приведения стойкостных испытаний.

Литература

1. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. М., «Машиностроение», 1976, 278 с.
2. Лариков Л.Н., Юрченко Ю.Ф. Тепловые свойства металлов и сплавов. Справочник. Киев. Наукова думка. 1985, 345 с.
3. Тепловые свойства материалов. Справочник под ред. Н.Б. Варгафтика. Госэнергоиздат. 1956, 355 с.
4. Армарего И. Дж. А., Браун Р. Х. М., Машиностроение, 1977.
5. Зелинський С.А., Оборський Г.О. Спосіб визначення оптимальної швидкості різання з урахуванням теплофізичних показників матеріалу. Декл. пат. бюл. №10 15.10.2004 р.

Надійшла до редакції 19.01.2017