

УДК 621.9.01

К вопросу определения обрабатываемости резанием конструкционных сталей

Карпов А.В.

Одной из актуальных проблем технологии машиностроения является улучшение обрабатываемости конструкционных материалов, в том числе – углеродистых и легированных сталей. При этом количественная характеристика обрабатываемости, как технологического свойства материала, инвариантна и зачастую трудно реализуема в условиях разброса физико-механических свойств материала заготовок внутри партии или при негарантированных (и даже неизвестных) свойствах материала заготовки. Знание истинного значения коэффициента обрабатываемости позволит рассчитать оптимальную скорость резания при обработке таких заготовок и тем самым обеспечить наибольшую производительность при соблюдении оптимального периода стойкости режущего инструмента. В статье анализируются трудности применения существующих подходов к определению обрабатываемости резанием конструкционных материалов и предлагается новый экспериментальный экспресс-метод определения обрабатываемости, основанный на использовании показателя удельной работы резания и достаточно просто реализуемый в условиях заготовительного цеха или механического участка. Предлагаемый экспресс-метод позволяет избежать проведения затратных и трудоёмких стойкостных испытаний, показал хорошее совпадение результатов со справочными значениями коэффициента обрабатываемости углеродистых и легированных сталей известных марок.

Ключевые слова: резание материалов, обрабатываемость материалов резанием, удельная работа резания.

Введение

Обрабатываемость резанием является важным технологическим свойством конструкционных материалов, характеризующим степень их способности подвергаться резанию. Качественная и количественная оценка обрабатываемости сопряжена с известными трудностями и допускает инвариантность методологических подходов. Важно отметить, что обрабатываемость, независимо от её трактовки и метода определения, должна представлять собой свойство именно материала, а не процесса его обработки. Поэтому обрабатываемость различных материалов определяют при одинаковых (эталонных) условиях резания.

Обрабатываемость материалов резанием влияет, прежде всего, на стойкость режущего инструмента, и, следовательно, ограничивает предельную производительность обработки. Повышение обрабатываемости конструкционных материалов резанием является актуальной задачей технологии машиностроения, при этом использование на практике извест-

ных методов определения обрабатываемости оказывается подчас весьма затруднительным. Обрабатываемость резанием на данный момент не имеет единственной характеристики и проявляется через сумму факторов – технико-экономических, качества обработки, параметров напряжённости процесса резания.

Цель работы – рассмотреть вопросы определения обрабатываемости резанием конструкционных сталей.

Некоторые методы определения обрабатываемости резанием

Качественно обрабатываемость характеризуют, например, по типу стружки, образующейся при резании исследуемого материала в эталонных условиях. При этом всё многообразие материалов разделяют на три группы: **Р** (сливная стружка), **М** (стружка скалывания), **К** (стружка надлома).

Сложнее обстоит дело с количественным определением обрабатываемости. Существуют методы её оценки через тот или иной показатель физико-механических или теплофи-

зических свойств материала: предел текучести, истинный предел прочности, временное сопротивление, твёрдость, ударную вязкость, относительное удлинение, относительное поперечное сужение, коэффициент теплопроводности. К сожалению, эти показатели, будучи применимы в отдельности, не позволяют учесть комплексного проявления свойств материала в условиях резания.

Стружкообразование сопровождается процессами глубокой пластической деформации, полного или частичного разрушения срезаемого слоя, постоянного образования новых поверхностей. Поэтому в роли показателя, численно характеризующего обрабатываемость, перспективнее использовать тот или иной функциональный параметр системы резания: силу резания (удельную или абсолютную), энергозатраты, среднюю температуру резания, коэффициенты продольной и поперечной усадки стружки и др. В эталонных условиях резания, когда управляемые параметры системы резания стабилизированы, любой из перечисленных функциональных параметров является, по сути, комплексным показателем обрабатываемого материала. Отметим, что теоретический расчёт и экспериментальное определение силы резания, температуры, усадки стружки также весьма трудоёмки и приближительны.

Обрабатываемость резанием часто оценивают по способности материала изнашивать заднюю поверхность эталонного режущего лезвия до некоторой заданной величины, т.е. в течение оптимального периода стойкости. При точении оптимальный период стойкости резца обычно принимается равным 60 минутам. В этом случае коэффициент обрабатываемости резанием исследуемого материала определяют в виде отношения:

$$K_{\text{обр}} = \frac{v_{60}}{v_{\text{эт.60}}}, \quad (1)$$

где v_{60} – скорость резания, при которой эталонный резец имеет стойкость 60 минут при

обработке исследуемого материала; $v_{\text{эт.60}}$ – скорость резания, при которой в тех же условиях резания эталонный резец имеет стойкость 60 минут при обработке материала, принятого за эталон. Эталонный материал имеет коэффициент обрабатываемости, равный единице. За эталон принимают сталь 45 ($\sigma_{\text{в}} = 650$ МПа, НВ 179). При получистовом точении стали 45 скорость резания $v_{\text{эт.60}}$ при использовании твердосплавного резца составляет 135 м/мин.

В результате длительных стойкостных испытаний значения коэффициента обрабатываемости $K_{\text{обр}}$ были получены для широкой гаммы конструкционных материалов [5]. Чем выше значение коэффициента обрабатываемости $K_{\text{обр}}$, тем лучше обрабатываемость материала. По коэффициенту $K_{\text{обр}}$ рассчитывают оптимальную скорость резания v_{60} исследуемого материала:

$$v_{60} = v_{\text{эт.60}} \cdot K_{\text{обр}}. \quad (2)$$

Значения коэффициентов $K_{\text{обр}}$, полученных при точении, используют для расчёта оптимальной скорости резания и при других видах лезвийной обработки – сверлении, фрезеровании и т.п.

Экспресс-метод определения обрабатываемости по величине удельной работы резания

Использование формулы (2) при технологической подготовке производства позволяет определить оптимальную скорость резания лишь при гарантированных физико-механических свойствах и (или) химическом составе обрабатываемого материала. Между тем в производственной практике нередки случаи, когда на обработку резанием поступает партия номинально однотипных заготовок (прокат, поковки, отливки), в то время как заготовки внутри партии имеют более или менее значительный разброс свойств поверхностного слоя. У заготовок, подвергшихся термической обработке, может наблюдаться

неравномерность свойств при переходе от одной поверхности к другой, а также вдоль образующих и направляющих линий каждой поверхности. Наконец, могут возникать ситуации, когда приходится иметь дело с негарантированными или неизвестными значениями свойств материала, либо с материалом неизвестного химического состава. В этих случаях использование справочных значений коэффициентов $K_{обр}$ может привести к существенной погрешности при расчёте оптимальной скорости резания и, как следствие, к снижению фактической стойкости инструмента или недоиспользованию его ресурса (снижению производительности).

Определение фактического значения $K_{обр}$ требует проведения дорогостоящих и продолжительных стойкостных испытаний материала, что в условиях действующего производства не всегда выполнимо и рентабельно. На практике важно иметь быстрый и надёжный экспресс-метод определения обрабатываемости материала, поступающего в заготовительный или механический цех. Это позволило бы избирательно подходить к назначению режимов резания, соблюсти оптимальный баланс между стойкостью инструмента и производительностью обработки, либо осуществить адаптивное управление процессом резания в зависимости от реальных свойств материала срезаемого слоя.

На кафедре технологии машиностроения Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета успешно апробирован экспресс-метод определения обрабатываемости конструкционных углеродистых и хромистых сталей, основанный на экспериментальном определении величины удельной работы резания e , Дж/мм³, т.е. количества энергии, затрачиваемой эталонным резцом на снятие в виде стружки единицы объёма материала. Достоинства показателя удельной работы описаны в [4]. Ранее удельная работа резания была использована нами в

качестве перспективного критерия оптимизации технологических процессов [3].

Удельную работу резания e , Дж/мм³, запишем в виде выражения:

$$e = \frac{60 \cdot N}{\Pi}, \quad (3)$$

где N – мощность резания, Вт; Π – минутный съём стружки, мм³/мин, т.е. объём материала, отделяемого в виде стружки в течение 1 минуты.

Применительно к цилиндрическому продольному точению:

$$\Pi = \pi \cdot t \cdot n \cdot s \cdot (D - t), \quad (4)$$

где D – диаметр образца исследуемого материала, мм.

В качестве эталонного использовался токарный проходной резец Т15К6, $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $r = 1$ мм. Из исследуемых материалов предварительно изготавливались отожжённые гладкие цилиндрические образцы диаметром $D = 68$ мм и длиной 150-170 мм, имеющие центровые отверстия.

Величина мощности резания N , Вт, определялась экспериментально, с помощью ваттметра, присоединённого к электродвигателю привода главного движения токарно-винторезного станка повышенной точности мод. 1Е61М [1]. Образец исследуемого материала закреплялся в центрах. Эталонные режимы резания: глубина резания $t = 1$ мм, подача $s = 0,25$ мм/об, частота вращения шпинделя $n = 630$ мин⁻¹). Вначале измерялась мощность станка на холостом ходу $N_{х.х}$ («резание по воздуху», $t = 0$), затем – мощность станка на рабочем ходу $N_{р.х}$, далее рассчитывалась мощность резания $N = N_{р.х} - N_{х.х}$. Измерения проводились с троекратным повторением. При использовании указанных режимов обработки исследуемых материалов скорость резания составила $v = 135$ м/мин, минутный съём стружки $\Pi = 33135$ мм³/мин. Коэффициент обрабатываемости исследуемого материала при описываемом методе рассчитывался по формуле:

$$K_{\text{обр}} = \frac{e}{e_{\text{эт}}}, \quad (5)$$

при этом удельная работа резания эталонного материала (сталь 45) составляет $e_{\text{эт}} = 1,868$ Дж/мм³.

В [2] нами было предложено расчётное полуэмпирическое выражение для определения величины удельной работы резания конструкционных сталей e , Дж/мм³, дающее хорошую сходимость с результатами выше описанных экспериментальных исследований:

$$e \approx \left(9,8 \cdot 10^{-3} \frac{\pi^{q_p}}{1000^{q_p}} C_p \cdot K_p \right) \cdot \frac{D^{1+q_p} \cdot n^{q_p}}{t^{1-x_p} \cdot s^{1-y_p} \cdot (D-t)}, \quad (6)$$

где C_p , K_p , q_p , x_p , y_p – эмпирические коэффициенты.

Заключение

Коэффициенты обрабатываемости сталей 20, 35Л, 40ХН, 45Х, 50Х, определённые через показатель удельной работы резания теоретическим (выражение (6)) и экспериментальным путём, отличаются от справочных значений $K_{\text{обр}}$, приведённых в [5], не более чем на 7%.

Можно заключить, что использование показателя удельной работы резания позволило апробировать новый метод экспресс-оценки обрабатываемости, дающий для известных марок сталей хорошую сходимость со справочными значениями. В условиях разброса или неопределённости свойств обрабатываемых заготовок метод позволяет избежать затрат на проведение продолжительных стойкостных испытаний, что делает его экономически пригодным в серийном производстве. Возможность применения предложенного экспресс-метода определения обрабатываемости других видов конструкционных материалов (чугунов, цветных сплавов) требует дополнительной проверки.

Литература

1. *Игнатов С.Н., Карпов А.В., Распопин А.П.* Оценка эффективности лезвийной обработки с использованием безразмерного энергетического критерия // СТИН, 2004, № 12. – С. 23-26.

2. *Карпов А.В.* К вопросу управления процессом резания на основе энергетических закономерностей деформации и разрушения твёрдых тел // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2011, № 1 (8). – С. 37-49.

3. *Карпов А.В.* Оптимизация процессов обработки резанием на основе энергетических закономерностей деформации и разрушения материалов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2012, № 1 (11). – С. 58-64.

4. *Карпов А.В.* Показатели энергетической эффективности процесса резания // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение, 2012, Том 14, № 1. – С. 51-59.

5. *Ординарцев И.А., Филиппов Г.В., Шевченко А.Н. и др.* Справочник инструментальщика / Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1987. – 846 с.

References

1. *Ignatov S.N., Karpov A.V., Raspopin A.P.* Evaluating the effectiveness of treatment using the blade of the dimensionless energy criterion // STIN, 2004, № 12. – Pp. 23-26.

2. *Karpov A.V.* To the question of management of cutting process on the basis of power laws of deformation and destruction of solid materials // Engineering industry and life safety, 2011, № 1. – Pp. 37-49.

3. *Karpov A.V.* Optimization of cutting processes on the basis of the energy patterns of materials deformation and fracture // Engineering industry and life safety, 2012, № 1. – Pp. 58-64.

4. *Karpov A.V.* Energy efficiency of cutting // Bulletin PNIPU. Engineering, materials science, 2012, Volume 14, Number 1. – Pp. 51-59.

5. *Ordinartsev I.A, Filippov G.V., Shevchenko A.N.* Reference toolmaker – L: Mechanical Engineering, 1987. – 846 p.

Статья поступила в редакцию 20 ноября 2012 г.

One of the important problems of mechanical engineering is to improve the workability of construction materials, including carbon and alloy steels. In this case, the quantitative characteristic of workability, as technological properties of the material is normal and is often difficult to realize in a variation of physical and mechanical properties of the material pieces within the party or non-guaranteed (and even unknown) properties of the workpiece material. Knowledge of the true values of workability will calculate the optimum cutting speed in the processing of procurement and thus ensure the best performance in compliance with the optimum period of life of the tool. The paper analyzes the difficulties of the existing approaches to machinability of structural materials and offers a new experimental method for rapid determination of workability, which is based on the use of specific indicators of cutting and simply implemented in the procurement department or mechanical plot. The proposed rapid method of avoiding costly and time-consuming tests showed good agreement with the reference values of the coefficient of workability of carbon and alloy steels brands.

Keywords: cutting materials, machinability of materials by cutting, cutting the specific work.

Карпов Алексей Владимирович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»