

**ОЦЕНКА ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ МАТЕРИАЛОВ  
ПО ЗАТРАТАМ ЭНЕРГИИ РАЗРУШЕНИЯ**

*А. И. Акилов, канд. техн. наук;*

*И. Г. Чижов\*, зав. сект.;*

*Ю. А. Геращенко, студент; С. А. Майборода, студент,*

*Сумский государственный университет,*

*ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Украина;*

*\*Институт прикладной физики НАН Украины,*

*ул. Петропавловская, 58, г. Сумы, 40000, Украина;*

*E-mail: yuliyagerashhenko@yandex.ua*

*Представлена методика оценки обрабатываемости машиностроительных материалов по удельной работе разрушения, выраженной через отношение затраченной работы на снятие определенного припуска к объему снятого металла. При расчете работы разрушения использовались известные зависимости сил резания от режимов обработки (например, при точении) или диаграммы истинных напряжений и деформаций по результатам испытаний образцов. Полученные для материалов-представителей данные расчета дают возможность производить экспресс-оценку способов обработки на начальной стадии проектирования технологических процессов.*

***Ключевые слова:** обрабатываемость, сила резания, подача, сечение стружки, диаграмма истинных напряжений, относительное сужение, суперфиниширование.*

Важнейшим условием повышения эффективности производства и качества продукции машиностроения является внедрение прогрессивной техники и технологии, расширение ассортимента применяемых материалов. В настоящее время для повышения износостойкости деталей, работающих в условиях трения износа, широко применяются износостойкие покрытия, например, твердым хромом, термообработка с азотацией поверхностных слоев до твердости 900 HV и более, а также изготовление деталей из твердого сплава. Однако с расширением ассортимента применяемых в машиностроении материалов, с изменением физических и прочностных характеристик сплавов возникают трудности при их обработке. Во многих случаях традиционные способы механической обработки, такие как точение, шлифование, хонингование, суперфиниширование, полирование и др. оказываются не эффективными или вообще не пригодными из-за высокой твердости материала или адгезионного схватывания, которое происходит при обработке нержавеющей сталей, медных и алюминиевых сплавов. В этих случаях прибегают к применению специальных методов обработки: электрофизических, электрохимических, электроэрозионных. Для повышения производительности и качества деталей применяют также комплексную обработку, например, электрохимикомеханическое шлифование, электрохимическое хонингование и др. Все эти способы обработки имеют свои преимущества и недостатки. Для оценки применяемости того или иного способа в технологии необходимо располагать определенными критериями. Одним из них может служить энергозатратность при механической обработке.

Такую оценку для материалов-представителей можно провести по работе, затрачиваемой на снятие припуска, отнесенной к объему снятого металла или по диаграммам истинных напряжений и деформаций, полученных при испытании образцов на растяжение.

Механическую работу разрушения поверхностного слоя заготовки можно определить через силы резания, например, при точении:

$$A_{\text{мех}} = P_z L \cos \alpha \quad (1).$$

где  $P_z$  – тангенциальная составляющая силы резания;  $L$  – длина пути инструмента;  $\cos \alpha = \arctg \frac{S_0}{\pi d} \approx 1$ ,

$$L = \frac{\pi dl}{S_0},$$

где  $d$  – диаметр заготовки;  $l$  – длина заготовки;  $S_0$  – подача на оборот.

Силу резания определяем по известной формуле:

$$P_z = C_p t^{X_{P_z}} S_0^{Y_{P_z}} V^{-n_{P_z}} K_{P_z}.$$

Объем снятого металла:

$$V_M = Fl_1,$$

$$V_M = Fl_1$$

где  $l_1$  – длина витка стружки;  $F$  – площадь сечения стружки.

Окончательно удельная работа разрушения через режимы резания,

определяется по зависимости (1) (после подстановки в формулу  $A_{\text{мех}}$  значений  $L$  и  $V_M$ ) получим

$$A_{\text{уд.мех}} = \frac{A_{\text{мех}}}{V_M} = \frac{P_z \pi dl}{S_0 Fl_1}.$$

Методика расчета работы разрушения металла построением диаграмм истинных напряжений и деформаций распространяется на конструкционные сплавы, углеродистые нелегированные, слабо- и среднелегированные сплавы, сплавы на медной основе, углеродистые инструментальные сплавы и деформируемые инструментальные сплавы, а также на алюминий, медь, железо. Исходными данными для расчета служат твердость НВ металла и относительное сужение образца. В основу построения диаграммы положены данные, полученные при стандартных механических испытаниях материалов на растяжение, а также основные закономерности характерных точек диаграмм, полученных в работах Марковца М. П. [1]. Диаграмма истинных

напряжений имеет вид, представленный на рис. 1, зависимость  $\psi$  % от твердости НВ материала – на рис. 2.

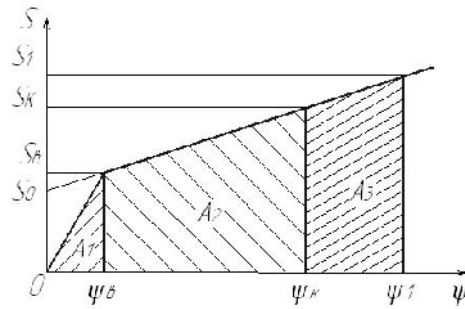


Рисунок 1 – Диаграмма истинных напряжений:

$S_0$  – экстраполированный предел текучести;  $S_a$  – истинное напряжение в момент образования шейки;  $S_k$  – истинное сопротивление разрушению;  $\psi_0$  и  $\psi_k$  – относительное сужение в момент образования шейки и разрушения

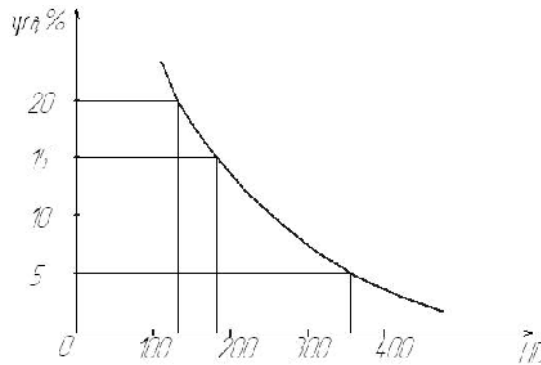


Рисунок 2 – Зависимость относительных сужений от твердости НВ материала

При построении диаграмм в координатах  $S$ – используются следующие зависимости:

$$\psi < 15 \% ; \quad \frac{S_k}{\sigma_B} = 1 + 1,35\psi_k \quad \frac{S_k}{\sigma_a} = 1 + 1,35\psi_k;$$

$$\psi = 15-29 \% ; \quad \frac{S_k}{\sigma_a} = 0,92 + 2,06\psi_k;$$

$$S_a = \sigma_B$$

$$\psi = 30 \% ; \quad \frac{S_k}{\sigma_a} = 0,8 + 2,06\psi_k.$$

При  $\psi = 0$ ;  $S_0 = \sigma_a$ ;  $\psi = \psi_k$ ,  $S_k = \sigma_a(1 + 1,35\psi_k)$ ;  $\psi = \psi_1$ ,  $S_1 = \sigma_a(1 + 1,35\psi_1)$ .

Теоретическая работа разрушения определяется как сумма площадей, представленных на диаграмме:

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3;$$

$$A_1 = \frac{S_e \psi_k}{2};$$

$$A_2 = \frac{S_e + S_k}{2} (\psi_k - \psi_e);$$

$$A_3 = \frac{S_k + S_1}{2} (\psi_1 - \psi_k).$$

В таблице 1 представлены результаты расчета работ разрушения для титановых сплавов по двум методикам. Расчет удельной работы разрушения  $A_{уд}$  производился по режимам резания точением заготовки диаметром 50 мм при глубине резания  $t=2$  мм, подаче  $S_0=0,8$  мм/об, скорости резания 50м/мин. Исходные данные расчета теоретической работы  $A_T$  по диаграммам истинных напряжений приведены в таблице. Выявлен коэффициент соответствия между первым и вторым вариантами. Представленная методика позволяет классифицировать машиностроительные материалы по энергетическим затратам работы разрушения и при помощи материалов-представителей производить экспресс-анализ применяемых способов обработки.

Таблица 1 - Значения удельных работ разрушения для титановых сплавов

Пор. номер	Марка сплава	Предел прочности $\sigma_b$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Относительное сужение, %	Твердость НВ	Теор. работа разрушения $A_T$ , кгс-мм/мм <sup>3</sup>	Сила резания $P_2$ , кгс	Удельная работа разрушения $A_{уд}$ , кгс-мм/мм <sup>3</sup>	Коеф. соотв. $K$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	BT-1-0	47	65	147	83,5	182	121	1,45
2	BT-1-0 нелег. Ti	48	50	147	89,6	195	130	1,45
3	BT-1-1	51	51	155	95,6	194,7	130	1,4
4	OT 4-0 0,8Al; 0,8Mn	83	50	161	133,7	292,5	195	1,45
5	OT 4-0 3,5Al; 1,5Mn	83,5	50	146	135	294	196	1,45
6	OT-4	81,4	50	146	132	287,7	217,5	1,45
7	BT-3-1	94	46	316	149,6	235,6	217	1,45
8	BT-3-1	98	48	316	160,9	337,6	225	1,4
9	BT-3-1	100	50	316	164,26	345	229	1,4
10	BT-3-1	106	54	316	173,9	361,5	240	1,4
11	BT 22 упрочн.	145	40	392	215	478	318	1,45
12	BT 22 $\alpha + \beta$	115	40	324	189,2	340	259	1,4

Особый интерес при выборе способа обработки, учитывающего энергетические затраты, представляют способы механической обработки с подводом дополнительной энергии. Результаты экспериментальных исследований ударно-циклическим суперфинишированием образцов из стали 50 и твердого сплава ВК-8 с подводом электрической энергии приведены в таблице 2. В зависимости от амплитуды радиальных колебаний брусков и напряжения на электродах происходило совместно с механическим удалением припуска электрохимическое растворение поверхностных слоев и эрозионное разрушение микрогребешков шероховатости. Обработка образцов осуществлялась в три этапа. Управление процессом обработки осуществлялось таким образом, что на первом этапе наблюдалось влияние трех эффектов съема металла: механического, эрозионного и электрохимического. На втором этапе за счет уменьшения амплитуды радиальных колебаний и напряжения на электродах исключалась эрозионная обработка, и оставалось только электрохимическое и механическое воздействие. На третьем этапе полностью снималось напряжение с электродов, и обработка велась чисто механической. Для измерения энергетических затрат использовались тензодатчики и средства измерения электрических параметров: вольтметр и амперметр. После каждого этапа производился замер снятого слоя металла на оптиметре ИКГ-3 с точностью до 0,001 мм, и удельной работы по каждому виду воздействия.

Таблица 2 - Значения энергии, рассчитанные по данным эксперимента

Энергия, Дж/мм <sup>3</sup>	A <sub>мех</sub>		A <sub>эхо</sub> + A <sub>эр</sub>				A <sub>сум</sub>	
	Сталь 50	ВК8	Сталь 50	ВК8	Сталь 50	ВК8	Сталь 50	ВК8
1 этап	18	20,8	27,6	36			45,6	56,8
2 этап	32,7	41,7	36,5	56	-	-	69,5	92
3 этап	51,8	489	-	-	-	-	51	489

Анализ полученных результатов свидетельствует, что:

1. Во всех случаях введение дополнительной энергии сопровождалась повышением съема металла.
2. Удельные затраты механической и электрической энергии уменьшались на всех этапах обработки.
3. Эффективность предложенного способа обработки наиболее заметно проявилась при обработке высокопрочного материала как по величине снятого припуска, так и по уменьшению затраченной энергии.
4. Для обработки конструкционных материалов подвод дополнительной энергии нецелесообразен.

#### THE TECHNIQUE OF ESTIMATION OF MACHINABILITY DUE TO THEIR FRACTURE ENERGY

A. I. Akilov\*, I. G. Chizhov\*\*, Yu. A. Geraschenko\*, S.A. Majboroda\*,

\*Sumy State University,

2 Rimsky-Korsakov Str., 40007 Sumy, Ukraine;

\*\*Institute of Applied Physics NAS of Ukraine,

58 Petropavlivska Str., 40000 Sumy, Ukraine;

E-mail: yuliyagerashhenko@yandex.ua

The technique of estimation of machinability due to their fracture energy has been presenting as expressed by the ratio of the spent works on removal of certain of the allowance to the amount of the removed metal. During calculation fracture energy were used well-known dependence of the cutting forces from mode of processing (for example, when machining) or a diagram of the true stress and strain on the results of the sample testing. The specific fracture

*work of engineering materials can serve as an important criterion at the express evaluation of a method choice of work on a workpieces at the stage of planning of technological processes.*

**Key words:** *workability, the power of cutting, filing, the cross-section of the chip, the diagram of the true stress, reduction of area, superfinishing.*

#### **ОЦІНКА ОБРОБЛЮВАНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ЗА ВИТРАТАМИ ЕНЕРГІЇ РУЙНУВАННЯ**

**А. І. Акілов \*, І. Г. Чижов \*\*, Ю. А. Геращенко \*, С. А. Майборода\*,**

*\* Сумський державний університет,*

*вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми 40007, Україна;*

*\*\* Інститут прикладної фізики НАН України,*

*вул. Петропавлівська, 58, м. Суми, 40000, Україна;*

*E-mail: yuliyagerashhenko@uandex.ua*

*Подано методику оцінки оброблюваності машинобудівних матеріалів за питомою роботою руйнування, яка виражена через відношення витраченої роботи на зняття певного припуску до об'єму знятого металу. При розрахунку роботи руйнування використовувалися відомі залежності сил різання від режимів обробки (наприклад, при точінні) або діаграми істинних напружень і деформацій за результатами випробувань зразків. Дані розрахунків, які отримані для матеріалів-представників, дають можливість робити експрес-оцінку способів обробки на початковій стадії проектування технологічних процесів.*

**Ключові слова:** *оброблюваність, сила різання, подача, перетин стружки, діаграма істинних напружень, відносне звуження, суперфінішування.*

#### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ**

1. Марковец М. П. Диаграммы истинных напряжений и расчет на прочность. Труды всесоюзного ордена Ленина НИИ авиационных материалов / М. П. Марковец. – М. : Оборон ГИЗ, 1947. – Вып. 65. – 138 с.

*Поступила в редакцию 3 апреля 2013 г.*