

УДК 621.923

©Иванов И.Е.\*

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ  
ИЗ УСЛОВИЯ ПРОЧНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

*Теоретически обоснованы технологические возможности режущих (лезвийных и абразивных) инструментов с точки зрения их прочности. Определены оптимальные соотношения пределов прочности на сдвиг инструментального и обрабатываемого материалов, которые реализуются для нулевого переднего угла инструмента и исключают разрушение режущей части инструмента при резании. Доказана эффективность применения при обработке высокотвердых наплавленных материалов абразивного шлифования, которое по сравнению с резанием лезвийными инструментами позволяет осуществить более производительную и качественную обработку.*

**Ключевые слова:** режущие инструменты, прочность, оптимизация, эффективность, абразивное шлифование, производительность.

**Иванов И.Е. Вибір оптимального методу механічної обробки з умов міцності різального інструменту.** Теоретично обґрунтовані технологічні можливості ріжучих (лезових і абразивних) інструментів з погляду їхньої міцності. Визначено оптимальні співвідношення меж міцності на зсув інструментального й оброблюваного матеріалів, які реалізуються для нульового переднього кута інструмента й виключають руйнування ріжучої частини інструмента при різанні. Доведено ефективність застосування при обробці высокотвердих наплавлених матеріалів абразивного шліфування, що у порівнянні з різанням лезовими інструментами дозволяє здійснити більш продуктивну і якісну обробку.

**Ключові слова:** ріжучі інструменти, міцність, оптимізація, ефективність, абразивне шліфування, продуктивність.

**I.E. Ivanov. Selection of an optimum method of mechanical treatment, based upon the conditions of strength of cutting tools.** Technological capabilities of cutting (blade and abrasive) tools were theoretically substantiated from the point of view of their strength. Determined were optimal correlation between the ultimate shearing strength of the material and the cutting tool, which are realized for a zero front angle of the tool and eliminates the possibility of destruction of tool's cutting section during the process of cutting. Efficiency of application of ultra-hard surface deposited materials of abrasive polishing was proved, allowing to perform more productive and quality treatment, as compared to blade cutting tools.

**Keywords:** tool pieces, durability, optimization, efficiency, abrasive polishing, productivity.

**Постановка проблемы.** Нанесение износостойких покрытий и наплавочных материалов на рабочие поверхности деталей машин стало важным фактором повышения их надежности и ресурса работы. В особой мере это относится к контактными (рабочим) поверхностям больших и малых конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей, которые работают в условиях интенсивного трения и износа и быстро выходят из строя [1]. Нанесение на контактные поверхности данных изделий износостойких наплавочных материалов ПЛ-Нп 500Х40НС2 РЦ-Б-С (ГОСТ 26467-85) твердостью HRC 58–59 позволило многократно повысить их работоспособность [2, 3].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Последующая механическая обработка наплавленного материала вызывает значительные сложности в связи с их высокой твердостью

\* канд. техн. наук, ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

и неравномерностью снимаемого значительного припуска (3-7 мм). Применение лезвийных инструментов оказалось неэффективным по причине образования сколов на обрабатываемых поверхностях и быстрой потери режущей способности инструмента. Применение абразивных инструментов (шлифовальных кругов) также малоэффективно из-за низкой производительности обработки, однако в этом случае обеспечивается достаточно высокое качество обработки, соответствующее предъявляемым техническим требованиям [1-5]. Поэтому метод шлифования рассматривается как наиболее эффективный для данных условий обработки и его используют на практике, хотя вопросы изыскания новых технологических возможностей обработки контактных поверхностей с наплавленными материалами высокой твердости по-прежнему являются чрезвычайно актуальными.

**Цель статьи** - в настоящей работе поставлена задача теоретически обосновать условия повышения работоспособности режущих инструментов при резании таких труднообрабатываемых материалов как высокотвердые наплавки и на этой основе выбрать наилучший вариант их обработки. Цель работы – определение путей повышения работоспособности режущего инструмента по критерию его прочности и выбор оптимального метода обработки наплавленных материалов.

**Изложение основного материала.** Для решения поставленной задачи воспользуемся результатами теоретических исследований прочности режущего инструмента, приведенных в работе [4]. Расчетным путем определим механические напряжения, возникающие в режущем инструменте (резце) в процессе обработки. В расчетной схеме (рис. 1) примем, что на передней поверхности резца действует сосредоточенная сила резания  $R$ , направленная под условным углом трения  $\psi$  образующей стружки с передней поверхностью резца. В результате действия этой силы в теле резца возникают касательные напряжения  $\tau$ . При достижении напряжением предела прочности на сдвиг инструментального материала произойдет разрушение режущей части резца в виде скола. В связи с этим важно установить положение плоскости вероятного скола и величину касательного напряжения, возникающего в этой плоскости. Для этого воспользуемся зависимостью для определения касательного напряжения

$$\tau = \frac{R \cdot \cos(\psi - \alpha)}{x}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – угол, определяющий положение плоскости скола;  
 $x = AN$  – длина плоскости скола материала инструмента, м.

Сила резания  $R$  определяется на основе теоремы Пифагора:  $R = \sqrt{N^2 + f^2 \cdot N^2}$ , где  $N$  – сила, действующая по нормали к передней поверхности резца, Н;  $f \cdot N$  – сила, действующая по касательной к передней поверхности резца, Н;  $f = tg \psi$  – коэффициент трения образующей стружки с передней поверхностью резца. После преобразований сила резания  $R$  принимает вид

$$R = \frac{N}{\cos \psi}. \quad (2)$$

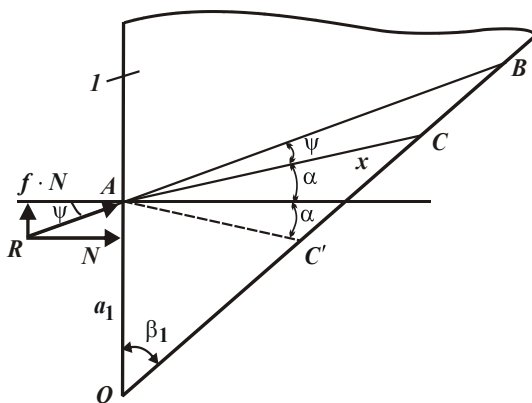


Рис. 1 – Расчетная схема касательных напряжений, возникающих в режущем клине инструмента 1

Силу  $N$  определим на основе разложения силы резания  $R$  на две составляющие – тангенциальную  $P_z$  и радиальную  $P_y$  [4]:

$$\begin{cases} P_z = N \cdot \cos \gamma + f \cdot N \cdot \sin \gamma, \\ P_y = -N \cdot \sin \gamma + f \cdot N \cdot \cos \gamma, \end{cases} \quad (3)$$

где  $\gamma$  – положительный передний угол резца.

Разрешая первое уравнение системы (3) относительно силы  $N$ , имеем

$$N = \frac{P_z \cdot \cos \psi}{\cos(\gamma - \psi)}. \quad (4)$$

Согласно работе [5], тангенциальная составляющая силы резания  $P_z$ , приходящаяся

на единицу ширины среза, выражается аналитической зависимостью

$$P_z = \frac{2 \cdot \dot{a} \cdot \tau_{\dot{n}\dot{a}\dot{a}}}{\operatorname{tg} \beta}, \quad (5)$$

где  $a$  – толщина среза, м;

$\tau_{\dot{n}\dot{a}\dot{a}}$  – предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, Н/м<sup>2</sup>;

$\beta = 45^\circ + \frac{\gamma - \psi}{2}$  – условный угол сдвига обрабатываемого материала.

Подставим зависимости (4) и (5) в зависимость (2):

$$R = \frac{2 \cdot \dot{a} \cdot \tau_{\dot{n}\dot{a}\dot{a}}}{\operatorname{tg} \beta \cdot \cos(\gamma - \psi)}. \quad (6)$$

Для определения длины плоскости сдвига материала инструмента  $x$ , входящей в зависимость (1), воспользуемся теоремой синусов косоугольного треугольника ОАС [4]:

$$\frac{x}{\sin \beta_1} = \frac{a_1}{\sin [180^\circ - (\beta_1 + 90^\circ + \alpha)]}, \quad (7)$$

где  $a_1 = \hat{IA}$  – расстояние от вершины реза до точки приложения сосредоточенной силы резания  $R$ , м;

$\beta_1$  – угол при вершине реза.

Разрешая зависимость (7) относительно неизвестной величины  $x$ , получено

$$x = \frac{\dot{a}_1 \cdot \sin \beta_1}{\cos(\beta_1 + \alpha)}. \quad (8)$$

С учетом соотношения  $\beta_1 = 90^\circ - \gamma$  (задний угол инструмента в первом приближении принимается равным нулю) зависимость (8) выразится

$$x = \frac{\dot{a}_1 \cdot \cos \gamma}{\sin(\gamma - \alpha)}. \quad (9)$$

Подставляя зависимость (9) в (1), окончательно получена аналитическая зависимость для определения касательного напряжения

$$\tau = \frac{R \cdot \cos(\psi - \alpha)}{a_1 \cdot \cos \gamma} \cdot \sin(\gamma - \alpha). \quad (10)$$

Анализируя зависимость (10), видим, что с изменением угла  $\alpha$  касательное напряжение  $\tau$  изменяется по экстремальной зависимости. Для определения экстремального значения  $\tau$  подчиним зависимость (10) необходимому условию экстремума:  $\tau'_\alpha = 0$ . В результате получено

$$\tau'_\alpha = \frac{R}{a_1 \cdot \cos \gamma} \cdot [\sin(\psi - \alpha) \cdot \sin(\gamma - \alpha) - \cos(\psi - \alpha) \cdot \cos(\gamma - \alpha)] = -\frac{R}{a_1 \cdot \cos \gamma} \cdot \cos(\psi + \gamma - 2\alpha). \quad (11)$$

Из условия  $\tau'_\alpha = 0$  имеем  $\psi + \gamma - 2\alpha = 90^\circ$ . Откуда определяется экстремальное значение угла  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{\psi + \gamma}{2} - 45^\circ. \quad (12)$$

Установим характер экстремума (максимум или минимум) функции касательного напряжения  $\tau$  от угла  $\alpha$ . Для этого получим выражение второй производной касательного напряжения  $\tau$  от угла  $\alpha$ :

$$\tau''_\alpha = -\frac{2 \cdot R}{a_1 \cdot \cos \gamma} \cdot \sin(\psi + \gamma - 2\alpha). \quad (13)$$

Подставим экстремальное значение угла  $\alpha$ , определяемое зависимостью (12), в зависимость (13):  $\tau''_\alpha = -\frac{2 \cdot R}{a_1 \cdot \cos \gamma}$ . Как видно, вторая производная функции  $\tau$  в точке экстремума отрицательна, следовательно, имеет место максимум функции  $\tau$  от угла  $\alpha$ . Таким образом, установлено значение угла  $\alpha$ , определяющее значение опасного сечения реза, в котором наиболее вероятно разру-

шение (скол) режущей части резца.

Из зависимости (12) вытекает, что при условии  $\frac{\psi + \gamma}{2} < 45^\circ$  искомый угол  $\alpha$  будет отрицательным. Это означает, что опасное сечение резца будет соответствовать положению плоскости  $\dot{A}\dot{N}'$ . В этом случае произойдет меньший по величине скол режущей части резца. Обеспечить данное условие можно за счет уменьшения углов  $\psi$  и  $\gamma$ .

Подставим зависимость (12) в (10) и определим экстремальное значение касательного напряжения

$$\tau = \frac{R \cdot \sin^2\left(45^\circ + \frac{\gamma - \psi}{2}\right)}{a_1 \cdot \cos \gamma} \tag{14}$$

С учетом зависимости (6) и  $\beta = 45^\circ + \frac{\gamma - \psi}{2}$ , имеем

$$\tau = \frac{\dot{a} \cdot \tau_{\dot{n}\dot{a}\dot{a}}}{a_1 \cdot \cos \gamma} \tag{15}$$

Такая же зависимость получена в работе [4] другим методом расчета, что свидетельствует о достоверности данного решения. Отношение  $\dot{a} / \dot{a}_1$  в первом приближении можно рассматривать равным 2, хотя в действительности оно может принимать и другие значения (больше 2-х). В случае  $\dot{a} / \dot{a}_1 = 2$  зависимость (15) примет вид

$$\tau = \frac{2 \cdot \tau_{\dot{n}\dot{a}\dot{a}}}{\cos \gamma} \tag{16}$$

Как видно, касательное напряжение  $\tau$  в опасном сечении резца определяется двумя параметрами: пределом прочности на сдвиг обрабатываемого материала  $\tau_{\dot{n}\dot{a}\dot{a}}$  и передним углом резца  $\gamma$ .

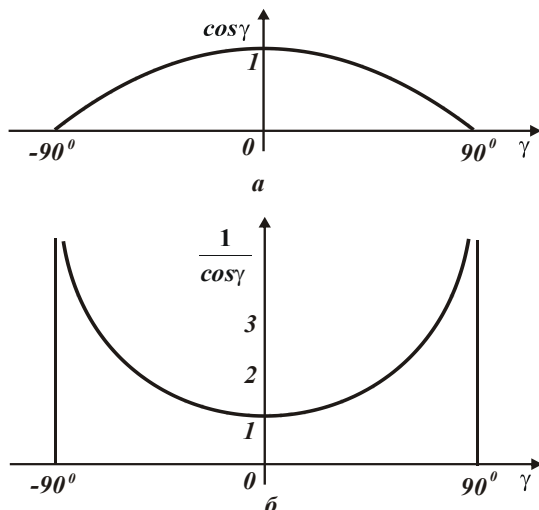


Рис. 2 – Характер изменения функций  $\cos \gamma$  (а) и  $1/\cos \gamma$  (б)

Чем они больше, тем больше касательное напряжение  $\tau$  (рис. 2). При превышении значением  $\tau$  предела прочности на сдвиг инструментального материала произойдет разрушение инструмента и процесс резания в этом случае неосуществим.

Наименьшее значение  $\tau$  достигается при угле  $\gamma = 0$  (таблица). С физической точки зрения увеличение  $\tau$  (с увеличением положительного переднего угла резца  $\gamma$ ) происходит вследствие уменьшения угла при вершине резца  $\beta_1$ , а увеличение  $\tau$  (с увеличением отрицательного переднего угла резца  $\gamma$ ) происходит в результате увеличения силы резания  $R$  в соответствии с зависимостью (6).

Таким образом, показано, что оптимальным с точки зрения прочности резца является нулевой передний угол  $\gamma$ . Исходя из зависимости

(16), предел прочности на сдвиг инструментального материала должен быть как минимум в 2 раза больше предела прочности на сдвиг обрабатываемого материала  $\tau_{\dot{n}\dot{a}\dot{a}}$ .

Таблица

Расчетные значения функций  $\cos \gamma$  и  $1/\cos \gamma$

|                 |   |       |       |     |       |       |          |
|-----------------|---|-------|-------|-----|-------|-------|----------|
| $\gamma$ , град | 0 | 30    | 45    | 60  | 70    | 80    | 90       |
| $\cos \gamma$   | 1 | 0,866 | 0,707 | 0,5 | 0,342 | 0,174 | 0        |
| $1/\cos \gamma$ | 1 | 1,154 | 1,414 | 2   | 2,924 | 5,747 | $\infty$ |

Данное условие справедливо для нулевого переднего угла резца. Для большего значения угла  $\gamma$  (положительного или отрицательного) предел прочности на сдвиг инструментального материала должен превышать предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала  $\tau_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{a}}$  в большее число раз. Например, при использовании в качестве режущих элементов абразивных зерен, имеющих отрицательные передние углы ( $\gamma > -60^\circ$ ), предел прочности на сдвиг инструментального материала должен превосходить предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала  $\tau_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{a}}$  более чем в 4 раза, т. к.  $\cos 60^\circ = 0,5$ .

Алмазные зерна обладают более высокой остротой режущих кромок, чем абразивные зерна. Поэтому у них передний угол может принимать меньшие отрицательные значения ( $\gamma < -30^\circ$ ), в связи с чем соотношение пределов прочности на сдвиг инструментального и обрабатываемого материалов может быть меньше, чем при абразивном шлифовании, а при обработке алмазным зерном алмаза – равно единице. Это возможно при условии  $\dot{a} / \dot{a}_1 \approx 1$ , т. е. при весьма малых толщинах среза, что, собственно, и имеет место на практике при микрорезании алмазным зерном алмаза (при алмазной заточке лезвийных инструментов из синтетических сверхтвердых материалов).

Что касается обработки наплавленных материалов высокой твердости, то, исходя из полученных теоретических результатов, их можно обрабатывать как лезвийными, так и абразивными инструментами, обеспечивая превосходство прочности инструментального материала над прочностью обрабатываемого материала, т.е. применяя резцы из твердых сплавов и синтетических сверхтвердых материалов, а также абразивные (алмазные) круги. Естественно, по твердости и прочности твердые сплавы уступают абразивным материалам. Поэтому обеспечить оптимальное соотношение прочности инструментального и обрабатываемого материалов при абразивной обработке проще, чем при лезвийной обработке. Следовательно, при обработке наплавленных материалов эффективно использовать абразивные круги, которые, как отмечалось выше, обеспечивают более качественную обработку по сравнению с резанием лезвийными инструментами.

### Выводы

1. В работе теоретически обоснованы технологические возможности режущих (лезвийных и абразивных) инструментов, с точки зрения их прочности.
2. Определены оптимальные соотношения пределов прочности на сдвиг инструментального и обрабатываемого материалов, которые реализуются для нулевого переднего угла инструмента и исключают разрушение режущей части инструмента при резании.
3. Доказана эффективность применения при обработке высокотвердых наплавленных материалов абразивного шлифования, которое, по сравнению с резанием лезвийными инструментами, позволяет осуществить более производительную и качественную обработку.

### Список использованных источников:

1. Рыбицкий В.А. Опыт внедрения алмазного шлифования деталей с защитными покрытиями / В.А. Рыбицкий. – К. : Общество «Знание» УССР, 1987. – 23 с.
2. Новиков Ф.В. Технологическое обеспечение высококачественной обработки деталей с износостойкими наплавками металлургического назначения / Ф.В. Новиков, В.А. Андилахай // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія : Машинобудування і машинознавство. – Донецьк : ДонНТУ. – 2010. – Вип. 7 (166). – С. 53-60.
3. Андилахай В.А. Выбор оптимальной схемы шлифования контактных (наплавленных) поверхностей крупногабаритных изделий металлургического назначения / В.А. Андилахай // Труды 16-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков : ХНПК «ФЭД». – 2010. – С. 119-124.
4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 3. «Резание материалов лезвийными инструментами» – Одесса : ОНПУ, 2003. – 546 с.
5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. «Механика резания материалов» – Одесса : ОНПУ, 2002. – 580 с.

**Bibliography:**

1. Rybickiy V.A. Experience of introduction of the diamond polishing of details with sheeting / V.A. Rybickiy. – K. : Society «Knowledge» of UKRAINE, 1987. – 23 p. (Rus.)
2. Novikov F.V. the Technological providing of high-quality treatment of details with wearproof of the metallurgical setting / F.V. Novikov, V.A. Andilakhay // Naukov DonNTU. Serya : Mashinobuduvannya – Donec'k: DONNTU. – 2010. – Vip. 7 (166). – P. 53-60. (Rus.)
3. Andilakhay V.A. Choice of optimum chart of polishing of contact of wares of the metallurgical setting / V.A. Andilakhay // Trudy to the 16th International scientific and technical conference. Physical and computer technologies. it is Kharkov: KHNPК «FED». – 2010. – P. 119-124. (Rus.)
4. Fiziko-matematicheskaya theory of processes of treatment of materials and technology of engineer / Under F.V. Novikova and A.V. Yakimova. In ten volumes. it is T. 3. «Cutting with of materials blade» is Odessa : ONPU, 2003. – 546 p. (Rus.)
5. Fiziko-matematicheskaya theory of processes of treatment of materials of engineer . F.V. Novikova and A.V. Yakimova. In ten volumes. it is T. 1. «Mechanics of cutting of materials» is Odessa: ONPU, 2002. – 580 p. (Rus.)

Рецензент: С.С. Самотугин  
д-р техн. наук, проф. ГБУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 12.04.2012

УДК 621.923

©Шкурупий В.Г.\*

**ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН  
С ОПТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

*Экспериментально установлено, что из существующих методов механической обработки наиболее эффективными с точки зрения образования светоотражательных поверхностей деталей из алюминиевых сплавов являются тонкое точение алмазным инструментом, алмазное выглаживание и методы абразивной обработки. Данные методы обеспечивают наименьшие значения отношения параметров шероховатости поверхности  $R_a/R_{max}$  и наибольшие значения критерия шероховатости поверхности  $F$  и коэффициента отражения поверхности. Для контроля физико-химического состояния обработанных поверхностей рекомендуется использовать методику оценки работы выхода электронов. В работе установлена корреляция методов обработки, шероховатости обработанных поверхностей и их физико-химического состояния с оптическими характеристиками поверхностей (светоотражательной, поглощательной и излучательной способностью).*

**Ключевые слова:** финишные методы обработки, оптические характеристики, контроль, шероховатость поверхности, эффективность.

**Шкурупий В.Г. Взаємозв'язок параметрів поверхні деталей машин з оптичними характеристиками.** Експериментально встановлено, що з існуючих методів механічної обробки найбільш ефективними з погляду утворення світловідбиваючих поверхонь деталей з алюмінієвих сплавів є тонке точіння алмазним інструментом, алмазне вигладжування й методи абразивної обробки. Дані методи забезпечують найменші значення відношення параметрів шорсткості поверхні  $R_a/R_{max}$  й найбільші значення критерію шорсткості поверхні  $F$  й коефіцієнта відбиття поверхні. Для контролю фізико-хімічного стану оброблених поверхонь рекомендується використовувати методику оцінки роботи виходу електронів. У роботі встановлена

\* канд. техн. наук, доцент, Харківський національний економічний університет, г. Харків